



Pro gradu -tutkielma  
Fysiikan opettajan suuntautumisvaihtoehto

# Fysiikan opettajaksi opiskelevien kokonaiskuva fysiikan historiasta

Henri Lommi

31.10.2018

Ohjaaja(t): Professori Ismo Koponen  
Dosentti Maija Nousiainen

Tarkastaja(t): Professori Ismo Koponen  
Dosentti Maija Nousiainen

HELSINGIN YLIOPISTO

FYSIIKAN OSASTO

PL 64 (Gustaf Hällströmin katu 2a )

00014 Helsingin yliopisto

Tiedekunta — Fakultet — Faculty		Osasto — Institution — Department	
Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta		Fysiikan osasto	
Tekijä — Författare — Author			
Henri Lommi			
Työn nimi — Arbetets titel — Title			
Fysiikan opettajaksi opiskelevien kokonaiskuva fysiikan historiasta			
Oppiaine — Lärämne — Subject			
Fysiikan opettajan suuntautumisvaihtoehto			
Työn laji — Arbetets art — Level		Aika — Datum — Month and year	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages
Pro gradu -tutkielma		31.10.2018	52 + 16 liitesivua
Tiivistelmä — Referat — Abstract			
<p>Tämän pro gradu -tutkielman tavoitteena on ollut kehittää verkostanalyysiin perustuva menetelmä, jolla voidaan tunnistaa fysiikan opettajaksi opiskelevien kollektiivisesta näkemyksestä fysiikan historian kokonaiskuva käsittäen keskeiset tekijät, sisällöt sekä kokonaisuudet. Fysiikan opettaja joutuu työssään arvottamaan runsaasti erilaisia opetettavia sisältöjä. Tässä tutkielmassa pyritäänkin muodostamaan menetelmä, jolla voidaan havainnoida ja arvioida keskeisistä sisällöistä sekä niiden keskinäisistä suhteista koostuva aineisto. Menetelmän mukaisia tuloksia voidaan käyttää tieteen historia pohjaisen opetuksen suunnitteluun ja kehittämiseen.</p> <p>Kymmeneltä Helsingin yliopiston Fysiikan historia -kursseille osallistuneelta opiskelijalta on kerätty kollektiivisesti aineisto, joka on saatettu verkostanalyysin muotoon. Aineistona toimii opettajaopiskelijoiden koostama fysiikan historiaan liittyvien aiheiden toisiinsa kytkeytynyt kokonaisuus. Menetelmä kokonaiskuvan hahmottamiseksi perustuu aineiston jakamiseen osiin ajanjaksojen perusteella ja osista määrätyn kokoisten otosten arvioimiseen aste- ja Katz-keskeisyyksien perusteella sekä modulaarisuudella yhtenäisten kokonaisuuksien löytämiseksi. Kokonaiskuvan keskeisten sisältöjen arvioimiseen on käytetty Katz-keskeisyyttä sekä tämä luotettavuuden arviointiin aineistoa vastaavaa konfiguraatiomallia. Kokonaiskuvien havainnollistamiseksi on lisäksi käytetty sosiaalisen verkon esitystavoista kahta jousimalliin pohjaavaa asettelua.</p> <p>Verkostanalyysin keinoin voidaan kehittää menetelmä, jolla voidaan arvioida fysiikan opettajaopiskelijoiden kokonaiskuvaa fysiikan historiasta. Kokonaiskuvan luotettavaa tarkastelua varten tulee valita riittävän laajoja ja pitkiä ajanjaksoja. Kokonaiskuvaa hahmottaessa käy ilmi, kuinka fysiikan historia osana tieteenhistoriaa erkaantuu yleisestä historiasta edetessä kohti nykypäivää. Kokonaiskuvaan muodostuu selkeitä teemallisia kokonaisuuksia kokoavien aihepiirien kuten tieteellisen, teollisen tai Ranskan suureen vallankumouksen sekä ensimmäisen maailman sodan ympärille. Sähkömagnetismi, kvanttimekaniikka sekä A.Einstein ja suhteellisuusteoriat nousevat esiin erityisesti fysiikan historiasta. Instituutioista ainoastaan Nobel-palkinto nousee keskeiseksi. Osalla historiallisista aiheista on jatkuvuutta takaava keskeinen rooli, kun taas toiset aiheista ovat vain hetkellisesti hyvin valovoimaisia.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords			
Fysiikan historia, Menetelmäkehitys, Verkostanalyysi, Katz-keskeisyys, Modulaarisuus			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited			
Helsingin yliopiston kirjasto, E-thesis			
Muita tietoja — övriga uppgifter — Additional information			

# Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Fysiikan historia opetuksessa</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Verkostoanalyysi</b>	<b>5</b>
3.1	Verkko . . . . .	6
3.2	Katz-keskeisyys . . . . .	8
3.3	Konfiguraatiomalli . . . . .	11
3.4	Yhteisöt ja modulaarisuus . . . . .	12
3.5	Kompleksisten verkkojen piirteitä . . . . .	14
<b>4</b>	<b>Tutkimusongelmat</b>	<b>16</b>
<b>5</b>	<b>Tutkimuksen suoritus</b>	<b>18</b>
5.1	Tutkimusaineisto . . . . .	18
5.2	Menetelmä . . . . .	20
<b>6</b>	<b>Tulokset</b>	<b>24</b>
6.1	Analysoitavan aliverkon koko . . . . .	25
6.2	Katz-keskeisyys aliverkoille . . . . .	27
6.3	Aliverkkojen yhteisöt . . . . .	30
6.4	Ajanjaksojen kokonaiskuvat . . . . .	35
6.5	Reliabiliteetti . . . . .	40
6.6	Validiteetti . . . . .	43
<b>7</b>	<b>Tulosten tarkastelua ja johtopäätökset</b>	<b>47</b>
	<b>Lähteet</b>	<b>50</b>
	<b>Liite A Aineiston keräämisessä käytetty tehtävänanto</b>	<b>53</b>
	<b>Liite B Muutokset opiskelijoiden palautuksiin</b>	<b>55</b>
	<b>Liite C Verkostoanalyysin kvantitatiiviset tulokset</b>	<b>62</b>
	<b>Liite D Aliverkkojen yhteisöjen jäsenet</b>	<b>63</b>

# 1. Johdanto

Opetuksen kannalta keskeisten asioiden tunnistaminen ja määrittäminen on perustavanlaatuinen osa fysiikan opettajan kompetenssia. Opettaja joutuu arvottamaan erinäisiä syistä opetettavia sisältöjä niin opetustyössään kuin opetuksen kehittämisen yhteydessä. Näitä syitä ovat esimerkiksi opetuksen kohteena olevat oppilaat sekä opetuksen puitteet niin opetussuunnitelman tavoitteiden kuin oppikirjojen ja oppimisympäristöjen suhteen. Opettajan kokonaisvaltainen ainedidaktinen osaaminen nousee sisältöjen arvottamisen yhteydessä tärkeään rooliin. Yksi tärkeä osa tätä osaamista on fysiikan ja yleisesti tieteen historian tuntemus. Tästä on hyötyä niin fysiikan opettavien ainesisältöjen kontekstualisoimisessa laajempaan kokonaisuuteen kuin myös tieteellisen tiedon luonteen opettamisessa sekä fysiikan ja teknologian merkityksen osoittamisessa yhteiskunnan kehityksen kannalta (Höttecke & Silva, 2011). Hyödyistä jälkimmäiset on listattu myös lukion opetussuunnitelman tavoitteisiin fysiikan opetuksessa (Opetushallitus, 2015, s. 152).

Luonnontieteiden historiallinen lähestymistapa voi edesauttaa oppilaiden kiinnostumista aiheesta, tukea heidän tieteellisen tiedon ymmärtämistä ja kriittistä ajattelua sekä saada myös tytöt paremmin jatkamaan luonnontieteiden opiskelua (Matthews, 1988). Lisäksi historiallinen lähestymistapa luonnontieteiden opetuksessa voidaan mieltää toimivan siltanana *kahden kulttuurin* välillä; näin on mahdollista kaventaa luonnontieteiden ja humanististen tieteiden välistä kuilua (Matthews, 1988; Snow, 1959). Opetustapoja, jotka tukevat historiallista lähestymistapaa tai nojaavat siihen, ovat puolestaan esimerkiksi narratiivit ja roolileikit (Höttecke & Silva, 2011). Näiden avulla voidaan hyvin lähestyä yksittäisiä fysiikan kannalta keskeisiä historiallisia tapahtuma- ja kehityskulkuja erinäisten luonnontieteiden lakien ja mallien syntyprosessien takana.

Fysiikan historian tuntemus voi edesauttaa opetuksen suunnittelua ja toteutusta myös muilla tavoin. Kun oppilaita ohjataan tutkimaan ja selittämään luonnontieteellistä ilmiötä, on heillä taipumuksena toisintaa ja esittää samoja malleja ja lakeja sekä käsitteenmuodostuksen kulkuja kuin, mitä tieteen historia osoittaa olleen hallitseva näkemys samaiselle ilmiölle kullakin ajanjaksolla fysiikan kehityksessä (Matthews, 1988). Lisäksi historiallisesti merkittävien kiintopisteiden selventäminen oppilaille valitusta aiheesta

ennen varsinaisen sisällön tarjoamista edesauttaa uuden tiedon jäsentämistä relevanttiin kontekstiin ja auttaa oppilaita sijoittamaan tapahtumat kronologisesti ja oikeaan laajempaan historialliseen kehykseen (van Boxtel & van Drie, 2012). Lukion opetussuunnitelmaa tarkastelemalla havaitaan, että fysiikan opetuksen keskeisistä sisällöistä suurin osa voidaan alkuperältään ajoittaa aikavälille 1500–1950. Näin ollen voisi olettaa, että edellä kuvattuja opetustapoja hyödyntäen fysiikan historian kannalta merkittävien kiintopisteiden selvittäminen oppilaille ennen uuden sisällön opettamista voisi edesauttaa oppimista ja täten välttää yleisimmät virhekäsitykset, mitä fysiikan oppimisessa usein esiintyy.

Historialliset tapahtumaketjut koostuvat useista eri tekijöistä ja ovat helposti hyvinkin monitahoisia. Yksittäisen kehityskulun takana voi olla useita toisistaan riippumattomia tai riippuvia tekijöitä ja se saattaa vaikuttaa lukuisiin eri tahoihin monilla eri tavoin. Tällaisen kompleksisuuden kanssa painiminen voi olla opiskelijalle hyvinkin turhauttavaa. Sama pätee myös fysiikan oppimiseen. Ernst Mach on ollut yksi ensimmäisistä fyysikoista, joita pohditutti luonnontieteiden pedagogiset haasteet (Matthews, 1988) ja Mach onkin luonnehtinut, kuinka ilman kehystä kerätyt käsitteet, periaatteet ja lait saavat oppijan kulkemaan yhä uudestaan samoja tuloksettomia polkuja: "*I know of nothing more terrible than the poor creatures who have learned too much. ... What they have acquired is a spider's web of thoughts too weak to furnish sure supports, but complicated enough to produce confusion.*" (Mach, 1898, s. 367).

Kompleksisuutta tulisi jotenkin hallita ja havainnoida, jotta siitä voidaan muodostaa ehyt kokonaisuus. Fysikaalisten tieteiden kansantajuistajana vahvasti toiminut Heinz Pagels on esittänyt, että tieteen tekemisen uusi paradigma tulee olemaan tieteenalaa katsomatta kompleksisuuden hallinta ja tietokone sen keskeisin tutkimusväline (1988, s. 318–319). Poimintana Pagelsin listaamista esimerkeistä kompleksisten kokonaisuuksien tutkimusaloista voidaan luonnontieteiden lisäksi mainita kulttuurin kehityksen tutkiminen ja kognitiotieteet.

Tämän pro gradu -tutkielman tavoitteena on vastata edellä esitettyihin haasteisiin ja tuottaa verkostanalyysiin perustuva menetelmä fysiikan historian kompleksisuuden hallintaan. Tarkoituksena on kehittää tapa tuottaa fysiikan opettajaopiskelijoiden kollektiivisesta fysiikan historian näkemyksestä kokonaiskuva ja tunnistaa siitä keskeiset sisällöt. Tutkimuksen päämääränä on validoida menetelmä, jotta sitä voidaan käyttää jatkossa samankaltaisen ongelmanasettelun tutkimiseen ja aineiston analysoimiseen. Tällä pyritään mahdollistamaan tehokas keino havainnoida ja arvioida keskeisistä sisällöistä sekä niiden keskinäisistä suhteista koostuva aineisto. Näin voidaan arvioida, miten ja mihin analyysillä saatua tietoa fysiikan opetuksen kannalta voitaisiin käyttää.

## 2. Fysiikan historia opetuksessa

Fysiikan opetuksessa moni keskeinen sisältö kantaa mukanaan jonkun tai joidenkin kuuluisien historiallisten fyysikoiden nimiä. Näistä voidaan ehdottomasti keskeisimpänä mainita esimerkiksi Newtonin lait sekä gravitaatiolaki ja Maxwellin lait. Molempien tapauksissa teorioiden taustalla löytyy kuitenkin valtava joukko muita tieteen tekijöitä, jotka jäävät lain maininnan yhteydessä paitsioon (Darrigol, 1999; Rosenfeld, 1965). Edellä mainituille teorioille voitaisiin korvaavasti käyttää nimityksinä gravitaatiolaki sekä dynamiikan ja sähkömagnetismin peruslait. Myös monet muut fysiikan teoriat ja löydökset ovat nimetty aiheen taustalla olevien fyysikoiden mukaan. Mainittakoon kuitenkin poikkeuksena termodynamiikka, jossa useimmin puhutaan ennemminkin termodynamiikan pääsäännöistä kuin Maxwellin, Clausiuksen, Carnot'n ja Nernstin pääsäännöistä.

Edellä kuvattu tilanne tieteen nimeämisestä ilmenee myös tavallaan tieteen historian opetuksessa. Tendenssinä onkin yksinkertaistaa historiallisia kehityskulkuja, luonnon mallintamista laeiksi tai henkilöhistorioita epistemologian kustannuksella. Henkilöihin yhdistetään herkästi yksinkertaistavia kaskuja, kuten I. Newtonin päähän pudonnut omena, joka toimi kimmokkeena gravitaation keksimiselle tai A. Einsteinilla valosähköinen ilmiö fotonin selityksenä (Allchin, 2004). Pienellä otannalla lokaalisti selvitettyä on havaittu, että noin puolet opettajista, jotka käyttävät historiallista kontekstia lähestymistapana opetuksessa, käytettävät nimenomaan opetettavaan aiheeseen liittyviä soveltuvia anekdootteja (Galili & Hazan, 2001).

Leite (2002) puolestaan esittää, kuinka tieteen historia on oppikirjoissa usein vain päälle liimattua ja valinnaista aineistoa. Oppikirjan kirjoittajilla on iso rooli ja vastuu siinä, että tiede ja tieteelliset läpimurrot eivät vaikuttaisi vain odottavan oikeita individuaaleja löytämään niitä vaan antaisi myös laajemman kuvan ja tarjoaisi kytköksen muuhun historiaan. Oppilaiden opiskelua ohjaa vahvasti arviointi ja yksittäinen tieteen historian sivu on siinä mitätön, jos sen osaamista ei arvioida. Kuitenkin juuri nämä tekstit voisivat olla niitä, joilla voidaan esittää tieteen dynaamisuus ja kehittyminen. (Leite 2002.)

Koponen ja Nousiainen (2018) ovat tutkineet yliopisto-opiskelijoiden kokonaiskuvaa tieteen historiasta tarkastelemalla kahdella eri verkostanalyysin menetelmällä (lokaali ja globaali) opiskelijoiden assosiativisesta tietämyksestä koostettua historiallista maisemaa (*historical landscape*), joka koostuu tieteen historiasta, tieteellisistä ideoista, keksinnöistä ja tapahtumista kaikki osana laajempaa yleistä historiaa. Lokaalin menetelmän perusteella opiskelijoiden näkemys tieteen historiasta on hyvin henkilökeskeinen kaikilla tarkastelluilla ajanjaksoilla välillä 1550–1850, sillä suurin osa tärkeimmistä aiheista aineistossa on luonnontieteilijöitä. Sen sijaan globaali menetelmä tarjoaa toiseen kuvan ajanjakson jälkimmäiselle osalle 1730–1850: teollinen ja Ranskan suuri vallankumous kokoavina käsitteinä, Ranskan akatemia instituutiona ja valistus ideologiana nousevat hyvin keskeisiksi ja jopa henkilöitä tärkeämmiksi. (Koponen ja Nousiainen 2018.)

## 3. Verkostoanalyysi

Verkostoanalyysi on määrällinen analyysimenetelmä, jolla voidaan hahmottaa ja jäsentää kompleksisia systeemejä niin kokonaisuutena, kuin systeemin toisiinsa liittyvistä yksityiskohdista. Verkostoanalyysi perustuu graafiteoriaan ja menetelmän juuret voidaankin mieltää ulottuvan 1700-luvulle, jolloin Leonard Euler on osoittanut Königsbergin siltaongelman mahdottomaksi ratkaista (Newman, 2003). Ratkaiseva osa ratkaisua on nimenomaan ollut ongelman pelkistäminen graafin eli verkon muotoon.

Verkostoanalyysi tarjoaa muun muassa vaihtoehtoisia lähestymistapoja jäsentää ja uudelleen hahmottaa jo tunnettuja näkökulmia tieteen historian muutoksista ja löydöistä (Börner & Scharnhorst, 2009). Verkkona esitetystä systeemistä, kuten esimerkiksi toisiinsa nivoutuneista historiallisista kehityskuluista koostuva rakenne, voidaan verkostoanalyysin keinoin tunnistaa erilaisilla keskeisyysmitoilla (Estrada, 2012) merkittävimmät eli keskeiset sisällöt. Keskeisyysmittoihin liittyy vahvasti käsite vuosta, joka välittää verkossa jotain tarkasteltavana olevaa prosessia verkon jäsenien kesken määrättyjä yhteyksiä pitkin. Keskeisyysmitta tulee valita siten, että se on suunniteltu mittaamaan tarkastelun alla olevaa vuoprosessia (Borgatti, 2005). Keskeisyyden lisäksi verkostoanalyysin keinoin voidaan hahmottaa ja tunnistaa verkkona esitetyn systeemin osioita eli yhteisöjä (*community structure*) sekä niiden koostumista klustereista tai moduuleista (Estrada, 2012).

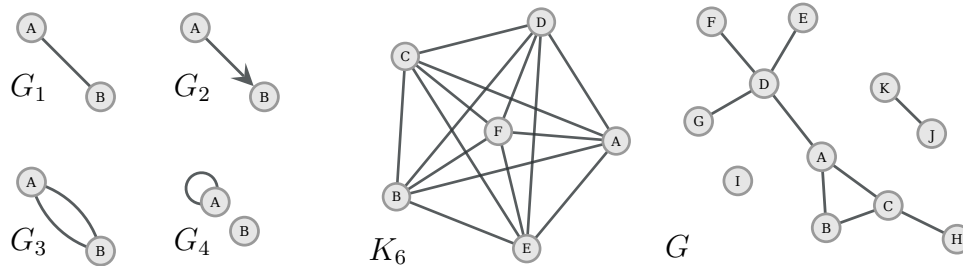
Tässä kappaleessa esitellään tutkimusaineistolle tehtävän analyysin kannalta oleellinen verkostoanalyysiin liittyvä teoria: verkko ja siihen liittyvät peruskäsitteet, verkon solmun aste ja Katz-keskeisyys, konfiguraatiomalli sekä verkon modulaarisuus. Matemaattisesti formaalien määritelmien esittämisen sijaan kuvaillaan keskeiset sisällöt sanallisesti sekä havainnollistetaan kuvin. Tutkimusmenetelmien osalta keskeiset kaavat esitetään kuitenkin formaalissa muodossa. Kappaleen lopussa esitetään lisäksi tyypillisimpiä tutkimusaineiston kaltaisten verkkojen ominaispiirteitä.



## 3.1 Verkko

Oletetaan systeemi, jossa ovat kaksi tekijää  $A$  ja  $B$  sekä näiden välillä esiintyvä yhteys. Matemaattisesti tämä voidaan esittää verkkona eli graafina, joka voidaan määrittellä esittämällä tekijät solmuina  $v_A$  ja  $v_B$  sekä näiden välinen yhteys vastaavuuskuvauksena  $e_{(A,B)}$  eli solmujen välisenä särmänä. Vastaavuuskuvausta esittävän särmän voidaan mieltää välittävän jonkin prosessin vuota (esim. vaikutusvaltaa tai informaatiota) kahden solmun välillä (Borgatti, 2005). Yleisemmin verkko  $G$  on kaaviollinen kuvaus systeemistä, joka koostuu systeemin olioita kuvaavien solmujen (*vertex*, *node*) joukosta  $V = v_0 \dots v_n$  sekä solmuparien välisiä määrätynlaisia yhteyksiä kuvaavien särmien (*edge*, *link*, *arc*) joukosta  $E = e_0 \dots e_m$ . (Estrada, 2012, s. 4 ja Savolainen, 2001, s. 7)

Määritelmänsä puolesta jo kahden solmun kokoisille verkoille voidaan esittää useita erilaisia tapauksia (kuva 3.1, verkot  $G_1$ – $G_4$ ). Verkkoa, jossa esiintyy kaikki mahdolliset särmät, kutsutaan täydelliseksi verkoksi (esim. kuva 3.1 verkko  $K_6$ ) (Savolainen, 2001, s. 20). Verkkoina mallinnettavat systeemit ovat kuitenkin harvoin täydellisiä ja näin ollen vain muutamastakin solmusta voidaan koostaa verkko hyvin monella eri tapaa. Tästä esimerkkinä kuvan 3.1 verkko  $G$ , jossa on 11 solmua ja 8 särmää.



**Kuva 3.1:** Esimerkki verkoista: suuntaamaton verkko  $G_1$ , suunnattu verkko  $G_2$ , verkko  $G_3$  moninkertaisilla särmillä sekä silmukka ja eristetty solmu verkossa  $G_4$ , täydellinen verkko  $K_6$  ja useamman komponentin verkko  $G$ .

Tässä tutkimuksessa keskitytään tarkastelemaan vain suuntaamattomia yksinkertaisia verkkoja, joten niissä ei tule kuvan 3.1 verkon  $G_4$  tavoin esiintymään silmukoita eikä verkon  $G_3$  tavoin kahden mielivaltaisesti valitun solmun välisiä rinnakkaisia särmiä. Lisäksi rajataan tarkastelu vain äärellisen kokosiin verkkoihin eli niissä esiintyy rajallinen määrä solmuja.

Tarkastellaan kuvassa 3.1 esitettyä verkkoa  $G$ , jossa solmujen määrä on 11. Mielivaltaisesta verkosta  $G_i$ , jossa on  $n = \#V$  solmua voidaan muodostaa erilaisia verkkoja kaavan

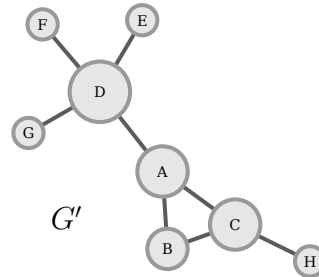
$$\#G_i = \sum_{i=0}^N \binom{N}{i} = 2^{n \cdot (n-1)/2} \quad (3.1)$$

mukaisesti, missä mahdollisten särmien määrä  $N = \#E = n \cdot (n-1)/2$ . Näin ollen tarkasteltavan verkon  $G$  solmujen määrällä voitaisiin muodostaa noin  $3,6 \cdot 10^{11}$  muuta verkkoa. Tässä tutkimuksessa esiintyvistä verkoista yksikään ei ole täydellinen eikä analyysissa tulla tarvitsemaan kuin pieni määrä vaihtoehtoisia verkkoja.

Verkosta  $G$  voidaan selkeästi havaita kolme erillistä komponenttia eli toisiinsa särmillä kytkeytymättömiä osia (Savolainen, 2001, s. 15), joista yksi on eristetty solmu  $v_I$ , toinen solmuista  $v_J$  ja  $v_K$  sekä näiden välisestä särmästä koostuva ja suurin komponentti lopuista solmuista ja särmistä koostuva osio. Komponentit ovat sisältämiensä särmien ja solmujen indusoimia aliverkkoja  $G'_i$  verkolle  $G$ . Keskitytään jatkossa tarkastelemaan vain verkon  $G$  solmujen määrällisesti suurinta komponenttia aliverkkoa  $G'$ , johon kuuluvat solmut  $V' = \{v_A, \dots, v_H\}$  sekä kaikki näiden välillä esiintyvät särmät  $E'$ .

Verkolle voidaan esittää matriisimuoto  $\mathbf{A} = (a_{ij})_{n \times n}$ , missä  $n$  on verkon solmujen määrä ja  $a_{ij}$  solmujen  $v_i$  ja  $v_j$  yhdistävien särmien määrä. Tätä verkon esitystä kutsutaan yhteysmatriisiksi tai vieruspistematriisiksi (*adjacency matrix*) (Estrada, 2012, s. 25 ja Savolainen, 2001, s. 164). Koska tässä tutkimuksessa keskitytään suuntaamattomiin yksinkertaisiin verkkoihin, on yhteysmatriisissa esiintyvien särmien määrä aina korkeintaan yksi, matriisin diagonaalien alkioit ovat nollia ja matriisin ylä- ja alakolmiot ovat peilikuvat. Kuvassa 3.2 on esitetty verkon  $G$  suurimman komponentin  $G'$  yhteysmatriisi.

$$\mathbf{A}_{G'} = \begin{matrix} G' & A & B & C & D & E & F & G & H \\ A & \left( \begin{array}{cccccccc} 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) \end{matrix}$$



**Kuva 3.2:** Verkon  $G$  suurimman komponentin aliverkon yhteysmatriisi  $\mathbf{A}_{G'}$  sekä itse verkko  $G'$ . Koska verkko on suuntaamaton, pätee  $A_{ij} = A_{ji}$ . Esitetyn verkon solmujen koko on verrannollinen solmun asteeseen.

Yksinkertaisin tapa arvioida verkossa esiintyvän solmun  $v_i$  keskeisyyttä on tarkastella sen astetta eli yksinkertaisen verkon tapauksessa muihin solmuihin  $v_{j \neq i}$  kytkeytyvien särmien määrää. Tätä keskeisyyden mittaa kutsutaan nimellä astekeisyyys (*Degree centrality*) ja lyhennetään jatkossa  $C_D$  (Estrada, 2012, s.121). Keskeisyys tällä tavalla määritettynä on kuitenkin vain lokaali ja jättää huomioimatta verkon globaalin rakenteen. Toisin sanoen tällä keskeisyyden mitalla ei nähdä lähimpiä yhteyksiä pidemmälle. Formaalisti astekeisyyys voidaan esittää muodossa (Estrada, 2012)

$$C_D(j) = \frac{1}{2} \sum_{i \neq j} (A_{ij} + A_{ji}), \quad (3.2)$$

## 3.2 Katz-keskeisyys

Tarkastellaan tästä eteenpäin kappaleen 3.1 kuvassa 3.2 esiteltyä aliverkkoa  $G' = (V', E')$  ja merkitään sitä jatkossa verkkona  $G$ . Käytetään tätä samaista verkkoa sekä sitä vastavaa yhteysmatriisia kappaleiden 3.2–3.4 teoreettisten lähtökohtien havainnollistamiseen.

Kappaleen 3 alussa esitettiin, että verkossa tulee esiintyä jokin vuoprosessi, mikäli halutaan tarkastella tähän liittyen verkon keskeisiä sisältöjä. Oletetaan verkko, jossa esiintyy tiedon siirtymiseen tai vaikutusvaltaan liittyvä vuoprosessi. Tällöin solmun  $v_i$  vaikutus muihin solmuihin  $v_{j \neq i}$  voidaan määrittää siten, että oletetaan jokaisen solmun vaikuttavan määrättyllä vaimentavalla painokertoimella viereisiin solmuihin. Mitä useamman särmän päässä vaikuttava solmu on tarkasteltavasta solmusta, sitä pienempi vaikutus on. Tällä tavalla määritettynä solmun keskeisyyttä kutsutaan nimellä Katz-keskeisyys (*Katz centrality*) ja lyhennetään jatkossa  $C_K$  (Katz, 1953 ja Estrada, 2012, s.126). Tämä voidaan esittää formaalisti vektorimuodossa

$$\vec{C}_K = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\mathbf{A}^n}{\alpha^n} \vec{I} = ((\mathbf{I} - \frac{1}{\alpha} \mathbf{A}^T)^{-1} - \mathbf{I}) \vec{I}, \quad (3.3)$$

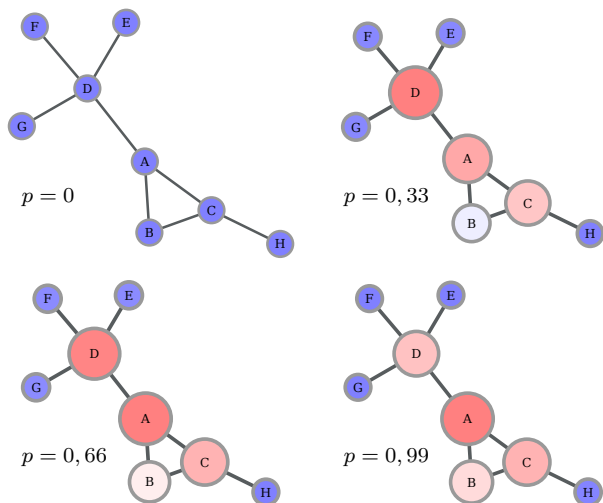
missä vektori  $\vec{C}_K$  on kaikille solmuille laskettu keskeisyyksien järjestetty jono.  $\mathbf{A}$  on yhteysmatriisi ja sen potenssi  $n$  kertoo mahdollisten  $n$ -särmän mittausten reittien määrän verkossa. Reitillä sama särmä voidaan tosin kulkea useasti. Kaavassa  $\alpha$  kuvaa, kuinka suurella painolla solmun keskeisyys vaikuttaa aina yhden särmän etäisyydelle.  $\mathbf{I}$  on identiteettimatriisi ja  $\vec{I}$  vain alkioista 1 koostuva vektori.

Jotta kaavan 3.3 sarja suppenisi, tulee painokertoimen  $\alpha$  olla pienempi kuin yhteysmatriisi suurin ominaisarvo  $\lambda_{\max}$  eli  $\alpha < \lambda_{\max}$ . Suurin ominaisarvo saadaan ratkaistua ominaisarvoyhtälöstä  $\mathbf{A}\vec{x} = \max(\lambda)\vec{x}$ , missä ominaisarvoja  $\lambda$  voi olla useitakin. Koska suurin ominaisarvo on verkon koosta ja rakenteesta (eli yhteysmatriisista) riippuen verkolle ominainen, ei keskenään erilaisille verkoille voida suoraan käyttää suurinta mahdollista samaa painokerrointa. Tämän takia painokerroin  $\alpha$  voidaan sitoa parametriin  $p$ , jolla voidaan säätää, kuinka ekstensiivisesti verkkoa käydään läpi. Näin ollen painokerroin voidaan määrittää muotoon  $\alpha = p\lambda_{\max}$ , missä  $p \in [0, 1)$ .

Kaavan 3.3 perusteella Katz-keskeisyys riippuu painokertoimen  $\alpha$  valinnasta. Koska painokerroin voidaan kytkeä yhteysmatriisin suurimpaan ominaisarvoon  $\lambda_{\max}$  ja skaalata parametrilla  $p$ , voidaan mielivaltaisesti valituille verkoille määrittää vertailukelpoiset Katz-keskeisyydet. Toisin sanoen toisistaan eroavia verkkoja voidaan tarkastella suhteessa yhtä ekstensiivisesti. Kuinka suurta painokerrointa sitten tulisi käyttää? Taulukossa 3.1 on esitetty neljällä parametrin  $p$  arvolla painokertoimen  $\alpha$  vaikutus verkon  $G$  Katz-keskeisyyteen  $C_K$ .

**Taulukko 3.1:** Verkon  $G$  solmujen Katz-keskeisyys parametrin  $p \in [0, 1)$  funktiona. Kun  $p = 0$ , on  $\alpha = 0$ , jolloin  $\vec{C}_K$  alkioit saavat kaikki keskeisyydet saman arvon. Toisin sanoen kaikki vaimenee heti, eikä lainkaan huomioida yhteyksiä muihin solmuihin (kuin jokainen solmu olisi eristetty). Kaikki keskeisyydet ovat normitettu jakamalla  $C_K(i)/\|\vec{C}_K\|$ . Taulukossa esitetyt tulokset ovat havainnollistettu kuvassa 3.3 kullekin analysoidulle parametrin  $p$  arvolle.

Solmu	Katz-keskeisyys $C_K$			
	$p = 0$	0,33	0,66	0,99
A	0,35	0,41	0,47	0,54
B	0,35	0,36	0,37	0,41
C	0,35	0,39	0,42	0,46
D	0,35	0,43	0,46	0,44
E	0,35	0,31	0,25	0,18
F	0,35	0,31	0,25	0,18
G	0,35	0,31	0,25	0,18
H	0,35	0,30	0,24	0,19



**Kuva 3.3:** Verkon  $G$  solmujen  $C_K$  arvot neljällä eri parametrin  $p$  arvolla. Sekä solmun koko että väri vastaavat suhteellisia  $C_K$  arvoja; mitä suurempi ja punaisempi solmu sitä keskeisempi.

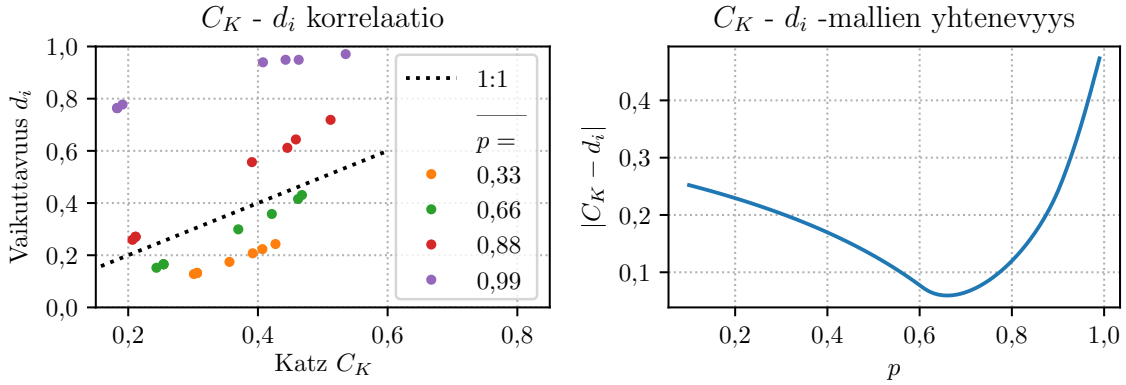
Tarkastellaan kuvan 3.3 esityksiä verkosta  $G$ . Parametrin  $p$  arvolla 0,33 on solmu  $v_D$  keskeisin. Tällä solmulla on verkossa myös suurin aste. Kun parametri saa suurempia arvoja, kasvaa myös solmun  $v_A$  keskeisyys merkittävästi. Kun  $p = 0,66$  ovat solmujen  $v_A$  ja  $v_D$  Katz-keskeisyydet lähes yhtä suuret, vaikka solmun  $v_A$  aste on solmua  $v_D$  pienempi. Kun  $p$  lähestyy ykköstä kasvaa solmu  $v_A$  selvästi keskeisimmäksi. Vaimennuskertoimen valinta vaikuttaa etenkin siihen, kuinka toisiinsa tiheämmin kytkeytyneet, mutta hieman pienemmän asteen solmut ( $v_A, v_B$  ja  $v_C$ ) vertautuvat heikosti kytkeytyneisiin, mutta suuren asteen omaaviin solmuihin kuten  $v_D$ .

Kuinka sitten parametri  $p$  tulisi valita? Ongelmaa voidaan lähestyä tarkastelemalla, kuinka paljon solmun eristäminen pienentää koko verkon yhteenlaskettua Katz-keskeisyyttä eli kuinka suuren häiriön solmun eristäminen muusta verkosta aiheuttaa. Tätä voidaan kutsua solmun vaikuttavuudeksi  $d_i$  (Sharkey, 2017). Tämän tutkimuksen kannalta luontevaa olisi, että solmun keskeisyys on suhteessa yhtä suuri kuin se eristämällä aiheutettu häiriö. Esimerkiksi kuvan 3.3 verkon  $G$  solmu  $v_A$  eristämällä tulisi vaikuttavuuden  $d_i$  olla parametrilla  $p$  riippuen jostain 0,35 ja 0,54 välillä. Eristämisellä aiheutettu häiriö ja täten solmun  $v_i$  vaikuttavuus voidaan formaalisti esittää normitetussa muodossa

$$d_i = 1 - \frac{\mathbf{1}^T \mathbf{r}^i}{\mathbf{1}^T \mathbf{r}} = 1 - \frac{\mathbf{1}^T \vec{C}_K^i}{\mathbf{1}^T \vec{C}_K}, \quad (3.4)$$

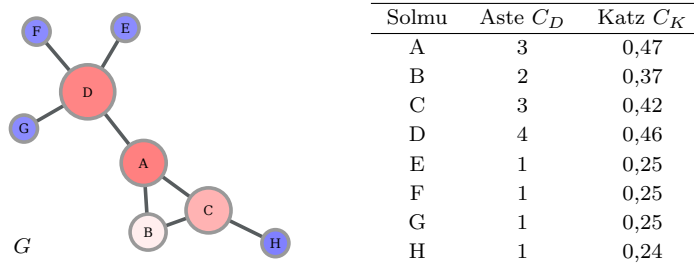
missä  $\mathbf{r}$  on vektorimuodossa esitetty verkon mielivaltainen keskeisyysmitta, joksi tässä tapauksessa valitaan Katz-keskeisyys.  $\mathbf{r}^i$  kuvaa vastaavaa keskeisyysmittaa uudelleen laskettuna siten, että solmu  $v_i$  on eristetty. Katz-keskeisyyden vaikuttavuutta laskiessa tulee

painokerroin  $\alpha$  säilyttää samana, vaikka verkon yhteysmatriisin suurin ominaisarvo muuttuukin tarkasteltava solmu eristettäessä. Kuvan 3.4 kuvaajissa on esitetty parametrin  $p$  vaikutusta verkon  $G$  Katz-keskeisyyteen ja sen vaikuttavuuteen sekä näiden keskeisyyksien yhtenevyyteen.



**Kuva 3.4:** Verkon  $G$  Solmujen Katz-keskeisyyksien vaikuttavuudet eri parametrin  $p$  arvoilla (vasen). Parhain vastaavuus solmun keskeisyydellä ja sen vaikuttavuudella on, kun tulokset ovat liki 1 : 1. Parametrin  $p$  vaikutus verkon  $G$  Katz-keskeisyyden ja sen vaikuttavuuden etäisyyteen eli ns. yhtenevyyteen (oikea). Mitä pienempi arvo sitä suurempi on yhtenevyys.

Kuvan 3.4 perusteella verkon  $G$  Katz-keskeisyys ja sen vaikuttavuus vastaavat toisiaan parhaiten parametrin  $p$  arvolla 0,67. Tätä suuremmilla parametrin arvoilla on häiriön suuruus huomattavasti suurempi kuin, mitä keskeisyyden perusteella voisi olettaa. Vastaavasti pienemmällä arvolla kuin  $p = 0,67$  on häiriö mitättömämpi kuin, mitä keskeisyys antaa ymmärtää. Taulukossa 3.2 on esitetty optimaalisimmalla parametrin  $p$  arvolla lasketuna verkon  $G$  Katz-keskeisyys sekä vertailuksi verkon astekeisyyden. Keskeisyyksien eroavaisuus on havainnollistettu kuvassa 3.5. Huomattavaa on, että keskeisin solmu on eri riippuen siitä tarkastellaanko aste- vai Katz-keskeisyyttä.

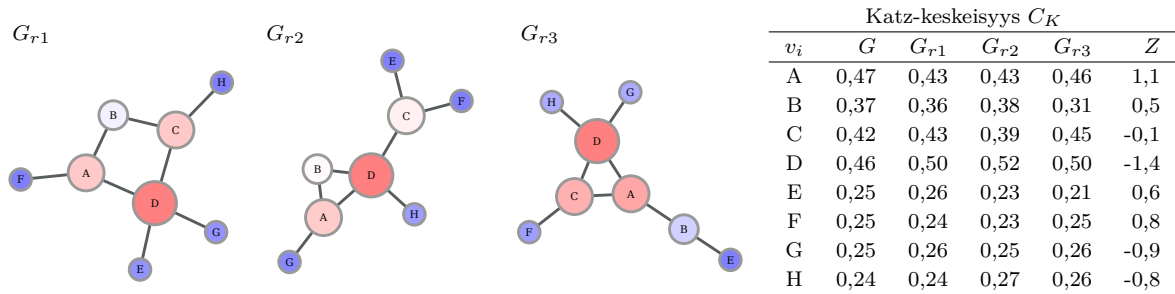


**Kuva 3.5 & Taulukko 3.2:** Verkon  $G$  solmujen aste  $C_D$  ja Katz-keskeisyys  $C_K$ . Verkossa  $G$  solmujen aste on esitetty solmun koolla ja Katz-keskeisyyden arvo solmun värillä. Mitä isompi ja punaisempi sitä keskeisempi solmu on. Keskeisimmät solmut  $v_A$  ja  $v_D$  eroavat siten, että astekeisyyden  $C_D(v_A) < C_D(v_D)$ , mutta Katz-keskeisyys  $C_K(v_A) > C_K(v_D)$ .

### 3.3 Konfiguraatiomalli

Verkstoanalyysissa aineisto on useimmiten uniikki eikä vertailuaineistoa ole mahdollista kerätä. Referenssiaineisto voidaan kuitenkin näennäisesti muodostaa satunnaistamalla analysoitavan verkon solmujen väliset särmät siten, että solmujen aste ja siten myös astejakauma säilytetään (Zweig, 2016, s. 197, *fixed degree sequence model*). Satunnaistus voidaan suorittaa vaihtamalla päittäin kaksi mielivaltaisesti valittua särmää, joiden lähtö- ja maalisolmujen asteet ovat keskenään samat. Tällä tavoin voidaan tuottaa alkuperäisen aineiston kaltainen konfiguraatiomalli ja vertailuaineistona tästä käytetään nimitystä *null-model* (suom. ainoastaan vakion sisältävä malli).

Konfiguraatiomalli mahdollistaa muun muassa analysoitavan verkon globaalien keskeisyysmittojen mahdollisen poikkeavuuden havaitsemisen sekä verkon modulaarisuuden laskeamisen, mitä tarkastellaan seuraavassa kappaleessa. Kuvassa 3.6 on esitetty kolme konfiguraatiomallia  $G_{r_1}, G_{r_2}$  ja  $G_{r_3}$ , jotka ovat muodostettu alkuperäisestä verkosta  $G$  solmujen aste säilyttäen ja särmät satunnaistamalla. Taulukossa 3.3 on esitetty alkuperäisen verkon  $G$  ja vastaavien konfiguraatiomallien Katz-keskeisyydet  $C_K$ . Keskeisyys on laskettu käyttämällä alkuperäiselle verkolle määritettyä optimaalista parametria  $p = 0,67$ , mutta jokaiselle konfiguraatiomallille on laskettu erikseen yhteysmatriisin suurin ominaisarvo  $\lambda_{\max}$ . Näin ollen jokaisen eri konfiguraatiomallin tapauksessa painokerroin  $\alpha$  on eri, mutta riippuvainen silti verkon rakenteesta, antaen täten keskenään vertailukelpoisia arvoja keskeisyydellä  $C_K$ .



**Kuva 3.6 & Taulukko 3.3:** Katz-keskeisyys alkuperäiselle verkolle  $G$  sekä tämän kolmelle eri konfiguraatiomallille  $G_{r_1}, G_{r_2}$  ja  $G_{r_3}$ . Verkoissa solmun koko on verrannollinen sen asteeseen ja väri solmulle määritettyyn Katz keskeisyyteen kuten kuvassa 3.5.

Alkuperäisen verkon keskeisyyksien poikkeavuutta voidaan tarkastella tilastollisesti tarkemmin esimerkiksi vertaamalla havaintoaineistona toimivan verkon  $G$  keskeisyyksiä ja koko populaatiota kuvaavan konfiguraatiomallien joukon keskeisyyksiä keskenään. Tällöin voidaan laskea kunkin solmun keskeisyydelle standardoitu pistemäärä ( $Z$ -score), joka voi-

daan formaalisti esittää muodossa (Estrada, 2012; Kolaczyk, 2009)

$$Z = \frac{x - \bar{x}}{\sigma}, \quad (3.5)$$

missä  $x$  on analysoidun verkon solmun keskeisyys,  $\bar{x}$  usean konfiguraatiomallin keskeisyyksien keskiarvo ja  $\sigma$  keskihajonta. Mikäli aineisto on normaalijakautunut, niin absoluuttinen arvo 2 kuvaa tilastollisesti merkitsevää ja arvo 3 tilastollisesti erittäin merkitsevää löydöstä. Havaintoaineiston mahdollinen poikkeavuus kuvaa sitä, kuinka epätodennäköistä on saada verkko, jonka rakenne tuottaa havaitut keskeisyydet. Mitä poikkeavampi tulos sitä suuremmalla todennäköisyydellä verkon rakenne pitää sisällään informaation, jota ei voisi sattumalta toistaa.

Verkon  $G$  standardoidut pistemäärät ovat laskettu jokaiselle verkon solmun Katz-keskeisyydelle taulukkoon 3.3 käyttäen otoksena konfiguraatiomalleja  $G_{r1}, G_{r2}$  ja  $G_{r3}$  sekä alkuperäistä verkkoa  $G$ , joka on yhtäläillä konfiguraatiomalli itsestään. Konfiguraatiomallien käyttäminen standardoitujen pistemäärien laskemiseen ei kuitenkaan ole mielekästä esimerkkinä käytetyn verkon  $G$  kokoisille verkoille. Tässä tutkimuksessa analysoitavissa verkoissa on kuitenkin pienimmillään toistaa sataa solmua ja linkkiä, joten konfiguraatiomalleja voidaan muodostaa lukuisia erilaisia ja standardoidun pistemäärän laskemisessa voidaan käyttää satojen otosten kokoa.

Kuvan 3.6 verkkoja tarkastelemalla voidaan havaita, että jokaisella solmulla on tosiaan sama aste kuin alkuperäisellä verkolla  $G$ , mutta verkkojen rakenne on silti toisistaan poikkeava. Taulukon 3.3 perusteella alkuperäisen verkon Katz-keskeisimmän solmun  $v_A$  keskeisyys ei ole yhdessäkään satunnaisessa verkossa enää suurin vaan solmu  $v_D$  saa suurempia  $C_K$  arvoja. Keskeisyyden arvojen sijaa voidaan myös tarkastella standardoituja pistemääriä, jotka solmuille  $v_A$  ja  $v_D$  ovat 1, 1 ja  $-1, 4$ . Näin alhaisella absoluuttisella pistemäärällä kumpikaan ei ole vielä edes tilastollisesti merkitsevä, mutta kummankin solmun keskeisyys on kuitenkin muiden solmujen keskeisyyksistä enemmän poikkeava. Sen sijaan muiden solmujen keskeisyys säilyy liki saman suuruisena satunnaistamisesta huolimatta, vaikkakin pientä vaihtelua esiintyy. Näin ollen näiden solmujen keskeisyydet eivät ole tilastollisesti merkitseviä.

### 3.4 Yhteisöt ja modulaarisuus

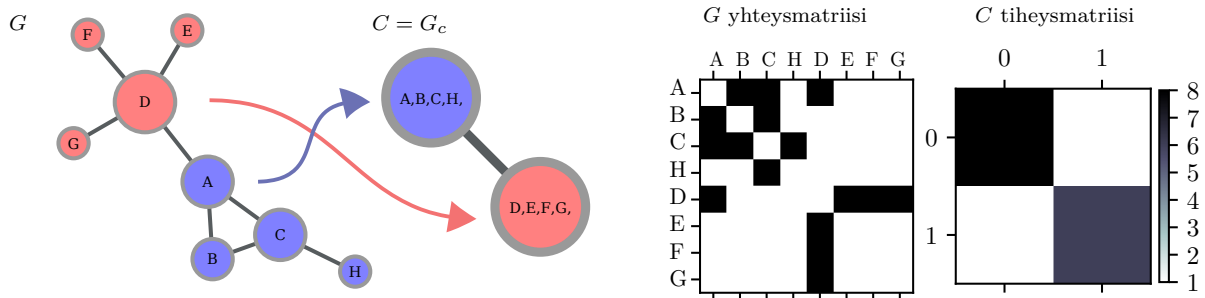
Jatketaan edellisissä kappaleissa esitetyn verkon  $G$  tarkastelua. Visuaalisesti esitetyn verkon rakenteesta voidaan hahmottaa kaksi eri solmujen muodostamaa kokonaisuutta eli yhteisöä: solmut  $v_E \dots v_G$ , jotka ovat viuhkamaisesti kytkeytyneet solmuun  $v_D$  sekä solmujen  $v_A \dots v_C$  ja  $v_H$  muodostama rypäs. Kummankin yhteisön sisällä yhteisön sisäisten

särmien määrä on huomattavasti suurempi kuin yhteisöjen välisten särmien määrä (vain solmujen  $v_A$  ja  $v_D$  välinen). Yhteisöjen tunnistaminen voidaan tehdä myös eksaktisti maksimoimalla verkon modulaarisuus  $Q$ , joka on yhteisöön kuuluvien särmien osuus vähennettynä verkkoa vastaavan konfiguraatiomallin mukaisesti määräytyvien särmien osuuksilla yhteisössä (Newman & Girvan, 2004). Formaalisti modulaarisuus voidaan esittää muodossa (Newman, 2004)

$$Q = \frac{1}{2m} \sum_{ij} \left( A_{ij} - \frac{k_i k_j}{2m} \right) \delta(c_i, c_j), \quad (3.6)$$

missä todennäköisyyttä särmälle esiintyä konfiguraatiomallissa solmujen  $v_i$  ja  $v_j$  välissä kuvaa termi  $\frac{k_i k_j}{2m}$ , jossa  $k_i$  on solmun  $v_i$  aste.  $A_{ij}$  on yhteysmatriisin alkio ja  $\frac{1}{2m}$  on normitustekijä, jossa  $m$  on verkon särmien lukumäärä. Funktio  $\delta(c_i, c_j)$  kuvaa kuuluvatko solmut  $v_i$  ja  $v_j$  samaan yhteisöön ja saa arvon 1, jos  $c_i = c_j$  ja muulloin arvoksi tulee 0. Modulaarisuuden kaavan perusteella  $Q \in [-1, 1]$ , missä arvo 1 vastaa täysin modulaarista (toisistaan selkeästi erottuvat yhteisöt) ja -1 täysin epämodulaarista verkkoa. Arvo 0 vastaa keskimääräistä tutkittavan verkon konfiguraatiomallia eli satunnaista verkkoa.

Kuvassa 3.7 on esitetty verkon  $G$  yhteisöt, jotka ovat tunnistettu kaavan 3.6 mukaisesti sekä yhteisöjen perusteella tiivistetty verkko  $C$ .



**Kuva 3.7:** Verkon  $G$  yhteisöt ja näistä modulaarisuuden maksimoinnilla muodostettu tiivistetty verkko  $G_c = C$  sekä yhteysmatriisin graafinen esitys ja tiivistetyn verkon tiheysmatriisi. Eri yhteisöt ovat esitetty eri värein. Verkon modulaarisuus  $Q \approx 0,37$ . Tiheysmatriisi kuvaa niiden solmujen määrää, jotka ovat yhteisön sisäisten särmien tai yhteisöjen välisten särmien lähtö- tai maalisolmuja. Tiheysmatriisissa indeksi 1 vastaa yhteisöä, johon kuuluvat solmut  $v_D \dots v_G$  ja indeksi 0 yhteisöä, johon kuuluvat loput solmut.

Edellä esitetyn esimerkin modulaarisuus ei ole erityisen suuri ja selkeä yhteisöjen tunnistaminen vaatiikin modulaarisuuden maksimoinnin yhteydessä myös yhteisöjen sisällön arviointia. Suuremmista verkoista voidaan tunnistaa useitakin yhteisöjä. Mitä suurempi modulaarisuus sitä selkeämmin verkko jakautuu tunnistettaviin yhteisöihin. Lisäksi mitä enemmän tunnistettujen yhteisöjen välillä on särkeä kuvassa 3.7 esitetyn tiheysmatriisissa tapaan, sitä heikommin yhteisöt voidaan tunnistaa toisistaan eriäviksi tai vaihtoehtoisesti sitä enemmän yhteisöjen välillä on kytköksiä keskenään.



### 3.5 Kompleksisten verkkojen piirteitä

Kun verkossa esiintyvien solmujen määrä kasvaa useisiin satoihin, kasvaa mahdollisten verkkojen määrä kaavan 3.1 mukaisesti räjähdysmäisesti. Kuitenkin useista sadoista tekijöistä koostuvat todellisen maailman systeemit verkkoina esitettynä sisältävät usein samankaltaisia ominaispiirteitä, joita muun muassa Newman on listannut kokooma-artikkelissaan tieteenalakohtaisesti muutamille sovellusalan tutkimuksissa esiintyneille verkoille (Newman, 2003, taulukko 2). Tällaisille reaali maailman verkoille tyypillinen piirre on (verkon pienimmät asteet pois lukien) astejakauman käänteinen potenssilakisuus

$$P(k) \sim k^{-\gamma} , \quad (3.7)$$

missä kerroin sijoittuu tyypillisesti välille ( $2 < \gamma < 3$ ) (Newman, 2003). Astejakaumalla tarkoitetaan kaavan 3.2 mukaisesti laskettua verkon kaikkien solmujen eri asteiden frekvenssiä. Astejakaumaltaan potenssilakisia verkkoja kutsutaan niin sanotusti skaalavapaiksi ja ne voidaan mieltää siten, että verkon solmuilla on verkon kokoon suhteutettuna aina samankaltainen affiniteetti eli taipumus liittyä tiettyihin solmuihin.

Todellisen maailman systeemeissä on toisinaan havaittavissa Matteus-vaikutus (*Matthew effect*): ne joilla on paljon saavat lisää ja ne joilla on vähän otetaan se vähäkin pois (Merton, 1968). Tämä ilmenee esimerkiksi siten, että jo merkittäväksi nousseet tieteen tekijät saavat lisää tunnustusta itselleen siinä, missä tuntemattomammilta tutkijoilta jää usein yhtäläinen tunnustus saamatta vastaavasta tutkimuksesta. Jos tällaista systeemiä kuvataan kompleksisena verkkona, on huomattavalla osalla systeemin tekijöistä pieni aste eli ne liittyvät vain muutamaan muuhun tekijään, kun taas vain pieni osa solmuista eli systeemin tekijöistä liittyy jollain tavalla lähes kaikkeen ja omaa siksi suuren asteen. Tällaisen verkon astejakauma on hyvin todennäköisesti potenssilakinen.

Wikipediaa, joka on vapaa ja ilmainen verkossa toimiva tietosanakirja, voidaan pitää yhtenä esimerkkinä kompleksisesta verkosta. Jokainen artikkeli eli sivu voidaan mieltää solmunä ja artikkelien väliset viittaukset eli hyperlinkit solmujen välisinä särminä. Wikipedian rakenteesta ja sisällöstä on tehty useita verkostanalyysyjä lukuisilla eri menetelmillä. Esimerkiksi Wikipedian astejakauma on skaalavapaa ja tähän liittyvä potenssi tyypillisesti noin kaksi (Muchnik, Itzhack, Solomon, & Louzoun, 2007). Mikäli artikkelien väliset yhteydet muodostetaan uudelleen niiden merkityksen mukaisesti niin sanotuksi semanttiseksi verkoksi, paljastuu Wikipediasta hyvin eri rakenne, jolle astejakauman potenssi on enää vain noin 1,3 (Masucci, Kalampokis, Eguíluz, & Hernández-García, 2011). Sen sijaan kulkemalla jokainen mahdollinen artikkelista toiseen hyperlinkeillä rakentuva polku, saadaan Wikipediasta myös tämän polun pituuden, kertymisen ja vaikuttavuuden osalta esiin skaalavapaa luonne (Ibrahim, Danforth, & Dodds, 2017).

Tässä luvussa esitettyjen verkkojen ja verkostanalyysiin piirteet muodostavat perustan työssä tarkasteltavan fysiikan opettajaopiskelijoiden yleisen historian ja tieteen historian käsitystä koskevan aineiston analysoimiseksi. Verkostanalyysille tyypilliseen tapaan teoreettisen lähestymistavan valinta saa perimmäisen oikeutuksensa siitä, miten oleellista ja uutta informaatiota sillä kyetään antamaan tarkasteltavasta ilmiöstä.

## 4. Tutkimusongelmat

Merkityksellisyys ja sen määrittely, riippuu vahvasti siitä, keneltä asiaa kysytään ja mihin aiheeseen liittyen. Tähän tutkimukseen on valittu fysiikan opettajaksi opiskelevien oma perusteltu näkemys siitä, mitkä historialliset tapahtumaketjut ja niihin liittyneet tekijät ovat keskeisiä, merkityksellisiä tai kiinnostavia fysiikan kannalta niin tieteen historian kuin yleisen historian näkökulmasta. Tutkimuksessa selvitetään opettajaopiskelijoiden kollektiivinen näkemys keskeisimmistä kokonaisuuksista ja teemoista tieteen historiassa fysiikan kannalta.

Kollektiivisen historian näkemystä, joka koostuu lukuisista erilaisista opiskelijoiden arvottamista ja valitsemista lukuisista eri tapahtumaketjuista koostuva kollektiivisen historian näkemystä on haasteellista arvioida. Keskeisimpien tai avainasemassa pidettävien historiallisten tekijöiden löytämiseen tarvitaan luotettava menetelmä, jolla voidaan arvioida, kuinka opiskelijat mieltävät fysiikan vaikuttaneen yhteiskunnan kehitykseen ja millainen roolin on kulttuurilla ja politiikalla osana fysiikan historiallista kehitystä. Näin ollen tutkimuskysymykset apukysymyksineen ovat:

1. Miten verkostanalyysillä voidaan selvittää opettajaopiskelijoiden kokonaiskuva fysiikan historiasta?
  - (a) Miten sisältöjen arvottamiseen voidaan käyttää Katz-keskeisyyttä?
  - (b) Millaista uutta tietoa Katz-keskeisyys tuo verrattuna lokaaliin astekeskeisyyteen?
2. Mitkä sisällöt fysiikan historiassa nousevat opettajaopiskelijoiden mielestä keskeisimmiksi?
  - (a) Miten keskeiset sisällöt riippuvat tarkasteltavasta ajanjaksosta?
  - (b) Miten fysiikan historiaan mielletyt sisällöt eroavat verrattuna yleisen historian sisältöihin?
3. Millaisia toisistaan erottuvia koherentteja kokonaisuuksia muodostuu kokonaiskuvaan?
  - (a) Mikä on keskeisten sisältöjen rooli kokonaisuuksien muodostumisessa?
  - (b) Millaisten aihepiirien sisällöistä tärkeimmät kokonaisuudet koostuvat?

Tutkimuskysymykset motivoituvat näin ollen kappaleen 2 mukaisesti aiemmassa tutkimuskirjallisuudessa esitettyjen tieteen historian ja historian oppimiseen liittyvien tunnistettujen haasteiden ja ongelmien pohjalta. Tutkimuskysymysten muotoon vaikuttaa puolestaan oleellisesti ongelman selvittämiseksi valittu verkostanalyysiin nojautuva lähestymistapa.

## 5. Tutkimuksen suoritus

Tutkimuksen suoritus on jaettu kahteen vaiheeseen: syksyllä 2017 on kerätty tutkimusaineisto määrättyllä tavalla ja vuoden 2018 aikana aineisto on eheytetty verkon muotoon sekä analysoitu verkostanalyysiä käsittelevässä kappaleessa 3 esitettyjen teorioiden mukaisesti. Aineiston analyysivaihe on toteutettu niin sanotulla tutkivalla data-analyysillä, missä aineistoa on alustavasti tutkittu lukuisilla verkostanalyysin menetelmillä ja näistä osa on otettu tarkempaan tarkasteluun. Käytännössä analyysi on tehty useampana iteratiivisena kierroksena, joiden aikana näkemys verkostanalyysiin käyttötavoista on syventynyt. Tämä on ohjannut tutkimaan aineistoa syvällisemmin tietyistä näkökulmistä. Kuitenkin lopulliset tutkimukseen valitut verkostanalyysin menetelmien teoreettiset lähtökohdat ovat esitetty kappaleessa 3 ja näitä vastaavat tutkimukseen sovelletut menetelmät tässä kappaleessa. Menetelmien valinta on ohjannut osittain myös edellisessä kappaleessa esitettyjen tutkimuskysymysten asettelua.

### 5.1 Tutkimusaineisto

Tutkimusaineistoksi on kerätty Helsingin yliopiston matemaattis-luonnontieteellisen tiedekunnan syksyn 2017 Fysiikan historia -kurssin viikkotehtävien opiskelijapalautukset tutkimusluvan antaneilta opiskelijoilta. Nämä tehtäväpalautukset pitävät sisällään kullakin määrättyltä ajanjaksolta kunkin opiskelijan perustellun näkemyksen keskeisimmistä ja merkityksellisimmistä fysiikan ja yleisen historian sisällöistä sekä näiden välisistä yhteyksistä, jotka opiskelija kykenee kohtuullisella työmäärällä selvittämään englanninkielistä Wikipediaa lähteenään käyttäen. Viikkotehtävien tehtävänanto on kokonaisuudessaan esitetty liitteessä A ja tähän tutkimukseen on otettu tarkasteltavaksi ja analysoitavaksi vain tehtävänannossa kuvattujen osioiden A ja B vastaukset.

Tutkimusaineiston kannalta tarkasteltuna opiskelijaa voidaan pitää toimijana, joka tehtävänannon mukaisesti tutkii ja havainnoi englannin kielistä Wikipediaa ja poimii tästä historian valtaisasta aineistosta sen, mikä on hänestä subjektiivisesti perustellen keskeis-

tä ja merkityksellistä fysiikan kannalta. Kaikkea ei ole kuitenkaan tarkoituksenmukaista arvottaa ja tämän takia tehtävänannossa onkin rajoituksena ohjeistettu opiskelijoita muodostamaan yhteensä kuusi kokonaisuutta kultakin ajanjaksolta. Alla on esitetty poiminta erään opiskelijan tekemästä yhdestä viikkoharjoituksen mukaisesta kokonaisuudesta:

H = Sir Isaac Newton [T = klassinen mekaniikka, K = Newtonin lait, K = gravitaatiolaki, H = Gottfried Wilhelm Leibniz, T = infinitesimaalinen laskenta] Sir Isaac Newton oli englantilainen "luonnonfilosofi". Hänen kirjansa *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* vuodelta 1687 loi pohjan klassiselle mekaniikalle. Kirjassa hän esittää kaavat liikkeen laeille eli Newtonin laeille sekä gravitaatiolaille. Newtonin lait koostuvat kolmesta fysikaalisesta laista. Ensimmäisen lain ...

Kokonaisuudessa on ennen hakasulkeita esitetty opiskelijan valitsema aihe **Sir Isaac Newton** ja siihen liitetty kategoria **H**, jolla tarkoitetaan tässä yhteydessä henkilöä – erityisesti fyysikköä. Hakasulkeissa esitetyt viisi kategorisoitua aihetta **klassinen mekaniikka**, **Newtonin lait**, **gravitaatiolaki**, **Gottfried Wilhelm Leibniz** ja **infinitesimaalinen laskenta** ovat niitä, joihin opiskelija mieltää keskeisen yhteyden aiheen **Sir Isaac Newton** kanssa. Tehtävänannossa on pyydetty rajaamaan valittavien yhteyksien määrä noin neljään. Hakasulkeiden jälkeen on esitetty noin 100 sanan perustelu esitetyille yhteyksille. Tehtävänannossa vaaditulla sanallisen kuvauksen antamisella kullekin kokonaisuudelle pyritään estämään opiskelijaa permutoimasta yksittäisen vastauksen sisältöä ja täten kopioimasta samaa sisältöä vastauksesta toiseen.

Yksittäinen toimija saattaa antaa yleiseen käsitykseen verrattuna hyvin vinoutuneen näkemyksen siitä, mikä on merkityksellistä. Tämän takia aineisto onkin koostettu usean toimijan eli opiskelijan (yhteensä 10) havainnoinnista, jolloin yksittäinen näkemyksellinen vinouma ei pääse dominoimaan. Lisäksi yksittäisellä toimijalla ei ole niin aikataulun kuin osaamisenkaan puolesta edellytyksiä arvottaa koko fysiikan historian kattavaa informaatiota vaan toimii vain sen subjektiivisena havainnoijana. Mitä useampi toimija havainnoi samaa aineistoa sitä enemmän kokonaisuudesta pystytään kattamaan ja sitä arvokkaampaa tietoa kyetään tuottamaan. Tutkimusaineistoa tuottava opiskelija joukko voidaan mieltää kommunikaatioverkona, sillä opiskelijat ovat kerran viikossa esittäneet toisilleen löydöksiään tarkasteltavan historiallisen ajanjakson keskeisistä sisällöistä. Tällaisen kommunikaatioverkon tuottaman tiedon arvonlisä voidaan ajatella noudattavan korjattua Metcalfen lakia  $n \log(n)$ , missä  $n$  on kommunikaatioverkon jäsenten määrä (Briscoe, Odlyzko, & Tilly, 2006; Odlyzko & Tilly, 2005).

Tehtävänannossa on vaadittu opiskelijoita muodostamaan kokonaisuudet vähintään kolmen eri kategorian ympärille. Fysiikan historiaan liittyvissä kokonaisuuksissa näistä kolmasosan tulee olla fyysikoita, toinen kolmasosa kokeisiin, menetelmiin ja sovelluksiin liittyviä kategorioita ja viimeinen kolmannes käsitteelliseen fysiikan sisältöjä. Yleisessä his-

toriassa puolet saa liittyä tieteen, taiteen tai poliittisen historian merkkihenkilöihin, kolmannes tapahtumiin ja kuudesosa ihmiskunnan edistysaskeliin. Tällä on pyritty siihen, että opiskelija toimijana havainnoi ja arvottaa fysiikan ja yleisen historian sisältöjä mahdollisimman monipuolisesti eikä vain esimerkiksi henkilökeskeisesti. Lisäksi tarkasteltava aikaväli 1572–1928 on jaettu kronologisesti viikoittaisten aihekokonaisuuksien perusteella kuuteen eri kestoiseen osaan:

- I (1572–1704) Tieteellinen vallankumous
- II (1704–1789) Valistusaika ja valistuksen tiede
- III (1789–1848) Teollistuminen ja liberaali sivistysihanne
- IV (1848–1900) Teknologisoitua yhteiskunta ja sen tiede
- V (1900–1914) Moderni tiede ja teknologisoituminen I
- VI (1914–1928) Moderni tiede ja teknologisoituminen II

Aineisto on kerätty oppilaiden Moodleen tekemistä arvioitavista palautuksista, jotka tutkimuksen tekijä on kurssiassistentin roolissa joutunut tarkistamaan ja pisteyttämään. Näin ollen tutkimuksen tekijällä on alkuperäisessä aineistossa opiskelijan nimi, opiskelijanumero sekä pisteytys ja itse palautus yhdistettävissä. Tämä on tarvittu tutkimusluvan antaneiden ja muiden kurssilaisten erottamiseksi toisistaan. Opiskelijoiden henkilötiedot ovat pseudonymisoitu ja tehtävien pisteytykset ovat karsittu aineistosta pois siirrettäessä se tutkimuksessa analysoitavan verkon muotoon.

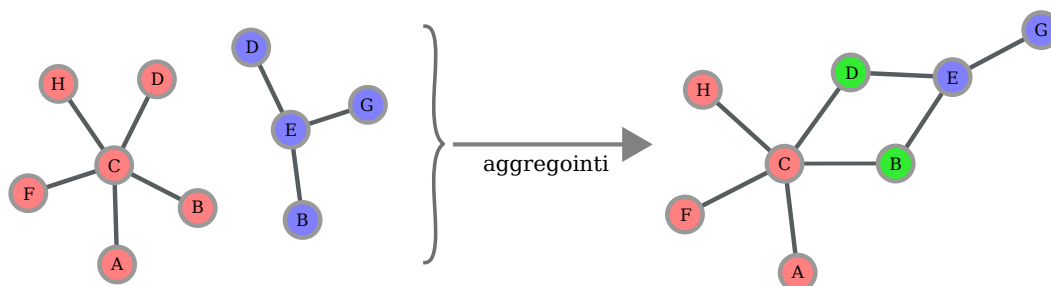
## 5.2 Menetelmä

Aineiston keräämisessä käytetyn tehtävänannon tarkoituksena on ollut tuottaa sellaisia palautuksia, joista on voitu muodostaa verkostoanalyysiin soveltuva tutkimusaineisto. Analysoitavana verkkona voidaan pitää historiallisille sisällöille annettujen merkityksien vuota kuvaavaa verkkoa  $G(V; E)$ , jonka solmut sekä särmät ovat ajanjaksolla (periodit I–IV) ja aihealueella (fysiikan tai yleinen historia) parametrisoituja. Verkko on muodostettu siten, että jokainen vastauksissa esiintyvä aihe toimii verkon solmuna ja aiheiden välinen yhteys kahden solmun välisenä särmänä.

Verkon parametrisointi on toteutettu siten, että jokaiseen solmuun ja särmään liitetään vain ne ominaisuudet, jotka käyvät ilmi opiskelijoiden palautuksista eli minkä ajanjaksoa ja aihealuetta käsittelevien tehtävien yhteydessä kyseiset solmut ja särmät esiintyvät. Toisin sanoen yksittäinen särmä tai solmu voi esiintyä usealla eri ajanjaksolla sekä vain toisessa tai molemmissa aihealueissa. Verkon muodostaminen ja parametrisointi on havainnollistettu kuvassa 5.1, missä on esitetty esimerkki, kuinka kaksi mielivaltaisesti va-

littua liitteessä A kuvatun tehtävänannon mukaisesti tehtyä kokonaisuutta aggregoidaan. Punaisella esitetty kokonaisuus voi esimerkiksi edustaa aineiston kuvauksessa esitettyä esimerkkiä siten, että solmu C kuvastaa I.Newtonia ja loput solut tähän liitettöjä aiheita.

Aineistona toimivassa verkossa kahden solmun välinen linkki voidaan mieltää opiskelijan kokemana, löytämänä tai käsittämänä merkityksenä solmujen välillä. Vastaavasti koko verkossa särmät kytkevät ja välittävät opiskelijoiden antamaa merkitystä solmusta toiseen. Näin ollen oletetaan esimerkiksi, että mikäli joku opiskelija on mieltänyt I.Newtonin ja gravitaation välille yhteyden on osa tästä yhteydestä merkittävä myös kenен tahansa opiskelijan mieltämään yhteyteen gravitaation ja gravitaatiolain välillä.



**Kuva 5.1:** Verkon muodostuminen tutkimusaineistosta: esimerkki kahden mielivaltaisesti valitun kokonaisuuden aggregoimisesta, missä erilaiset verkot, joilla on eri ominaisuudet (merkittynä sinisinä ja punaisina solmuina), muodostavat yhdessä isomman verkon, jonka solmuista osa jakaa useita ominaisuuksia (merkittynä vihreiksi). Kuvan esimerkissä aiheilla B ja D on kahdessa eri kokonaisuudessa eri ominaisuudet, joten aggregoidessa niille tulee molemmat.

Tutkimusaineiston haasteena on opiskelijoiden eriävät ilmaisut samaa tarkoittavalle käsitteelle tai asialle. Tämän takia aineistolle on tehty hyvin kevyt laadullinen analyysi, jossa on pyritty yhdistämään samaa tarkoittavat asiat saman nimisiksi. Tällä tavoin aineisto on saatu eheytettyä ja on voitu varmistua siitä, että koko verkossa yksittäisten opiskelijoiden vastauksissa esiintyvät aiheet linkittyvät toisiinsa edellä kuvatulla tavalla. Lisäksi voidaan verkkoa muodostaessa varmistua, että jokainen uniikki solmu ja linkki esiintyy verkossa vain kerran, vaikka se tutkimusaineistossa esiintyisi useastikin, mutta eri nimillä. Ohessa on esitetty esimerkki kahdesta tapauksesta, missä samaa tarkoittavat, mutta eri nimiset ovat yhdistetty saman nimisiksi.

Muutettu	Alkuperäinen
G.Galilei	Galilei ; Galileo Galilei ; Galilei H ; galilei ; Gallileo Gallilei ; Galilleo Galilei
empiirinen menetelmä	Luonnontieteellinen tutkimusmenetelmä ; kokeellinen luonnontieteellinen menetelmä ; kokeellinen menetelmä ; empirism ; empiriska experiment ; kokeellinen luonnontieteen filosofia ; Luonnontieteen ilmiöiden selittäminen matemaattisesti ; systematisk empirisk undersökning ; Empirsimi



Esimerkin mukaan toisinaan ja erityisesti henkilöiden tapauksessa on ilmiselvää tunnistaa, millä nimityksillä tarkoitetaan samaa asiaa. Sen sijaan esimerkiksi empiirisen menetelmän kohdalla nimitykset vaihtelevat valtavasti toisistaan, mutta tehtäväpalautusten sanallisisten kuvausten perusteella käy selväksi, että niissä on tarkoitettu samaa asiaa. Muutamien osalta on aiheita purettu osiin, kuten esimerkiksi palautus *samband mellan tryck & temperatur & volym och substansmängd* on muutettu neljäksi eri aiheeksi (paine, tilavuus, lämpötila ja ainemäärä), koska samassa palautukseensa on puhuttu ideaalikaasun tilanyhtälöstä. Kaikki aineistolle tehdyt muutokset ovat esitetty liitteessä B.

Ehetytyn verkon analysoiminen on jaettu neljään osaan. Analyysi on suoritettu python-ohjelmointikielillä käyttämällä standardikirjastojen (matplotlib, pandas, scipy ja numpy) ohella verkostanalyysiin suunniteltuja graph-tool ja iGraph -ohjelmakirjastoja (Peixoto, Tiago P., 2018; The igraph core team, 2018). Näistä graph-tool -ohjelmakirjaston algoritmeja käytetään verkostanalyysissä kaikkeen muuhun lukuun ottamatta modulaarisuuden maksimointia yhteisöjen tunnistamisen vaiheessa. Tarkemmin käytetyt algoritmit ja ohjelmakirjastot ovat eriteltynä taulukossa 5.1.

Ensiksi on tarkasteltu, ovatko koko aineiston kattavasta verkosta ajanjakson mukaisesti yksittäin (periodit I–VI) tai kronologisina kokonaisuuksina (agglomeroimalla periodeja) indusoitujen aliverkkojen suurimpien komponenttien eli aggregoitujen verkkojen  $G_i$  astejakaumat potenssilakisia. Astejakaumat ovat selvitetty graph-tool -ohjelmakirjaston `degree_property_map`-funktioilla Astejakaumien ollessa potenssilakisia kaavan 3.7 mukaisesti on tarkasteltu, kuinka laajoja kronologisista kokonaisuuksista tulisi käyttää, jotta potenssilaisissa esiintyvän  $\gamma$  termin voidaan katsoa olevan liki vakio. Toisin sanoen, kuinka monta perättäistä ajanjaksoa on vähintään aggregoitava, jotta löydetään pienin mahdollinen verkon koko siten, että verkot ovat keskenään vertailukelpoisia.

Toiseksi on määritetty ensimmäisessä vaiheessa tunnistetuille aggregoiduille verkoille  $G_{\min \#i}$  Katz-keskeisyydet teoriaosiossa 3.2 esitetyn menetelmän mukaisesti käyttämällä graph-tool -ohjelmakirjaston `katz`-funktioita. Tämän jälkeen on tarkasteltu, mitkä sisällöt historiassa nousevat esiin kullakin ajanjaksolla ja miten ne jakautuvat fysiikan ja yleisen historian kesken. Tämän lisäksi verrataan näitä keskeisyyksiä astekeisyyteen ja tarkastellaan tuoko Katz-keskeisyys oleellisesti uutta tietoa verrattuna lokaaliin astekeisyyteen.

Kolmanneksi on tunnistettu verkoissa esiintyvät yhteisöt kaavan 3.6 mukaisesti modulaarisuudet maksimoimalla käyttäen iGraph-ohjelmakirjaston `community_multilevel` -rutiinia. Lisäksi on määritetty kunkin yhteisön painotus aihealueittain niin fysiikan kuin yleisen historian kannalta Katz-keskeisyyteen perustuen sekä tarkastellaan, mistä ja kuinka keskeisistä sisällöistä yhteisöt koostuvat.

Neljänneksi on tutkittu määritettyjen Katz-keskeisyyksien merkityksellisyyttä laskemalla standardoitu pistemäärä kaavan 3.5 mukaisesti kullekin tunnistetun verkon keskeisyydelle muodostamalla verkkoa vastaavia konfiguraatiomalleja sata kappaletta graph-tool -ohjelmakirjaston `rewire`-komennolla.

**Taulukko 5.1:** Aineiston analysoimisen menetelmän eri vaiheissa käytetyt ohjelmakirjastot sekä algoritmit. Tavanomaisia python-ohjelmointikielen standardikirjastoja ei ole erikseen eriteltyä.

Menetelmän vaihe	Ohjelmakirjasto	Algoritmi
1. Analysoitavan aliverkon koko	graph-tool	<code>degree_property_map</code>
2. Katz-keskeisyydet aluverkoille	graph-tool	<code>katz</code>
3. Aliverkkojen yhteisöt	iGraph	<code>community_multilevel</code>
4. Katz-keskeisyyden merkityksellisyys	graph-tool	<code>rewire</code>
* Verkkojen havainnollistaminen	graph-tool	<code>sfdp_layout</code> <code>arf_layout</code>

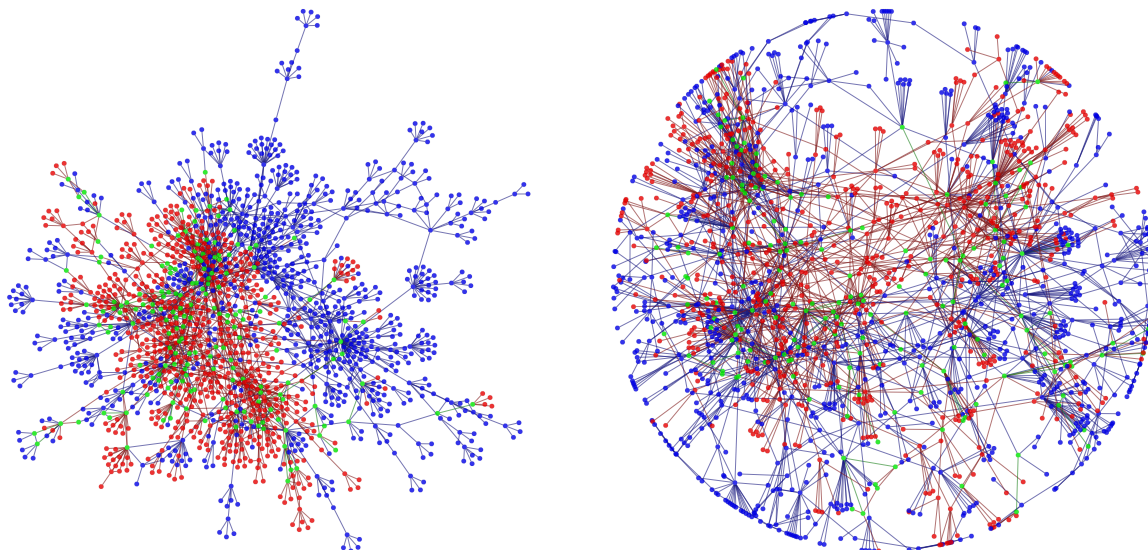
## 6. Tulokset

Menetelmän mukaan suoritettujen aineiston analyysin tulokset ja niiden tarkastelu on jaettu viiteen osaan. Ensiksi esitellään keskenään vertailukelpoisten verkkojen selvittäminen ja tulkinta, jonka perusteella on valittu myöhempään analyysiin neljä indusoitua aliverkkoa. Toiseksi esitetään näiden verkkojen Katz-keskeisyyksien laskeminen ja verrataan tuloksia vastaavien verkkojen solmujen asteisiin. Kolmanneksi havainnollistetaan Katz-keskeisyyden mukaisesti keskeisimmät sisällöt sekä modulaarisuuden optimoinnilla tunnistetut yhteisöt ja näiden aihepiirien mukaiset jakaumat. Neljäntenä perehdytään lyhyesti erikseen kunkin ajanjakson kokonaiskuvaan. Viidentenä tarkastellaan käytettyjen verkostanalyysimenetelmien reliabiliteettia, joista erityiseen asemaan nostetaan Katz-keskeisyys. Viimeiseksi pohditaan tulosten kannalta kerätyn tutkimusaineiston ja käytettyjen menetelmien validiteettia.

Aineistosta menetelmäosion mukaisesti muodostettu koko ajanjakson 1572–1928 opiskelijoiden mieltämää merkitysvuota kuvaava verkko  $G_{I..VI}$  on esitetty kuvassa 6.1. Kuvassa on esitetty verkko kahdella eri esitysalgoritmin mukaisella asettelulla: *sfdp* (Hu, 2005) ja *arf* (Geipel, 2007), jotka ovat laskettu graph-tool ohjelman `sfdp_layout` ja `arf_layout` rutiineilla, mutta näiden laskentaan ei tässä tutkimuksessa perehdytä tarkemmin. Verkon väriyty vastaa menetelmäosiossa kuvattua verkkojen aggregointia opiskelijoiden mieltämien aihealueiden osalta: punaisella fysiikan, sinisellä yleisen ja vihreällä molempien aiheiden historian sisältöjä.

Tulososiossa tarkastellaan myöhemmin aineistosta aggregoituja verkkoja molemmilla esitystavoilla. Yleisesti molemmissa asetteluissa särmillä yhdistetyt solmut pyrkivät asettumaan mahdollisimman lähelle toisiaan. Vasemmanpuoleinen asettelu on niin kutsuttu entropiamaksimoitu jousimalli (*sfdp*), jossa verkko, jonka jokainen särmä toimii jousena ja solmut jousien yhtymäkohtina, pyritään levittämään mahdollisimman laajalle kuitenkin minimoimalla samalla verkkoon (jousista koostuva systeemi) sitoutunut potentiaalienergia. Oikeanpuoleisessa asettelussa (*arf*) vahvasti linkittyneet solmut asettuvat asetteluun keskelle ja vähemmän linkittyneet reunoille. Koko verkko on lisäksi rajattu ympyrän muotoiselle alueelle. Kummassakaan esitystavassa solmujen välisten särmien pituudella ei

ole tämän tutkimuksen tulosten tulkinnan kannalta mitään varsinaista merkitystä. *arf*-asettelussa särmät saattavat myös sivuta solmuja hyvin läheltä, vaikka eivät olisikaan näihin kytkeytyneet.



**Kuva 6.1:** Analysoitava verkko  $G_{I...VI}$  kahdella eri tavalla esitettynä: vasemmalla *sfdp*- ja oikealla *arf*-algoritmin mukaan lasketut solmujen sijainnit. Solmujen ja särmien värit vastaavat opiskelijoiden näille mieltämiä aihealueita: punaisella fysiikan historiaan, sinisellä yleiseen historiaan ja vihreällä on molempiin aihealueisiin liitetty sisällöt.

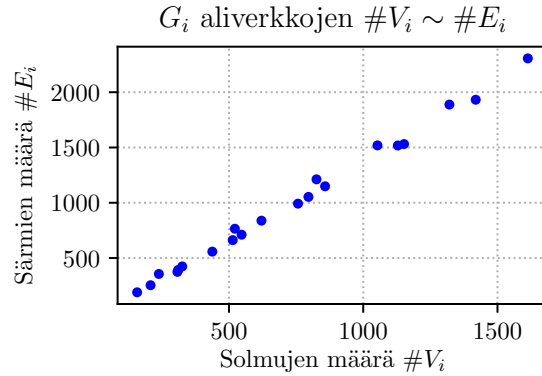
Kuvan 6.1 perusteella voidaan tehdä muutamia alustavia, mutta hyvin karkeita arvioita tutkimusaineistosta. Koko aineistoa kuvaava verkko on suurella todennäköisyydellä potenssilakinen astejakaumaltaan, koska *sfdp*-asettelussa verkko on hyvin rihmastomainen. Verkon *sfdp*-asettelun väritystä tarkastelemalla havaitaan, että aihealueet ovat melko selkeästi toisistaan erillään: vasen puoli koostuu lähinnä fysiikan ja oikea puoli yleisen historian sisällöistä, mutta fysiikan sisältöjen yhteyteen on tasaisesti sijoittunut sisältöjä (vihreät solmut), jotka lukeutuvat molempiin aihealueisiin. Jos puolestaan tarkastellaan *arf*-asettelua, voidaan alustavasti arvioida, että yleisen historian sisällöt ovat heikommin keskenään kytkeytyneet verrattuna fysiikan historian sisältöihin, koska suurin osa lähellä kehää sijaitsevista solmuista on sinisiä ja vastaavasti verkon keskellä olevista solmuista suurin osa on punaisia.

## 6.1 Analysoitavan aliverkon koko

Koko tutkimusaineiston käsittävässä verkossa on yhteensä 1613 solmua ja 2306 särmää. Aineistosta on menetelmän mukaisesti muodostettu analyysiä varten yhteensä 21 eri koosta ja ajanjaksoa kattavaa aggregoitua verkkoa  $G_i$ , missä  $i \in \{\{I\}, \dots, \{I, \dots, VI\}\}$  ja

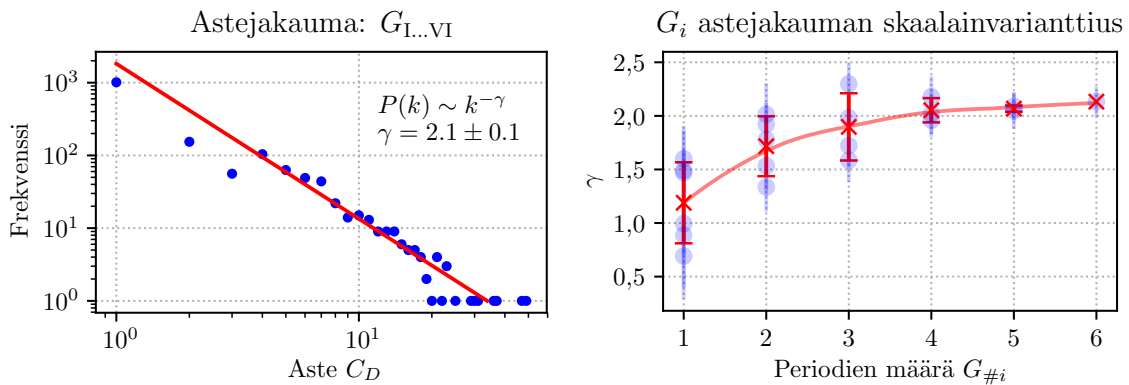
roomalainen numerointi kuvaa vastaavasti tutkimusaineiston kuvauksessa listattuja ajanjaksoja. Toisin sanoen yhden periodin laajuisia verkkoja muodostettiin kuusi kappaletta, kahden perättäisen periodin laajuisia viisi ja niin edelleen aina yhteen verkkoon kattaen kaikki kuusi periodia.

Kuvassa 6.2 on esitetty kaikkien aggregoitujen verkkojen solmujen ja särmien määrän yhteys. Kuvaaajasta havaitaan, kuinka solmujen ja särmien suhde säilyy likipitään vakiona, kun eri määrä periodeja yhdistetään kronologisesti. Tämän perusteella opiskelijat löytävät suurin piirtein saman määrän uutta tietoa kutakin tarkasteltua ajanjaksoa kohden suhteessa edellisiin ajanjaksoihin. Kutakin periodia kohden on siis liitetty uusia historiallisesti merkittäviä sisältöjä sama määrä suhteessa edellisiin.



**Kuva 6.2:** Ajanjaksojen mukaisesti aggregoitujen verkkojen solmujen ja särmien määrän lineaarisuus.

Menetelmän mukaisesti jokaisen edellä kuvatun periodisesti aggregoidun verkon astejakauma on selvitetty kuvan 6.3 vasemman puoleisen kuvaaajan tavoin. Jakauman astetta neljä suurempiin tuloksiin sovitettu pienimmän neliösumman menetelmällä potenssilakia logaritmisella asteikolla vastaava lineaarinen sovite. Jokaista verkkoa vastaavan soviteen termin  $\gamma$  arvo on esitetty kuvan 6.3 oikean puoleisessa kuvaaajassa aggregoitujen periodien määrän funktiona. Nämä tulokset ovat listattu myös liitteen C taulukkoon.



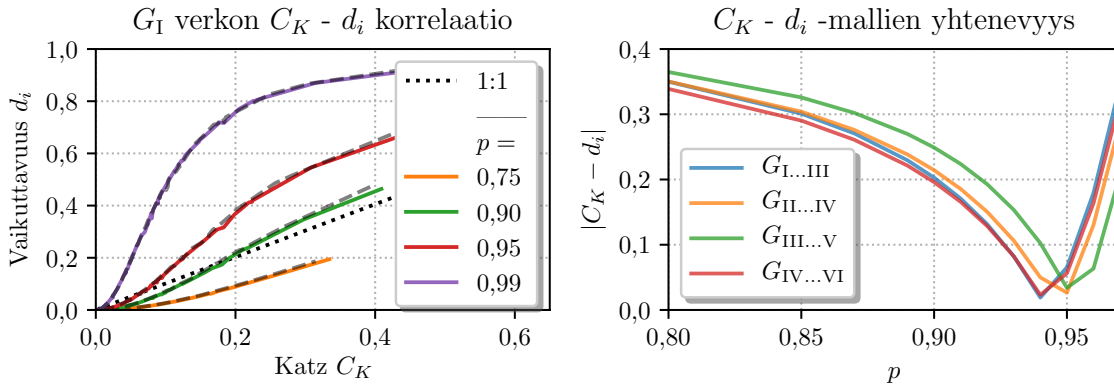
**Kuva 6.3:** Verkon astejakauma ja astejakauman skaalavapaus. Vasemmalla on verkon  $G_{I...VI}$  astejakauma esitetty pisteillä ja jakauman potenssilain mukainen sovite viivalla. Soviteen  $\gamma$  arvo tarkkuuksineen on esitetty kuvassa ja vastaa samaa arvoa, kuin oikean puoleisessa kuvaaajassa kuuden periodin määrällä. Oikealla on esitetty verkosta  $G$  periodisesti aggregoitujen aliverkkojen  $G_i$  astejakauman potenssi  $\gamma$ . Pisteillä on merkitty termin  $\gamma$  arvo ja virhepalkeilla on esitetty kullekin periodimäärälle potenssien keskiarvo ja -hajonta. Keskiarvoja yhdistävä käyrä on hahmoteltu arvio, mikäli periodinen aggregointi olisi voitu suorittaa pienemmistä tarkasteluyksiköistä.

Kuvan 6.3 oikean puolen kuvaajan perusteella aggregoitujen verkkojen astejakaumat ovat samalla tavalla potenssilakisia ja näin ollen samalla tavalla skaalavapaita, kunhan vähintään kolme perättäistä periodia yhdistetään. Tässä tutkimuksessa potenssilain samankaltaisuuden valintaperusteeksi on valittu pienin mahdollinen aggregoitavien periodien raja, missä  $\gamma$ -termien keskiarvot ovat vielä niiden hajontojen sisällä. Kuvaajasta nähdään, että määrällisesti kolmen periodin kohdalla potenssien hajonta on vielä kohtuullisen suuri, mutta tätä pienemmillä kokonaisuuksilla potenssi on selkeästi pienempi sekä hajonta suurempi ja laajempien ajanjaksojen potenssit asettuvat silti hajonnan sisään. Tämän tuloksen perusteella on valittu kaikki neljä kolmesta perättäisestä periodista koostuvaa aggregoitua verkkoa tarkempaan analyysiin.

Pelkästään sopivan kokoisten aliverkkojen etsimisen yhteydessä nousee esiin muutamia kiintoisia havaintoja aineistosta. Kuvan 6.3 oikean puoleisen kuvaajan perusteella aggregoitujen verkkojen potenssi lähestyy teoriassa esitettyä viitearvoa kaksi. Vasemman puoleisessa kuvaajassa esiintyy kaikille analysoiduille astejakaumille tyypillinen piirre, missä asteen neljä frekvenssi on suurempi tai liki yhtä suuri, kuin asteen kaksi ja kolme. Tämä johtuu aineiston keräämisessä käytetystä tehtävänannosta, missä ohjeistuksena on ollut tehdä kokonaisuuksia, joissa yhteen aiheeseen eli analyysin kannalta tarkasteltuna verkon solmuun liittyy vähintään neljä muuta aihetta. Kuvaajan 6.2 pisteiden asettuminen liki lineaarisesti johtuu todennäköisesti myös tehtävänannosta, jossa opiskelijoita on ohjeistettu tekemään aina sama määrä palautuksia kutakin tarkasteltavaa ajanjaksoa kohden. Tällöin myös niin fysiikan kuin yleisen historian kannalta keskeiset sisällöt muuttuvat eikä suureen osaan aiemmin ilmenneistä sisällöistä juuri palata.

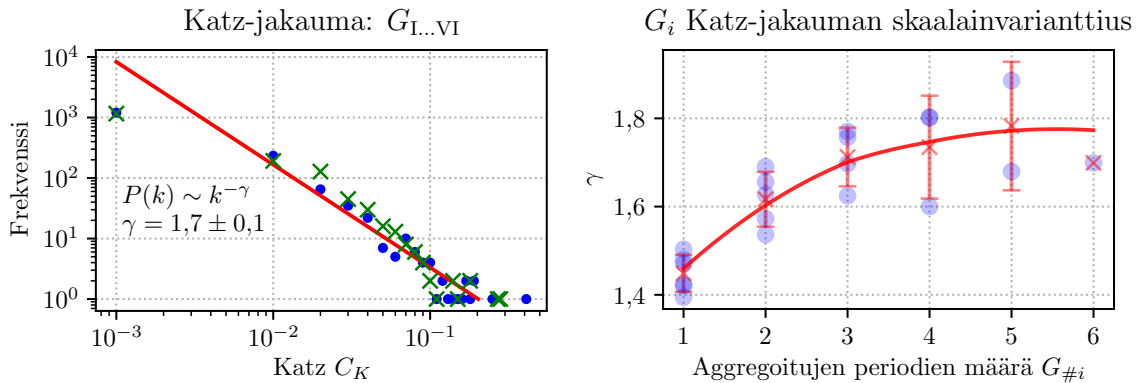
## 6.2 Katz-keskeisyys aliverkoille

Teorian mukaisesti jokaiselle aggregoidulle aliverkolle on ratkaistu erikseen optimaalisin parametrin  $p$  arvo, jotta verkon solmuille laskettava Katz-keskeisyys olisi mahdollisimman yhtenevä sen vaikuttavuuden kanssa ja näin ollen kaikki verkot keskenään mahdollisimman vertailukelpoisia. Kuvan 6.4 vasemman puoleisessa kuvaajassa on esitetty esimerkkinä ensimmäistä ajanjaksoa kuvaavan verkon  $G_1$  Katz-keskeisyyden vaikuttavuus Katz-keskeisyyden funktiona neljällä eri valitulla parametrilla  $p$ . Kuvan perusteella parametrin ollessa noin 0,90 saavutetaan parhain vastaavuus tämän verkon tapauksessa. Samaan tapaan jokaiselle verkolle on etsitty parhain 1–1-vastaavuus tutkimalla parametrin  $p$  vaikutusta. Tästä esimerkkinä on oikean puoleisessa kuvaajassa esitetty niille neljälle edellisessä kappaleessa valitulle kolmesta periodista aggregoidulle verkolle Katz-keskeisyyden ja sen vaikuttavuuden yhtenevyys parametrin  $p$  funktiona. Näiden verkkojen tapauksessa optimaalisin parametrin  $p$  arvo on välillä 0,94–0,95.



**Kuva 6.4:** Verkon  $G_I$  solmujen Katz-keskeisyyden vaikuttavuus eri parametrin  $p$  arvoilla on esitetty vasemmalla. Katkoviivoitetuilla käyrillä on esitetty vastaavat tulokset laskettuna satunnaiselle konfiguraatiomallille. Oikealla on esitetty astejakaumien perusteella analysoitavaksi valittujen aliverkkojen Katz-keskeisyyden ja sen vaikuttavuuden yhtenevyys parametrin  $p$  funktiona. Mitä pienempi erotus on sitä paremmin mallit ovat 1-1-yhteneviä.

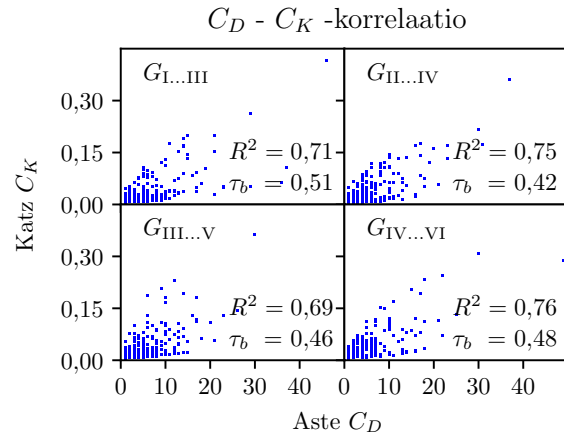
Parametrilla  $p$  on skaalattu verkkokohtaisesti Katz-keskeisyyden painokerroin ja laskettu Katz-keskeisyydet. Kuvan 6.5 vasemman puoleisessa kuvaajassa on esitetty esimerkkinä suurimman aggregoidun verkon Katz-jakauma. Jakaumasta pienimmän arvon frekvenssi on jätetty huomioimatta sovittaessa potenssilakia tuloksiin. Jokaista verkkoa vastaavan sovituksen potenssin arvo on esitetty kuvan oikean puoleisessa kuvaajassa aggregoitujen periodien määrän funktiona. Nämä tulokset sekä parametrin  $p$  arvot ovat niin ikään myös esitetty liitteen C taulukossa.



**Kuva 6.5:** Aggregoitujen verkkojen Katz-jakaumat ja niiden skaalavapaus. Vasemmalla on esitetty verkon  $G_{I...VI}$  jakauma pisteillä ja jakauman ( $K_C > 0,001$ ) potenssilain mukainen sovitte suoralla. Sovitteen  $\gamma$  arvo tarkkuuksineen on esitetty kuvassa ja vastaa samaa arvoa, kuin oikean puoleisessa kuvaajassa kuuden periodin määrällä. Rukseilla on merkitty sadan konfiguraatiomallin jakaumien keskiarvo. Oikealla on esitetty aliverkkojen  $G_i$  Katz-jakaumien potenssit aggregoitujen periodien funktiona. Pisteillä on esitetty termin  $\gamma$  arvo, joka vasemman puoleisen kuvan tavoin on ratkaistu jokaiselle aliverkolle erikseen. Virhepalkeilla on esitetty kullekin periodimäärälle potenssien keskiarvo ja -hajonta. Yhdistävä käyrä on tulosten pohjalta hahmoteltu arvio potenssi kehityksestä.

Kuvan 6.5 vasemman puolen kuvaajasta käy ilmi, että Katz-jakaumaa ei ehkä parhaiten kuvaakaan käänteinen potenssilaki vaan enneminkin logaritmisesti normaali (*log-normal*) jakauma. Tämä käy ilmi rukseilla esitetyn sadalle konfiguraatiomallille laskettujen Katz-keskeisyyksien keskiarvojen jakauman muodosta, joka poikkeaa tuloksista käyrämäisellä muodollaan. Katz-jakauman potenssilakisuutta ei tosin ole tutkimuksessa aiemmin vaa- dattu, mutta se tarjoaa kapealla tarkasteluvälillä mahdollisuuden arvioida jakaumien ke- hitystä aggregoitavien periodien funktiona. Oikeanpuoleinen kuvaaja paljastaa, kuinka jakauman potenssi kasvaa aliverkon koon kasvaessa, vaikkakin muutokset ovat melko pie- niä verrattuna astejakaumiin. Lisäksi kolmella ja sitä pienemmällä määrällä aggregoitujen verkkojen Katz-jakaumien potenssien keskihajonta on liki saman suuruinen. Toisin sanoen myös globaalisti keskeisyyttä arvioiden havaitaan verkkojen olevan keskenään samalla ta- valla skaalavapaita.

Siirretään huomio neljään astejakauman skaalavapauden perusteella valittuun verk- koon  $G_{I...III}$ ,  $G_{II...IV}$ ,  $G_{III...V}$  ja  $G_{IV...VI}$ , jot- ka koostuvat kolmesta perättäisestä perio- dista. Näiden verkkojen Katz- ja astekeskei- syyksien korrelaatiot ovat esitetty kuvassa 6.6, jotta voidaan tarkastella tuoko edellä kuvattu työläs laskenta jotain uutta tietoa. Pearsonin korrelaatiokerroin jää melko al- haiseksi välille 0,69–0,76 ja Kendall- $\tau_B$  jär- jestyskorrelaatiokerroin jää vielä alhaisem- maksi välille 0,42–0,51. Kuvan perusteella vaihtelu on suurinta solmuilla, joiden aste on enemmän kuin kymmenen.



**Kuva 6.6:** Verkkojen  $G_{I...III}$ ,  $G_{II...IV}$ ,  $G_{III...V}$  ja  $G_{IV...VI}$  aste- ja Katz-keskeisyyden korrelaatiot ja korrelaatiokertoimet  $R^2$  sekä  $\tau_B$ .

Alhaisen korrelaation perusteella solmun aste lokaalina keskeisyyden mittana käytetty- nä ei ole erityisen hyvä ennuste tässä tutkimuksessa tarkasteltavalle globaalille Katz- keskeisyydelle huolimatta molempien keskeisyyksien potenssilakisuudesta. Näin ollen glo- baalin Katz-keskeisyyden laskemiselle on ollut peruste ja se on tuottanut jotain uutta tietoa verrattuna laskennallisesti kevyempään astekeskeisyyteen.

Taulukossa 6.1 on esitetty kunkin neljän tarkasteltavan verkon ja tätä vastaavan ajan- jakson kymmenen keskeisintä aihetta Katz-keskeisyyllä mitattuna. Näiden tulosten pe- rusteella havaitaan hyvin, kuinka suuri Katz-keskeisyys  $C_K$  ja aste  $C_D$  eivät ole täysin toisiaan vastaavat. Esimerkiksi ensimmäisellä ajanjaksolla Tycho Brahen aste on yhtä suuri kuin empiirisen menetelmän, mutta Katz-keskeisyys on vain kolme neljäsosaa. Toi- saalta myös kolmannella ajanjaksolla André-Marie Ampèren aste on alle puolet saman periodin Nobel-palkinnosta, mutta Katz-keskeisyys on melkein kaksinkertainen.



**Taulukko 6.1:** Katz-keskeisimmät aiheet verkoissa  $G_{I...III}$  –  $G_{IV...VI}$ . Jokaisesta ajanjakson mukaisesta verkosta on esitetty kymmenen Katz-keskeisintä solmua ja niitä vastaavat aiheet sekä näiden asteet. *Kursiivilla* on merkitty henkilöt ja **vahvennettuna** kokoavat sisällöt.  $C_K$  tulokset ovat kerrottu kymmenellä luettavuuden parantamiseksi.

$G_{I...III}$ (1572–1848)			$G_{II...IV}$ (1704–1900)			$G_{III...V}$ (1789–1914)			$G_{IV...VI}$ (1848–1928)		
$C_K$	$C_D$	Aihe	$C_K$	$C_D$	Aihe	$C_K$	$C_D$	Aihe	$C_K$	$C_D$	Aihe
4,2	46	<i>I. Newton</i>	3,6	37	<b>Ranskan s. v.</b>	3,6	30	<i>M. Faraday</i>	3,1	30	<i>A. Einstein</i>
2,6	29	<i>G. Galilei</i>	2,2	30	<i>M. Faraday</i>	2,3	12	<b>SMG</b>	2,9	49	<b>I WW</b>
2,0	21	empiirinen m.	1,8	17	<i>Napoleon I</i>	2,1	9	<i>A.-M. Ampere</i>	2,5	22	<b>QM</b>
2,0	15	<b>Tieteellinen v.</b>	1,7	31	höyrykone	1,9	14	sähkövirta	2,3	18	<i>M. Planck</i>
1,9	14	heliosentrinen k.	1,7	23	<b>teollinen v.</b>	1,9	6	<i>H. Ørsted</i>	2,1	15	<i>Louis de Broglie</i>
1,8	11	<i>J. Kepler</i>	1,7	16	sähkövirta	1,8	10	Volttin pylväs	1,9	17	<i>N. Bohr</i>
1,7	14	teleskooppi	1,6	20	<i>K. Marx</i>	1,8	17	<i>J. Maxwell</i>	1,7	11	<i>E. Schrödinger</i>
1,7	14	gravitaatiolaki	1,4	10	<i>A.-M. Ampere</i>	1,7	10	Galvanometri	1,5	8	<i>M. Born</i>
1,5	21	<i>T. Brahe</i>	1,4	17	<i>Voltaire</i>	1,5	26	<b>Ranskan s. v.</b>	1,5	9	<i>W. Heisenberg</i>
1,5	13	gravitaatio	1,4	10	Volttin pylväs	1,3	23	Nobel-palkinto	1,3	25	Nobel-palkinto

Lyhenteellä SMG tarkoitetaan sähkömagnetismia, I WW ensimmäistä maailman sotaa, QM kvanttimekaniikkaa ja kirjain-piste lyhenteet ovat sanoista: s. suuri, v. vallankumous, m. menetelmä ja k. maailmankuva

Aiheille laskettu Katz-keskeisyys mahdollistaa jossakin määrin aiheiden keskinäisen kvantitatiivisen vertailun. Tämä tulee kuitenkin tehdä vain yhden ajanjakson sisällä, koska keskeisyydet ovat normitetussa muodossa ja tämän takia vertailu eri verkkojen aiheiden välillä ei ole suoraviivaista. Ei esimerkiksi voida väittää, että verkon  $G_{II...IV}$  Michael Faraday olisi yhtä keskeinen kuin verkon  $G_{IV...VI}$  Max Planck, vaikka molemmilla on liki yhtä suuri Katz-keskeisyys. Voidaan kuitenkin sanoa, että aiheet ovat yhtä keskeisiä oman ajanjaksonsa muuhun sisältöön suhteutettuna.

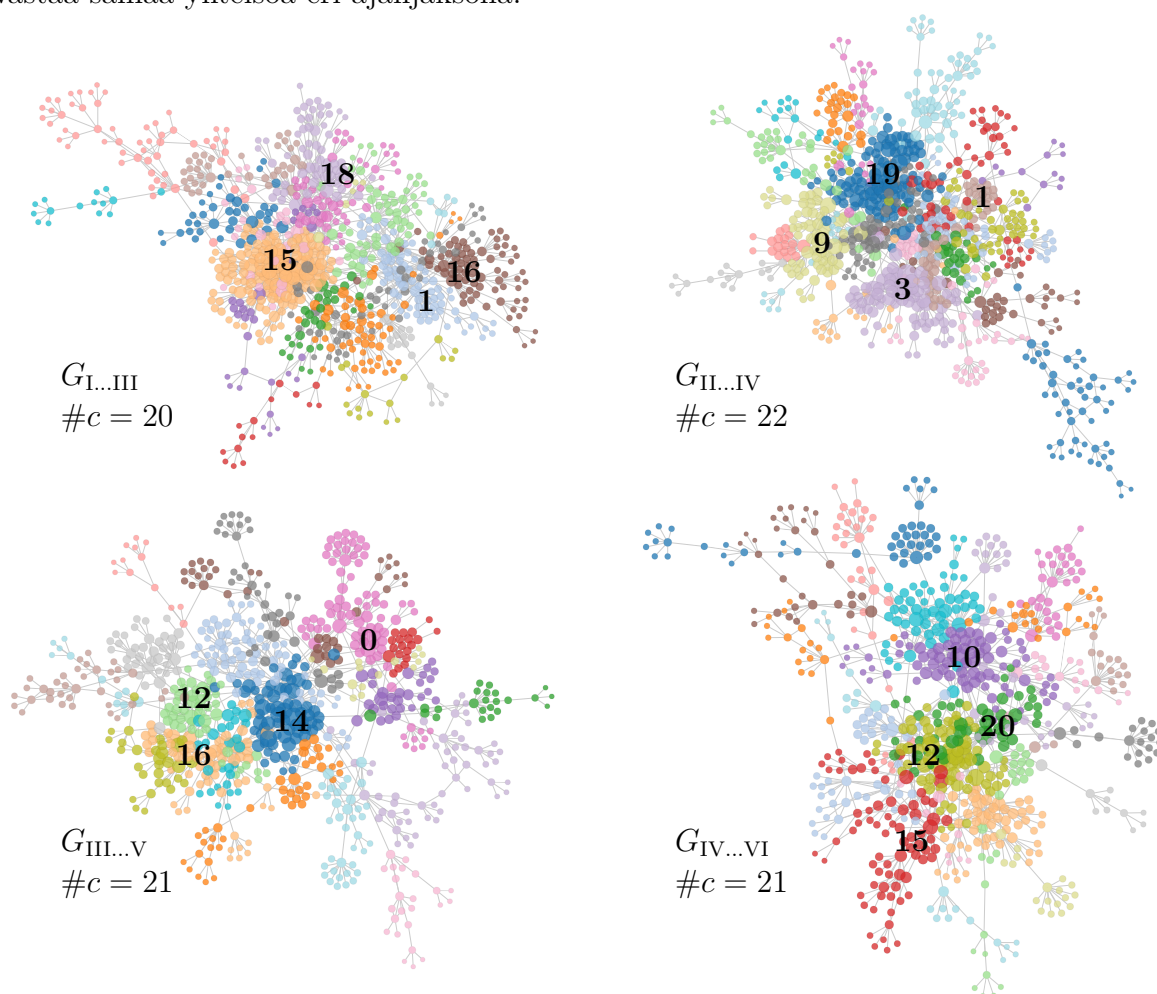
Taulukon 6.1 perusteella voidaan päätellä, että opiskelijoiden kokonaiskuva fysiikan historiasta on melko henkilökeskeinen, koska noin puolet ajanjaksojen keskeisimmistä aiheista ovat henkilöitä. Henkilöiden lisäksi keskeisimmiksi aiheiksi mielletään kokoavia käsitteitä, kuten esimerkiksi tieteellinen vallankumous ja sähkömagnetismi. Lisäksi listalta löytyy myös institutionaalisessa roolissa pidettävä Nobel-palkinto. Muuten keskeisimmät sisällöt koostuvat fysiikan kannalta oleellisista kehitysaskelista menetelmien, mittalaitteiden, sovellusten ja käsitteiden osalta.

## 6.3 Aliverkkojen yhteisöt

Kappaleen alussa kuvassa 6.1 esitetyn *sfdp*-asettelun perusteella voidaan olettaa jonkinasteisen yhteisörakenteen esiintymistä, koska asettelusta on helposti tunnistettavissa alueita, joiden sisäinen kytkettyneisyys on suurempi kuin yhteys muuhun verkkoon. Teoriaosion 3.4 mukaisesti maksimoimalla kaavan 3.6 mukainen modulaarisuus tunnistettiin verkoista  $G_{I...III}$  –  $G_{IV...VI}$  yhteensä 84 eri yhteisöä, joista yhtä ajanjaksoa kohden lukeutuu noin 20 yhteisöä. Koska ajanjaksot ovat osittain päällekkäisiä, toistuu suurin osa yhteisöjen

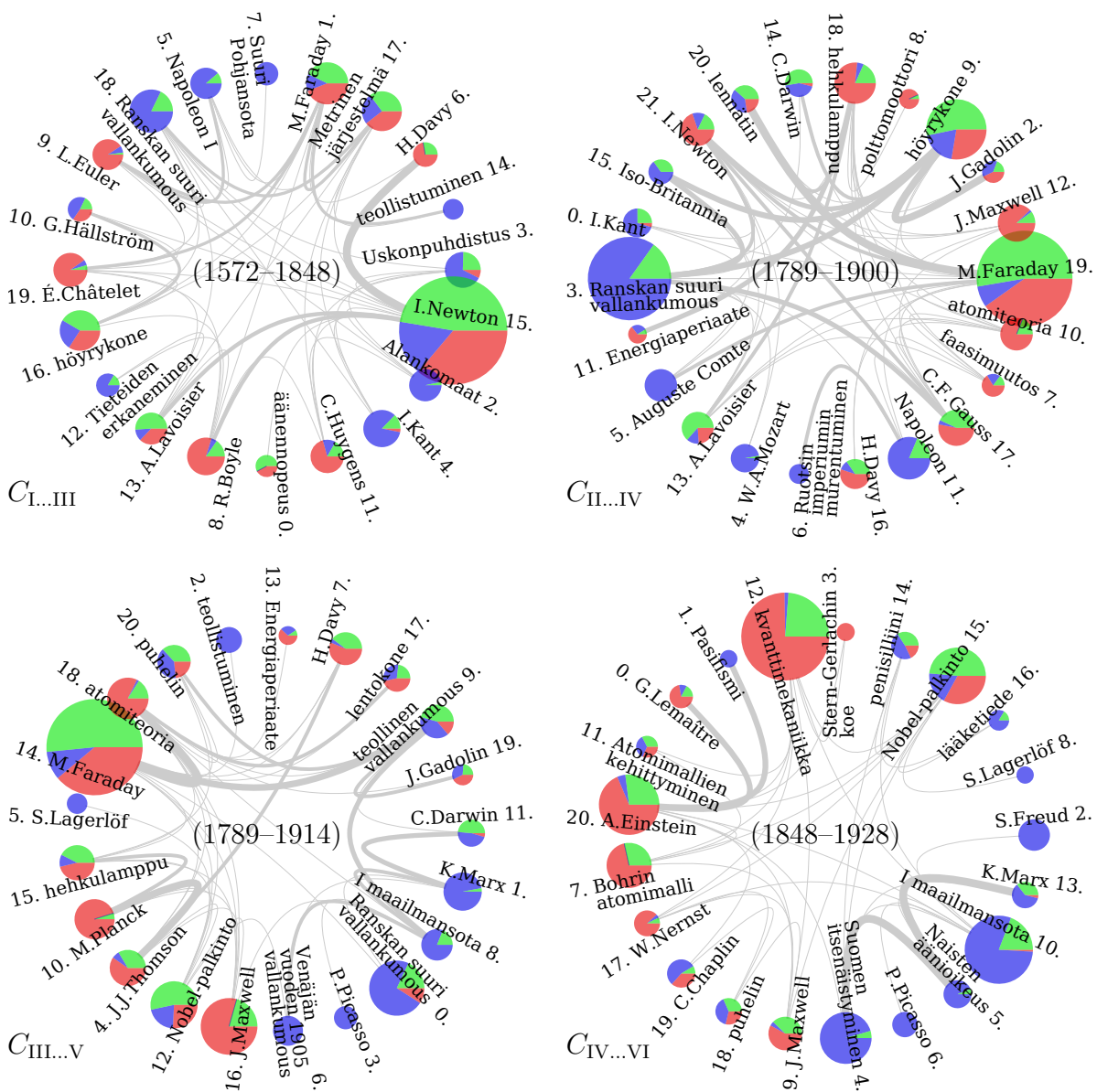
sisältämistä aiheista periodista toiseen siirryttäessä. Kuitenkin yksittäinen aihe saattaa vaihtaa niin sanotusti yhteisöään eli kytkeytyy vahvemmin uusiin aiheisiin siirryttäessä kohti nykypäivää. Yhteisöjen sisältöihin keskitytään tarkemmin taulukon 6.2 yhteydessä.

Verkkojen  $G_{I...III} - G_{IV...VI}$  modulaarisuudet ovat kohtuullisen suuria ja vaihtelevat välillä 0,78–0,84. Tarkempi erittely modulaarisuuksista on liitteessä C. Yhteisörakenne verkoille on esitetty väreillä eroteltuna kuvassa 6.7, jossa kunkin verkon tapauksessa on esitetty tunnistettujen yhteisöjen määrä  $\#c$  sekä merkitty tunnusluvulla neljä tärkeintä (kumulatiivisesti Katz-keskeistä) yhteisöä. Kuten edellä todettiin, ei verkkojen välillä voida suoraviivaisesti todeta kahden yhteisön olevan samoja vaan ainoastaan jakavan joitain samoja aiheita. Näin ollen eri verkkojen välillä verrattuna sama väri ja tunnusluku eivät vastaa samaa yhteisöä eri ajanjaksoilla.



**Kuva 6.7:** Neljän ajanjakson verkot *sfdp*-asettelulla. Jokaisesta verkosta modulaarisuuden optimoinnilla tunnistettujen verkkojen määrä on esitetty tunnuksella  $\#c$ . Neljä keskeistä yhteisöä on merkitty kuhunkin verkkoon tunnusluvuilla, jotka ovat samat kuin taulukon 6.2 tuloksissa. Jokainen yhteisö on esitetty erikseen omalla värillään, joka on sama kuin ajanjaksojen kokonaiskuvissa 6.9–6.12. Sama väri eikä sama tunniste kuitenkaan tarkoita samaa yhteisöä eri verkkojen välillä, sillä yhteisöjen sisältö vaihtuu verkosta toiseen.

Verkkojen  $G_{I...III} - G_{IV...VI}$  yhteisörakenteesta on muodostettu teoriaosion 3.4 mukaisesti tiivistetyt verkot  $C_{I...III} - C_{IV...VI}$  ja nämä ovat esitetty kuvassa 6.8. Tiivistetyissä verkoissa kaaren paksuus kuvaa teoriaosion 3.4 kuvan 3.7 tiheysmatriisin tapaan yhteisöjen välisten särmien suhteellista määrää. Solmut kuvastavat yksittäistä yhteisöä ja niiden selitteissä esiintyvät tunnusluvut ovat yhteisöjen tunnisteita, jotka ovat samat liitteessä D listattujen yhteisöjen kanssa. Kuvatekstissä on eriteltyä tarkemmin tiivistettyjen verkkojen esitystapa.



**Kuva 6.8:** Neljästä ajanjaksosta tunnistettujen yhteisöjen perusteella tiivistetyt verkot  $C_{I...III} - C_{IV...VI}$ . Verkoissa jokainen solmu edustaa yhtä tunnistettua yhteisöä ja tunnusluku vastaa samaa kuin kuvan 6.7 verkoissa sekä taulukossa 6.2. Solmun koko kuvastaa yhteisön tärkeyttä ja ympyrädiagrammin sektorit kuvaavat yhteisön aihepiiristä jakaumaa Katz-keskeisyyden perusteella: punaisella fysiikan historia, sinisellä yleinen historia ja kummankin ilmetessä vihreällä. Kaarien paksuus on suhteessa yhteisöjen välillä esiintyvien särmien määrään.

Tarkastellaan kuvaa 6.8, jonka perusteella voidaan havaita opiskelijoiden näkemys fysiikan ja yleisen historian erkaantumisesta lähestyttäessä nykypäivää. Tiivisteverkoissa  $C_{I...III}$  ja  $C_{II...IV}$  esiintyy useita solmuja, joissa on joko paljon vihreitä sektoreita käsittäen sekä yleistä ja fysiikan historiaa tai sitten yhtäläillä sinisiä ja punaisia sektoreita käsittäen kumpaakin aihealuetta erikseen. Lisäksi yhteisöjen välillä esiintyy runsaasti kaaria ja ne ovat verrattain paksuja. Toisin sanoen opiskelijat mieltävät fysiikan historian selkeästi osana yleistä historiaa tarkasteltaessa ensimmäistä kahta ajanjaksoa. Tiivisteverkoista  $C_{III...V}$  ja  $C_{IV...VI}$  ei löydetä edellä kuvatun kaltaisia ominaisuuksia ja näistä on havaittavissa aihealueiden selkeämpi jako.

Siirretään huomio kuvassa 6.7 esitettyihin neljään verkkoon ja niiden neljään suurimpaan yhteisöön, joiden viisi keskeisintä aihetta on listattu taulukossa 6.2. Näiden yhteisöjen sisältöjä on luonnehdittu seuraavaksi liitettä D sekä taulukossa ilmoitettuja yhteisön jäsenten eli listattujen aiheiden prosenttiosuuksia apuna käyttäen.

Ajanjaksoa 1572–1848 vastaavan verkon  $G_{I...III}$  yhteisö (15) keskittyy tieteellisen vallankumoukseen ja henkilöityy vahvasti Isaac Newtoniin ja Galileo Galileihin. Keskeisimmät aiheet ovat myös varsin heterogeeninen joukko sisältäen niin henkilöitä, kokoavan käsitteen ja tieteellisiä innovaatioita, kuten aurinkokeskinen maailmankuva ja empiirinen menetelmä. Tämä yhteisö on kaikista suurin yhteisö verrattuna muihinkin ajanjaksoihin, mutta ei esiinny keskeisimpien aiheiden osalta enää lainkaan myöhemmillä ajanjaksoilla.

Verkon  $G_{I...III}$  yhteisö (18) rakentuu suurimmaksi osaksi Ranskan suuren vallankumouksen ympärille ja kuvastaa erityisesti Euroopan hakeutumista uuteen yhteiskuntajärjestykseen. Keskeisimpiä ideologisia suuntauksia ovat liberalismi ja yleisemminkin valistus sekä individuaaleista valistujan filosofit Voltaire ja J.-J. Rousseau sekä yhteiskuntafilosofi Karl Marx. Tämä yhteisö esiintyy saman tapaisena myös verkossa  $G_{II...IV}$  yhteisönä (3) ja verkossa  $G_{III...V}$  yhteisönä (0), vaikkakin tarkempi sisältöjen tarkastelu paljastaa globalisoituvan suunnan: lopulta koko länsimaisen maailman yhteiskuntajärjestys on uusittu.

Yhteisö (1) verkossa  $G_{I...III}$  käsittelee sähkömagnetismista ja henkilöityy vahvasti muutamaaan fyysikkoon: Faraday, Ampère ja Volta nousevat keskeisimmiksi aiheiksi. Sähkövirta ja Voltan pylväs ovat ensimmäisiä keskeisiä fysiikan ilmiöiden ja teknologisten keksintöjen aiheita, kun tarkastellaan yhteisörakennetta. Yhteisö ilmenee pääpiirteittäin myös kahdella seuraavalla ajanjaksolla tärkeimpänä. Ajanjakson neljäntenä oleva yhteisö (16) on hyvin teknologiapainotteinen ja teollista vallankumousta käsittelevä. Merkittävimpänä keksintönä esiin nousee höyrykone ja tämän välittömät sovellukset kulkuneuvoissa. Tämäkin yhteisö esiintyy toistamiseen seuraavalla ajanjaksolla yhteisönä (9), vaikkakin James Wattin kanssa keskeiseksi nousee myös Thomas Newcomen.



Ajanjaksoon 1704–1900 siirryttäessä poistuu tieteellistä vallankumousta käsittelevä yhteisö tehden tilaa kolmen muun yhteisön kasvamiseen. Sähkömagnetismiin liittyvä yhteisö (19) nousee selkeästi keskeisemmäksi kuin yhteisö (3), joka rakentuu nyt vahvemmin Ranskan suureen vallankumouksen ympärille (prosentuaalinen osuus yhteisössä kasvaa merkittävästi). Tällä ajanjaksolla tulee uutena keskeisenä kokonaisuutena ainoastaan yksi uusi Napoleonin sotiin keskittyvä ja Napoleon ensimmäiseen vahvasti henkilöityvä yhteisö (1), joka seuraavaan ajanjaksoon siirryttäessä yhdistyy Ranskan suureen vallankumoukseen keskittyvän yhteisön kanssa. Tämän uuden yhteisön (0) keskeisyys on kuitenkin vain puolet edellisistä.

Seuraavaan ajanjaksoon 1789–1914 siirryttäessä kasvaa edelleen Faradayhin henkilöityvän sähkömagnetismiin keskittyvän yhteisön keskeisyys. Verkossa  $G_{III...V}$  nousee esiin kaksi uutta keskeistä yhteisöä. Ensimmäinen uusi yhteisö (16) liittyy sähkömagneettiseen kenttäkäsitteeseen ja selkeästi keskeisimpinä aiheena James Maxwell sähkömagneettiseen säteilyyn liittyen ja hieman pienemmässä roolissa Albert Einstein erityiseen suhteellisuusteoriaan. Seuraavalle ajanjaksolle siirryttäessä jää yhteisöstä jäljelle Einstein erittäin keskeisessä roolissa ja uusina keskeisinä aiheina ovat Einsteinin vuoden 1905 (*Annus Mirabilis*) saavutukset muodostaen uuden yhteisön (20)

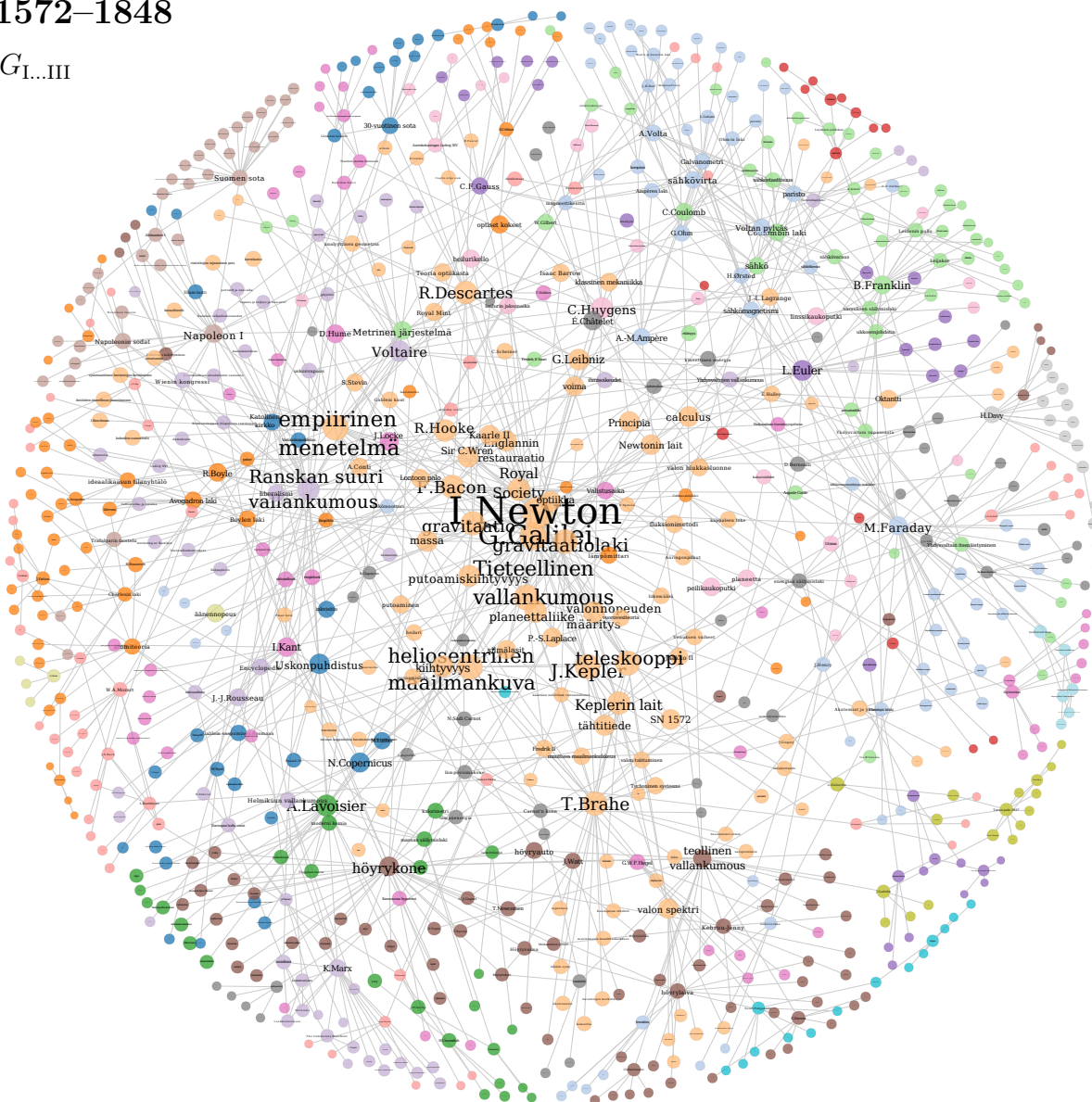
Ensimmäinen instituutiot huomioiva kokonaisuus on verkon  $G_{III...V}$  yhteisö (12), joka toistuu seuraavallakin ajanjaksolla yhteisönä (15). Tämä yhteisö keskittyy erityisesti Nobelpalkintoon ja sen varhaisiin vuosiin röntgensäteilyyn ja radioaktiivisuuteen liittyen. Viimeisellä ajanjaksolla 1848–1928 keskeisimpänä yhteisönä (12) on kvanttimekaniikkaan keskittyvä kokonaisuus. Huomattavaa on, että jopa seuraavat kuusi keskeisintä aihetta yhteisössä ovat fyysikoita. Viimeisenä uusin yhteisö (10) kokoaa valtavan määrän aiheita yhteisössään hyvin keskeisenä pidetyn ensimmäisen maailman sodan ympärille.

## 6.4 Ajanjaksojen kokonaiskuvat

Seuraavien sivujen kuvissa on pyritty havainnollistamaan ja kuvailemaan lyhyesti edellä esitettyihin tuloksiin nojaten tämän pro gradu -tutkielman työn nimen mukaista opettajaopiskelijoiden kokonaiskuvaa fysiikan historiasta. Tämä on toteutettu esittämällä *arf*-asettelulla kutakin ajanjaksoa vastaava verkko, jossa solmun ja sen selitetekstin koko ovat suhteessa verkon solmulle laskettuun Katz-keskeisyyteen  $C_K$ . Mitä isompi solmun ala sitä suurempi on sen keskeisyys ja näin ollen opiskelijoiden kollektiivisesti tälle mieltämä merkitys. Solmujen värit vastaa kuvan 6.7 tunnistettujen yhteisöjen väritystä. (pdf-tiedostomuodossa voidaan lähentää kokonaiskuvien näkymää pienimpienkin solmun tarkastelemiseksi ja sivulla voidaan suorittaa hakutoiminto tavalliseen tapaan.)



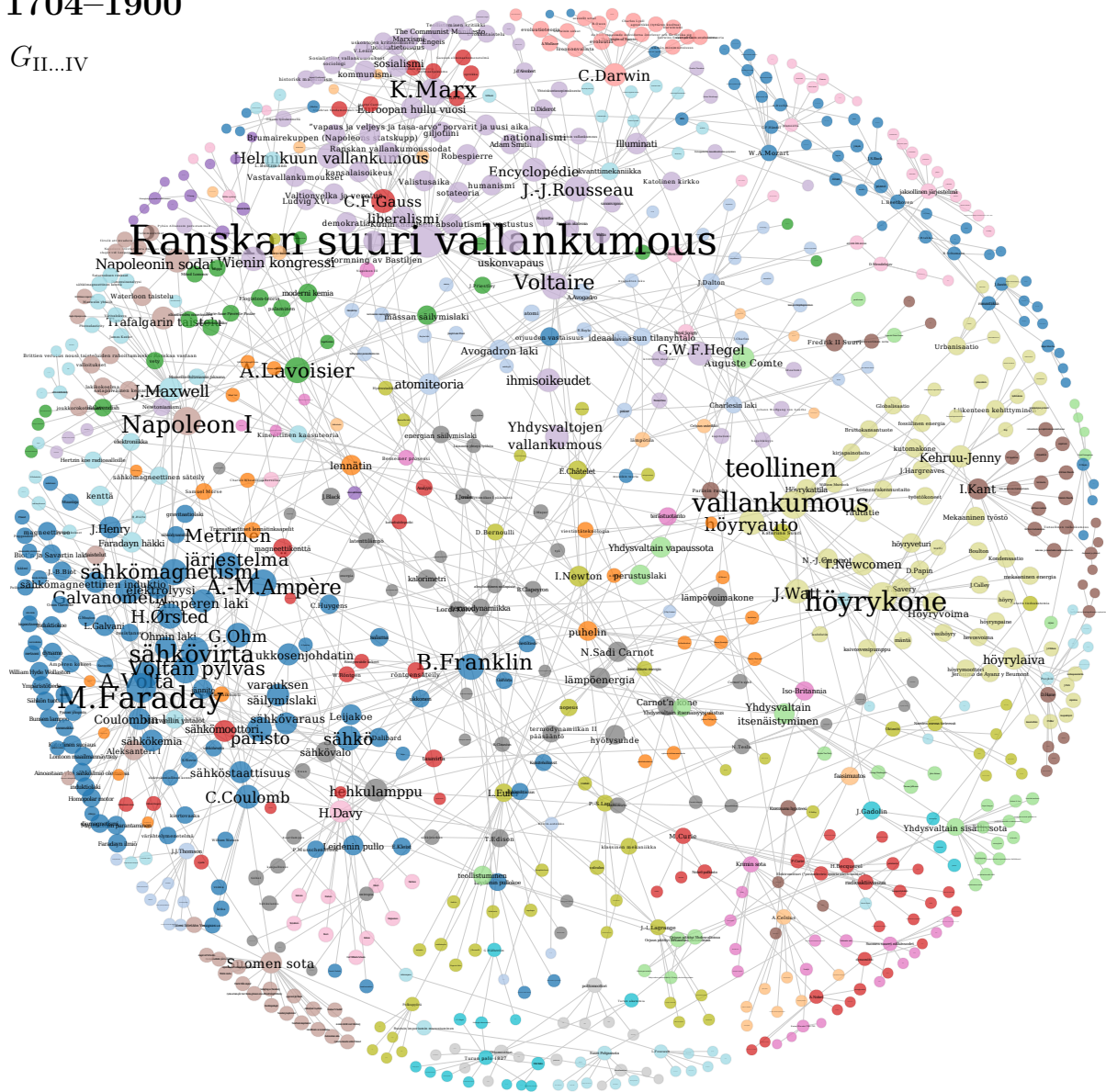
1572–1848

G<sub>I...III</sub>

**Kuva 6.9:** Fysiikan opettajaopiskelijoiden fysiikan historian kokonaiskuva ajanjaksosta 1572–1848.

Hallitseva elementti kokonaiskuvassa 6.9 on kokonaisuus (yhteisö), joka koostuu tieteelliseen vallankumoukseen liittyvistä aiheista ja näistä merkittävimpänä luonnontieteilijät I. Newton ja G. Galilei. N. Kopernikuksen heliosentrinen maailmankuva voidaan katsoa aloittaneen tieteellisen vallankumouksen, joka varsinkin G. Galilein myötä sai vaikuttavuutta. Teleskooppi toimi merkittävänä tähtitieteen tutkimuksen instrumenttina ja T. Brahe ja J. Kepler havainnoillaan ja analyyseillaan loivat pohjan todistaa aurinkokeskisyys ja tarjosivat lähtökohdan I. Newtonille kehittää teoriaa gravitaatiosta. Kokonaiskuvasta voidaan havaita tulevilla ajanjaksoilla keskeiseksi nousevia kokonaisuuksia, kuten Ranskan suuri vallankumous, sähkömagnetismi tai teollinen vallankumous ja näihin liittyvät yhteisöt, mutta nämä ovat vielä häviävän pieniä.

## 1704–1900

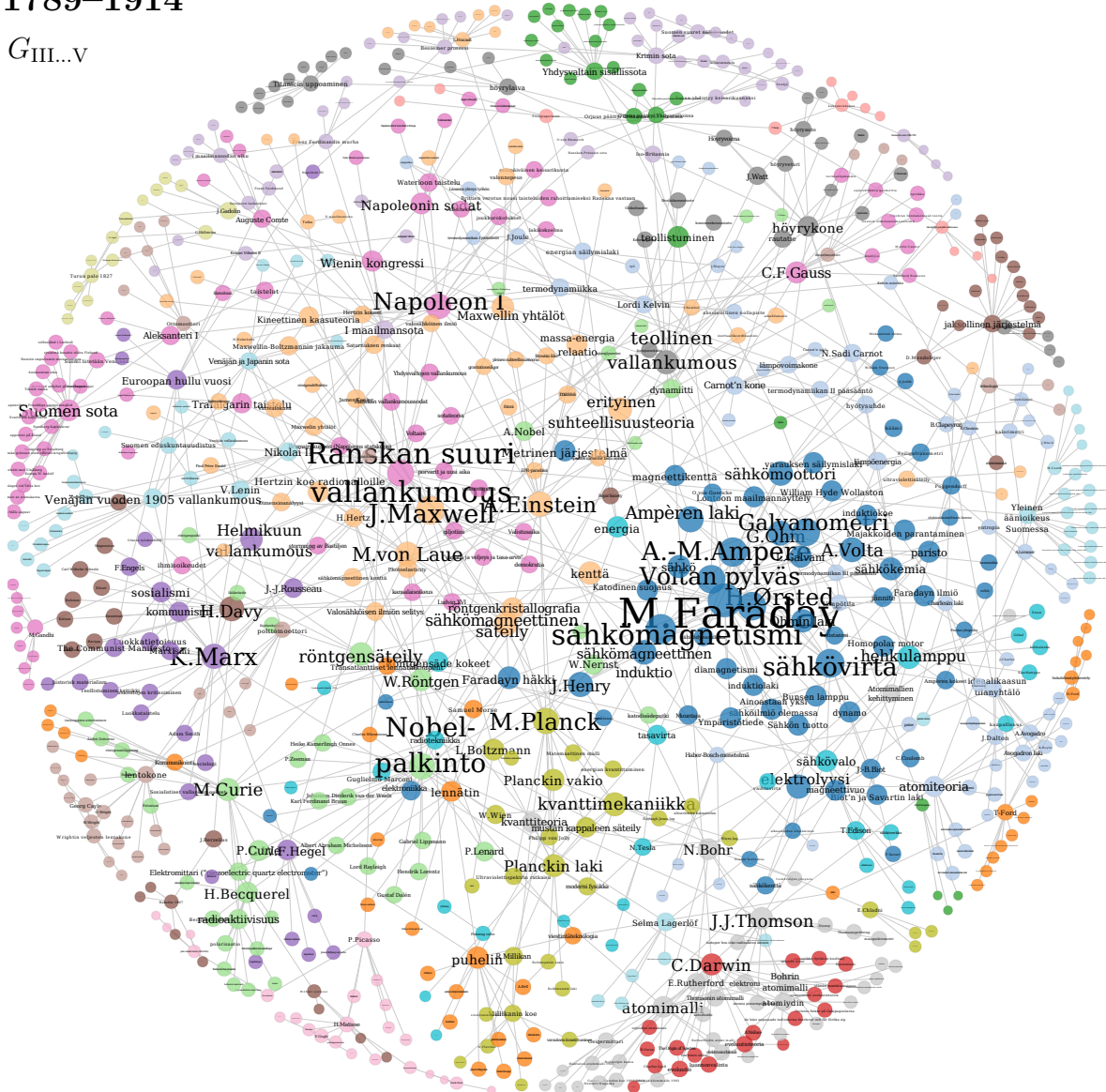
G<sub>II...IV</sub>

**Kuva 6.10:** Fysiikan opettajaopiskelijoiden fysiikan historian kokonaiskuva ajanjaksosta 1704–1900.

Kokonaiskuvasta 6.10 erottuu selkeästi kolme hallitsevaa aluetta: sähkömagnetismiin keskittyvä, Ranskan suureen vallankumoukseen liittyvä ja teollisen vallankumouksen aiheita koostuva kokonaisuus. Sähkömagnetismiä käsittelevästä kokonaisuudesta on helpoiten havaittavissa sähködynamiikkaan liittyviä fysiikan käsitteitä, ilmiöitä ja keksintöjä. M. Faraday, A.-M. Ampère ja B. Franklin ovat henkilöistä selkeimmin erottuvia. Ranskan suureen vallankumoukseen keskittyvä kokonaisuus pitää sisällään ideologioita, individuaaleja sekä tapahtumia, jotka johdattelevat koko Euroopan kohti uutta yhteiskuntajärjestystä. Teollista vallankumousta käsittelevän kokonaisuuden keskeisin aihe on höyrykone ja välittömästi tämän vierestä löytyy tämän keksinnön ensimmäinen sovellus kaivosvesipumppu.



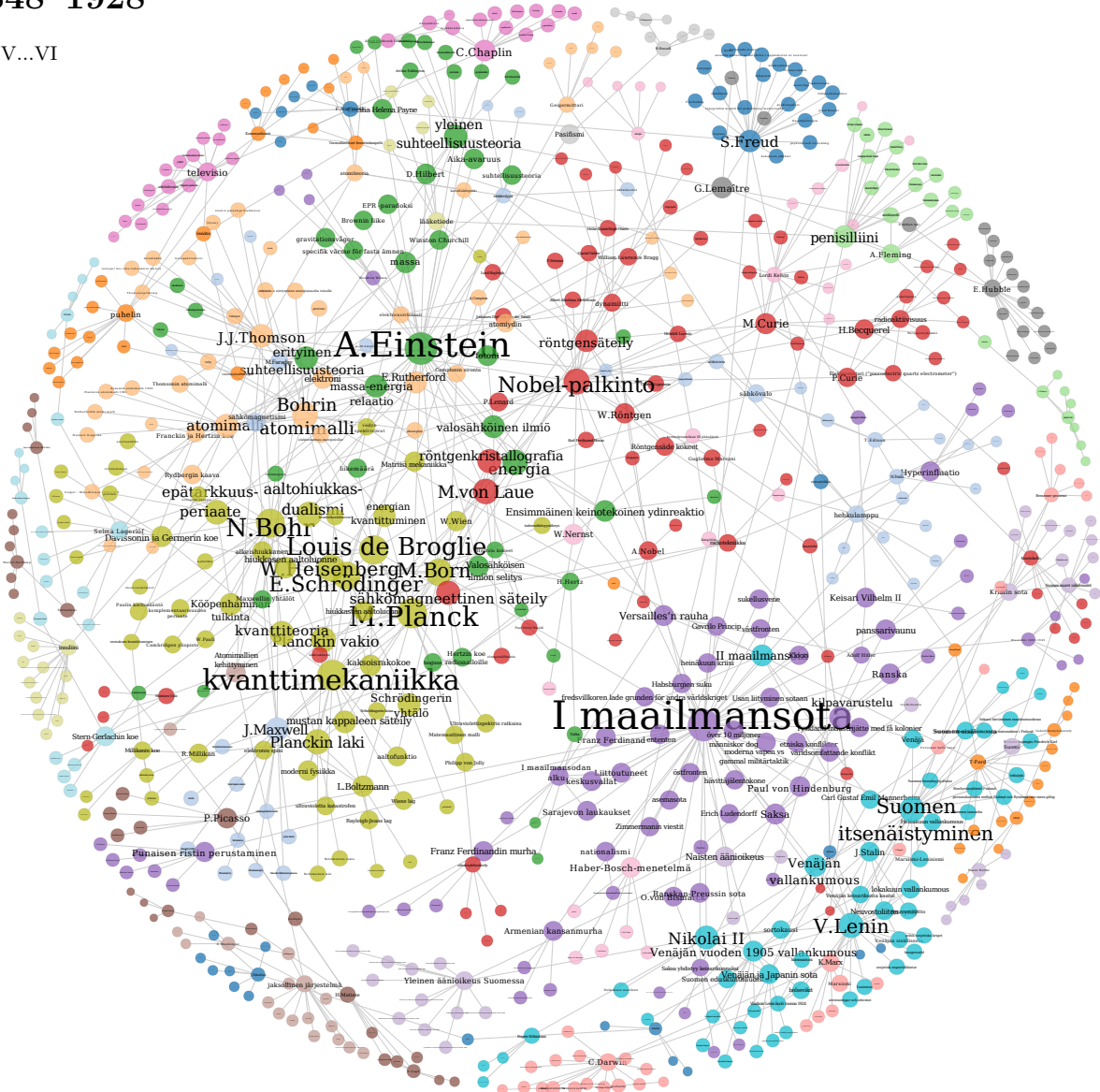
1789–1914

 $G_{III...V}$ 

Kuva 6.11: Fysiikan opettajaopiskelijoiden fysiikan historian kokonaiskuva ajanjaksosta 1789–1914.

Kokonaiskuvan 6.11 keskeisin hallitseva elementti on edellisen ajanjakson tapaan sähkömagnetismia käsittelevä kokonaisuus, mutta tällä kertaa hieman suppeampana aiheiden määrässä mitattuna. Tämä on kuitenkin suhteessa keskeisempi, kuin edellisellä ajanjaksolla. Sen sijaan muut taulukossa 6.2 listatut yhteisöt eivät kokonaiskuvassa ole yhtä selkeästi väreillä erottuvina alueina vaan enemmänkin hajallaan ja toisiinsa sekoittuneena. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, että nämä yhteisöt olisivat keskenään toisiinsa vahvasti kytköksissä. Kuvan 6.8 tiivistetty verkko  $C_{III...V}$  paljastaakin, että yhteisö, johon Ranskan suuri vallankumous kuuluu, ei juuri ole yhteydessä muihin yhteisöihin. Sen sijaan Nobel-palkintoa tai J. Maxwellia käsittelevillä yhteisöillä on hyvin runsaasti kytköksiä muihinkin yhteisöihin. Mielenkiintoisesti C. Darwin ja evoluutioteoria jää melko pienelle huomiolle pohdittaessa sen niin tieteellistä kuin yhteiskunnallista merkitystä.

1848–1928

G<sub>IV...VI</sub>

**Kuva 6.12:** Fysiikan opettajaopiskelijoiden fysiikan historian kokonaiskuva ajanjaksosta 1848–1928.

Kokonaiskuva 6.12 paljastaa, kuinka opiskelijoiden näkemyksen perusteella tieteenhistoria ja yleinen historia erkaantuvat selkeästi toisistaan. Kuvan voi kuvitella halkaisevan kahtia hieman diagonaalisesti kello yhdestä seitsemään siten, että oikealle puolelle jää ensimmäinen maailmansota ja Suomen itsenäistyminen yhteisöineen ja vasemmalle puolelle hyvin vahvasti henkilöihin painottuva yhteisö kvanttimekaniikasta, A.Einsteiniin ja hänen saavutuksiin keskittyvä kokonaisuus sekä Nobel-palkinnosta ja palkinnon saaneista muodostuva elementti. Yhteyttä tieteen historian ja yleisen historian (erityisesti ensimmäisen maailmansodan) välillä täytyy etsiä esimerkiksi M.Bornin, ensimmäisen keinoitekoisen ydinreaktion tai dynamiittiin kautta. Tässä kokonaiskuvassa näkyy selvästi myös muissakin verkoissa esiintyvä pienempiä yhteisöjä koskettava ilmiö: penisilliinistä ja S.Freudista lähtee molemmista viuhkamainen rakenne, joka käsittää koko yhteisön.

## 6.5 Reliabiliteetti

Tutkimuksessa käytettäviä sosiaalisen verkon analyysimenetelmiä on perusteltua käyttää riittävän isoille verkoille. Newman on kokooma-artikkelissaan esittänyt, kuinka pienimmillään noin 800 solmun kokoisille verkoille on selvitetty käänteisen potenssilain mukaisia sovitteita (2003). Liitteen C taulukossa on listattu kaikkien aggregoitujen verkkojen koot, jotka käsittävät pienimmillään toistasataa solmua. Kuitenkin kokonaiskuvien muodostamiseen on käytetty verkkoja, jotka koostuvat juurikin noin 800 solmusta. Liitteen taulukosta havaitaan myös, kuinka kokonaiskuvissa käytettyjen verkkojen astejakaumien potenssilakisten sovitteiden arvon  $\gamma$  hajonta pienenee alle arvoon 0,2. Lisäksi, vaikka verkkojen astejakauman skaalavapautta tarkasteltaessa on pienimmät asteet jätetty huomiomatta, on kuitenkin kuvan 6.3 mukaisesti kokonaiskuvien muodostamiseen käytettyjen aggregoitujen verkkojen tapauksessa käytetty arvoja vähintään yhdeltä dekadilta.

Tämän tutkimuksen menetelmäosiossa 5.2 on kuvattu, kuinka opiskelijoiden tekemille liitteen A mukaisten harjoitusten palautuksille on tehty kevyt laadullinen analyysi aineiston yhtenäistämiseksi ja eheyttämiseksi verkostoanalyysia varten. Tämä on tehty manuaalisesti kattaen hieman vajaa 750 eri nimistä aihetta, joten inhimillisiä virheitä yhtenäistämisen osalta ei voida poissulkea. Yksittäisen aiheen esiintyminen kahdesti eri solmuna vaikuttaa kuitenkin häviävän vähän muiden solmujen analysointiin näin isossa verkossa. Eheyttämisessä ei ole myöskään käytetty eri arvioitsijoiden välisestä toistettavuutta (*inter-rater reliability*) ja vastaa siksi vain allekirjoittaneen näkemystä.

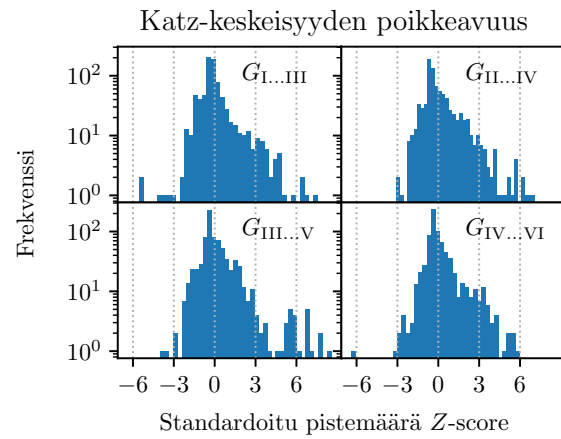
Yhteisöjen tunnistamisessa käytettyyn modulaarisuuden optimointiin liittyy niin kutsuttu resoluutio raja (Fortunato & Barthélemy, 2007). Kyseisellä menetelmällä on vaikea tunnistaa pieniä yhteisöjä ja isot yhteisöt koostuvatkin suurella todennäköisyydellä useista pienemmistä yhteisöistä. Tarkastelemalla liitteen D yhteisöjen listauksia havaitaan, kuinka suurimmassa osassa tunnistettuja yhteisöjä onkin useita kymmeniä jäseniä ja isoin tieteellistä vallankumousta käsittelevä yhteisö koostuu jopa yli sadasta aiheesta. Sen sijaan pieniä yhteisöjä on vain muutamia ja niistä pienimmässä on vain viisi jäsentä (verkon  $G_{I...III}$  yhteisö 0), mutta yksikään näiden yhteisöjen jäsenistä ei ole Katz-keskeisyydellä mitattuna kovin keskeinen verkossaan. Tässä tutkimuksessa ei kuitenkaan ole tarkasteltu kvantitatiivisesti yhteisöjen reliabiliteettia Fortunaton (2007) ehdotuksen mukaisesti vaan on tarkasteltu ainoastaan yhteisöjen aihesisältöjä.

Modulaarisuus ei ole mitenkään riippuvainen verkkoon liittyvästä vuoprosessista ja näin ollen Katz-keskeisyydellä ja yhteisöillä ei varsinaisesti ole mitään suoraa yhteyttä. Katz-keskeisyyden määritelmän mukaan voisi olettaa, että kaikki ne solmut, jotka ovat osana tekemässä muutamia yksittäisiä hyvin keskeisiä solmuja, olisivat kaikki saman yhteisön

jäseniä. Todennäköisesti tämän takia modulaarisuuden optimoinnilla tunnistetut yhteisöt muodostavatkin taulukon 6.2 mukaisesti selkeitä toisistaan erottuvia koherentteja teemallisia kokonaisuuksia. Kuitenkin isoimmissa yhteisöissä esiintyy muutamia yksittäisiä aiheita, jotka on vaikea selittää osaksi tunnistettua kokonaisuutta. Näiden lisäksi voidaan liitteen D listauksesta tunnistaa kaksi hajanaista yhteisöä (verkon  $G_{I...III}$  yhteisöt 17 ja 4), joille on vaikea keksiä yhtä selkeää selittävää kokonaisuutta.

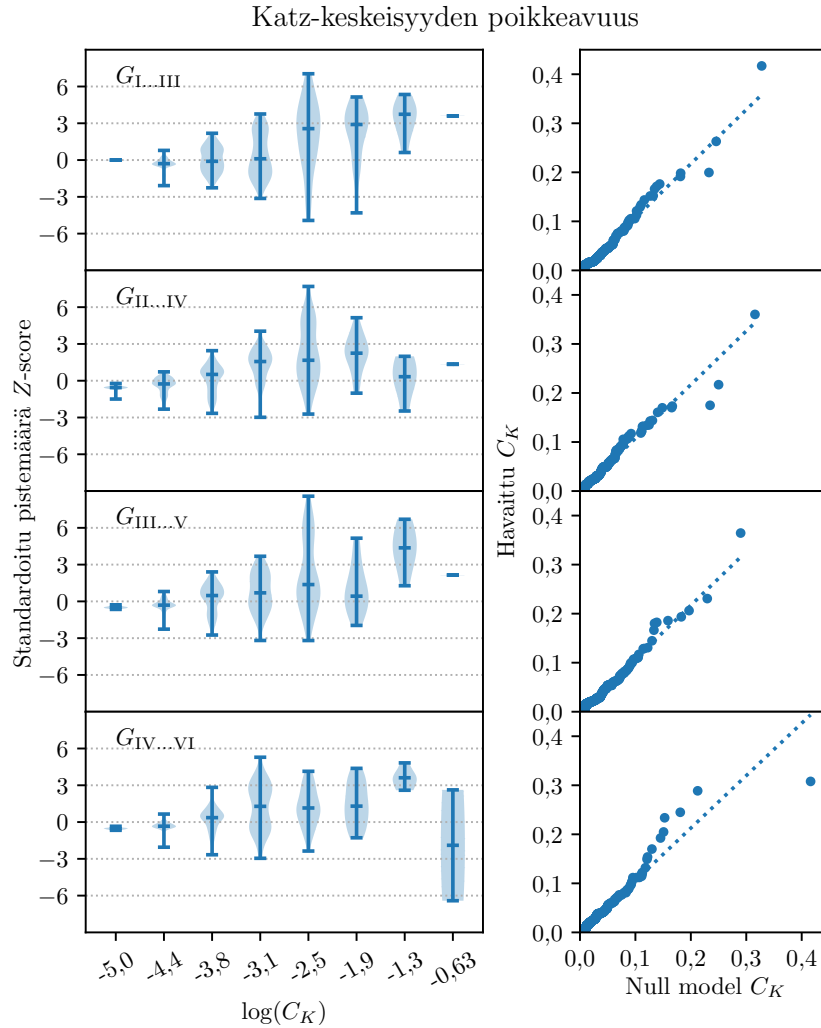
Kokonaiskuvia vastaavien verkkojen solmujen Katz-keskeisyydelle on teoriansion 3.3 mukaisesti laskettu standardoidut pistemäärät käyttäen kunkin verkon tapauksessa sataa eri konfiguraatiomallia. Standardoitujen pistemäärien laskemisessa ei ole uudelleen määritetty optimaalisinta parametria  $p$  kullekin satunnaiselle verkolle, vaan on käytetty jokaisen verkon Katz-keskeisyyden laskemisessa samaa  $p$  arvoa skaalaamaan painokerrointa.

Kuvassa 6.13 on esitetty kokonaiskuvissa käytettyjen verkkojen Katz-keskeisyyksien standardoitujen pistemäärien histogrammit. Suurin osa arvoista asettuu kolmen hajontaluvun sisään nollamallia vastaavasta, mutta huomattavalla osalla absoluuttinen pistemäärä on tätä suurempi. Tällä perusteella voidaan väittää, että Katz-keskeisyys tuottaa analysoidujen verkkojen tapauksessa konfiguraatiomalleista merkittävästi poikkeavan tuloksen. Näin ollen kunkin analysoidun verkon rakenne on satunnaisesta verkosta merkittävästi eroava, joten verkko kuvaa jotain sellaista, mitä satunnaisilla verkoilla ei voida ilmaista.



**Kuva 6.13:** Katz-keskeisyyden poikkeavuus nollamallista standardoitujen pistemäärien histogrammeilla esitettynä aggregoiduille verkoille  $G_{I...III} - G_{IV...VI}$ . Frekvenssi on esitetty logaritmisella asteikolla.

Standardoitujen pistemäärien histogrammien perusteella tehtävää tulkintaa voidaan tarkentaa vielä tarkastelemalla, millä Katz-keskeisyyksien arvoilla poikkeama konfiguraatiomallista on suuri ja mihin suuntaan. Kuvassa 6.14 on havainnollistettu tarkemmin standardoituja pistemääriä ja erityisesti millaisille solmuille poikkeavuus nollamallista on merkittävä. Kuvasta käy ilmi, että suhteellisella Katz-keskeisyyden arvolla  $C_K > 0,001$  (kuvaajassa arvo  $-3 = \log(0,001)$ ) esiintyy kaikkien ajanjaksojen tapauksessa standardoituja pistemääriä, joiden absoluuttinen arvo on yli kolme. Näin ollen erityisesti keskeisimmät solmut ovat niitä, jotka poikkeavat paljon mielivaltaisesta konfiguraatiomallista. Sama havainto voidaan tehdä kvantiili-kvantiili-kuvaajasta ( $Q-Q$  plot), jossa havaitun Katz-keskeisyyden ja konfiguraatiomallien jakaumat ovat yhteneviä pienillä  $C_K$  arvoilla, mutta viimeistään havaitun keskeisyyden kasvaessa yli arvon 0,1 ovat jakaumat toisistaan poikkeavat.



**Kuva 6.14:** Analysoitavien aliverkkojen Katz-keskeisyyksien standardoitujen pistemäärien jakaumat (*Violin plot*) logaritmisesti jaettuna kahdeksalta eri Katz-keskeisyyden väliltä sekä jakaumien kvantiili-kvantiili-kuvaaja (*Q-Q plot*).

Kuvien 6.14 ja 6.13 tulosten perusteella voidaan luotettavasti sanoa, että tarkasteltujen ajanjaksojen keskeisimmät solmut eivät ole nousseet keskeisiksi sattumalta vaan aineistoa tuottavat opiskelijat ovat kukin tahollaan mieltäneet samoja aiheita keskeisiksi. Sen sijaan siihen, miksi jokainen opiskelija on arvottanut keskeiseksi tietyt sisällöt, ei tällä tarkastellulla voida ottaa kantaa. Syy voi piillä esimerkiksi aiheen helppossa saavutettavuudessa ja näkyvyydessä käytetyn lähteen eli englannin kielisen Wikipedian kannalta tai edeltäneiden opintojen aihesisältöjen painotuksessa. Joka tapauksessa opiskelijoiden palautuksista koostettu verkko on hyvin poikkeava täysin satunnaisesta vastaavat aiheet eli solmut sisältävästä verkosta. Toisin sanoen, jos sama tehtävä annettaisiin yhtä suurelle satunnaiselle ihmisjoukolle suoritettavaksi jo puolivalmiiden vastauksien (eli kokonaisuuksissa käytettävien aiheiden) kanssa, olisi kokonaiskuvat hyvin erinäköisiä ja standardoidut pistemäärät hyvin pieniä.

Standardoitujen pistemäärien laskemiseen käytetty konfiguraatiomalli ei ole ainoa mahdollinen tapa tuottaa verkon vertailuaineistoa (Zweig, 2016, kpl. 13), mutta on huomattavasti enemmän aineistoa vastaava kuin täysin satunnainen verkko, jossa kaikki särmät uudelleen sijoitetaan solmujen aste huomioimatta. Konfiguraatiomalli on tämän tutkimuksen osalta käyttökelpoinen, jos oletetaan, että opiskelijat ovat arvottaneet keskenään saman tapaisesti historian sisältöjä. Toisin sanoen, konfiguraatiomallin valinnassa on oletettu, että mikä tahansa joukko henkilöitä havainnoi ohjeistettuna englanninkielistä Wikipediaa selaten saman määrän aiheita, mutta arvottavat eri sisältöjä kuin fysiikan opettajaopiskelijat. Tällöin sekalainen joukko tuottaisi tutkimusaineiston, joka sisältää suurin piirtein saman määrän aiheita ja näiden välisiä yhteyksiä ajanjaksoa kohden, kuin tutkimusaineistossa. Tämän takia aineiston keräämisessä käytetty tehtävänanto on pyritty muotoilemaan hyvin ohjeistavaksi vakiokokoisten vastausten saamiseksi.

## 6.6 Validiteetti

Pohdittaessa tutkimuksen validiteettia nousee ensimmäisenä esiin kysymys siitä, kuinka tutkimusaineistossa ja tuloksissa esiintyvien historiallisten aiheiden valtavan suuret erot kategorioissa ja käsitetasoissa on huomioitu. Ikään kuin tutkimuksessa yhteismitallisuus kategorioiden välillä puuttuisi kokonaan. Tulee kuitenkin huomata, että tässä tutkielmassa mitataan opiskelijoiden mieltämää merkitystä aiheille sekä, kuinka oleellisena opiskelijat pitävät aihetta jollekin tietylle ajanjaksolle. Näin ollen esimerkiksi aiheina I. Newton ja Ranskan suuri vallankumous eivät ole keskenään yhteismitallisia, mutta opiskelijan näille antama merkitys on. Samaten jonkin fysiikan kannalta keskeisen sisällön kuten energian tai aihealueen kuten termodynamiikan puuttuminen tai vähäinen keskeisyys ei tarkoita välttämättä, että opiskelijat eivät mieltäisi näitä merkittäviksi ja keskeiseksi. Sen sijaan tällaisiin aiheisiin ei ole ilmeisesti yhtä helposti liitettävissä isoa joukkoa muita sisältöjä jollain rajatulla ajanjaksolla.

Verkon solmujen keskeisyyksien analyysimenetelmiä on olemassa Katz-keskeisyyden lisäksi useita, kuten esimerkiksi läheisyys (*closeness*) ja välillisuus (*betweenness*) keskeisyydet sekä hakukone Googlessa alun perin käytetty *PageRank* algoritmin mukainen keskeisyysmitta (Estrada, 2012; Zweig, 2016). Jokainen näistä keskeisyyksistä on määritetty aineistolle tutkimuksen varhaisessa vaiheessa, mutta näistä on myöhemmin luovuttu, vaikka esimerkiksi hyvin samankaltaisen aineiston osalta tehdyille tutkimukselle on käytetty *betweenness*-keskeisyyttä (Koponen & Nousiainen, 2018). Teoriakappaleen 3 alussa on esitetty vaatimus, että keskeisyysmittojen laskemiseksi tulee verkkoon voida mieltää jokin vuoprosessi. Jokaista vuoprosessia voidaan siis mitata tietyllä keskeisyydellä ja valitessa soveltumaton keskeisyysmitta vuoprosessin tarkasteluun tullaan tuottaneeksi erheellinen



tulos. Tähän tutkimukseen valittu Katz-keskeisyys ei välttämättä ole parhaiten soveltuva analyysitapa aineiston mukaisen verkkoon ja tutkimusongelmaan, mutta valintaa on perusteltu vuoprosessilla, joka kuvaa opiskelijoiden mieltämää merkitystä ja tämän siirtymistä eri aiheiden välillä.

Yhteisöjen tunnistamisessa käytetyn modulaarisuuden lisäksi on olemassa muitakin erilaisten kokonaisuuksien tunnistamiseen liittyviä menetelmiä. Jatkossa modulaarisuuden reliabiliteettia olisi hyvä tarkastella kvantitatiivisesti (Fortunato & Barthélemy, 2007) tai käyttää muita yhteisöjen tunnistamisen menetelmiä, kuten esimerkiksi astekorjattua stokastista lohkomallia (*degree-corrected stochastic blockmodel*) (Karrer & Newman, 2010). Lisäksi eri verkkojen kesken tunnistetuille samankaltaisille yhteisöille voisi laskea yhtenevyyden esimerkiksi Jaccardin indeksillä, mikä mahdollistaisi selkeämmän havainnollistamisen sekä tarkemman tarkastelun siitä, mitkä yhteisöt pysyvät samoina ja mitkä muuttuvat joko yhdistyessä tai muuttuessa pienempiin osiin.

Opiskelijoiden ohjaaminen käyttämään englanninkielistä Wikipediaa aineistona saattaa vaikuttaa epäluotettavalta ja asettaa kyseenalaiseksi koko tutkimusaineiston ja täten myös tutkimuksen mielekkyyden. Wikipedian mielletään pitävän sisällään osittain vertaisarvioimatonta, virheellistä tai vanhentunutta tietoa ja on luonnehdittu olevan kirjoittajakuntansa vinouttama (Wagner, Garcia, Jadidi, & Strohmaier, 2015). Lisäksi tämä kyseenalaistaa sen, voidaanko tutkimuksella vastata esitettyihin tutkimuskysymyksiin vai kuvaako se eneminkin Wikipedian rakennetta (Ibrahim et al., 2017; Masucci et al., 2011; Muchnik et al., 2007), mitä teoriaosion 3.5 lopussa on pohdittu.

Edellä kuvatut haasteet ovat tutkimuksen teossa huomioitu siten, että opiskelija saa toimia itse arvottajana ja valita kullekin aiheelle vain noin neljä mielekästä ja keskeistä yhtyettä muihin sisältöihin. Yksi Wikipedia artikkeli, joka voidaan mieltää opiskelijan valitsemaksi aiheeksi, sisältää keskimäärin useita kymmeniä viittauksia toisiin Wikipedia artikkeleihin. Näin ollen yksittäinen opiskelija arvottaa koko Wikipedian rakenteesta vain pienen murto-osan. Tiedon oikeellisuuden suhteen englanninkielinen Wikipedia on hyvin kunnostautunut ja esimerkiksi Isaac Newtonia koskeva artikkeli sisältää yhteensä 169 lähdeviittausta (Wikipedia, 2018b). Tämän lisäksi opiskelijoiden tehtävänä on nimenomaan keskeisen ja merkityksellisen sisällön etsiminen ja arvottaminen, jonka voidaan olettaa pitävän sisällään myös kohtuullisen lähdekritiikin.

Tutkimusaineistona toimivien harjoitustöiden laadinnassa käytettävä englanninkielinen Wikipedia on hyvin kattava, mutta sisältää aikakausien kokoelmasivustoja kuten esimerkiksi koko tarkasteltavan ajanjakson sisältävä artikkeli *2nd millennium* (Wikipedia, 2018a). Näissä kokoelmissa tutunkuuloinen aihe tai erityisesti henkilö ohjaa etsimään merkityksellisintä sisältöä kovin kapealla näkemyksellä. Tätä varten tehtävän ohjeistuksena on ollut tutustua monipuolisesti eri aiheisiin ja käyttää vain kahdesti henkilöä kokonaisuuk-

sien keskuksena ja neljästi jotain muuta annettua kategoriaa. Näin on pyritty ohjaamaan opiskelijoita etsimään merkityksellistä tietoa tutunkuuloista nimeä pidemmälle.

Fysiikan historia -kurssin rakenteesta johtuen aineisto ei välttämättä koostu täysin yksittäisistä englanninkielisen Wikipedian perusteella muodostetuista kokonaisuuksista. Opiskelijoiden vastausten autenttisuus on kuitenkin pyritty varmistamaan siten, että viikkoharjoitusten palautusten on tullut tapahtua ennen viikoittaista professori Ismo Kopen luentoa koskien kutakin aikaväliä. Lisäksi palautus on pitänyt tehdä ennen kullekin viikolle jaettua verkkokeskustelun pohjana (liite A harjoitus C) toimivan artikkelin jakoa. Tällä on haluttu varmistua siitä, että opiskelijat itse arvottavat keskeisimmät sisällöt eivätkä toisissa luennolla esitettyä oppineemman näkemystä tai artikkelissa esiin nostettua keskeistä sisältöä. Kokonaiskuviissa toistuu kuitenkin osa kurssilla käsiteltyjen artikkelien aiheista: I. Newton ja gravitaatiolaki (Rosenfeld, 1965), M. Faraday ja sähkömagnetismi Darrigol (1999) sekä kvanttimekaniikkaan liittyen Heisenberg ja aaltohiukkasdualismi (Camilleri, 2006) esiintyvät kaikki omissa ajanjaksoissaan keskeisessä roolissa, mutta epätodennäköisesti artikkeli yksistään on ollut omiaan ohjaamaan opiskelijoiden huomion vain näihin aiheisiin sillä ajanjaksoihin on tunnistettu runsaasti muutakin sisältöä.

Jokainen opiskelijan palauttama viikkoharjoitus on ollut arvioitava suoritus ja vaikuttanut kurssista saatavaan arvosanaan. Näin ollen tämä saattaa olla vaikuttanut aineiston laatuun siten, että osa suorituksista on hyvin hatarin perustein tehty vain kurssin suoritus mielessä pitäen. Tällaisessa tapauksessa opiskelijan palautus ei välttämättä kuvaa lainkaan koettua merkitystä käsitteiden välillä. Tämän mahdollinen vaikutus on kuitenkin sivuutettu tässä tutkimuksessa ja jokainen vastauskokonaisuus on arvioitu riittävän hyvin perustelluksi.

Kurssin läpäisemiseksi on myös muutamalle opiskelijoista sallittu palautus vasta luennon jälkeen parin harjoituksen tapauksessa. Näitä vastauksia ei eroteta tässä tutkimuksessa erikseen vaan käytetään osana muuta aineistoa, vaikka ne eivät välttämättä edusta opiskelijan todellista näkemystä. Osa historian kannalta keskeisistä sisällöistä jakautuu peräkkäisille tarkasteltaville ajanjaksoille ja näin ollen opetettavan kurssin viikoittain käytyissä kontaktiopetuskerroissa opiskelijat ovat saattaneet saada voimakkaasti vaikutteita toistensa vastauksista. Lisäksi verkkokeskustelun pohjana toimineet artikkelit ovat olleet oppilaiden saatavilla jo kurssin alussa, mutta niihin on ohjattu vasta niiden tullessa ajan-kohtaiseksi.

Edellä esitetyt haasteet niin Wikipediaan, luentoihin, artikkelitehtävään kuin periodien jaksotukseen liittyen vaikuttavat tutkimusaineistoon laatuun opiskelijoiden havainnoinnin kautta. Havainnointi on ennakkokäsityksiin pohjaavaa tiedon poimintaa (Hakkarainen, Lipponen, & Kirsti, 2004), ja siksi myös kurssin taustalla on opiskelijoilla käytynä ainakin yliopiston peruskurssien verran fysiikkaa niin mekaniikan kuin sähkömagnetismin



osalta. Opiskelijasta riippuen taustalla voi olla myös hyvin edistyneempiä fysiikan kursseja suoritettuna. Tämä saattaa näkyä erityisesti siinä, että varhaisimmilla ajanjaksoilla kaikilla opiskelijoilla on fysiikan ainesisällön osaaminen riittävän hyvä sisältöjen arviointiin. Sen sijaan kohti nykyaikaa ja modernia fysiikka edetessä sisällöt muuttuvat hyvin paljon haasteellisemmiksi ja esimerkiksi kvanttifysiikan osalta keskeiseksi nousevat lähinnä alan fyysikot eikä niinkään käsitteet, ilmiöt, mallit saati edes havainnot.

Tämän tutkielman suorittamiseen on liittynyt useita epävarmuustekijöitä, joista huomattavin on aineiston eheyttämiseen liittyvä menetelmän vaihe. Mahdollisia aiheesta tehtäviä jatkotutkimuksia varten on aineiston keräämistä varten muodostettu Fysiikan historia-kurssille verkkolomake, jolla voidaan opiskelijoiden mieltämiä kokonaisuuksia kerätä lähikohtaisesti jo yhtenäisemmässä muodossa: aiheina eli muodostettavan verkon solmuina toimivat oletusarvoisesti englanninkieliset Wikipedia-artikkelit mahdollistaen teoriaosiossa 3.5 esitettyjen Wikipedian analysoimiseen käytettyjen menetelmien (Ibrahim et al., 2017; Masucci et al., 2011; Muchnik et al., 2007) soveltamisen. Lisäksi tässä tutkimuksessa on tarkasteltu vain suuntaamattomia verkkoja eli ei ole lainkaan huomioitu vuoprosessin suuntaa, jossa voitaisiin esimerkiksi huomioida aiheiden kronologisuus. Myös aiheiden ja näiden välisten yhteyksien esiintymiskerrat eri palautuksissa on jätetty huomioimatta. Tulevissa tutkimuksissa voitaisiin huomioida nämä analysoimalla painotettua suunnattua verkkoa.

## 7. Tulosten tarkastelua ja johtopäätökset

Tässä tutkimuksessa on esitetty verkostanalyysiin perustuva menetelmä tunnistaa ja määrittää, mikä on fysiikan opettajaksi opiskelevien mielestä keskeistä fysiikan historiassa ajanjaksolla 1572–1928. Tulosten perusteella voidaan perustellusti arvioida, mitkä aiheet ja millaiset kokonaisuudet nousevat keskeisiksi fysiikan historiassa eri ajanjaksolla ja niiden perusteella voidaan kartoittaa keskeisimpiin aiheisiin läheisesti liittyviä sisältöjä. Näiden perusteella saadaan näkökulmia siihen, mitä aiheita voidaan ja mahdollisesti kannattaisi opettaa tieteen historian lähtökohdista. Seuraavaksi on tiivistetty tutkielmassa käytetty menetelmä ja vastattu tutkimusongelmassa esitettyihin kysymyksiin.

Aineistona toimivaa verkkoa tulee keilata eri kestoilla aikaikkunoilla ja valita astejakauksen perusteella ajanjaksot, jotka ovat mahdollisimman vertailukelpoiset keskenään. Näitä ajanjaksoja vastaavien aggregoitujen verkkojen solmuille tulee laskea Katz-keskeisyydet siten, että etsitään sellainen keskeisyyden laskemisessa käytettävä painokerroin, jonka perusteella solmun keskeisyys on yhtä suuri kuin se poistamalla aiheutettu häiriö. Aggregoituista verkoista voidaan löytää yhteisö rakenne optimoimalla modulaarisuus ja tämän perusteella muodostaa tiivisteet. Solmun Katz-keskeisyyden poikkeavuus voidaan tarkastella standardoidulla pistemäärällä käyttäen otoksena konfiguraatiomallien joukkoa. Verkon havainnollistamisessa toimii jossain määrin sekä *arf*- että *sfdp*-asettelut, mutta näiden pohjalta ei yksistään voida tehdä kovin pitkälle vietyjä päätelmiä.

Ensimmäiseen tutkimuskysymykseen vastauksena voidaan sanoa, että edellä kuvatun kaltaisella verkostanalyysin menetelmällä voidaan selvittää opettajaopiskelijoiden kokonaiskuva fysiikan historiasta. Tutkielman tulokset ovat vertailukelpoisia verkon rakenteen osalta niin tutkielman aineiston keskuudessa kuin verratessa muihin saman tapaisiin verkostanalyysiin (Koponen & Nousiainen, 2018; Newman, 2003). Sisältöjen arvottamiseen on käytetty Katz-keskeisyyttä ja tähän liittyvällä painokertoimella voidaan virittää, kuinka globaalisti kokonaiskuvaa tarkastellaan. Katz-keskeisyys tuo lokaaliin astekeisyyteen verrattuna uutta tietoa ja Katz-keskeisyyden poikkeavuutta vertailuaineistona

toimivasta konfiguraatiomallista voidaan pitää merkinä siitä, että opiskelijoiden tuottama aineisto ei ole täysin satunnainen. Saman kaltaiseen tutkimukseen verratessa osoittautuu, että osittain samat aiheet kuten I.Newton, G.Galilei, M.Faraday, sähkömagnetismi sekä tieteellinen, teollinen ja Ranskan suuri vallankumous nousevat keskeisiksi opiskelijoiden kollektiivisesta kokonaiskuvasta (Koponen & Nousiainen, 2018).

Toiseen tutkimuskysymykseen voidaan vastata, että opettajaopiskelijoiden mielestä keskeisimmiksi aiheiksi historiassa nousevat taulukon 6.1 perusteella henkilöitä kuten I.Newton ja M.Faraday sekä kokoavia sisältöjä kuten tieteellinen ja teollinen vallankumous sekä sähkömagnetismi ja kvanttimekaniikka. Keskeisimmistä henkilöistä suurin osa on luonnontieteilijöitä tai erityisesti fyysikoita ja kohti nykypäivää edetessä kasvaa henkilöiden osuus. Osa aiheista säilyy keskeisenä ajanjaksosta toiseen siirryttäessä luoden jatkumoa, kuten M.Faraday tai Ranskan suuri vallankumous ajanjaksoilla 1704–1900 ja 1789–1914, mutta toiset aiheet ovat keskeisiä vain hetkellisesti kuten höyrykone ajanjaksolla 1704–1900. Fysiikan historiaan sekä yleisen historiaan mielletyt sisällöt ovat kuvan 6.8 mukaisesti yhtä merkittävästi edustettuina ja varhaisemmassa historiassa on näiden välinen raja hyvin häilyvä, mutta kohti nykypäivää saavuttaessa tapahtuu selkeä tieteen irtaantuminen.

Kolmanteen tutkimuskysymykseen vastaus on, että kokonaiskuvaan muodostuu selkeästi toisistaan erottuvia koherentteja kokonaisuuksia taulukon 6.2 ja liitteen D perusteella. Osa kokonaisuuksista muodostuu keskeisten sisältöjen ympärille ja taulukon 6.2 aiheiden prosenttiosuuksien perusteella osassa merkittävimmistä kokonaisuuksista on useita keskeisiä tekijöitä kuten I.Newton tieteelliseen vallankumoukseen liittyen, mutta osassa on vain yksi valovoimainen sisältö, kuten A.Einstein hänen elämäntyötään ja tieteellistä perintöään käsittelevässä kokonaisuudessa. Merkittävimmät kokonaisuudet ovat kuvan 6.8 mukaisesti usein hyvin heterogeenisiä aihepiirin jakauman perusteella tarkasteltuna ensimmäisellä kolmella ajanjaksolla Ranskan suurta vallankumousta lukuun ottamatta. Sen sijaan viimeisellä ajanjaksolla muuttuu yhteisöt homogeenisemmiksi aihepiirien osalta.

Tuloksien perusteella keskeiseksi nousevia aiheita ei kuitenkaan pidä käsittää muut pois sulkevin vaan myös vähemmän keskeisiksi tunnistetut aiheet voivat edelleen olla hyvinkin keskeisiä, mutta eivät opiskelijoiden mielestä ajoitu selkeästi vain johonkin tiettyyn ajanjaksoon. Esimerkiksi käsitteenä energia ei nouse keskeiseksi yli tunnettujen fyysikoiden, vaikka arvatenkin yksikään fysiikan opettajaksi opiskeleva ei jättäisi kyseistä käsitettä listaamatta keskeiseksi. Samaten termodynamiikka esiintyy monipuolisesti useassa verkossa monena eri yhteisönä tai sellaisen osana (kuten verkon  $G_{I...III}$  yhteisöt 8 ja 19, verkon  $G_{II...IV}$  yhteisöt 18 ja 10 ja erityisesti verkon  $G_{III...V}$  yhteisö 18), mutta sen sisältämien aiheiden keskeytykset jäävät kullakin ajanjaksolla melko pieniksi. Opiskelijat ovat näin ollen löytäneet runsaasti sisältöä termodynamiikkaan liittyen, mutta todennäköisesti nämä ovat yhteisössään hyvin tasaisesti toisiinsa kytkeytyneitä verrattuna tärkeämpiin yhteisöihin.

Tätä päättelyä voitaisiin tukea tarkastamalla termodynamiikkaan liittyvien yhteisöjen keskeisyyksien tasaisuutta, mutta tämä on tässä tutkimuksessa jätetty tekemättä.

Yleinen historia on hyvin edustettuna maailmanlaajuisten poliittisten ja ideologisten muutosten osalta, mutta esimerkiksi taidehistoria mielletään melko vähän merkitykselliseksi niin musiikin, kirjallisuuden, arkkitehtuurin kuin kuvataiteen osalta, vaikkakin nämä ovat edustettuina kaikissa ajanjaksoissa selkeästi kussakin yhtenä yhteisönä (2, 4, 3 ja 6 edeten kohti nykypäivää). Aineiston perusteella kuitenkin yhtymäkohtia fysiikan ja musiikin sekä arkkitehtuurin välillä voidaan löytää useita. Näistä esimerkkinä mainittakoon Lontoon palo ja jälleen rakentamisen suunnittelu erityisesti Sir C.Wrenin johdolla tai L.Eulerin kontribuutio musiikin teoriaan.

Historiallisia kehityskulkuja, josta kävisi ilmi, mitä, miksi, miten ja missä on tapahtunut ja kenelle, ei tulosten perusteella voida selkeästi esittää. Instituutioiden, akatemioiden ja valtioiden tai kuningaskuntien roolit jäävät melko piiloon. Kuvan 6.9 yhteydessä on yritetty luonnehtia mahdollisia kehityskulkuja kokonaiskuvassa, mutta näille kehitysaskelille voidaan löytää tueksi ainoastaan kuvassa esiintyviä aiheiden välisiä yhteyksiä. Tuloksista ei myöskään käy juuri ilmi luonnontieteellisen tiedon luonnetta esimerkiksi itseään korjaavana ja tarkentavana prosessina. Tällaisten havaintojen tekeminen aineistosta vaatisi huomattavasti yksityiskohtaisempia ja mahdollisesti tapauskohtaisia analyysimenetelmiä.

Tulosten antama kokonaiskuva viittaa vahvasti siihen, että tieteen historiaa voitaisiin esitellä oppikirjoissa selkeämmin osana yleistä historiaa (Leite, 2002) ja huomioida se, kuinka herkästi henkilöt nousevat keskeiseksi vailla sitä kontekstia, mikä heidät on tehnyt tärkeäksi, kuten tuloksissa käy ilmi kvanttimekaniikan tapauksessa. Kuitenkin tulosten perusteella ne solmut, joilla on suuri keskeisyys voisi kuvitella olevan myös sellaisia, jotka toimisivat kontekstuaalisina pisteinä uuden tiedon jäsentämisen yhteydessä (van Boxtel & van Drie, 2012). Se tuottaako tämän kaltainen menetelmä ja analyysi todella tuloksia, joiden perusteella löytyisi oppimisen ja uusien sisältöjen kannalta keskeiset sisällöt on toisen tutkimuksen paikka. Esimerkiksi sähkömagnetismia opettaessa voisi kokeilla jonkin asteisesti M.Faradayhin liittyvää historiallista narratiivia tai roolileikkiä, jonka jälkeen tähän on helppo assosoida tietoa ja kerryttää tukea syvällisemmälle ymmärrykselle.

Yhteenvetona tutkimusmetodologian kehittämisen osalta voidaan todeta, että verkostoaalyysi on tuottanut merkittävästi syvällisemmän käsityksen opiskelijoiden tieteenhistorian kokonaiskuvasta kuin, mikä olisi ollut mahdollista selvittää tavanomaisten eli kuvailevien ja kvalitatiiviseen analyysin nojautuvien menetelmien avulla. Verkostoaalyysin etuna on sen soveltuvuus monimutkaisten, monitahoisten ja kytkeytyneiden aineistojen tarkasteluun. Sille ominainen joustavuus mahdollistaa myös eksploraatiivisen data-analyysin ja menetelmän muokkaamisen kohtuullisella työmäärällä. Esimerkiksi näkökulmien joustava muuttaminen keskeisyysmittoja käyttäen on merkittävä verkostoaalyysin etu.

# Lähteet

- Allchin, D. (2004). Pseudohistory and Pseudoscience. *Science & Education*, 13(3), 179–195. Lainattu saatavilla <http://link.springer.com/10.1023/B:SCED.0000025563.35883.e9> doi: 10.1023/B:SCED.0000025563.35883.e9
- Borgatti, S. P. (2005). Centrality and network flow. *Social Networks*, 27(1), 55 - 71. doi: 10.1016/j.socnet.2004.11.008
- Börner, K., & Scharnhorst, A. (2009). Visual conceptualizations and models of science. *Journal of Informetrics*, 3(3), 161–172. doi: 10.1016/j.joi.2009.03.008
- Briscoe, B., Odlyzko, A., & Tilly, B. (2006). Metcalfe’s law is wrong - communications networks increase in value as they add members-but by how much? *IEEE Spectrum*, 43(7), 34–39. doi: 10.1109/MSPEC.2006.1653003
- Camilleri, K. (2006). Heisenberg and the wave-particle duality. *Studies in History and Philosophy of Science Part B - Studies in History and Philosophy of Modern Physics*. doi: 10.1016/j.shpsb.2005.08.002
- Darrigol, O. (1999). Baconian Bees in the Electromagnetic Fields: Experimenter-Theorists In Nineteenth-Century Electrodynamics. *Stud. Hist. Phil. Mod. Phys*, 30(3), 307–345.
- Estrada, E. (2012). *The structure of complex networks : theory and applications*. New York: Oxford University Press.
- Fortunato, S., & Barthélemy, M. (2007). Resolution limit in community detection. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(1), 36–41. doi: 10.1073/pnas.0605965104
- Galili, I., & Hazan, A. (2001). Experts’ Views on Using History and Philosophy of Science in the Practice of Physics Instruction. *Science & Education*, 10(4), 345–367. Lainattu saatavilla <http://www.pantaneto.co.uk/issue2/galili.htm> doi: 10.1023/A:1011209131446
- Geipel, M. M. (2007). Self organization applied to dynamic network layout. *International Journal of Modern Physics C*, 18(10), 1537-1549. doi: 10.1142/S0129183107011558
- Hakkarainen, K., Lipponen, L., & Kirsti, L. (2004). *Tutkiva oppiminen : järki, tunteet ja kulttuuri oppimisen sytyttäjinä*. Helsinki ; Porvoo: WSOY.
- Hu, Y. (2005). Efficient and High Quality Force-Directed Graph. *The Mathematica Journal*, 10(1), 37—71. doi: 10.3402/qhw.v6i2.5918

- Höttecke, D., & Silva, C. C. (2011). Why Implementing History and Philosophy in School Science Education is a Challenge: An Analysis of Obstacles. *Science and Education*, 20(3), 293–316. doi: 10.1007/s11191-010-9285-4
- Ibrahim, M., Danforth, C. M., & Dodds, P. S. (2017). Connecting every bit of knowledge: The structure of wikipedia’s first link network. *Journal of Computational Science*, 19, 21 - 30. doi: 10.1016/j.jocs.2016.12.001
- Karrer, B., & Newman, M. E. J. (2010, aug). Stochastic blockmodels and community structure in networks.  
doi: 10.1103/PhysRevE.83.016107
- Katz, L. (1953, mar). A new status index derived from sociometric analysis. *Psychometrika*, 18(1), 39–43. doi: 10.1007/BF02289026
- Kolaczyk, E. D. (2009). *Statistical analysis of network data : methods and models*. New York: Springer.
- Koponen, I., & Nousiainen, M. (2018). University students’ associative knowledge of history of science: Matthew effect in action? *European Journal of Science and Mathematics Education*, 6(2), 69–81.
- Leite, L. (2002, 01. Jul). History of science in science education: Development and validation of a checklist for analysing the historical content of science textbooks. *Science & Education*, 11(4), 333–359. doi: 10.1023/A:1016063432662
- Mach, E. (1898). *Popular scientific lectures* (T. J. McCormack, käänt.). Chicago: Open Court.
- Masucci, A. P., Kalampokis, A., Eguíluz, V. M., & Hernández-García, E. (2011). Wikipedia Information Flow Analysis Reveals the Scale-Free Architecture of the Semantic Space. *PLOS ONE*, 6(2), 1–7. doi: 10.1371/journal.pone.0017333
- Matthews, M. R. (1988). A role for history and philosophy in science teaching. *Educational Philosophy and Theory*, 20(2), 67–81. doi: 10.1111/j.1469-5812.1988.tb00145.x
- Merton, R. K. (1968). The matthew effect in science. *Science*, 159(3810), 56–63. doi: 10.1126/science.159.3810.56
- Muchnik, L., Itzhack, R., Solomon, S., & Louzoun, Y. (2007, Jul). Self-emergence of knowledge trees: Extraction of the wikipedia hierarchies. *Phys. Rev. E*, 76, 016106. doi: 10.1103/PhysRevE.76.016106
- Newman, M. E. J. (2003, jan). The Structure and Function of Complex Networks. *SIAM Review*, 45(2), 167–256. doi: 10.1137/S003614450342480
- Newman, M. E. J. (2004, Nov). Analysis of weighted networks. *Phys. Rev. E*, 70, 056131. doi: 10.1103/PhysRevE.70.056131
- Newman, M. E. J., & Girvan, M. (2004, feb). Finding and evaluating community structure in networks. *Phys. Rev. E*, 69(2), 26113. doi: 10.1103/PhysRevE.69.026113
- Odlyzko, A. M., & Tilly, B. (2005). A refutation of metcalfe ’ s law and a better estimate for the value of networks and network interconnections..
- Opetushallitus. (2015). *Lukio opetussuunnitelman perusteet 2015*. Helsinki: Next Print OY.

- Pagels, H. R. (1988). *The dreams of reason : the computer and the rise of the sciences of complexity*. New York: Simon and Schuster.
- Peixoto, Tiago P. (2018). *graph-tool*. Lainattu 26.9.2018, saatavilla <https://graph-tool.skewed.de/>
- Rosenfeld, L. (1965). Newton and the law of gravitation. *Archive for History of Exact Sciences*. doi: 10.1007/BF00327457
- Savolainen, V. (2001). *Verkkoteoria*. Jyväskylä: Docendo.
- Sharkey, K. J. (2017). A control analysis perspective on Katz centrality. *Scientific Reports*, 7(1), 17247. doi: 10.1038/s41598-017-15426-1
- Snow, C. P. (1959). *The two cultures and the scientific revolution*. Cambridge: Cambridge University Press.
- The igraph core team. (2018). *python-igraph*. Lainattu 26.9.2018, saatavilla <http://igraph.org/python/>
- van Boxtel, C., & van Drie, J. (2012). "That's in the time of the romans!"knowledge and strategies students use to contextualize historical images and documents. *Cognition and Instruction*, 30(2), 113–145. doi: 10.1080/07370008.2012.661813
- Wagner, C., Garcia, D., Jadidi, M., & Strohmaier, M. (2015). It's a man's wikipedia? assessing gender inequality in an online encyclopedia. Teoksessa *Proceedings of the 9th international aaai conference on weblogs and social media* (s. 454 - 463). AAAI.
- Wikipedia. (2018a). *2nd millennium*. Lainattu 29.10.2018, saatavilla [https://en.wikipedia.org/wiki/2nd\\_millennium](https://en.wikipedia.org/wiki/2nd_millennium)
- Wikipedia. (2018b). *Isaac Newton*. Lainattu 9.5.2018, saatavilla [https://en.wikipedia.org/wiki/Isaac\\_Newton](https://en.wikipedia.org/wiki/Isaac_Newton)
- Zweig, K. A. (2016). *Network analysis literacy : a practical approach to the analysis of networks*. Vienna: Springer.

## Liite A. Aineiston keräämisessä käytetty tehtävänanto

Lue ja tutki englanninkielisestä Wikipediasta mielestäsi keskeisimmät ja kiinnostavimmat aiheet ja niiden väliset yhteydet määrättyltä ajanjaksolta

- A) fysiikan historian
- B) maailman historian
- C) annetun artikkelin

kannalta. Esitä keskeisimmät aiheet ja niiden yhteydet muodossa:

- $X=Aihe1$  [ $X=Aihe2, X=Aihe3, X=Aihe4, X=Aihe5, \dots$ ] perustelu...

, missä A) osion kohdalla X on aihetta parhaiten kuvaava kategoria joukosta: ja B) osion kohdalla X on parhaiten kuvaava kategoria joukosta:

- |          |             |              |              |
|----------|-------------|--------------|--------------|
| • Ilmiö  | • Koe       | • Tutkija    | • Hallitsija |
| • Käsite | • Menetelmä | • Taiteilija | • Edistys    |
| • Laki   | • Laite     | • Muusikko   | • Tapahtuma  |
| • Malli  | • Sovellus  | • Arkkitehti | • Uudistus   |
| • Teoria | • Henkilö   | • Filosof    |              |

Ennen hakasulkeita oleva on lähtökohta, josta tai johon liittyvät aiheet ovat etsitty hakasulkeiden sisällä. Laadi A) ja B) osioihin kuusi eri kokonaisuutta alkaen vähintään kolmella eri kategorialla. Osiossa C riittää vain kaksi. Lisäksi kokonaisuudesta tulee kirjoittaa noin 50-150 sanan perustelu.

Esimerkiksi:

1.  $H = \text{Einstein}$  [ $T = \text{Brownin liike}$ ,  $K = \text{Lämpöliike}$ ,  $I = \text{siitepölyn liike veden päällä}$ ,  $K = \text{etenemismatkan odotusarvo}$ ] Einstein esitti vuonna 1905 luonnontieteilijä Brownin liikkeenä tunnetun ilmiön mekanismin. Hiukkasen kaaottinen liike väliaineessa johtuu atomien ja molekyylien lämpöliikkeestä hiukkasen ympärillä ja jokaisella törmäyksellä hiukkasen liikemäärä muuttuu. Einstein onnistui osoittamaan yksittäisen hiukkasen valittuun suuntaan etenemälle matkalle odotusarvon.
2.  $H = \dots$  [...] Lorem ipsum ...
3.  $T = \dots$  [...] ...



Harjoitusten ajanjaksot viikottain:

1. (1572 - 1704) Tieteellinen vallankumous
2. (1704 - 1789) Valistusaika ja valistuksen tiede
3. (1789 - 1848) Teollistuminen ja liberaali sivistysihanne
4. (1848 - 1900) Tكنولوجisoituva yhteiskunta ja sen tiede
5. (1900 - 1914) Moderni tiede ja teknologisoituminen I
6. (1914 - 1928) Moderni tiede ja teknologisoituminen II

Kurssilla luettavat artikkelit viikottain

1. L. Rosenfeld (1965) - Newton and the law of gravitation
2. E. McMullin (2002) - The Origins of the Field Concept in Physics
3. D. Sherry (2011) - Thermoscopes, thermometers, and the foundations of measurement
4. O. Darrigol (1999) - Baconian Bees in the Electromagnetic Fields: Experimenter - Theorists In Nineteenth-Century Electrodynamics
5. H. Kragh (2011) - Resisting the Bohr Atom: The Early British Opposition
6. K. Camilleri (2006) - Heisenberg and the wave-particle duality

# Liite B. Muutokset opiskelijoiden palautuksiin

Muutettu	Alkuperäinen	Muutettu	Alkuperäinen
G.Galilei	Galilei ; Galileo Galilei ; Galilei H ; galilei ; Gallileo Gallilei ; Galileo Galilei	heiluri	Heiluri
I.Newton	Newton ; Isaac Newton ; Newtonin haastaminen ja täydentäminen ; Newtonin "sponsorit"	heilurikello	Heilurikello ; Heiluri kello
kiihtyvyy	kiihtyvyy ; Kiihtyvyy ; acceleration	heilurin jaksonaika	heilurin heilahdusaika ; Heilurin jaksonaika ; Heilurin jakso
J.Kepler	Kepler ; Johannes Kepler	L.Foucault	Léon Foucault
T.Brahe	Brahe ; Tycho Brahe ; Tyko Brahe	Foucault'n heiluri	Foucaultin heiluri
J.Brahms	Johannes Brahms	gyroskooppi	Gyroskooppi
gravitaatiolaki	gravitaatiolaki ; Gravitaatiolaki ; Newtonin gravitaatiolaki ; Newtons gravitationslag ; gravitationslagen ; Newtonin painovoimalaki	Maan pyöriminen	maapallom pyöriminen
gravitaatio	Gravitaatio ; gravitaatio ; Painovoima ; gravitation ; gravitationen ; painovoima	H.Fizeau	Hippolyte Fizeau
S.Stevin	Stevin	Fizeau-Foucault'n koe	Fizeau-Foucault'n koe
putoamiskiihtyvyy	Putoaminen ; Putoavan omenan tarina ; Omenan putoaminen	Louis de Broglie	Luis de Broglie ; de Broglie ; Broglie
putoaminen	Copernicus ; Kopernikus ; Nikolaus Kopernikus	E.Schrödinger	Erwin Schrödinger 1887-1961 ; Erwin Schrödinger ; Schrödinger ; Scrdöinger
N.Copernicus	Kant ; Immanuel Kant	A.Compton	Arthur H. Compton ; Arthur Compton
I.Kant	Eetteri ; eetteri ; eter	Comptonin sironta	Comptonin ilmiö/sironta ; comptonin ilmiö
eetteri	Eetteriteoria ; Eetteri-teoria ; Eetteriteoria mutta ei gravitaation suhteen ; Eetteri teoria	aaltohiukkasdualismi	Aaltohiukkasdualismi ; aalto/hiukkas dualismi ; Aaltohiukkasdualismi ; väg-partikeldualitet
eetteriteoria	Etävuorovaikutus ; fjärväxelverkan ; Etävuorovaikutuksen mahdollisuus	elektroni	elektronen ; elektroni (1897) ; Elektroni
etävuorovaikutus	Vuorovesi ; vuorovesi	kappaleen liike	kappaleiden liike
vuorovesi	Robert Boyle ; Boyle	Kuunpimennys	kuunpimennys
R.Boyle	Robert Hook ; Robert Hooke ; Hooke ; Hook	massa	Massa
R.Hooke	Christopher Wren ; Wren	Paavali III	Paavi Paavali III
Sir C.Wren	Christian Huygens ; Huygens ; Christiaan Huygens	M.Luther	Martti Luther ; Luther ; Martin Luther
C.Huygens	Aurinkokeskeisyys ; Heliosentrisyys ; heliosentrisyys ; heliosentrisen maailmankuva ; heliocentrisk världsbild ; Aurinkokeskeinen maailmankuva ; Aurinkokeskeinen malli ; Maa kiertää Aurinkoa	silmäläsit	Silmäläsit
heliosentrisen maailmankuva	Bacon ; Francis Bacon	optiikka	Optiikka ; ny kunskap om optik
F.Bacon	Leibniz ; Gottfried Leibniz	kompassi	Kompassi ; Kompassi H
G.Leibniz	Descartes ; René Descartes ; Rene Descartes	magnetismi	magneettisuus ; Magnetismi ; magnetism ; magneettinen vaikutus
R.Descartes	Blaise Pascal	magneettikenttä	Magneettikenttä ; magnetiska fält
B.Pascal	Christoph Scheiner	A.-M.Ampère	Ampere ; Andre-Marie Ampere ; Ampère ; Andre Marie Ampere ; André-Marie Ampère
C.Scheiner	William Gilbert ; Gilbert	J.-B.Biot	Biot
W.Gilbert	John Canton	klassinen mekaniikka	Klassinen mekaniikka ; mekaniikka ; mekanik
J.Canton	Edmond Halley ; Halley ; Edmund Halley	empiirinen menetelmä	Luonnontieteellinen tutkimusmenetelmä ; kokeellinen luonnontieteellinen menetelmä ; kokeellinen menetelmä ; empirism ; empiriska experiment ; kokeellinen luonnontieteen filosofia ; Luonnontieteen ilmiöiden selittäminen matemaattisesti ; systematisk empirisk undersökning ; Empirsimi
E.Halley	Richard Towneley	Boyleyn laki	Boyleyn kaasulaki
R.Towneley	Henry Power	ideaalikaasun tilanyhtälö	ideaalikaasujen tilanyhtälö ; Ideaalikaasulaki ; ideaalikaasulaki ; kaasujen tilanyhtälö ; allmänna gaslagen
H.Power	John Napier	paine ; tilavuus ; lämpötila ; ainemäärä	samband mellan tryck & temperatur & volym och substansmängd
J.Napier	Henry Biggs	tilavuus	volym ; kaasutilavuus ; vain kaasujen yhteydessä esiintynyt tilavuus
H.Biggs	Edmund Gunter	paine	Paine ; paine (vakio) ; konstant tryck ; samband mellan tryck & temperatur & volym och substansmängd ; Paineen ja nopeuden yhteys
E.Gunter	William Oughtred	lämpötila	Lämpötila ; temperatur ; absoluuttinen lämpötila
W.Oughtred	Salomon Coster	planeettaliike	planeettojen liike ; planetörrelse ; Planeettaliike
S.Coster	Valkoisen valon spektri ; ljusets spektrum ; vita ljusets spektrum ; Valkoisen valon spektri	Keplerin lait	Keplerin liikelait
valon spektri	höyrykone ; Höyrykone ; ångmaskin ; ångmaskinen ; Höyrykone kiihdyttäjänä	Keplerin III laki	Keplerin kolmas laki ; Keplerers tredje lag om planetörrelse
höyrykone	Valon nopeuden määrittäminen	sähköstaattisuus	elektricitet ; sähköisyys ; sähköisesti varatut kappaleet ; staattinen sähkö ; sähköstatiikka H ; elektrostatiikka ; hankaussähkö
valonnopeuden määrittäminen	Valon nopeuden määrittäminen 1676 ; ensimmäinen kvantitatiivinen arvio valonnopeudesta ; Valonnopeuden mittaaminen	sähköstaattinen generaattori	Sähköstaattinen generaattori
valon taittuminen	Valo koostuu hiukkasista ; valon hiukkasluonne ; fotonit joka käyttäytyy kuin hiukkanen	J.Gregory	James Gregory
valon hiukkasluonne	valon aaltoluonne ; Valon aaltoluonne	D.Papin	Denis Papin ; Papin
valon aaltoluonne	Teleskooppi ; teleskooppi ; kaukoputki	T.Savery	Thomas Savery ; Savery ; Saverys
teleskooppi	Newtonin teleskooppi ; peilitteleskooppi ; spegelteleskop ; peilikaukoputki ; Heijastuskaukoputki ; Kaukoputki ; jos teleskooppi newtonilla	kaivosvesipumppu	vattenpump i kolgruvor ; Veden poistaminen
peilikaukoputki	jos teleskooppi galileilla	Saturnuksen renkaat	Saturnuksen renkaat 1859
linssikaukoputki	Keskipakovoima ; keskipakovoima	kaksoistähdet	tähtisumu ja kaksoistähdet
keskipakovoima	Sentrinen kiihtyvyy ; centrifugalacceleration	tähtisumu	uusitähdi ; en ny stjärna
keskeiskiihtyvyy	Vetovoima ; vetovoima ; vetävä/hylkivä voima	tähden synty	Supernovat ja komeetat
vetovoima	vetävä/hylkivä voima	komeetta	
hylkivä voima	voima ; kraft	supernova	
voima	...	elliptinen rata	Planetaarisen ellipsiradan osoitus (Christopherin ajama haaste)
...		planeettaliike	planeettojen nopeus ; planeetan lentoranta ; himlakroppars rörelse
		puoliakseli	kiertoajan ja puoliakselin välinen yhteys
		kiertoaika	
		lo	Jupiterin lo-kuu H
		lo	...
		...	

Muutettu	Alkuperäinen	Muutettu	Alkuperäinen
tähtitiede	Tähtitiede ; tähtitiede omaksi oppiaineeksi astronomia	realismi romantiikka	Romantiikan aika ; Romantiikka
ilmanvastus	ilmanvastus H	katolisen kirkon jakautuminen ; reformoitu kirkko ; anglikaaninen kirkko	katolisen kirkon jakautuminen anglikaaniseen ja reformoituun kirkkoon
korrelaatio	korrelaatio sekä kausaliiteetti	Katolinen kirkko	katolisen kirkon jakautuminen anglikaaniseen ja reformoituun kirkkoon ; katolinen kirkko ; Katolisuus ; Protestanttien ja katolilaisten erimielisyykset ; katoliker
kausaliiteetti			"protestanttiset kirkot" ; Protestanttien ja katolilaisten erimielisyykset ; Protestanttisuus
Principia	Principia –teoksen levittäminen ; 1687 Philosophiae Naturalis Principia Mathematica	U.Zwingli löytöretket G.Cardano N.Tartaglia L.Ferrari	Ulrich Zwingli Löytöretket Gardano Tartaglia (matemaatikko) ferrari (matemaatikko)
pinta-ala	Pinta-alan laskeminen	Royal Mint Royal Society	Rahapaja Royal Mint Royal Society Christopher ; Royal Society-seuran perustaminen ; Royal society
lämpömittari	Lämpömittari ; termometer	Valistusaika	Valistusajan ihanteet ; Valistusajan ihanteiden nousu ; valistusaika ; valistusaate ; upplysningens början ; French Enlightenment ; Valistuksen aika ; valistus
Tychonin systeemi	Tychonian systeemi ; Tychonic system ; planeterna roterar runt solen men solen roterar runt jorden	Lontoon palo Urbanus VIII J.Locke Pergamonin Galen A.Vesalius lääketiede P.Cortona	London brinner Paavi Urbanus VIII John Locke Galen Andreas Vesalius Lääketiede Pietro da Cortona
calculus	Differentiaali- ja integraalilaskenta ; Differentiaalimatematiikka ; differentiaalilaskenta ; Analyttisten funktioiden teoria (differential calculus) ; differentiaalilaskenta ; Calculus ; infinidesimaalinen laskenta	analyttinen geometria erkale reformoitu kirkko anglikaaninen kirkko reformoitu kirkko	Analyttinen geometria ; Analyttinen geometria "corpuscles" Reformoitu kirkko
Auringonpilkut	Aurinkopilkut	anglikaaninen kirkko	Anglikaaninen ja reformoitu kirkko ; anglikaaninen ja reformoitu kirkko
Newtonin lait	Mekaniikan lait ; Newtonin liikelait ; Liikelait ; Mekaniikan lait ; liikkeen lait ; Newtons lagar ; Newtonin mekaniikka ; NI ; NII ; NIII ; liikelait ; Liikkeen lait	30-vuotinen sota	30 vuoden sota ; 30-äriä kriget 1618-1648 ; kolmikymmenvuotinen sota ; Kolmikymmenenvuotinen sota
C.Columbus	Columbus	Uskonpuhdistus J.-B.Colbert Alankomaiden nousu Rembrandt Alankomaat Westfalenin rauha D.Hume G.Berkeley T.Hobbes Fibonacci J.Wycliffe P.Fermat J.Dubois Kaarle V J.-B.Lully Aurinkokuningas Ludvig XIV A.Conti Jaakko II Kristiina Rudolf II	uskonpuhdistus Jean-Baptiste Colbert Alankomaiden nousu ("Dutch Golden Age") Rembrandt Hollanti Westfalenin rauha 1648. ; Westfaliska freden 1648 Davis Hume ; David Hume George Berkeley Thomas Hobbes Leonardo Pisano John Wycliffe Fermat Jacques Dubois Charles V Jean-Baptiste Lully Louis XIV
Tieteellinen vallankumous	vetenskapens revolution ; Tieteen vallankumous ; luonnontieteen vallankumous ; Luonnontieteiden kehitys ; pyrkimys luoda uutta maailmankuvaa luonnontieteen kautta ; kopernikaaninen vallankumous ; Kopernikaaninen vallankumous	Kaarle V J.-B.Lully Aurinkokuningas Ludvig XIV A.Conti Jaakko II Kristiina Rudolf II	uskonpuhdistus Jean-Baptiste Colbert Alankomaiden nousu ("Dutch Golden Age") Rembrandt Hollanti Westfalenin rauha 1648. ; Westfaliska freden 1648 Davis Hume ; David Hume George Berkeley Thomas Hobbes Leonardo Pisano John Wycliffe Fermat Jacques Dubois Charles V Jean-Baptiste Lully Louis XIV
inkvisitio	Inkvisitio ; Roman inquisition	Yhdysvaltain itsenäisyysjulistus	amerikansa självständighetsförklaringen ; Vaikutus Amerikan itsenäisyysjulistukseen ; Declaration of independence ; itsenäisyysjulistus
putoamislaki	Kappaleiden putoamislaki	liberalismi tietoteoria Fredrik II Englannin restauraatio B.Spinoza Kaarle II	Liberalismin isä ; Liberalismin synty Ajatuksen tietoisuuden käsite kung Fredrik II engelska restaurationen Spinoza Carl II
sähkövirta	Sähkövirta ; virta	rationalismi	rationalism
lämpölaajeneminen	Lämpölaajeneminen	B.Spinoza taivaan kappaleiden havainnoinnin kehittyminen pyörimisliike J.Flamsteed H.More kaksoistähdet poltetun maan taktiikka	Spinoza bättre apparatur att observera himlakroppar med Ympyräliike Flamsteed ; Flammsteed More ; Henry Moore Kaksoistähdet ; kaksoistähti brända jordens taktik minskad befolkning
absoluuttinen nollapiste	Absoluuttinen nollapiste	...	...
ilmapuntari	Ilmapuntari	...	...
E.Torricelli	Evangelista Torricelli	...	...
säähavainto	Säähavainto	...	...
tyhjiö	Tyhjiö	...	...
havainnointi silmin	Paljas silmä	...	...
kääntäen neliöllinen verrannollisuus	Käänteisen neliön laki ; Käänteisen_Neliön_Laki ; 1/r^2 –riippuvuus	...	...
vaeltavien tähtien laskenta	Vaeltavien tähtien laskenta oheistuotteena	...	...
muuttuva maailmankaikkeus	universum förändras ; universum är föränderligt ; universum föränderligt	...	...
havaintojen merkittävyys	observationens betydelse	...	...
Helsingin observatorio	tähtitorni	...	...
observatorio	observatorium	...	...
navigointilaitte	navigationsinstrument	...	...
optiset kokeet	optiska försök ; optiska experiment	...	...
fluksionimetodi	fluxionsmetoden	...	...
kokeiden suunnittelu	planerade experiment	...	...
systemaattinen havaintojen kerääminen	systematiskt samlande av observationer	...	...
ilmäiden alueellinen jäsentäminen	strukturering av fenomenområdena	...	...
ristiriitojen rajaaminen	att utestänga motsägelser från informationsområdet	...	...
pois	Beeckman	...	...
I.Beeckman	putoamiskoe ; Pudotuskoe ; fallprov	...	...
putotuskoe	putoamiskoe ; Pudotuskoe ; fallprov	...	...
sateenkaari	regnbågen	...	...
valon aallonpituudet	ljusets olika våglängder	...	...
taitekerroin	brytningsindex	...	...
näöntarkastuksen välineet	optiska instrument och synundersökningar	...	...
lämpöenergia	Lämpö ; värmeenergi ; lämpö ; lämpömäärä ; Lämpömäärä	...	...
työ	värmeenergi -> arbete	...	...
lämpöenergia	mekanisk energi ; mekaaninen työ ; mekaniskt arbete	...	...
mekaaninen energia	mekanisk energi ; mekaaninen työ ; mekaniskt arbete	...	...
J.Beaumont	Jerónimo de Ayanz y Beaumont ; Beaumont	...	...
laivamoottori	fartygsmotor	...	...
höyryveturi	ånglok ; Höyryveturi (steam "road locomotive") ; Höyryveturi ; Höyryveturi	...	...
lokomobiili	lokomobil	...	...
höyryjyvä	ångvärt	...	...
löytöretket	Löytöretket	...	...
imperialismi	imperialismi	...	...
maapallon ympärysmitta	arvio maapallon ympärysmittasta	...	...
N.Machiavelli	Machiavelli	...	...
maanpako	joutui maanpakoon	...	...
machiavellismi	oppisuunta machiavellismi	...	...
kansallisromantiikka	romantiikka ja realismi	...	...
...	...	...	...

Muutettu	Alkuperäinen	Muutettu	Alkuperäinen
maan säde	jordens radie	Paine	Paineen ja nopeuden yhteys
geometria	geometri	nopeus	
kappale putoaa päiväntasaajan pohjoispuolella oikealle keskustasta	kropp faller mot centrum och åt höger norr om ekvatorn	palaminen	förbränning ; Kombustio
P.-S.Laplace	Pierre-Simon Laplace ; Laplace	Avogadron laki	Avogadron laki (1811) ; Avogadros lag
vuorovesiteoria	Gallileon vuorovesiteoria ; aaltoteoria (dynamic theory of tides)	A.Avogadro	Avogadro ; Amedeo Avogadro
A.Volta	Alessandro Volta ; Volta	atomiteoria	atomiteorian esiaste ; Atomiteoria ; Daltonin atomiteoria
L.Galvani	Luigi Galvani ; Luigi Galvani ; Galvani ; Galvani sammakoiden reaktioiden tutkija	atomi	atomer ; Atomi
paristo	Paristo ; sähköparisto ; Patterin keksijä	valon aaltoluonne	valon aaltoteoria
höyrylaiva	Höyrylaiva ; Höyrylaiva (steamboat) ; ängdrivna fartyg	hiukkasen aaltoluonne	aaltoluonne ; Hiukkasten aaltoliike ; partikeln som vägfunktion ; puhutaan hiukkasen yhteydessä
J.d'Abbas	Claude de Jouffroy	höyryauto	höyryauton keksiminen ; Höyryauto ; ensimmäinen höyryllä toimiva auto ; auto ; auto esiintyy vain höyrykoneen yhteydessä
J.Fitch	John Fitch	salama	Salama on sähköilmiö
P.Miller	Patrick Miller	Flogiston-teoria	flogistonteorin ; flogistanteoria
polttomoottori ; turbiinimoottori ; suihtimoottori ; rakettimoottori	mäntä/turbiini/suihku- tai rakettimoottori	Metriinen järjestelmä	metrijärjestelmä ; Autorisoi metriksen järjestelmän käytön ; metrinen järjestelmä ; SI-järjestelmä ; SI-järjestelmä ; si-järjestelmä samassa yhteydessä metristen kanssa
kaasuturbiini	höyryturbiini ; Kaasuturbiini	G.Mouton	Mouton
W.Herschel	William Herschel	T.-F.Dalibard	Thomas Francois Dalibard
B.Franklin	Benjamin Franklin ; Benjamin Franklin vei pidemälle ; Franklin	kapasitanssi	Kapasitanssin tutkija
sähkövaraus	Coulomb ; kun relaatiossa henkilö ja käsite	Metaani	Metaanin löytäjä
C.Coulomb	Charles Augustin de Coulomb ; Coulomb	Avogadron luku	Avogadron numero ; Avogadros tal
varauksen säilymlaki	säilymlaki ; sähkövarauksen säilymlaki ; latauksen säilyminen ; sähkövarauksen yhteydessä säilymlaki	Kehruu-Jenny	Spinning Jenny ; Spinning jenny
varauksen säilymlaki ukkosenjohdatin	sähkövarauksen säilymlaki ukkosenjohdin ; Ukkosenjohdatin ; åskledaren	J.Hargreaves	James Hargreaves keksijänä ; James Hargreaves ; Hargreaves
J.Watt	James Watt ; Watt ; Watt Q	kutomakone	vävmaskinen ; Kutomisen sovellus
T.Newcomen	Thomas Newcomen ; Newcomen ; Thomas Newcome ; Newcom	höyrynpaine	Höyrynpaine
celsius-yksikkö	Celsius ; (Celsius tutkijan yhteydessä)	J.Black	Joseph Black ; Black
A.Celsius	Anders Celsius ; Celsius	H.Cavendish	Henry Cavendish
Charlesin laki	tilavuuslaki (eng. Charlesin laki) ; Charles & Gay-Lussacs lag ; Charles'n laki ; Gay-Lussacin laki	A.Spencer	Archibald Spencer ; Adam Spencer
A.Lavoisier	Antoine Lavoisier ; Lavoisier ; Antonine Lavoisier ; Lavosier ; Antoine Laurent de Lavoisier ; Antonine Lavoisier	N.-J.Cugnot	Nicolas-Joseph Cugnot ; Nicolas Josef Cugnot ; Nicolas – Joseph Cugnot
Celsius-asteikko	kansainvälinen lämpötila-asteikko ; Celsiuskalan ; införde Celsiuskalan	Ranskan suuri vallankumous	Ranskan vallankumous ; ranskan vallankumous ; Ranskan vallankumous vuonna 1789, "Vapaus, veljeys ja tasa-arvo" ; Ranskan vallankumous 1789-1790 ; franska revolutionen ; Ranskan Vallankumous
faasimuutos	veden olomuodonmuutokset ; Olomuodonmuutos ; olomuodonmuutokset	kalorimetri	kalorimeter ; Kalorimetri
J.Charles	Jacques Charles ; Charles ; Jaques Charles	kalorimetria	kalorimetri ; ruotsinkieliseltä opiskelijalta
sähkömagnetismi	Sähkömagnetisimi ; sähkömagneettinen teoria ; Maxwell lopulta täydensi ja liitti energian formuloinnin ja muut mukaan sähkömagneettisen kenttien teoriassa ; sähkömagneettinen teoria ; elektromagnetism ; elektromagnetismi ; elektromagnetiska fenomen ; Sähkömagnetisimi ; sähkömagnetisimi	latenttilämpö	Latentti lämpö ; höyrystymislämpö ; Latenttilämpö ; latent ängvärme ; vain kerran esiintyy höyrystymislämpö samoissa yhteyksissä kuin latenttilämpö
Mekaaninen työstö	Höyryn hyödyntäminen mekaanisena pakottajana	vety	Vety ; vedyn keksiminen
terästuotanto	massproduktion av stål	Kaasusumu hypoteesi	Nebulaarinen hypoteesi
Leidenin pullo	Leiden pullo ; Leydenin pullo	jään lämmittäminen	jään lämmittäminen ei nosta lämpötila
P.Musschenbroek	van Musschenbroek ; Pieter van Musschenbroek	termodynamiikka	Termodynamiikka ; lämpöoppi
E.Kleist	von Kleist ; von Kleist ja Leiden keksijöinä ; Ewald Georg von Kleist	kitka	friktion
L.Euler	Leonhard Euler ; Euler ; Leonard Euler ; Eulerin ystävä	värähtelymenetelmä	svängningsmetoden
J.-L.Lagrange	Joseph-Luis Lagrange ; Joseph-Louis Lagrange	kiertovaaka	torsionsvägen
J.Bernoulli	Johann Bernoulli	kompassin poikkeama	kompassens missvisning nära polerna
D.Bernoulli	Daniel Bernoulli ; Bernoulli	revontulien vaikutus magneettikenttään	norrskens inverkan på magnetfältet
J.Priestley	Joseph Priestley ; Priestley ; Joseph Priestly	leveysasteiden eroavaisuus	skillnaden på breddgrader nära ekvatorn och nära polerna
massan säilymlaki	Massan säilymlaki ; Massa ei muutu (aikainen massan säilymlaki?) ; aineen häviämättömyyden laki	palamisprosessi	förbränningsprocesser
J.Dalton	John Dalton ; Dalton ; John Dalton 1766-1844	hapettuminen	oxidering
J.Gay-Lussac	Gay-Lussac ; Joseph Louis Gay-Lussac ; Joseph Gay-Lussac	Fahrenheit-asteikko	Fahrenheitskalen
A.Einstein	Albert Einstein ; Einstein ; Albert Einstein (1905) ; Albert Einstein (1879-1955)	veden faasimuutospisteet	vattnets kokpunkt och fryspunkt
energian säilymlaki	Energian säilymlaki ; energian säilymisen laki ; säilymlaki ; Energian säilyminen ; säilymlaki energian yhteydessä	J.Calley	Calley
topologia	Topologia	vesihöyry	vattenånga
É.Châtelet	Emelie du Chatelet ; Emilie du Chatelet	Fredrik II Suuri	Fredrik Suuri ; Frederik Suuri
kineettinen energia	Kineettinen energia	demokratia	demokratia
Leijakoe	leija myrskyssä ; Franklinin salama koe	R.Boscovich	Roger Joseph Boscovich ; Roger Boscovich ; Boscovich ; Boshcovich
Bernoullin laki	Hydrodynamiikassa Bernoullin periaate	gijlottiini	Giljottiini
sähkövaraus	positiiviset ja negatiiviset varaukset ; varaukset	"vapaus ja veljeys ja tasa-arvo"	frihet och jämlikhet och broderskap
...	...	Napoleon I	Napoleon ; Napoleon Bonaparte ; Napolen Bonaparte
		Napoleonin sodat	Sotia Euroopan maiden kanssa ; Napoleonin sodat 1803-1815 ; Napoleoniset sodat ; Napoleonin sodat ; "Sotia Euroopan maiden kanssa" Napoleonin yhteydessä
		Yhdysvaltain itsenäistyminen	Yhdysvaltojen synty ; Yhdysvallat ; Yhdysvaltojen itsenäistyminen ; Amerikka itsenäistyy vuonna 1776 ; yhdysvallat esiintyy vain itsenäistymisen kohdalla
		...	...

Muutettu	Alkuperäinen	Muutettu	Alkuperäinen
teollinen vallankumous	teollisuuden vallankumous ; Teollinen vallankumous ; teollinen vallankumous ; Teollistuminen ; teollisuus ; Ensimmäinen teollinen vallankumous ; industrialla revolutionen ; Teollinen vallankumous	G.W.F.Hegel	Q.W.F. Hegel 1770-1831 ; Hegel ; G. W. F. Hegel (1770 – 1831) ; G. W. F. Hegel
Yhdysvaltojen vallankumous	Amerikan vallankumous ; Amerikan vallankumouksen esimerkki	M.Curie	Marie Curie ; Marie Curie 1867-1934 radioaktiivisuuden äiti ; Marie Curie (1867-1934)
Yhdysvaltain sisällissota	Yhdysvaltojen sisällissodat ; Yhdysvaltain sisällissota 1861-1865 ; Amerikan sisällissota ; Amerikkansaka inbördeskriget ; Yhdysvaltain sisällissota (1861-1865) ; "Yhdysvaltojen sisällissodat"osasta puhutaan väärässä yhteydessä, mutta sitä perustella lainkaan	atomimalli	Atomimalli ; Atomimallit ; Uusi atomimalli ; atomimodell
Suomen itsenäisyysjulistus	Itsenäisyysjulistus ; självständighetsförklaringen antas och erkänns 6.12.1917	Bohrin atomimalli	Bohrin - Rutherford atomi malli 1913 ; Bohrs atommodell
Iso-Britannia uskonvapaus	Britannia ; Iso-Britannia (1918 ja 1928)	Thomsonin atomimalli	Thomsonin atommodell ; Rusinakakumalli ; Thomsonin atomimalli 1904 ; plum-pudding atomimalli ; luumuvanakasmalla
Yhdysvaltain vapaussota	Uskonnon vapaus ; uskonnonvapaus	J.J.Thomson	Sir Joseph John Thomson ; Thomson ; J.J Thomson ; J. J Thomson ; J.J. Thomson ; Joseph Thomson ; Joseph John Thomson ; J.J Thomsonson
sananvapaus	Sanan vapaus	J.Austen	Jane Austen
W.A.Mozart	Mozart ; Wolfgang Amadeus Mozart	F.Chopin	Frédéric Chopin
L.Beethoven	Beethoveniin vaikutus ; Ludwig van Beethoven ; Beethoven	E.Jenner	Jenner
piano	Wolfgang Amadeus Mozart	Suomen sota	Finska kriget 1808-1809 års krig ; Suomen Sota
Encyclopédie	Beethoven	E.Lönnrot	Elias Lönnrot ; Elias Lönnrot 1802-1884
D.Diderot	piano&urut	V.Gogh	Vincent van Gogh ; Vinsent Van Gogh
J.-J.Rousseau	urut	B.Russell	Bertrand Russell ; Bertrand Russel 1872-1970
G.F.Händel	Sanakirjat ; Ensyklopedia	L.Wittgenstein	Ludwig Wittgenstein ; Wittgenstein ; Ludwig Wittgenstein 1889-1947
J.S.Bach	Diderot ; Dennis Diderot	H.Matisse	Henri Matisse
A.Vivaldi	Rousseau ; Jean-Jaques Rousseau ; Jean-Jacques Rousseau ; Jean-Jaques Rousseau	hehkulamppu	Hehkulamppu (nykyään lämpöpallo) ; Hehkulamppi ; Sähkölamppu ; glödlampan
perustuslaki	George Friederic Handel ; Händel	J.Rydberg	Johannes Rydberg
Klassisen sinfonian kliimaksi	Bach	Rydbergin kaava	Rydbergin yhtälö ; Rydbergin yhtälö
J.d'Alembert	Vivaldi	II maailmansota	Toinen maailmansota ; toinen maailmansota
aaltofunktio	Ajatus Perustuslaista ; perustuslaki 1789	I maailmansota	ensimmäinen maailmansota ; Ensimmäinen maailmansota ; Ensimmäinen maailmansota (1914-1918) ; Ensimmäinen maailmansota ; 1. maailmansota ; 1.maailmansota ; första världskriget
Schrödingerin yhtälö	Klassisen symfonian kliimaksi	I maailmansodan alku	Första världskriget börjar 1914 ; Ensimmäinen maailmansota alkaa (1914-1918)
aaltoyhtälö	Jean le Rond d'Alembert	Saksa yhdistyy keisarikunnaksi	Saksan yhdistyminen ; Saksa yhdistyy 1871
ihmisoikeus,kansalisoikeus	vägfunktion ; Aaltofunktio ; en partikel t.ex. elektronen beskrivs som en vägfunktion	jaksollinen järjestelmä	Jaksollinen järjestelmä ; alkuaineiden jaksollinen järjestelmä ; korrelerade med periodiska systemet ; periodiska systemet
ihmisoikeudet	Hiukkasten liikeyhtälö ; Schrödingerin yhtälö ; Schrödingerekvationen ; Schrödingerin yhteydessä	kvanttimekaniikka	kvantmekaniikens tillkomst ; Kvanttimekaniikka ; kvantmekanik
Suuri Pohjansota	Kaava aaltoyhtälön ratkaisuksi	kvanttiteoria	Kvanttiteoria ; Kvanttifysiikka ; kvanttifysiikka ; kvanttifysiikasta ei ole mielekästä puhua vielä
kenttä	ihmis- ja kansalisoikeudet	C.F.Gauss	planckin tapauksessa. Ei pöhdittu siis vielä mekaniikka pidemmälle, niputtuu teorian alle, jossa kvantittumisesta johdettu jotain
magneettikenttä	Ihmisoikeudet ; människörättsarbete ; Merkitty gandhin tapauksessa työksi, mutta oleellisesti ihmisoikeuksista kyse	kvanttimekaniikka	Carl Friedrich Gauss ; Carl Friedrich Gauss 1777-1855 ; Gauss ; Gauss (laki magneetikentille)
sähkökenttä	Stora Nordiska kriget 1700-1721	kvanttimekaniikka	fältlinjer ; Magneettikentän kvanttimekaniikka ; voimalinjat
sähkömagneettinen kenttä	Kenttä ; Kenttäteoria ; Kenttäkäsite ; Kenttäkäsite ; fältegenskap	kvanttimekaniikka	Suppea suhteellisuusteoria ; suppea suhteellisuusteoria ; suhteellisuusteoria ; relativitetsteorin ; speciella relativitetsteorin ; suppea suhteellisuusteoria 1905 ; puhutaan maxwellin ja lauen yhteydessä pelkästään suhteellisuus teoriasta, joten oletetaan tarkoitavan suppeaa
Turun palo 1827	Magneettikentät	kvanttimekaniikka	Yleinen suhteellisuusteoria ; Yleinen suhteellisuusteoria (1916) ; allmänna relativitetsteorin ; Yleinen suhteellisuusteoria 1915
K.Marx	elektriska fält	kvanttimekaniikka	Heisenbergs osäkerhetsprincip ; Heisenbergin epä-tarkkuusperiaate ; Epätarkkuusperiaate
C.Darwin	elektromagneettinen kenttä ; Sähkömagneettiset kentät	kvanttimekaniikka	sähkötyös/morsetus
P.Picasso	Turun palo vuonna 1827	kvanttimekaniikka	Kirjapainotaito
H.Ford	Karl Marx ; Karl Marx 1818-1883 "Uskonto on oppiumia kansalle" ; Marx ; Karl Marx (ihaili Darwinin työtä) ; Karl Marx (1818-1883)	kvanttimekaniikka	Amperen laki
S.Freud	Charles Darwin ; Darwin ; Charles Robert Darwin (1809-1882) ; Charles Darwin 1809-1882	kvanttimekaniikka	Wilhelm Weber ; Weber
T-Ford	Pablo Picasso ; Pablo Picasso	kvanttimekaniikka	Heinrich Hertz ; Hertz ; Heinrich Hert
M.Faraday	Henry Ford ; Ford	kvanttimekaniikka	Wilhelm Röntgen ; Wilhelm Röntgen
M.Faraday	Sigmund Freud ; Stigmund Freud ; Freud	kvanttimekaniikka	Nikola Tesla
J.Maxwell	Ford Model T ; T-Forden ; Malli T	kvanttimekaniikka	Thomas Edison ; Thomas Edison 1847-1931 ; Edison
B.Thompson	Faraday ; Michael Faraday	kvanttimekaniikka	Max von Laue 1879-1960 ; Max von Laue ; Max Von Laue
J.Haydn	Maxwell ; James Clerk Maxwell ; James Maxwell ; James Clerk Maxwell (1831-1879)	kvanttimekaniikka	Walthier Nernst
J.Henry	Benjamin Thompson ; Thompson	kvanttimekaniikka	Newtonilainen ajattelu
W.Heisenberg	Joseph Haydn ; Hayden	kvanttimekaniikka	Matikka sekä kaavat
E.Rutherford	Henry ; Joseph Henry	kvanttimekaniikka	Turun yliopisto ; Turun akatemia -> Keisarillinen Aleksanterin Yliopisto -> Helsingin yliopisto ; Turun yliopisto mainittu ilmann selitystä turun akatemian aikakaudelta
M.Planck	Werner Heisenberg ; Heisenberg ; Werner Heisenberg 1901-1976	kvanttimekaniikka	...
N.Bohr	Ernest Rutherford ; Ernest Rutherford 1911 ; Rutherford ; Ernst Rutherford	kvanttimekaniikka	...
R.Schumann	Planck ; Max Planck ; Max Karl Ernst Planck (1858-1947) ; Max Planck	kvanttimekaniikka	...
A.Dvořák	Niels Bohr ; Niels Bohr 1885-1962 ; Bohr ; Niels Bohr. H ; Niels Bohr	kvanttimekaniikka	...
J.Sibelius	Bohr. H ; Niels Bohr	kvanttimekaniikka	...
D.Mendelevjev	Robert Schumann	kvanttimekaniikka	...
...	Antonin Dvorak ; Antoni Dvorak	kvanttimekaniikka	...
...	Jean Sibelius ; Jean Sibelius 1865-1957	kvanttimekaniikka	...
...	Dmitri Mendelevjev ; Dimitri Mendelevjev ; Dimitri Ivanovich Mendelevjev (1834-1907) ; Mendelevjev ; Dmitri Mendelevjev	kvanttimekaniikka	...
...	...	kvanttimekaniikka	...

Muutettu	Alkuperäinen	Muutettu	Alkuperäinen
sähkönjohtavuus musiikin teoria	sähkön olemus ; sähkön johtavuus sävellyks kehittyi fysiikan ansiosta ; Musiikin teoria ; sävellyksen kehittyminen tulkitaan tarkoitamaan musiikki teorian kehittymistä ja tasavireisyyden kehittymistä Fontanelle: "Age of Academies"	hyötysuhde B.Bolzano G.Hällström J.Gadolin C.L.Engel	Hyötysuhde Bernhard Bolzano (1781-1848) Gustaf Hällström 1775-1844 Johan Gadolin 1760-1852 Carl Ludvig Engel ; Carl Ludvig Engel laati uuden asemakaavan ; arkkitehti Carl Ludvig Engel
B. Fontenelle Kaarle XII Ruotsin imperiumin murentuminen humanismi Ranskan vallankumoussodat nationalismi Pietarin tiedeakatemia	Kaarle kahdestoista Ruotsin imperiumin lasku ; Sverige mister stora delar av sitt rike Humanismin synty Ranskan vallankumoussodat (1792-1802) nationalism ; kansallismielisyys ; Nationalismi Russian Imperial Academy of Science of St. Petersburg ; pietarin tiedeakatemia	lantanoidit termodynamiikan II pääsääntö termodynamiikan I pääsääntö termodynamiikan III pääsääntö termodynamiikan pääsäännöt N.Sadi Carnot entropia Carnot'n kone	lantanoidit Termodynamiikan toinen pääsääntö ; termodynamiikan toinen pääsääntö ; termodynamiikan II:n laki Termodynamiikan ensimmäinen laki ; Termodynamiikan pääsääntö ; termodynamiikan I:n laki ; pääsäännöstä puhutaan työn yhteydessä termodynamiikan kolmas pääsääntö ; termodynamiikan kolmas pääsääntö Termodynamiikan päälait
orjuuden vastaisuus	vastusti orjuutta ; negatiivien orjuutta vastaan ; arbete mot slaveri	termodynamiikan I pääsääntö termodynamiikan III pääsääntö termodynamiikan pääsäännöt N.Sadi Carnot entropia Carnot'n kone	Termodynamiikan ensimmäinen laki ; Termodynamiikan pääsääntö ; termodynamiikan I:n laki ; pääsäännöstä puhutaan työn yhteydessä termodynamiikan kolmas pääsääntö ; termodynamiikan kolmas pääsääntö Termodynamiikan päälait
Urbanisaatio höyryvoimakone biologian vakkoinen nimikkeistö kasvien nimeäminen heidän ja emien mukaan Taksonomia	urbanisering ; Kaupungistuminen ångkraftverk moderna binära nomenklaturen inom biologin sexualsystemet (namngivning enligt ståndare och pistill hos växter) systematiken ; C.Linnea systemaattisuus oli nimenomaan taksonomian kehittämistä kritisk realism erfarenhetskunskap vs förnuftskunskap	korkeapainekattila polttomootori J.Joule siipipyöräkoe Carnot'n sykli induktiolaki epäeuklidinen geometria	Sadi Carnot ; Nicolas L. Sadi Carnot ; Carnot Entropia Carnot'n kone/lämpövoimakone ; Carnots värme-maskin korkeapainokattila Polttomootori ; förbränningsmotorer ; förbränningsmotor av koltyyp Joule ; James Joule Siipipyöräkoe ; Joulen koe Carnot'n kierto ; Carnots cykel Induktiolaki Ei-euklidiset geometriat ; Epäeuklidinen geometria Gaussin käyrä Kaksoisrakokoe Interferensikuvio ; kaksoisrakokokeen tapauksessa interferenssi havaittu muodostamansa kuvion kautta Ányos Jedlik ; Jedlik Julius Robert Mayer ; Mayer Rudolf Clausius ; förbränningsmotorer ; förbränningsmotor av koltyyp Clapeyron ; Benito P.E. Clapeyron Voltan parin von Guericke ; Otto von Guericke Humphry Davy (1778-1829) ; Humphry Davy Barium (1808) Jacob Berzelius ; Jöns Jakob Berzelius Kalium (1807) Kalsium (1808) kloori magnesium (1808) strontium (1808) Daltonin osapainelaki atomimassa kaasujen lämpölaajeneminen mooli ideaalikaasu lämpövoimakone murske pakkasen kestävä rautatiekiskon pohja murskattua kiveä vettä imemätön tienrakentaminen lennätin
kriittinen realismi kokemus- ja tunnetiedon vastakkainasettelu rationalismin ja empirismin samakaltaisuus tieto peräsin vain ilmiömaailmasta rautatiet useiden kuolema Venäjän ja Turkin välinen sota Ruotsin tappio Poltavassa vuorovaikutus sähkömagneettinen induktio	modernan binära nomenklaturen inom biologin sexualsystemet (namngivning enligt ståndare och pistill hos växter) systematiken ; C.Linnea systemaattisuus oli nimenomaan taksonomian kehittämistä kritisk realism erfarenhetskunskap vs förnuftskunskap sammanlänkning mellan rationalism och empirism vi kan endast ha kunskap om fenomenvärlden järnväg ; Rautatiet ; Rautatiliikenne många döda rysk-turkiska kriget svenska nederlaget vid Poltava Vuorovaikutus Induktioissa voimat täydentävät fyysiset aukot ; Induktio ; Sähkömagneettinen induktio ; induktio ; induktion Aalto medel för kraft och ljus att röra sig i Hans Christian Ørsted ; Ørsted ; Hans Christian Ørsted ; Orsted ; Ørsted ; Hans Christian Ørsted Generaattori ; Dynamo Faraday effect elektrisk motor ; Sähkömoottori ; sähkömoottorit Valonnopeus tyhjiössä Sähkövalo ; elektriskt ljus ; Tekovalo MaxwellBoltzmann -jakauma ; Maxwell-Boltzmannin jakauma ; Maxwell Boltzmannin jakauma Thomas Young Maxwellin yhtälöt (1865) ; Maxwellin yhtälöt I ; Maxwellin yhtälöt ; Maxwellin lait ; Maxwellin ekvatiorit ; Maxwellin yhtälöt (1865) Georg Ohm ; Ohm ohmin laki potentiaaliero ; Sähköinen potentiaali säteily ; Sähkömagneettinen säteily ; Sähkömagneettisen säteilyn syntymekanismi ; Sähkömagneettinen säteily ; säteily faradayn yhteydessä säteily ; geigermittarin yhteydessä Kelvin ; kelvin käsitteenä absoluuttinen lämpötila-asteikko ; Kelvin asteikko William Thomson ; William Thomson - Lordi Kelvin ; William Thomson, 1st Baron Kelvin (1824-1907) ; Kelvin 1831 induktiokoe Sähkökemian Ernst Chladni Äänen nopeus ; Äänen nopeus eri kaasuissa moderna fysikens födelse dagerrottypi Louis Daguerre ; Daguerre Nicéphore Niépce ; Niepce Amperen kokeet Magneettivuo Diamagnetism ; diamagneettisuus Savart ; Félix Savart Biotin ja Savartin laki ...	normaalijakauma kaksoisrakokoe interferenssi Á.Jedlik J.Mayer R.Clausius B.Clapeyron Voltan pylväs O.von Guericke H.Davy Barium J.Berzelius Kalium Kalsium Kloori Magnesium Strontium Daltonin osapainelaki atomimassa kaasujen lämpölaajeneminen mooli ideaalikaasu lämpövoimakone murske pakkasen kestävä rautatiekiskon pohja murskattua kiveä vettä imemätön tienrakentaminen lennätin Waterloo taistelu F.Engels sosialismi,kommunismi kommunismi sosialismi evoluutioteoria evoluutio luonnonvalinta Euroopan hullu vuosi Suomi liitetään Venäjään Kanteletar Kalevala Brittien verotus nousi taisteluiden rahoittamiseksi Ranskaa vastaan ...	Interferenssikuvio ; kaksoisrakokokeen tapauksessa interferenssi havaittu muodostamansa kuvion kautta Ányos Jedlik ; Jedlik Julius Robert Mayer ; Mayer Rudolf Clausius ; förbränningsmotorer ; förbränningsmotor av koltyyp Clapeyron ; Benito P.E. Clapeyron Voltan pari von Guericke ; Otto von Guericke Humphry Davy (1778-1829) ; Humphry Davy Barium (1808) Jacob Berzelius ; Jöns Jakob Berzelius Kalium (1807) Kalsium (1808) kloori magnesium (1808) strontium (1808) Daltonin osapainelaki atomimassa kaasujen lämpölaajeneminen mooli ideaalikaasu lämpövoimakone murske pakkasen kestävä rautatiekiskon pohja murskattua kiveä vettä imemätön tienrakentaminen lennätin Waterloo taistelu ; nederlag vid Waterloo ; vain napoleonin yhteydessä, joten maininta tappiosta erikseen on turha FriedrichEngels ; Engels ; Friedrich Engels Sosialismi/Kommunismi Kommunismi Sosialismi/Kommunismi ; socialism Evoluutioteoria ; Evoluutioteoria 1859 ; evolutionsteorin evolution ; Evoluutio Luonnon valinta ; Luonnonvalinta ; naturligt urval Euroopan hullu vuosi ; Euroopan hullu vuosi 1848 ; Hullu vuosi Storfurstedömet Finland till Ryssland kokosi Kantelettaren ja Kalevalan Brittien verotus nousi jotta olisi rahaa taistella Ranskaa vastaan (2 shillinkiä per punta) ...
aaltoliike väliaine H.Ørsted dynamo Faradayn ilmiö sähkömoottori valonnopeus sähkövalo Maxwellin-Boltzmannin jakauma T.Young Maxwellin yhtälöt G.Ohm Ohmin laki jännite sähkömagneettinen säteily ionisoiva säteily Kelvin-yksikkö Kelvin-asteikko Lordi Kelvin induktiokoe sähkökemian E.Chladni ääninnopeus modernan fysiikka Dagerrottypi L.Daguerre N.Niépce Ampèren kokeet magneettivuo diamagnetismi F.Savart Biot'n ja Savartin laki ...	...	...	...

Muutettu	Alkuperäinen	Muutettu	Alkuperäinen
Venäjä Neuvostoliitto The Communist Manifesto tasavirta kriittinen idealismi Orjuus päättyi Yhdysvalloissa  Orjuus päättyi Britannian siirtomaissa elektrolyysi R.Owen realismi Tilisin rauha Helmikuun vallankumous	Venäjä/Neuvostoliitto  kommunistiska manifestet  Tasavirta transsendentaalinen/kriittinen idealismi Orjuus päättyi Britannian siirtomaissa ja Amerikassa ; Orjuuden loppu Yhdysvalloissa ; slaveriet avskaffas ; Orjuuden lopettaminen Orjuus päättyi Britannian siirtomaissa ja Amerikassa Elektrolyysi Richard Owen (fossiilit) ; Richard Owen Realismi Rysslands och Napoleons fred i Tilsit helmikuun vallankumous ; februarirevolutionen ; Maaliskuun vallankumous ; gregoriaanisen kalenterin mukaan helmikuun vallankumous, samassa asiayhteydessä puhutaan aina maaliskuun vallankumouksen sijaan helmikuun vallankumouksesta Gustav IV Vladimir Lenin ; Lenin ; Vladimir Iljitš Lenin ; Vladimir Lenin Liikkumisen nopeuden kasvu Ominaislämpökapasiteetti Lämpökapasiteetti ; Lämpökapacitet ; värmekapacitet värmeinhäll Henri Becquerel ; Henry Becquerel ; Henri Becquerel (1852-1908) ; Becquerel rokotukset ; vaccinerings marxism ; Marxism Peter den Store Demokratia ; folkstyre Venäjän ja Japanin sota (1904-1905) ; Venäjän-Japanin sota ; Venäjän – Japanin sota 1904-1905 ; Venäjän ja Japanin sota 1905 Venäjän vallankumous vuonna 1905 ; Venäjän vallankumous 1905 ; ryska revolutionen ; 1905 vallankumous ; Alfred nobelin aikana puhutaan ryska revolutionenista ja suomen itsenäistymisen kohdalla venäjän vallankumouksesta Venäjän vuoden 1917 vallankumous ryska inbördeskriget Fahrenheit Pierre Curie ; Pierre Curie (1859-1906) Boltzmann ; Ludwig Boltzmann ; Ludwig Eduard Boltzmann (1844-1906) ; Ludwig Boltzmann Robert Andrew Millikan (1868-1953) ; Robert Andrews Millikan 1868-1953 ; Robert Millikan Millikanin koe 1909 matematiska metoder för värmets kvantifiering Kaloriteoria ; kalorimetria geigermittari ; Geiger-mittari röntgensäteet ; röntgensäde ; Röntgensäteily ; röntgenstrålning ; Röntgensäteet Röntgensäteiden diffraktio tutkiminen röntgensäteilyllä Röntgenkristallografia becquerel ; becquerel (Bq) Radioaktiivisuus ; radioaktiv strålning ; radioaktivitet Vaihtovirta Radioteknologia Katodisädeputki katodstrålar är en ström av fria partiklar tähdet ottomotor Nicolaus Otto ; Otto Diesel –moottori Synteettinen polttoaine ; polttoaineseos ; kaikissa käytettiin jotain synteettistä polttoainetta Puhelin ; Puhelin - Alexander Graham Bell 1876 ; telefonen televisionen ; Televisio Alexander Grafam Bell ; Alexander Graham Bell ; Alexander Bell Antonio Meucci Hermann von Helmholtz ; Hermann Helmholtz ; Helmholtz Valosähköinen ilmiö ; fotoelektriska effekten ; fotoelektrisk effekt ...	hehkulanka Nobel-palkinto  A.Nobel The Origin of Species dynamiitti musta ruuti J.Meyer  nitroglyseriini J.Newlands  polarisaatio T.Pelouze H.Bessemer Bessemer prosessi A.Wallace  W.Odling J.Döbereiner  Napoleon III viestintäteknologia Radium,Polonium L.Pasteur pastörointi W.Wien Planckin laki Planckin vakio  mustan kappaleen säteily atomiydin G.Mendel elektronin varaus elektroniorbitaali  genetiikka sähköverkko A.Lincoln  Oolannin sota Suomen suuret nälkävuodet Viimeisin laaja-alainen luonnollisesti aiheutunut nälänhätä Länsi-Euroopassa orjuus fauvismi J.Naismith O.von Bismarck  Ranskan-Preussin sota Saksa M.Canth ekspressionismi F.Nietzsche  Transatlanttiset lennätinkaapelit  Surrealismi postimpressionismi Punaisen ristin perustaminen P.Lenard hapettuminen  kuningatar Viktoria J.-H.Dunant lhanteellinen ihminen Brownin liike massa-energia relaatio O.Wright W.Wright O.Wright,W.Wright lentokone ...	glödtråd av volfram ; Wolframilanka Nobelin palkinto ; Nobelin fysiikanpalkinto 1903 ; Nobelin jakaminen ; Nobelpriset ; Nobel palkinnot ; lääketieteen Nobel ; första kvinna som får nobelpris i litteratur 1909 Alfred Nobel On the Origin of Species ; Lajien synty Dynamiitti ; Dynamiitin keksiminen ; dynamit Turvallisempi kuin ruuti Julius Lothar Meyer (1830-1895) ; Meyer ; Julius Lothar Meyer nitroglycerin måste tämjas för att vara användbart John Newlands (1837-1898) ; John Newlands ; Newland polarisation ; Polarisaatio Théophile-Jules Pelouze Henry Bessemer ; Bessemer Bessemermetoden Alfred Russel Wallace (On the Law which has Regulated the Introduction of New Species) ; Alfred Russel Wallace (1823-1913) William Odling ; William Odling ( 1829-1921) Döbereiner ; Johann Wolfgang Döbereiner (1780-1849) Ludvig Napoleon Bonaparte Viestintäteknologia radium och polonium Louis Pasteur ; Louis Pasteur (1822-1895) Pastörointi 1864 Wilhelm Wien ; Wien Plancks lag ; Planckin laki 1900 Planckin vakio 1914 ; planckin vakio ; Plancks konstant svartkropsstrålning ; Mustan kappaleen säteily atomkärnan ; atomkärna ; kärna Gregor Mendel Elektronin varaus elektronerna kretsar runt kärnan i banor ; elektronien radat ; Elektroniorbitaali Genetiikka sähköjako Abraham Lincoln (vastusti orjuutta ja republikaanipuolueen presidenttiehdokas) ; Abraham Lincoln ; Lincoln Oolannin sota (1854-56) Suuret nälkävuodet (1866-68)  Viimeinen iso luonnollisesti aiheutunut nälänhätä ; viimeisin nälänhätä Länsi-Euroopassa  orjakauppa Fauvismi Tohtori James Naismith ; James Naismith Otto van Bismarck ; Preussin pääministeri Otto von Bismarck Otto von Bismarck Ranskan-Preussin -sota Saksan valtakunta Minna Canth 1844-1897 Ekspressionismi Friedrich Nietzsche ; Nietzsche ; Friedrich Nietzsche Lennätinkaapeliyhteys mannerten välillä ; Transatlanttiset lennätinkaapelit 1858 ; Transatlantin kaabeli surrealism Post-impressionistinen taide ; Post Impressionism Kansainvälisen punaisen ristin perustaminen(ICRC) Philipp von Lenard ; Philipp Lenard kolet avlägsnas som koldioxid ; hapettumisesta puhutaan vain bessemer prosessin kohdalla Kuningatar Victoria Jean-Henri Dunant ; Henry Dunant "övermanniskan" brownin liike ; Brownin liike 1905 ; Brownin rörelse $E = mc^2$ ; $E = \gamma mc^2$ ; Massa-energia Orville Wright ; Orville Wright 1871-1948 Wilbur Wright ; Wilbur Wright 1867-1912 Wrightin veljekset Lentokone ...

Muutettu	Alkuperäinen	Muutettu	Alkuperäinen
Wrightin veljesten lentokone H.Geiger liukuhihna liukuhihnatyöskentely J.Fleming  A.Fleming  Fleming valve energian kvantittuminen varauksen kvantittuminen H.Fletcher Haber-Bosch-menetelmä P.Jordan O.Klein P.Dirac E.Wigner M.Born Kööpenhaminan tulkinta W.Pauli Suomen itsenäistyminen  M.Gandhi penisilliini  J.Stalin J.Nicholson vedyn spektriviivat  viivaspektri Titanicin uppoaminen  E.Smith Lokakuun manifesti SOLAS-sopimus  jäätuvori kilpavarustelu  P.Zeeman Psykoaterapia Oidipuskompleksi Franz Ferdinand  Franz Ferdinandin murha  Versailles'n rauha  alkeishiukkanen    E.Hubble J.Baird insuliini C.Chaplin  Hubblen laki G.Lemaître C.Jenkins Nipkowin menetelmä Franckin ja Hertzin koe Davissonin ja Germerin koe W.Elsasser Stern-Gerlachin koe D.Hilbert Lähetin-vastaanotin mykkäelokuva Suomen eduskuntaudistus  ...	Wrightin veljeksien lentokone 1904 ; bröderna Wrights motorflygplan Hans Geiger liukuhihna löpbandsprincipen ; Liukuhihna valmistus Fleming ; John Ambrose Fleming ; radiotekniikassa Fleming ; Alexander Fleming ; penisilliinin yhteydessä Flemingin läppä (Fleming valve) Energian kvantittuminen ; energikvantiseriing Kvantittuneet varaukset Harvey Fletcher 1884-1981 ; Harvey Fletcher Haber-prosessi ; Haber-Bosch menetelmä 1909 Pascual Jordan ; Jordan Klein Dirac ; Paul Dirac Wigner ; Eugene Wigner Born ; Max Born Köpenhamnstolkningen ; Kööpenhamina tulkinta Wolfgang Pauli ; Paul Finland självständigt 1917 ; Suomen itsenäistymisen ; Suomen itsenäistyminen 1917 Ghandi ; Mahatma Gandhi Penisilliini ; penisilliinin keksiminen ; penicillin ; Penicilliini Josef Stalin ; Stalin John W. Nicholson ; Nicholson ; John Nicholson Vedyn spektriviivat ; spektrallinjerna för väte ; vedyn spektri linjespektrum ; spektriviiva ; Spektriviivat Titanic ; Titanic upposi vuonna 1912 ; molempiin viitataan tapahtumana Edward J Smith ; Edward J. Smith lokakuun manifesti pelastusveneiden määrä tuli laskea laivan matkustajamäärän mukaan ; pelastusveneiden määrä oleellinen osa alkuperäistä SOLAS-sopimusta Jäätuvori kapprustning ; aseistus ; kilpavarustelu on aseistuksen alalla Peter Zeeman psykoaterapi Oedipaalikompleksi ; oidipuskomplex Kruununprinssi Franz Ferdinand ; Franz Ferdinand ; Frans Ferdinand ; Erzherzog Franz Ferdinand mordet på Franz Ferdinand ; Frans Ferdinandin tappaminen Versailles'n rauhansopimus ; Versaillesin rauha ; Versaillesin rauhansopimukset ; Versaillesin rauhansopimus ; Versaillesfreden hiukkanen ; Hiukkanen ; elementarpartiklar ; kaikkien hiukkasten yhteydessä puhe elektronista - kööpenhaminan tulkinnan kohdalla alkeishiukasta, varsinaisen tulkinnan teon taustalla vian fotonit ja elektronit. siksi kaikki hiukkaset alkeishiukkasiksi Edwin Hubble ; Hubble John Logie Baird ; Baird insulinet Charlie Chaplin ; Charlie Chaplin 1889-1977 ; Chaplin Hubbles lag Lemaître ; Georges Lemaître Charles Francis Jenkins ; Charles Jenkins Nipkowin levy (Nipkow disk) Franck-Hertz koe Davisson-Germer Koe  Walter M. Elsasser ; Walter Elsasser Stern – Gerlach koe 1922 David Hilbert ; David Hilbert H Vastaanottaja ja lähettäjä mykkäfilmit ; stumfilm Suomen eduskunta ; Suomen eduskunnasta puhutaan Nikolai II yhteydessä ja vuoden 1905 vallankumoukseen liittyen, joten oletetaan tarkoitettavan eduskuntaudistusta. (kategorisoitu vielä edistykseksi  ...	Impressionismi analyttinen filosofia Keisari Vilhelm II Saksan keisarinna Viktoria Zeemanin ilmiö valokenno väritelevisio Yleinen äänioikeus Suomessa  Suomen sisällissota lokakuun vallankumous Intian itsenäisyysliike Neuvostoliiton synty  Neuvostoliitto bolševikit  väkivallaton vastaliike Nikolai II Helmikuun manifesti, sortotokausi Ursa ry perustettiin  Puolimekaaninen televisio  absorptio, emissio, elektronin siirtyminen energiatasolta toiselle Venäjän keisarikunta kaatui F.Schelling  fotoelektroni Yhdysvallat sortotokausi elektronin energian kvantittuminen antibiootti Liittoutuneet  keskusvallat Ensimmäiset naiskansanedustajat naisten asema  Chladni figures ...	Impressionism Ar Analyttinen filosofia Vilhelm II ; Vilhelm II (Keisari) Viktoria (Saksan keisarinna) zeemanin ilmiö valokenno Q Väritelevisio kvinnor får rösträtt och valbarhet i Finland 1906 ; naisten vaalikelpoisuus ja äänioikeus kuuluivat yleiseen äänioikeuteen finska inbördeskriget ; Kansalaisista oktooberrevolutionen kampen för Indiens självständighet Neuvosto-Venäjä ; neuvosto-venäjä merkitty tapahtumaksi, asiayhteyden (bolševikkien) perusteella puhutaan neuvostoliiton perustamisesta sovjetunionen bolševikit jotka perustivat Venäjän neuvostotasavallan ; bolsjevikpartiet icke-väld Nicholas II Helmikuun manifesti (-> ensimmäinen sortotokausi) Suomessa perustettiin Tähtitieteellinen yhdistys Ursa ry vuonna 1921 halvmekaniskt analogt system ; Mekaaninen televisio ; Mekaanisuus viittaa nipkowin levyyn när elektronerna byter energinivå absorberas/emitteras ljus  Nikolaj II abdikerar  Friedrich Wilhelm Joseph Schelling ; Friedrich Schell ; Friedrich Schelling (foto)elektroni Yhdysvallat 1920 sortovuodet Kvanttiluonne ; (kvanttiluonteesta puhutaan franckin ja hertzin kokeen yhteydessä) Antibiotika ; antibiotisk effekt allianser ; de allierade ; de allieradesta puhutaan I maailman sodan alun yhteydessä, joten oletetaan tarkoitettavan samaa kuin allianser ja käytetään tässä nimitystä liittoutuneet centralmakterna de 19 första kvinnorna blir invalda i riksdagen 1907  deltog i kampen för kvinnlig rösträtt ; selma lagerlöfin tapauksessa puhutaan tapahtumasta, mutta tarkoitetaan naisten asemaan liittyvää toimintaa "Chladni figures"  ...



## Liite C. Verkostoanalyysin kvantitatiiviset tulokset

**Taulukko C.1:** Ajanjaksojen perusteella aggregoimalla indusoitujen aliverkkojen  $G_i$ , solmujen ja särmien määrä, aste ja Katz-jakaumien potenssilakien mukaiset  $\gamma$ -arvot, sopivimmat Katz-keskeisyyden vaimenemiskertoimen  $\alpha(p)$  parametrin  $p$  arvot, aste ja Katz-keskeisyyksien väliset Pearsonin  $R^2$  korrelaatiot sekä Kendallin  $\tau_b$  järjestyskorrelaatiot sekä modulaarisuus  $Q$ . Lisäksi taulukkoon on laskettu verkon läheisyys (*closeness*)  $C_C$ , lokaali klusteroituminen (*local cluster*)  $C_L$  sekä valikoiva parinmuodostus (*assortativity*)  $A$ , joita ei ole erikseen tämän tutkimuksen teoria-osiossa esitetty.

Verkko $G_i$	Verkon koko		Keskeisyyksien jakaumat			Korrelaatiot $C_D - C_K$		Globaalit tunnusluvut			
	$\#V_i$	$\#E_i$	$\gamma_{\text{aste}}$	$p$	$\gamma_{\text{Katz}}$	$R^2$	$\tau_b$	$C_C$	$C_L$	$A$	$Q$
$G_I$	239	356	$0,99 \pm 0,29$	0,89	$1,50 \pm 0,19$	0,90	0,51	0,24	0,40	-0,09	0,66
$G_{II}$	311	392	$1,47 \pm 0,39$	0,94	$1,42 \pm 0,12$	0,74	0,45	0,18	0,43	-0,10	0,80
$G_{III}$	326	424	$1,49 \pm 0,19$	0,94	$1,47 \pm 0,14$	0,75	0,34	0,16	0,39	-0,09	0,80
$G_{IV}$	158	190	$0,89 \pm 0,60$	0,93	$1,39 \pm 0,13$	0,77	0,57	0,18	0,35	-0,12	0,78
$G_V$	208	254	$1,60 \pm 0,31$	0,92	$1,48 \pm 0,15$	0,77	0,51	0,16	0,38	-0,12	0,79
$G_{VI}$	308	375	$0,69 \pm 0,29$	0,93	$1,42 \pm 0,18$	0,77	0,44	0,19	0,44	-0,11	0,80
$G_{I...II}$	522	765	$1,53 \pm 0,22$	0,93	$1,63 \pm 0,13$	0,78	0,50	0,20	0,38	-0,06	0,73
$G_{II...III}$	621	838	$1,78 \pm 0,20$	0,94	$1,66 \pm 0,17$	0,78	0,42	0,17	0,40	-0,08	0,81
$G_{III...IV}$	547	711	$1,92 \pm 0,20$	0,94	$1,69 \pm 0,13$	0,70	0,44	0,16	0,37	-0,09	0,84
$G_{IV...V}$	438	558	$2,01 \pm 0,29$	0,94	$1,54 \pm 0,14$	0,70	0,46	0,15	0,37	-0,09	0,82
$G_{V...VI}$	514	662	$1,34 \pm 0,23$	0,94	$1,57 \pm 0,17$	0,82	0,49	0,19	0,40	-0,11	0,81
$G_{I...III}$	826	1212	$1,72 \pm 0,19$	0,94	$1,62 \pm 0,14$	0,71	0,51	0,18	0,37	-0,06	0,78
$G_{II...IV}$	858	1149	$1,98 \pm 0,17$	0,95	$1,70 \pm 0,12$	0,75	0,42	0,16	0,39	-0,08	0,83
$G_{III...V}$	796	1053	$2,30 \pm 0,19$	0,95	$1,77 \pm 0,11$	0,69	0,46	0,15	0,37	-0,08	0,84
$G_{IV...VI}$	757	992	$1,59 \pm 0,20$	0,94	$1,76 \pm 0,13$	0,76	0,48	0,17	0,39	-0,09	0,83
$G_{I...IV}$	1053	1519	$1,96 \pm 0,15$	0,95	$1,60 \pm 0,15$	0,67	0,51	0,17	0,36	-0,06	0,81
$G_{II...V}$	1129	1518	$2,18 \pm 0,19$	0,95	$1,80 \pm 0,17$	0,72	0,45	0,15	0,37	-0,08	0,84
$G_{III...VI}$	1152	1531	$2,02 \pm 0,19$	0,95	$1,80 \pm 0,12$	0,70	0,47	0,15	0,36	-0,09	0,85
$G_{I...V}$	1321	1888	$2,09 \pm 0,13$	0,95	$1,68 \pm 0,13$	0,65	0,53	0,16	0,36	-0,07	0,82
$G_{II...VI}$	1419	1932	$2,05 \pm 0,17$	0,96	$1,89 \pm 0,13$	0,71	0,47	0,16	0,37	-0,08	0,84
$G_{I...VI}$	1613	2306	$2,13 \pm 0,14$	0,96	$1,70 \pm 0,14$	0,62	0,53	0,16	0,36	-0,07	0,83

## Liite D. Aliverkkojen yhteisöjen jäsenet

Tässä liitteessä ovat tulos-osiossa esitettyjen kuvien 6.9–6.12 verkkojen  $G_{I...III}$ ,  $G_{II...IV}$ ,  $G_{III...V}$  ja  $G_{IV...VI}$  kaikki yhteisöjen jäsenet. Yhteisöt ovat järjestetty laskevasti niiden kumulatiivisen Katz-kertymän mukaan ja jokaisen yhteisön jäsenet esiintyvät listauksessa aiheen Katz-keskeisyyden mukaan laskevassa järjestyksessä.

### Verkon $G_{I...III}$ yhteisöt:

**Yhteisö 15** [I.Newton, 'G.Galilei', 'empiirinen menetelmä', 'Tieteellinen vallankumous', 'heliosentrinen maailmankuva', 'J.Kepler', 'teleskooppi', 'gravitaatiolaki', 'T.Brahe', 'gravitaatio', 'F.Bacon', 'R.Descartes', 'Keplerin lait', 'Royal Society', 'R.Hooke', 'planeettaliike', 'putoamiskiirtyvyys', 'valonnopeuden määrittäminen', 'kiirtyvyys', 'G.Leibniz', 'massa', 'Englannin restauraatio', 'tähtitiede', 'Principia', 'calculus', 'Sir C.Wren', 'optiikka', 'SN 1572', 'Newtonin lait', 'Kaarle II', 'valon spektri', 'voima', 'P.-S.Laplace', 'silmalasit', 'Lontoon palo', 'Oktantti', 'klassinen mekaniikka', 'A.Conti', 'Isaac Barrow', 'Jaakko II', 'Royal Mint', 'Teoria optiikasta', 'fluksionimetodi', 'putoaminen', 'valon hiukkaskuono', 'S.Stevin', 'muuttuva maailmankaikkeus', 'Fredrik II', 'J.-L.Lagrange', 'Tychooninen systeemi', 'vuorovesiteoria', 'valon taittuminen', 'Auringonpilkut', 'C.Scheiner', 'Galilein kuut', 'Venuksen vaiheet', 'heiluri', 'kappaleen liike', 'liikemäärä', 'putoamislaki', 'E.Halley', 'analyttinen geometria', 'Akademiat ja yhteisöt', 'kokeiden suunnittelu', 'systemaattinen havaintojen kerääminen', 'ristiriitojen rajaaminen pois', 'korrelaatio', 'I.Beekman', 'kausalliset', 'ilmiöiden alueellinen jäsentäminen', 'invarianssi', 'taivaan kappaleiden havainnoinnin kehittyminen', 'vuorovesi', 'J.Gregory', 'väriaberraatio', 'kääntäen neliöllinen verrannollisuus', 'navigointilaitte', 'tähti', 'tähtien synty', 'supernova', 'observatorio', 'komeetta', 'muuttumaton maailmankaikkeus', 'havaintojen merkittävyys', 'havainnointi silmin', 'Kassiopeian tähdistö', 'Pisan torni', 'ilmanvastus', 'B.Spinoza', 'Kristiina', 'erkale', 'Cogito ergo sum', 'B.Pascal', 'elliptinen rata', 'kiertoaika', 'puoliakseli', 'Hooken laki', 'solu', 'Io', 'O.Rømer', 'aika', 'matka', 'pinta-ala', 'Rudolf II', 'valon aallonpituudet', 'taitekerroin', 'sateenkaari', 'prisma', 'näöntarkastuksen välineet', 'aurinkokunnan synty', 'valon heijastuminen', 'John Hadley', 'Sekstantti', 'Thomas Godfrey', 'Differentialiyhtälöt', 'Lagrange'n mekaniikka', 'Matemaattinen fysiikka', 'P.Fermat', 'koordinaatio', 'B.Fontenelle', 'Tiedettä tehtiin järjestöissä', 'yliopistoissa ei tutkimusta']

**Yhteisö 18** [Ranskan suuri vallankumous, 'Voltaire', 'J.-J.Rousseau', 'K.Marx', 'liberalismi', 'Encyclopédie', 'ihmisoikeudet', 'Helmikuun vallankumous', 'Wienin kongressi', 'Yhdysvaltojen vallankumous', 'uskonvapaus', 'nationalismi', 'sosialismi', 'Euroopan hullu vuosi', 'Newtonianismi', 'giljotiini', 'vapaus ja veljeys ja tasa-arvo', 'storming av Bastiljen', 'sotateoria', 'porvarit ja uusi aika', 'kansalaisoikeus', 'humanismi', 'Kuninkaallisen absolutismin vastustus', 'demokratia', 'Vastavallankumoukset', 'Valtionvelka ja verotus', 'Robespierre', 'Ranskan vallankumoussodat', 'Ludvig XVI', 'Brumairekuppen (Napoleons statskupp)', 'Valtio', 'sanonvapaus', 'Adam Smith', 'Ranskan akatemia', 'Raamattu', 'kommunismi', 'D.Diderot', 'The Communist Manifesto', 'Luokkatietoisuus', 'Marxismi', 'J.d'Alembert', 'F.Engels', 'Ruotsin vallankumous', 'Yhteiskuntasopimuksista', 'uskontojen kritisoiminen', 'sociologi', 'historisk materialism', 'V.Lenin', 'Teollistumisen kritiikki', 'Sosialistiset vallankumoukset', 'Luokkataistelu', 'Oikeus työskennellä', 'Pyhän Allianssin perustaminen', 'Thomas Paine', 'vallankumoukset', 'absoluuttinen aika ja avaruus', 'formulointi', 'mittaaminen', 'Communist League', 'Alembertin periaate', 'aaltoyhtälö']

**Yhteisö 1** [M.Faraday, 'sähkövirta', 'A.-M.Ampère', 'Voltan pylväs', 'A.Volta', 'sähkömagnetismi', 'paristo', 'G.Ohm', 'Galvanometri', 'H.Ørsted', 'Ampèren laki', 'magneetikenttä', 'sähkömoottori', 'J.Henry', 'Ohmin laki', 'kompassi', 'sähkökemian', 'sähkömagneettinen induktio', 'Faradayn häkki', 'lennätin', 'L.Galvani', 'T.-F.Dalibard', 'J.-B.Biot', 'jännite', 'Biot'n ja Savartin laki', 'magneettivoima', 'elektronikka', 'induktiolaki', 'induktiokeho', 'elektrolyysi', 'dynamo', 'diamagnetismi', 'Sähkön tuotto', 'William Hyde Wollaston', 'Ympäristötiede', 'Majakoiden parantaminen', 'Lontoon maailmannäyttely', 'Katodinen suojaus', 'Homopolar motor', 'Faradayn motor', 'Bunsen lamppu', 'Ainoastaan yksi sähköilmiö olemassa', 'resistanssi', 'Ampèren kokeet', 'sähködynamiikka', 'O.von Guericke', 'Samuel Morse', 'Pavian yliopisto', 'kapasitanssi', 'metaani', 'sammakko', 'voltti', 'Muuntaja', 'William Watson', 'elektrokemiallinen keno', 'Peiligalvanometri', 'Poggendorff', 'käämi', 'F.Savart', 'Maxwellin yhtälöt', 'Mekaaninen voima', 'William Sturgeon', 'tasavirta', 'Ä.Jedlik', 'induktanssi', 'mikroaltouuni', 'sähkömagneettinen säteily', 'Alfred Vail', 'Charles Wheatstone', 'Morsen aakkoset', 'William Fothergill Cooke', 'morsetus', 'rele']

**Yhteisö 16** [höyrykone, 'teollinen vallankumous', 'höyryauto', 'J.Watt', 'höyrylaiva', 'Kehruu-Jenny', 'T.Newcomen', 'Höyryvoima', 'N.-J.Cugnot', 'höyryveturi', 'C.Darwin', 'Mekaaninen työstö', 'Liikenteen kehittyminen', 'D.Papin', 'T.Savery', 'Höyrykattila', 'Globalisaatio', 'kutomakone', 'J.Hargreaves', 'höyrynpaine', 'vesihöyry', 'terästuotanto', 'mäntä', 'mekaaninen energia', 'lokomobiili', 'laivamoottori', 'kaivosvesipumppu', 'höyrymoottori', 'höyry', 'hevosvoima', 'Kondensaatio', 'Jeronimo de Ayanz y Beaumont', 'J.Calley', 'J.Beaumont', 'kirjapainotaito', 'nopeus', 'Bruttokansantuote', 'Urbanisaatio', 'fossiilinen energia', 'koneenrakennustaito', 'työstökoneet', 'William Murdoch', 'arabialaiset numerot', 'watti', 'lauhdutin', 'J.Fitch', 'J.d'Abbans', 'P.Miller', 'kaasuturbiini', 'kaupankäynti', 'korkeapainekattila', 'siipiratas', 'pikasukkula', 'käskintöjen protestit', 'kehrukone', 'Kay', 'Darwinin sirkut', 'Darwinismi', 'R.Owen', 'evoluoio', 'evoluoio', 'evoluoio', 'luonnonvalinta', 'rautamasuuni', 'Robert Fulton', 'Richard Trevithick', 'Kartoitus tuntemus', 'Osakemarkkinat', 'Perustettu Dutch East India Company', 'Perustettu East India Company', 'Al-Khwarizmi', 'Fibonacci', 'Helmitaalu']

**Yhteisö 17** [Metriin järjestelmä, 'B.Franklin', 'C.Coulomb', 'Coulombin laki', 'sähkö', 'W.Gilbert', 'etäisyys', 'sähköstaattisuus', 'sähkövaraus', 'Fredrik II Suuri', 'ukko-senjohtajien', 'Yhdysvaltain itsenäistyminen', 'varauksen säilymlaki', 'Leijakoe', 'Auguste Comte', 'Yhdysvaltain vapaussota', 'Leidenin pullo', 'perustuslaki', 'kiertovaaka', 'värähtelymenetelmä', 'Leydenin pullo', 'elektroskooppi', 'salama', 'ukkonen', 'E.Kleist', 'Iso-Britannia', 'Pariisin rauha', 'magnetismi', 'P.Musschenbroek', 'G.Mouton', 'Savantit', 'Golfvirta', 'Kaksiteholinssit', 'orjuuden vastaisuus', 'sähköjohtavuus', 'väestötiede', 'sähköstaattinen generaattori', 'seitsenvuotinen sota', 'kitka', 'hylyvä voima', 'vetovoima', 'vuorovaikutus', 'sähköstaattinen koe', 'John Adams', 'Thomas Jefferson', 'Boston Tea Party', 'George Washington', 'A.Spencer', 'leija', 'Henri de Saint-Simon', 'positivismi', 'Daniel Gralath', 'kondensaattori', 'Staatteen sähkön säilöntä', 'J.Canton', 'Loviisa Ulriika', 'Pietari II']

**Yhteisö 8** [R.Boyle, 'optiset kokeet', 'Avogadron laki', 'lämpömittari', 'Boyle'n laki', 'atomiteoria', 'ideaalikaasun tilanyhtälö', 'R.Boscovich', 'lämpötila', 'Charlesin laki', 'tilavuus', 'paine', 'A.Celsius', 'A.Avogadro', 'Celsius-asteikko', 'J.Dalton', 'faasimuutos', 'atomi', 'alkuaine', 'absoluuttinen nollapiste', 'J.Charles', 'Avogadron laki', 'ilmapuntari', 'molekyylit', 'lämpölaajeneminen', 'kaasujen lämpölaajeneminen', 'H.Power', 'kerrannaisten painosuhteiden lain', 'kerrannaisten massasuhteiden laki', 'Joseph Louis Proust', 'Kelvin-asteikko', 'J.Gay-Lussac', 'Kaausvakioiden käsite', 'ainemäärä', 'ideaalikaasu', 'Kuussa ei ilmakehää', 'planeettojen ekvaattori', 'John Daltonin kokeet', 'kaasu', 'maan kohoaminen', 'tähtiä valon voimakkuus', 'revontulien vaikutus magneetikenttään', 'leveysasteiden eroavaisuus', 'kompassin poikkeama', 'celsius-yksikkö', 'mooli', 'Fahrenheit-asteikko', 'veden faasimuutospisteet', 'Daltonin osapainelaki', 'atomimassa', 'färgblindhet', 'meteorologi', 'E.Torricelli', 'säähavainto', 'tyhjiö', 'Kelvin-yksikkö', 'Lordi Kelvin', 'nollatilavuus']

**Yhteisö 4** [I.Kant, 'J.Locke', 'D.Hume', 'Valitusajaksi', 'G.W.F.Hegel', 'empirismi', 'rationalismi', 'T.Hobbes', 'Kaasusumu hypoteesi', 'Yhdysvaltain itsenäisyysjulistus', 'tietoteoria', 'Katarina Suuri', 'Naisten asema tieteessä', 'löytöretket', 'Kuunpimennys', 'Pietarin tiedeakatemia', 'Iso-Britannian kuningaskunnan syntyminen', 'Berliinin tiedeakatemia', 'Moderni filosofia', 'kokemus- ja tunnetiedon vastakkainasettelu', 'kriittinen filosofia', 'kriittinen realismi', 'rationalismin ja empirismin samakaltaisuus', 'tieto peräsin vain ilmiömaailmasta', 'G.Berkeley', 'Skeptisismi', 'Naturalismi', 'C.Columbus', 'Uskonsota', 'Idealismi', 'Johann Wolfgang von Goethe', 'hegeliläisyys', 'kapitalismi', 'kriittinen idealismi', 'Charles Messer', 'Galaksit', 'Thomas Wright', 'the University of Bologna', 'Yekaterina Dashkova', 'Laura Bassi', 'Amerikan mantereen löytäminen', 'Henrik Purjehtija', 'Laivanrakennus', 'Marco Polo', 'Navigointi', 'Vasco da Gama', 'Francis Hutcheson', 'Glasgow'n yliopisto', 'imperialismi', 'maapallon ympäröimättä']

**Yhteisö 3** [Uskonpuhdistus, 'N.Copernicus', 'M.Luther', 'inkvisitio', 'Katolinen kirkko', '30-vuotinen sota', 'Galilein saapuminen Romaan', 'Vastauskonpuhdistus', 'Illuminati', 'Paavali III', 'W.Byrd', 'Urbanus VIII', 'anglikaaninen kirkko', 'Lützenin taistelu', 'J.Wycliffe', 'U.Zwingli', 'vaeltavien tähtien laskenta', 'Planeettaobservaatio']

latituedeilla ja longituedeilla, 'Oslanderin vastateesi', 'De revolutionibus orbium coelestium', '80-vuotinen sota', 'protestanttiset kirkot', 'Westfalenin rauha', 'Valtioiden rajat', 'poltetun maan taktiikka', 'väestön kutistuminen', 'Kristian IV', 'Ferdinand II', 'kotiaresti', 'Adam Weishaupt', 'Charles Theodore', 'kirkkomusiikki', 'laulut', 'Kustaa II Aadolf', 'Ruotsalaisuuden päivä', 'Alankomaiden nousu', 'Filip II']

**Yhteisö 19** ['É.Châtelet', 'kineettinen energia', 'D.Bernoulli', 'pudotuskoe', 'energian säilymlaki', 'N.Sadi Carnot', 'lämpöenergia', 'Carnot'n kone', 'lämpövoimakone', 'barotki', 'B.Clapeyron', 'hyötysuhde', 'termodynamiikka', 'kenttä', 'energian säilyminen', 'infrapunasäteily', 'J.Joule', 'Hydrostaattika', 'Kineettinen kaasuteoria', 'termodinamiikan II pääsääntö', 'Lämmön yhteys työhön', 'polttomoottori', 'J.Mayer', 'työ', 'Carnot'n sylki', 'Bernoullin laki', 'R.Clausius', 'Willem's Gravesande', 'J.Maxwell', 'verenpaineen mittaus', 'siipipyöräke', 'termodinamiikan I pääsääntö', 'energia', 'Carnots teoreem', 'höyryvoimakone', 'Tuotantokapasiteetin kasvu', 'Liikkumisen nopeuden kasvu', 'Clausius-Clapeyronin yhtälö', 'kaasutin', 'Maxwellin demoni', 'Maxwellin-Boltzmannin jakauma', 'entropia', 'Barber', 'Mead', 'kaasumoottori', 'turbiini']

**Yhteisö 11** ['C.Huygens', 'peilikaukoptuki', 'heilurikello', 'linssikaukoptuki', 'planeetta', 'heilurin jaksonaika', 'Uranus', 'kaksoistähdet', 'Aurinkokuningas Ludvig XIV', 'Titan', 'tähtisumu', 'Saturnuksen renkaat', 'Marin Mersenne', 'R.Towneley', 'W.Herschel', 'Habsburgien suku', 'S.Coster', 'Jupiterin kuut', 'Kuun pinnanmuodot', 'himmeät tähdet', 'Anders Lexell', 'Kuu', 'J.-B.Colbert', 'Ranskan asema Euroopassa', 'joukkopako']

**Yhteisö 2** ['Alankomaat', 'W.A.Mozart', 'musiikin teoria', 'reformoitu kirkko', 'L.Beethoven', 'Rembrandt', 'romantiikka', 'J.S.Bach', 'J.Austen', 'piano', 'G.F.Händel', 'barotki', 'J.-B.Lully', 'R.Chumann', 'A.Vivaldi', 'F.Chopin', 'Michelangelo', 'Edgar Allan Poe', 'J.Haydn', 'viulu', 'Johann Christian Bach', 'Klassisen sinfonian kliimaksi', 'Klassiset instrumentit', 'Länsimainen musiikki', 'Mozartin mystinen kuolema', 'Sävellystekniikka', 'kuurous', 'Jacques Callot', 'Jan Vermeer', 'Jacob van Swanenburg', 'Etsaus', 'Thomasschule', 'urut', 'Feminismi', 'Henry Austen', 'Kirjoitustekniikka', 'Sosiaalinen kommentointi', 'Thomas Egerton', 'realismi', 'New Academy of Music', 'Oratorio ja ooppera', 'Royal Academy of Music', 'Ranska', 'Michel Lambert', 'Friedrich Wieck', 'kriitikko', 'Ospedale della Pietà', 'Felix Mendelssohn', 'Franz Schubert', 'Kauhukirjallisuus', 'Leonardo da Vinci', 'Richard Wagner', 'Sci-Fi', 'alastomat hahmot', 'salapoliisi-romaani', 'taiteilijoiden aseman nousu']

**Yhteisö 13** ['A.Lavoisier', 'kalorimetri', 'massan säilymlaki', 'moderni kemia', 'H.Cavendish', 'J.Black', 'Flogiston-teoria', 'palaminen', 'vety', 'J.Priestley', 'alkuaineiden nimeäminen', 'happi', 'alkuainetaulukko', 'Mihail Lomosov', 'Marie-Anne Pierrette Paulze', 'latenttilämpö', 'Fotosynteesi', 'A.Einstein', 'hapettuminen', 'palamisprosessi', 'Cavendishin sähköteoria', 'Maan massan mittaus', 'kaasujen ominaisuudet', 'Analyysivaaka', 'jään lämmittäminen', 'Jan van Helmont']

**Yhteisö 5** ['Napoleon I', 'Suomen sota', 'Napoleonin sodat', 'Trafalgarin taistelu', 'Aleksanteri I', 'Waterloon taistelu', 'taistelut', 'lakikokoelma', 'valloitukset', 'sata-päiväinen keisarikunta', 'joukkorokotukset', 'Brittien verotus nousi taisteluiden rahoittamiseksi Ranskaa vastaan', 'Suomi liitetään Venäjään', 'motoffensiv av svenskarna', 'vapenvilan i Frostkåge gästgivaregård', 'upproret på Åland', 'svensk reträtt mot Uleåborg', 'stillestånd i Lochteå', 'slaget vid Virta bro', 'ryssarna besatte södra Finland', 'ryska armén går över finska gränsen utan officiell krigsförklarig', 'Svartholm kapitulerar', 'belägring av Sveaborg', 'Tilsitin rauha', 'Sveaborg kapitulerar', 'Ryssland anfäller på tre fronter', 'Kustaa IV Aadolf', 'Kumlingslaget', 'Fänrik Ståls sägner', 'Autonomian aika', 'Napoleon erövrar stora delar av Europa', 'Tutkimusretket', 'försök att invadera Ryssland', 'slaget vid Leopzig', 'Anglo-Espanjan sota', 'Brittiläinen imperiumi', 'Porvoon valtiopäivät']

**Yhteisö 9** ['L.Euler', 'C.F.Gauss', 'Analyysi', 'valon aaltoluonne', 'notaatio', 'verkkoteoria', 'topologia', 'lukuteoria', 'funktio', 'Neperin luku', 'Kompleksiluvut', 'J.Bernoulli', 'kaksoisrakoke', 'Energiaperiaate', 'Moritz Cantor', 'normaalijakauma', 'epäeuklidinen geometria', 'Bernhard Riemann', 'Gaussin eliminaatiomenetelmä', 'Algebran fundamentaali teoria', 'Hieroglyfejä pystytään tulkitsemaan', 'T.Young', 'Aallonpituusjakauma', 'aaltoliike', 'interferenssi', 'B.Thompson', 'Kimmoisa törmäys', 'Antiikin Egyptin hieroglyfin tulkitseminen', 'Jean-Francois Champollion', 'Rosettan kivi']

**Yhteisö 6** ['H.Davy', 'J.Berzelius', 'Barium', 'Boori', 'Carl Wilhelm Scheele', 'Kalium', 'Kalsium', 'Kloori', 'Magnesium', 'Natrium', 'Strontium', 'Wöhler synteesi', 'Friedrich Wöhler', 'Orgaaninen kemia', 'Vitalismi']

**Yhteisö 10** ['G.Hällström', 'J.Gadolin', 'Turun palo 1827', 'Pehr Kalm', 'Turun akatemia', 'C.L.Engel', 'Helsingin observatorio', 'yttrium', 'ominaislämpö', 'lantanoidit', 'Friedrich Argelander', 'Helsingin yliopisto', 'Turun akatemia Helsinkiin', 'kenraalikuvernööri Zakrevski', 'leveämmät kadut ja uudet palotornit', 'Niaganan putoukset', 'kasvien viljely']

**Yhteisö 12** ['Tieteiden erkaneminen', 'A.Vesalius', 'lääketiede', 'C.Linné', 'Pergamonin Galen', 'Taksonomia', 'Erkaneminen luonnonfilosofiasta', 'Anatomia', 'J.Dubois', 'Kaarle V', 'P.Cortona', 'De humanis corporis fabrica', 'biologinen antropologia', 'biologian dikotominen nimikkeistö', 'kasvien nimeäminen heteiden ja emien mukaan']

**Yhteisö 7** ['Suuri Pohjansota', 'Puskin', 'Ruotsin imperiumin murentuminen', 'Pietari Suuri', 'Kaarle XII', 'Narvan taistelu', 'Ruotsin tappio Poltavassa', 'Tsaarin Venäjän nousu', 'Venäjän ja Turkin välinen sota', 'useiden kuolema', 'berättarteknik som blandar dramatik och romantik och satir', 'dekabrisupproret', 'moderna ryska litteraturspråket', 'pistolduell', 'social reform']

**Yhteisö 0** ['äänennopeus', 'E.Chladni', 'Chladni figures', 'Meteoriitit', 'kvanttimekaniikka']

**Yhteisö 14** ['teollistuminen', 'Yhdysvaltain sisällissota', 'Orjuus päättyi Britannian siirtomaissa', 'Orjuus päättyi Yhdysvalloissa', 'Liberia perustettiin', 'Yhdysvaltain perustuslakiin 13 lisäys joka kielsi orjuuden']

## Verkon $G_{II...IV}$ yhteisöt:

**Yhteisö 19** ['M.Faraday', 'sähkövirta', 'A.-M.Ampère', 'Voltan pylväs', 'A.Volta', 'B.Franklin', 'sähkömagnetismi', 'Metrinen järjestelmä', 'H.Ørsted', 'Galvanometri', 'paristo', 'sähkö', 'G.Ohm', 'C.Coulomb', 'Ampèren laki', 'varauksen säilymlaki', 'ukkosjohtajin', 'sähköstaattisuus', 'elektrolyysi', 'Ohmin laki', 'sähkövaraus', 'Coulombin laki', 'sähkökemial', 'J.Henry', 'sähkömagneettinen induktio', 'L.Galvani', 'Leijake', 'Leidenin pullo', 'jännite', 'C.Huygens', 'Biot'n ja Savartin laki', 'T.-F.Dalibard', 'J.-B.Biot', 'Sähkön tuotto', 'induktiolaki', 'induktiokoe', 'dynamo', 'diamagnetismi', 'Ympäristötiede', 'William Hyde Wollaston', 'Homopolar motor', 'Majakoiden parantaminen', 'Lontoon maailmannäyttely', 'Katodinen suojaus', 'Faradayn ilmiö', 'Bunsen lamppu', 'Ainoastaan yksi sähköilmiö olemassa', 'magneettivoima', 'orjuuden vastaisuus', 'salama', 'gravitaatiolaki', 'ukkonen', 'E.Kleist', 'Leydenin pullo', 'Ampèren kokeet', 'resistanssi', 'kiertovaaka', 'värähtelymenetelmä', 'P.Musschenbroek', 'sähködynamiikka', 'O.von Guericke', 'kapasitanssi', 'metaani', 'sammakko', 'voltri', 'Pavian yliopisto', 'Golfvirta', 'Kaksiteholinssit', 'sähkönjohtavuus', 'väestötiede', 'Muuntaja', 'S.Stevin', 'Savantit', 'G.Mouton', 'sähkökenttä', 'Peiligalvanometri', 'Poggendorff', 'käämi', 'William Watson', 'elektrokemiallinen kenno', 'kitka', 'magnetismi', 'voima', 'F.Savart', 'alkuaineiden eristäminen', 'Svante Arrhenius', 'etäisyys', 'hylikivä voima', 'vetovoima', 'vuorovaikutus', 'induktanssi', 'A.Spencer', 'leija', 'Daniel Galath', 'kondensaattori', 'Staattisen sähköön säilöntä', 'sähköstaattinen generaattori']

**Yhteisö 3** ['Ranskan suuri vallankumous', 'K.Marx', 'Voltaire', 'J.-J.Rousseau', 'Helmikuun vallankumous', 'Wienin kongressi', 'Encyclopédie', 'liberalismi', 'G.W.F.Hegel', 'Yhdysvaltojen vallankumous', 'ihmisoikeudet', 'uskonvapaus', 'sosialismi', 'Euroopan hullu vuosi', 'nationalismi', 'illuminati', 'vapaus ja veljeytensä ja tasa-arvo', 'stormning av Bastiljen', 'demokratia', 'sotateoria', 'porvarit ja uusi aika', 'kansalaisoikeus', 'humanismi', 'giljotiini', 'Ludvig XVI', 'Vastavallankumoukset', 'Valtionvelka ja verotus', 'Valistus aika', 'Robespierre', 'Ranskan vallankumoussodat', 'Kuninkaallisen absolutismin vastustus', 'Brumairekuppen (Napoleons statskupp)', 'kommunismi', 'Adam Smith', 'Luokkatietoisuus', 'Marxismi', 'The Communist Manifesto', 'F.Engels', 'D.Diderot', 'Katolinen kirkko', 'Newtonianismi', 'V.Lenin', 'sociologi', 'historisk materialism', 'uskontojen kritisointi', 'Teollistumisen kritiikki', 'Sosialistiset vallankumoukset', 'Luokkataistelu', 'Raamattu', 'Ranskan akatemia', 'Valtio', 'sanonvapaus', 'J.d'Alembert', 'Ruotsin vallankumous', 'Yhteiskuntasopimuksesta', 'Oikeus työskennellä', 'Pyhän Allianssin perustaminen', 'Idealismi', 'hegeliläisyys', 'kapitalismi', 'kriittinen idealismi', 'Johann Wolfgang von Goethe', 'Thomas Paine', 'Eurooppalaisten kansallisvaltioiden syntyminen', 'keisari Ferdinand I', 'vallankumoukset', 'Charles Theodore', 'Adam Weishaupt', 'Communist League', 'absoluuttinen aika ja avaruus', 'formulointi', 'mittaaminen', 'Alembertin periaate', 'aaltoyhtälö', 'Italia']

**Yhteisö 9** ['höyrykone', 'teollinen vallankumous', 'höyryauto', 'J.Watt', 'T.Newcomen', 'Kehruu-Jenny', 'Höyrylaiva', 'Höyryvoima', 'N.-J.Cugnot', 'Höyrykattila', 'höyryveturi', 'rautate', 'T.Savery', 'D.Papin', 'Mekaaninen työstö', 'J.Hargreaves', 'kutomakone', 'Urbanisaatio', 'Liikenteen kehittyminen', 'höyrymoottori', 'mäntä', 'mekaaninen energia', 'kaivosvesipumppu', 'höyrypaine', 'vesihöyry', 'höyry', 'hevosvoima', 'Kondensaatio', 'Jeronimo de Ayaz y Beumont', 'J.Calley', 'Boulton', 'Bruttokansantuote', 'Globalisaatio', 'fossiilinen energia', 'kirjapainotaito', 'koneenrakennustaito', 'työstökoneet', 'William Murdock', 'lauhdutin', 'watti', 'pikasukkulat', 'käsinkutojen protestit', 'kehrukone', 'Kay', 'J.Fitch', 'J.d'Abbans', 'P.Miller', 'kaasuturbiini', 'kaupankäynti', 'korkeapainekattila', 'siipiras', 'Tuotantokapasiteetin kasvu', 'Liikkumisen nopeuden kasvu', 'Lontoo', 'Massakuluneuvot', 'New York', 'Töiden erikoistuminen', 'Richard Trevithick', 'Robert Fulton', 'rautamasuuni']

**Yhteisö 1** ['Napoleon I', 'Napoleonin sodat', 'Trafalgarin taistelu', 'Suomen sota', 'Aleksanteri I', 'Waterloon taistelu', 'taistelut', 'satapäiväinen keisarikunta', 'valloitukset', 'joukkorokotukset', 'lakikokoelma', 'Brittien verotus nousi taisteluiden rahoittamiseksi Ranskaa vastaan', 'Suomi liitetään Venäjään', 'Napoleon erövrar stora delar av Europa', 'Tutkimusretket', 'försök att invadera Ryssland', 'slaget vid Leopzig', 'Brittiläinen imperiumi', 'Anglo-Espanjan sota', 'motoffensiv av svenskarna', 'vapenvilan i Frostkåge gästgivaregård', 'upproret på Åland', 'svensk reträtt mot Uleåborg', 'stillestånd i Lochteå', 'slaget vid Virta bro', 'ryssarna besatte södra Finland', 'ryska armén går över

finska gränsen utan officiell krigsförklarig, 'belägring av Sveaborg', 'Autonomian aika', 'Tilsitin rauha', 'Sveaborg kapitulerar', 'Svartholm kapitulerar', 'Ryssland anfaller på tre fronter', 'Kustaa IV Aadolf', 'Kumlingslaget', 'Fänrik Ståls sägner', 'Porvoon valtiopäivät]

**Yhteisö 18** [hehkulamppu, 'sähkövalo', 'lämpöenergia', 'N.Sadi Carnot', 'hyötysuhde', 'lämpövoimakone', 'Carnot'n kone', 'kalorimetri', 'J.Black', 'T.Edison', 'termodynamiikka', 'energia säilymislaki', 'termodynamiikan II pääsääntö', 'B.Clapeyron', 'Lordi Kelvin', 'latenttilämpö', 'J.Joule', 'vaihtovirta', 'N.Tesla', 'sähköverkko', 'Göbel', 'Kaarilamppu', 'Swan', 'hehkulanka', 'kaupallisuus', 'energia', 'R.Clausius', 'Carnot'n sykli', 'J.Mayer', 'absoluuttinen nollapiste', 'työ', 'Lämmön yhteys työhön', 'entropia', 'termodynamiikan I pääsääntö', 'Carnots teoreem', 'höyryvoimakone', 'siipipyöräke', 'Edisonin ilmiö', 'George Westinghouse', 'Clausius-Clapeyronin yhtälö', 'Kompassin parantaminen', 'kuningatar Viktoria', 'Henri Victor Regnault', 'Joule-Thomson ilmiö', 'Analyysivaaka', 'jään lämmittäminen', 'induktiooottori', 'magneettivuon tiheys', 'monivaihejärjestelmä', 'radiotekniikka', 'Irreversiibeli prosessi', 'Termodynaaminen systeemi', 'Willard Gibbs]

**Yhteisö 12** [J.Maxwell, 'Faradayn häkki', 'kenttä', 'Maxwellin yhtälöt', 'sähkömagneettinen säteily', 'elektroniikka', 'kvanttimekaniikka', 'Kineettinen kaasuteoria', 'Hertzin koe radioaaltoille', 'Maxwellin-Boltzmannin jakauma', 'L.Boltzmann', 'Saturnuksen renkaat', 'sähkömagneettinen kenttä', 'Väriavokuva', 'Maxwellin yhtälöt', 'Photoelasticity', 'James Keeler', 'Dimensioanalyysi', 'Hertzin kokeet', 'mikroaaltouuni', 'H.Hertz', 'ultraviolettisaiteily', 'M.Planck', 'E.Chladni', 'L.Foucault', 'valonnopeus', 'H.Helmholtz', 'magneettinen monopoli', 'Lorentzin voima', 'morsetus', 'rele', 'Planckin laki', 'Planckin vakio', 'Rayleigh-Jeans lag', 'W.Wien', 'Wiens lag', 'moderni fysiikka', 'mustan kappaleen säteily', 'ultravioletta katastrofen', 'Maxwellin demoni', 'taajuus', 'tilastollinen mekaniikka', 'aine', 'valosähköinen ilmiö', 'Johan Willhelm Ritter', 'aallonpituus', 'tähti', 'Chladni figures', 'Meteoritit', 'äänennopeus', 'Fizeau-Foucault'n koe', 'Foucault'n heiluri', 'H.Fizeau', 'Maan pyöriminen', 'gyroskooppi', 'valonnopeuden määrittäminen]

**Yhteisö 17** [C.F.Gauss, 'sähköoottori', 'magneetikenttä', 'tasavirta', 'Analyysi', 'röntgensäteily', 'M.Curie', 'W.Röntgen', 'Moritz Cantor', 'optiikka', 'normaalijakauma', 'epäeuklidinen geometria', 'Gaussin eliminointimenetelmä', 'Bernhard Riemann', 'Algebran fundamentaali teoria', 'radioaktiivisuus', 'katodisädeputki', 'H.Becquerel', 'Röntgensäde kokeet', 'Mekaaninen voima', 'William Sturgeon', 'Ä.Jedlik', 'Nobel-palkinto', 'P.Curie', 'Elektromittari ("piezoelectric quartz electrometer")', 'A.Nobel', 'dynamitti', 'polarisaatio', 'Bequerel-yksikkö', 'nitroglyseriini', 'läpitukenvuus', 'röntgenputki', 'Polonium', 'Radium', 'P.Lenard', 'eksponentiaalinen hajoaminen', 'fosforoivat materiaalit', 'uraani', 'infraröda spektret hos metallångor', 'absorption av ljus i kristaller', 'fluorescens hos uransalter', 'Crookes putki (keksitty 1875)', 'Jacques Curie', 'Venäjän vuoden 1905 vallankumous', 'industrialist', 'skönlitterära verk', 'sprängolycka i Heleneborg', 'Rakentaminen ja kaivaukset yms.', 'T.Pelouze', 'mustaruuti]

**Yhteisö 21** [I.Newton, 'É.Châtelet', 'L.Euler', 'Katariina Suuri', 'nopeus', 'D.Bernoulli', 'P.-S.Laplace', 'klassinen mekaniikka', 'J.-L.Lagrange', 'kineettinen energia', 'Oktantti', 'Naisten asema tieteessä', 'Pietarin tiedeakatemia', 'calculus', 'Hydrostaatiikka', 'Polkupyörä', 'G.Leibniz', 'energian säilyminen', 'infrapunasäteily', 'Bernoullin laki', 'lukuteoria', 'verkkoteoria', 'topologia', 'notaatio', 'funktio', 'Neperin luku', 'Kompleksiluvut', 'J.Bernoulli', 'E.Halley', 'verenpaineen mittaus', 'aurinkokunnan synty', 'vuorovesiteoria', 'Differentiaal yhtälöt', 'Lagranjen mekaniikka', 'Matemaattinen fysiikka', 'Newtonin lait', 'pudotuskoe', 'Willem's Gravesande', 'John Hadley', 'Sekstantti', 'Thomas Godfrey', 'Laura Bassi', 'Yekaterina Dashkova', 'the University of Bologna', 'kaasutin', 'Michaux', 'Starley', 'potkupyörä', 'rengas', 'turvapyörä]

**Yhteisö 10** [atomiteoria, 'Avogadron laki', 'ideaalikaasun tilanyhtälö', 'A.Avogadro', 'Charlesin laki', 'J.Dalton', 'atomi', 'J.J.Thomson', 'tilavuus', 'R.Boyle', 'paine', 'Demokritos', 'Joseph Louis Proust', 'kerrannaisten painosuhteiden lain', 'kerronnaisten massasuhteiden laki', 'Avogadron luku', 'J.Charles', 'Boyle'n laki', 'massa', 'molekyylit', 'kaasujen lämpölaajeneminen', 'Kelvin-asteikko', 'J.Gay-Lussac', 'ainemäärä', 'ideaalikaasu', 'Kaasuvakion käsite', 'mooli', 'John Daltonin kokeet', 'kaasu', 'Daltonin osapainelaki', 'färgblindhet', 'elektroni', 'masspektrometri', 'katodisäde', 'isotoper hos icke-radioaktiva ämnen', 'Stoney', 'atomia pienempi hiukkanen', 'Thomsonspridning', 'Thomsonin atomimalli', 'Kelvin-yksikkö', 'nollatilavuus]

**Yhteisö 5** [Auguste Comte, 'Yhdysvaltain vapaussota', 'Yhdysvaltain itsenäistyminen', 'perustuslaki', 'teollistuminen', 'Yhdysvaltain itsenäisyysjulistus', 'Yhdysvaltain sisällissota', 'Orjuus päättyi Britannian siirtomaissa', 'Orjuus päättyi Yhdysvalloissa', 'Henri de Saint-Simon', 'positivismi', 'Boston Tea Party', 'George Washington', 'John Adams', 'Thomas Jefferson', 'orjuus', 'Yhdysvaltain perustuslakiin 13 lisäyksiä joka kielsi orjuuden', 'Liberia perustettiin', 'demokraattipuolue hallitsi', 'rotusyrjäntä', 'presidentinvaalit 1860', 'nordstaterna vinner', 'nordstaterna mot sydstaterna', 'A.Lincoln', 'jordbruksamhälle vs industrisamhälle', 'Vapaa kauppa', 'Robert E. Lee', 'Protektionismi', 'Ku Klux Klan syntyi entisten orjanomistajien ääri liikkeenä', 'Ironclad sotalaiva', 'David Livingstone', 'Afrikka', 'Victorian putoukset', 'kauppapaikka]

**Yhteisö 13** [A.Lavoisier, 'massan säilymislaki', 'moderni kemia', 'H.Cavendish', 'Flogiston-teoria', 'palaminen', 'vety', 'J.Priestley', 'alkuaineiden nimeäminen', 'happi', 'alkuainetaulukko', 'Mihail Lomosov', 'Marie-Anne Pierrette Paulze', 'Fotosynteesi', 'hapettuminen', 'A.Einstein', 'palamisprosessi', 'Cavendishin sähköteoria', 'Maan massan mittaus', 'kaasujen ominaisuudet', 'Jan Ingenhousz', 'Jan van Helmont]

**Yhteisö 16** [H.Davy, 'Royal Society', 'R.Boscovich', 'jaksollinen järjestelmä', 'J.Berzelius', 'Kalsium', 'Strontium', 'Kloori', 'Natrium', 'Kalium', 'Carl Wilhelm Scheele', 'Boori', 'Barium', 'Magnesium', 'D.Mendelev', 'atomimassa', 'planeetta', 'Wöhler synteesi', 'Uranus', 'W.Herschel', 'kaksoistähdet', 'planeettojen ekvaattori', 'Kuussa ei ilmakehää', 'Alexandre-Émile Béguyer de Chancourtois (1820-1886)', 'W.Odling', 'Gustavus Hinrichs', 'elektronikal', 'atomnummer', 'alkuaine', 'ytterielektroni', 'Kemialliset ryhmät', 'J.Newlands', 'J.Meyer', 'J.Döbereiner', 'Russian Chemical Society', 'valenssi', 'Anders Lexell', 'peilikaukoputki', 'Friedrich Wöhler', 'Orgaaninen kemia', 'Vitalismi', 'Kuu', 'teleskooppi]

**Yhteisö 0** [I.Kant, 'Fredrik II Suuri', 'Pariisin rauha', 'Kaasusumu hypoteesi', 'D.Hume', 'seitsenvuotinen sota', 'Tieteellinen vallankumous', 'kriittinen filosofia', 'tieto peräsin vain ilmiömaailmasta', 'rationalismin ja empiriismin samakaltaisuus', 'rationalismi', 'kriittinen realismi', 'tietoteoria', 'kokemus- ja tunnetiedon vastakkainasettelu', 'N.Copernicus', 'Moderni filosofia', 'Berliinin tiedeakatemia', 'empirismi', 'Akatemiat ja yhteisöt', 'Iso-Britannian kuningaskunnan syntyminen', 'Charles Messer', 'Galaksit', 'Thomas Wright', 'Skeptisismi', 'empiriinen menetelmä', 'F.Bacon', 'Naturalismi', 'Loviisa Ulriika', 'Pietari II', 'B.Fontenelle', 'Tiedettä tehtiin järjestöissä', 'yliopistoissa ei tutkimusta', 'Francis Hutcheson', 'Glasgow'n yliopisto]

**Yhteisö 4** [W.A.Mozart, 'L.Beethoven', 'romantiikka', 'piano', 'musiikin teoria', 'J.S.Bach', 'J.Austen', 'G.F.Händel', 'R.Schumann', 'J.Brahms', 'A.Dvořák', 'viulu', 'J.Haydn', 'A.Vivaldi', 'Edgar Allan Poe', 'F.Chopin', 'J.Sibelius', 'Johann Christian Bach', 'Klassisen sinfonian kliimaksi', 'Klassiset instrumentit', 'Länsimainen musiikki', 'Mozartin mystinen kuolema', 'urut', 'Barokki', 'Aleksis Kivi 1834-1872', 'realismi', 'kuurous', 'Sävellystekniikka', 'Thomaschule', 'Feminismi', 'Henry Austen', 'Kirjoitustekniikka', 'Sosiaalinen kommentointi', 'Thomas Egerton', 'New Academy of Music', 'Oratorio ja ooppera', 'Royal Academy of Music', 'Friedrich Wiek', 'kriitikko', 'Franz Listz', 'slaavilaiset tanssit', 'Austrian State Prize for Composition', 'Ospedale della Pietà', 'Felix Mendelssohn', 'Franz Schubert', 'Kauhukirjallisuus', 'Richard Wagner', 'Sci-Fi', 'salapoliisi-romaanit', '100 markan seteli', 'Finlandia', 'Sibelius Akatemia', 'kansallisromaanin Seitsemän veljestä kirjoittaja', 'kansallisromantiikka]

**Yhteisö 14** [C.Darwin, 'evoluutioteoria', 'evoluutio', 'luonnonvalinta', 'A.Wallace', 'The Origin of Species', 'agnostikko (tyttären kuoltua)', 'synteettinen evoluutioteoria', 'sexuellit urval', 'elämän monimuotoisuus', 'de bäst anpassade individerna överlever och får föröka sig', 'Darwinin finkar på Galapagosöarna', 'R.Owen', 'Darwinismi', 'Darwinin sirtut', 'Charles Lyell', 'Thomas Robert Malthus', 'mutaatio]

**Yhteisö 20** [lennätin, 'puhelin', 'Samuel Morse', 'Transatlanttiset lennätinkäpeli', 'viestintäteknologia', 'Kommunikointi', 'Charles Wheatstone', 'A.Bell', 'Alfred Vail', 'Morsen aakkoset', 'William Fothergill Cooke', 'hiilimikrofoni', 'puhelinkeksykset', 'optinen telekommunikaatio', 'kuulolaite', 'Almon Strowger', 'Johann Philipp Reis', 'Charles Bourseul', 'A.Meucci', 'William Fothergill', 'radio', 'Kirjoituskone 1876', 'Offsetpaine', 'Rotaatiopaino 1843', 'Teleprinter 1880]

**Yhteisö 15** [Iso-Britannia, 'terästuotanto', 'Krimin sota', 'Bessemer prosessi', 'Napoleon III', 'Suomen suuret nälkävuodet', 'Oolannin sota', 'Venäjä', 'Kustaa III:n sota 1788-1790', 'kristuksen ylösnousemisen katedraali', 'puolan kapina', 'maaojien vapautus', 'Ranska', 'Aleksanteri II', 'H.Bessemer', 'färska flytande tackjärn till smidbart stål', 'mangan och kisel flyter upp på ytan som slagg', 'Suomi', 'Viimeisin laaja-alainen luonnollisesti aiheutunut nälänhätä Länsi-Euroopassa', 'kuivuus', 'sateisuus', 'taudit', 'Pietarin suojaus', 'Santahaminan rakennus', 'Värälän rauha]

**Yhteisö 7** [faasimuutos, 'A.Celsius', 'lämpötila', 'Tieteiden erkaneminen', 'Celsius-asteikko', 'lääketiede', 'C.Linné', 'Taksonomia', 'optiset kokeet', 'tähtivalon voimakkuus', 'reventulien vaikutus magneetikenttään', 'leveysasteiden eroavaisuus', 'maan kohoaminen', 'kompassin poikkeama', 'celsius-yksikkö', 'Erkaneminen luonnonfilosofias-ta', 'Fahrenheit-asteikko', 'lämpömittari', 'veden faasimuutospisteet', 'biologian dikotominen nimikkeistö', 'kasvien nimeäminen heteiden ja emien mukaan]

**Yhteisö 2** [J.Gadolin, 'Turun palo 1827', 'Turun akatemia', 'G.Hällström', 'Pehr Kalm', 'lantanoidit', 'ominaislämpö', 'yttrium', 'Helsingin observatorio', 'C.L.Engel', 'Friedrich Argelander', 'Helsingin yliopisto', 'Turun akatemia Helsinkiin', 'kenraalikuvernööri Zakrevski', 'leveämmät kadut ja uudet palotornit', 'tähtitiede', 'Niagaran putoukset', 'kasvien viljely]

**Yhteisö 8** [polttooottori, 'Ottomoottori', 'dieselmoottori', 'polttoaine', 'Barber', 'Mead', 'kaasumoottori', 'turbiini', 'N.Otto', 'bensini', 'moottorikulkuneuvot', 'ot-toykelni', 'tändstift', 'Puristusuhde', 'Rudolf Diesel', 'Termodynaaminen sykli]

**Yhteisö 6** [Ruotsin imperiumin murentuminen, 'Suuri Pohjansota', 'Puškin', 'Pietari Suuri', 'Kaarle XII', 'Narvan taistelu', 'Ruotsin tappio Poltavassa', 'Tsaarin Venäjän nousu', 'Venäjän ja Turkin välinen sota', 'useiden kuolema', 'berättarteknik som blandar dramatik och romantik och satir', 'dekabrisupproret', 'moderna ryska

litteraturspråket', 'pistolduell', 'social reform']

**Yhteisö 11** ['Energiaperiaate', 'valon aaltoluonne', 'kaksoisrakokoe', 'T.Young', 'Hieroglyfejä pystytään tulkitsemaan', 'B.Thompson', 'Kimmoisa törmäys', 'Aallonpituus-jakauma', 'aaltoliike', 'interferenssi', 'Antiikin Egyptin hieroglyfien tulkitseminen', 'Jean-Francois Champollion', 'Rosettan kivi']

## Verkon $G_{III...V}$ yhteisöt:

**Yhteisö 14** ['M.Faraday', 'sähkömagnetismi', 'A.-M.Ampère', 'sähkövirta', 'H.Ørsted', 'Voltan pylväs', 'Galvanometri', 'Ampèren laki', 'J.Henry', 'G.Ohm', 'A.Volta', 'sähkömoottori', 'sähkömagneettinen induktio', 'elektrolyysi', 'Ohmin laki', 'sähkö', 'sähkökemial', 'Faradayn häkki', 'L.Galvani', 'paristo', 'Metriinen järjestelmä', 'varauksen säilymislaki', 'induktiolaki', 'Sähkön tuotto', 'dynamo', 'diamagnetismi', 'Ympäristötiede', 'William Hyde Wollaston', 'induktiokoe', 'Majakkoiden parantaminen', 'Lontoon maailmannäyttely', 'Katodinen suojaus', 'Homopolar motor', 'Faradayn ilmiö', 'Bunsen lamppu', 'Ainoastaan yksi sähköilmiö olemassa', 'magneettikenttä', 'magneettivoima', 'Biot'n ja Savartin laki', 'J.-B.Biot', 'elektronikka', 'jännite', 'Muuntaja', 'sähködynamiikka', 'Ampèren kokeet', 'C.Coulomb', 'resistanssi', 'O.von Guericke', 'sähkökenttä', 'Poggendorff', 'käämi', 'Peiligalvanometri', 'induktanssi', 'elektrokemiallinen kenno', 'Pavian yliopisto', 'sammakko', 'voltti', 'Á.Jedlik', 'Mekaaninen voima', 'William Sturgeon', 'F.Savart', 'Svante Arrhenius', 'alkuaineiden eristäminen', 'mikroalouuni', 'morsetus', 'rele']

**Yhteisö 16** ['J.Maxwell', 'A.Einstein', 'M.von Laue', 'sähkömagneettinen säteily', 'erityinen suhteellisuusteoria', 'kenttä', 'Maxwellin yhtälöt', 'röntgenkristallografia', 'Hertzin koe radioaalloille', 'massa-energia relaatio', 'Kineettinen kaasuteoria', 'Maxwellin-Boltzmannin jakauma', 'H.Hertz', 'Valosähköisen ilmiön selitys', 'Dimensioanalyysi', 'James Keeler', 'Maxwellin yhtälöt', 'Photoelasticity', 'Saturnuksen renkaat', 'Väriavalokuva', 'sähkömagneettinen kenttä', 'massa', 'Hertzin kokeet', 'valosähköinen ilmiö', 'valonnopeus', 'gravitationsväggar', 'specifik värme för fasta ämnen', 'yleinen suhteellisuusteoria', 'fotoni', 'EPR -paradoksi', 'Brownin liike', 'ultraviolettisäteily', 'Paul Peter Ewald', 'kiderakenne', 'röntgendiffraktio', 'I.Newton', 'aikadilataatio', 'inertiaalikoordinaatisto', 'H.Helmholtz', 'Lorentzin voima', 'magneettinen monopoli', 'L.Foucault', 'Tutka', 'taajuus', 'liikemäärä', 'II maailmansota', 'D.Bernoulli', 'Maxwellin demoni', 'Kvantti', 'Johan Willhelm Ritter', 'aallonpituus', 'tähti', 'Fizeau-Foucault'n koe', 'Foucault'n heiluri', 'H.Fizeau', 'Maan pyöriminen', 'gyroskooppi', 'valonnopeuden määrittäminen', 'Christian Hülsmeier (1904)', 'Robert Watson-Watt']

**Yhteisö 0** ['Ranskan suuri vallankumous', 'Napoleon I', 'C.F.Gauss', 'Suomen sota', 'Napoleonin sodat', 'Wienin kongressi', 'Trafalgarin taistelu', 'Aleksanteri I', 'Waterloon taistelu', 'Auguste Comte', 'ihmisoikeudet', 'taistelut', 'vapaus ja veljyys ja tasa-arvo', 'uskonvapaus', 'storming av Bastiljen', 'sotateoria', 'porarit ja uusi aika', 'kansalaisoikeus', 'giljotiini', 'demokratia', 'Yhdysvaltojen vallankumous', 'Voltaire', 'Valistus aika', 'Ranskan vallankoumoussodat', 'Ludvig XVI', 'Brumairekuppen (Napoleons statskupp)', 'valloitus', 'satapäiväisen keisarikunta', 'lakikokoelma', 'joukkokortukset', 'Brittien verotus nousi taisteluiden rahoittamiseksi Ranskaa vastaan', 'Suomi liitetään Venäjään', 'liberalismi', 'M.Gandhi', 'optiikka', 'normaalijakauma', 'Moritz Cantor', 'epäeuklidinen geometria', 'Gaussin eliminaatiomenetelmä', 'Analyysi', 'Algebran fundamentaali teoria', 'Bernhard Riemann', 'belägring av Sveaborg', 'vapenvilan i Frostkåge gästgivaregård', 'svensk reträtt mot Uleåborg', 'stillestånd i Lochteå', 'slaget vid Virta bro', 'ryssarna besatte södra Finland', 'ryska armén går över finska gränsen utan officiell krigsförklaring', 'motoffensiv av svenskar', 'upproret på Åland', 'Tilsittin rauha', 'Svart Holm kapitulerar', 'Ryssland anfäller på tre fronter', 'Ruotsin imperiumin murentuminen', 'Kustaa IV Aadolf', 'Kumlingslaget', 'Fänrik Ståls sagner', 'Autonomian aika', 'Sveaborg kapitulerar', 'Napoleon erövrar stora delar av Europa', 'Tutkimusretket', 'försök att invadera Ryssland', 'slaget vid Leopzig', 'Pyhän Allianssin perustaminen', 'Brittiläinen imperiumi', 'Anglo-Espanjan sota', 'Porvoon valtiopäivät', 'Henri de Saint-Simon', 'Yhdysvaltain vapaussota', 'positivismi', 'Intian itsenäisyysliike', 'Transvaals lag om att kolonins indier måste registrera sig 1906', 'civil olydnad', 'hungerstrejk', 'medborgarrättsrörelsen i Sydafrika', 'sanning i alla situationer', 'väkivallaton vastaliike', 'zulukriget']

**Yhteisö 12** ['Nobel-palkinto', 'röntgensäteily', 'M.Curie', 'W.Röntgen', 'H.Becquerel', 'P.Curie', 'W.Nernst', 'radioaktiivisuus', 'P.Lenard', 'A.Nobel', 'dynamitti', 'Elektromittari ("piezoelectrical quartz electrometer")', 'Albert Abraham Michelson', 'Gabriel Lippmann', 'Gustaf Dalén', 'Heike Kamerlingh Onnes', 'Hendrik Lorentz', 'Johannes Diederik van der Waals', 'Karl Ferdinand Braun', 'Lord Rayleigh', 'P.Zeeman', 'katodisädeputki', 'polarisaatio', 'Becquerel-yksikkö', 'lääketeide', 'röntgenputki', 'läpitukenisuus', 'André Debiere', 'Polonium', 'Radium', 'isotooppien eristäminen', 'röntgenanlagnings', 'nitroglyseriini', 'fluorescens hos uransalter', 'infraröda spektret hos metallångor', 'absorption av ljus i kristaller', 'Nernstin yhtälö', 'eksponentiaalinen hajoaminen', 'fosforivat materiaalit', 'uraani', 'industrialist', 'skönlitterära verk', 'sprängolycka i Heleneborg', 'Rakentaminen ja kaivaukset yms.', 'T.Pelouze', 'mustaruuti', 'Jacques Curie']

**Yhteisö 18** ['atomiteoria', 'Carnot'n kone', 'lämpöenergia', 'N.Sadi Carnot', 'termodynamiikka', 'hyötysuhde', 'Lordi Kelvin', 'lämpövoimakone', 'ideaalikaasun tilanyhtälö', 'termodynamiikan II pääsääntö', 'energian säilymislaki', 'Avogadron laki', 'J.Joule', 'J.Dalton', 'A.Avogadro', 'termodynamiikan III pääsääntö', 'lämpötila', 'B.Clapeyron', 'Charlesin laki', 'Haber-Bosch-menetelmä', 'A.Lavoisier', 'entropia', 'kalorimetri', 'absoluuttinen nollapiste', 'atomi', 'Lämmön yhteys työhön', 'termodynamiikan I pääsääntö', 'R.Clausius', 'paine', 'Carnot'n sykli', 'työ', 'kerrannaisten painosuhteiden lain', 'kerronnaisten massasuhteiden laki', 'massan säilymislaki', 'Joseph Louis Proust', 'Demokritos', 'J.Mayer', 'Kelvin-asteikko', 'R.Boyle', 'latenttilämpö', 'tilavuus', 'J.Charles', 'J.Black', 'kaasujen lämpölaajeneminen', 'siipipyöräköe', 'Carnots teoreem', 'höyryvoimakone', 'J.Gay-Lussac', 'Henri Victor Regnault', 'Joule-Thomson ilmiö', 'Kompassin parantaminen', 'ideaalikaasu', 'ainemäärä', 'Boyle'n laki', 'Daltonin osapainelaki', 'färgblindhet', 'meteorologi', 'Avogadron luku', 'mooli', 'Clausius-Clapeyronin yhtälö', 'Fritz Haber', 'Robert Le Rossignol', 'Carl Bosch', 'Ammoniakki', 'Irreversibieli prosessi', 'Termodynaaminen systeemi', 'Willard Gibbs', 'P.-S.Laplace', 'Kelvin-yksikkö', 'nollatilavuus']

**Yhteisö 10** ['M.Planck', 'kvanttimekaniikka', 'Planckin laki', 'Planckin vakio', 'L.Boltzmann', 'mustan kappaleen säteily', 'W.Wien', 'R.Millikan', 'moderni fysiikka', 'Matemaattinen malli', 'Philipp von Jolly', 'Ultraiolettispektrin ratkaisu', 'energian kvantittuminen', 'Millikanin koe', 'E.Chladni', 'ultravioletta katastrofen', 'Rayleigh-Jeans lag', 'Wiens lag', 'varauksen kvantittuminen', 'Boltzmannin laki', 'aine', 'tilastollinen mekaniikka', 'H.Fletcher', 'elektronin varaus', 'Robert Andrews', 'Öljyindikaattori', 'Chladni figures', 'Meteoriiitit', 'äänennopeus']

**Yhteisö 1** ['K.Marx', 'Helmikuun vallankumous', 'G.W.F.Hegel', 'sosialismi', 'kommunismi', 'J.-J.Rousseau', 'Euroopan hullu vuosi', 'Luokkatietoisuus', 'Marxismi', 'The Communist Manifesto', 'F.Engels', 'uskontojen kritisoiminen', 'sociologi', 'historisk materialism', 'Teollistumisen kritiikki', 'Sosialistiset vallankoumukset', 'Luokkataistelu', 'Adam Smith', 'Oikeus työskennellä', 'Napoleon III', 'I.Kant', 'Idealismi', 'Johann Wolfgang von Goethe', 'hegeliläisyys', 'kapitalismi', 'kriittinen idealismi', 'keisari Ferdinand I', 'vallankoumukset', 'Communist League']

**Yhteisö 4** ['J.J.Thomson', 'N.Bohr', 'atomimalli', 'kvanttiteoria', 'Bohrin atomimalli', 'E.Rutherford', 'atomiydin', 'Atomimallien kehittyminen', 'elektroni', 'Thomsonin atomimalli', 'Geigerimittari', 'elektroniorbitaali', 'Stoney', 'Thomsonspridning', 'atomiä pienempi hiukkanen', 'isotoper hos icke-radioaktiva ämnen', 'katodisäde', 'masspektrometri', 'Cambridgen yliopisto', 'Rutherfordin atomi malli', 'dynamid atomimalle 1903', 'Rydbergin kaava', 'Geiger - Marsden koe 1908-1913', 'Hantaron atomimalli 1904', 'Hantaro Nagaoka', 'absorptio', 'elektronin energiniväer', 'elektronin siirtyminen energiatasolta toiselle', 'emissio', 'vedyn spektriviivat', 'Rutherfordin spridning', 'aflapartiklar mot guldfolie', 'positiv kärna i mitten', 'negatiivisesti varautunut elektroni ytimen ympärillä', 'H.Geiger', 'alfahiukkaset', 'ionisoiva säteily', 'kaasu']

**Yhteisö 15** ['hehkulamppu', 'sähkövalo', 'energia', 'Röntgensäde kokeet', 'tasavirta', 'T.Edison', 'radiotekniikka', 'Guglielmo Marconi', 'N.Tesla', 'vaihtovirta', 'kaupallisuus', 'sähköverkko', 'hehkulanka', 'Swan', 'Kaartilamppu', 'Göbel', 'Fleming valve', 'sähkövaraus', 'Crooken putki (keksity 1875)', 'J.Fleming', 'Edisonin ilmiö', 'George Westinghouse', 'Radio-ohjelmat', 'induktiomoottori', 'magneettivoiton tiheys', 'monivaihejärjestelmä', 'Diodi', 'Tasasuuntaaja']

**Yhteisö 9** ['teollinen vallankumous', 'höyrykone', 'J.Watt', 'rautatie', 'höyrylaiva', 'Höyryvoima', 'Kehruu-Jenny', 'koneenrakennustaito', 'kirjapainotaito', 'Globalisaatio', 'Bruttokansantuote', 'höyryveturi', 'höyryauto', 'Titanicin uppoaminen', 'Liikenteen kehittyminen', 'Boulton', 'T.Newcomen', 'hevosvoima', 'Tuotantokapasiteetin kasvu', 'Liikuminen nopeuden kasvu', 'kaupankäynti', 'korkeapainekattila', 'siipiras', 'J.Fitch', 'Höyrykattila', 'William Murdoch', 'Takapakkiki teknooskavasuuteen', 'uppoamaton', 'jäävuori', 'Unesco', 'Thomas Andrews', 'SOLAS-sopimus', 'Sumu', 'Robert Ballard', 'E.Smith', 'Atlantin valtameri', 'Richard Trevithick', 'Robert Fulton', 'rautamasuuni']

**Yhteisö 20** ['puhelin', 'lennätin', 'Samuel Morse', 'Transatlanttiset lennätinkaapelit', 'viestintäteknologia', 'Kommunikointi', 'T-Ford', 'A.Bell', 'Charles Wheatstone', 'hiilimikrofoni', 'puhelinkeskukset', 'optinen telekommunikaatio', 'kuulolaite', 'Almon Strowger', 'Johann Philipp Reis', 'Charles Bourseul', 'A.Meucci', 'Alfred Vail', 'Morsen aakkoset', 'William Fothergill Cooke', 'liikkuhihnyöskentely', 'radio', 'H.Ford', 'William Fothergill', 'Kirjoituskone 1876', 'Offsetpaino', 'Rotaatiopaino 1843', 'Teleprinter 1880', 'liikkuhihna', 'toinen teollinen vallankumous', 'ställbart munstycke för reglering av bränsleförbrukningen', 'fyrtaktsbensinmotor av sidventiltyp', 'keskiluokan vaurastuminen', 'Ransom E. Olds', 'Oldsmobile Curved Dash', 'Charles W. Nash', 'Tehtaat', 'ajoneuvoteollisuus', 'Ford Motor Company', 'Tom Cooper']

**Yhteisö 7** ['H.Davy', 'jaksollinen järjestelmä', 'J.Berzelius', 'Royal Society', 'Kalsium', 'Strontium', 'Magnesium', 'Kloori', 'Natrium', 'Kalium', 'Carl Wilhelm Scheele', 'Boori', 'Barium', 'D.Mendelejev', 'atomimassa', 'Bakelite 1907', 'Wöhler synteesi', 'W.Odling', 'ytterielektroner', 'elektroniskal', 'atomnummer', 'alkuaine', 'Gustavus Hinrichs', 'Kemialliset ryhmät', 'J.Newlands', 'J.Meyer', 'J.Döbereiner', 'Alexandre-Émile Béguyer de Chancourtis (1820-1886)', 'Russian Chemical Society', 'valenssi', 'Adolf von Baeyer', 'Ahtopuristus (Coproression molding)', 'Leo Baekeland 1863-1944', 'Werner Kleeberg', 'Friedrich Wöhler', 'Orgaaninen kemial', 'Vitalismi']

**Yhteisö 8** ['I maailmansota', 'Iso-Britannia', 'Krimin sota', 'Bessemer prosessi', 'Franz Ferdinandin murha', 'I maailmansodan alku', 'Suomen suuret nälkävuodet',

'Saksa yhdistyy keisarikunnaksi', 'Keisari Vilhelm II', 'nationalismi', 'Franz Ferdinand', 'Sarajevon laukaukset', 'Ranskan-Preussin sota', 'O.von Bismarck', 'kilpavarustelu', 'Venäjä', 'kuningatar Viktoria', 'Oolannin sota', 'Habsburgien suku', 'Ranska', 'Kustaa III:n sota 1788-1790', 'Saksa', 'Aleksanteri II', 'kristuksen ylösnousemuksen katedraali', 'maaoirien vapautus', 'puolan kapina', 'Eurooppalaisten kansallisvaltioiden syntyminen', 'Italia', 'H.Bessemmer', 'hapettuminen', 'mangan och kisel flyter upp på ytan som slagg', 'terästuotanto', 'färska flytande tackjärn till smidbart stål', 'Eurooppalaisen kolonialismikilpailun loppuhuipentuma', 'Heittopommi', 'Poliittinen kiristyneisyys', 'Liittoutuneet', 'Versailles'n rauha', 'imperialistisk utrikespolitik', 'keskusvallat', 'sateisuus', 'taudit', 'Viimeisin laaja-alainen luonnollisesti aiheutunut nälänhätä Länsi-Euroopassa', 'kuivuus', 'Suomi', 'Berliini pääkaupungiksi', 'Preussi', 'Preussin sodat', 'tämä oli yhdistymisien hetki laajemmassa yhdistymisprosessissa', 'Adolf Hitler', 'Saksan keisarinna Viktoria', 'Itävalta-Unkari', 'Pietarin suojaus', 'Santahaminan rakennus', 'Värälän rauha']

**Yhteisö 6** [Venäjän vuoden 1905 vallankumous', 'V.Lenin', 'Nikolai II', 'Venäjän ja Japanin sota', 'Yleinen äänioikeus Suomessa', 'Suomen eduskuntauudistus', 'Venäjän vallankumous', 'sortokausi', 'Eugen Schauman', 'Lokakuun manifesti', 'Potemkinin kapina', 'Venäjän keisarikunta kaatui', 'Verisunnuntai', 'Viaporin kapina', 'bolsevikit', 'Helmikuun manifesti', 'Venäjän armeijan uudistaminen', 'Theodore Roosevelt', 'Merisodan taktiikka', 'Japanin suurvaltakausi alkaa', 'det blir olagligt för männen att äga sina hustrur 1860', 'ogifta 25-åriga kvinnor blir myndiga 1864', 'kvinnosaksförbundet Unionen grundas 1892', 'kvinnorna blir myndiga i samma ålder som männen 1897', 'kvinnor får studera på universitet på samma sätt som männen 1901', 'grundande av kvinnoförening som kräver rösträtt för kvinnor 1884', 'den första samskolan i Finland grundas 1886', 'Naisten äänioikeus', 'Luokkaetujen osittaispoistuminen', 'Finland inför som första land i världen kvinnlig valbarhet 1906', 'Finland inför som första land i Europa kvinnlig rösträtt 1906', 'Ensimmäiset naiskansanedustajat', 'Leo Melchelin', 'Nikolai Bobrikov', 'Suomen tunnetuin poliittinen murha', 'isänmaallisuus']

**Yhteisö 11** [C.Darwin', 'evoluutioteoria', 'evoluutio', 'luonnonvalinta', 'A.Wallace', 'The Origin of Species', 'de bäst anpassade individerna överlever och får föröka sig', 'synteettinen evoluutioteoria', 'sexuellt urval', 'orjuuden vastaisuus', 'elämän monimuotoisuus', 'Darwins finkar på Galapagosöarna', 'agnostikko (tyttären kuoltua)', 'R.Owen', 'Darwinismi', 'Darwinin sirkut', 'Charles Lyell', 'Thomas Robert Malthus', 'mutaatio']

**Yhteisö 17** [lentokone', 'polttomoottori', 'teknologia', 'Georg Cayle', 'Ottomoottori', 'Wrightin veljesten lentokone', 'O.Wright', 'W.Wright', 'dieselmoottori', 'polttoaine', 'avaruussäteily', 'ilmanvastus', 'mäntämoottori', 'rakettimoottori', 'suihkumoottori', 'turbiinimoottori', 'Aerodynaamiikka', 'kaasumoottori', 'Mead', 'Barber', 'seismografi', 'zeppelin', 'Aerodome no:5', 'Samuel Pierpoint Langley', 'N.Otto', 'bensini', 'moottorikulkuneuvot', 'ottockeln', 'tändstift', 'The Flyer 1903', 'glidflygplan', 'vindtunnel för test av vingtyper', 'Puristussuhde', 'Rudolf Diesel', 'Termodynaaminen sykli']

**Yhteisö 2** [teollistuminen', 'Yhdysvaltain sisällissota', 'Orjuus päättyi Britannian siirtomaissa', 'Orjuus päättyi Yhdysvalloissa', 'Liberia perustettiin', 'Yhdysvaltain perustuslakiin 13 lisäys joka kielsi orjuuden', 'orjuus', 'David Livingstone', 'demokraattipuolue hallitsi', 'rotusyrjintä', 'presidentinvaalit 1860', 'nordstaterna vinner', 'nordstaterna mot sydstaterna', 'jordbruksamhälle vs industrisamhälle', 'Protektionismi', 'Vapaa kauppa', 'Robert E. Lee', 'Ku Klux Klan syntyi entisten orjanomistajien ääriliikkeenä', 'Ironclad sotalaiva', 'A.Lincoln', 'Afrikka', 'Victorian putoukset', 'kauppapaikka']

**Yhteisö 3** [P.Picasso', 'H.Matisse', 'V.Gogh', 'Kubismi', 'Jules Gabriel Verne (1828-1905)', 'Claude Monet', 'fauvismi', 'postimpressionismi', 'Surrealismi', 'Impressionismi', 'Neoklassismi', 'Max Jacob', 'Gertrude Stein', 'Georges Braque', 'John Peter Russel', 'Paul Cézanne', 'aikansa epäsuosio', 'ekspressionismi', 'Alexandre Dumas', 'Avant-garde', 'Victor Hugo', 'Harmaakahi', 'Lumme tauluissa ei ole horisonttia eikä varsinaista ulotteisuutta', 'Vaimo Camille Doncieux oli monen taulun aihe']

**Yhteisö 19** [J.Gadolin', 'Turun palo 1827', 'G.Hällström', 'Turun akatemia', 'C.L.Engel', 'Helsingin observatorio', 'lantanoidit', 'ominaislämpö', 'yttrium', 'Friedrich Argelander', 'Helsingin yliopisto', 'Turun akatemia Helsinkiin', 'kenraalikuvernööri Zakrevski', 'leveämmät kadut ja uudet palotornit', 'tähtitiede']

**Yhteisö 5** [Selma Lagerlöf', 'naisten asema', 'M.Canth', 'första kvinna som blir ledamot i Svenska Akademien', 'samfundet De nio', 'Gösta Berlings saga', 'Jerusalem', 'Nils Holgersson underbara resa genom Sverige', 'Snellmann', 'suomenkielinen koulu', 'tasa-arvo', 'tytöt kouluun']

**Yhteisö 13** [Energiaperiaate', 'kaksioisrakoke', 'T.Young', 'Hieroglyfejä pystytään tulkitsemaan', 'B.Thompson', 'Kimmoisa törmäys', 'Aallonpituusjakauma', 'aaltoliike', 'interferenssi', 'valon aaltoluonne', 'Antiikin Egyptin hieroglyfien tulkitseminen', 'Jean-Francois Champollion', 'Rosettan kivi']

## Verkon $G_{IV...VI}$ yhteisöt:

**Yhteisö 12** [kvanttimekaniikka', 'M.Planck', 'Louis de Broglie', 'N.Bohr', 'E.Schrödinger', 'M.Born', 'W.Heisenberg', 'aaltiohukkasdualismi', 'Planckin laki', 'Planckin vakio', 'epätarkkuusperiaate', 'kvantiteoria', 'Schrödingerin yhtälö', 'mustan kappaleen säteily', 'energia kvanttuminen', 'Kööpenhaminan tulkinta', 'hiukkasen aaltoluonne', 'L.Boltzmann', 'kaksioisrakoke', 'Davisinin ja Germerin koe', 'W.Wien', 'hiukkasen aaltoluonne', 'moderni fysiikka', 'Matriisi mekaniikka', 'aaltofunktio', 'alkeishiukkasen', 'R.Millikan', 'Rayleigh-Jeans lag', 'Wiens lag', 'elektronin spini', 'ultravioletta katastrofen', 'Ultraiolettispektrin ratkaisu', 'Philipp von Jolly', 'Matemaattinen malli', 'Millikanin koe', 'Cambridgen yliopisto', 'Paulin kieltoääntö', 'W.Pauli', 'komplementaarisuuden periaate', 'Schrödingerin kissa', 'vedyn spektriviivat', 'todennäköisyysteheys', 'kvanttikentäteoria', 'varauksen kvanttuminen', 'aaltoliike', 'Boltzmannin laki', 'Boltzmannin vakio', 'position', 'rörelsemängd', 'nollapiste-energia', 'observaabeli-parit', 'neutronitähti', 'potentiaali', 'H.Fletcher', 'elektronin varaus', 'aine', 'tilastollinen mekaniikka', 'Broglie'n yhtälöt', 'Clinton Davison', 'Lester Germer', 'W.Elsasser', 'P.Jordan', 'Robert Andrews', 'Öljyindikaattori']

**Yhteisö 10** [I maailmansota', 'kilpavarustelu', 'Versailles'n rauha', 'Saksa', 'Paul von Hindenburg', 'Ranska', 'panssarivaunu', 'Franz Ferdinandin murha', 'Punaisen ristin perustaminen', 'Keisari Vilhelm II', 'Franz Ferdinand', 'Liittoutuneet', 'Sarajevon laukaukset', 'keskusvallat', 'Hyperinflaatio', 'Armenian kansanmurha', 'O.von Bismarck', 'Ranskan-Preussin sota', 'nationalismi', 'fredsvillkoren lade grunden för andra världskriget', 'över 10 miljoner människor dog', 'östfronten', 'västfronten', 'världsomfattande konflikt', 'sukellusvene', 'moderna vapen vs gammal militärtaktik', 'hävittäjälentokone', 'heinäkuun kriisi', 'Erich Ludendorff', 'etniska konflikt', 'ententen', 'asemasota', 'Zimmermanin viesti', 'Usan liityminen sotaan', 'Tyskland industrijätte med få kolonier', 'Kloori', 'Habsburgien sota', 'Gavrilo Princip', 'I maailmansodan alku', 'Saksa yhdistyy keisarikunnaksi', 'Adolf Hitler', 'Woodrow Wilson', 'Italia', 'Itävalta-Unkari', 'kuningatar Viktoria', 'Eurooppalaisten kansallisvaltioiden syntyminen', 'Mussolini 1883-1945', 'Hyväksyi valtalain', 'liikkuminen', 'FT-17', 'Eurooppalaisen kolonialismikilpailun loppuhuipentuma', 'Heittopommi', 'Poliittinen kiristyneisyys', 'Austro-Sardinia sota', 'Gustave Moynier', 'J.-H.Dunant', 'John Barton Payne', 'Solferinon taistelu', 'humanismi', 'Saksan keisarinna Viktoria', 'Nuorturkkilaisten vallankumous', 'Ottomaani-imperiumin luhistuminen', 'Raphael Lemkin', 'Reichsbank', 'Rentenmark', 'devalvaatio', 'imperialistisk utrikespolitik', 'tämä oli yhdistymisien hetki laajemmassa yhdistymisprosessissa', 'Preussin sodat', 'Preussi', 'Berliini pääkaupungiksi', 'Yhdysvaltain keskuspankki', 'kansainliitto', 'neljäntoista kohdan ohjelma', 'Arvonimi II Duce (”johtaja”)', 'fasismi (äärioikeisto)', 'politiikka', 'sinappikaasu']

**Yhteisö 20** [A.Einstein', 'energia', 'yleinen suhteellisuusteoria', 'erityinen suhteellisuusteoria', 'valosähköinen ilmiö', 'massa-energia relaatio', 'Ensimmäinen keinotekoinen ydinreaktio', 'massa', 'Valosähköisen ilmiön selitys', 'fotoni', 'D.Hilbert', 'Aika-avaruus', 'Cecilia Helena Payne', 'Brownin liike', 'EPR-paradoksi', 'Winston Churchill', 'gravitaatio', 'specifik värme för fasta ämnen', 'suhteellisuusteoria', 'Hertzin koe radioaalloille', 'taajuus', 'Maxwellin yhtälöt', 'H.Hertz', 'Hertzin kokeet', 'Arthur Eddington', 'valonnopeus', 'Tutka', 'Einsteins fältekvationer', 'Karl Schwarzschild', 'Schwarzschildin säde', 'epäeuklidinen geometria', 'gravitaatio', 'gravitaatiolaki', 'inerti-aalikoordinaatio', 'aikadilatatio', 'I.Newton', 'fotolelektroni', 'Lorentzin voima', 'alfasäteily', 'Kvantti', 'H.Helmholtz', 'Meghnad Saha', 'ionisaatio teoria', 'magneettinen monopoli', 'Christian Hülsmeier (1904)', 'Robert Watson-Watt']

**Yhteisö 15** [Nobel-palkinto', 'M.von Laue', 'sähkömagneettinen säteily', 'röntgenkristallografia', 'röntgensäteily', 'M.Curie', 'W.Röntgen', 'H.Becquerel', 'P.Curie', 'P.Lenard', 'Röntgensäde kokeet', 'A.Nobel', 'radioaktiivisuus', 'dynamiitti', 'William Lawrence Bragg', 'radiotekniikka', 'Guglielmo Marconi', 'P.Zeeman', 'Lord Rayleigh', 'Johannes Diederik van der Waals', 'Karl Ferdinand Braun', 'Gustaf Dalén', 'Hendrik Lorentz', 'Heike Kamerlingh Onnes', 'Gabriel Lippmann', 'Albert Abraham Michelson', 'Elektromittari ("piezoelectric quartz electrometer")', 'Paul Peter Ewald', 'kiderakenne', 'röntgendiffraktio', 'Shintaro Uda', 'ultraviolettisäteily', 'Kvartsikello', 'tasavirta', 'läpituonevuus', 'röntgenputki', 'Becquerel-yksikkö', 'polarisaatio', 'nitroglyseriini', 'André Debiere', 'isotooppien eristäminen', 'röntgenanlaggning', 'Polonium', 'Radium', 'absorption av ljus i kristaller', 'fluorescens hos uransalter', 'infraröda spektret hos metallångor', 'Fleming valve', 'Crooken putki (keksitty 1875)', 'J.Fleming', 'Jacques Curie', 'industrialist', 'skönlitterära verk', 'sprängolycka i Heleneborg', 'eksponentiaalinen hajoaminen', 'fosforoiivat materiaalit', 'uraani', 'mustaruuti', 'Rakentaminen ja kaivaukset yms.', 'T.Pelouze', 'Sir William Henry Bragg', 'Braggin laki', 'Radio-ohjelmat', 'Yagi-Uda -antenni', 'tähti', 'aallonpituus', 'Lähetin-vastaanotin', 'Lineaarinen polarisaatio', 'Johan Wilhelm Ritter', 'Elektronioskillaatio', 'JW Horton', 'Tarkka aika', 'Warren Marrison', 'pietosähköinen ilmiö', 'Diodi', 'Tasasuuntaaja']

**Yhteisö 4** [Suomen itsenäistyminen', 'V.Lenin', 'Nikolai II', 'Venäjän vallankumous', 'II maailmansota', 'Venäjän vuoden 1905 vallankumous', 'Venäjän ja Japanin sota', 'J.Stalin', 'lokakuun vallankumous', 'Neuvostoliiton synty', 'Carl Gustaf Emil Mannerheim', 'Venäjä', 'sortokausi', 'Suomen eduskuntauudistus', 'Suomen sisällissota', 'bolsevikit', 'Helmikuun vallankumous', 'Venäjän keisarikunta kaatui', 'Marxismi-Leninismi', 'Neuvostoliitto', 'Venäjän sisällissota', 'Suomen tasavalta', 'valtalaki', 'persoonalunionen mellan Finland och Ryssland inte mera giltigt', 'lantdagen förklarar sig inneha högsta statsmakten i Finland', 'Suomen kuningas Friedrich Karl', 'Storfurstendömet Finland', 'Saksan häviäminen maailmansodassa', 'Suomen itsenäisyysjulistus', 'Leninismi', 'hungersnöd', 'polsk-sovjetiska kriget', 'sovjetisk enpartidiktatur', 'utrensningar och attentat', 'Eugen Schauman', 'kommunismi', 'Vladimir Lenin kuoli vuonna 1924', 'Helmikuun manifesti', 'Verisunnuntai', 'Viaporin kapina', 'Potemkinin kapina', 'Lo-

kakuun manifesti', 'Japanin suurvaltakaasia alkaa', 'Merisodan taktiikka', 'Theodore Roosevelt', 'Venäjän armeijan uudistaminen', 'Leo Mechelin', 'Otto Wille Kuusinen', 'teloitukset', 'vankileirit', 'Nikolai Bobrikov', 'Suomen tunnetuin poliittinen murha', 'isänmaallisuus']

**Yhteisö 7** ['Bohrin atomimalli', 'atomimalli', 'J.J.Thomson', 'E.Rutherford', 'elektroni', 'Rydbergin kaava', 'atomiydin', 'Franckin ja Hertzin koe', 'Comptonin sironna', 'Thomsonin atomimalli', 'atomiteoria', 'elektroniorbitaali', 'protoni', 'vety', 'varaus', 'absorptio', 'emissio', 'elektronin siirtyminen energiatasolta toiselle', 'elektronernas energiniväär', 'Geigermittari', 'A.Compton', 'katodisädeputki', 'dynamid atomimalle 1903', 'Rutherfordin atomi malli', 'Hantaro atomimalli 1904', 'Hantaro Nagaoka', 'Geiger – Marsden koe 1908-1913', 'Stoney', 'Thomsonspridning', 'atomia pienempi hiukkanen', 'isotoper hos icke-radioaktiva ämnen', 'katodisäde', 'masspektrometri', 'atomi', 'valon hiukkasluonne', 'aflapartiklar mot guldfolie', 'positiv kärna i mitten', 'Rutherfordspridning', 'Gustav Hertz (Heinrich Hertzin sisaren poika)', 'James Franck', 'elektrodi', 'elektronin energian kvantittuminen', 'Demokritos', 'J.Dalton', 'H.Geiger', 'Walther Müller', 'alfahiukkaset', 'ionisoiva säteily', 'kaasu']

**Yhteisö 9** ['J.Maxwell', 'sähkömagnetismi', 'sähkövalo', 'M.Faraday', 'hehkulamppu', 'T.Edison', 'N.Tesla', 'elektrolyysi', 'Photoelasticity', 'sähkömagneettinen kenttä', 'kenttä', 'Väriavalo', 'Saturnuksen renkaat', 'Kineettinen kaasuteoria', 'Maxwellin-Boltzmannin jakauma', 'Maxwellin yhtälöt', 'James Keeler', 'Dimensioanalyysi', 'sähkövirta', 'A.-M.Ampère', 'sähkökenttä', 'magneettikenttä', 'sähköverkko', 'Ampèren laki', 'vaihtovirta', 'sähkövaraus', 'H.Davy', 'sähkömagneettinen induktio', 'sähkömoottori', 'hyötyosuhte', 'hehkulanka', 'Swan', 'Kaarilamppu', 'Göbel', 'A.Volta', 'Edisonin ilmiö', 'George Westinghouse', 'induktiomoottori', 'magneettivuon tiheys', 'monivaihejärjestelmä', 'Svante Arrhenius', 'alkuaineiden eristäminen']

**Yhteisö 2** ['S.Freud', 'F.Nietzsche', 'romantiikka', 'hypnos', 'topografisk modell för människans medvetande', 'sähkölaitte', 'sexuella faktorer av betydelse i uppkomsten av neuroser', 'psykosexuell utveckling', 'psykoanalyysi', 'neurologi', 'kokainets effekter', 'hysteriska kvinnor', 'överjaget', 'fri association', 'drömydning', 'detet', 'Psykoterapia', 'Oidipuskompleksi', 'Neuropatologia', 'Josef Breuer', 'F.Schelling', 'Alitajunta', 'J.Sibelius', 'J.Brahms', 'A.Dvořák', 'viulu', 'Gud är död', 'vetenskap vs religion', 'sinnessjuddom', 'inspiration för Nazityskland', 'Ihanteellinen ihminen', '100 markan seteli', 'Finlandia', 'Sibelius Akatemia', 'liittyi vapamuurareihin vuonna 1922', 'myöhäisromantiikka', 'talvisota', 'tunnettuja sinfoniaita', 'Franz Listz', 'R.Schumann', 'Austrian State Prize for Composition', 'slaavilaiset tanssit', 'urut']

**Yhteisö 19** ['C.Chaplin', 'televisio', 'mykkäelokuva', 'äänielokuva', 'väritelevisio', 'Alfred Hitchcock 1899-1980', 'Essanay', 'Geraldine Chaplin', 'McCarthyism', 'komedia', 'mimik', 'pantomiimi', 'slapstick med undertoner av patos', 'varietéartist', 'viikset', 'Puolimekaaninen televisio', 'J.Baird', 'Nipkowin menetelmä', 'C.Jenkins', 'Farnsworth', 'Korn', 'helt elektroniskt system', 'kuvan hajotin', 'lomitus', 'sähköinen signaali', 'telefotografi', 'telekommunikation', 'valokenno', 'Paul Gottlieb Nipkow', 'Oscar-palkinto vuonna 1967']

**Yhteisö 5** ['Naisten äänioikeus', 'Yleinen äänioikeus Suomessa', 'Krimin sota', 'Suomi', 'Suomen suuret nälkävuodet', 'Iso-Britannia', 'Paavo Nurmi', 'Paavin vaalit', 'Yhdysvallat', 'Oolannin sota', 'det blir olagligt för männen att äga sina hustrur 1860', 'ogifta 25-åriga kvinnor blir myndiga 1864', 'kvinnosaksförbundet Unionen grundas 1892', 'kvinnorna blir myndiga i samma ålder som männen 1897', 'grundande av kvinnoförening som kräver rösträtt för kvinnor 1884', 'kvinnor får studera på universitet på samma sätt som männen 1901', 'den första samskolan i Finland grundas 1886', 'Finland inför som första land i världen kvinnlig valbarhet 1906', 'Finland inför som första land i Europa kvinnlig rösträtt 1906', 'Ensimmäiset naiskansanedustajat', 'Luokkaetujen osittaispoistuminen', 'Aleksanteri II', 'kristuksen ylösnousemuksen katedraali', 'maoorjien vapautus', 'puolan kapina', 'sateisuus', 'taudit', 'Viimeisin laaja-alainen luonnollisesti aiheutunut nälänhätä Länsi-Euroopassa', 'kuivuus', 'Hannes Kolehmainen', 'Juoksusta iso maailmanlaajuinen urheilu', 'Olympialaiset (3mitalia Antwerp 1920 ja 5mitalia Pariisi 1924)', 'Strateginen ja analyttinen lähestyminen juoksuu', 'Yleisurheilu']

**Yhteisö 14** ['penisiliini', 'A.Fleming', 'antibiootti', 'Homekasvusto', 'infektio', 'Vahinkokeksiminen', 'St Mary's Hospital', 'Howard Florey', 'kasvatuskoe', 'Ernst Boris Chain', 'Edward Abraham', 'Clodomiro Picado Twight', 'Almroth Wright', 'Ernest Duchesne', 'rokotus', 'lysozymi', 'odiskad bakterieodling', 'bakteriologi', 'pastörointi', 'L.Pasteur', 'Henry Koplik', 'Nathan Straus (1848-1931)', 'Spontaani sikiäminen', 'fermentointi', 'bakteeri', 'optinen aktiivisuus']

**Yhteisö 18** ['puhelin', 'T-Ford', 'lennätin', 'Kommunikointi', 'Transatlanttiset lennätinkaapelit', 'viestintäteknologia', 'liukuhihnayöskentely', 'H.Ford', 'A.Bell', 'kaupallisuus', 'radio', 'hiilimikrofoni', 'puhelinkeksykset', 'optinen telekommunikaatio', 'kuulolaitte', 'A.Meucci', 'Johann Philipp Reis', 'Charles Bourseul', 'Almon Strowger', 'liukuhihna', 'toinen teollinen vallankumous', 'ställdbart munstycke för reglering av bränsleförbrukningen', 'Oldsmobile Curved Dash', 'keskiluokan vaurastuminen', 'fyrtaktsbensinmotor av sidventiltyp', 'Ransom E. Olds', 'Kirjoituskone 1876', 'Offsetpaine', 'Rotaatiopaine 1843', 'Teleprinter 1880', 'Charles Wheatstone', 'Samuel Morse', 'William Fothergill', 'Charles W. Nash', 'Tehtaat', 'ajoneuvoteollisuus', 'Ford Motor Company', 'Tom Cooper']

**Yhteisö 13** ['K.Marx', 'C.Darwin', 'Marxismi', 'Bessemer prosessi', 'Euroopan hullu vuosi', 'evoluutio', 'evoluutioteoria', 'luonnonvalinta', 'F.Engels', 'The Origin of Species', 'A.Wallace', 'Adam Smith', 'G.W.F.Hegel', 'J.-J.Rousseau', 'sosialismi', 'synteettinen evoluutioteoria', 'elämän monimuotoisuus', 'sexuellt urval', 'orjuuden vastaisuus', 'Darwinin finkar på Galapagosöarna', 'de bäst anpassade individerna överlever och får föröka sig', 'agnostikko (tyttären kuoltua)', 'R.Owen', 'Charles Lyell', 'Napoleon III', 'H.Bessemer', 'färska flytande tackjärn till smidbart stål', 'hapettuminen', 'mangan och kisel flyter upp på ytan som slagg', 'terästuotanto', 'keisari Ferdinand I', 'Thomas Robert Malthus', 'mutaatio']

**Yhteisö 17** ['W.Nernst', 'Haber-Bosch-menetelmä', 'Lordi Kelvin', 'termodynamiikan III pääsääntö', 'lämpötila', 'Nernstin yhtälö', 'Ammoniikki', 'Carl Bosch', 'Fritz Haber', 'Robert Le Rossignol', 'paine', 'entropia', 'lämpöenergia', 'termodynamiikka', 'absoluuttinen nollapiste', 'Henri Victor Regnault', 'J.Joule', 'Joule-Thomson ilmiö', 'Kelvin-asteikko', 'Kompassin parantaminen', 'Irreversibeli prosessi', 'R.Clausius', 'Termodynaaminen systeemi', 'Willard Gibbs', 'termodynamiikan I pääsääntö', 'termodynamiikan II pääsääntö']

**Yhteisö 6** ['P.Picasso', 'H.Matisse', 'Surrealismi', 'Kubismi', 'Georges Braque', 'Gertrude Stein', 'Max Jacob', 'Neoklassismi', 'V.Gogh', 'Marcel Duchamp', 'Jules Gabriel Verne (1828-1905)', 'fauvismi', 'postimpressionismi', 'Claude Monet', 'Impressionismi', 'Paul Cézanne', 'John Peter Russel', 'aikansa epäsuosio', 'ekspressionismi', 'Emmu Hennings Ar', 'Hugo Ball', 'Salvador Dali', 'Tristan Tzara', 'dadaismi', 'Alexandre Dumas', 'Avant-garde', 'Victor Hugo', 'Harmaakaihi', 'Lumme tauluissa ei ole horisonttia eikä varsinaista ulotteisuutta', 'Vaimo Camille Doncieux oli monen taulun aihe']

**Yhteisö 0** ['G.Lemaître', 'E.Hubble', 'Hubblen laki', 'Big Bang', 'Fridman', 'avaruusteleskooppi', 'spiralnebulosor', 'rödförskjutning', 'maailmankaikkeus laajenee', 'galaksien liike', 'cepheider', 'Kosmologia', 'Vesto Slipher', 'Uudet galaksit', 'Hubbleteleskopet', 'Hubbleklassifikationen', 'Dopplereffekt', 'Andromedagalaxen', 'spiralnebulosorna är egna galaxer']

**Yhteisö 11** ['Atomimallien kehittyminen', 'jaksollinen järjestelmä', 'D.Mendeleejev', 'negatiivisesti varautunut elektroni ytimen ympärillä', 'atomimassa', 'W.Odling', 'ytterelektroner', 'elektroniskal', 'atomnummer', 'alkuaine', 'J.Newlands', 'Kemialliset ryhmät', 'J.Meyer', 'J.Döbereiner', 'Gustavus Hinrichs', 'Alexandre-Émile Béguyer de Chancourtois (1820-1886)', 'Royal Society', 'Russian Chemical Society', 'valenssi']

**Yhteisö 16** ['lääketiede', 'insuliini', 'C-vitamiini (eli askorbiinihappo)', 'Philip Drinker', 'laastarit', 'rautakeuhko (hengityslaitte)', 'Palesco', 'bukspottseksakt injicerades i hund med diabetes 1916 och hundens blodsockernivå normaliserades', 'behandla hundar med bukspottseksakt', 'avlägsnade bukspottskörteln från en frisk hund för att se hur körteln fungerade', 'Zuelzer', 'Mering', 'Opie', 'Minkowski', 'Langerhans öar', 'Langerhans', 'Laguisse', 'samband mellan Langerhans öar och diabetes']

**Yhteisö 3** ['Stern-Gerlachin koe', 'Zeemanin ilmiö', 'Hiukkasten spin', 'Magneettinen momentti', 'Otto Stern', 'Walther Gerlach', 'Relativistinen korjaus', 'P.Dirac', 'Sommerfeld', 'liikemäärämomentin kvantittuminen']

**Yhteisö 1** ['Pasifismi', 'B.Russell', 'L.Wittgenstein', 'Epistemologia', 'Joukko-opin käyttö filosofiansa', 'Predikaattilogiikan käyttö filosofiansa', 'analyttinen filosofia', 'Georg Henrik von Wright', 'Kiellipeli', 'Logiikkateoria']

**Yhteisö 8** ['Selma Lagerlöf', 'naisten asema', 'M.Canth', 'första kvinna som blir ledamot i Svenska Akademien', 'samfundet De nio', 'Gösta Berlings saga', 'Jerusalem', 'Niils Holgerssens underbara resa genom Sverige', 'Snellmann', 'suomenkielinen koulu', 'tasa-arvo', 'tytöt koulun']