

# CHEM-A1410 Materiaalitieteen Perusteet Luento 5: Metallit

6.10.2020

Ville Jokinen

# Luennon aiheet:

Osa 1: Pronssi- ja teräsmiekat, historiallinen katsaus materiaalitieteen kehitykseen

Osa 2: Metallien mikrorakenteesta.

Osa 3: Metallien ominaisuuksia

Osa 4: Esimerkkejä vanhoista ja uusista metallimateriaaleista.

**Shackelford:** 4.1, 11.1 (luvut siltä osin kun liittyvät luennolla käsiteltyihin asioihin)

# Osa 1: Pronssi- ja teräsmiekat, historiallinen katsaus materiaalitieteen kehitykseen.

Oppimistavoitteet:

-Tämän osan pääasiallinen oppimistavoite on saada yleiskuva siitä miten materiaalitiede on kehittynyt menneisyydessä ja sitä kautta saada lisää perspektiiviä kurssin loppuosaan jossa keskitytään siihen mihin materiaalitiede on menossa.

-Liuoslujitus esimerkkinä aineen koostumuksen ja mikrorakenteen vaikutuksesta mekaanisiin ominaisuuksiin.

Huom: puhdasta historiallista tietoa tai miekkoihin liittyvää spesifistä informaatiota ei tarvitse muistaa.

# Muinaiset materiaalivaihtoehdot

Muinaiskulttuurien teknologia astetta luokiteltiin sen perusteella mikä oli työkalujen (ja aseiden) materiaali.

Kivikaudella (neoliittisella kaudella) työkalut tehtiin kivistä ja luonnonmateriaaleista...

...mutta kivi on haurasta ja vaikeasti työstettävää ja luonnonmateriaalit työkaluiksi liian pehmeitä. Ne syrjäyttää ensin **pronssi**, jonka puolestaan syrjäyttää **rauta** (teräs).

## **Tehdään tieto/arvaus/päätelykilpailu chatissa:**

Antiikissa (ja varhaisella keskiajalla) tunnettiin **7 puhdasta metallia**, yrittäkää nimetä ne kollektiivisesti.

Ehdottaa syitä minkä takia nämä 7 tunnettiin >1000 vuotta ennen kuin 7. metalli (arsenikki) eristettiin.

# Antiikin metallit



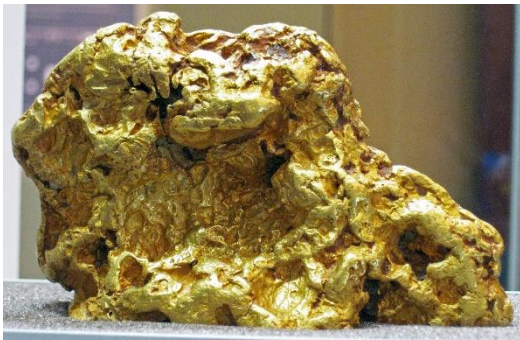
**Rauta**  $T_m$  1538 °C  
mutta rautaoksidi pelkistyy  $\approx 900^\circ\text{C}$   
ja 4. yleisin alkuaine maankuorella



**Kupari**  $T_m$  1084°C  
mutta kuparioksidi pelkistyy  $\approx 900^\circ\text{C}$   
Jalo(hko) metalli



**Elohopea**  $T_m$  -39°C



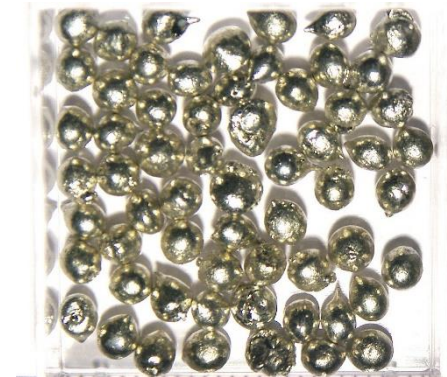
**Kulta**  $T_m$  1064°C  
Jalometalli



**Hopea**  $T_m$  961°C  
Jalometalli



**Lyijy**  $T_m$  327°C



**Tina**  $T_m$  231°C

Sinkki ja arsenikki tunnettiin myös pronssikaudella yhdisteissä mutta ei puhtaina.

Kuvat: Wikipedia

# Pronssikausi

Pronssikausi: lähi-idässä 4000 eaa - 3000 eaa, Suomessa 1000 eaa

Pronssi ja myöhemmät metallit, pääasiassa rauta (teräs), olivat työkaluissa ylivoimaisia kiveen nähden lujuuden, sitkeyden ja muokattavuuden suhteen.

Pronssi on kuparin ja tinan seos. Miksi juuri pronssi oli ensimmäinen merkittävä metalli joista tehtiin miekkoja ja työkaluja?

**Kulta, hopea, lyijy:** liian kalliita, pehmeitä, tiheitä

**Elohopea:** liian nestemäinen

**Tina:** liian harvinainen ja pehmeä

**Rauta:** ominaisuudet olisivat hyvät mutta prosessoiminen vaatii korkeampaa teknologiaa.

**Kupari:** Paras varhaisista puhtaista metalleista, mutta melko pehmeä.

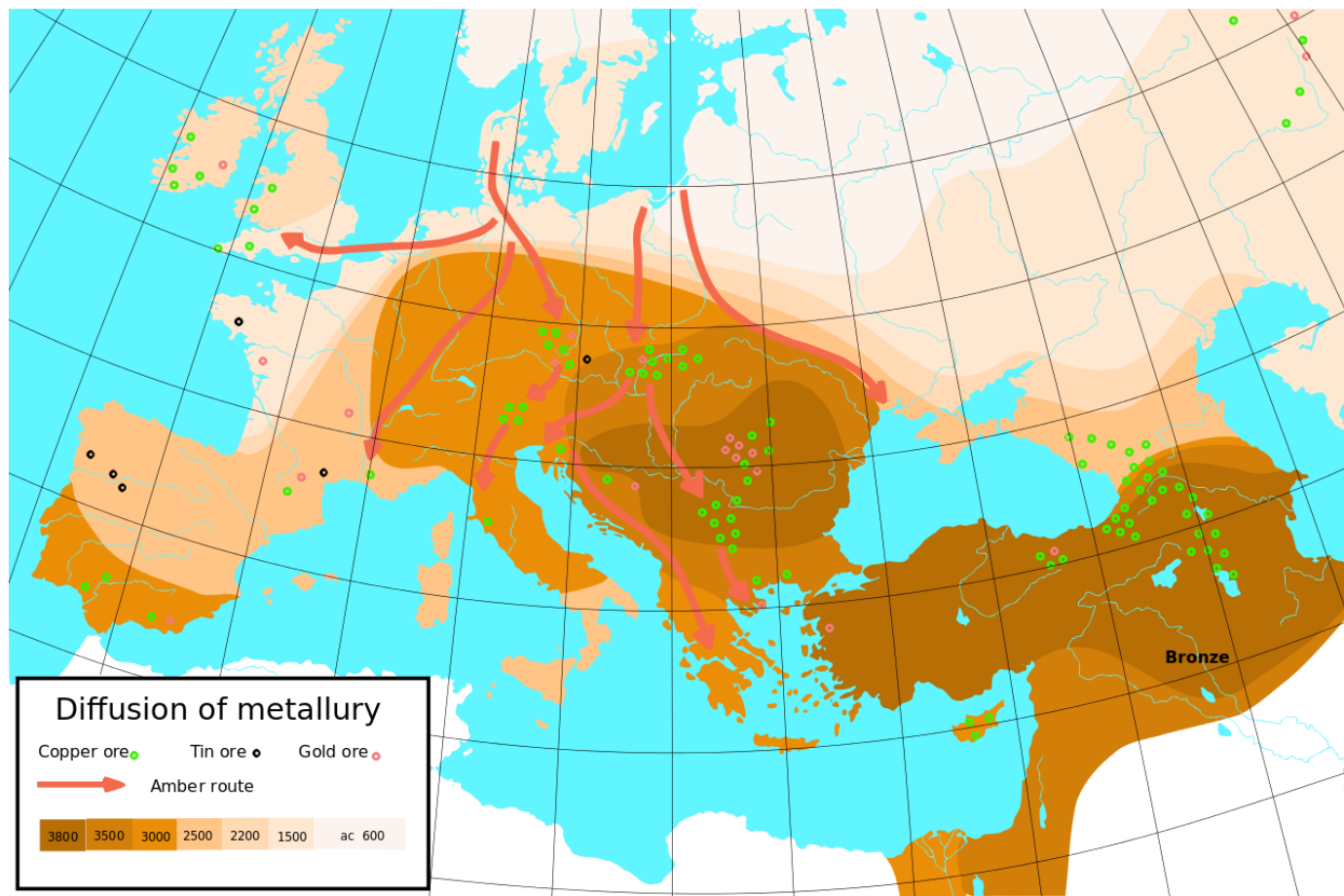
# Pronssi vs kupari

Kuparia on lähi-idässä, anatoliassa ja kaakkois-euroopassa paljon, tinaa taas ei juuri ollenkaan.

Miksi pronssikausi eikä kuparikausi?

1. Pronssin sulamispiste on alhaisempi kuin kuparin (noin 950°C vs 1085°C. -> Helpompi käsitellä ja helpompi valaa.
2. Puhdas kupari on liian pehmeä metalli, pronssi on merkittävästi lujempaa.

Tina: Varhainen esimerkki kriittisestä materiaalista?



# Liuoslujitus: Pronssi

Kupari: myötölujuus **50-340 MPa**

Tina: myötölujuus **7-15 MPa**

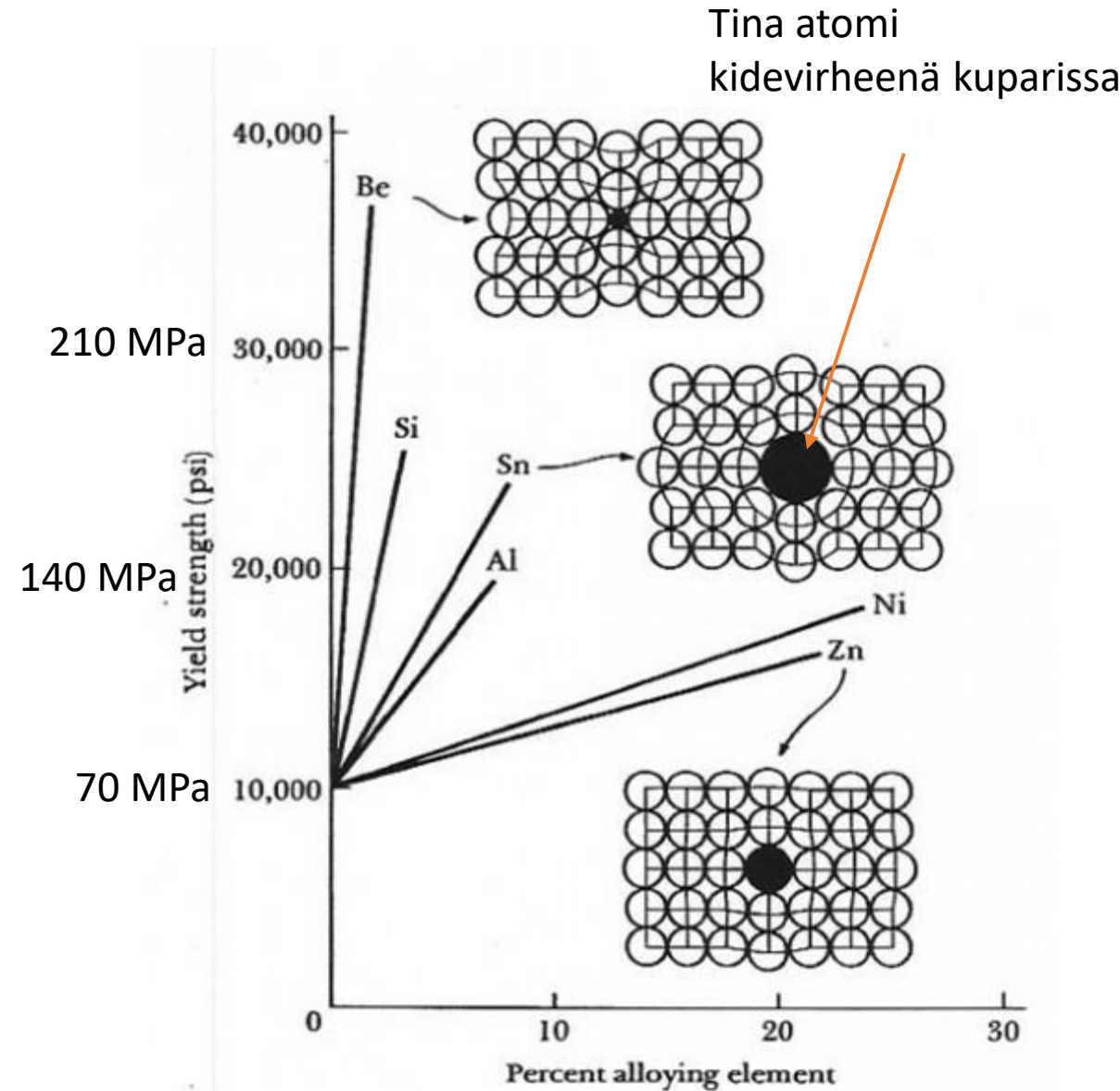
Näitä sekoittamalla:

Pronssi: myötölujuus **130-510 MPa**

Liuoslujitus tarkoittaa metallin muuttumista lujemmaksi kun siihen liuotetaan pieni määrä toista ainetta.

Yksinkertaistettuna mekanismina: liuosatomit aiheuttavat kiteeseen jännitteitä, jotka lujittavat materiaalia.

Tina atomi (0.145 nm) on vähän liian iso kupari (0.128 nm) hilaan.



Kuparin myötölujuus liukoisuuden funktiona



# Rautakausi

Rautakausi: alkoi lähi-idässä noin 1000 eaa, Suomessa 500 eaa

Raudan irrottaminen rautamalmeista vaatii korkeampia lämpötiloja kuin kuparin tai tinan

Varhaisen ”puhtaan” raudan ominaisuudet (muokattavuus, lujuus, sitkeys) eivät ole erityisen hyviä ja pääasiassa huonompia kuin pronssin –

> *Kypsä teknologia vastaan uusi haastaja.*

Raudasta ei myöskään saa korkean sulamispisteen vuoksi valamalla yhtä hyvin esineitä kuin pronssista. Rautaesineet pitää takoa, mikä on valamista työläämpää mutta toisaalta parantaa ominaisuuksia.

...

Rauta on kuitenkin yleisempää kuin kupari eikä vaadi harvinaista tinaa. Ajan myötä metallurgian parantuessa, rauta ja teräs ohittivat pronssin sekä hinnaltaan että ominaisuuksiltaan.

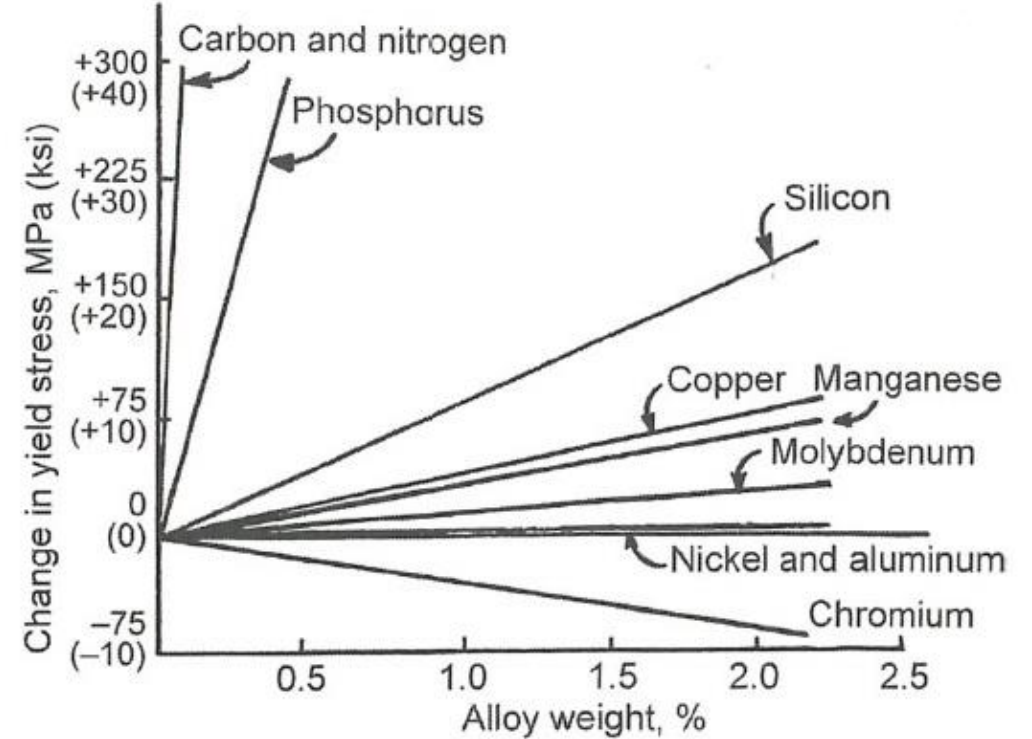
# Liuoslujitus: Teräs

Puhtaan raudan myötölujuus on erittäin alhainen, 50 MPa.

Saostamalla rautaa hiilellä saadaan terästä, joka on erittäin luja materiaali, myötölujuus 500 MPa – 1500 MPa.

Hiili liukenee rauta hilan välisijoihin, mutta yksinkertaistettu lujitusmekanismi on silti sama: hiili aiheuttaa jännityksiä hilaan jotka lujittavat sitä.

Toisin kuin kuparin saostaminen tinalla, raudan saostus hiilellä oli antiikissa vahinko sulattamisprosessin sivutuotteena.



Raudan liuoslujittuminen

# Miekka

Tarkastellaan miekan kehittymistä pronssiajalta modernille ajalle konkreettina esimerkkinä materiaalitieteen roolista teknologian kehityksessä.

Miekan materiaalin pitää olla:

1. Kovaa jotta terä säilyy,
2. Lujaa jotta miekka ei taivu liikaa,
3. Sitkeää jotta miekka ei mene iskussa rikki ja
4. Kevyttä (kunhan muut ehdot täyttyvät)

(Työkaluilla, kuten kirveellä ja kuokalla, on pitkälti samat vaatimukset)

# Pronssimiekka

Pronssimiekat olivat yleensä verrattain lyhyitä, terä max. noin 60 cm pitkä

**Pronssin myötölujuus ei riitä pidemmälle terälle.**

-> **Materiaalitiede asettaa rajat teknologialle.**

Pronssimiekat taipuvat iskussa helposti, mutta toisaalta ne on helppo taivuttaa takaisin muotoon. (Hyvä sitkeys, vain kohtuullinen lujuus)

Tehtiin valamalla, eli sulaa pronssia kaadetaan muottiin ja jäähdytetään.



Pronssimiekka, ≈ 1700 eaa.

# Varhaiset rautamiekat

Varhaisten rautamiekkojen terät olivat verrattain lyhyitä, leveitä ja paksuja johtuen raudan laadusta.

Raudan joukossa oli ominaisuuksia heikentäviä aineita esim. rikkiä, joka teki raudasta haurasta ja pidemmät tai ohuemmat terät eivät olisi kestäneet.

Miekat tehtiin takomalla. Takominen vähentää epäpuhtauksia ja muokkaa mikrorakennetta lujittavasti (ns. muokkauslujitus)



Espanjalaisia varhaisia rautamiekkoja  $\approx$  500 eaa  
(roomalaisten miekkojen esiasteita)

# Teräsmiekköjen kehitys

Teräs keksittiin vahingossa.

Raudan erottaminen rautamalmista vaatii ahjossa olevaa kivihiiltä pelkistämään rautaoksidit metalliseksi raudaksi. Tästä prosessista jää pieni määrä hiiltä rautaan.

Ajan myötä sekä teräksen laatukontrolli että valmistusmenetelmät (esim. karkaisu) paranivat.

Tämä mahdollisti yhä pidemmät ja ohuemmat terät.

-> Uuden materiaali teknologian kypsyminen



Viikinkimiekka, 900 luku,  
Terä max 80 cm, massa 1.4kg

↓  
Ohuempi,  
kevyempi



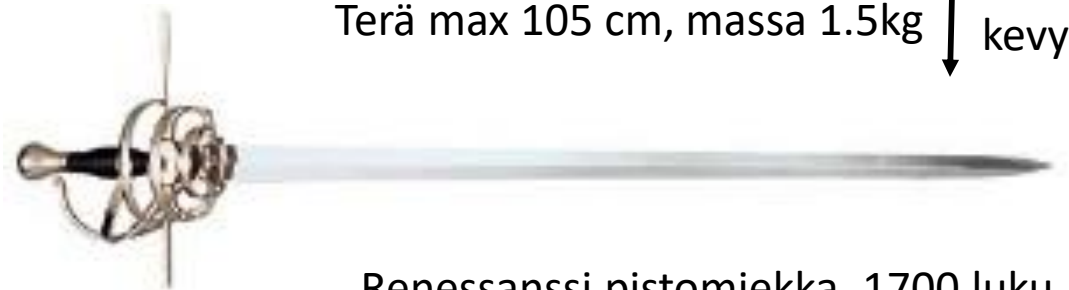
Ritarimiekka, 1100 luku,  
Terä max 80 cm, massa 1.1kg

↓  
Pidempi



Pitkämiekka, 1400 luku,  
Terä max 105 cm, massa 1.5kg

↓  
Ohuempi,  
kevyempi



Renessanssi pistomiekka, 1700 luku,  
Terä max 110 cm, massa 1.0 kg

# Materiaalitiede, teknologia

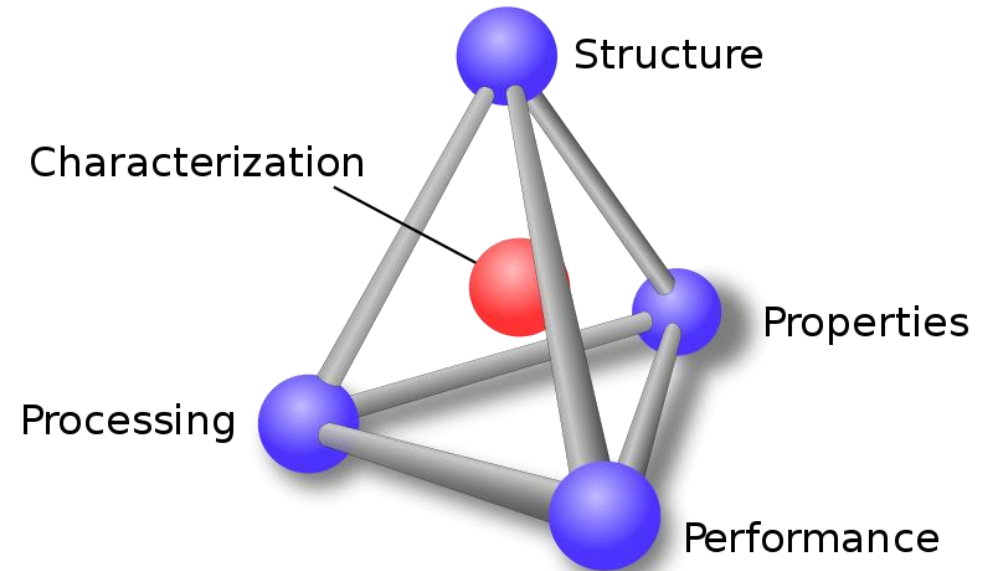
Paremmat materiaalit mahdollistavat uusia sovelluksia. Esim. 1500 luvun miekkaa ei olisi voitu tehdä 500 eaa. raudasta.

... mutta toisaalta ei sen muotoista miekkaa silloin edes välttämättä olisi haluttu. (miekan vaatimukseen vaikuttavat ajalle tyypilliset haarniskat, kilvet, muodostelmat ym.)

-> **Teknologioiden riippuvuus toisistaan**

Teknologian kehitys on monen asian yhteispeliä, jossa materiaalitieteellä on keskeinen rooli.

Pronssi ja myöhemmin rauta mahdollistivat laajamittaisen maanviljelyn, jota pidetään ehkä merkittävimpänä askeleena sivilisaation kehitykselle.



# Moderni teräsmiekka

Esim. 5160 Spring Steel

Koostumus: 98% Fe, 0.8% Cr, 0.8% Mn, 0.6% C,

Kromi: ruostumattomuus

Hiili: lujitus

Mangaani: lujitus

Lämpökäsitelty siten että:

Myötölujuus 1800 MPa

Murtolujuus 2000 MPa

Kovuus 52 HRC

Murtovenymä 10%

Mutta eikö mikään uudempi materiaali olisi terästä parempi?



Table 1: Energy absorption of various materials.

Material	Maximum Strain, %	Maximum Stress, MPa	Modulus of Toughness, MJ/m <sup>3</sup>	Density kg/m <sup>3</sup>	Max. Energy J/kg
Ancient Iron	0.03	70	0.01	7,800	1.3
Modern spring steel	0.3	700	1.0	7,800	130

Moderni teräs vs. muinainen rauta. Lähde: D. Roylance, Stress-strain curves, Cambridge 2001



Aikamme polttavin materiaalitieteen kysymys: moderni materiaali miekalle?

**Titaaniseokset?:** Lujempi ja kevyempi kuin teräs. Mutta: kovuus on terästä huonompi joten terä ei säily. (Titaani on myös erittäin haastavasti työstettävissä korkean sulamispisteen takia)

**Amorfiset metallit tai high entropy alloys?:** Ehkä tulevaisuudessa. Palataan luennessa myöhemmin.

**Keraamit?:** Lujia ja kovia, mutta liian hauraita. (Keraameista tehdään esim. keittiö veitsiä)

Selkeätä teräksen voittajaa ei tällä hetkellä ole.

**Pinnoituksia:** Timantti, volframikarbidi, boorinitridi –

> parantamaan kovuutta mutta teräs hoitaa silti muut mekaaniset ominaisuudet

# Korroosio historian tutkimuksen esteenä

## Korroosio ja museoesineet:

Suurin osa muinaisista rautaesineistä on kokonaan ruostunut pois. Pronssi kestää korroosiota paremmin minkä vuoksi museoissa on kohtuullisen hyväkuntoisia pronssimiekkoja.

Tästä syystä oli historiallisesti onnekasta että aikakaudet olivat järjestyksessä kivi – pronssi – rauta.



# Kierrätys historian tutkimuksen esteenä

## Varhainen kierrätys:

Useita metallisia muinaisreliikkejä on myöhempinä aikoina sulatettu uudelleen käyttöön. Toisaalta tämä on esimerkki metallien hyvästä kierrätettävyydestä. Historiallisesti tämä on harmillista.

Rodoksen kolossi oli iso pronssinen patsas ja yksi antiikin 7. ihmeestä. Sen sorruttua maanjäristyksessä 224 eaa., sen pronssi sulatettiin uusiokäyttöön.

Materiaalien uusiokäyttö,  
metallit ovat hyvin kierrätettävissä



# Osa 2, metallien mikrorakenne

- Metallien kiderakentet

- Liukoisuus metalleissa (pätee myös muille materiaaleille)

# Kertausta jo opituista kiderakenteista

Luennolla 2 ja laskarissa 1 opeteltiin kuutiollisia kiderakenteita:

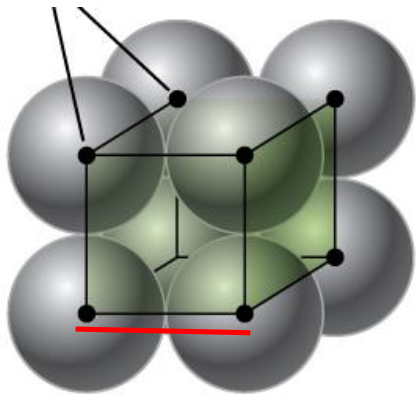
Yksinkertainen kuutiollinen, Pintakeskeinen kuutiollinen (pkk), Tilakeskeinen kuutiollinen (tkk)

Yksikkökopin koko määräytyi tiiviisti pakatun kidesuunnan perusteella.

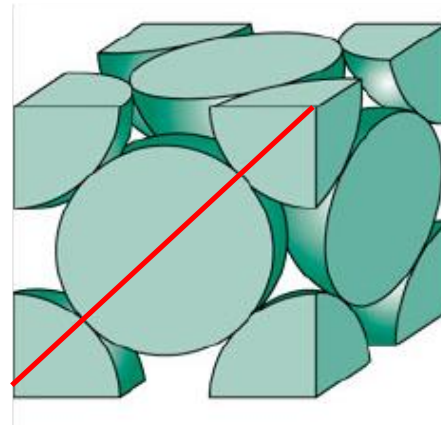
Yksinkertaisessa kuutiollisessa hilassa: särmällä.

Pkk hilassa: tahkon halkaisijalla

Tkk hilassa: koko kuution halkaisijalla

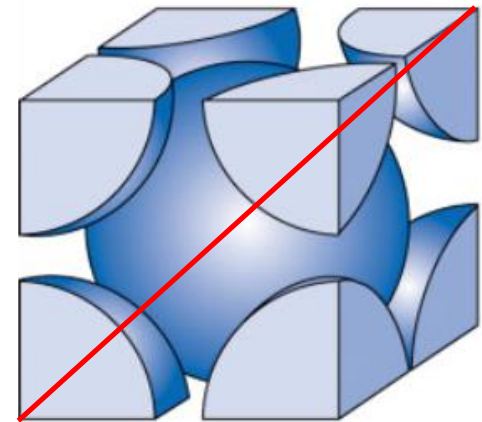


Yksinkertainen kuutiollinen



Pintakeskeinen kuutiollinen (pkk)

Tiiviisti pakatut suunnat




Tilakeskeinen kuutiollinen (tkk)

# Metallien kiderakenteet

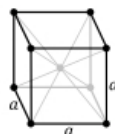
Metalleja on paljon mutta suurimmalla osalla on yksi kolmesta kiderakenteesta:  
(kuva seuraavalla kalvolla)

1. Tilakeskeinen kuutiollinen
2. Pintakeskeinen kuutiollinen
3. Tiivispakkauksellinen heksagoninen

1 H HEX																2 He HCP	
3 Li BCC	4 Be HCP											5 B RHO	6 C HEX	7 N HEX	8 O SC	9 F SC	10 Ne FCC
11 Na BCC	12 Mg HCP											13 Al FCC	14 Si DC	15 P ORTH	16 S ORTH	17 Cl ORTH	18 Ar FCC
19 K BCC	20 Ca FCC	21 Sc HCP	22 Ti HCP	23 V BCC	24 Cr BCC	25 Mn BCC	26 Fe BCC	27 Co HCP	28 Ni FCC	29 Cu FCC	30 Zn HCP	31 Ga ORTH	32 Ge DC	33 As RHO	34 Se HEX	35 Br ORTH	36 Kr FCC
37 Rb BCC	38 Sr FCC	39 Y HCP	40 Zr HCP	41 Nb BCC	42 Mo BCC	43 Tc HCP	44 Ru HCP	45 Rh FCC	46 Pd FCC	47 Ag FCC	48 Cd HCP	49 In TETR	50 Sn TETR	51 Sb RHO	52 Te HEX	53 I ORTH	54 Xe FCC
55 Cs BCC	56 Ba BCC	57* La DHCP	72 Hf HCP	73 Ta BCC/TETR	74 W BCC	75 Re HCP	76 Os HCP	77 Ir FCC	78 Pt FCC	79 Au FCC	80 Hg RHO	81 Tl HCP	82 Pb FCC	83 Bi RHO	84 Po SC/RHO	85 At [FCC]	86 Rn FCC
87 Fr [BCC]	88 Ra BCC	89** Ac FCC	104 Rf [HCP]	105 Db [BCC]	106 Sg [BCC]	107 Bh [HCP]	108 Hs [HCP]	109 Mt [FCC]	110 Ds [BCC]	111 Rg [BCC]	112 Cn [BCC]	113 Nh [HCP]	114 Fl [FCC]	115 Mc [FCC]	116 Lv [FCC]	117 Ts [FCC]	118 Og [FCC]
		*	58 Ce DHCP/FCC	59 Pr DHCP	60 Nd DHCP	61 Pm DHCP	62 Sm RHO	63 Eu BCC	64 Gd HCP	65 Tb HCP	66 Dy HCP	67 Ho HCP	68 Er HCP	69 Tm HCP	70 Yb FCC	71 Lu HCP	
		**	90 Th FCC	91 Pa TETR	92 U ORTH	93 Np ORTH	94 Pu MON	95 Am DHCP	96 Cm DHCP	97 Bk DHCP	98 Cf DHCP	99 Es FCC	100 Fm [FCC]	101 Md [FCC]	102 No [FCC]	103 Lr [HCP]	

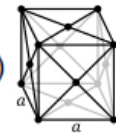
 BCC: body centered cubic

tkk



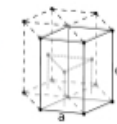
 FCC: face centered cubic (cubic close packed)

pkk



 HCP: hexagonal close packed

tph



# Heksagoninen ja kuutiollinen hila

Kuutiolliselle hilalle kaikki särmät ja särmien väliset kulmat ovat samat:

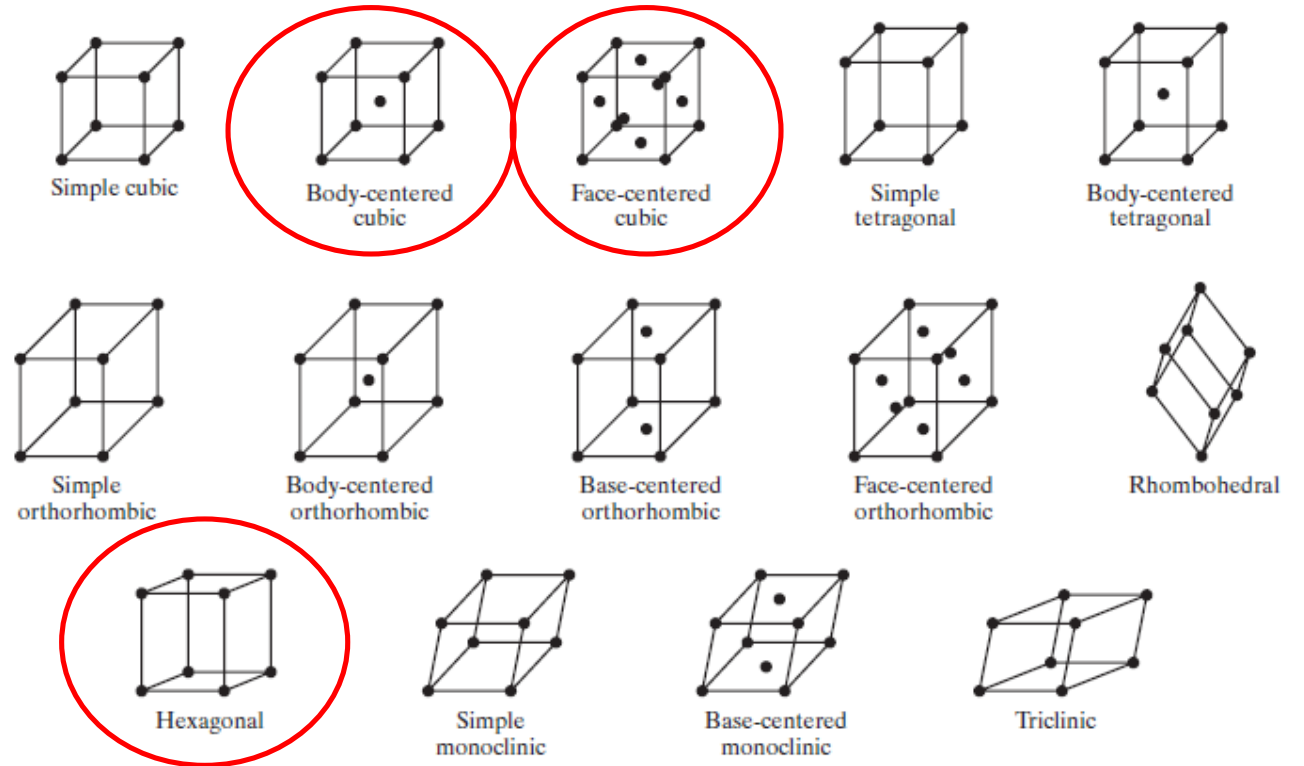
Särmät:  $a=b=c$

Kulmat:  $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$

Heksagoniselle hilalle sen sijaan:

$a=b\neq c$

$\alpha=\beta=90^\circ, \gamma=120^\circ$





# Tiivispakkauksellinen heksagoninen hila

Tiivispakkauksellinen heksagoninen hilan alkeiskoppi:

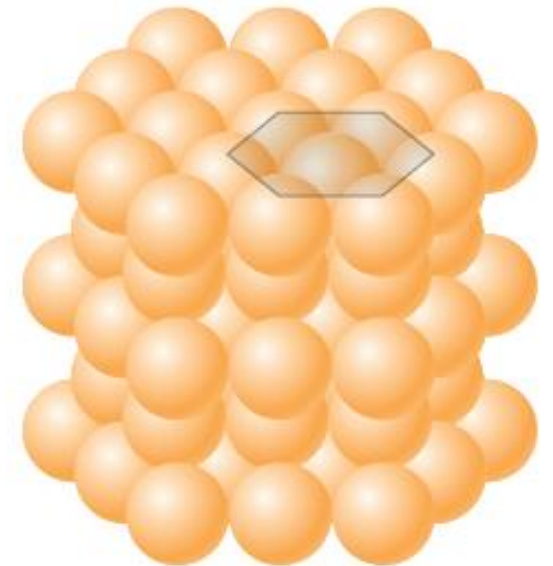
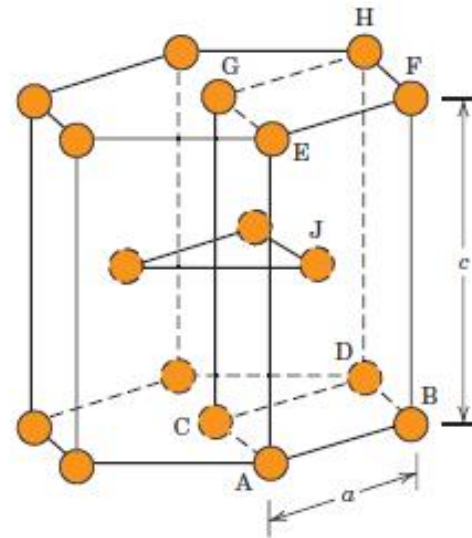
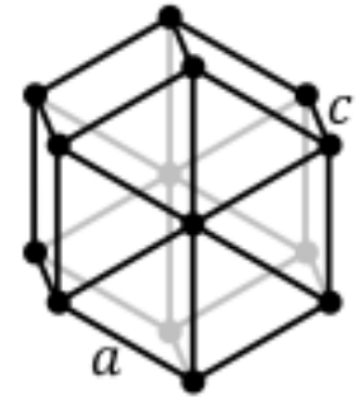
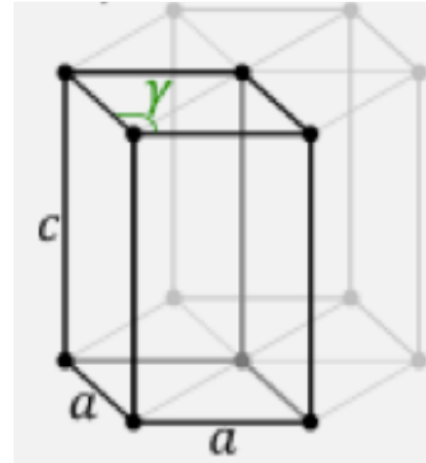
$$a=b=c/1.633$$

$$\alpha=\beta=90^\circ, \gamma=120^\circ$$

Tph hila on helpompi ymmärtää koostuvaksi lomittain olevista kuusiokulmioista koostuvista rakenteista.

Koordinaationumero: 12

Nimensä mukaisesti tiivispakkauksellinen, pakkaustiheys 74% (sama kuin pkk)



# Kiderakenne ja ominaisuudet

Saman kiderakenteen omaavilla metalleilla on *usein* samankaltaiset ominaisuudet. Mekaaniset:

**tkk:** lujia, muuttuvat hauraiksi kylmässä lämpötilassa

**pkk:** venyviä, eivät kovin lujia

**tph:** lujia mutta usein hauraita

Joidenkin metallien kiderakenteita ja yksikkökoppien hilavakiota

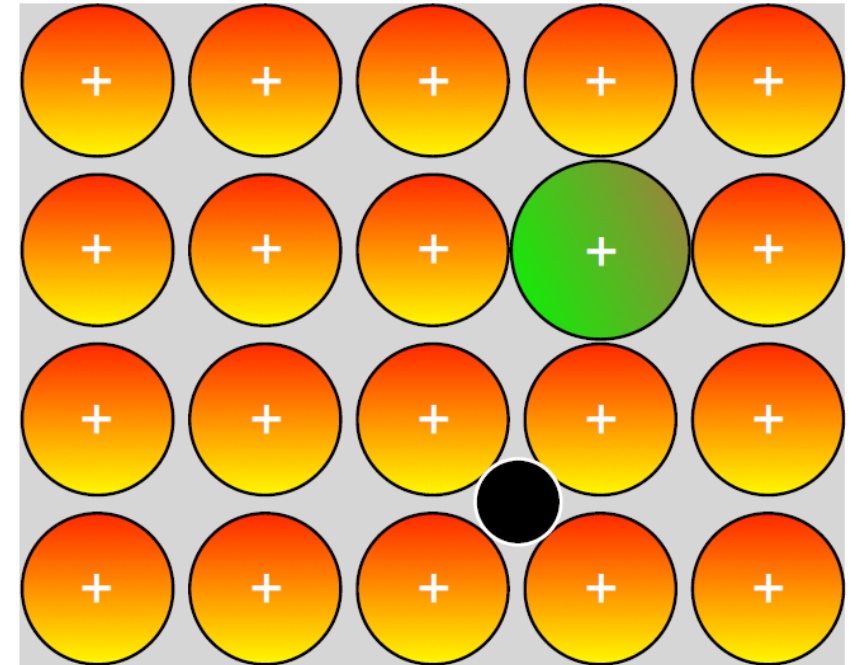
PKK	a (nm)	TKK	a (nm)	TPH	a / c (nm)
alumiini	0,405	kromi	0,288	beryllium	0,229 / 0,358
kupari	0,362	rauta	0,287	cadmium	0,298 / 0,562
kulta	0,408	molybdeeni	0,352	koboltti	0,251 / 0,407
lyijy	0,495	niobi	0,329	magnesium	0,321 / 0,521
nikkeli	0,352	wolframi	0,312	titaani	0,295 / 0,468
platina	0,323	vanadiini	0,303	sinkki	0,266 / 0,495

# Liukoisuus

Kiinteässä aineessa liukoisuus liittyy kemiallisten ominaisuuksien lisäksi kiderakenteeseen.

**Korvausliuos:** Liuenneet atomit korvaavat hilassa liuotin atomin.

**Välisijaliuos:** Liuenneet atomit ovat hilaan jäävissä tyhjissä kohdissa.



# Korvausliuos

Hume-Rotheryn säännöt korvausliuokselle.

**Täydellinen** liukoisuus edellyttää:

1. Samanlaiset atomisäteet (alle 15% ero)
2. Sama kiderakenne
3. Sama elektronegatiivisuus
4. Sama valenssi

Huom! Nämä säännöt ovat nyrkkisääntöjä. Mitä useammat toteutuvat, yleensä sitä suurempi liukoisuus.

Esimerkki 1, Kupari ja nikkeli, **täydellinen liukoisuus:**

	Kupari:	Nikkeli:
Atomisäde	0.128 nm	0.125 nm
Elektronegatiivisuus	1.9	1.9
Kiderakenne	pkk	pkk
Valenssi	1, 2	2

Esimerkki 2, Pronssi (kupari ja tina), **osittainen liukoisuus:**

	Kupari:	Tina:
Atomisäde	0.128 nm	0.158 nm
Elektronegatiivisuus	1.9	1.8
Kiderakenne	pkk	tetragonaalinen
Valenssi	1, 2	4

# Välisijaliuos

Hume-Rotheryn säännöt välisijaliuokselle:

1. Välisija-atomi alle 15% liuotin atomin koosta
2. Sama elektronegatiivisuus
3. Sama valenssi

Esimerkki: Teräs (rauta ja hiili), **osittainen liukoisuus:**

	Rauta:	Hiili:
Atomisäde	0.124 nm	0.077 nm
Elektronegatiivisuus	1.8	2.5
Valenssi	2,3	4

# Yhteenveto metallien rakenteesta:

1. Metallisidos ei edellytä tiettyä suuntaa tai vastakkaismerkkistä naapuria.

suorasti ja epäsuorasti tästä johtuen:

2. **Puhtaiden** metallien kiderakenteet ovat **yksinkertaisia** ja pääasiassa **tkk, pkk tai tph**

3. Metallit **kiteytyvät helposti** ja melkein aina metallit ovat **monikiteisiä**

4. Monet metallit **liukenevat toisiinsa** ainakin **osittain** ja metalleihin liukenee myös epämetalleja.

# Osa 3: Metallien ominaisuuksia

# Tiheys

Metallit ovat tyypillisesti tiheitä johtuen tiiviistä kiderakenteesta.

Pkk ja tph metallit hieman tiheämpiä kuin tkk.

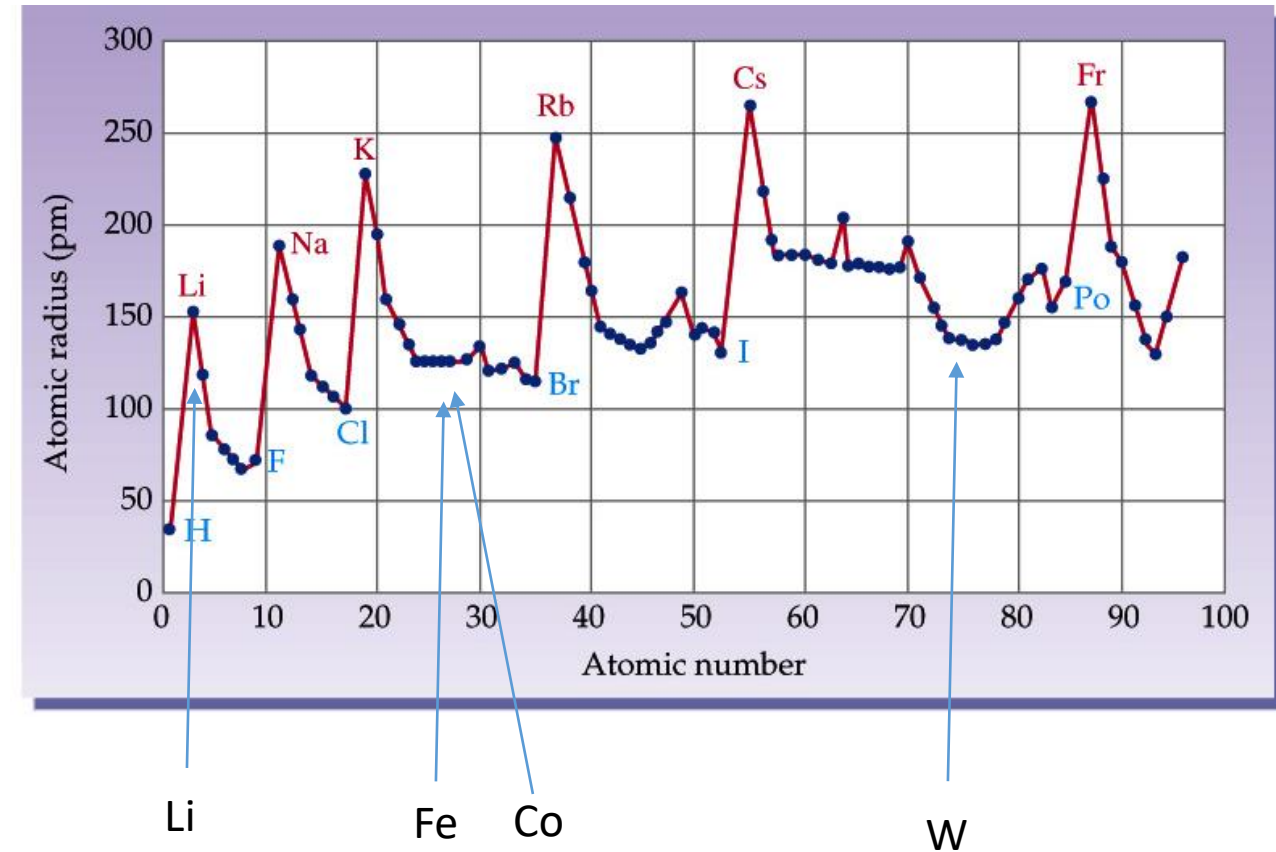
Tiheyserot metallien välillä selittyvät pääasiassa atomisäteiden ja atomimassojen kautta.

Li:  $534 \text{ kg/m}^3$  ( $Z=3$ , tkk)

Fe:  $7870 \text{ kg/m}^3$  ( $Z=26$ , tkk)

Co:  $8860 \text{ kg/m}^3$  ( $Z = 27$ , pkk)

W:  $19\,300 \text{ kg/m}^3$  ( $Z=74$ , tkk)





# Sulamispisteet

”Luento 2: Metalleilla on korkeat sulamispisteet johtuen metallisidoksen vahvuudesta.” Katsotaanpa tarkemmin.

**Ryhmä 1:** Matala sulamispiste, vain 1 valenssielektroni per atomi (esim. Na: 98°C, K: 64°C).

**Ryhmä 2:** Korkeammat sulamispisteet, 2 valenssielektronia (Mg: 650°C, Ca: 842°C)

**Transitiometallit:** Korkeat sulamispisteet. Maksimaalinen määrä metallisidokseen osallistuvia elektroneja kun epätäydellä d kuorella on 3-5 elektronia. (Ti: 1668°C, W: 3422°C)

The periodic table is color-coded by groups and physical states. A legend indicates: C Solid, Hg Liquid, H Gas, Rf Unknown. The legend also shows categories: Alkali metals, Alkaline earth metals, Lanthanoids, Actinoids, Transition metals, Poor metals, Other nonmetals, Noble gases, and Noble gases. A blue box highlights the transition metal region (groups 3-10, periods 4-7). A note states: "For elements with no stable isotopes, the mass number of the isotope with the most stable nucleus is shown." The table includes element symbols, atomic numbers, names, and atomic masses. The design and interface are copyrighted by Michael Dayah in 1997.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
1 H Hydrogen 1.00784	2 He Helium 4.002602	Atomic # Synd Name Atomic Mass										3 Li Lithium 6.941	4 Be Beryllium 9.012182	5 B Boron 10.811	6 C Carbon 12.011	7 N Nitrogen 14.00643	8 O Oxygen 15.999	9 F Fluorine 18.9984032	10 Ne Neon 20.1797	11 Na Sodium 22.98976928	12 Mg Magnesium 24.3050	13 Al Aluminum 26.9815386	14 Si Silicon 28.0855	15 P Phosphorus 30.973762	16 S Sulfur 32.06	17 Cl Chlorine 35.45	18 Ar Argon 39.948	19 K Potassium 39.0983	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.955912	22 Ti Titanium 47.887	23 V Vanadium 50.9415	24 Cr Chromium 51.9961	25 Mn Manganese 54.938045	26 Fe Iron 55.845	27 Co Cobalt 58.933195	28 Ni Nickel 58.6934	29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.38	31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.630	33 As Arsenic 74.9216	34 Se Selenium 78.96	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 83.80	37 Rb Rubidium 85.4678	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.90585	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.90638	42 Mo Molybdenum 95.96	43 Tc Technetium (97.9072)	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.90550	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.8682	48 Cd Cadmium 112.411	49 In Indium 114.818	50 Sn Tin 118.710	51 Sb Antimony 121.757	52 Te Tellurium 127.603	53 I Iodine 126.90547	54 Xe Xenon 131.29	55 Cs Caesium 132.9054519	56 Ba Barium 137.327	57-71 Lanthanoids	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.94788	74 W Tungsten 183.84	75 Re Rhenium 186.207	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.222	78 Pt Platinum 195.084	79 Au Gold 196.966569	80 Hg Mercury 200.59	81 Tl Thallium 204.3833	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.9804	84 Po Polonium (209)	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 (288)	110 Ds Darmstadtium (271)	111 Rg Roentgenium (272)	112 Uub Ununbium (285)	113 Uut Ununtrium (284)	114 Fl Flerovium (289)	115 Uup Ununpentium (288)	116 Uuq Ununhexium (289)	117 Uuh Ununheptium (288)	118 Uuo Ununoctium (289)	119 Uuq Ununennium (289)	120 Uuo Unbinilium (289)	121 Uuq Unbinilium (289)	122 Uuo Unbinilium (289)	123 Uuq Unbinilium (289)	124 Uuo Unbinilium (289)	125 Uuq Unbinilium (289)	126 Uuo Unbinilium (289)	127 Uuq Unbinilium (289)	128 Uuo Unbinilium (289)	129 Uuq Unbinilium (289)	130 Uuo Unbinilium (289)	131 Uuq Unbinilium (289)	132 Uuo Unbinilium (289)	133 Uuq Unbinilium (289)	134 Uuo Unbinilium (289)	135 Uuq Unbinilium (289)	136 Uuo Unbinilium (289)	137 Uuq Unbinilium (289)	138 Uuo Unbinilium (289)	139 Uuq Unbinilium (289)	140 Uuo Unbinilium (289)	141 Uuq Unbinilium (289)	142 Uuo Unbinilium (289)	143 Uuq Unbinilium (289)	144 Uuo Unbinilium (289)	145 Uuq Unbinilium (289)	146 Uuo Unbinilium (289)	147 Uuq Unbinilium (289)	148 Uuo Unbinilium (289)	149 Uuq Unbinilium (289)	150 Uuo Unbinilium (289)	151 Uuq Unbinilium (289)	152 Uuo Unbinilium (289)	153 Uuq Unbinilium (289)	154 Uuo Unbinilium (289)	155 Uuq Unbinilium (289)	156 Uuo Unbinilium (289)	157 Uuq Unbinilium (289)	158 Uuo Unbinilium (289)	159 Uuq Unbinilium (289)	160 Uuo Unbinilium (289)	161 Uuq Unbinilium (289)	162 Uuo Unbinilium (289)	163 Uuq Unbinilium (289)	164 Uuo Unbinilium (289)	165 Uuq Unbinilium (289)	166 Uuo Unbinilium (289)	167 Uuq Unbinilium (289)	168 Uuo Unbinilium (289)	169 Uuq Unbinilium (289)	170 Uuo Unbinilium (289)	171 Uuq Unbinilium (289)	172 Uuo Unbinilium (289)	173 Uuq Unbinilium (289)	174 Uuo Unbinilium (289)	175 Uuq Unbinilium (289)	176 Uuo Unbinilium (289)	177 Uuq Unbinilium (289)	178 Uuo Unbinilium (289)	179 Uuq Unbinilium (289)	180 Uuo Unbinilium (289)	181 Uuq Unbinilium (289)	182 Uuo Unbinilium (289)	183 Uuq Unbinilium (289)	184 Uuo Unbinilium (289)	185 Uuq Unbinilium (289)	186 Uuo Unbinilium (289)	187 Uuq Unbinilium (289)	188 Uuo Unbinilium (289)	189 Uuq Unbinilium (289)	190 Uuo Unbinilium (289)	191 Uuq Unbinilium (289)	192 Uuo Unbinilium (289)	193 Uuq Unbinilium (289)	194 Uuo Unbinilium (289)	195 Uuq Unbinilium (289)	196 Uuo Unbinilium (289)	197 Uuq Unbinilium (289)	198 Uuo Unbinilium (289)	199 Uuq Unbinilium (289)	200 Uuo Unbinilium (289)	201 Uuq Unbinilium (289)	202 Uuo Unbinilium (289)	203 Uuq Unbinilium (289)	204 Uuo Unbinilium (289)	205 Uuq Unbinilium (289)	206 Uuo Unbinilium (289)	207 Uuq Unbinilium (289)	208 Uuo Unbinilium (289)	209 Uuq Unbinilium (289)	210 Uuo Unbinilium (289)	211 Uuq Unbinilium (289)	212 Uuo Unbinilium (289)	213 Uuq Unbinilium (289)	214 Uuo Unbinilium (289)	215 Uuq Unbinilium (289)	216 Uuo Unbinilium (289)	217 Uuq Unbinilium (289)	218 Uuo Unbinilium (289)	219 Uuq Unbinilium (289)	220 Uuo Unbinilium (289)	221 Uuq Unbinilium (289)	222 Uuo Unbinilium (289)	223 Uuq Unbinilium (289)	224 Uuo Unbinilium (289)	225 Uuq Unbinilium (289)	226 Uuo Unbinilium (289)	227 Uuq Unbinilium (289)	228 Uuo Unbinilium (289)	229 Uuq Unbinilium (289)	230 Uuo Unbinilium (289)	231 Uuq Unbinilium (289)	232 Uuo Unbinilium (289)	233 Uuq Unbinilium (289)	234 Uuo Unbinilium (289)	235 Uuq Unbinilium (289)	236 Uuo Unbinilium (289)	237 Uuq Unbinilium (289)	238 Uuo Unbinilium (289)	239 Uuq Unbinilium (289)	240 Uuo Unbinilium (289)	241 Uuq Unbinilium (289)	242 Uuo Unbinilium (289)	243 Uuq Unbinilium (289)	244 Uuo Unbinilium (289)	245 Uuq Unbinilium (289)	246 Uuo Unbinilium (289)	247 Uuq Unbinilium (289)	248 Uuo Unbinilium (289)	249 Uuq Unbinilium (289)	250 Uuo Unbinilium (289)	251 Uuq Unbinilium (289)	252 Uuo Unbinilium (289)	253 Uuq Unbinilium (289)	254 Uuo Unbinilium (289)	255 Uuq Unbinilium (289)	256 Uuo Unbinilium (289)	257 Uuq Unbinilium (289)	258 Uuo Unbinilium (289)	259 Uuq Unbinilium (289)	260 Uuo Unbinilium (289)	261 Uuq Unbinilium (289)	262 Uuo Unbinilium (289)	263 Uuq Unbinilium (289)	264 Uuo Unbinilium (289)	265 Uuq Unbinilium (289)	266 Uuo Unbinilium (289)	267 Uuq Unbinilium (289)	268 Uuo Unbinilium (289)	269 Uuq Unbinilium (289)	270 Uuo Unbinilium (289)	271 Uuq Unbinilium (289)	272 Uuo Unbinilium (289)	273 Uuq Unbinilium (289)	274 Uuo Unbinilium (289)	275 Uuq Unbinilium (289)	276 Uuo Unbinilium (289)	277 Uuq Unbinilium (289)	278 Uuo Unbinilium (289)	279 Uuq Unbinilium (289)	280 Uuo Unbinilium (289)	281 Uuq Unbinilium (289)	282 Uuo Unbinilium (289)	283 Uuq Unbinilium (289)	284 Uuo Unbinilium (289)	285 Uuq Unbinilium (289)	286 Uuo Unbinilium (289)	287 Uuq Unbinilium (289)	288 Uuo Unbinilium (289)	289 Uuq Unbinilium (289)	290 Uuo Unbinilium (289)	291 Uuq Unbinilium (289)	292 Uuo Unbinilium (289)	293 Uuq Unbinilium (289)	294 Uuo Unbinilium (289)	295 Uuq Unbinilium (289)	296 Uuo Unbinilium (289)	297 Uuq Unbinilium (289)	298 Uuo Unbinilium (289)	299 Uuq Unbinilium (289)	300 Uuo Unbinilium (289)	301 Uuq Unbinilium (289)	302 Uuo Unbinilium (289)	303 Uuq Unbinilium (289)	304 Uuo Unbinilium (289)	305 Uuq Unbinilium (289)	306 Uuo Unbinilium (289)	307 Uuq Unbinilium (289)	308 Uuo Unbinilium (289)	309 Uuq Unbinilium (289)	310 Uuo Unbinilium (289)	311 Uuq Unbinilium (289)	312 Uuo Unbinilium (289)	313 Uuq Unbinilium (289)	314 Uuo Unbinilium (289)	315 Uuq Unbinilium (289)	316 Uuo Unbinilium (289)	317 Uuq Unbinilium (289)	318 Uuo Unbinilium (289)	319 Uuq Unbinilium (289)	320 Uuo Unbinilium (289)	321 Uuq Unbinilium (289)	322 Uuo Unbinilium (289)	323 Uuq Unbinilium (289)	324 Uuo Unbinilium (289)	325 Uuq Unbinilium (289)	326 Uuo Unbinilium (289)	327 Uuq Unbinilium (289)	328 Uuo Unbinilium (289)	329 Uuq Unbinilium (289)	330 Uuo Unbinilium (289)	331 Uuq Unbinilium (289)	332 Uuo Unbinilium (289)	333 Uuq Unbinilium (289)	334 Uuo Unbinilium (289)	335 Uuq Unbinilium (289)	336 Uuo Unbinilium (289)	337 Uuq Unbinilium (289)	338 Uuo Unbinilium (289)	339 Uuq Unbinilium (289)	340 Uuo Unbinilium (289)	341 Uuq Unbinilium (289)	342 Uuo Unbinilium (289)	343 Uuq Unbinilium (289)	344 Uuo Unbinilium (289)	345 Uuq Unbinilium (289)	346 Uuo Unbinilium (289)	347 Uuq Unbinilium (289)	348 Uuo Unbinilium (289)	349 Uuq Unbinilium (289)	350 Uuo Unbinilium (289)	351 Uuq Unbinilium (289)	352 Uuo Unbinilium (289)	353 Uuq Unbinilium (289)	354 Uuo Unbinilium (289)	355 Uuq Unbinilium (289)	356 Uuo Unbinilium (289)	357 Uuq Unbinilium (289)	358 Uuo Unbinilium (289)	359 Uuq Unbinilium (289)	360 Uuo Unbinilium (289)	361 Uuq Unbinilium (289)	362 Uuo Unbinilium (289)	363 Uuq Unbinilium (289)	364 Uuo Unbinilium (289)	365 Uuq Unbinilium (289)	366 Uuo Unbinilium (289)	367 Uuq Unbinilium (289)	368 Uuo Unbinilium (289)	369 Uuq Unbinilium (289)	370 Uuo Unbinilium (289)	371 Uuq Unbinilium (289)	372 Uuo Unbinilium (289)	373 Uuq Unbinilium (289)	374 Uuo Unbinilium (289)	375 Uuq Unbinilium (289)	376 Uuo Unbinilium (289)	377 Uuq Unbinilium (289)	378 Uuo Unbinilium (289)	379 Uuq Unbinilium (289)	380 Uuo Unbinilium (289)	381 Uuq Unbinilium (289)	382 Uuo Unbinilium (289)	383 Uuq Unbinilium (289)	384 Uuo Unbinilium (289)	385 Uuq Unbinilium (289)	386 Uuo Unbinilium (289)	387 Uuq Unbinilium (289)	388 Uuo Unbinilium (289)	389 Uuq Unbinilium (289)	390 Uuo Unbinilium (289)	391 Uuq Unbinilium (289)	392 Uuo Unbinilium (289)	393 Uuq Unbinilium (289)	394 Uuo Unbinilium (289)	395 Uuq Unbinilium (289)	396 Uuo Unbinilium (289)	397 Uuq Unbinilium (289)	398 Uuo Unbinilium (289)	399 Uuq Unbinilium (289)	400 Uuo Unbinilium (289)	401 Uuq Unbinilium (289)	402 Uuo Unbinilium (289)	403 Uuq Unbinilium (289)	404 Uuo Unbinilium (289)	405 Uuq Unbinilium (289)	406 Uuo Unbinilium (289)	407 Uuq Unbinilium (289)	408 Uuo Unbinilium (289)	409 Uuq Unbinilium (289)	410 Uuo Unbinilium (289)	411 Uuq Unbinilium (289)	412 Uuo Unbinilium (289)	413 Uuq Unbinilium (289)	414 Uuo Unbinilium (289)	415 Uuq Unbinilium (289)	416 Uuo Unbinilium (289)	417 Uuq Unbinilium (289)	418 Uuo Unbinilium (289)	419 Uuq Unbinilium (289)	420 Uuo Unbinilium (289)	421 Uuq Unbinilium (289)	422 Uuo Unbinilium (289)	423 Uuq Unbinilium (289)	424 Uuo Unbinilium (289)	425 Uuq Unbinilium (289)	426 Uuo Unbinilium (289)	427 Uuq Unbinilium (289)	428 Uuo Unbinilium (289)	429 Uuq Unbinilium (289)	430 Uuo Unbinilium (289)	431 Uuq Unbinilium (289)	432 Uuo Unbinilium (289)	433 Uuq Unbinilium (289)	434 Uuo Unbinilium (289)	435 Uuq Unbinilium (289)	436 Uuo Unbinilium (289)	437 Uuq Unbinilium (289)	438 Uuo Unbinilium (289)	439 Uuq Unbinilium (289)	440 Uuo Unbinilium (289)	441 Uuq Unbinilium (289)	442 Uuo Unbinilium (289)	443 Uuq Unbinilium (289)	444 Uuo Unbinilium (289)	445 Uuq Unbinilium (289)	446 Uuo Unbinilium (289)	447 Uuq Unbinilium (289)	448 Uuo Unbinilium (289)	449 Uuq Unbinilium (289)	450 Uuo Unbinilium (289)	451 Uuq Unbinilium (289)	452 Uuo Unbinilium (289)	453 Uuq Unbinilium (289)	454 Uuo Unbinilium (289)	455 Uuq Unbinilium (289)	456 Uuo Unbinilium (289)	457 Uuq Unbinilium (289)	458 Uuo Unbinilium (289)	459 Uuq Unbinilium (289)	460 Uuo Unbinilium (289)	461 Uuq Unbinilium (289)	462 Uuo Unbinilium (289)	463 Uuq Unbinilium (289)	464 Uuo Unbinilium (289)	465 Uuq Unbinilium (289)	466 Uuo Unbinilium (289)	467 Uuq Unbinilium (289)	468 Uuo Unbinilium (289)	469 Uuq Unbinilium (289)	470 Uuo Unbinilium (289)	471 Uuq Unbinilium (289)	472 Uuo Unbinilium (289)	473 Uuq Unbinilium (289)	474 Uuo Unbinilium (289)	475 Uuq Unbinilium (289)	476 Uuo Unbinilium (289)	477 Uuq Unbinilium (289)	478 Uuo Unbinilium (289)	479 Uuq Unbinilium (289)	480 Uuo Unbinilium (289)	481 Uuq Unbinilium (289)	482 Uuo Unbinilium (289)	483 Uuq Unbinilium (289)	484 Uuo Unbinilium (289)	485 Uuq Unbinilium (289)	486 Uuo Unbinilium (289)	487 Uuq Unbinilium (289)	488 Uuo Unbinilium (289)	489 Uuq Unbinilium (289)	490 Uuo Unbinilium (289)	491 Uuq Unbinilium (289)	492 Uuo Unbinilium (289)	493 Uuq Unbinilium (289)	494 Uuo Unbinilium (289)	495 Uuq Unbinilium (289)	496 Uuo Unbinilium (289)	497 Uuq Unbinilium (289)	498 Uuo Unbinilium (289)	499 Uuq Unbinilium (289)	500 Uuo Unbinilium (289)	501 Uuq Unbinilium (289)	502 Uuo Unbinilium (289)	503 Uuq Unbinilium (289)	504 Uuo Unbinilium (289)	505 Uuq Unbinilium (289)	506 Uuo Unbinilium (289)	507 Uuq Unbinilium (289)	508 Uuo Unbinilium (289)	509 Uuq Unbinilium (289)	510 Uuo Unbinilium (289)	5

# Sähkönjohtavuus ja lämmönjohtavuus

Elektronipilven elektronit liikkuvat vapaasti metalleissa.

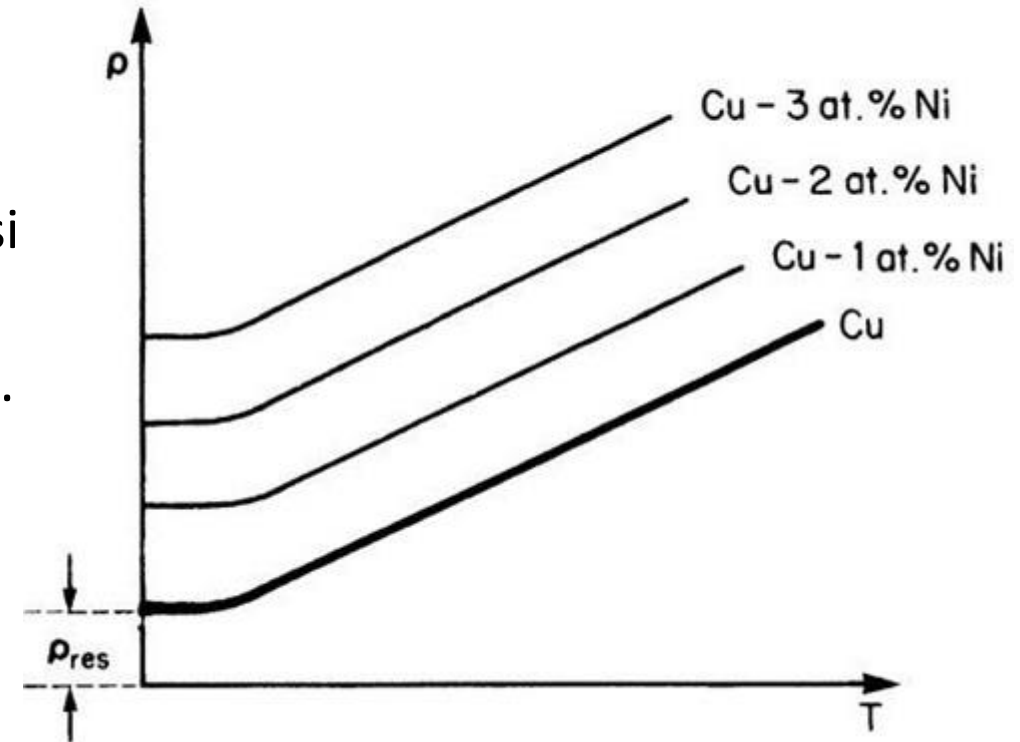
Tästä syystä metallit ovat hyviä sähkönjohteita.

Elektronit kuljettavat myös tehokkaasti lämpöä, minkä vuoksi kaikki metallit ovat myös lämmönjohteita.

(lämpöä siirtyy myös hilan atomien värähtelyjen välityksellä).

**Sähkön- ja lämmönjohtavuuteen vaikuttaa samat asiat.**

Esimerkiksi saostusatomit ja lämpövärähtely vaikeuttavat elektronien liikettä, eli laskevat sekä sähkön- että lämmönjohtavuutta.



Resistanssi lämpötilan ja saostuksen funktiona.  
Sama trendi pätee lämmönjohtavuudelle

# Metallinen väri

Metallit heijastavat valoa tehokkaasti johtuen vapaasta elektronipilvestä.

Tästä syystä kaikki metallit ovat kiiltäviä ja sileät metallit ovat peilejä.

Osalla metalleista on selkeä väri, esim. kulta ja kupari. Tätä on vaikea selittää klassisesti. Molemmilla on täysi 10 elektronia uloimmalla d kuorella ja 1 s kuorella. Tämä asetelma pystyy absorboimaan korkean energian fotoneja (eli sinistä)



Kultaa, hopeaa ja kuparia

# Metallit ovat lujia ja sitkeitä

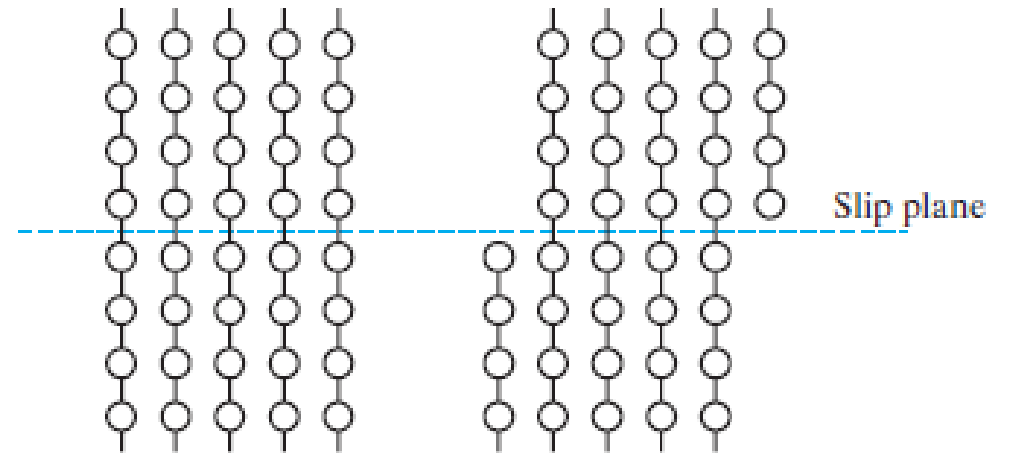
Lujuus: metallien tiheässä kiderakenteessa on paljon vahvoja metallisidoksia.

Sitkeys: Sitkeys edellytti venyvyyttä, eli kykyä plastiseen muodonmuutokseen, eli sidosten katkeamista ja uusien syntymistä.

Metallien sitkeys liittyy pääasiassa **mikrorakenteeseen**.

**Merkittävästi yksinkertaistettuna:**

- Metallien tiiviiden kiderakenteiden vuoksi etäisyys seuraavaan sidokseen on lyhyt.
- Seuraava naapuri on myös sama metalliatomi, joten sidos voi muodostua (vrt. keraami)
- Kiteen sisällä jos taso voi liukua yhden atomin verran eteenpäin niin se voi siirtyä myös seuraavan, jne.



Yhden atomitason liukuminen, venyvyyden ja sitkeyden perusta metalleissa.

	Metallit	Polymeerit	Keraamit	Luonnonmateriaalit
Tiheys:	Erittäin tiheä $\rho=1-10\text{g/cm}^3$			
Sulamispiste:	Korkea $T_m=500-1000^\circ\text{C}$			
Lujuus:	Luja T.S. 200-2000MPa			
Spesifinen lujuus:	Kohtuullinen 20-400 kNm/kg			
Sitkeys: lukuarvot vaikeasti Vertailtavissa	Sitkeä			
Sähkönjohtavuus:	Erinomainen johde $\rho= 1-100 \mu\text{ohm-cm}$			
Lämmön- johtavuus:	Erinomainen johde $\lambda =10-400 \text{W/m}^\circ\text{C}$			

Huom! Taulukossa annetaan tyypillinen haarukka ominaisuuksille. Aina on poikkeuksia.

# Osa 4: Esimerkkejä materiaaleista

# Rauta ja teräs

Puhdas rauta on pehmeäkö ja helposti ruostuva materiaali

**Teräs**  $0.05\% < C < 2\%$ . **Luja, sitkeä ja melko edullinen**

Luja ja sitkeä, lujuuden ja sitkeyden suhde muokattavissa saostuksella ja mikrorakenteella (mikä toisaalta pätee melkein kaikkiin metalleihin ja materiaaleihin)

Ominaisuuksien muokkaus (kromi -> ruostumattomuus, hiili -> lujuus)  
(ruostumaton teräs  $>4\%$  Cr)

Laajasti käytetty koska muokattava vai muokattava koska laajasti käytetty?

Standardisoituja teräslaatuja on valtava määrä. Kehitystyö jatkuu edelleen.

**Valurauta**  $C > 2\%$ . Matalampi sulamispiste, soveltuu hyvin valamiseen. Heikommät mekaaniset ominaisuudet kun teräksillä

# Alumiini

## **Luja tiheyteen nähden**

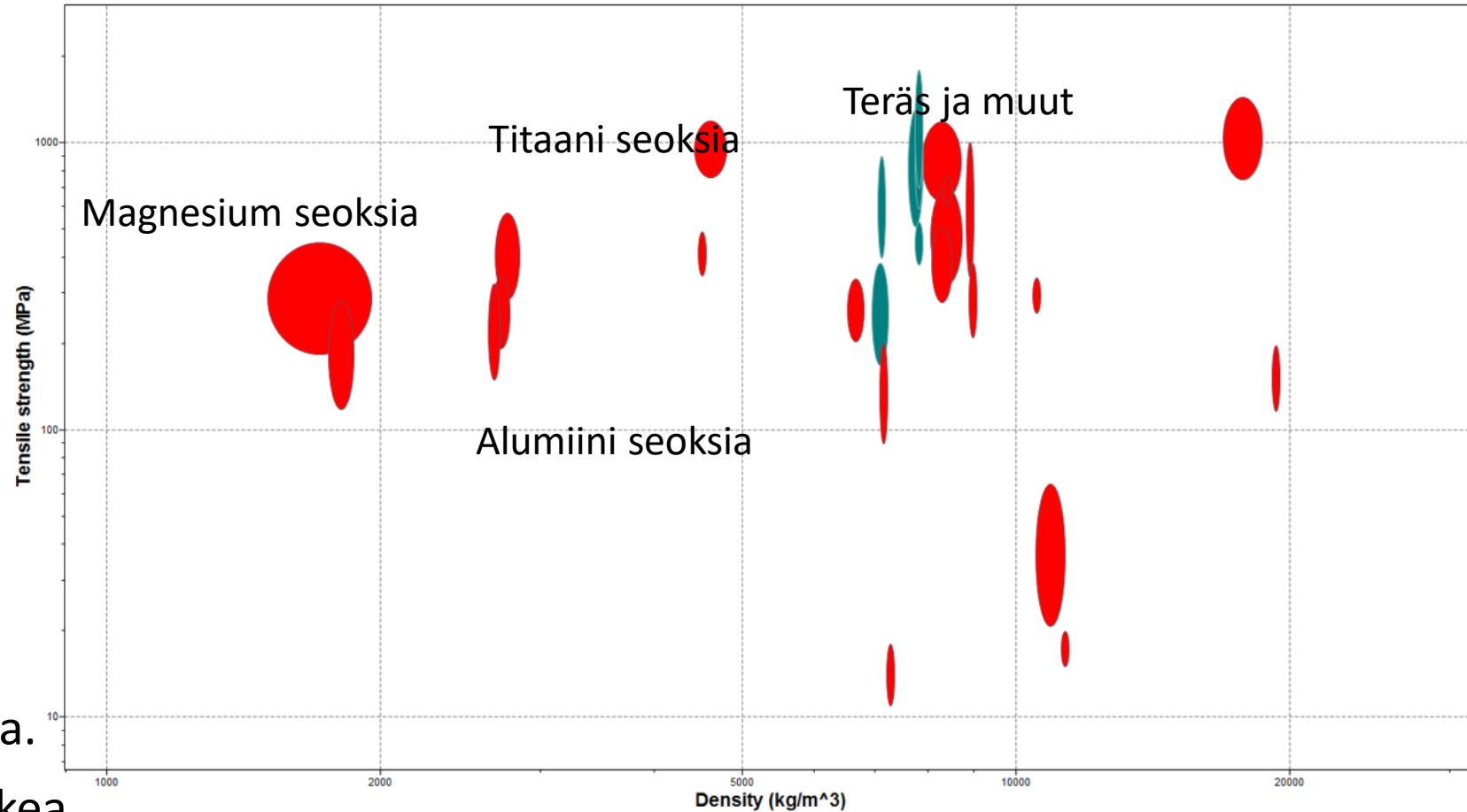
Korroosionkestävä muodostuvan alumiinioksidin takia

Käytetään kun keveys on tärkeätä, esim. autot, lentokoneet.

## **Magnesium:**

Magnesiumin seokset ovat vielä alumiiniakin kevyempiä ,ja niitäkin käytetään myös esim. lentokoneissa.

Magnesiumseoksien ongelmat: vaikea työstettävyys, yleensä heikompi lujuus.







# Lämmönkestävät metallit

Niobium, molybdeeni, volframi, rhenium ja tantaali omaavat erittäin korkean sulamispisteen  $>2200^{\circ}\text{C}$ .

Korkein sulamispiste on volframilla,  $3400^{\circ}\text{C}$ .

Mekaaniset ominaisuudet säilyvät hyvin korotetuissa lämpötiloissa.

Näitä kutsutaan yhteisnimellä refractory metals (tulenkestävät/lämmönkestävät metallit)

**Sovellukset:** esim. Reaktorikammiot, suihkumoottorien suuttimet ja muut korkeaa lämmönkestoa vaativat

**Ongelmat:**

Reaktiivisuus hapen kanssa.

Vaikea muokattavuus.

Legend:

- C Solid
- Hg Liquid
- H Gas
- Rf Unknown

Metals: Alkali metals, Alkaline earth metals, Lanthanoids, Actinoids, Transition metals, Poor metals

Nonmetals: Other nonmetals, Noble gases

For elements with no stable isotopes, the mass number of the isotope with the longest half-life is shown in parentheses.

Design and Interface Copyright © 1997 Michael Dayah (michael@dayah.com)

Ptable.com

# Superalloys

Korkeissa lämpötiloissa lujia ja korroosiokestäviä metalliseoksia.

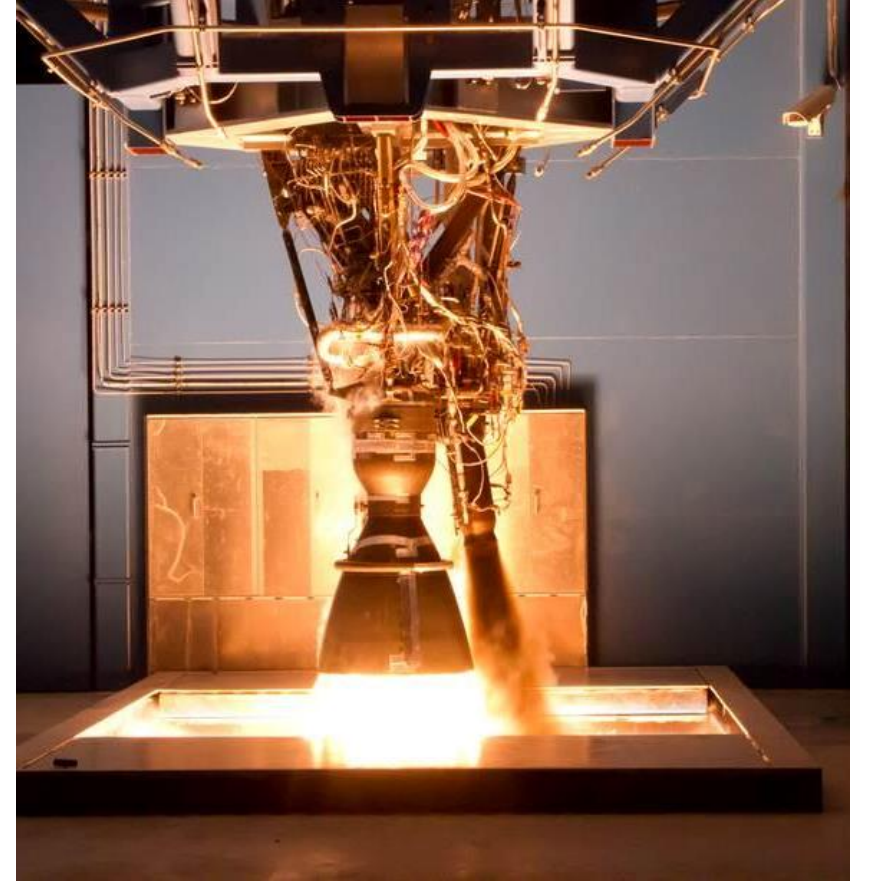
Useimmiten rauta, koboltti tai nikkeli pohjaisia seoksia.

Korroosiokesto alumiini tai kromi seostuksella.

Mekaaniset ominaisuudet seostamalla (liuoslujitus + mikrorakenteen muokkaus)

Esimerkki: kauppanimi Inconel ( $\approx 60\%$  Ni,  $\approx 20\%$  Cr,  $\approx 8\%$  Fe, + muita), sulamispiste  $\approx 1400^\circ\text{C}$

Käyttökohteita: turbiineissa, moottoreissa



Space X Merlin rakettimoottori, sisältää Inconelistä tehtyjä komponentteja

# Nestemäiset metallit

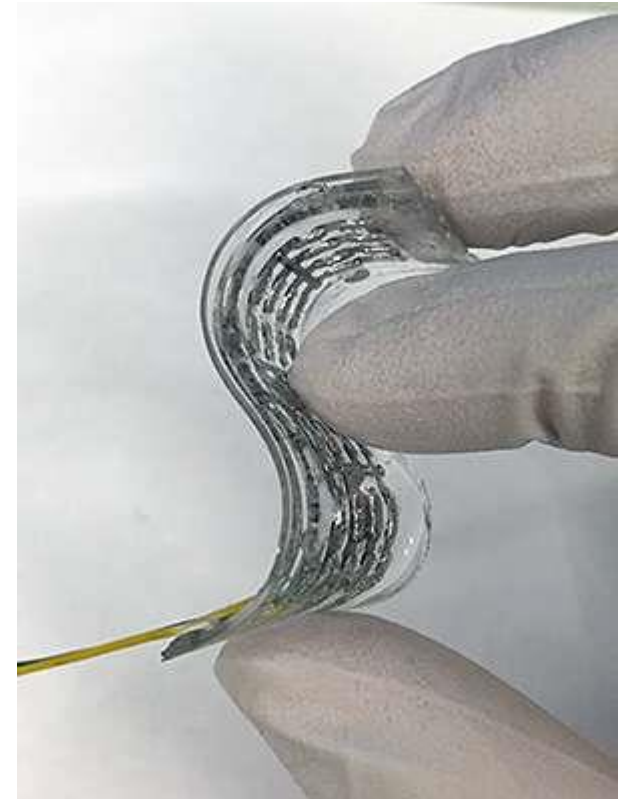
Puhtaista metalleita vain elohopea nestemäinen huoneenlämmössä.

Metalliseoksista nestemäisiä on esimerkiksi galliumin metalliseokset. Galinstan, gallium, indium, tina

Neste olomuodon takia mekaaniset ominaisuudet täysin erilaiset muihin metalleihin nähden, mutta esim. sähkön ja lämmönjohtavuus säilyy.

Sovelluksia:

Johteita venytettävään elektroniikkaan.  
Lämpömittari, lämmönsiirtimet.



Taivuteltavaa elektroniikkaa nestemäisellä metallijohteella

# Amorfiset metallit (metalli lasit)

Metalleista on vaikea mutta ei mahdotonta tehdä amorfista nopeasti jäädyttämällä.

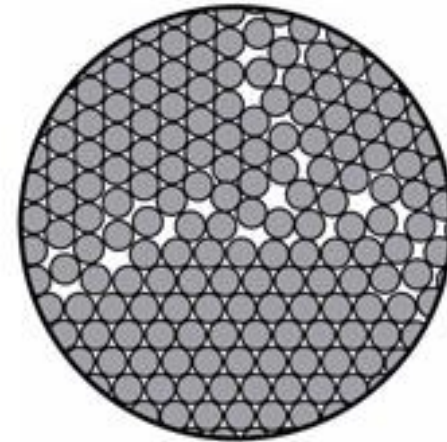
Erikokoisten metallien seoksella voidaan kasvattaa sulan metallin viskositeettiä ja siten hidastaa kiteytymistä.

Rauta, boori, pii ym. seoksia.

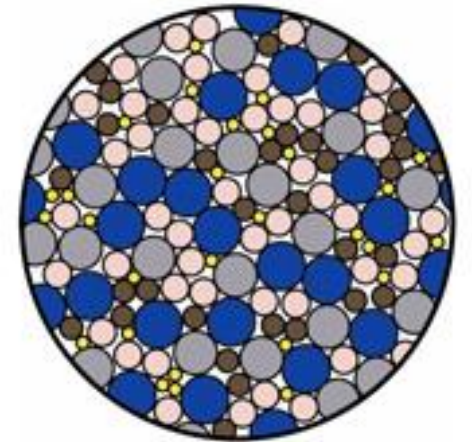
Ominaisuudet hyvinkin erilaisia normaaleihin metalleihin kiderajojen, ja kiderakenteen, puuttumisen seurauksena.

Amorfiset metallit ovat **lujia** ja niillä **on hyvä korroosion kesto**.

Amorfiset metallit **useimmiten hauraita**.



Monikiteinen metalli



Amorfinen metalli

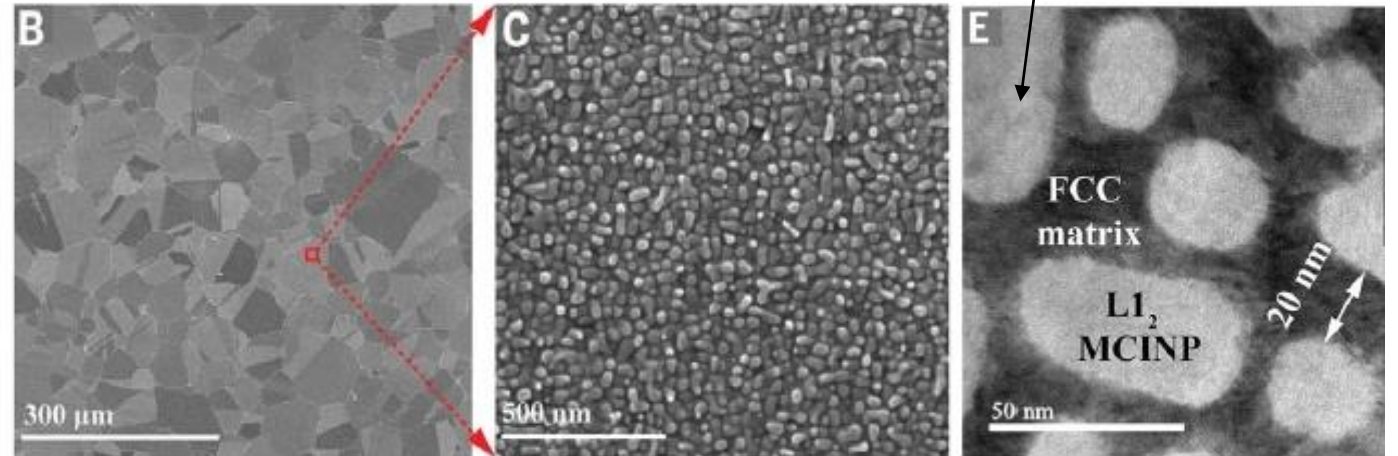
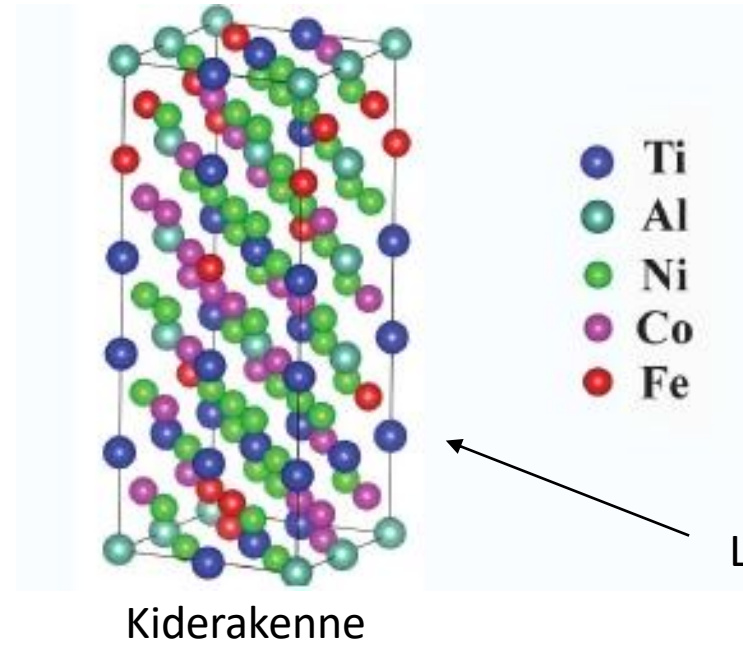
# High entropy alloys

Perinteiset metalliseokset pohjautuvat yhteen "runko" metalliin jonka ominaisuuksia muokataan saostamalla.

Tällä hetkellä cutting edge tutkimusta: High entropy alloys, eli seokset joissa on merkittäviä määriä monia eri atomeja.

Esimerkki<sup>[1]</sup>:  $(\text{FeCoNi})_{86\%}\text{Al}_{7\%}\text{Ti}_{7\%}$

Kyseisellä seoksella on **lujuuden (T.S. 1500 MPa) ja venyvyyden (50%) yhdistelmä**, mikä on parempi kuin perinteisillä seoksilla. **Eli materiaali on erittäin sitkeä.**



Mikrorakenne

Alue kirjasta: Shackelford 4.1 11.1

Lähteet:

Shackelford, Introduction to Materials Science for Engineers

Callister, Materials Science and Engineering an Introduction