

# Energian käsite lukion fysiikassa ja kuinka vuoden 2019 opetus- suunnitelman perusteet vaikutta- vat sen opettamiseen

Pro Gradu -tutkielma, 20.12.2021

Tekijä:

ALEKSI PIIRAINEN

Ohjaaja:

JUHA MERIKOSKI



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO  
FYSIIKAN LAITOS



## Tiivistelmä

Piirainen, Aleksi

Energian käsite lukion fysiikassa ja kuinka vuoden 2019 opetussuunnitelman perusteet vaikuttavat sen opettamiseen

Pro Gradu

Fysiikan laitos, Jyväskylän yliopisto, 2021, 77 sivua

Energia on käsite, jolla tarkoitetaan arjessa kykyä tehdä työtä ja saada aikaan muutoksia. Tieteissä energialla tarkoitetaan tarkemmin rajattua asiaa, mutta energian tarkka määrittely on osoittautunut haastavaksi. Käsitteen määrittelyn haasteellisuus on myös vaikuttanut käsitteen opetukseen, mikä selittää osittain opetustapojen monimuotoisuutta.

Tässä tutkielmassa tarkastelen energian käsitteen opettamista ja sen ongelmia pintapuolisesti sekä tutkin, kuinka lukion opetussuunnitelman perusteet 2019 vaikuttaa energian käsitteen opetukseen lukiossa. Käyn myös läpi lukion fysiikan moduulit ja niiden sisällöt pääpiirteittäin.

Tutkielmassa esitellään myös energian peruskäsitteet, joihin lukeutuvat energian säilyminen, energian siirtyminen, energian huononeminen, energian esiintymismuodot ja energian esiintymismuodon muuttuminen. Näistä tarkemmin käsittelen energian säilymistä ja energian esiintymismuotoja.

Avainsanat: Fysiikka, Energia, Opetus



## Abstract

Piirainen, Aleksi

The Concept of Energy in Upper Secondary School Physics and How The Basis of the Upper Secondary School Curriculum 2019 Affects It

Master's Thesis

Department of Physics, University of Jyväskylä, 2021, 77 pages.

Energy is a concept which is generally understood as an ability to work and cause changes in a system. In the world of science, energy refers to a specific phenomenon. The exact definition of the concept of energy has proven to be difficult, however. This issue has affected the way the concept is being taught and the multitude of ways of doing so.

In this thesis I will be examining superficially how the concept of energy is being taught and what sort of challenges its teaching affiliates with. I will also be examining the document known as "Lukion opetussuunnitelman perusteet 2019" (The Basis of the Upper Secondary School Curriculum 2019) and how it changes the way the concept of energy is taught in upper secondary school. I will also go through the upper secondary school physics modules and their contents in outline.

The thesis also introduces the basic concepts relating to energy, which are the conservation of energy, energy transfer, energy degradation, the forms of energy, and the changes in the forms of energy. I will also discuss the conservation of energy and the forms of energy in more detail.

Keywords: Physics, Energy, Education



# Sisällys

<b>Tiivistelmä</b>	<b>3</b>
<b>Abstract</b>	<b>5</b>
<b>1 Johdanto</b>	<b>11</b>
<b>2 Yleistä</b>	<b>13</b>
2.1 Energian yksikkö käytännössä . . . . .	14
2.2 Systemit, työ ja lämpö . . . . .	14
2.3 Energian peruskäsitteet . . . . .	15
<b>3 Teoria ja historia</b>	<b>17</b>
3.1 Energian säilyminen . . . . .	19
<b>4 Esiintymismuodot</b>	<b>21</b>
4.1 Massa . . . . .	22
4.2 Translaatioenergia . . . . .	23
4.3 Rotaatioenergia . . . . .	23
4.4 Kineettinen energia relativistisesta näkökulmasta . . . . .	24
4.5 Gravitaatiopotentiaalienergia . . . . .	24
4.6 Sähköinen potentiaalienergia . . . . .	25
4.7 Magneettinen potentiaalienergia . . . . .	25
4.8 Sähkökentän energia . . . . .	26
4.9 Magneettikentän energia . . . . .	26
4.10 Sähkömagneettisen säteilyn energia . . . . .	26
4.11 Sähköenergia . . . . .	27
4.12 Elastinen potentiaalienergia . . . . .	27
4.13 Lämpöenergia . . . . .	28
4.14 Sidosenergiat . . . . .	28
4.14.1 Kvanttiväridynaaminen sidosenergia . . . . .	29
4.14.2 Ytimen sidosenergia . . . . .	29
4.14.3 Ionisaatioenergia . . . . .	30

4.14.4	Kemiallinen energia . . . . .	30
4.14.5	Gravitaation sidosenergia . . . . .	30
<b>5</b>	<b>Muutos opetussuunnitelman perusteisiin</b>	<b>31</b>
5.1	Fysiikan moduulit . . . . .	31
5.1.1	FY1 Fysiikka luonnontieteenä . . . . .	31
5.1.2	FY2 Fysiikka, ympäristö ja yhteiskunta . . . . .	32
5.1.3	FY3 Energia ja lämpö . . . . .	32
5.1.4	FY4 Voima ja liike . . . . .	33
5.1.5	FY5 Jaksollinen liike ja aallot . . . . .	34
5.1.6	FY6 Sähkö . . . . .	34
5.1.7	FY7 Sähkömagnetismi ja valo . . . . .	35
5.1.8	FY8 Aine, säteily ja kvantittuminen . . . . .	35
5.2	Muutoksen seuraukset . . . . .	36
5.3	Energian esiintymismuotojen käsittely lukion moduuleilla . . . . .	36
<b>6</b>	<b>Opetukseen liittyviä tekijöitä</b>	<b>37</b>
6.1	Energian peruskäsitteet . . . . .	37
6.2	Yhteiskunta . . . . .	38
6.2.1	Ympäristövaikutukset ja ilmastonmuutos . . . . .	39
6.2.2	Maapallon energiatasapaino . . . . .	40
6.2.3	Oppimiseen ja opetukseen vaikuttavat tekijät . . . . .	41
6.2.4	Energiantuotanto ja energiankulutus . . . . .	41
6.3	Kuvaajien käyttö opetuksessa . . . . .	43
<b>7</b>	<b>Opetuksen haasteet ja eri lähestymistavat</b>	<b>45</b>
7.1	Energian käsitteen määrittely . . . . .	45
7.2	Auktoriteettien eriävät mielipiteet . . . . .	46
7.3	Substanssi vai abstrakti . . . . .	47
7.4	Filosofinen lähestymistapa . . . . .	48
7.5	Monitieteellinen lähestymistapa . . . . .	49
7.6	Systemaattinen lähestymistapa . . . . .	50
<b>8</b>	<b>Opetukseen liittyviä huomioita</b>	<b>53</b>
8.1	Sidosenergiat . . . . .	54
8.2	Energian peruskäsitteet . . . . .	56
8.2.1	Energian säilyminen . . . . .	57



	9
8.2.2	Energian siirtyminen . . . . . 58
8.2.3	Energian huononeminen . . . . . 59
8.2.4	Energian esiintymismuodon muutos . . . . . 60
8.3	Kokeellisuus ja tehtävät . . . . . 62
8.4	Muita huomioita . . . . . 63
<b>9</b>	<b>Johtopäätökset</b> . . . . . <b>65</b>
<b>Lähteet</b>	<b>69</b>



# 1 Johdanto

Energia on tieteissä ja arjessa esiintyvä käsite, jolla tarkoitetaan yleistajuisesti kykyä tehdä työtä ja saada aikaan muutoksia. Tieteissä ja erityisesti fysiikassa energia on erityisen tärkeä työkalu monenlaisten ongelmien ratkaisemiseen. Energia liittyy hyvin olennaisesti ja konkreettisesti ihmisten arkeen ja opiskelijoilla on usein ennakkokäsityksiä energian luonteesta.

Tässä tutkielmassa käsitellään energian käsitteen opettamista lukiossa ja sitä, miten syksyllä 2021 voimaan astunut lukion opetussuunnitelman perusteet 2019 [3] muuttaa tätä. Tutkielmassa on tarkoituksena tarkastella, miten energian käsitteen opetus muuttuu käytännössä ja mitä asioita tullaan jatkossa painottamaan enemmän. Tämän lisäksi tarkastellaan energian käsitteen opettamista yleisesti ja tarkastellaan yleisesti käytössä olevia opetustapoja ja menetelmiä.

Energian käsite on erityisen tärkeä nyky-yhteiskunnassa monista syistä. Ilmastonmuutos, muuttuvat energiantuotantotavat, energiantuotannon ympäristövaikutukset ja luonnonvarojen ehtyminen ovat ajankohtaisia kysymyksiä. Näihin vastaaminen ja näihin liittyvien ongelmien ymmärtäminen edellyttävät energian ja siihen liittyvien peruskäsitteiden ymmärtämistä. Lukion opetussuunnitelman perusteiden muutoksen seurauksena energian käsitettä tarkastellaan erityisesti kaikille pakollisella modulilla *FY2 Fysiikka, ympäristö ja yhteiskunta*.

Tutkielmassa käsitellään myös eri tapoja opettaa energian käsitettä sekä näiden etuja ja haittapuolia. Näistä lähestymistavoista erityisen merkittäviä ovat systemaattinen lähestymistapa ja monitieteellinen lähestymistapa. Monitieteellinen ja poikkitieteellinen lähestymistapa opetukseen on ollut viime aikoina esillä muun muassa poikkitieteellisten oppimiskokonaisuuksien yhteydessä. Tällaisella lähestymistavalla pyritään monipuoliseen, laaja-alaiseen ja kattavaan käsitykseen poikkitieteellisistä käsitteistä, kuten energiasta.

Energian käsitteen opettamisen haastavuutta lisäävät monet tekijät. Käsitteen määrittely tarkasti on käytännössä mahdotonta tehdä tavalla, joka olisi tieteellisesti tarkka ja helposti ymmärrettävä. Tämän lisäksi tiedeyhteisössä ei olla päästy yksimielisyyteen siitä, miten käsitettä pitäisi opettaa. Eri puolilla maailmaa on kehittynyt erilaisia tapoja opettaa käsitettä. Tämän lisäksi on havaittu, että käsitteeseen liittyy eri puolilla maailmaa erilaisia miellelyhtymiä ja ajatuksia. Näiden perusteella energian käsitteen opettamisessa on otettava huomioon myös kulttuurilliset, historialliset ja kieleen perustuvat eli lingvistiset tekijät. Esimerkiksi Saksassa energia mielletään abstraktin käsitteen sijasta substanssiksi ja tällaista näkökulmaa tuetaan myös opetuksessa. Toisaalla taas energian käsitteeseen liitetään ravinto ja tämän avulla suoritettavat toiminnot. Energia voi saada joissain maissa myös uskonnollisia vivahteita, sillä se liitetään henkisyyteen ja elinvoimaisuuteen. Opiskelijoiden aikaisempien käsitysten ja arjen kokemusten pohjalta voidaan lähteä rakentamaan tieteellistä käsitystä energiasta, mutta tämä edellyttää näiden huomioimista opetuksessa.

## 2 Yleistä

Tässä kappaleessa käsitellään yleisiä tutkielman kannalta tärkeitä termejä. Energia on tieteissä ja arjessa vastaan tuleva termi, jonka määrittely eksaktisti ja ymmärrettävästi on osoittautunut varsin ongelmalliseksi. Yleistajuisesti voidaan todeta, että energia on kykyä tehdä työtä: energian avulla saadaan elektroniset laitteet toimimaan ja ylläpidetään yhteiskunnan toimintoja, kuten esimerkiksi liikennettä ja teollisuutta. Energiaa tarvitaan myös eliöiden elintoimintojen ylläpitämiseen. Fysiikassa energian yksikkönä käytetään joulea, joka on määritelty SI-perusyksiköiden avulla seuraavasti:

$$J = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}, \quad (1)$$

jossa kg on kilogramma, m on metri ja s on sekunti. Energian yksikön määrittely on SI-perusyksiköiden avulla suoraviivaista. Energialla on käytössä myös muita yksiköitä, joita käytetään eri tilanteissa. Näitä ovat esimerkiksi seuraavat:

Yksikön nimi	Yksikön lyhenne	Jouleina
Elektronivoltti	eV	$1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
Kilowattitunti	kWh	$3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$
Kilokalori	kcal	$4,184 \cdot 10^3 \text{ J}$

Elektronivoltti on pieni energian yksikkö ja sitä käytetään lähinnä silloin, kun tarkastellaan yksittäisten hiukkasten energiaa. Kilowattitunti on arjessa usein käytetty yksikkö energialle ja sitä käytetään etenkin, kun tarkastellaan laitteiden energiankulutusta. Kilokaloreita käytetään ilmaisemaan elintarvikkeista nautittuna saadun energian määrää.

## 2.1 Energian yksikkö käytännössä

On helppoa antaa esimerkkejä siitä, mitä yhdellä energian yksiköllä eli yhdellä joulella voidaan tehdä. Käsitellään seuraavaksi muutamaa käytännön esimerkkitapausta energian laskemiseen liittyvistä yksinkertaista tilanteista.

Miesten pesäpallossa käytettävä pallo on massaltaan 160–165 grammaa [45, s. 4]. Oletetaan tällaisen pallon painoksi 163 grammaa. Yhdellä joulella energiaa voidaan esimerkiksi paikoillaan oleva pallo nostaa 0,63 metrin korkeuteen tai kiihdyttää pallo nopeuteen  $3,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  ( $= 12,6 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ ).

Eräs veden ominaisuuksista on verrattain suuri ominaislämpökapasiteetti, eli sen lämpötilan muuttamiseen tarvitaan paljon energiaa. Yhdellä joulella voidaan nostaa 100 gramman vettä lämpötilaa  $0,0024 \text{ }^\circ\text{C}$ :lla. Jotta lämpötilaa saisi nostettua yhdellä asteella, tarvittaisiin noin 419 joulea.

Energiansäästölamppun energiankulutus voi olla esimerkiksi 5 wattia. Tästä seuraa suoraan tehon määritelmästä, että lamppu vaatii toimiakseen 5 joulea sekunnissa. Tämä taas tarkoittaa sitä, että yhdellä joulella energiaa lamppu valaisee 0,2 sekunnin ajan.

## 2.2 Systemit, työ ja lämpö

Tässä vaiheessa on hyvä määritellä, mitä fysiikassa tarkoitetaan systeemillä. Yleisesti ottaen systeemi on maailmankaikkeuden osa, johon tarkempi tarkastelu rajoittuu. Systeemin ulkopuolelle jäävää osaa kutsutaan ympäristöksi. Esimerkiksi Maata voidaan tarkastella systeeminä ja ympäröivää maailmankaikkeutta kutsutaan tällöin ympäristöksi. Systemit voidaan luokitella sen mukaan, miten ne vuorovaikuttavat ympäristönsä kanssa. Avoin systeemi voi vaihtaa ainetta ja energiaa ympäristönsä kanssa. Suljettu systeemi ei vaihda ainetta ympäristönsä kanssa. Suljetut systemit voidaan jakaa edelleen kahteen kategoriaan. Eristämätön systeemi voi vaihtaa energiaa ympäristönsä kanssa. Eristetty systeemi taas ei vaihda energiaa tai ainetta ympäristönsä kanssa. [59, s. 339]

Fysiikassa työllä tarkoitetaan sitä, että systeemiin tuodaan energiaa tai systemistä poistuu energiaa. Työssä energian siirtymismekanismien pohjalla on makroskooppinen mekaaninen vuorovaikutus systeemin ja ympäristön välillä. Toinen tapa tuoda

systemiin energiaa tai poistaa systeemistä energiaa on lämpö. Lämmön tapauksessa energian siirtymismekanismina on esimerkiksi sähkömagneettinen säteily tai energian johtuminen mikroskooppisten törmäysten välityksellä. Lukiotasolla näiden käsitteiden avulla voidaan määrittellä energian säilymlaki: eristetyn systeemin energia on vakio. Tarkemmin energian säilymistä käsitellään kappaleessa 3.1. Työhön ja energiaan liittyy olennaisesti myös työ-energiaperiaate.

## 2.3 Energian peruskäsitteet

Energian käsitteeseen liittyy olennaisella tavalla energian säilyminen, siirtyminen, esiintymismuodon muuttuminen ja huononeminen. Näihin palataan vielä kappaleessa 6.1 ja nämä on esitetty kyseisen kappaleen Kuviossa 2. Käsitellään seuraavaksi näitä peruskäsitteitä pinnallisesti.

Energian esiintymismuodoilla tarkoitetaan tapoja, joilla energia ilmenee tässä maailmankaikkeudessa. Energian esiintymismuotoja käsitellään tarkemmin kappaleessa 4. Energian esiintymismuotoja kutsutaan joskus myös energian olomuodoiksi. Energian esiintymismuodon muutoksella tarkoitetaan prosessia, jossa energian esiintymismuoto muuttuu. Esimerkiksi gravitaatiopotentiaalienergian muuttuminen translaatioenergiaksi tai sähköenergian muuttuminen lämpöenergiaksi ovat tästä esimerkkejä. Energian esiintymismuodon muutoksia käsitellään myös kappaleessa 8.2.4.

Energian huononemisella tarkoitetaan prosesseja, joissa energian esiintymismuodon muutos on ihmisten näkökulmasta epäedullinen eli syntynyt energian esiintymismuoto ei ole enää hyödynnettävissä. Kaikki prosessit johtavat väistämättä siihen, että osa energiasta muuttuu muotoon, jota ei voida enää hyödyntää. Tämä perustuu termodynamiikan toiseen pääsääntöön, eli entropian kasvuun. Energian huononemiseen palataan kappaleessa 8.2.3.

Energian säilymisellä tarkoitetaan sitä perusideaa, että energiaa ei voi syntyä tyhjästä eikä sitä voida hävittää. Näennäinen syntyminen ja häviäminen ovat seurausta energian esiintymismuodon muutoksista. Energian säilymistä käsitellään tarkemmin kappaleissa 3.1 ja 8.2.1.

Energian siirtymisellä tarkoitetaan prosesseja, joissa energiaa saadaan kuljetettua paikasta toiseen joko muuttamalla energian esiintymismuotoa helpommin kuljetet-

tavaan muotoon tai kuljettamalla energian tuotannossa hyödynnettäviä materiaaleja, kuten polttoaineita. Energian siirtymisellä viitataan myös ihmisestä riippumattomiin prosesseihin. Energian siirtymisellä tarkoitetaan myös esimerkiksi säteilyä, sähköä, ainevirtaa tai muuta vastaavaa. Energian siirtymisen käsittelyyn palataan kappaleessa 8.2.2.



### 3 Teoria ja historia

Tieteellisestä näkökulmasta energia on luonnontieteissä esiintyvä suure. Energia määritellään usein kyvyksi tehdä työtä tai tuottaa lämpöä, mikä on useimmiten riittävän hyvin sovellettava määritelmä. Tällainen määritelmä ei kuitenkaan kestä syvällisempää tarkastelua. Syynä tähän on se, että tällainen päättelyketju vetää suoran yhteyden energian hyödynnettävyyden ja olemassaolon välille. Fysiikassa energia voidaan jakaa kahteen osaan: eksergiaan ja anergiaan. Eksergia on energiasta se osuus, joka kykenee työhön ja anergia on se osuus, jota ei pystytä hyödyntämään. Ongelma yleisesti käytetyssä energian määritelmässä on siis se, että sen mukaan anergia ei ole energiaa lainkaan.

Energian käsitteen kehittivät alunperin vallitsevan tiedeyhteisön ulkopuoliset henkilöt Julius Robert Meyer (1814–1878) ja James Prescott Joule (1818–1889). Varsinkin Mayerin tietämys fysiikasta oli melko vähäistä. Tästä syystä ajatus energiasta ei saanut kovinkaan paljon huomiota. Tilanne kuitenkin muuttui kokeellisten tutkimusten takia. Huomattiin, että energia säilyy useissa prosesseissa, mikä lopulta vakiinnutti käsitteen aseman fysiikassa. [16, s. 70] Eri energian yksiköt ja esiintymismuodot siis löydettiin tai keksittiin toisistaan riippumatta. Tästä on seurannut, että energialle on käytetty eri yksiköitä ja vasta myöhemmin havaittiin, että kyseessä eivät ole toisistaan irralliset käsitteet, vaan kaikissa tapauksissa oli kyse samasta ilmiöstä.

Asiantuntijat määrittelevät energian nykyisin käyttämällä sen ominaisuuksia, kuten energian säilymistä ja hyödynnettävyyttä. Muut taas käsittävät energian lähinnä kykyä tehdä työtä. [36, s. 118] Energian syvällisempi olemus on kuitenkin edelleen epäselvä. Tunnettu fyysikko ja tieteen popularisoija Richard Feynman kertoi luennoissaan energiasta seuraavasti:

There is a fact, or if you wish, a law, governing all natural phenomena that are known to date. There is no known exception to this law—it is exact so far as we know. The law is called the conservation of energy. It states that there is a certain quantity, which we call energy, that does not change in the manifold changes which nature undergoes. That is a most abstract idea, because it is a mathematical principle; it says that there is a numerical quantity which does not change when something happens. It is not a description of a mechanism, or anything concrete; it is just a strange fact that we can calculate some number and when we finish watching nature go through her tricks and calculate the number again, it is the same. [35]

Vaikka lainaus onkin noin 60 vuotta vanha, se pitää edelleen hyvin paikkansa. Energia ei ole yleisesti konkreettista ja käsin kosketeltavaa, vaan sen voidaan ajatella kuuluvan jollekin kappaleelle, aineelle tai systeemille. Energian käsite on abstrakti ja riippumaton esiintymismuodoistaan eikä sitä voida esittää konkreettisilla tavoilla.

Energiaa voidaan siis ajatella puhtaasti matemaattisena konstruktiona, joka toimii tieteissä tärkeänä työkaluna ja jonka avulla voidaan tehdä malleja luonnon säännönmukaisuuksista [35] [53, s. 1]. Energian käsitteen avulla voidaan laatia yhtälöitä, joiden avulla voidaan mallintaa ja näin ennustaa systeemin käyttäytymistä. Tämä perustuu pohjimmiltaan energian säilymiseen fysikaalisissa ja kemiallisissa prosesseissa. [16, s. 48] Energia toimii siis hyvin analyttisenä työkaluna ja abstraktina kirjanpidollisena rakennelmana, joka auttaa ongelmien ratkaisemisessa [16, s. 60] [16, s. 68] [64, s. 170]. On myös tärkeää ymmärtää, että energia ei suoraan ole syynä sille, miksi asiat tapahtuvat. [54, s. 4]

### 3.1 Energian säilyminen

Termodynamiikan ensimmäisen pääsäännön mukaan energiaa ei synny tyhjästä eikä sitä voida hävittää. Energian esiintymismuoto voi kuitenkin muuttua. Tämä toimii perustana energian säilymislailla fysiikan opetukselle lukiossa. Energian säilymiselle on kuitenkin olemassa vahvempi perustelu. Noetherin ensimmäinen lause voidaan esittää formaalisti seuraavalla tavalla:

The invariance of the Lagrange function of distinct physical fields under parallel translations and Lorentz transformations (which is a consequence of the homogeneity and isotropy of Minkowski space-time) leads, by Noether's theorem, to the energy-momentum tensor and the angular momentum tensor of the field and to corresponding conservation laws for the energy, momentum and angular momentum of the motion. [5]

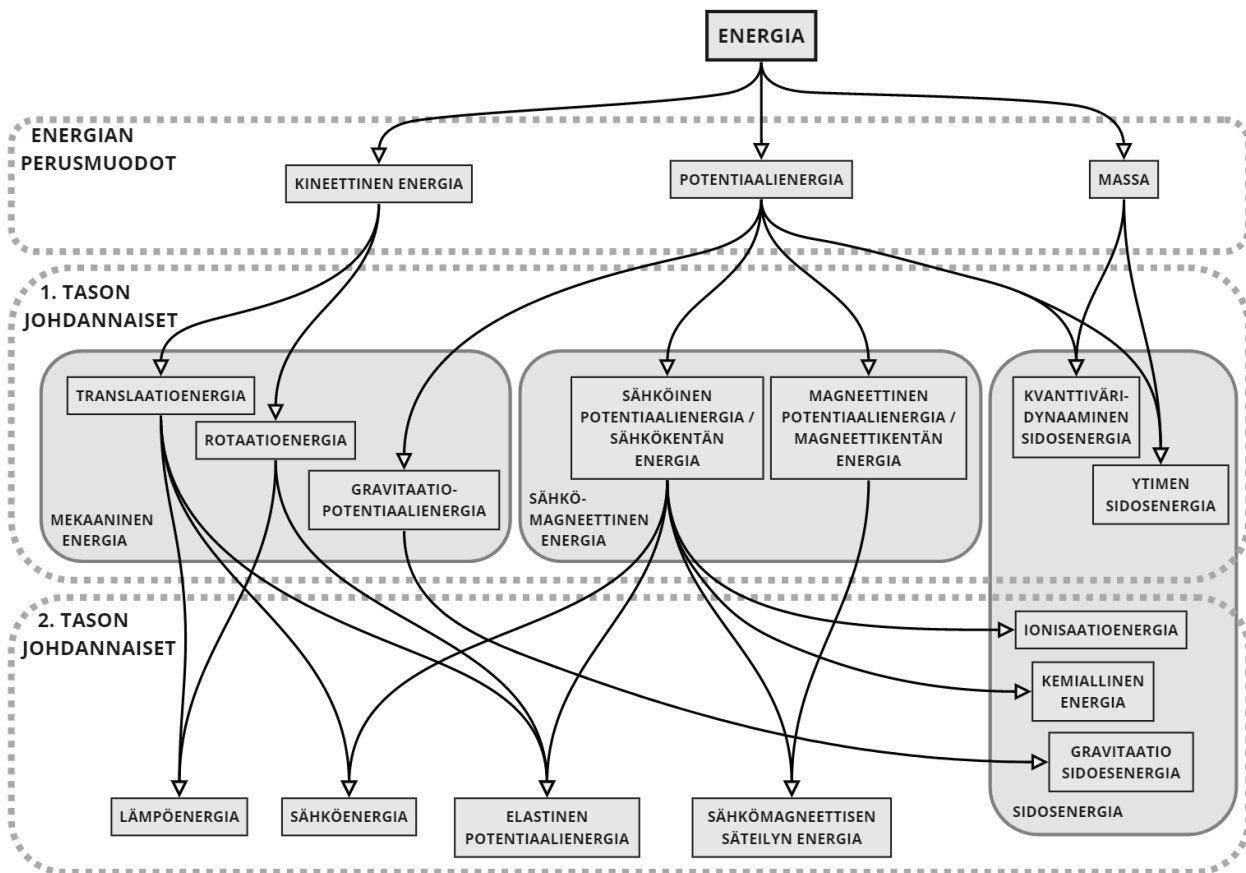
Noetherin ensimmäisen lauseen avulla saadaan siis yhteys energian säilymislailla ja maailmankaikkeuden ajan translaatiosymmetrialle. Tällä tarkoitetaan ajan homogeenisuutta: fysiikan lait ovat samat menneisyydessä, nykyisyydessä ja tulevaisuudessa paikasta riippumatta. Yleisessä suhteellisuusteoriassa tämä ei kuitenkaan pidä samassa mielessä paikkaansa. [16, s. 68] [68, s. 169–198] [75] Yleisessä suhteellisuusteoriassa energian säilyminen riippuu aika-avaruuden paikallisesta symmetriarakenteesta, eli energia ei säily kaareutuvassa aika-avaruudessa, vaan muuttuu sen mukaisesti. [12]



## 4 Esiintymismuodot

Kuviossa 1 on esitetty eri energian esiintymismuotoja ja niiden välisiä johdannaisuuksia. Kutsutaan energian perusmuodoiksi kineettistä energiaa, potentiaalienergiaa ja massaa, koska nämä ovat toisistaan riippumattomia ja erillisiä. Muut energian esiintymismuodot perustuvat näihin tai näiden johdannaisten esiintymismuotoihin. Kuvio ei ole kaiken kattava, mutta tarjoaa kattavan silmäyksen energian eri esiintymismuotoihin ja näiden välisiin vuorovaikutussuhteisiin. Kineettinen energia jakautuu kahteen energian esiintymismuotoon, joista molemmat liittyvät nimensä mukaisesti energiaan, joka on sitoutunut tietyn tyyppiseen liikkeeseen. Potentiaalienergia on pohjimmiltaan erityyppisten kenttien ja niissä olevien kappaleiden energiaa ja/tai erilaisiin sidoksiin sitoutunutta energiaa. Massa on aineen alkeishiukkasten välisiin sidoksiin sitoutunutta energiaa, eikä sitä tässä tutkielmassa sisällytetä samaan kategoriaan potentiaalienergian kanssa.

Tarkastellaan seuraavaksi Kuviossa 1 esitettyjä energian esiintymismuotoja. Kineettinen energia on liikkeeseen sitoutunutta energiaa, massa on Einsteinin yhtälön (2) mukaista massaan sitoutunutta energiaa ja potentiaalienergia kattaa muut energiatyypit. Kineettinen energia jakautuu edelleen translaatioenergiaan ja rotaatioenergiaan. Translaatioenergia on suoraviivaiseen etenemisliikkeeseen sitoutunutta energiaa, kun taas rotaatioenergia on pyörimisliikkeeseen sitoutunutta energiaa. Potentiaalienergia on usein johonkin kenttään sitoutunutta energiaa, esimerkiksi massallinen kappale gravitaatiokentässä tai varattu kappale sähkökentässä. Näiden energian esiintymismuotojen pohjalta saadaan muut energian esiintymismuodot. Lämpöenergia on aineen hiukkasten kineettistä energiaa hiukkastasolla. Sähköenergia on varattujen hiukkasten liikkeeseen sitoutunutta energiaa. Elastinen potentiaalienergia kattaa atomitasoisten sidosten "jouset", ja näistä johtuvat aineen elastiset ominaisuudet. Sähkömagneettisen säteilyn energia taas on energiaa, jota esimerkiksi näkyvä valo kuljettaa mukanaan. Viimeisenä kategoriana käsitellään erilaiset sidosenergian tyypit. Sidosenergia on se määrä energiaa, joka vaaditaan sidoksen rikkomiseen tai joka vapautuu sidoksen muodostuessa. Kvanttiväridynaaminen sidosenergia vaikuttaa kvarkkien tasolla ja pitää esimerkiksi protonit ja neutronit kasassa. Ytimen si-



**Kuvio 1.** Suuntaa antava käsitekartta eräistä energian esiintymismuodoista ja niiden välisistä suhteista ja riippuvuuksista.

dosenergia taas pitää atomin protoneista ja neutroneista koostuvan atomin ytimen kasassa. Ionisaatioenergia pitää kokonaisen atomin kasassa siten, että elektronit eivät pääse karkaamaan ytimen vaikutuspiiristä. Kemiallinen energia taas sitoo atomit toisiinsa muodostaen molekyylejä. Gravitaation sidosenergia taas pitää massiiviset kappaleet, kuten kuut, planeetat ja tähdet kasassa. Käsitellään seuraavaksi näitä energian esiintymismuotoja tarkemmin.

## 4.1 Massa

Yksi tunnetuimmista fysiikan oivalluksista on se, että aine on eräs energian esiintymismuodoista. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että esimerkiksi raskaiden atomiytimien massa on suurempi kuin ytimeen kuuluvien yksittäisten nukleonien massojen summa. Vastaavasti käänteinen pätee kevyille atomiytimille. Massaan sitoutunut

energia voidaan laskea kaavalla

$$E_{\text{mas}} = mc^2 \quad (2)$$

jossa  $m$  on massa ja  $c$  on valonnopeus. Tämä tarkoittaa myös sitä, että yksittäiset massalliset hiukkaset ovat energian esiintymismuoto. Esimerkiksi elektronin ja sen antihiukkasen positronin annihilaatioreaktio tuottaa energiaa sähkömagneettisen säteilyn muodossa.

## 4.2 Translaatioenergia

Kun kappale etenee suoraviivaisesti ja/tai pyörii, sillä on kineettistä energiaa. Suoraviivaista liikettä kutsutaan translaatioksi, johon liittyvä energia voidaan laskea kaavalla

$$E_{\text{trans}} = \frac{1}{2}mv^2, \quad (3)$$

jossa  $m$  on kappaleen massa ja  $v$  on kappaleen nopeus. Translaatioenergia on kineettisen energian johdannainen. Arjessa esiintyviä esimerkkitilanteita, joissa translaatioenergiaan törmätään ovat muun muassa pesäpallo lyönnin jälkeen, lenkillä oleva ihminen ja juna matkustajineen.

## 4.3 Rotaatioenergia

Rotaatioon eli pyörimiseen liittyvä energia taas voidaan laskea kaavalla

$$E_{\text{rot}} = \frac{1}{2}I\omega^2, \quad (4)$$

jossa  $I$  on kappaleen hitausmomentti ja  $\omega$  on kappaleen kulmanopeus. Pyöriminen ilmiönä on mahdollista vain kahden tai useamman hiukkasen systeemeille, sillä yksittäiset hiukkaset, kuten protonit tai elektronit eivät pyöri sanan perinteisessä merkityksessä. Rotaatioenergia on kineettisen energian johdannainen. Arjen esimerkkejä, joissa rotaatioenergiaan törmätään ovat esimerkiksi pyörivä karuselli, auton rengas liikkeessä ja maapallo.

#### 4.4 Kineettinen energia relativistisesta näkökulmasta

Kappaleen tai hiukkasen nopeuden ollessa suuruusluokaltaan riittävän lähellä valonnopeutta (noin kymmenen prosenttia valonnopeudesta) on huomioitava massan kasvu. Massa voidaan jakaa lepomassaan ja liikemassaan. Hiukkasten, joiden lepomassa on nolla, kuten esimerkiksi fotonien, massa on kokonaisuudessaan sen nopeudesta johtuvaa liikemassaa. Arjessa nopeudet ovat merkittävästi valonnopeutta matalampia, joten varsinaisia esimerkkejä ei ole. Nykyään esimerkiksi hiukkaskiihdyttimien avulla varattuja hiukkasia voidaan kiihdyttää lähelle valonnopeutta. Tällöin kiihdytettävien hiukkasten massa kasvaa merkittävästi lepomassaa suuremmaksi. Tästä taas seuraa kineettisen energian relativistisen osuuden kasvu.

#### 4.5 Gravitaatiopotentiaalienergia

Gravitaatio on yksi neljästä luonnon perusvuorovaikutuksesta. Gravitaatio aiheuttaa sen, että kaikki massalliset kappaleet vetävät toisiaan puoleensa. Tästä seuraa, että massallisilla kappaleilla on energiaa toistensa suhteen. Kappaleen gravitaatiopotentiaalienergia toisen kappaleen suhteen saadaan kaavasta

$$E_G = -G \frac{m_1 m_2}{r}, \quad (5)$$

jossa  $G$  on painovoimavakio,  $m_1$  ja  $m_2$  ovat kappaleiden massat ja  $r$  on kappaleiden massakeskipisteiden välinen etäisyys. Gravitaatiopotentiaalienergialle käytetään usein approksimaatiota

$$E_G = mgh, \quad (6)$$

jossa  $g$  on putoamiskiihtyvyys ja  $h$  on kappaleen pohjan etäisyys valitusta nollatasosta. Approksimaatio on tarkka, kun korkeuden suhteelliset vaihtelut eivät ole suuria. Gravitaatiopotentiaalienergia on potentiaalienergian johdannainen. Gravitaatiopotentiaalienergia määritellään valittuun nollatasoon nähden, joten esimerkiksi pöydällä olevalla kirjalla on gravitaatiopotentiaalienergiaa lattiaan nähden. Vastaavasti muita esimerkkejä ovat mäkihyppääjä tornin huipulla ja ilmassa oleva pesäpallo. Gravitaatiopotentiaalienergiaa kutsutaan yleensä mekaniikassa lyhyesti potentiaalienergiaksi. Syynä tähän on se, että kontekstista usein selviää kyseessä olevan juuri gravitaatiopotentiaalienergia.



## 4.6 Sähköinen potentiaalienergia

Varattu hiukkanen muodostaa ympärilleen sähkökentän. Toisella varatulla hiukkasella on tässä kentässä sähköistä potentiaalienergiaa, joka johtaa siihen, että tilanne on analoginen gravitaatiopotentiaalienergialle. Sähköinen potentiaalienergia voidaan laskea kaavalla [59, s. 917]

$$E_{\text{elec}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r}, \quad (7)$$

jossa  $\epsilon_0$  on tyhjiön permittiivisyys,  $q_1$  ja  $q_2$  ovat tarkasteltavien hiukkasten varaukset ja  $r$  on niiden välinen etäisyys. Yhtälön (7) avulla voidaan selvittää sähköinen potentiaalienergia myös tapauksissa, joissa tarkasteltava varattu kappale on muualla kuin pistevarauksen kentässä. Sähköinen potentiaalienergia on potentiaalienergian johdannainen. Esimerkkitalanteita sähköisestä potentiaalienergiasta ovat muun muassa varattu hiukkanen sähkökentässä ja pistorasian töpselit.

## 4.7 Magneettinen potentiaalienergia

Magneettinen potentiaalienergia ei ole yhtä suoraviivainen käsite kuin sähköinen potentiaalienergia. Syynä tähän on, että magneetikenttä edellyttää varausten liikettä, eli sähkövirtaa syntyäkseen. Tästä syystä tälle ei ole vastaavaa analogiaa kuin sähköiselle potentiaalienergialle. Virtasilmukan ollessa magneetikentässä, saadaan magneettinen potentiaalienergia kaavalla

$$E_{\text{mag}} = -IA \cos \theta \cdot B, \quad (8)$$

jossa  $I$  on silmukassa kulkeva virta,  $A$  on silmukan pinta-ala,  $B$  on magneettivuon tiheys ja  $\theta$  on kulma magneetikentän ja silmukan tason normaalivektorin välillä. Tämän vektorin suunta määräytyy oikean käden säännöllä virran kulkusuunnan mukaan. Magneettinen potentiaalienergia on potentiaalienergian johdannainen. Esimerkkitalanne magneettisesta potentiaalienergiasta on generaattorissa olevan johtimen energia, joka on riippuvainen kyseisen johtimen asennosta kenttään nähden.

## 4.8 Sähkökentän energia

Kondensaattori on laite, jonka avulla energiaa voidaan varastoida sähkökenttään. Kondensaattori koostuu kahdesta levystä, jotka ovat eri puolella virtapiiriä. Kondensaattorin sähkökenttään varastoima energia voidaan laskea kaavalla [59, s. 960]

$$E_{\text{cap}} = \frac{1}{2}C(\Delta V)^2, \quad (9)$$

jossa  $C$  on kondensaattorin kapasitanssi ja  $\Delta V$  on jännite-ero kondensaattorin levyjen välillä.

## 4.9 Magneettikentän energia

Sähkökentän tapaan myös magneettikenttä voi varastoida energiaa. Kela tai käämi on komponentti, joka koostuu sylinterimäisestä virtasilmukasta. Kelan magneettikenttään varastoitunut energia voidaan laskea kaavalla [59, s. 1107]

$$E_{\text{ind}} = \frac{1}{2}LI^2, \quad (10)$$

jossa  $L$  on kelan induktanssi ja  $I$  on kelassa kulkeva virta.

## 4.10 Sähkömagneettisen säteilyn energia

Sähkömagneettinen säteily (näkyvä valo, radioaallot, mikroaallot jne.) kuljettaa energiaa. Tämä energia saadaan yksittäiselle fotonille kaavalla

$$E_{\text{em}} = hf, \quad (11)$$

jossa  $h$  on Planckin vakio ja  $f$  on säteilyn taajuus. Sähkömagneettiselle säteilylle yleisesti energiatiheys saadaan Poyntingin vektorin avulla kaavan

$$E_{\text{em}} = \frac{1}{2}(\mathbf{E} \cdot \mathbf{D} + \mathbf{B} \cdot \mathbf{H}) \quad (12)$$

avulla, jossa  $\mathbf{E}$  on sähkökentän voimakkuus,  $\mathbf{D}$  on sähkövuon tiheys,  $\mathbf{B}$  on magneettivuon tiheys ja  $\mathbf{H}$  on magneettikentän voimakkuus. Sähkömagneettisen säteilyn energia on sähkökentän energian ja magneettikentän energian johdannainen. Esimerkkitilanteita, joissa sähkömagneettisen kentän energia on olennaisessa osassa, ovat muun muassa gammasäteily, näkyvä valo ja radioaallot.

## 4.11 Sähköenergia

Pistorasioista saatava energia perustuu virtapiirissä kulkevien varaustenkuljettajien liike-energiaan. Varauksenkuljettajat liikkuvat virtapiirissä potentiaalierosta johtuen. Virtapiirissä siirtyvä energia voidaan laskea kaavalla

$$E_{\text{cur}} = VIt, \quad (13)$$

jossa  $V$  on jännite,  $I$  on virta ja  $t$  on aika. Käytännössä tämä on siis sähköteho kerrottuna ajalla. Sähköenergia on johdannainen translaatioenergiasta ja sähköisestä potentiaalienergiasta. Käytännön esimerkki sähköenergiasta on virtajohtimissa kulkeva sähkövirta.

## 4.12 Elastinen potentiaalienergia

Jouset ovat fysiikassa rakenteita, jotka ovat venyviä ja kokoonpuristuvia. Näihin sisältyvät muun muassa arjesta tutut jouset, kokoonpuristuvat materiaalit ja atomitason sidokset. Elastinen potentiaalienergia perustuu kemialliseen energian, joka pitää kappaleen kasassa. Elastinen potentiaalienergia voidaan laskea kaavalla

$$E_{\text{ela}} = \frac{1}{2}k(\Delta s)^2, \quad (14)$$

jossa  $k$  on jousen jousivakio ja  $\Delta s$  on poikkeama tasapainoasemasta. Elastinen potentiaalienergia on johdannainen translaatioenergiasta ja sähköisestä potentiaalienergiasta. Jousten ja elastisten materiaalien elastinen potentiaalienergia perustuu siihen, että kun niitä venytetään tai puristetaan kokoon rakenteen kemialliset sidokset venyvät tai painuvat kasaan. Tästä seuraa, että kyseessä on kemiallisen energian johdannainen, joka taas on sähköisen potentiaalienergian johdannainen. Toisaalta esimerkiksi ääniaalto perustuu aineen tihentymiin ja harventumiin, mutta tässä energia etenee suoraviivaisesti sidosten tai törmäysten välityksellä, mistä saadaan yhteys translaatioenergiaan. Tästä esimerkkejä ovat värähtelevä kitaran kieli ja ääniaallon eteneminen väliaineessa kuten vedessä tai metallissa.

### 4.13 Lämpöenergia

Lämpöenergia yhdistää yksittäisten hiukkasten kineettisen energian statistiseksi ilmiöksi. Tämä tarkoittaa sitä, että yksittäisten hiukkasten liike-energioiden tarkastelun sijasta mallinnetaan systeemin hiukkasten liike-energiaa tai nopeutta lämpötilan avulla. Yleensä ei olla kiinnostuneita lämpöenergian absoluuttisesta määrästä, vaan muutoksesta sen määrässä. Siirtynyt lämpöenergia (= lämpö) saadaan kaavasta

$$Q = mc_p\Delta T, \quad (15)$$

jossa  $m$  on kappaleen tai aineen massa,  $c_p$  on aineelle ominainen ominaislämpökapasiteetti ja  $\Delta T$  on muutos lämpötilassa. Lämpöenergia on johdannainen energian esiintymismuoto, joka perustuu hiukkasten translaatio- ja rotaatioenergiaan. Tämän lisäksi voidaan vetää myös yhteys kemialliseen energiaan. Termodynamiikan kolmannesta pääsäännöstä seuraa, että lämpöenergia ei voi koskaan olla nolla. Tästä seuraa, että aineella yleisesti on lämpöenergiaa. Lämpöenergiaa ajatellaan usein lämpötilan avulla, mutta tässä on huomioitava myös aineen ominaisuudet: samassa lämpötilassa olevat kappaleet eivät välttämättä sisällä yhtä paljon lämpöenergiaa. Esimerkiksi vesi pystyy varastoimaan enemmän lämpöä kuin kupari.

Lämpöenergia sekoitetaan ajoittain sisäenergiaan. Sisäenergia ei ole suoraan oma energian esiintymismuotonsa, vaan on yhdistelmä systeemin konstruoimiseen tarvittavasta energiasta. Tässä ei huomioida aineeseen massana sitoutunutta energiaa. Huomioitavat energian esiintymismuodot ovat esimerkiksi lämpöenergia ja kemiallisista sidoksista vapautuva/sitoutuva energia.

### 4.14 Sidosenergiat

Sidosenergialla tarkoitetaan yleisesti sitä energian määrää, joka vaaditaan hajottamaan jonkinlainen rakenne. Esimerkiksi ytimen sidosenergia on se määrä energiaa, joka vaaditaan hajottamaan atomin ydin. Tästä seuraa, että sidosenergia voi olla positiivinen tai negatiivinen riippuen siitä, vapautuuko kokonaisprosessissa energiaa vai ei. Tämä on mahdollista selittää sähkömagneettisten kenttien avulla. [16, s. 21] On tärkeää huomata, että sidoksissa itsessään ei ole energiaa, vaan energiaa tarvitaan sidosten rikkomiseen. Kokonaisuudessaan prosesseissa voi vapautua energiaa, jos uudet muodostuneet sidokset vaativat rikkoutuakseen enemmän energiaa kuin aiemmat sidokset. Jos uudet sidokset taas vaativat rikkoutuakseen vähemmän

energiaa, energiaa sitoutuu [54, s. 17]. Kemiallisella energialla tarkoitetaan usein sitä energian määrää, joka vapautuu tai sitoutuu kokonaisreaktiossa [16, s. 21]. Vastaava pätee ydinenergian tapauksessa.

#### 4.14.1 Kvanttiväridynaaminen sidosenergia

Kvanttiväridynaaminen sidosenergia sitoo kvarkit hadroneiksi. Hadronien kaksi alaluokkaa ovat baryonit ja mesonit. Tunnetuimmat ja stabiileimmat baryonit ovat protoni ja neutroni, jotka ovat samalla merkittävä esimerkkitalanne kvanttiväridynaamisesta sidosenergiasta. Ytimen sidosenergialle analogisesti, sidosenergian suuruus saadaan massavajeen avulla. Kvanttiväridynaaminen sidosenergia on johdannainen massasta ja potentiaalienergiasta.

#### 4.14.2 Ytimen sidosenergia

Atomin ydin koostuu protoneista ja neutroneista. Protonit ovat ulospäin positiivisesti varautuneita ja neutronit ovat sähköisesti varauksettomia. Ytimen sidosenergia estää ydintä hajoamasta sähköisen hylkimisen seurauksena. Kääntäen, ytimen sidosenergia on vaadittava energiamäärä atomin ytimen hajottamiseen. Tämä saadaan tarkastelemalla ytimen massavajetta, jolloin saadaan kaavaksi

$$E_{\text{nuc}} = (Zm_{\text{P}} + Nm_{\text{N}} - m_{\text{nuc}})c^2, \quad (16)$$

jossa  $Z$  on ytimen protonien lukumäärä,  $N$  on ytimen neutronien lukumäärä,  $m_{\text{P}}$  on protonin massa,  $m_{\text{N}}$  on neutronin massa,  $m_{\text{nuc}}$  on ytimen kokonaismassa ja  $c$  on valonnopeus. Ytimen sidosenergia on johdannainen massasta ja potentiaalienergiasta. Merkittävä esimerkkitalanne ytimen sidosenergiasta ovat ydinvoimaloissa käytettävät polttoainesauvat. On huomattava, että massavaje on raskailla alkuaineilla negatiivinen. Tästä seuraa se, että tällaisten ytimien muodostaminen vaatii enemmän energiaa kuin niiden hajoaminen vapauttaa. Tällaiset ytimet eivät ole stabiileja, mutta niiden luonnollinen hajoaminen voi kestää tuhansia tai jopa miljoonia vuosia. Hajoamisprosessi on puhtaasti satunnainen ja perustuu kvanttimekaaniseen tunneloitumiseen.

### 4.14.3 Ionisaatioenergia

Ionisaatioenergia on se määrä energiaa, joka vaaditaan irrottamaan elektroni atomista eli ionisoimaan atomi. Ionisaatioenergia on sähköisen energian johdannainen. Ionisaatioenergia on varsinkin kemiassa tärkeä käsite, sillä se vaikuttaa siihen, minkä tyyppinen sidos ionien välille muodostuu.

### 4.14.4 Kemiallinen energia

Kemiallinen energia tai kemiallinen sidoseenergia on atomien ja molekyylien välisten sidosten energiaa. Kemiallista energiaa käsitellään lähinnä kemian moduuleilla. Kemiallisella energialla on myös yhteys elastiseen potentiaalienergiaan, kuten aiemmin mainittiin. Aineen deformaatio perustuu kemiallisten sidosten pituuden muutokseen, jolloin atomit/molekyylit toimivat jousen tapaan sähköisen vuorovaikutuksen takia. Kemiallinen energia on sähköisen potentiaalienergian johdannainen. Merkittäviä esimerkkejä kemiallisesta potentiaalienergiasta ovat edellä mainitut sidokset molekyylien välillä.

### 4.14.5 Gravitaation sidoseenergia

Gravitaation sidoseenergia on se määrä energiaa, joka vaaditaan siihen, että kappale ei ole enää sidotussa tilassa gravitaation suhteen. Toisin sanoen se määrä energiaa, joka vaaditaan kappaleen rakenneosasten siirtämiseksi riittävän kauas toisistaan. Gravitaation sidoseenergia on gravitaatiopotentiaalienergian johdannainen.

## 5 Muutos opetussuunnitelman perusteisiin

Lukion opetuksen perusteissa 2019 muutoksen tavoitteena on seuraavien asioiden toteutuminen: nostaa kansakunnan koulutustasoa, korkeakoulutettujen 25–34-vuotiaiden määrän nostaminen 41 %:sta 50 %:iin, lukiokoulutuksen vetovoimaisuuden parantaminen, koulutuksen ja oppimistulosten laadun parantaminen, sekä suoraviivaistaa siirtymistä korkean asteen opintoihin. [3, s. 9] Keinoiksi näiden tavoitteiden saavuttamiseksi mainitaan joustavammat ja yksilöllisemmät opintopolut, opiskelijoiden ohjaaminen ja tukeminen, oppiainerajat ylittävät opinnot, sekä yhteistyö korkeakoulujen kanssa. [3, s. 9]

### 5.1 Fysiikan moduulit

Lukion opetussuunnitelman perusteiden 2019 fysiikan moduulien sisältöjen tarkastelussa [2] kerrotaan, miten muutokset lukion opetussuunnitelman perusteisiin vaikuttavat fysiikan opetukseen. Tarkastellaan seuraavaksi, kuinka muutokset vaikuttavat siihen, miten energian käsitettä käsitellään eri moduuleilla. Yleisesti ottaen muutoksen tarkoituksena on saada opiskelijat toimimaan tulevaisuudessa vastuullisesti ja ottamaan huomioon omissa valinnoissaan luonnonvarojen kestävä käyttö, ympäristövaikutukset, terveysvaikutukset ja energiantuotantotavat.

Muutoksen seurauksena kaikki opiskelijat suorittavat fysiikan moduulit *FY1 Fysiikka luonnontieteenä* ja *FY2 Fysiikka, ympäristö ja yhteiskunta*. Näistä jälkimmäinen tulee muutoksesta johtuen uutena ja käsittelee energiaa merkittävästi tarkemmin kuin FY1. Valtakunnallisia valinnaisia moduuleita ovat FY3–FY7.

#### 5.1.1 FY1 Fysiikka luonnontieteenä

Fysiikkaa käsitellään kokeellisena tieteenä ja moduulilla tutustutaan siihen, miten mittaustuloksia voidaan tulkita sovittamalla niitä olemassa oleviin fysiikan malleihin. Tämän lisäksi perehdytään fysiikassa käytettäviin työtapoihin ja tutkimukseen erilaisten ryhmätöiden muodossa, joiden avulla pyritään kehittämään yhteistyötaitoja. Samalla opitaan arvioimaan käytettyjen menetelmien luotettavuutta ja mahdolli-

sia tuloksiin vaikuttavia virhetekijöitä, sekä tutkimuksen dokumentointia. Moduulilla harjoitellaan myös tiedonhankintaa ja luonnontieteellisten kokeiden suunnittelua ja toteuttamista, joiden lisäksi perehdytään myös maailmankaikkeuden rakenteisiin ja mittasuhteisiin, sekä pyritään herättämään opiskelijoissa kiinnostus fysiikan syvempää opiskelua kohtaan. Opetussuunnitelman perusteissa ei ole varsinaista mainintaa energian käsitteestä tämän moduulin kohdalla, vaan aiheeseen perehdytään tarkemmin myöhemmin. [3, s. 252]

### 5.1.2 FY2 Fysiikka, ympäristö ja yhteiskunta

Tällä moduulilla keskitytään energian käsitteeseen ja perehdytään sen tärkeyteen yhteiskunnan toiminnan ja ympäristön kannalta. Moduulilla käsitellään myös eri energiantuotantotapoja ja niiden vaikutuksia ympäristöön, termodynaamisia systeemeitä, sekä energian siirtymistä systeemien välillä ja energian siirtymisen vaikutuksia. Tämän lisäksi olennaisia sisältökokonaisuuksia ovat energialajit, energian säilyminen, muuntuminen ja siirtäminen, teho, sekä hyötysuhde. Tavoitteena on myös antaa opiskelijalle valmiuksia osallistua ympäristöä ja teknologiaa koskevaan keskusteluun ja päätöksentekoon energiatalouden näkökulmasta, sekä kykyä vertailla energiantuotantotapoja, niiden ympäristövaikutuksia ja näiden suuruusuhkia. [3, s. 252–253]

Opiskelija kehittää myös taitojaan tutkijana ja oppii oikeat periaatteet tiedonhaussa ja lähdemateriaalin käytöstä tutkimuksessa, sekä oppii tarkastelemaan tiedon luotettavuutta kriittisesti moduulin aikana. Tämän lisäksi opitaan mitä tarkoitetaan tutkimuksessa tutkimuskysymyksellä ja sen roolista tutkimuksessa. Moduulilla syvennytään myös matemaattisten mallien käyttöön ja harjoitellaan niiden käyttöä tutkimuksessa. [3, s. 252–253]

### 5.1.3 FY3 Energia ja lämpö

Moduulin tavoitteena on käsitellä energiaa syvällisemmin kuin aiemmilla moduulilla ja parantaa opiskelijan ymmärrystä aiheesta. Tämän lisäksi keskitytään lämmön käsitteeseen, opitaan käyttämään termodynamiikan käsitteitä ja malleja, sekä soveltamaan näitä. Moduulilla käsitellään myös, miten energiatasapaino ja lämmön siirtyminen vaikuttavat ilmastomuutokseen ja syvennetään ymmärrystä termodynaamisista systeemeistä. Tähän liittyen käsitellään energian siirtymistä systeemien välillä, sekä energian siirtymisen vaikutuksia. Moduulilla käsitellään myös sisäener-



giaa, lämpö määrää ja energian säilymistä ja siirtymistä yleensä. Tärkeitä käsitteitä tai aihepiirejä ovat termodynaamiset systeemit ja niiden tilamuuttujat (lämpötila, paine, tilavuus ja aineen määrä), sekä näiden keskinäiset vuorovaikutussuhteet. Tämän lisäksi olennaisia asioita ovat ideaalikaasun tilanyhtälö, aineen olomuodot, lämpölaajeneminen ja mekaaninen työ. [3, s. 253]

Moduulilla harjoitellaan myös erilaisia tutkimuksessa käytettäviä menetelmiä ja opetellaan käyttämään uusia matemaattisia työkaluja. Tutkimuksessa tarvittavaa tekniistä osaamista harjoitellaan käsittelemällä mittaustuloksia taulukkolaskentaohjelmalla, käänteisarvojen laskemisella ja kehittämällä matemaattista osaamista. Graafinen integrointi, fysikaalinen pinta-ala ja sen merkitys tuodaan esille. Erilaisia fysiikan ilmiöitä tarkastellaan simulaatioiden avulla ja fysiikan tutkimusta harjoitellaan myös arjen ilmiöiden tarkastelulla ja dokumentoinnilla. [3, s. 253]

#### 5.1.4 FY4 Voima ja liike

Moduulin lähestymistapana on klassinen mekaniikka, jonka tärkeitä osia ovat on Newtonin lait. Tämän lisäksi perehdytään voiman käsitteeseen ja sen vaikutuksiin kappaleen liiketilaan. Moduulilla käsitellään myös mekaanista energiaa, joka jakautuu kappaleen suoraviivaiseen liike-energiaan ja potentiaalienergiaan. Lisäksi tutustutaan fysiikan eri säilymlakeihin, joista tärkeimpinä ovat mekaanisen energian säilyminen ja liikemäärän säilyminen, sekä milloin näitä voidaan soveltaa. Moduulilla tehdään myös ero fysiikan skalaarisuureiden ja vektorisuureiden välillä ja opetellaan, kuinka laskeminen näiden avulla tapahtuu. Olennaisessa osassa tässä on myös mukana trigonometria. Liikemäärän säilyminen tulee ilmi erityisesti törmäysten yhteydessä. Törmäysten avulla käsitellään myös impulssia ja sen vaikutusta kappaleen mekaaniseen energiaan. Moduulilla käsitellään myös dissipatiivisia voimia kuten kitkaa ja niiden merkitystä. [3, s. 254]

Voimakuvioiden piirtämistä ja käyttöä harjoitellaan sekä syvennetään osaamista käyrän sovitusten saralla. Käytännössä tämä tarkoittaa ensimmäisen tai toisen asteen polynomin sovitusta mittauspisteisiin käyttämällä jotain laskentaohjelmistoa. Esimerkkejä moduuleille sopivista töistä ovat muun muassa putoamiskiihtyvyyden määrittäminen ja kitkakertoimen määrittäminen kokeellisesti. Tämän lisäksi opetellaan mittaustulosten esittelyä ja erilaisten esitysten tulkintaa. [3, s. 254]

### 5.1.5 FY5 Jaksollinen liike ja aallot

Moduulilla syvennetään ymmärrystä klassisesta fysiikasta ja sivutaan pyörimisliikettä. Tämän myötä käsitellään myös kappaleen hitausmomenttia ja kappaleen tasapainoehtoja. Pyörimiseen liittyy myös ympyräliike ja sen kautta planeettojen liike, gravitaatiolaki ja kiertoradat. Moduulin pääpaino on aaltoliikkeessä, jossa keskitytään mekaanisiin aaltoihin ja ääniaaltoihin. Valon käsittely aaltoliikkeenä tapahtuu myöhemmin. Moduulilla käsitellään myös harmonista liikettä, harmonista energiaa ja harmonista voimaa värähtelijän yhteydessä. Tämän lisäksi tutustutaan aaltojen ominaisuuksiin kuten syntymiseen, heijastumiseen ja etenemiseen. Keskeisiä ovat myös jaksollinen liike, jaksonaika, taajuus ja amplitudi, sekä miten nämä käsitteet ilmenevät värähtelyliikkeessä ja ympyräliikkeessä. [3, s. 254–255]

Moduulilla syvennetään myös osaamista teknisissä taidoissa ja opetellaan sovittamaan yksinkertaisia trigonometrisiä funktioita mittaustetaan. Tietoteknisiin taitoihin lisätään myös FFT-kuvaajan (nopea Fourier-muunnos) tekeminen. Tämän lisäksi harjoitellaan aaltoilmiöiden mallintamista. Moduulilla käsitellään myös työturvallisuutta ottamalla huomioon erilaisten äänten vaikutukset kuuloelimiin. Matemaattisen osaamiseen liittyen opetellaan käyttämään logaritmeja. [3, s. 254–255]

### 5.1.6 FY6 Sähkö

Moduulilla käsitellään sähköoppiin liittyviä ilmiöitä ja käsitteitä. Tärkeitä sisältöjä ovat jännite, virta ja resistanssi, sekä näihin oleellisesti kytkeytyvä Ohmin laki ja Kirchhoffin lait virtapiireissä. Tämän lisäksi käsitellään sähkötehoa Joulen lain mukaisesti, sähkökenttiä ja Coulombin lakia, mutta laskennallisen osaamisen suhteen pitäydytään homogeenisissä sähkökentissä. Näiden yhteydessä käsitellään kondensaattoria ja sen kykyä varastoida energiaa sähkökenttään. Kondensaattorin yhteydessä käsitellään myös läpilyöntiä. Tämän lisäksi moduulilla käsitellään sähkötekniikan sovellutuksia, sähköturvallisuutta, sähkölaitteiden suojausluokitusta ja sulakkeiden toimintaa. [3, s. 255–256]

Moduulilla opetellaan piirtämään ja tulkitsemaan kytkentäkaavioita ja käsitellään eri symbolien merkitystä niissä. Tämän lisäksi opetellaan tekemään yksinkertaisia mittauksia sähköoppiin liittyen ja käsitellään työturvallisuutta sähkölaitteiden kanssa työskenneltäessä. [3, s. 255–256]

### 5.1.7 FY7 Sähkömagnetismi ja valo

Moduulilla käsitellään sähkön ja magnetismin yhteyttä ja valoa sähkömagneettisena ilmiönä. Tämän lisäksi käsitellään sähköenergiaa, sen merkitystä yhteiskunnassa, sen tuotanto- ja siirtotapoja, sekä fysiikkaa näiden takana, sekä sähkömagneettisia aaltoja yleisesti. Moduulin kannalta tärkeää ovat myös sähkömagneettinen induktio, Lenzin laki ja pyörrevirrat. Muita keskeisiä sisältöjä ovat magneettiset dipolit, ferromagnetismi, johdinten magneettikenttä ja voimat johtimien välillä. Moduulilla käsitellään myös tasa- ja vaihtovirtaa, sekä näiden eroja. Sähkömagneettisen säteilyn osalta keskitytään lähinnä näkyvään valoon ja käsitellään sen taittumista, heijastumista, interferenssiä, diffraktiota, sekä polarisaatiota. Sähkömagneettisen säteilyn yhteydessä käsitellään myös sen spektri ja mustan kappaleen säteily. [3, s. 256]

Moduulilla toteutettavista käytännön töistä mainittakoon, että suositeltavia aihepiirejä ovat muun muassa valon taittuminen ja heijastuminen, laserin aallonpituuden selvittäminen hilalla ja magneettivuon tiheyden määrittäminen kelassa. Opetellaan myös hyödyntämään piirto-ohjelmia ja harjoitellaan niiden käyttämistä, sekä käsitellään tilanteita, joissa näitä kannattaa hyödyntää. [3, s. 256]

### 5.1.8 FY8 Aine, säteily ja kvantittuminen

Moduulilla käsitellään maailmankaikkeuden rakennetta, kvanttifysiikkaa, sekä säteilyn eri lajeja ja näiden vaikutuksia. Tämän lisäksi tutustutaan kvanttifysiikan sovelluksiin teknologian näkökulmasta. Moduulilla käsitellään myös energian kvanttitumista absorption ja emission yhteydessä, sekä kvanttiutumiseen perustuva teknologia. Merkittävä osa ajasta käytetään myös maailmankaikkeuden rakenteen käsittelyyn. Tämän lisäksi käsitellään maailmankaikkeuden kehitystä. Ainetta käsitellään hiukkasfysiikan standardimallin avulla ja atomia mallinnetaan käyttämällä aaltomekaanista mallia. Moduulilla käsitellään myös atomia, sen ytimen rakennetta, ydinreaktioita, ytimen sidosenergiaa, sekä elektronien kvanttitiloja. Näihin läheisesti liittyen myös energiantuotantoa ydinvoiman avulla käsitellään sekä fuusion että fission näkökulmasta. Radioaktiivinen hajoaminen, hajoamislaki, ionisoiva säteily sekä sen sovellukset käsitellään myös moduulilla. [3, s. 257]

Uutena tietoteknisenä taitona opitaan eksponenttifunktion sovittaminen mittausdataan. Moduulilla käsitellään myös säteilyturvallisuuutta ja moduulilla käsiteltäviä aihepiirejä voidaan tarkastella simulaatioiden avulla. Tämän lisäksi käsiteltäväksi

ehdotettuja aihepiirejä ovat ilmastonmuutos, kasvihuoneilmiö ja säteilyn lääkinälliset sovellukset. [3, s. 257]

## 5.2 Muutoksen seuraukset

Muutos lukion opetussuunnitelman perusteisiin antaa ymmärtää, että opetuksessa pyritään huomioimaan aikaisempaa paremmin tulevaisuuden haasteet, kuten energiantuotanto yleensä ja energiantuotantotapojen ympäristövaikutukset. Tämän lisäksi opiskelijoiden tietämystä eri energiantuotantotavoista ja näiden tehokkuudesta pyritään lisäämään. Tavoitteena on siis saada opiskelijat huomioimaan myös ympäristövaikutukset valinnoissaan. Näitä seikkoja painotetaan erityisesti uudella kaikille pakollisella *FY2 Fysiikka, ympäristö ja yhteiskunta* -moduulilla.

## 5.3 Energian esiintymismuotojen käsittely lukion moduuleilla

Käsitellään seuraavaksi sitä, miten eri energian esiintymismuodot näkyvät fysiikan opetuksessa lukion moduuleilla. Lukiokohtaiset painotukset opetuksessa vaihtelevat, mutta aihepiireittäin energian esiintymismuodot sopivat perinteisesti parhaiten tietyille moduuleille. Perinteinen tapa käsitellä energian esiintymismuotoja on seuraava: Moduuleilla FY1 ja FY2 käsitellään energiaa yleisesti, sekä tutustutaan energiantuotantoon yhteiskunnallisesta näkökulmasta. Painopiste ei siis ole energian fysikaalisessa käsittelyssä, vaan keskitytään yleisiin asioihin. Lämpöenergiaa käsitellään moduulilla FY3. Mekaanista energiaa, eli translaatioenergiaa, rotaatioenergiaa sekä gravitaatiopotentiaalienergiaa käsitellään moduulilla FY4. Elastista potentiaalienergiaa käsitellään moduulilla FY5. Sähköistä potentiaalienergiaa, sähkökentän energiaa, magneettista potentiaalienergiaa, magneettikentän energiaa sekä sähköenergiaa käsitellään moduulilla FY6. Sähkömagneettisen säteilyn energiaa käsitellään moduulilla FY7. Ytimen sidosenergiaa, massaa ja ionisaatioenergiaa käsitellään moduulilla FY8.

Käsittelyn ulkopuolelle jäävät kemiallinen energia, kvanttiväridynaaminen sidosenergia sekä gravitaatiosidosenergia. Kemiallista energiaa käsitellään kuitenkin syvästi kemian moduuleilla. Kvanttiväridynaamisen sidosenergian käsittely edellyttää lukiotasoa syvällisempää perehtymistä kvanttifysiikkaan. Gravitaatio sidosenergia taas ei ole järin käytännöllinen tai tarpeellinen asia käsiteltäväksi.

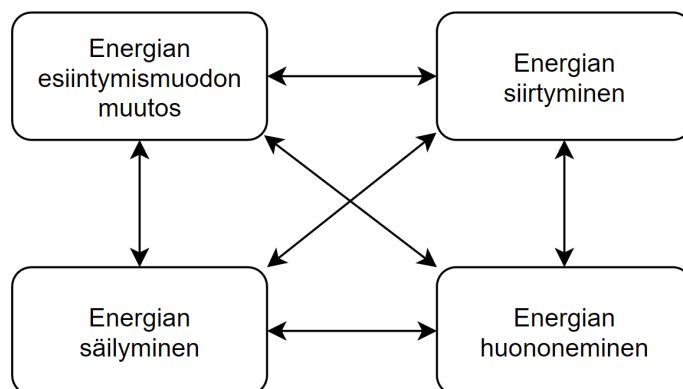
## 6 Opetukseen liittyviä tekijöitä

Tavoitteena energian käsitteen opetuksessa on, että opiskelija saavuttaa seuraavat taitotasot [16, s. 183]:

- Kykenee seuraamaan energian muutosprosesseja
- Tietää kuluttamansa energian määrän ja tietää mistä tämä energia on peräisin
- Osaa arvioida energiaan liittyvän tiedon luotettavuutta
- Kykenee mielekkääseen keskusteluun energiasta
- Pystyy tekemään tietoon perustuvia päätöksiä, sekä ymmärtää päätöstensä seuraukset
- Jatkaa oppimista myös koulutuksen jälkeen

### 6.1 Energian peruskäsitteet

Kuvion 2 ymmärtäminen mahdollistaa energiantuotantoon ja energian siirtymiseen liittyvien ongelmien käsittämisen. Tämä johtaa siihen, että energian keskeinen rooli eri tieteissä avautuu opiskelijalle paremmin. Olemmaita energiaan liittyviä perusajatuksia ovat, että energiaa ei synny tyhjästä eikä se häviä minnekään. Hyödynnetty energia muuttaa muotoaan ja näin energian säilymlakia ei rikota. [16, s. 71]



**Kuvio 2.** Energian peruskäsitteisiin liittyvät vuorovaikutussuhteet. [16, s. 68]

Kuviossa 2 esitetyt käsitteet perustuvat seuraaviin tekijöihin: energian rooli käsitteenä tieteissä, energian käsitteen muuttuminen historian saatossa, opiskelijoilta edellytettävät tiedot ja taidot, sekä opiskelijoiden koulutusta edeltävät käsitykset energiasta [16, s. 68] [29]. Energian käsitteen ymmärtäminen edellyttää kaikkien Kuviossa 2 esitettyjen käsitteiden ymmärtämistä. On tärkeää, ettei mitään näistä sivuuteta, vaan nämä kaikki huomioidaan opetuksessa [16, s. 72]. Kuviossa 2 esitettyjen käsitteiden ymmärtäminen on tärkeässä osassa energiaan liittyvissä kysymyksissä yhteiskunnassa, luonnossa ja teknologiassa. Nämä käsitteet ovat riittäviä, kun ei ole tarpeellista huomioida kvanttifysiikkaan liittyviä ilmiöitä [16, s. 70].

Energian säilymisen ymmärtämiseksi on olennaista ymmärtää myös energian huononeminen. Syynä tähän on, että mikään todellinen prosessi ei ole ideaalinen, vaan energian huononemista tapahtuu aina. Tästä seuraa se, että näennäisesti energian säilymlaki ei pidä paikkaansa. Tilanteen ymmärtäminen edellyttää energian säilymisen ja huononemisen välisen yhteyden ymmärtämistä. [16, s. 71–72] Termodynamiikan toisen pääsäännön mukaan suljetun systeemin prosessit kulkevat suuntaan, joka kasvattaa entropiaa. Tämä tarkoittaa sitä, että eksergia muuttuu väistämättä anergiaksi. Energia siis säilyy, mutta sen hyödynnettävyys laskee [16, s. 72].

Lukiotason näkökulmasta fysiikkaan ei sisälly luonnonlakien perustelua. Luonnonlait otetaan käyttöön aksiomina matemaattisessa mielessä. Energian säilymiselle annetaan tietyt ehdot, joiden on toteuduttava, jotta sitä voidaan soveltaa. Esimerkiksi: jos ilmanvastus ja muut dissipatiiviset voimat jätetään huomiotta, niin mekaaninen energia säilyy. Jos systeemi on eristetty, niin sen ja ympäristön välillä ei siirry energiaa. Periaatteessa Noetherin ensimmäinen lause antaisi vahvan ja loogisen perustan energian säilymisilille. Ongelmaksi tosin muodostuu se, että lauseen ymmärtäminen millään mielekkäällä tasolla ei ole mahdollista lukiotason tiedoilla ja taidoilla. Tämä taas tekee tästä perustelusta soveltumattoman opetuskäyttöön lukiossa.

## 6.2 Yhteiskunta

Elintason ylläpitäminen ja kehittäminen vaativat energiaa. Elintason kohottaminen ja ihmisten määrän kasvaminen nostavat energiantarvetta ja energiasta on tullut yhteiskunnallisesti ja poliittisesti merkittävä tekijä. [16, s. 179] Opetuksessa on pyrittävä siihen, että opiskelijoille syntyy hyvä kokonaiskuva vallitsevasta tilanteesta.

Energian käsitteen opetuksessa on tärkeää huomioida seuraavat tekijät [16, s. 183]:

- Energia on fysikaalinen suure, joka noudattaa tarkkoja luonnonlakeja.
- Maassa tapahtuvat fysikaaliset prosessit ovat seurausta energian virrasta systeemissä
- Biologiset prosessit edellyttävät tätä energian virtaa
- Energian lähteitä käytetään ihmisen toiminnan ylläpitämiseen
- Energiaa joudutaan usein siirtämään paikasta toiseen
- Yhteiskunnan energiantarve riippuu monista tekijöistä
- Ihmisten elämänlaatu on riippuvainen energiaan liittyvistä valinnoista
- Energiaan liittyviin päätöksiin liittyy olennaisesti taloudelliset, poliittiset, ympäristölliset ja sosiaaliset tekijät

### 6.2.1 Ympäristövaikutukset ja ilmastonmuutos

Energiantuotannossa on otettava huomioon ympäristövaikutukset sekä tuotantotapojen kestävyys [23]. Näihin liittyvien ongelmien ymmärtäminen edellyttää energian käsitteen perusteellista ymmärtämistä [16, s. 67]. Energiantarpeen yhteydessä on hyvä käsitellä sitä, miten se on muuttunut ja tulee muuttumaan ajan saatossa eri puolilla maailmaa [54, s. 11]. Tämän lisäksi on hyvä käsitellä laitteiden energiankulutusta [54, s. 12].

Ihmiset tekevät ympäristöystävällisempiä valintoja, kun heidän käsityksensä energiasta paranee. Tämä edellyttää tosin sitä, että ihmisten kulttuurilliset tekijät ja arvot huomioidaan [4, s. 1834–1841]. Ihmisten toiminnan ekologisuutta ei voida suoraviivaisesti selittää yksittäisillä tekijöillä, vaan on huomioitava esimerkiksi henkilökohtainen tietämys, tavat ja tottumukset, sijainti ja asuinpaikka, sosiaalinen ja taloudellinen tilanne sekä elämäntyyli. Myös kulttuurilla voi olla suuri vaikutus siihen, miten energiaan ja sen käytön ympäristöystävällisyyteen suhtaudutaan [76, s. 795–803].

Opiskelijoiden on tärkeää ymmärtää myös hiilen osa luonnon prosesseissa ilmastonmuutoksen takia. Hiili on olennaisessa osassa esimerkiksi seuraavissa ihmisen kan-

nalta keskeisissä prosesseissa: fotosynteesi, biosynteesi, ruuansulatus, käyminen, palaminen ja hapettuminen. On tärkeää ymmärtää myös, miten energia liittyy näihin prosesseihin. Hiili on myös olennaisessa osassa erilaisissa energiantuotantotavoissa. [16, s. 47]

### 6.2.2 Maapallon energiatasapaino

Opetuksen kannalta on hyvä käsitellä myös, miten maapallon energiatasapaino toimii. Maapalloa voidaan pitää pitkälti eristettynä systeeminä. Syynä tähän on se, että vaikka Auringon säteily tuo Maahan energiaa, Maa myös säteilee energiaa ulos avaruuteen saman verran. On myös tärkeää huomata, että maapallon avaruuteen säteilemä energia on laadultaan ja ominaisuuksiltaan niin sanotusti huonompaa verrattuna Auringosta saatuun energiaan. Tästä syystä Auringosta saapuvaa energiavirtaa voidaan hyödyntää. Maan energiatasapainoon vaikuttava tekijä on myös radioaktiivinen hajoaminen Maan pinnan alla.

Maapallon asukkaiden kannalta on olennaista huomata, miten hyödyllisiä eri energian muodot ovat. Eri energianmuodot eivät ole kaikki yhtä hyödyllisiä yhteiskunnalle tai yksittäisille ihmisille. Esimerkiksi asunnon sisällä olevan ilman lämpöenergiaa ei voida hyödyntää samalla tavalla kuin jääkaapissa olevan ruuan kemiallista energiaa. Vastaavasti korkealla mäellä olevan vesivaraston potentiaalienergiaa ei voida hyödyntää ilman, että rakennetaan vesivoimala, jonka turbiinin läpi virtaavan veden kineettistä energiaa saadaan muutettua sähköenergiaksi generaattorin avulla. [59, s. 349]

Eri energianmuodoilla on omat käyttötarkoituksensa ja tapansa, joilla näitä voidaan hyödyntää. Monissa energiantuotantolaitostyypeissä peruseriaate on kuitenkin samankaltainen. Voimaloissa eri energianlähteistä, kuten polttoainesauvoista, hiilestä tai muusta polttoaineesta vapautuva lämpö kuumentaa vettä, joka höyrystyy ja joka pyörittää turbiineja. Tällä tavoin energia saadaan muutettua polttoaineen kemiallisten sidosten energiasta tai ytimen sidosenergiasta kineettisen energian avulla veden lämpöenergiaksi, mikä taas muutetaan turbiinien kineettiseksi energiaksi ja tästä edelleen generaattorin avulla helposti hyödynnettäväksi ja siirrettäväksi sähköenergiaksi. [59, s. 349] Yleinen ongelma tällaisista prosesseissa on kuitenkin se, että osa lämmöstä karkaa ympäristöön, jolloin osa energiasta menee hukkaan: ilmassa olevaa lämpöä ei saada otettua hiukkasilta takaisin, eikä sitä voida ottaa



talteen. Tämän lisäksi esimerkiksi voimaloissa lauhdeveteen siirtynyttä energiaa ei saada hyödynnettyä kokonaisuudessaan.

### 6.2.3 Oppimiseen ja opetukseen vaikuttavat tekijät

Energiaa kannattaa tarkastella myös seuraavina sosiaalisina konstruktioina: energia hyödykkeenä, energia ekologisena resurssina, energia sosiaalisena välttämättömyytenä sekä energia strategisena resurssina [22]. Energian käsitteen opetukseen liittyvät olennaisesti myös ympäristölliset tekijät, kuten yhteiskunta ja kasvuympäristö. Näiden huomioiminen opetuksessa on toivottavaa. Tämä pätee myös toiseen suuntaan. Energian vaikutukset kulttuuriin heijastuvat koulutukseen ja oppimiseen [16, s. 177]. Koulutuksessa siis huomioidaan yhteiskunnan kannalta tärkeitä asioita. Opetuksessa on huomioitava erilaiset lähestymistavat, kuten historia, sosiologia, psykologia, talous, yhteiskunta, matematiikka, tekniikka sekä teknologia [16, s. 181].

Opetuksessa on huomattava, että energiaan liittyvät miellelyhtymät vaihtelevat myös maittain. Esimerkiksi Englannissa opiskelijat mieltävät energian liittyvän ruokaan merkittävästi useammin kuin Saksassa. [16, s. 76] [27, s. 291–301] [63, s. 49–59] Tämä tarkoittaa sitä, että on tärkeää huomioida kulttuurilliset ja lingvistiset tekijät opetuksessa. Se mikä toimii toisessa Maassa ei välttämättä toimi toisessa. Tähän liittyy myös termeihin liittyvät miellelyhtymät. Esimerkiksi potentiaalienergialla on taipumus tulla tulkituksi potentiaalina sille, että on energiaa [16, s. 190].

### 6.2.4 Energiantuotanto ja energiankulutus

Opiskelijoilla on käsitys, että energiaa kuluu ja katoaa kun sitä hyödynnetään esimerkiksi pidetään valoja päällä, käytetään elektronisia laitteita tai valmistetaan ruokaa. Tällaista näkemystä tuetaan mediassa ja esimerkiksi uutisissa energiasta puhutaan tähän tapaan. [16, s. 76]

Energiantuotanto on terminä hankala, sillä energian säilymislaista seuraa, että energiaa ei synny eikä häviä. Energiantuotannolla tarkoitetaan niitä menetelmiä, joilla pystytään muuttamaan energiaa sen esiintymismuodosta toiseen siten, että se on ihmisen näkökulmasta hyödyllistä. [16, s. 31]

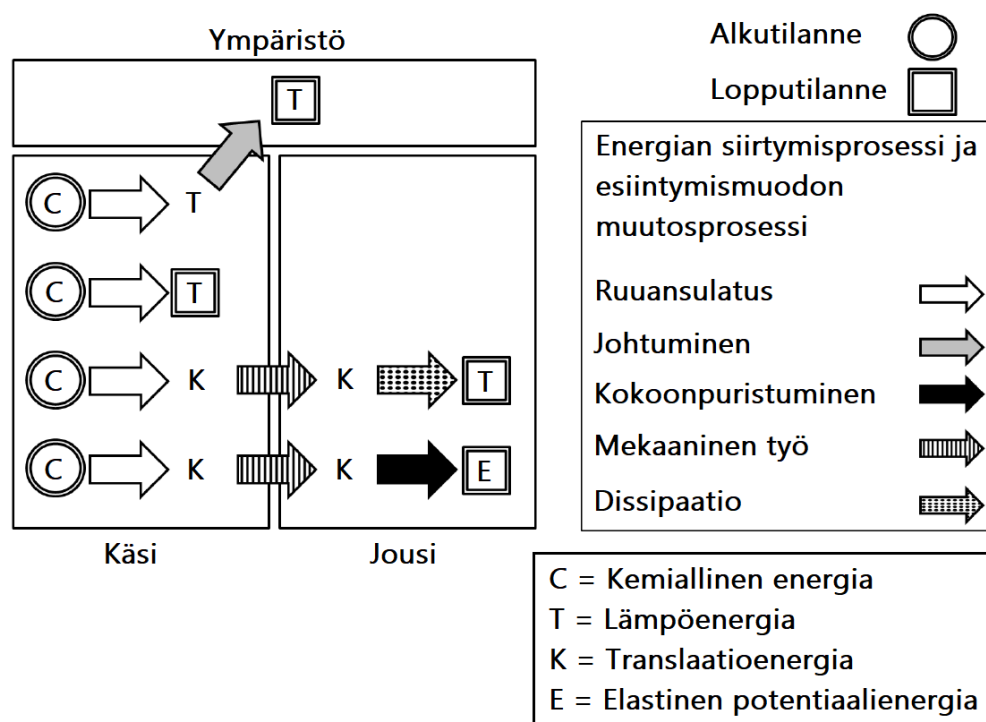
Arjessa fysiikan kannalta merkittävimpiä energiaan liittyviä aihepiirejä ovat luonnonvarat, energiantuotanto ja teollisuus [71, s. 147]. Ihmiset kohtaavat arjessa tilan-

teita, joissa heiltä edellytetään päätöksentekoa näihin liittyvissä kysymyksissä. Valistuneiden päätösten tekeminen edellyttää, että perustiedot energiasta ovat hyvin tunnettuja.

Energiantuotantotavat ovat usein nimetty prosessin kannalta kriittisen tai olennaisen polttoaineen tai mekanismin perusteella. Useat tavat tuottaa energiaa, kuten ydinvoima sekä fossiiliset polttoaineet, hyödyntävät reaktiossa vapautunutta lämpöä. Reaktion avulla kuumennetaan nestettä, joka höyrystyy, paineistuu ja saa turbiinin pyörimään. Turbiinin liike-energia taas saadaan muunnettua generaattorin avulla sähköksi. Fysiikan näkökulmasta energiantuotantotapojen nimeämisessä olisi parantamisen varaa. Esimerkiksi ydinenergialle parempi määritelmä olisi energia, joka vapautuu fission- tai fuusioreaktiossa. [16, s. 27]

Sanat energiantuotanto ja energiankulutus ovat kirjaimellisesti tulkittuna fysiikan näkökulmasta virheellisiä, sillä energiaa ei ilmesty tyhjästä eikä sitä myöskään häviä minnekään. Näiden termien käyttö voi vaikeuttaa opiskelijoiden ymmärryksen kehittymistä. Tästä syystä on tärkeää käsitellä mitä näillä termeillä tarkoitetaan ja miksi nämä nimet ovat harhaanjohtavia. Esimerkiksi energiankulutus terminä voi aiheuttaa sen virhekäsityksen, että energiaa katoaa jonnekin [54, s. 11]. Termien käyttö on kuitenkin vakiintunutta, joten vaihtoehtoisten ilmaisujen käyttäminen ei ole järkevää.

Energiankulutuksella tarkoitetaan niitä prosesseja, joissa energia muuttuu muodosta toiseen siten, että lopputuloksena syntynyt energianmuoto ei ole enää helposti hyödynnettävissä. Useimmiten tämä energianmuoto on esimerkiksi lämpöenergiaa, väliaineen hiukkasten liike-energiaa, tai sähkömagneettisen säteilyn energiaa. Energian näennäinen kuluminen perustuu siihen, että missään prosessissa kaikkea energiaa ei saada hyötykäyttöön. Tämä taas johtuu entropian kasvusta. Energian säilymisen kannalta on tärkeää muistaa, että vaikka osa energiasta menee hukkaan lämpönä, äänenä tai vastaavana energian muotona, niin kokonaisenergia säilyy [16, s. 31].

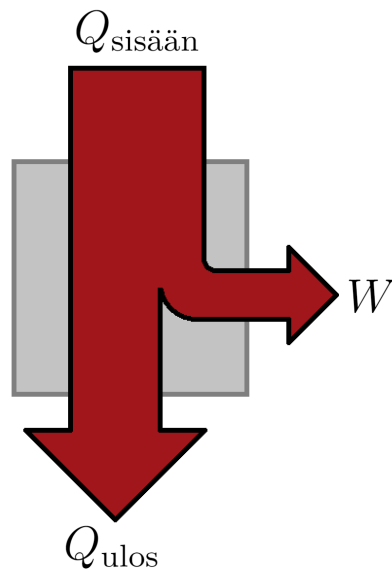


**Kuvio 3.** Energian seurantadiagrammi tilanteesta, jossa kädellä painetaan vakionopeudella joustaa kasaan. [21, s. 116] (muokattu)

### 6.3 Kuvaajien käyttö opetuksessa

Fysiikassa on tavallista hyödyntää erilaisia kuvaajia ja diagrammeja tiedon välittämisen helpottamiseksi. Oleellista on muistaa käyttää kuvaajia ja diagrammeja oikeissa ja mielekkäissä asiayhteyksissä. Kuvaajassa tai diagrammissa on olennaista sen vastaavuus edustamansa tieteellisen mallin kanssa. Kuvaajien käyttämisen oppiminen on yleisesti olennaista fysiikan opetuksessa. Tästä syystä opiskelijoiden laatimista diagrammeista on myös tärkeää antaa palautetta, jotta opiskelija ymmärtää mitä on mahdollisesti käsittänyt väärin. [41, s. 15] Energian seurantadiagrammi Kuviossa 3 voi auttaa ymmärtämään energian säilymistä ja huononemista. Tällaisissa diagrammeissa tarkastellaan energian esiintymismuodon muutoksia erilaisissa prosesseissa. Tämän lisäksi käsitellään muutosprosessien luonnetta.

Termodynamiikassa käytetyn lämpövoimakoneen toimintaperiaatetta kuvaa Kuvio 4. Tällaista kuviota voidaan kuitenkin soveltaa myös muualla fysiikassa. Ideana on, että energiavuo on leveydeltään vakio, mutta haarautuu eri kohdissa. Perusidea on siis sama kuin Sankey-diagrammissa, joka on esitetty Kuviossa 8. Tällaisten



**Kuvio 4.** Lämpövoimakoneen toimintaperiaate. Osa energiasta menee sisään lämpönä  $Q_{\text{sisään}}$  ja osa tulee ulos lämpönä  $Q_{\text{ulos}}$ . Vain osa energiasta saadaan hyödynnettyä työnä  $W$ .

kuvioiden käyttäminen auttaa energian säilymisen hahmottamisessa

Energian säilymisen yhteydessä on hyvä käsitellä virtausdiagrammeja, jotka auttavat ymmärtämään energian esiintymismuotojen muuttumista prosessin edetessä [16, s. 79]. Esimerkki tällaisista diagrammeista on Sankey-diagrammi, joka on esitetty Kuviossa 8.

Energian pylväsdigrammien on havaittu parantavan opiskelijoiden ongelmanratkaisukykyä sopivissa tilanteissa. Tämä perustuu siihen, että pylväsdigrammien avulla opiskelijat voivat hahmottaa ongelman paremmin ja pilkkoa ongelman palasiin [77, s. 254–255]. On kuitenkin huomattu, että pylväsdigrammit eivät ole yhtä toimivia kuin virtausdiagrammit ja energian seurausdiagrammit. [41, s. 15]

## 7 Opetuksen haasteet ja eri lähestymistavat

Energian käsitteen opetukseen liittyy lukuisia haasteita. Energian käsitteen opetuksessa on ollut tapana keskittyä lähinnä laskentatekniseen puoleen ja sivuutettu käsitteen teoreettinen osuus. On siis keskitytty opettamaan energiaa työkaluna, jota käytetään ohjeistetulla tavalla idealisoiduissa fysiikan harjoitustehtävissä. [16, s. 67] [16, s. 78] [13, s. 739–761]

Energian käsite on liian tärkeä, jotta sitä voitaisiin opettaa vain sanan täsmällisessä merkityksessä fysiikassa [54, s. 6]. Energia kytkeytyy monilla tavoilla ihmisten elämään ja ympäristöön ja näiden tapojen käsittely on tärkeää, jotta opiskelijoille syntyy koherentti ymmärrys käsitteestä.

### 7.1 Energian käsitteen määrittely

Fysiikan näkökulmasta perustavanlaatuisen ongelman energian käsitteen opettamisessa on, että sille ei ole löytynyt määritelmää, joka olisi samanaikaisesti tieteellisesti tarkka, fyysikoiden hyväksymä sekä opiskelijoille sopiva [16, s. 210] [36, s. 118]. Itse asiassa on havaittu, että tällaisen määritelmän kehittäminen ei ole edes mahdollista. Mahdolliset tieteellisesti tarkat määritelmät ovat väistämättä liian monimutkaisia ymmärrettäväksi ilman syvällistä perehtymistä fysiikkaan ja matematiikkaan. Energian käsitteen monimutkaisuus perustuu lopulta sen abstraktiin ja matemaattiseen luonteeseen, joka tekee sen käsittelystä haasteellista.

Energia käsitteenä on ollut olemassa jo ennen sanan käyttöönottoa tieteellisessä kontekstissa. Sanan aikaisempi merkitys rajoittui muun muassa fyysiseen ja/tai henkiseen kestävyys, henkisyys sekä elinvoimaisuuteen eliöiden tai paikkojen yhteydessä. [16, s. 162] Sanakirjat New Oxford Dictionary (3. painos), Merriam-Webster Thesaurus, Dictionary.com ja Longman Dictionary of Contemporary English antavat edellä mainitut määritelmät energian käsitteelle. Näiden lisäksi määritelmäksi tarjotaan usein kykyä tehdä työtä sekä ihmisten hyödyntämiä energianlähteitä. Edellä mainitut määritelmät energialle ovat edelleen käytössä eri konteksteissa. Energian käsitettä siis käytettiin ennen kuin sitä alettiin käyttää sanan tieteellisessä mer-

kityksessä. Tämä taas on johtanut nykytilanteeseen, jossa energialla tarkoitetaan arjessa eri asioita kuin tieteessä. [16, s. 161] [34, s. 491–520]

Sekavat ja epätarkat määritelmät aiheuttavat ymmärrettävästi opiskelijoissa hämmennystä ja vaikeuttavat oppimista. Arjessa käytetyt tieteelliset termit johtavat usein väärinymmärryksiin termien tieteellisistä merkityksistä. Tästä syystä on tärkeää käsitellä termien eroja arjen ja tieteellisen kontekstin välillä. [16, s. 35] [54, s. 3] Vaikka fysiikan opetuksessa voi olla hyödyllistä antaa opiskelijoiden määritellä käsitteitä itsenäisesti ja oppia tällä tavoin, tällainen lähestymistapa ei kuitenkaan sovellu energian käsitteen opetukseen [16, s. 209].

## 7.2 Auktoriteettien eriävät mielipiteet

Eräs merkittävä ongelma energian käsitteen opetuksessa on, että opettajilla ja muilla asiantuntijoilla ei ole yhtenäistä näkemystä siitä, miten sitä tulisi opettaa. On havaittu, että ihmisillä on sekä akateemisessa maailmassa että sen ulkopuolella monia käsityksiä energiasta, jotka poikkeavat yleisesti niin sanotuista normeista [16, s. 103]. Tämän lisäksi oppikirjat ja opettajat eivät ole välttämättä johdonmukaisia, kun käsitellään energiaa [71, s. 147] [8, s. 182–191]. Tämän lisäksi opettajilla ei välttämättä ole edes pyrkimystä olla riittävän tarkka energian käsitteen kanssa, sillä heillä on vaihtelevia käsityksiä siitä, miten tarkkoja fysikaalisten mallien on oltava milläkin koulutusasteella [71, s. 152]. Looginen seuraus on, että myös opiskelijat käyttävät energian käsitettä epätieteellisesti [16, s. 76] [28, s. 188].

Eräs syy eriäviin mielipiteisiin on energian käsitteen abstraktius, joka johtaa ongelmia käsitteen selittämisessä yksinkertaisten termien avulla. Toinen merkittävä ongelma on energian käsitteen eri merkitykset arjessa ja tieteessä [16, s. 187]. Energian käsitettä myös opetetaan perinteisesti siten, että eri tieteissä ja moduuleilla energiaa käsitellään vain kyseisen kontekstin puitteissa, joka johtaa hajanaiseen käsitykseen energian luonteesta [16, s. 215–216].

Ongelmia tuottaa myös tapa, jolla energian käsitettä pyritään hahmottamaan. Yksinkertaisten käsitteiden opettaminen opiskelijoille perustuu usein siihen käsitykseen, että oppiminen tapahtuu käsitteiden määritelmien avulla. Ongelmana tässä on energian kannalta se, että energian määrittely on vaikeaa ja vaikka se pystytäisiin määrittelemään tarkasti, olisi määritelmä liian vaikea sovellettavaksi. Näin

ollen tämäntyyppinen lähestymistapa on energian käsitteen kanssa lähtökohtaisesti ongelmallinen [16, s. 15] [19].

Energian käsittely substanssina eli aineena on jakanut mielipiteitä. Tämä tarkoittaa sitä, että energian ajatellaan olevan abstraktin konseptin sijasta jotain konkreettista. On havaittu, että tällaisella opetustavalla on pedagogisia etuja ja esimerkiksi energian säilyminen on helpompaa omaksua tällä tavoin. Vastakkainen näkemys on, että energiaa tulisi pitää abstraktina matemaattisena käsitteenä ja joka voidaan esitellä esimerkiksi työn käsitteen avulla. [26, s. 175–176] Energian käsittelyä substanssina on käytetty fysiikan opetuksessa esimerkiksi Saksassa.

Energian esiintymismuotojen käyttämisestä työkaluna termodynamiikan opetuksessa on myös tutkittu. Johtopäätöksenä on, että energian käsittelemisellä substanssina on joitain etuja, eikä tämä lähestymistapa johtanut virheellisiin ajatusmalleihin termodynamiikassa. [46, s. 81–95] [46, s. 119–137]

### 7.3 Substanssi vai abstrakti

Yksi näkemys on, että energiaa tulisi opettaa eräänlaisena substanssina tai fluidina. Opetuksen kannalta tämä voi olla hyödyllistä, sillä vaikka tällainen käsitys ei ole fysikaalisesti oikein, voidaan tällaista näkemystä hyödyntää energian todellisen olemuksen ymmärtämisessä. Erityisesti energian säilymisen kannalta järkevä esimerkki tästä on joessa virtaava vesi ja vesivoimala. [16, s. 74] [72, s. 295–297] [28, s. 185–200] Energian käsittelemisellä substanssina on myös muita etuja, kuten käsitteen vaikeammin hahmotettavien ominaisuuksien ymmärtämisen helpottaminen [16, s. 75] [16, s. 190]. Toisaalta energian käsittelemisen substanssina ei ole havaittu auttavan oppimista mekaniikan saralla. Tämä lähestymistapa myös eroaa merkittävästi korkeakoulujen tavasta opettaa energian käsitettä [16, s. 75] [65]. Tätä lähestymistapaa energian käsitteen opetuksessa on kritisoitu myös muilla tavoilla. [16, s. 75] [43, s. 1074–1076] [42, s. 49–58]f

Merkittäviä haittoja energian käsittelyssä substanssina ovat, että lähestymistapa on tieteellisesti väärä sekä se, että tällainen opetus voi haitata oppimista jatkossa. Toinen näkemys on, että energiaa tulisi pitää abstraktina matemaattisena konstruktiona. Yksi tapa tarkastella energiaa tällä tavalla on työn avulla, jolloin energian käsitteen opetuksessa tulisi lähteä liikkeelle työhön liittyvästä määritelmästä. [72,

s. 295–297] [73, s. 8–9] Tämän lähestymistavan ongelmana on, että tässä sidotaan energian käsite tilanteisiin, jotka liittyvät mekaniikkaan. Tällöin sivuutetaan se, että energia on laaja-alainen ja monitieteellinen käsite [16, s. 73] [16, s. 190]. Tämän lisäksi energian määrittelyminen kykynä tehdä työtä johtaa ongelmiin eksergian ja anergian kanssa.

## 7.4 Filosofinen lähestymistapa

Energian käsitettä opetetaan perinteisesti siten, että eri tieteissä ja moduuleilla energiaa käsitellään vain kyseisessä asiayhteydessä, joka johtaa hajanaiseen käsitykseen energian luonteesta. Energian käsitteen filosofisella määrittelyllä voidaan välttää tällainen ongelma [16, s. 215–216].

Ontologia on filosofian ala, joka käsittelee olemassaoloa. Tähän liittyy oleellisesti, että tutkitaan mitä on olemassa, minkälaisia käsityksiä ihmisillä on siitä, minkälaisia ominaisuuksia näillä asioilla on, minkälaisia suhteita näiden asioiden välillä on. Fysiikan opetuksessa on ollut tapana kehittää energialle ontologisia metaforia. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että energian käsitteen opetukseen on kehitetty kielikuvia, joiden avulla on pyritty selittämään energian eri ominaisuuksia [24, s. 129].

Energialle on havaittu kolme opiskelijoiden ja asiantuntijoiden käyttämää ontologiaa, jotka ovat substanssi, stimulus ja potentiaali. Näillä tarkoitetaan seuraavia asioita:

- Substanssi: energia on jotain, jota kappaleet pitävät sisällään (lämpöenergia, polttoaine)
- Stimulus: energia vaikuttaa kappaleisiin.
- Potentiaali: kappaleet ovat korkeammalla tai matalammalla energiatasolla (gravitaatiopotentiaalienergia, elektronikuoret).

Näistä ainoastaan stimuluksen voidaan ajatella olevan tieteellisesti epätarkka, sillä se on ainoa, jota asiantuntijat eivät käytä. [61] [24, s. 129]

Eri ontologiat eivät ole tosia sanan varsinaisessa merkityksessä. Ei ole siis totuu-



denmukaista sanoa esimerkiksi, että energia on substanssi. Tällaisilla malleilla on kuitenkin etunsa opetuskäytössä ja onkin havaittu, että tällaisten mallien hyödyt ovat suurempia kuin haitat. [24, s. 129]

Kaikki fysiikan mallit ovat jollain tavalla epätarkkoja eivätkä täysin vastaa todellisuutta. Mallit kuitenkin auttavat ymmärtämään monimutkaisia ja vaikeasti ymmärrettäviä fysiikan ilmiöitä, joten niiden hyödyllisyyttä yleisesti ei voida kiistää. [11, s. 791–799] Metaforien käyttö voi helpottaa opiskelijoita ymmärtämään tieteen käsitteitä [31, s. 649–672]. On kuitenkin muistettava, että metaforat eivät täysin vastaa kuvaamaansa tilannetta. Oppimisen kannalta on tärkeää ymmärtää erot todellisen tilanteen ja metaforan välillä. [39, s. 1129–1149]

Energian käsitteen määrittelylle on esitetty filosofista lähestymistapaa. Tavoitteena tässä on, että energian käsitteen opettaminen perustuu siihen, että pohditaan syitä energian käsitteen olemassaololle. Tämän jälkeen aletaan luomaan perustaa sille mitä ominaisuuksia ja aspekteja energian käsitteeseen liittyy. Erityisesti energian säilyminen, esiintymismuodot, siirtyminen ja huononeminen ovat tällaisia olennaisia käsitteitä. Ideana on luoda ymmärrys siitä, minkälainen konstruktio energia on, mikä sen tarkoitus on ja miksi se on tärkeä käsite ymmärtää. Erityisesti on olennaista havaita, että energia on poikkitieteellinen ja laaja-alainen käsite sekä ymmärtää miten sitä voidaan hyödyntää erilaisten tilanteiden mallintamisessa ja käyttäytymisen ennustamisessa. [16, s. 210–213] [17, s. 161–186] [57, s. 961–979]

## 7.5 Monitieteellinen lähestymistapa

Energia on tärkeä käsite kaikilla tieteenaloilla. Tästä syystä on koettu tärkeäksi tutkia miten opiskelijat käsittävät energian käsitteen, miten käsitys muuttuu opetuksen seurauksena ja miten käsitystä voi muuttaa opetuksen avulla. [16, s. 63] Energian opetuksessa on erityisen tärkeää tuoda esille, että myös muilla tieteenaloilla esiintyvä energia on samaa energiaa mitä fysiikassa käsitellään ja siihen pätevät samat lainalaisuudet.

Monitieteellisellä lähestymistavalla tarkoitetaan oppiaineiden rajat ylittävää opetusta. Esimerkiksi energian tapauksessa ideana on, että tarkastellaan sen esiintymistä eri tieteenaloilla. Tämä menetelmä ei ole kovin yleisesti käytössä. Tämä johtaa yleisestikin siihen, että opittu asia on irrallaan yhteyksistään, eikä sitä pystytä yhdistä-

mään laajempaan kokonaisuuteen [16, s. 135]. Edes korkeakouluissa ei ole yhtenäistä näkemystä siitä, miten energiaa tulisi käsitellä poikkitieteellisesti. Tämä on merkittävä syy sille, miksi opiskelijat kokevat yhteyksien muodostamisen vaikeaksi [16, s. 35]. Monitieteellistä lähestymistapaa vaikeuttaa myös se, että muilla tieteenaloilla on haastavaa soveltaa samaa lähestymistapaa kuin fysiikassa. Ei siis voida esittää idealisoitua systeemiä, johon sovelletaan esimerkiksi energian säilymlakia fysiikan tapaan. Varsinkin biologiassa tämä on tuottanut merkittäviä ongelmia. [16, s. 49]

Käytännön opetuksen näkökulmasta on tärkeää, että käytetään monipuolisia esimerkkejä. Syynä tähän on se, että toivottava lopputulos on opiskelijoiden näkökulmien avartuminen ja kattavan käsityksen paraneminen. [16, s. 49] [16, s. 129]. Tärkeänä monitieteellisenä käsitteenä energia nitoo eri tieteenalat yhteen ja jonka avulla voidaan kehittää tiedekeskeistä maailmankuvaa [16, s. 157] [20]. Tällaista oppiaineiden rajat ylittävää lähestymistapaa ei juuri käytetä [16, s. 136]. Erityisesti olisi toivottavaa, että opetus suunnitelmassa huomioitaisiin energian käsitteen opetuksen vaiheittainen poikkitieteellinen käsittely [16, s. 190].

## 7.6 Systemaattinen lähestymistapa

Eräs tapa opettaa energian käsitettä on käyttää systeemejä. Systeemillä tarkoitetaan rajattua kokonaisuutta, johon tarkastelu pääasiassa rajoittuu. Systeemin valintaan liittyy oleellisesti myös sen reunojen valinta. Energian käsitteen opetusta systeemien avulla on tutkittu ja on havaittu, että tällaisen lähestymistavan etuja ovat muun muassa energian käsite yhdistävänä tekijänä fysiikan alojen välillä, järjestelmällinen lähestymistapa ongelmanratkaisussa, sekä tärkeiden ja perustavanlaatuisien kysymysten herättäminen [71, s. 148]. Erityisesti suositellaan lähestymistapaa, joka keskittyy systeemeihin ja jossa painotetaan systeemiin saapuvaa ja systeemistä poistuvaa energiaa [26, s. 176]. Systemaattinen lähestymistapa on monikäyttöinen ja tehokas työkalu tietynlaisten ongelmien ratkaisemiseen, mutta vaatii paljon sekä opiskelijoilta että opettajilta. Tämän lisäksi systemaattista lähestymistapaa voidaan soveltaa myös fysiikan ulkopuolelle [71, s. 153].

Systemaattinen lähestymistapa on jo yleisessä käytössä termodynamiikan opetuksessa. Systeemin tulevaan energiaan ja systeemistä poistuvaan energiaan sovelletaan termodynamiikan ensimmäistä pääsääntöä, jonka avulla saadaan systeemin sisäenergian muutos [71, s. 148]. Toivottavaa olisi kuitenkin, että systeemien käyttöä

laajennettaisiin myös esimerkiksi muille soveltuville fysiikan osa-alueille.

Termodynamiikan toisesta pääsäännöstä seuraa, että systeemin tila kehittyy suuntaan, joka maksimoi maailmankaikkeuden entropian [16, s. 319]. On osin harhaanjohtavaa ajatella, että energia aiheuttaa muutoksia systeemissä. Energiaa voidaan ajatella abstraktina suurena, joka liittyy systeemin tilaan [53, s. 1]. Tavat, joilla systeemin tila voi kehittyä, ovat systeemin energian rajoittamia, mutta energia itsessään ei aiheuta muutoksia systeemissä [16, s. 73]. Energian avulla voidaan siis tunnistaa rajoitteet sille, miten systeemin tila voi kehittyä. Systeemin kehitystä tutkiessa on myös tärkeää erottaa aine ja energia toisistaan [16, s. 60]. Energia itsessään ei ole mekanismi. Entropia liittyy olennaisesti energian huononemiseen ja termodynamiikan toiseen pääsääntöön. Systeemien prosessien eteneminen voidaan selittää tarkemmin entropian kasvun avulla [54, s. 10]. Tämän avulla selviää esimerkiksi, miksi lämpötilaerot tasoittuvat ja miksi epästabiliitit systeemit pyrkivät stabiileiksi [16, s. 34]. Mikä tahansa suljetun systeemin prosessi johtaa entropian kasvamiseen, mikä taas johtaa siihen, että mahdollisten jatkossa tapahtuvien prosessien määrä laskee [16, s. 71]. Universumin energia on vakio ja universumin entropia kasvaa. Laajemmassa mittakaavassa prosessit ovat irreversiibeileitä [16, s. 176]. Prosessien tapahtuminen selittyy siis entropian, eikä energian avulla. Energia kuitenkin asettaa rajoitteet sille, miten prosessi voi edetä.

Termodynamiikan toinen pääsääntö on olennaisessa osassa energian mallintamisessa, sillä tämä liittyy vahvasti energian huononemiseen ja prosessien irreversiibeilyteen. Tämän ymmärtäminen on olennaista energian säilymislain kannalta [21, s. 114]. Energian säilyvyyden ymmärtäminen on edellytys sille, että opiskelijat voivat mallintaa systeemin kehitystä, sekä energian muutos- ja siirtymisprosesseja [16, s. 58]. Eristetty systeemi ei vaihda energiaa ympäristönsä kanssa. Systeemin energia on tällöin vakio, eikä mikään systeemin prosessi voi muuttaa tätä [16, s. 73]. Systeemin energian absoluuttisella arvolla ei ole väliä, ellei tarkoituksena ole rakentaa systeemiä. Esimerkki tällaisesta tilanteesta on aineen luominen energiasta hiukkaskiihdyttimien avulla [16, s. 29]. Useimmiten onkin olennaista miettiä muutoksia systeemin energian esiintymismuodoissa.

Energian käsitteen opettaminen systeemien avulla on osoittautunut joiltain osin haastavaksi. Esimerkiksi opetustapa ei ole kovin yksinkertainen ja voi johtaa ongelmatilanteisiin, joiden selittäminen on vaikeaa [71, s. 147]. Muita lähestymistavan on-

gelmia ovat systeemin rajojen valinnan vaikeus. Tämän lisäksi sekä tulevan energian että poistuvan energian määrittäminen on osoittautunut haastavaksi. Tämän lisäksi myös systeemin sisäenergia on aiheuttanut opiskelijoille päänvaivaa [71, s. 150]. Tästä syystä on hyvä selvittää tehtävänannoissa systeemin rajat.

Systeemin rajojen valinta edellyttää käsiteltävän laitteen toimintaperiaatteen tuntemista, mikä aiheuttaa ongelmia. Tämän lisäksi yleinen käsitys siitä, että energiaa vaaditaan liikkeen ylläpitämiseen, aiheuttaa sekaannuksia monille [71, s. 151]. On myös havaittu, että opiskelijoille syntyy käsitys, että työ ja lämpö ovat energiaa [71, s. 152].

Fysiikan lakien soveltaminen realistisiin tilanteisiin on haastavaa ja onkin käytännössä mahdotonta tehdä tarkasti lukiotason tiedoilla ja taidoilla. Tästä syystä systeemeitä käsitellään idealisoituina tilanteina, joissa on tarkoituksella jätetty huomioimatta tekijät, jotka vaikeuttavat systeemin mallintamista liikaa. Näin ei kuitenkaan välttämättä voida tehdä muilla tieteenaloilla, joissa systeemien kompleksisuus on olennaisessa osassa. [16, s. 49] Tämän lisäksi ei ole varmuutta siitä, pitäisikö energiaa käsiteltäessä puhua energian eri esiintymismuodoista, kuinka opiskelijoille opetetaan tehokkaasti systeemin analysointia energian ja sen säilymisen avulla, sekä kuinka opiskelijat saadaan erottamaan eksergia ja anergia toisistaan [16, s. 64]. Systemaattisella lähestymistavalla ei myöskään voida ratkaista tilanteita, joissa energia tulee systeemin sisältä. Esimerkkejä tällaisista tilanteista ovat pyöräilijä, auto ja helikopteri [71, s. 153].

## 8 Opetukseen liittyviä huomioita

Opetusta suunniteltaessa on kiinnitettävä huomiota sekä opetuksen tieteelliseen asiasisältöön, että opiskelijoiden aikaisempiin käsityksiin, oppimistapoihin ja niihin liittyviin tekijöihin [16, s. 69] [32, s. 13–37]. Opetuksessa on tärkeää tietää, milloin on oltava eksakti määritelmien ja termien käytön kanssa ja milloin liiallinen fyysikaalinen eksaktius aiheuttaa vain turhaa hämmennystä [16, s. 24]. Yleisesti on hyvä pysähtyä miettimään ja pohtimaan mitä ollaan tekemässä ja mihin se perustuu sen sijaan, että keskityttäisiin yksinomaan fysiikan teknisen ja matemaattisen osaamisen kehittämiseen. Energian kytköksiä fysiikan ulkopuolelle, kuten termin käyttöön arjessa on myös hyvä kiinnittää huomiota. Erityisesti energian käsitteen historiallisessa tarkastelussa on oltava tarkkana, jotta vältetään sekaannuksilta [16, s. 16] [18].

Konstruktivistiset lähestymistavat energian käsitteen opettamisessa on todettu toimivammiksi kuin perinteiset lähestymistavat [16, s. 77] [69, s. 343–354] [70, s. 1–10]. Konstruktivistisilla lähestymistavoilla tarkoitetaan sellaisia opetusmenetelmiä, joissa hyödynnetään opiskelijoiden aikaisempaa tietoa ja kokemuksia ja hyödynnetään niitä opetuksessa. Esimerkiksi energian käsitteen opetuksessa on hyvä lähteä liikkeelle kartoittamalla opiskelijoiden käsityksiä energiasta ja siirtyä rakentamaan niistä tieteellisesti tarkempaa käsitystä [16, s. 81] [25]. Energian käsitteen opetuksessa ei ole hyvä tukeutua liiaksi yleiseen määritelmään, jonka mukaan energia on kyky tehdä työtä. Syynä tähän on, että tarkemmin tarkasteltuna kyseessä on kehäpäätelmä. Tämän lisäksi tämä lähestymistapa ei mahdollista syvällisemmän ymmärryksen syntymistä [16, s. 32] [37, s. 664–674].

Termejä energianlähde ja energiantuotanto on hyvä käsitellä kielellisessä kontekstissa ja tehdä selväksi mitä niillä tarkoitetaan fysiikassa. Tämä on erityisen tärkeää, sillä termien nimistä voi helposti syntyä väärinkäsityksiä, kuten energian syntymisen tyhjästä. [54, s. 11]

Ongelmat syvällisemmästä energian käsitteen ymmärryksen puutteesta johtuvat pit-

kähti käsitteen opetuksesta aiemmilla koulutusasteilla [16, s. 67] [49, s. 189–202], eikä ole riittävästi tutkimustietoa siitä, voidaanko opiskelijoiden virhekäsityksistä saada johdettua oikeanlaista tieteellistä käsitystä energiasta [16, s. 64]. Ongelmana opetustavoissa on myös, että useille opiskelijoille ei tule koskaan niin sanottua ahaa-elämystä energian opetuksessa, vaan ymmärrys jää puutteelliselle ja pirstaleiselle tasolle [16, s. 130]. Tämä taas johtaa siihen, etteivät opiskelijat käytä oppilaitoksessa opetettua tieteellistä kieltä selittäessään energiaan liittyviä prosesseja tai energiaan liittyviä tilanteita arjessa [16, s. 77] [16, s. 78] [7].

On suositeltavaa, että energian käsitteen opetuksessa huomioidaan seuraavat tekijät. Osa listan asioista soveltuu myös muiden fysiikan käsitteiden opetukseen [16, s. 195–196]:

- Käytetään opiskelijoille tuttuja termejä ja pyritään rakentamaan ymmärrystä näiden pohjalta
- Keskitytään tilanteisiin, jotka ovat tuttuja arjessa ja pyritään selittämään näitä
- Kehitetään opiskelijoiden ymmärrystä energiasta arjessa
- Energian painottaminen suurena
- Energiaan liittyvien käsitteiden esille tuominen, kuten säilyminen, siirtyminen ja huononeminen
- Energiaa ei tule käsitellä syynä prosessien tapahtumiselle
- Energian esiintymismuotojen käsittelyssä tulee keskittyä siihen, minkälaisissa muodoissa energiaa voidaan varastoida

## 8.1 Sidosenergiat

Opiskelijoilla ei ole syvällistä ymmärrystä potentiaalienergian luonteesta, eikä opittua tietoa osata soveltaa erilaisten tilanteiden ratkaisemiseen [50, s. 15]. Opiskelijoilla on hankaluuksia ymmärtää mitä negatiivisella energialla tarkoitetaan. Esimerkiksi jos kappale on potentiaalienergian nollatason alapuolella, on kappaleen potentiaalienergia negatiivinen. Olennaisesti myös sidosenergiat aiheuttavat tästä syystä väärinkäsityksiä. [24, s. 129–130]

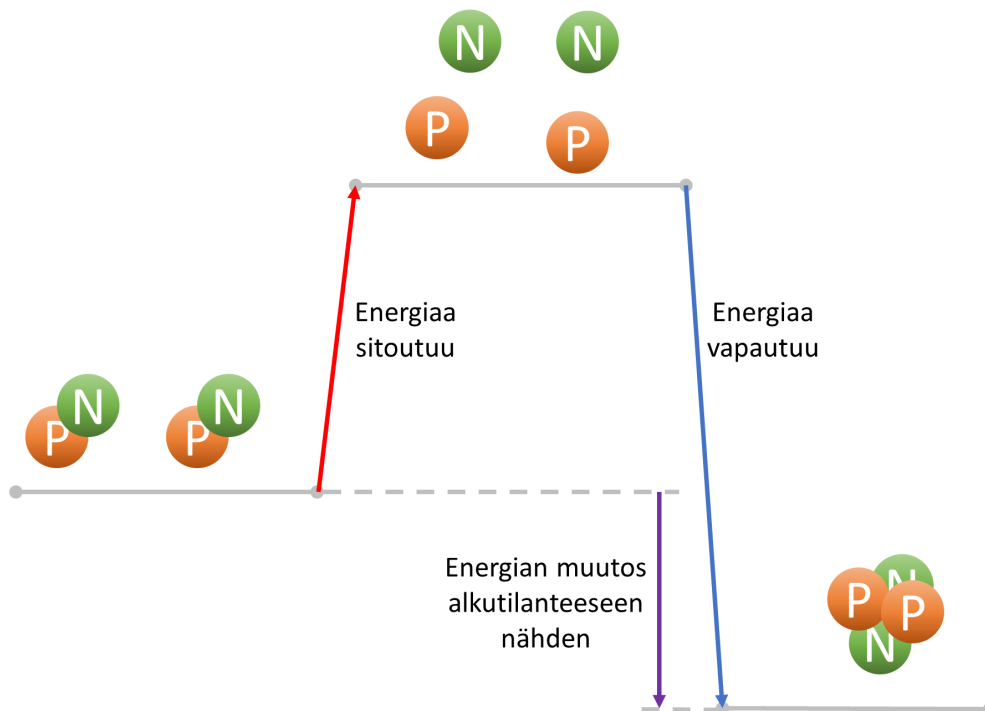
Sidosenergiat ovat melkein aina positiivisia. Sidosenergiat perustuvat massavajeeseen, sillä sidosten muodostuessa vapautuu energiaa tämän mukaisesti. Tämä selittää myös sen, miksi raskaiden alkuaineiden, joiden massavajeet ovat negatiivisia, sidosenenergiat ovat negatiivisia.

Käytännön näkökulmasta massa säilyy kemiallisissa prosesseissa, sillä kemiallisiin sidoksiin liittyvät muutokset massassa ovat suuruusluokaltaan marginaalisia. Tästä syystä niitä ei ole tarpeellista huomioida. On kuitenkin tärkeää huomata, että staabiilin molekyylin massa on aina pienempi kuin sen muodostamien atomien massojen summa. [16, s. 25–26] Tämä pätee myös molekyylien välisiin sidoksiin. Esimerkiksi jäällä ja vedellä on eri määrä energiaa, vaikka molempien lämpötila olisi sama. Ero voidaan selittää näiden sidosten avulla. [16, s. 21]

Polttoaineen tai ruuan energian hyödyntäminen edellyttää sellaista kemiallista reaktiota, jossa tämä energia vapautuu. Ruuan tapauksessa on kyse monimutkaisesta sarjasta kemiallisia reaktiota, jotka lopulta johtavat tilanteeseen, jossa sidosenenergiat ovat matalampia, jolloin energiaa vapautuu. [16, s. 22] Kompastuskivenä on, että energian hyödyntäminen edellyttää esimerkiksi hapen tai muiden ulkoisten tekijöiden huomiointia. Ongelmia tuottaa siis se, että energiaa ei saada suoraan käyttöön tai hyödynnettyä, vaan tarvitaan jokin ulkoinen elementti tai katalyytti. [16, s. 23]

Ydinreaktiossa vapautuva energiamäärä on niin suuri, että ero massassa on paljon suurempi kuin kemiallisissa reaktioissa. Kemiallisissa reaktioissa ei tavallisesti havaita tai huomioida muutosta massassa. [16, s. 28] Sidoksissa vapautuvaa ja sitoutuvaa energiaa voidaan käsitellä esimerkiksi Rossin diagrammin avulla, joka on esitetty Kuviossa 5.

Suhteellisuusteorian avulla saadaan liitettyä energian käsitteeseen massa ja liikemäärä. Aineen massa kasvaa sen nopeuden kasvaessa. Massa itsessään on myös perustavanlaatuisella tavalla ekvivalentti energian kanssa. [16, s. 68] Useimmiten suurin osa energiasta on sidoksissa kappaleen massaan [16, s. 190]. Syvällisempi tarkastelu kuitenkin osoittaa, että protonien ja neutronien massasta vain pieni osa on seurausta kvarkkien massasta. Valtaosa näiden massasta tulee kvarkkien välisestä vuorovaikutuksesta Higgsin kentässä. [16, s. 18]



**Kuvio 5.** Rossin diagrammi (1993) [54, s. 17]. Energia sidosten muodostumisissa kevyillä alkuaineilla. Huomattavaa on, että kokonainen atomiydin on energeettisesti edullisemmassa tilassa verrattuna tilanteeseen, jossa atomit ovat irrallaan.

## 8.2 Energian peruskäsitteet

Opiskelijoilla on vaikeuksia ymmärtää energiaan liittyviä käsitteitä. Tämän lisäksi opiskelijoilla on vaikeuksia soveltaa näihin liittyviä tietoja tehtävien ratkaisemisessa. Samanlaisia ongelmia on havaittu kaikilla matala- ja keskitasoisilla opiskelijoilla matemaattisesta taustasta riippumatta. [62, s. 4]

Kuviossa 2 on esitelty energian peruskäsitteisiin liittyvät vuorovaikutussuhteet. Kyseisen kuvion ymmärtämistä vaikeuttaa käsitteiden keskinäisten suhteiden monimutkaisuus. Oppiminen edellyttää tämän kuvaajan asiasisällön opettamista suoraviivaisella tavalla. Muut opetustavat eivät ole helposti omaksuttavissa opiskelijoille. [16, s. 82] On myös havaittu, että opiskelijat eivät useimmiten opi kuviossa esitettyjä energian perusideoita [16, s. 77] [29].

Uuden sukupolven tiedestandardeihin (The Next Generation Science Standards, NGSS) kuuluu malli energiasta. Mallin ominaisuuksia ovat muun muassa energian

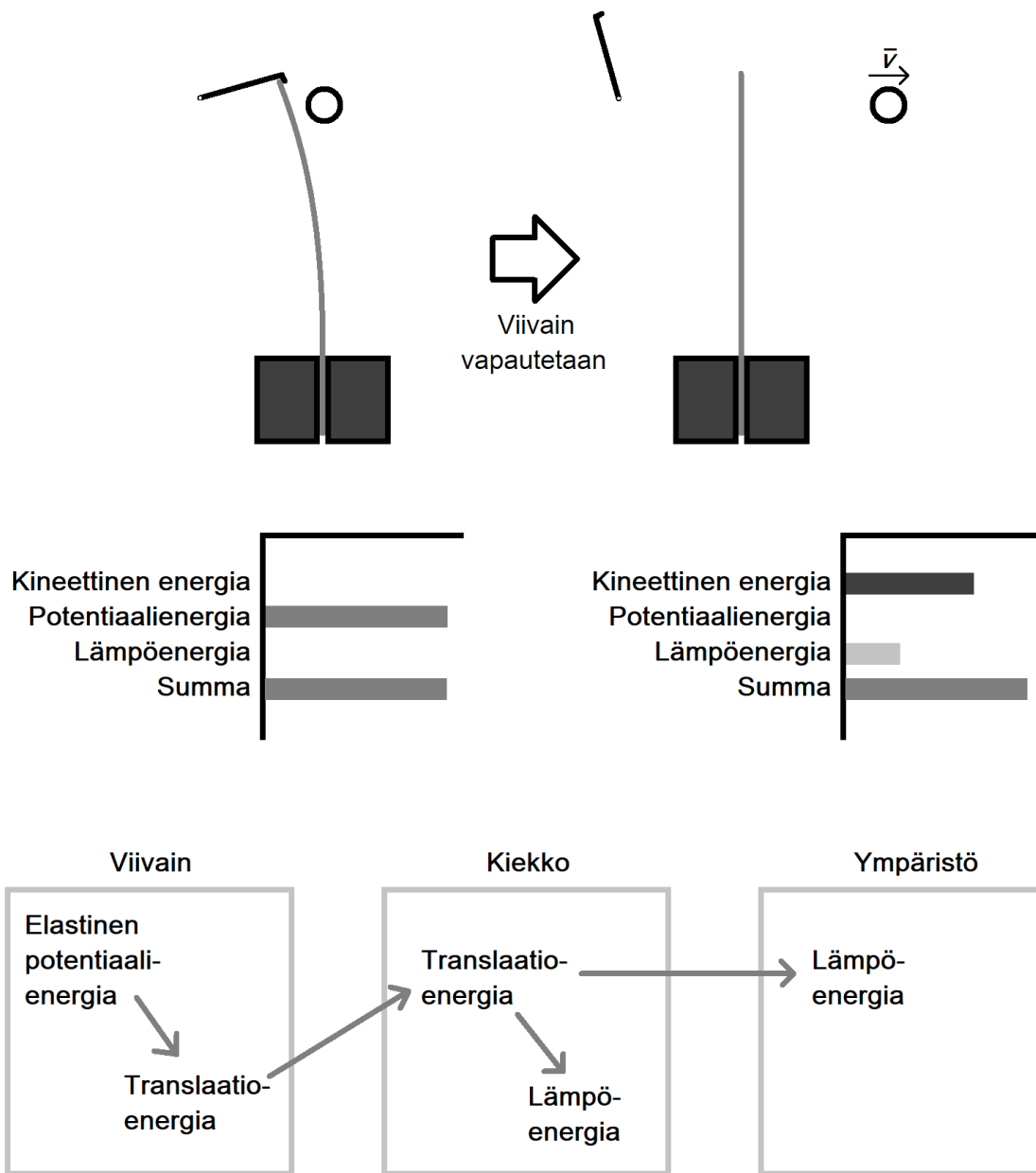


säilyminen, energian siirtyminen ja siirtymismekanismit, sekä energian virtaus systeemissä ja muodonmuutokset. [40, s. 128] Tähän liittyen on tutkittu myös muita energiaan liittyviä mallintamistapoja: energian seurantakaavio, energian virtauksen kuvaaja (lämpövoimakone) sekä energian pylvasdiagrammi. Nämä on esitetty Kuviossa 6. [40, s. 128] Energian seurantakaavion etuna on, että opiskelijat huomioivat paremmin energiaan liittyvät ominaisuudet, kuten säilymisen, muodonmuutokset ja niiden mekanismit sekä esiintymismuodot [40, s. 131]. Energian eri esiintymismuotojen käsittely pylvasdiagrammien avulla auttaa ymmärtämään energian säilymistilaa, muttei lopulta ole toimiva ratkaisu. Syynä tähän on, että oppimistulokset tätä menetelmää käyttäen ovat heikompia kuin perinteisillä opetustavoilla [44, s. 164].

### 8.2.1 Energian säilyminen

Opiskelijoilla on todettu useita väärinkäsityksiä energiasta. Yleisiä virhekäsityksiä ovat muun muassa energian pitäminen fluidina, muuna konkreettisena asiana tai substanssina [53, s. 4] [16, s. 19] [30, s. 139–145] sekä käsitys energiasta tapahtumien aiheuttajana [15, s. 4–12]. Opiskelijoilla on myös usein monia ristiriitaisia ideoita energiasta [16, s. 130]. Tämän lisäksi opiskelijoilla on taipumus muuttaa ajatteluaan tilanteen mukaan ongelmanratkaisussa [53, s. 4]. Opiskelijat saattavat pitää energiaa myös jonain yleisenä polttoaineena [16, s. 76] [74, s. 213–217]. Näistä seuraa se, että ongelman asettelu voi muuttaa opiskelijan lähestymistapaa ja johtaa vääriin päätelmiin [16, s. 63]. Tällaiset väärinkäsitykset, kuten energian luonne eivät kuitenkaan ole aina opiskelijoiden syytä vaan tällaiset näkemykset ovat voineet jäädä mieleen aiemmilta koulutusasteilta. Esimerkiksi energian ajattelu fluidina on ollut eräs tapa opettaa käsitettä. Tätä menetelmää on perusteltu esimerkiksi sillä, että sen on havaittu auttavan energian säilymisen ymmärtämisessä. Energian säilyminen ja tilanteet, joihin sitä voidaan soveltaa aiheuttavat usein ongelmia opiskelijoille. Tämän lisäksi vaikeuksia tuottavat systeemin ja ympäristön vuorovaikutus [51, s. 1008].

Energian säilymlain ymmärtäminen edellyttää sitä, ettei sitä ajatella vain matemaattisessa mielessä yhtälöiden ja kaavojen avulla [16, s. 71]. Energian säilymisen käsittely on myös yleisesti tärkeää opetuksen kannalta [16, s. 68] [29] ja hyödyntämiskelvoton energia eli anergia on myös huomioitava. Myös syyt hyödyntämisen estymiselle ovat tärkeitä käsitellä [54, s. 14]. Energian huononeminen on olennaista myös energiantuotannon ongelmien ymmärtämisessä. [16, s. 71]



**Kuvio 6.** Energian muutosprosessit tilanteessa, jossa taivutetun viivaimen avulla laukaistaan kiekko liikkeelle. Huomattavaa on energian esiintymismuotojen muuttuminen prosessissa. [40, s. 129–130] (muokattu)

### 8.2.2 Energian siirtyminen

Energian siirtyminen on tilanne, jossa energia siirtyy paikasta toiseen. Tämä voi tapahtua muutamalla eri tavalla, mutta merkittäviä siirtymistapoja ovat johtuminen, säteily ja kappaleen paikan muuttuminen. Esimerkiksi kun rekalla siirretään elintarvikkeita, on kyse energian siirtymisestä.

On havaittu, että opiskelijoiden aikaisemmat käsitykset energiasta auttavat kehittämään tieteellistä käsitystä energiasta. Tämä kuitenkin riippuu merkittävästi energian esiintymismuodosta. Esimerkiksi ajatus energiasta fluidina voi auttaa opiskelijaa käsittämään energian siirtymisen virtapiirissä, mutta voi toisaalta vaikeuttaa lämpöenergian ja lämmön käsitteiden erottamisessa. [16, s. 63] Energian siirtyminen tai virtaus on läheisesti liitännäinen sille, että energiaa ajatellaan fluidina tai substanssina [73, s. 209–212].

Sähköenergia ja sen siirtyminen sähköverkossa tuovat usein ongelmia opiskelijoille [66, s. 163–178] [10]. Energian siirtyminen sähköverkossa perustuu varattujen hiukkasten edestakaiseen liikkeeseen verkossa, joka johtaa muutoksiin sähkö- ja magneettikentissä. Nämä muutokset taas mahdollistavat elektronisten laitteiden toiminnan. [16, s. 24] Näkyvän valon ja infrapunasäteilyn lämmittävä vaikutus on hyvä kytkeä siihen, että se kuljettaa energiaa. Tätä kautta päästään siihen, että myös muu sähkömagneettinen säteily siirtää mukanaan energiaa [16, s. 27].

### 8.2.3 Energian huononeminen

Energian huononeminen on seurausta entropian kasvusta. Opiskelijoilla on vaikeuksia hahmottaa entropian ja energian välistä suhdetta. [16, s. 318] [9, s. 1204–1208] Entropian käsitteeseen yhdistetään usein energian leviäminen tai jakaantuminen. [16, s. 325–326]

Energian säilyminen ja siihen liittyvät tehtävät koetaan yleisesti haastavina [16, s. 79] [26, s. 175–176]. Energian säilymlain opettamisen haasteisiin kuuluu olennaisesti se, että opiskelijat eivät voi varmistua energian säilymlaista yleisesti. Syyinä tähän on se, että osa energiasta menee hukkaan aina [16, s. 31]. Arjessa ei voida juurikaan havaita energian säilymistä tai siihen viittaavia tekijöitä. Energian huononeminen taas on selvästi havaittavissa. Tätä tukee yleinen näkemys, että energiaa kuluu erilaisissa prosesseissa [16, s. 77] [28, s. 190]

### 8.2.4 Energian esiintymismuodon muutos

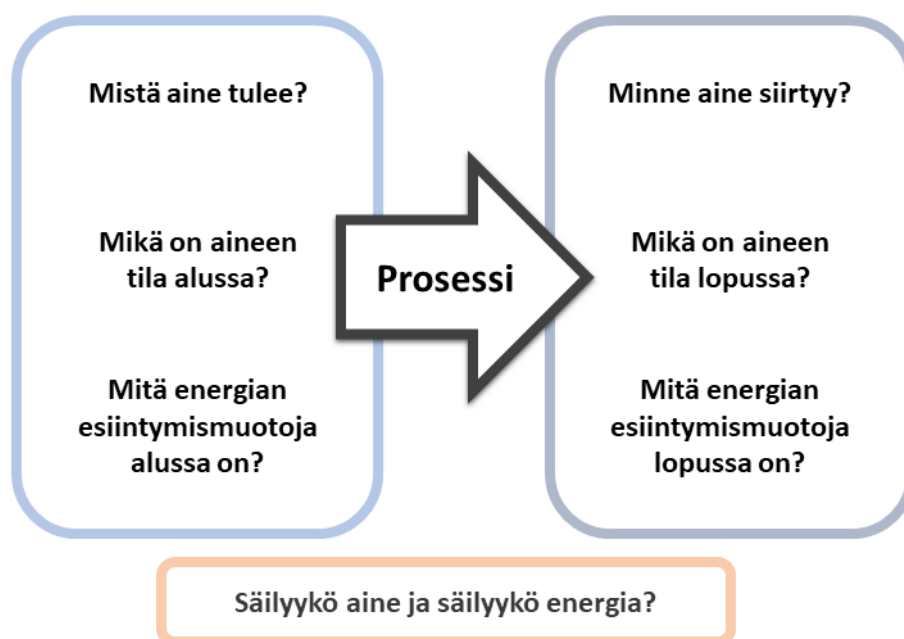
Energian esiintymismuotojen käsittely on vaikeaa toteuttaa formaalisti. Energian perimmäisiksi esiintymismuodoiksi on esitetty kineettistä energiaa ja potentiaalienergiaa, joista muut energian esiintymismuodot voidaan tarkemmalla tarkastelulla johtaa. [16, s. 170] [38, s. 61–98] [48, s. 81–95] [43, s. 212–218] On myös esitetty, että energian eri esiintymismuotoihin ei pitäisi kiinnittää liikaa huomiota, vaan keskittyä tarkastelemaan alku- ja lopputilannetta [54, s. 8]. Pääpainon tulisi olla siinä, että energian säilymistä korostetaan ja prosessin välivaiheet ja energian väliaikaiset esiintymismuodot jätettäisiin vähemmälle tarkastelulle [55] [56, s. 1–48]. Tämän lisäksi on esitetty, ettei energian eri esiintymismuotoja pitäisi ajatella lainkaan [33, s. 427–437].

On hyödyllistä selvittää opiskelijoiden käsityksiä energian eri esiintymismuodoista. Opiskelijat voivat esimerkiksi yhdistää mielessään kineettisen energian käsitteisiin kuten liike, liikkuminen, törmäykset, paikallaan pysymättömyys, putoaminen, juokseminen, nopeus, vauhti sekä vapautuminen. Potentiaalienergiaan liittyviä käsitteitä taas voivat olla esimerkiksi kyky, potentiaali, lopputulos, liikettä edeltävä, varastoitu, paikallaan oleva, levossa, korkealla, vuorovaikutus, hylkiminen, sidosenergia. Tällaisen kartoituksen tekeminen voi myös helpottaa mahdollisten väärinkäsitysten kartoittamista [36, s. 118] [71, s. 147].

Energian esiintymismuotojen opetukseen liittyy monia ongelmia. Usein opetuksen tuloksena on, että opiskelijat osaavat loppujen lopuksi lähinnä eri esiintymismuotojen nimet. Todellinen ymmärrys energian olomuodoista ja näiden yhtäläisyyksistä on havaittu vähäiseksi. On myös ehdotettu, että energian esiintymismuotojen sijasta käytettäisiin termiä energiavarastot. [16, s. 75–76] Liian monen energian muodon käsittely ongelmanratkaisussa voi myös mutkistaa tilannetta liikaa.

Opiskelijoiden oppimisvaikeuksien havainnoiminen on tärkeää, jotta ne voidaan huomioida energian käsitteen opetuksessa. Erilaisten energian esiintymismuotojen ja näihin liittyvien muutosten ymmärtäminen on luonnostaan vaikeampaa joillekin ja tästä syystä on tärkeää pystyä muuttamaan käytettävää lähestymistapaa opetuksen suhteen [16, s. 83] [16, s. 130].

Energian esiintymismuotojen muutosprosessien ymmärtämistä voi helpottaa proses-



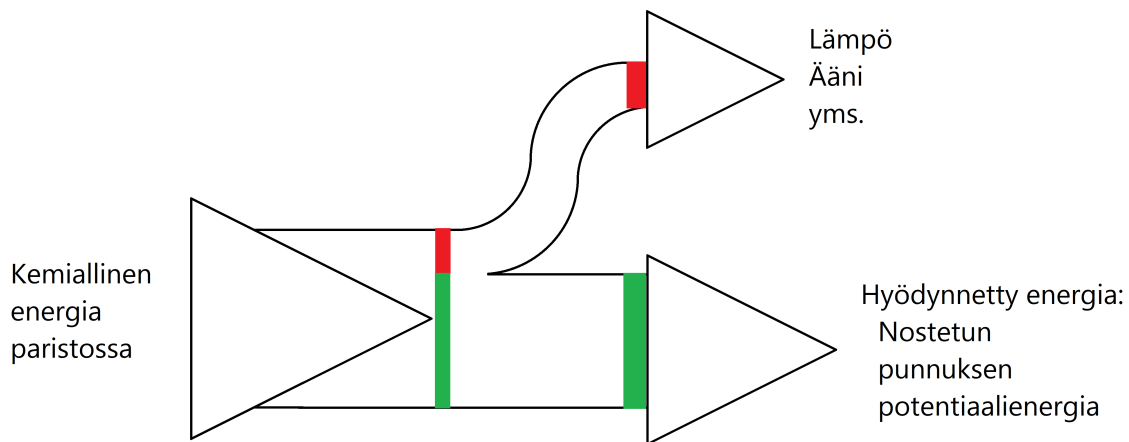
**Kuvio 7.** Muutosprosessi, jossa aine ja energia muuttuvat esiintymismuodosta toiseen. Olennaista on miettiä mitä tapahtuu energialle ja mitä tapahtuu atomeille. [16, s. 59] (muokattu)

sin jakaminen siten, että ainetta ja energiaa käsitellään erillisinä Kuvion 7 mukaisella tavalla.

Yleinen väärinkäsitys on, että energia on syy prosessien tapahtumiselle. Energiaa ei siis tule käsitellä erilaisten prosessien aiheuttajana, vaikka energia onkin edellytys sille, että prosesseja voi tapahtua [16, s. 193]. Energian käsitteen yhteydessä toivotaan käyttämään termiä siirtyminen, kun paikka muuttuu. Kun taas energian esiintymismuoto muuttuu, voidaan puhua muodonmuutoksesta [54, s. 9].

Sankey-diagrammi on virtausdiagrammi, jonka avulla voidaan kuvata esimerkiksi systeemin energian esiintymismuotojen kehitystä. Tämän käyttö esimerkiksi energian säilymisen opetuksessa voi olla hyödyllistä, sillä diagrammi tarjoaa intuitiivisen ja visuaalisen tavan hahmottaa systeemin kehitystä. [54, s. 15]

Sankey-diagrammi paristolla toimivasta vinsistä



**Kuvio 8.** Sankey-diagrammi energian siirtymis- ja muodonmuutosprosessista. Huomattavaa on, että haaraantuvien nuolien paksuuksien summa pysyy samana.

### 8.3 Kokeellisuus ja tehtävät

Energian käsitteen opetuksessa on tärkeää myös muistaa fysiikan kokeellinen puoli. Opiskelijoiden oppimistulosten on havaittu parantuvan, kun heille tarjotaan mahdollisuus suorittaa itse kokeellisia töitä. [16, s. 129]

Opetuksessa tulee suosia tehtäviä, joilla on kytköskohtia opiskelijoiden arkeen. Opiskelijat kokevat arkeen liittyvien ongelmien ratkaisemisen miellyttävämmäksi, vaikka tämäntyyppiset tehtävät voivatkin olla haastavampia. [58, s. 1577–1595] Tämän lisäksi opiskelijat pärjäävät tämäntyyppisissä tehtävissä paremmin [52, s. 554–573].

On havaittu, että opiskelijoilla on usein riittävät taidot ongelman ratkaisemiseen, mutta he eivät osaa soveltaa näitä taitoja käytännön ongelmien ratkaisemiseen [16, s. 129]. Tästä syystä voi olla oppimisen kannalta hyödyllistä, että opettaja ratkaisee esimerkinomaisesti tehtäviä ja selittää samalla omaa ajatusprosessiaan tehtävän ratkaisemisessa. Ratkaistava tehtävä kannattaa pilkkoa helpommin ymmärrettäviin palasiin ja pyrkiä sitä kautta hahmottamaan mahdollisia etenemistapoja. Opiskelijoille olisi hyvä antaa tehtävänannossa liikaa informaatiota tilanteesta, jotta he oppisivat hyödyntämään oikeita asioita ja suodattamaan ylimääräisen ja tarpeettoman tiedon pois [26, s. 176].

## 8.4 Muita huomioita

Vuorovaikutuksen energian määrittely johtaa siihen, että energia pyritään määrittelemään tietyssä tarkasti määritellyssä tilanteessa. Esimerkiksi joukolla vuorovaiuttavia massoja on kokonaisenergia, joka riippuu niiden suhteellisista sijainneista, varauksista ja massoista. Usein on tosin tarpeellista rajoittaa tarkastelemaan pelkästään muutoksia energiassa, kun systeemin tila muuttuu. [16, s. 20]

Kokonaisenergian käsittely ei ole mahdollista tai järkevää, jos jätetään huomioimatta jokin osa energiasta. Esimerkiksi massan määrittely edellyttää myös lämpöenergian määrittelyä, sillä lämpöliike nostaa massan määrää suhteellisuusteorian mukaisesti. Syynä tähän on, että liikkeessä olevalla hiukkasella on enemmän energiaa kuin levossa olevalla. [16, s. 21] Fysiikassa yleisesti ei tosin yleensä olla kiinnostuneita kokonaisenergian määrästä, sillä vain energian määrien muutoksilla on useimmiten väliä [16, s. 18] [16, s. 28]. Lepokehyksessä olevan kappaleen massa ei ole ainoastaan kappaleen hiukkasten massojen summa, vaan se koostuu myös energiasta. Systeemin ulkopuolinen tarkastelija ei voi siis tietää varmuudella koostuuko systeemin massa esimerkiksi painavista mutta hitaista hiukkasista, vai nopeista ja kevyistä hiukkasista. [16, s. 18] Viitekehysten valinta vaikuttaa siihen, mitä yhtälöitä sovelletaan ja minkälaisia energian esiintymismuotoja käytetään. Valintaa tehdessä on tärkeää huomioida vaihtoehtojen hyödyt ja haitat. Valinta on lopulta mielivaltaisen eikä ole olemassa ainoaa oikeaa vaihtoehtoa. [16, s. 30]

Kenttien käsite on olennainen vuorovaikutuksen energian kannalta [16, s. 19]. Tämän lisäksi kenttien avulla on mahdollista luoda parempia fysiikan malleja sekä ymmärtää paremmin eri fysiikan käsitteitä [16, s. 32]. Hiukkasfysiikassa keskitytään kenttien energiaan jossain viitekehyksessä. Teoria rakentuu tämän matemaattisen mallin ympärille. Erityisen tärkeää on myös, että kentät ovat olemassa ja välittävät energiaa suurten etäisyyksien yli. [16, s. 18]

On tärkeää tehdä ero gravitaatiopotentiaalienergian ja painovoiman välille. Yleisesti ottaen on hyvä pitää huolta siitä, että energia ja voima ovat käsitteinä hyvin tunnettuja ja ne osataan erottaa toisistaan. [16, s. 129] Ei ole mitenkään poissuljettua, että arjessa termejä voima, energia ja teho käytetään väärissä asiayhteyksissä.

Lämpöenergia ja lämpö menevät usein opiskelijoilla sekaisin. [16, s. 19] Hiukkas-

tasolla lämpöenergia on satunnaisten hiukkasten translaatioenergiaa. Monimutkaisemmassa aineessa tai kaasussa on huomioitava hiukkasten väliset vuorovaikutukset. Tästä seuraa, että lämpöenergia on myös molekyylien rotaatioenergiaa, sekä värähtelevien sidosten potentiaalienergiaa. [16, s. 194] [16, s. 20]. Lämpö taas tarkoittaa yksinomaan energian siirtymistä systeemin ja ympäristön välillä ilman, että kyseessä on mekaaninen työ. Yleisesti ottaen olisi myös toivottavaa, että opettajat ja oppikirjat käsittelevät tarkemmin myös työ-energiaperiaatetta, sillä ongelmana on, että opiskelijoille syntyy vääriä mielikuvia sen soveltamisesta [6, s. 1067].

Käsitys energiasta eräänlaisena yleisenä polttoaineena on väärä, sillä vaikka tällöin ei rajoituta mekaniikkaan, niin tässä tapauksessa jätetään huomiotta täysin esimerkiksi sähköön ja lämpöliikkeeseen sitoutunut energia. [16, s. 74] [60] Tällainen käsitys voi perustua siihen, että energia nähdään kykynä tehdä työtä eli ikään kuin polttoaineena.

Energian eri muotoihin voidaan liittää erilaisia käsitteitä. Esimerkiksi valoon voidaan liittää sen kirkkaus ja väri. Kineettiseen energiaan liittyvät massa ja nopeus. Tällainen lähestymistapa helpottaa energian käsitteen kvalitatiivista ymmärtämistä. [16, s. 78–79]



## 9 Johtopäätökset

Syksyllä 2021 astui voimaan lukion opetussuunnitelman perusteet 2019. Tällä muutoksella pyrittiin muun muassa parantamaan opiskelijoiden käsitystä energiasta poikkitieteellisenä käsitteenä ja antamaan opiskelijoille valmiuksia tehdä vastuullisia valintoja elämässään. Tähän liittyviä merkittäviä tekijöitä ovat esimerkiksi valintojen ympäristövaikutukset ja terveystvaikutukset. Näihin liittyvät olennaisesti myös energian käsite ja energian säästäminen.

Energian käsitteeseen liittyvät olennaisella tavalla energian perusominaisuudet, joita ovat energian säilyminen, energian esiintymismuodon muuttuminen, energian huononeminen ja energian siirtyminen. Energian säilymisellä tarkoitetaan sitä, että energiaa ei synny tyhjästä eikä sitä voi hävittää. Energian esiintymismuodon muuttumisella tarkoitetaan nimensä mukaisesti sitä, että energia muuttuu esiintymismuodosta toiseen jonkin prosessin yhteydessä. Energian huononemisella tarkoitetaan eksnergian eli hyödynnettävän energian muuttumista anergiaksi eli hyödyntämiskelvottomaksi energiaksi. Tämä prosessi on väistämätön ja on seurausta termodynamiikan toisesta pääsäännöstä eli entropian kasvusta. Energian siirtymisellä tarkoitetaan tapoja, joilla energia siirtyy paikasta toiseen. Tämä voi tapahtua säteilyn, johtumisen tai paikan siirtymisen seurauksena. Erityisen tärkeää näissä perusominaisuuksissa on, että ne ovat kaikki liitoksissa toisiinsa ja ne auttavat ymmärtämään energian olemusta.

Energian käsitteen opettamista vaikeuttavat monet tekijät. Käsitteen tieteellinen määrittely ei ole suoraviivaista, eikä kyseinen määritelmä toimi lukion opetuksessa monimutkaisuutensa vuoksi. Tieteellisen maailman auktoriteeteilla ei ole yhtenäistä näkemystä siitä, miten energian käsitettä tulisi opettaa. Tavat opettaa energian käsitettä vaihtelevat maittain ja alueittain eikä voida sanoa, että jokin näistä tavoista olisi yksikäsitteisesti parempi. Energian käsitteen oppimiseen vaikuttavat myös kulttuurilliset, historialliset ja lingvistiset tekijät, jotka on otettava huomioon käsitteen opetuksessa. Näistä tekijöistä seuraa, että energialla on myös maittain ja kulttuureittain vaihtelevia miellelyhtymiä erilaisiin arjen käsitteisiin. Nämä tekijät

selittävät, miksi eri puolilla maailmaa energian käsitettä opetetaan eri tavoilla ja miksi jotkin opetustavat toimivat paremmin eri maissa. Tutkielman tarkoituksena ei ollut perehtyä syvällisesti eri tapoihin opettaa energiaa, vaan antaa yleiskatsaus joihinkin yleisesti käytettyihin tapoihin.

Energian käsitteen opetuksen helpottamiseksi on laadittu useita menetelmiä ja opetustapoja. Tilannetta havainnollistavien kuvien on todettu auttavan energian käsitteen oppimista. Energian käsitteen opetuksessa on myös hyvä ottaa mukaan esimerkkejä arjesta, vaikka ne olisivatkin haastavampia. Tämä pätee myös harjoitustehtävien käytölle, sillä opiskelijat kokevat tämäntyyppisten tilanteiden ratkaisemisen mielekkäämmäksi. Opetuksessa on hyvä ottaa esille myös opiskelijoiden kokemuksia ja pyrkiä rakentamaan näiden pohjalta parempaa ja tieteellisempää käsitystä energiasta.

Energian käsittely substanssina voi helpottaa energian säilymisen ymmärtämistä, mutta ei ole tieteellisesti oikea ajattelutapa ja voi näin ollen haitata oppimista jollakin fysiikan osa-alueilla jatkossa. Tämä on yksi lähestymistavan monista kritiikin kohteista. Tämä lähestymistapa ei ole kovin laajalti käytössä, vaan usein energiaa käsitellään abstraktina matemaattisena suureena. Eräs tähän liittyvä opetustapa on opettaa energiaa kykynä tehdä työtä. Tämä ei myöskään ole täysin ongelmatonta, sillä tällainen määritelmä energialle rajoittaa sen koskemaan vain eksergiaa. Tästä taas seuraa se, että esimerkiksi niin sanotusti hukkaan mennyt hyödyntämiskelvoton anergia ei ole energiaa lainkaan.

Energian käsittely systeemien käsitteen avulla on ollut perinteinen opetustapa termodynamiikassa. Systemaattista lähestymistapaa voidaan tosin soveltaa myös muilla fysiikan osa-alueilla. Tämän on havaittu parantavan ymmärrystä energiasta poikkitieteellisenä käsitteenä. Tämä lähestymistapa helpottaa myös ongelmien ratkaisemista, mutta voi olla työläs opettaa ja oppia.

Viime aikoina monitieteelliset oppimiskokonaisuudet ovat saaneet enemmän huomiota ja niitä on otettu käyttöön. Fysiikan näkökulmasta on kuitenkin hyödyllisempää pyrkiä ensin muodostamaan hyvä kokonaiskuva fysiikan eri osa-alueista ja näiden välisistä yhteyksistä. Tämän lisäksi fysiikan käsitteitä, kuten energiaa on hyvä käsitellä myös muissa oppiaineissa ja pohtia miten näissä tätä käsitettä tarkastellaan. Tässä lähestymistavassa merkittäviä ongelmia tuottaa idean tuoreus, joka selittää

osittain, miksei tämän opetustavan kanssa olla päästy yhtenäiseen näkemykseen käytännön toteutuksesta.

Filosofisessa lähestymistavassa energian käsitteen opettamiselle lähdetään liikkeelle siitä, että pohditaan, minkä takia käsite on kehitetty. Tämän lisäksi pyritään liittämään käsitteeseen energian perusominaisuudet ja näin parantamaan ymmärrystä käsitteestä. Tässä tarkastelussa pyritään luomaan laaja-alainen ymmärrys energiasta poikkitieteellisenä käsitteenä ja ymmärtämään sen tärkeyttä erilaisten ilmiöiden mallintamisessa.

Muutos lukion opetussuunnitelman perusteisiin siis johti siihen, että energian käsitettä painotetaan opetuksessa enemmän. Tämä muutos vaikuttaa kaikkiin lukion opiskelijoihin, sillä merkittävä painotus tapahtuu erityisesti kaikille pakollisessa moduulissa. Muutoksella pyritään vastaamaan nykyisyyden ja tulevaisuuden yhteiskunnallisiin energiapoliittisiin ongelmiin ja vaikuttamaan tuleviin päättäjiin ja äänestäjiin sivistämällä heitä eri energiantuotantotavoista, niiden ympäristövaikutuksista, sekä oman toiminnan ja päätösten vaikutuksista.



## Lähteet

- [1] Earthscan, London Sterling, VA, 2007.
- [2] *Fysiikan tukimateriaalia: Lukion opetussuunnitelman perusteiden 2019 fysiikan moduulien sisältöjen tarkastelua.* 2019. Luettu 28. tammikuuta 2020, URL: [https://www.oph.fi/sites/default/files/documents/lops2019\\_fy\\_0.pdf](https://www.oph.fi/sites/default/files/documents/lops2019_fy_0.pdf).
- [3] *Lukion opetussuunnitelman perusteet 2019.* 2019. Luettu 28. tammikuuta 2020, URL: [https://www.oph.fi/sites/default/files/documents/lukion\\_opetussuunnitelman\\_perusteet\\_2019.pdf](https://www.oph.fi/sites/default/files/documents/lukion_opetussuunnitelman_perusteet_2019.pdf).
- [4] M. Aitken. Why we still don't understand the social aspects of wind power: A critique of key assumptions within the literature. *Energy Policy*, 38(4):1834–1841, 2010. URL: <https://EconPapers.repec.org/RePEc:eee:enepol:v:38:y:2010:i:4:p:1834-1841>.
- [5] D. Alekseevskii. *Noether theorem, Encyclopedia of Mathematics.* Luettu 28. helmikuuta 2021, URL: [http://encyclopediaofmath.org/index.php?title=Noether\\_theorem&oldid=47976](http://encyclopediaofmath.org/index.php?title=Noether_theorem&oldid=47976).
- [6] A. Arons. Development of energy concepts in introductory physics courses. *Am. J. Phys.*, 67(12):1063–1067, December 1999.
- [7] H. J. Arzi. On energy in chocolate and yoghurt, or: On the applicability of school science concepts to real life. 1988.
- [8] J. Baird, P. Fensham, R. Gunstone ja R. White. Individual development during teacher training. *Research in Science Education*, 17(1):182–191, Dec 1987. URL: <https://doi.org/10.1007/BF02357186>.
- [9] J. M. Bennett ja M. Sözbilir. A study of turkish chemistry undergraduates'

- understanding of entropy. *Journal of Chemical Education*, 84(7):1204, 2007. URL: <https://doi.org/10.1021/ed084p1204>.
- [10] A. M. Bodzin. What do eighth grade students know about energy resources? 2011.
- [11] G. E. P. Box. Science and statistics. *Journal of the American Statistical Association*, 71(356), 1976. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01621459.1976.10480949>.
- [12] K. Brading. *A Note on General Relativity, Energy Conservation, and Noether's Theorems*, ss. 125–135. 09 2006.
- [13] T. Bryce ja K. MacMillan. Momentum and kinetic energy: Confusable concepts in secondary school physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(7), 2009. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/tea.20274>.
- [14] M. Bächtold. *How should energy be defined throughout schooling?* 2017. Luettu 29. tammikuuta 2020, URL: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01521131/document>.
- [15] E. Carson ja J. Watson. Undergraduate students' understandings of entropy and gibbs free energy. *University Chemistry Education*, 6, 01 2002.
- [16] R. Chen, A. Eisenkraft, D. Fortus, J. Krajcik, K. Neumann, J. Nordine ja A. Scheff. *Teaching and Learning of Energy in K – 12 Education*, sarjassa *EBL-Schweitzer*. EBL-Schweitzer. Springer International Publishing, 2014. URL: [https://books.google.fi/books?id=SSu\\_BAAAQBAJ](https://books.google.fi/books?id=SSu_BAAAQBAJ).
- [17] C. P. Constantinou ja N. Papadouris. An epistemologically informed teaching and learning approach on the topic of energy for students aged 11–14: Rationale and empirical results from a pilot implementation. *Studies in Science Education*, 48, 2 2012.
- [18] J. Coopersmith. *Energy, the subtle concept : the discovery of Feynman's blocks from Leibniz to Einstein*. Oxford University Press, Oxford, 2015.

- [19] N. R. Council. *How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School: Expanded Edition*. The National Academies Press, Washington, DC, 2000. URL: <https://www.nap.edu/catalog/9853/how-people-learn-brain-mind-experience-and-school-expanded-edition>.
- [20] N. R. Council. *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. The National Academies Press, Washington, DC, 2012. URL: <https://www.nap.edu/catalog/13165/a-framework-for-k-12-science-education-practices-crosscutting-concepts>.
- [21] A. Daane, S. Vokos ja R. Scherr. Conserving energy in physics and society: Creating an integrated model of energy and the second law of thermodynamics. Kirjassa *Physics Education Research Conference 2012*, sarjan *PER Conference* osa 1513, ss. 114–117, Philadelphia, PA, August 1-2 2012.
- [22] P. Devine-Wright. Energy citizenship: Psychological aspects of evolution in sustainable energy technologies. Kirjassa J. Murphy, toim., *Governing technology for sustainability*. London: Earthscan, 2007.
- [23] B. Dooley. *Energy and culture : perspectives on the power to work*. Routledge, London New York, 2017.
- [24] B. Dreyfus, B. Geller, J. Gouvea, V. Sawtelle, C. Turpen ja E. F. Redish. Negative energy: Why interdisciplinary physics requires multiple ontologies. Kirjassa *Physics Education Research Conference 2013*, sarjassa *PER Conference*, PER Conference, ss. 129–132, Portland, OR, July 17-18 2013.
- [25] R. Driver. *Making sense of secondary science : research into children's ideas*. Routledge, Oxfordshire, England New York, 2015.
- [26] R. Driver ja L. Warrington. Students' use of the principle of energy conservation in problem situations. *Phys. Educ.*, 20(4):171–176, July 1985.
- [27] R. Duit. Understanding energy as a conserved quantity—remarks on the article by r. u. sexl. *European Journal of Science Education*, 3(3):291–301, 1981. URL: <https://doi.org/10.1080/0140528810030306>.

- [28] R. Duit ja P. Häußler. Learning and teaching energy. Kirjassa P. Fensham, R. Gunstone ja R. White, toim., *The content of science*. London: The Falmer Press, 1994.
- [29] R. Duit. *Der Energiebegriff im Physikunterricht*. Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften an der Universität Kiel, Kiel, 1986.
- [30] R. Duit. Should energy be illustrated as something quasi-material? *International Journal of Science Education*, 9, 04 1987.
- [31] R. Duit. The role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, 75, 11 1991.
- [32] R. Duit, H. Gropengiesser, U. Kattmann, M. Komorek ja I. Parchmann. *The Model of Educational Reconstruction – a framework for improving teaching and learning science*, s. 13–37. 01 2012.
- [33] M. Ellse. Transferring not transforming energy. *School Science Review*, 69, 1988.
- [34] Z. Fang. The language demands of science reading in middle school. *International Journal of Science Education*, 28(5), 2006. URL: <https://doi.org/10.1080/09500690500339092>.
- [35] R. Feynman. *The Feynman Lectures on Physics*. 1961. Luettu 12. helmikuuta 2020, URL: [https://www.feynmanlectures.caltech.edu/I\\_04.html](https://www.feynmanlectures.caltech.edu/I_04.html).
- [36] T. French, A. Sanchez, L. M. Brousil ja E. Balison. Compartmentalization of energy concepts—definitions, ontologies, and word associations. Kirjassa *Physics Education Research Conference 2015*, sarjassa *PER Conference*, PER Conference, ss. 115–118, College Park, MD, July 29-30 2015.
- [37] J. Gilbert ja R. Osborne. "i understand, but i don't get it": Some problems of learning science. *School Science Review*, 61, 01 1980.
- [38] J. K. Gilbert ja D. M. Watts. Concepts, misconceptions and alternative concep-



- tions: Changing perspectives in science education. *Studies in Science Education*, 10(1):61–98, 1983. URL: <https://doi.org/10.1080/03057268308559905>.
- [39] S. M. Glynn ja T. Takahashi. Learning from analogy-enhanced science text. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(10):1129–1149, 1998. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/%28SICI%291098-2736%28199812%2935%3A10%3C1129%3A%3AAID-TEA5%3E3.0.CO%3B2-2>.
- [40] K. Gray ja R. Scherr. Drawing energy: Evidence of next generation science standards for energy in diagrams. Kirjassa *Physics Education Research Conference 2016*, sarjassa *PER Conference*, PER Conference, ss. 128–131, Sacramento, CA, July 20-21 2016.
- [41] K. Gray, M. Wittmann, S. Vokos ja R. Scherr. Drawings of energy: Evidence of the next generation science standards model of energy in diagrams. *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.*, 15(1):010129, May 2019.
- [42] F. Herrmann. The karlsruhe physics course. *European Journal of Physics*, 21(1), jan 2000. URL: <https://doi.org/10.1088/0143-0807/21/1/308>.
- [43] F. Herrmann ja G. B. Schmid. Energy forms or energy carriers? *American Journal of Physics*, 51:1074–1077, 12 1983.
- [44] M. L. Horner, M. Jeng ja R. Lindell. Comparison of teaching methods for energy conservation. Kirjassa *Physics Education Research Conference 2006*, sarjan *PER Conference* osa 883, ss. 161–164, Syracuse, New York, July 26-27 2006.
- [45] A. Kallio. *Pelisäännöt, pesäpallon perusteos*. 2015. Luettu 22. maaliskuuta 2021, URL: [https://www.superpesis.fi/site/assets/files/1209/pesa\\_pallon\\_pelisa\\_a\\_nno\\_t.pdf](https://www.superpesis.fi/site/assets/files/1209/pesa_pallon_pelisa_a_nno_t.pdf).
- [46] W. Kaper ja M. Goedhart. 'forms of energy', an intermediary language on the road to thermodynamics? part i. *International Journal of Science Education*, 24:81–95, 01 2002.

- [47] W. Kaper ja M. Goedhart. 'forms of energy', an intermediary language on the road to thermodynamics? part ii. *International Journal of Science Education*, 24:119–137, 02 2002.
- [48] W. H. Kaper ja M. J. Goedhart. 'forms of energy', an intermediary language on the road to thermodynamics? part i. *International Journal of Science Education*, 24(1):81–95, 2002. URL: <https://doi.org/10.1080/09500690110049114>.
- [49] R. L. Lehrmann. Energy is not the ability to do work. *The Physics Teacher*, 11 1973. URL: <https://fysikafysikh.files.wordpress.com/2015/01/robert-lehrman-energy-is-not-the-abillity-to-do-work.pdf>.
- [50] B. Lindsey. Student reasoning about electrostatic and gravitational potential energy: An exploratory study with interdisciplinary consequences. *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.*, 10(1):013101, January 2014.
- [51] B. Lindsey, P. Heron ja P. Shaffer. Student ability to apply the concepts of work and energy to extended systems. *Am. J. Phys.*, 77(11):999–1009, November 2009.
- [52] X. Liu ja M. E. Ruiz. Using data mining to predict k–12 students' performance on large-scale assessment items related to energy. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(5), 2008. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/tea.20232>.
- [53] M. Loverude. Do students conceptualize energy as a material substance? Kirjassa *Physics Education Research Conference 2002*, sarjassa *PER Conference*, PER Conference, Biose, Idaho, August 7-8 2002.
- [54] R. H. Millar. Teaching about energy. Report, ARRAY(0x55dbaa23a878), York, 2005. URL: <http://eprints.whiterose.ac.uk/129328/>.
- [55] R. H. Millar. Teaching about energy. Report, ARRAY(0x55b743d6b0c0), York, 2005. URL: <https://eprints.whiterose.ac.uk/129328/>.
- [56] R. Millar. *Energy*, sarjassa *ASE Science Practice*, ss. 1–48. ASE Science Prac-

- tice. Hodder Education, toinen laitos, 2011.
- [57] N. Papadouris ja C. Constantinou. A philosophically informed teaching proposal on the topic of energy for students aged 11–14. *Science & Education*, 20:961–979, 10 2010.
- [58] J. Park ja L. Lee. Analysing cognitive or non-cognitive factors involved in the process of physics problem-solving in an everyday context. *International Journal of Science Education*, 26(13), 2004. URL: <https://doi.org/10.1080/0950069042000230767>.
- [59] R. D. Knight. *Physics for Scientists and Engineers*. Pearson Education Limited, 2014.
- [60] E. Rogers. *Physics for the inquiring mind : the methods, nature, and philosophy of physical science*. Princeton University Press, Princeton, N.J, 1965.
- [61] R. E. Scherr, H. G. Close, S. B. McKagan ja S. Vokos. Representing energy. i. representing a substance ontology for energy. *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.*, 8:020114, Oct 2012. URL: <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevSTPER.8.020114>.
- [62] C. Singh ja D. Rosengrant. Students' conceptual knowledge of energy and momentum. Kirjassa *Physics Education Research Conference 2001*, sarjassa *PER Conference*, PER Conference, Rochester, New York, July 25-26 2001.
- [63] J. Solomon. Learning about energy: how pupils think in two domains. *European Journal of Science Education*, 5(1), 1983. URL: <https://doi.org/10.1080/0140528830050105>.
- [64] J. Solomon. Teaching the conservation of energy. *Phys. Educ.*, 20(4):165–170, July 1985.
- [65] E. Starauschek. Physikunterricht nach dem karlsruher physikkurs : Ergebnisse einer evaluationsstudie /. 01 2001.

- [66] S. M. Stocklmayer ja D. F. Treagust. Images of electricity: how do novices and experts model electric current? *International Journal of Science Education*, 18(2), 1996. URL: <https://doi.org/10.1080/0950069960180203>.
- [67] K. Taber. Energy – by many other names. *School Science Review*, 70, 1989.
- [68] A. Trautman. Conservation laws in general relativity. Kirjassa L. Witten, toim., *Gravitation: An introduction to current research*. John Wiley and Sons, ensimmäinen laitos, 1962.
- [69] R. Trumper. Being constructive: an alternative approach to the teaching of the energy concept - part one. *International Journal of Science Education*, 12(4):343–354, 1990. URL: <https://doi.org/10.1080/0950069900120402>.
- [70] R. Trumper. Being constructive: an alternative approach to the teaching of the energy concept - part two. *International Journal of Science Education*, 13(1):1–10, 1991. URL: <https://doi.org/10.1080/0950069910130101>.
- [71] C. van Huis ja E. van den Berg. Teaching energy: a systems approach. *Physics Education*, 28(3):146–153, may 1993. URL: <https://doi.org/10.1088/0031-9120/28/3/003>.
- [72] J. W. Warren. The nature of energy. *European Journal of Science Education*, 4(3):295–297, 1982. URL: <https://doi.org/10.1080/0140528820040308>.
- [73] J. W. Warren. Energy and its carriers: a critical analysis. *Physics Education*, 18(5), sep 1983. URL: <https://doi.org/10.1088/0031-9120/18/5/306>.
- [74] D. M. Watts. Some alternative views of energy. *Physics Education*, 18, 1983.
- [75] M. Weiss ja J. Baez. Is energy conserved in general relativity? [https://math.ucr.edu/home/baez/physics/Relativity/GR/energy\\_gr.html](https://math.ucr.edu/home/baez/physics/Relativity/GR/energy_gr.html). luetu: 25.5.2021.
- [76] H. Wilhite, H. Nakagami, T. Masuda, Y. Yamaga ja H. Haneda. A cross-cultural analysis of household energy use behaviour in Japan and Norway. *Energy*

*Policy*, 24(9):795–803, September 1996. URL: <https://ideas.repec.org/a/eee/enepol/v24y1996i9p795-803.html>.

- [77] X. Zou. *The Use of Multiple Representations and Visualizations in Student Learning of Introductory Physics: An Example from Work and Energy*. Väitös-kirja, The Ohio State University, August 2000.