

IBSE-MENETELMÄ OPPILAAN MOTIVOIJANA RADIOAKTIIVISUUDEN OPETUKSESSA

Ilpo Jäppinen

Pro gradu -tutkielma
Helmikuu 2014
Fysiikan ja matematiikan laitos
Itä-Suomen yliopisto

Ilpo Jäppinen

*IBSE-menetelmä oppilaan motivoijana
radioaktiivisuuden opetuksessa, 75 sivua*
Itä-Suomen yliopisto
Fysiikan koulutusohjelma
Matematiikan ja fysiikan opettajien koulutus,
pääaine fysiikka

Työn ohjaajat

Dos. Pertti Silfsten
Apul.prof. Pekka Hirvonen

Tiivistelmä

Tämän tutkielman tavoitteena on löytää opetusmenetelmän piirteitä, jotka motivoivat oppilasta luonnontieteiden opiskeluun. Lisäksi oleellinen näkökulma on käsitteellisen ymmärryksen syventäminen. Tarkastelen teoreettisella tasolla opetusmenetelmien vaikutusta oppilaan kokemukseen luonnontieteiden opiskelun mielekkyydestä. Kehitän pro gradu -tutkielmassani teoreettisen taustan pohjalta opetusinterventiossa käytettävän opiskelukokonaisuuden. Pysin huomioimaan opetusmenetelmien soveltamisen haasteita laatimassani opiskelukokonaisuudessa, jossa perehdytään radioaktiivisuuden opettamiseen IBSE-menetelmän avulla. Tarkastelen kirjallisuuden pohjalta kriittisesti nykyisten opetusmenetelmien mielekkyyttä oppilaille, koska luonnontieteiden koulutuksen suosio näyttäisi olevan laskussa. IBSE-menetelmää voidaan soveltaa radioaktiivisuuden opettamiseen oppilaskeskeisesti, vaikka käsitteet ovat abstrakteja. Oppilaan sisäistä motivaatiota voidaan tukea käyttämällä IBSE-menetelmää ja menetelmän avulla oppimisesta on mahdollista saada oppilaalle mielekästä ja merkityksellistä. IBSE-menetelmä vaatii opettajalta laajaa ammattitaitoa ja haasteina ovat ajankäyttö, luonnontieteisiin liittyvien yhteiskunnallisten ongelmien kehittäminen skenaarioon ja opettajan rooli oppilaan ohjauksessa. Mielekkyyttä luonnontieteiden oppitunneille saadaan monipuolistamalla nykyisiä opetusmenetelmiä siten, että oppilaat pääsevät itse osallistumaan opetukseen. Merkityksellisyyttä luonnontieteiden oppitunneille voidaan lisätä käyttämällä tarkoin valittuja yhteiskunnallisia ongelmia, jotka sidotaan luonnontieteellisiin käsitteisiin. Opettajien jatkokoulutuksen tarve on merkittävä IBSE-menetelmän käyttöönotossa, koska opetuksen suunnittelussa tarvitaan laajaa kompetenssia.

Esipuhe

Oma mielenkiintoni luonnontieteitä ja tekniikkaa kohtaan heräsi nuoruudessani yläasteen aikana perheemme maatilalla. Korjasimme usein työkoneita metallipajassa, jossa työskenteli isäni lisäksi ajoittain muita tekniikanalan käytännön ammattilaisia. Tuolloin sain usein tehtäväkseni laskea erilaisten kappaleiden dimensioita, joita tarvittiin metallin sorvaamisessa ja muussa työstämisessä. Työkoneet sisälsivät myös paljon hydrauliiikkaa, joten virtausta ja painetta sai pohtia monessa mielessä koulufysiikan lisäksi.

Koulussa luonnontieteet olivat kyllä mielenkiintoisia, mutta jotakin silti tuntui puuttuvan. Jälkeenpäin ajateltuna se puuttuva osa oli luultavasti käytännön tekemisen vähäinen määrä koulun luonnontieteissä. Koulussa luonnontieteiden kurssit ovat sisällöltään laajoja ja teoria on abstraktia. Enää teorian oppimisella ei ollutkaan merkitystä omien harrastusten tai arkielämän kannalta. Tämän taustalta miehen tutkielmassani motivoivan opetuksen suunnittelun haasteita.

Kiitän vaimoani Meriä, joka mahdollisti pitkät kirjoituspäivät ja uskoi minuun kirjoittajana. Kiitän ohjaajiani dosentti Pertti Silfsteniä ja apulaisprofessori Pekka Hirvosta asiantuntevasta ohjauksesta. Tommi Itkonen rakensi mittauslaitteistoon tarvittavan säätökelkan ja muut laitteiston tarvitsemat päivitykset. Itä-Suomen yliopiston LUMA-keskus tiloineen ja henkilöineen oli ratkaisevassa asemassa kokeellisen työn suunnittelussa ja toteutumisessa. Pedagogiset ideani kumpuavat pitkälti Itä-Suomen yliopiston Soveltavan kasvatustieteen ja opettajankoulutuksen osaston PROFILES-hankkeesta. Henkilökohtaisesta aineenhallinnastani saan kiittää Itä-Suomen yliopiston Joensuun Fysiikan ja matematiikan laitosta. Tästä on hyvä jatkaa.

Joensuussa 17. helmikuuta 2014

Ilpo Jäppinen

1	Johdanto	1
2	Lähtökohtia opetuksen järjestämiselle Suomessa	3
2.1	Opetushallituksen määräykset opetuksen järjestämisestä perus- ja lukio-opetuksessa	3
2.2	Suomi malliesimerkki luonnontieteiden koulutuksessa?	5
3	Luonnontieteiden opetuksen haasteita	8
3.1	Oppilaiden ennakkokäsityksiä radioaktiivisuudesta	8
3.2	Oppilaiden mielenkiinto luonnontieteitä kohtaan	13
3.3	Opetusmenetelmien vaikutus opiskelun mielekkyyteen	18
4	IBSE-menetelmän esittely	24
4.1	IBSE-menetelmä oppilaan motivoijana	24
4.2	Yhteiskunnallisilla ongelmilla kohti merkityksellistä oppimista	27
4.3	IBSE-menetelmä vaiheittain	28
5	Tutkimuskysymykset ja menetelmä	33
5.1	Tutkimuskysymysten muodostuminen	33
5.2	Tutkielman lähestymistapa	35
6	IBSE-menetelmä radioaktiivisuuden opettamisessa	36
6.1	IBSE-menetelmän soveltamisen analysointi	36

6.2	Opiskelukokonaisuuden työskentelyohje oppilaalle	42
7	<i>Keskustelu ja pohdinta</i>	44
	Viitteet	50
	Liitteet	
A	Esimerkkejä mittausjärjestelyistä	54
B	Työturvallisuus	63
C	Kokeellisen työn teoreettinen tausta	65

Ainekset motivoivaan luonnontieteiden alan koulutukseen näyttäisivät olevan arvokasta tietoa. Jo pitkään jatkunut luonnontieteiden suosion lasku ei ole kääntynyt parempaan suuntaan, vaikka useita hankkeita tilanteen parantamiselle on järjestetty (Rochard ym., 2007). Oppilaan motivaatio sekä opiskelun mielekkyys ja merkityksellisyys ovat asioita, joita tulisi pohtia luonnontieteiden opetuksen suosion parantamiseksi.

Useimmat Euroopan maat suosittelevat, että luonnontieteiden opetus tulisi järjestää merkityksellisessä kontekstissa. Tämän tyyppinen opettaminen sisältää lähes aina yhteiskunnallisia näkökulmia. Lisäksi johtavat tutkimukset painottavat yleisesti tutkimuksellisia komponentteja luonnontieteiden opetuksen yhteydessä. (EC, 2011) Näin ollen luonnontieteiden opetus tulisi sitoa yhteiskunnallisiin näkökulmiin ja ongelmanratkaisu olisi järjestettävä tutkimuksellisen opetusmenetelmän mukaisesti.

Pro gradu -tutkielmassani pohdin luonnontieteiden opetuksen suosiota kirjallisuuden pohjalta erityisesti oppilaan mielenkiinnon ja motivaation näkökulmasta. Tutkielmani tähtää teorian soveltamisen analysointiin. Toteutan soveltamisen radioaktiivisuuteen liittyvän tutkimuksellisen opiskelukokonaisuuden muodossa. Pedagoginen lähestyminen ongelmaan on keskeinen, koska asenteet luonnontieteiden koulutusta kohtaan ovat palautettavissa opetusmenetelmiin (Auriol ym., 2006). Luonnontieteiden suosion heikkeneminen ei luultavasti ole yksiselitteistä, joten tarkastele myös hieman yhteiskunnan asettamia haasteita pedagogiikan rinnalla.

PISA 2012-tutkimuksen mukaan käsitteellisen ymmärtämisen taso on laskenut Suomessa luonnontieteiden osalta (Kupari ym., 2013), joten käytettävien opetusmenetelmien tulisi tukea motivaation ja mielenkiinnon lisäksi myös oppilaan käsitteelli-

sen ymmärtämisen syventämistä. Suomessa perus- ja lukio-opetuksen suunnittelussa on otettava huomioon opetussuunitelman perusteet (Opetushallitus, 2004, 2003), joten tarkastelen opiskelukokonaisuuteni laatimista myös niiden puitteissa. Tutkimukselliset opetusmenetelmät ja yhteiskunnalliset ongelmat opetuksen lähtökohtana näyttäisivät sopivan hyvin Opetushallituksen asettamiin määräyksiin opetuksen järjestämisestä.

Lähtökohtia opetuksen järjestämiselle Suomessa

Esittelen seuraavaksi perus- ja lukio-opetuksen opetussuunnitelman perusteista (2004, 2003) opetuksen järjestämistä koskevat määräykset, jotka huomioin suunnittelemasani opiskelukokonaisuudessa (luku 6). Vaikka Suomi menestyy hyvin vertailevissa PISA-tutkimuksissa luonnontieteiden osalta, voidaan löytää motiivi opetusmenetelmien kehittämiseksi. PISA-tutkimusten pohjalta on huomattu käsitteellisen ymmärtämisen ja luonnontieteellisten tietojen ja taitojen tasossa laskua myös Suomessa.

2.1 Opetushallituksen määräykset opetuksen järjestämisestä perus- ja lukio-opetuksessa

Suomessa opetusmenetelmien pohjana toimivat perus- ja lukio-opetuksessa opetussuunnitelmien perusteet (2004, 2003), joita on syytä tarkastella opetusmenetelmiä laadittaessa ja opetusta suunniteltaessa. Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteissa (2004) määritellään opetuksen kansallinen kehys. Tarkastelen opetussuunnitelman perusteita oppimista ja opetuksen järjestämistä koskevien säädösten kannalta, koska ne ovat tutkielman kannalta oleellinen osa. Suomessa on lakisääteistä, että opetuksen järjestäjän on noudatettava opetussuunnitelman perusteita. (Opetushallitus, 2004)

Opetussuunnitelman perusteissa oppimiskäsitys määritellään tiedon rakennusprosessiksi, johon sisältyy yksilöllistä ja yhteisöllistä toimintaa. Tavoitteellinen opiskelu erilaisissa tilanteissa itsenäisesti sekä vuorovaikutuksessa opettajan ja vertaisryhmän kanssa johtaa oppimiseen. Opittavana ovat tiedon ja taitojen lisäksi myös työskentelytavat, jotka tukevat elinikäistä oppimista. Oppiminen on seurausta oppi-

laan omasta tavoitteellisesta toiminnasta, jossa opittavaa ainesta tulkitaan ja käsitellään aiempien tietorakenteiden pohjalta. (Opetushallitus, 2004)

Tavoitteena on tarjota kiinnostavia haasteita ja ongelmia, jotta oppilaan oppimismotivaatiota, uteliaisuutta, aktiivisuutta, itseohjautuvuutta ja luovuutta voidaan edistää. Oppilaan omien tavoitteiden asettaminen ja oman toiminnan arviointi tulee olla mahdollista oppimisympäristössä. Monipuolisilla opetusmenetelmillä voidaan tukea ja ohjata oppilaan oppimista. Monipuolisten työtapojen myötä on tarkoitus kehittää ongelmanratkaisuntaitoja, työskentelytaitoja ja sosiaalisia taitoja. Vaatimuksia työtavoille ovat muun muassa, että ne virittävät halun oppia ja kehittävät tiedon hankkimista ja soveltamista. Oppilaiden väliset erilaiset oppimistyylyt on myös huomioitava työtavoissa. (Opetushallitus, 2004)

Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteiden (2004) muutoksista ja täydennyksistä on julkaistu liite (2011). Siitä mainittakoon opetusmenetelmiä ja työtapoja koskevia määräyksiä, jotka ovat tämän tutkielman kannalta merkittäviä. Opetusmenetelmien ja työskentelytapojen valinnoilla tulee luoda vuorovaikutteisia oppimisen tilanteita siten, että ne kehittävät oppilaan oppimisen ja tulevaisuuden kannalta tärkeitä taitoja. Huomiota tulisi kiinnittää muun muassa oppimistapoihin ja oppilaan motivaation edistämiseen. Lisäksi opetuksessa on hyödynnettävä oppilaiden erilainen osaaminen ja harrastuneisuus. (Opetushallitus, 2011)

Tarkastellaan lisäksi lukion opetussuunnitelman perusteita (2003). Lukio-opetus jatkaa perusopetuksessa saavutettua kasvua. Lukiokoulutuksen tavoitteena on laaja-alainen yleissivistys, jonka perusteella oppilailla on valmiudet siirtyä jatko-opintoihin. Lukion velvollisuuksia ovat myös oppilaan valmistaminen yhteiskunnan ja ympäristön haasteisiin sekä näkökulmien laajentaminen. Lukion opetussuunnitelman perusteissa (2003) oppimiskäsitys, opiskeluympäristö ja -menetelmät sekä toimintakulttuuri määritellään hyvin samalla tavoin kuin perusopetuksen opetussuunnitelman perusteissa (2004). Erona on kuitenkin se, että lukiossa painotetaan yhteisöllisyyttä hieman enemmän. Lisäksi lukiossa keskitytään jonkin verran enemmän oppilaan henkilökohtaisiin oppimismenetelmiin. (Opetushallitus, 2003)

Tässä on siis esitetty kehykset, joita opettajien ja oppilaiden tulisi noudattaa ensimmäiseltä luokalta aina ylioppilaskirjoituksiin asti. Luonnontieteissä tutkimukselliset opetusmenetelmät tukevat oppilaskeskeisyyttä ja oppilaan motivaatiota, joiden pohjalta myös esitellyt kasvatuksen tavoitteet voidaan saavuttaa.

2.2 Suomi malliesimerkki luonnontieteiden koulutuksessa?

Simolan (2005) mukaan vuoden 2000 PISA-tulokset olivat kunnianosoitus Suomen koulutukselle. Selitykset menestykseen ovat liittyneet pedagogiikkaan ja korkeatasoiseen opettajankoulutukseen. Seuraava tutkimus erittelee kuitenkin yhteiskunnallisia, kulttuurisia ja historiallisia tekijöitä Suomen peruskoulun PISA-menestyksen taustalta. Koulutuksen historian ja sosiaalisen toiminnan näkökulmasta voidaan tarkastella ongelmia, jotka jäävät muuten menestyksen varjoon. Tutkimuksessa keskitytään erityisesti kansainväliseen vertailevan tutkimuksen problematiikkaan. Vertailemalla pyritään mittaamaan koulutuksen tasoa, mutta voidaanko ylipäätään vertailun avulla ymmärtää koulutusta eri maissa? (Simola, 2005)

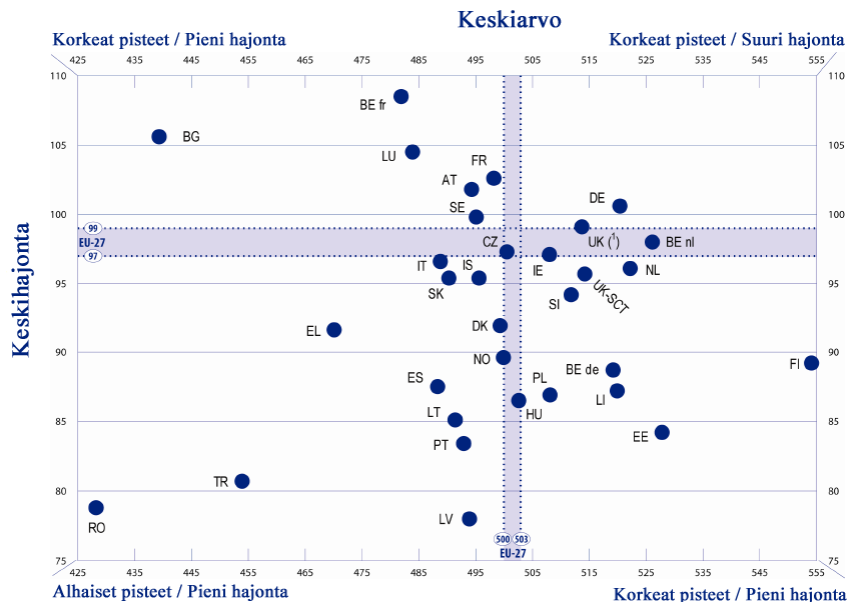
Opettajina pyrimme selittämään koulutuksellista menestystä mieluummin tiettyjen käytäntöjen ja pedagogiikan perusteella kuin yhteiskunnallisena, kulttuurisidonnaisena, laitosmaisena ja historiallisena ilmiönä. Oletettavasti myös muut koulutuksen parissa työskentelevät ammattilaiset voivat syyllistyä tähän oletukseen. Tämä ennakoasenne on saanut uutta merkitystä politiikan myötä, jossa koulutuksen menestyksestä puhutaan yksinomaan kansainvälisten vertailujen valossa. Koulutuksen vertailevista tutkimuksista tehdään usein poliittisia välineitä pyrkimyksenä saavuttaa käytänteitä tai hallinnon muotoja koulutukseen (Novoa & Yariv-Mashal, 2003). PISA-tutkimuksista syntynyt poliittinen väittely on todisteena tästä. Keskustelu koulutuksesta on vilkkainta vertailun ääripäissä. Keskustelu vertailusta on polttava puheenaihe politiikassa, koska elämme koulutuksen käytänteiden kansainvälistymisen aikaa. (Simola, 2005)

Suomi on ollut aikaisempina vuosina koulutuksen mallioppilaan roolissa vertailevien tutkimusten perusteella. Tuloksista pääteltiin, että Suomessa on onnistuttu järjestämään peruskoulutus korkeatasoisena ja tasa-arvoisena. Selityksiä Suomen kansainväliselle menestykselle on tuotettu innokkaasti siitä asti. Julkisen keskustelun kohteena ovat olleet opettajien erinomaisuus ja laadukas opettajankoulutus. Nämä selitykset ovat olleet vallitsevassa roolissa myös kasvatustieteen alalla, vaikka myös toisenlaisia selityksiä on tarjottu. (Simola, 2005)

Julkaisussa *The Finnish success in PISA and some reasons behind it* (Välijärvi ym., 2003) päädytään siihen, että yksittäistä syytä menestykseen ei ole. Ennenminikin menestys näyttää tulevan useiden tekijöiden keskeisenä vuorovaikutuksena, jossa oppilaan oma mielenkiinto, harrastukset, koulun tarjoamat oppimismahdollisuudet,

vanhempien tuki ja osallisuus kuten myös oppimisen linkittyminen yhteiskuntaan ja kulttuuriin vaikuttavat kaikki keskenään oppimistuloksiin. Nämä eivät vielä itsestään riitä, vaan on myös mainittava koulun tarjoamat palvelut. Näitä ovat kouluruokailu, terveydenhuolto sekä psykologinen ja pedagoginen tuki. Kaikki nämä tekijät auttavat hahmottamaan poikkeamia oppimistuloksissa oppilaiden kesken, jotka tulevat erilaisista taustoista. (Väljærvi ym., 2003)

Kuvassa 2.1 keskihajonta on pystyakselina ja keskimääräinen tulos vaakakselina. Suomen (FI) tulos luonnontieteissä (554) oli 50 pistettä keskiarvoa korkeampi (EC, 2011). Yleisesti tunnistettuja ongelmia ja riskejä luonnontieteiden opetuksessa on



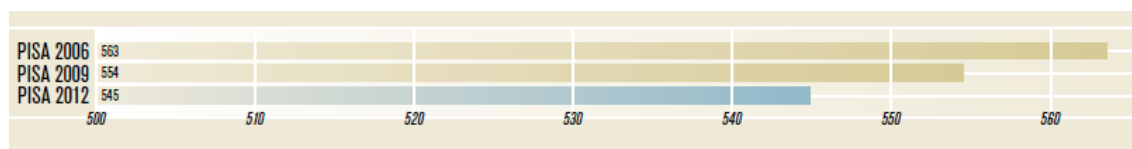
Kuva 2.1: 15-vuotiaiden opiskelijoiden PISA-tulokset luonnontieteissä vuonna 2009. (EC, 2011)

syitä tarkastella myös menestyksen taustalta.

Suomi menestyi vuonna 2000 PISA-tutkimuksen kaikissa osa-alueissa, joita olivat luetun ymmärtäminen, matematiikka ja luonnontieteet. Tämä oli yllätys kaikille. Vuoden 2003 ja 2006 tutkimuskierroksilla Suomi ylsi jälleen kärkipaikalle, mitä pidettiin myös yllätyksenä. Tämän seurauksena Suomi alkoi kasvattaa mainettaan koulutuksen malliesimerkkinä. Suomalaisen koulutuksen menestyksen taustat

herättivät kasvavaa mielenkiintoa. Tämä haastoi suomalaisen koulutusjärjestelmän arviointiin menestyksen taustojen selvittämiseksi. Kuitenkin vuoden 2009 tutkimuksessa Suomen hyvä kehitys kääntyi laskuun, vaikka tulosten lasku ei ollut vielä suuri. (Kupari ym., 2013)

Viime vuosien tutkimusten perusteella näyttäisi sille, että oppilaiden osaaminen on laskenut. Näyttöä tälle trendille tarjoavat vertailevat tutkimukset. Kansallisten tutkimusten ja PISA 2012 (Kupari ym., 2013) perusteella osaamisen lasku on jo huomattavaa (kuva 2.2). Mikäli muuttuva yhteiskunta on kaventanut koulun roolia nuorten elämässä, on koulun uudistuttava. Tapahtuneet muutokset vaativat laajamittaisia toimia peruskoulun ja sen opetuksen kehittämiseksi. Nuorten tulisi kokea koulu jatkossakin merkitykselliseksi. Suomi on edelleen OECD-maiden kärjessä luonnontieteiden osaamisessa, mutta tulosten taso on heikentymässä. (Kupari ym., 2013)



Kuva 2.2: Luonnontieteiden osaamisen keskiarvot Suomessa vuosina 2006, 2009 ja 2012. (Kupari ym., 2013)

Täten motiivi luonnontieteiden opetusmenetelmien kehittämiseksi löytyy myös tunnetusti menestyvästä Suomesta. Menestymisen taustalla on paljon muita tekijöitä pedagogiikan lisäksi, mutta pohdin ratkaisuja ensisijaisesti opetusmenetelmien kannalta. Käytettävien opetusmenetelmien täytyisi siis tukea käsitteellistä ymmärtämistä, jotta menestymisen suunta voidaan kääntää taas nousuun. Huomioin tämän tarpeen suunnittelemani opiskelukokonaisuudessa.

Luonnontieteiden opetuksen haasteita

Tässä luvussa käyn läpi tieteellisestä mallista poikkeavia opiskelijoiden ennakkokäsityksiä radioaktiivisuudesta. Tarkastelen myös kirjallisuuden pohjalta tiettyjen opetusmenetelmien vaikutuksia oppilaiden virhekäsitysten poistamiseen. Esittelen luvussa myös nykyisen trendin luonnontieteiden opetuksen huononevasta tilanteesta ja sen taustalla olevia syitä. Nämä ovat tutkielmani kannalta oleellisia luonnontieteiden koulutuksen haasteita, jotka on otettava huomioon opetusmenetelmiä suunniteltaessa.

3.1 Oppilaiden ennakkokäsityksiä radioaktiivisuudesta

Seuraavaksi käydään läpi tutkimustuloksia, joissa esitellään opiskelijoiden virheellisiä käsityksiä radioaktiivisuudesta. Ensimmäisen käsiteltävän artikkelin tutkimusjoukkona ovat aineenopettajaopiskelijat, joilla on fysiikka pääaineenaan. Yhdysvaltalaiseen tutkimukseen osallistui 12 opiskelijaa, joilla oli alempi korkeakoulututkinto opettajankoulutuslinjalta. (Aubrecht & Torick, 2001)

Tutkimuksessa havaittiin, että perinteisellä tavalla opetettu fysiikan teoria ei selvänä opiskelijoille eroa heidän omien käsitystensä ja opetettavien mallien välille. Perinteisen opetustavan voidaan katsoa olevan opettajajohtoista laskuharjoittelua. Haastatteluiden myötä tutkimuksessa löytyi epäkohtia opiskelijoiden käsityksissä. Opettajankoulutuksen kehittäminen on keskeinen asia opetuksen tason ylläpitämisessä ja parantamisessa. Tulevat opettajat ja asiantuntijat, jotka päättävät opintonsa virheellisten käsitysten valossa, välittävät todennäköisesti virheellistä tietoa eteenpäin. Tilannetta voidaan parantaa huomioimalla koulutuksessa tutkimuspohjainen opetussuunnitelma, jossa on huomioitu tarve opiskelijoiden virhekäsitysten oi-

kaisemiseksi. (Aubrecht & Torick, 2001)

Artikkelissa (Aubrecht & Torick, 2001) on esitelty radioaktiivisuuden liittyviä käsitteitä rinnakkain. Tutkielmassani on tarkoituksena perehtyä niihin teorian osiin, joissa ilmenee ennakkokäsityksiä. Täten käsitteiden yksiselitteisyys on tavoitteen mukaista. Pyrin liittämään ilmenevät virhekäsitykset tiettyyn käsitteeseen. Opiskelijoiden käsitystä taustasäteilystä testattiin haastattelun yhteydessä kokeellisesti. Haastateltavilta kysyttiin ensin, onko heidän mielestään tavallisessa luokkahuoneessa radioaktiivista ainetta. (Aubrecht & Torick, 2001)

Tämän jälkeen opiskelijoille esiteltiin Geigerputken toiminta ja sellainen kytkettiin päälle haastatteluhuoneeseen. Se asetettiin ilmoittamaan havaitsemistaan radioaktiivisista hajoamisista äänellä. Haastateltavilta kysyttiin, mitä Geigerputki havaitsee haastatteluhuoneessa. Opiskelijat jakautuivat kahteen ryhmään selityksissään. Toiset selittivät, että kyseessä on kosminen säteily tai ihmisistä peräisin olevan radioaktiivisuus. Toiset opiskelijat eivät kyenneet selittämään ilmiötä radioaktiivisen hajoamisen avulla. Heitä kuitenkin pyydettiin selittämään asia uskomallaan tavalla. Selitykset olivat virheellisiä, mutta niistä saatiin tietoa opiskelijoiden ennakkokäsityksistä. Nämä opiskelijat selittivät radioaktiivisuuden aiheutuvan valolähteistä, korkeajännitelinjoista tai rakennuksessa olevista laitteistoista. (Aubrecht & Torick, 2001)

Haastatteluissa tuli esille myös seuraavia käsityksiä. Säteilytys ja kontaminaatio sotkeutuivat vastauksissa keskenään. Puoliintumisaika sotkettiin massan ja tilavuuden puoliintumiseen. Virheellinen käsitys nousi myös esille elektroniverhosta, jonka ajateltiin aiheuttavan atomin radioaktiivisuuden. Yksi opiskelijoista ei uskonut ihmisen sisältävän radioaktiivista ainetta vaan hänen mielestään pelkästään elottomat aineet voisivat olla säteilylähteitä. (Aubrecht & Torick, 2001)

Tätä aikaisemmassa tutkimuksessa (Mancel ym., 1994) on selvitetty yleistä käsitystä säteilylähteistä. Tutkimuksessa kävi ilmi, että alle 25 % yliopiston käyneistä ihmisistä uskoi rakennustiilen voivan sisältää radioaktiivista ainetta. Rakennuksissa käytettävät kivet, tiilet, laatat ja sementti ovat peräisin luonnon kalliosta. Täten ne sisältävät pieniä pitoisuuksia uraania ja niissä voidaan havaita radioaktiivisuutta.

Haastattelujen perusteella kävi selväksi, että yliopisto-opiskelijoilla on tieteellisestä mallista poikkeavia käsityksiä säteilyfysiikasta. Haastattelujen perusteella muodostettiin tehtävä, jonka avulla tutkimuksessa pyrittiin selvittämään tarkemmin virheellisiä käsityksiä. Tutkimuksessa käytettiin luokittelutehtävää, jossa opiskelijo-

den täytyi luokitella yhdeksän eri tilannetta järjestykseen haitallisuuksien perusteella. Tilanteet olivat seuraavia: a) Ydinaseenkuljetuslentokone, b) Auton kokoonpanotehdas, c) Ydinvoimala, d) Mikroaaltouunin käyttö, e) Dinosaurusten aikakausi, f) Sairaalan leikkaushuone, g) Kaukana ihmisten infrastruktuurista, h) Röntgenkuvauksessa käyminen ja i) Sähkönsiirrossa käytettävät korkeajännitelinjat. Luokitte- lutehtävään valittiin vaihtoehdot b, g ja i alkuperäisessä haastattelussa esille nous- seiden käsitysten myötä. Leikkaushuone ja röntgenkuvaus valittiin, koska opiskelijat olivat sekoittaneet radiologiassa ja röntgenissä käytettävät säteilyt radioaktiiviseen aineeseen aikaisemmissa tutkimuksissa (Mancel ym., 1994; Kaszmarek ym., 1987). Ydinvoimala ja ydinaseet valittiin testaamaan käsitystä radioaktiivisen aineen säi- lyttämisestä. Dinosaurusten aikakauden avulla selvitettiin käsitystä, jossa radioak- tiivisuuden ajatellaan olevan ihmisten aikaansaamaa. (Aubrecht & Torick, 2001)

Tutkimuksen perusteella ei voida vetää yleisiä johtopäätöksiä, koska otanta on niin pieni. Silti voidaan tarkastella opiskelijoiden käsityksiä, joissa ilmeni samankal- taisuutta vastauksissa ja niiden perusteluissa. Ydinvoimala listattiin yleisesti hai- talliseksi paikaksi radioaktiivisuuden kannalta. Myös röntgenkuvauksella miellettiin olevan yhteys radioaktiivisuuteen. Yleisesti tässä tutkimuksessa selvisi, että radioak- tiivinen aine ja ionisoiva säteily menevät opiskelijoilla sekaisin. Opiskelijoiden aset- taessa paikkoja järjestykseen heitä pyydettiin jatkuvasti perustelemaan valintojaan. Yksi opiskelijoista esitti korkeajännitelinjojen sisältävän vähän radioaktiivista ai- netta. Hänen perustelunsa ei kuitenkaan pohjautunut tietoon. Opiskelija oletti, että linjat rakennetaan radioaktiivisuuden takia kauas asutuksesta. Mielenkiintoista oli, että hän ei ajatellut samalla tavalla ydinvoimalassa työskentelevien tilanteesta. Ky- selyssä ainoastaan yksi vastaaja tiesi ydinvoimalan työskentelyturvallisuuden, koska oli vierailut siellä. Hän tiesi radioaktiivisen aineen olevan sijoitettuna riittävän suo- jauksen taakse. Neljä haastateltavista uskoi, että kaukana ihmisten infrasrtuktuuris- ta on radioaktiivista ainetta selvästi vähemmän. Myös dinosaurusten aika miellettiin samanlaiseksi ympäristöksi. Radioaktiivinen aine ajateltiin ihmisen aikaansaamaksi. (Aubrecht & Torick, 2001)

Koska teorian opetus perustuu usein puoliintumisajan ja aktiivisuuden laske- miseen, tutkimuksessa selvitettiin opiskelijoiden kykyä sisällyttää näitä käsitteitä radioaktiivisuuteen. Haastatteluissa pyrittiin myös selvittämään, mikä opiskelijoij- den mielestä aiheuttaa radioaktiivisen hajoamisen. Haastattelujen myötä kävi ilmi, että opiskelijat pitivät radioaktiivista hajoamista kontekstisidonnaisena. Tämä tu-

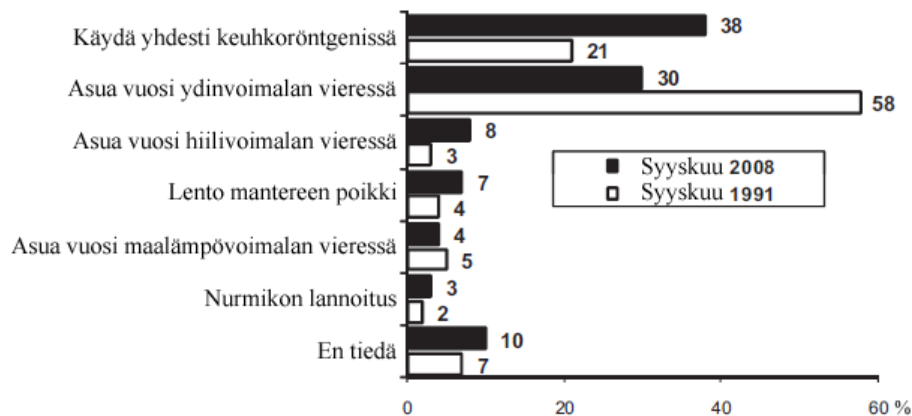
li esille haastatteluissa, kun useat opiskelijat pitivät aineen pinnalla olevia atomeja enemmän aktiivisena kuin aineen sisällä olevia. Osa opiskelijoista luuli puoliintumisajan tarkoittavan massan tai tilavuuden puolittumista. Myös lämpötilan ajateltiin vaikuttavan aineen aktiivisuuteen. Tämä ajatus sai pohjansa ydinvoimalaonnettomuudesta, jossa räjähdysten seurauksena radioaktiivista ainetta kuljettui kuuman kaasun mukana. Näiden seikkojen perusteella aineenopettajaksi opiskelevat tarvitsevat selkeämpää opetusta radioaktiivisen aineen luonteesta. Vain muutamat pystyivät perustellen valitsemaan oikein radioaktiivisuuden kannalta turvallisen ympäristön. Myöskään radioaktiivisen aineen aktiivisuutta ei huomioitu, kun perusteltiin siitä lähtevää säteilyn määrää. Opiskelijat huomioivat pelkästään ainemäärän, jolloin kaikki radioaktiivinen aine mielletään yhtä aktiiviseksi. (Aubrecht & Torick, 2001) Myös Turkissa järjestetty tutkimus lukiolaisten käsityksistä radioaktiivisuuden luonteesta osoitti hyvin samankaltaisia virheellisiä päätelmiä. (Nakibogly & Tekin, 2006)

Seuraavaksi tarkastellaan Arizonan yliopiston tähtitieteen laitoksen tekemää tutkimusta (Prather, 2005), jossa testattiin opiskelijoiden ymmärrystä radioaktiivisuudesta. Opetettaessa geologisten löytöjen iän määrittämistä puhutaan usein radioaktiivisesta hajoamisesta ja puoliintumisajasta. Kuitenkin opiskelijoiden ymmärrys näistä käsitteistä näyttäisi olevan hyvin rajallinen nykyisten tutkimustulosten perusteella. Tutkimuksessa pyritään etsimään yleisimpiä virhekäsityksiä säteilystä ja radioaktiivisuudesta. Opiskelijat tuovat luokkahuoneeseen mukanaan omat käsityksensä opetettavasta aiheesta. Nuo käsitykset ovat usein epätarkkoja eivätkä opiskelijat yleensä pysty perustelemaan käsityksiään. Myös tässä tutkimuksessa järjestettiin yksilöhaastattelut, joissa käytettiin kokeellista tehtävää enakkokäsitysten selvittämiseksi. Tutkimuksesta voidaan sanoa yleisesti, että opiskelijat sekoittavat käsitteet säteilytys ja kontaminaatio. Radioaktiivisen hajoamisen ja puoliintumisajan selityksien ongelmat olivat peräisin opiskelijoiden epätarkoista mielikuvista atomin toiminnasta. Suuri osa kyseisen yliopiston fysiikan peruskurssille ilmoittautuneista opiskelijoista oletti siis ionisoivan säteilyn aiheuttavan materiaalissa radioaktiivisuutta ja että puoliintumisaika tarkoittaa massan ja tilavuuden puolittumista. (Prather, 2005)

Tutkimuksen mukaan perinteinen opetus laboratorio-ongelmiseen ja kotiläksyineen ei muuttanut opiskelijoiden enakkokäsityksiä oikeiksi. Opiskelijat tekivät kokeet, laskivat vaaditut laskut ja pääsivät odotettuihin tuloksiin, mutta he eivät tulleet älyllisesti haastetuiksi. He eivät saaneet tutkimuksen aikana selville ilmiön oleel-

lista luonnetta. Tulos ei koske vain radioaktiivisia kokeita vaan se ilmenee myös muissa osa-alueissa. Mikäli haluamme muuttaa oppilaiden virheelliset ennakkokäsitykset, täytyy oppimista käsitellä monitahoisena prosessina. Oppiminen ei ole vain oppilaan ja opetussuunitelman välinen tapahtuma. Työskentelyn ohjeistuksessa tulisi huomioida oppilaiden tarpeet ja erityisesti ennakkokäsitykset. Täten on tarpeellista ymmärtää, miten oppilaat käsittelevät tietoa ja miten heidän ennakkokäsityksensä ohjaavat uutta tietoa. Täten saadaan aikaan oppimisympäristö, jossa tuodaan esille sopivat kysymykset ja samalla haastetaan oppilasta syvempään älylliseen ajatteluun. (Prather, 2005)

USA:ssa tehdyn kyselyn ($N = 1000$) mukaan kansan yleiset ennakkoluulot säteilyä kohtaan eivät ole muuttuneet viimeisien vuosikymmenien aikana, mutta ydinvoimaloita kohtaan ollaan myönteisempiä. Kuvassa 3.1 on esitetty puhelinkyselyn tulokset vuosilta 1991 ja 2008, joissa kysyttiin samat kysymykset. Suurin muutos on nimenomaan suhtautumisessa ydinvoimalaan. Tilanne ei kuitenkaan edelleenkään ole todellisuuden tasolla, koska ydinvoimalan vieressä asuminen lisää näistä tilanteista vuotuista säteilyannosta kaikista vähiten. Suurimman säteilyannoksen saa lannoittaessa nurmikkoja keväällä ja syksyllä. Tästä lähiötoiminnasta saa keskimäärin noin 2000 -kertaisen annoksen säteilyä verrattuna siihen, että asuisi ydinvoimalan vieressä vuoden verran. (Bisconti, 2011)



Kuva 3.1: Vaarallisin säteilylähde -kysely vuodelta 1991 ja 2008. ”Mikä seuraavista tilanteista altistaa suurimmalle määrälle säteilyä?” (Bisconti, 2011)

Yleiseen tiedotukseen ydinvoimalan säteilytason vaarattomuudesta kokeiltiin ana-

logioita ja tiedottamista voimalan toiminnasta. Analogiat ympäristöstä saatavaan säteilyyn eivät olleet yhtä tehokkaita kuin tiedottaminen ydinvoimalan hyödyistä ja turvatoimista. Kuitenkin parhaat analogiat ovat vertaaminen luonnosta tulevaan säteilyyn ja keuhkoröntgeniin, joihin verrattuna voimalasta tuleva säteily on häviävän pieni. Nämä ovat toimivia siksi, että melkein kaikki tietävät auringosta tulevan säteilyä. Ja röntgen on taas ihmisen rakentama laitos, jossa säteilyä käytetään kontrolloidusti kuten ydinvoimalassa. Analogiat muihin kyselyn kohteisiin havaittiin rasittavan uskottavuutta, koska verrattavaa kohdetta saatettiin pitää itsessään vaarallisena. (Bisconti, 2011)

On siis näyttöä opiskelijoiden virhekäsityksistä radioaktiivisuuden peruskäsitteiden osalta. Tämä on yksi viesti siitä, että lukiossa opittavat käsitteet jäävät pinnalliseksi. Opetusmenetelemiä olisi siis syytä suunnitella myös siten, että mahdollisia virhekäsityksiä voidaan poistaa. Tietenkin asioita voidaan käsitellä hyvin eri tasoilla maiden välillä, eikä lukiopohjaltakaan voida välttämättä muodostaa vankkaa ymmärrystä. Huomioin kuitenkin laatimassani opiskelukokonaisuudessa oppilaiden yleisimmät virhekäsitykset siten, että niitä voidaan poistaa oppilaskeskeisen oppimisen avulla.

3.2 Oppilaiden mielenkiinto luonnontieteitä kohtaan

Opettajajohtoiset opetusmenetelmät näyttäisivät tarvitsevan rinnalleen myös muita opetusmenetelmiä, jotta oppimistuloksia voidaan parantaa. Opiskelijoiden ennakkoluulot voivat olla heidän tietorakenteissaan siten, että ohjatut laboratorio- ja laskeharjoitukset eivät riitä näitä tiedontelineitä horjuttamaan. Seuraavaksi esittelen luonnontieteiden opetuksen haasteita oppilaiden motivaation kannalta.

Euroopan komission asettama ”High level group on science education” eli luonnontieteiden koulutuksen asiantuntijaryhmä on tehnyt raportissaan (Rochard ym., 2007) seuraavia huomioita. On havaittu, että nuorten mielenkiinto luonnontieteitä ja matematiikkaa kohtaan on heikentynyt. Tätä trendiä on pyritty parantamaan useilla hankkeilla ja projekteilla, mutta tulokset ovat olleet vaatimattomia. Pitkällä aikavälillä mielenkiinnon heikentyminen aiheuttaa Euroopassa nykyisen innovaatiokyvyn ja tutkimuksen tason menettämisen. Yleisellä tasolla myös ammatillinen osaaminen kärsii, koska uusien teknologiataitojen oppiminen hidastuu. Mielenkiinnon heikentymisen alkuperä luonnontieteitä kohtaan löytyy laajalti opetustyylistä.

Tässä yhteydessä tutkimuksen piirissä pidetään yleisesti tutkimuksellisia opetusmenetelmiä tehokkaina mielenkiinnon herättäjinä, mutta näitä menetelmiä ei käytetä opetuksessa laajalti. Nykyiset hankkeet opetuksen uudistamisesta tutkimuksellisten menetelmien avulla ovat lupaavia. (Rochard ym., 2007)

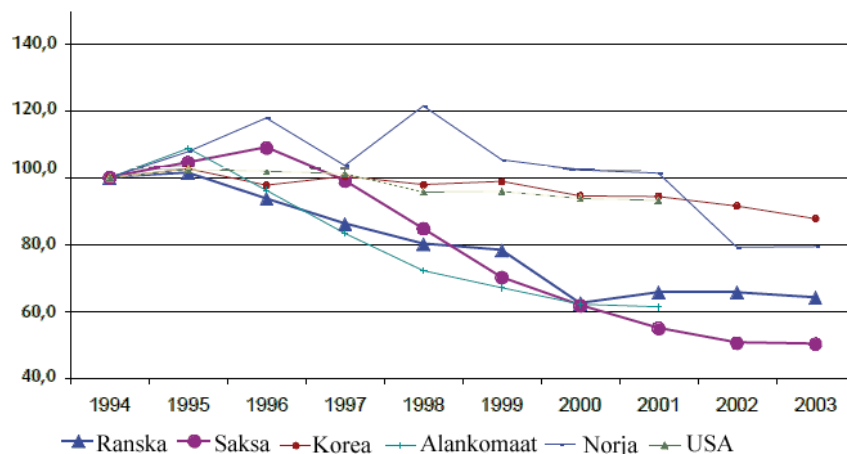
Luonnontieteiden pedagogiikan pääpaino tulisi kääntää opettajakeskeisestä opetuksesta tutkimuksellisen opetuksen menetelmiin, jolloin mielenkiintoa luonnontieteitä kohtaan saataisiin mahdollisesti lisättyä. IBSE-menetelmä¹ on osoittautunut toimivaksi kiinnostuksen ja motivaation herättämiseen luonnontieteissä peruskoulussa ja lukiossa. Menetelmä soveltuu eriyttämiseen, koska työskentelyä voidaan jakaa helpommin oppilaskohtaiseksi. Myös tyttöjen mielenkiinto luonnontieteitä kohtaan on kohonnut menetelmän avulla. On huomattava, että opettajajohtoinen opetus ja tutkimuksellinen opetusmenetelmä eivät ole täysin toisiaan poissulkevia asioita vaan niitä tulisi yhdistää opetusasteen ja jopa ryhmän mukaan. (Rochard ym., 2007) Näin ollen opettajan jatkuvan ammatillisen kehittymisen tukeminen on tärkeää opetusmenetelmien uudistamisessa.

Euroopan komission asettama työryhmä (Rochard ym., 2007) painottaa päättäjien vastuuta laittaa täytäntöön muutoksia, joilla luonnontieteiden opetuksen menetelmiä parannetaan. Nämä muutokset luonnontieteiden opetukseen tulisi toteuttaa uuden pedagogiikan mukaisesti esittelemällä opettajille IBSE-menetelmä. Opettajille täytyisi järjestää aiheesta koulutus ja verkosto, jota aktiivisesti kehitetään ja tuetaan. Erityisesti huomiota tulisi kiinnittää tyttöjen osallisuuden ja itseluottamuksen nostamiseen luonnontieteiden kursseilla. Menetelmät koulun ulkopuolisten toimijoiden ja koulun väliseen yhteistyöhön tulisi määrittää, jotta tietotaitoa voitaisiin jakaa. (Rochard ym., 2007)

OECD:n teettämän tutkimuksen (Auriol ym., 2006) mukaan yhä useampia nuoria tulee kouluttautumaan yliopistoon, mutta he eivät opiskele luonnontieteitä. Täten suhteellinen luonnontieteiden opiskelijoiden määrä laskee. Opiskelijoiden päätökset ura- ja opiskeluvalinnoista tapahtuvat pääosin mielenkiinnon ja työllistymismahdollisuuksien perusteella kyseisestä alasta. Valmiit ja pakotetut opintorakenteet voivat estää oppilasta hakeutumasta aloille oman mielenkiintonsa perusteella. Ikävä kyllä tällä tieteenalalla näyttäisi olevan negatiivisia stereotyyppioita ja vajaata tietoa

¹Inquiry-based science education (IBSE) on käännetty tässä tutkielmassa tutkimukselliseksi opetusmenetelmäksi luonnontieteen opetuksessa, mutta jatkossa käytän lyhennelmää IBSE-menetelmä.

työnkuvista. Luonnontieteet kilpailevat enenevässä määrin hyvistä korkeakouluopiskelijoista muodikkaampien alojen kanssa. Kuvassa 3.2 on valmistuneiden opiskelijoiden suhteellinen määrä vuosilta 1994-2003 luonnontieteiden alalta valituissa maissa. (Auriol ym., 2006)



Kuva 3.2: Luonnontieteistä valmistuneiden opiskelijoiden määrät valituissa maissa. (Auriol ym., 2006)

Kuvan 3.2 tulkinnessa on huomattava erityisesti vuodelle 1994 asetettu indeksiluku, jonka mukaan kaikki maat asetetaan samaan lähtökohtaan kyseisen vuoden opiskelijoiden suhteellisen määrän mukaan. Täten kuvan 3.2 trendikuvion tulkitseminen on hankalaa, koska esimerkiksi pelkästään opiskelijoiden määrän kasvu muilla tieteenaloilla laskee luonnontieteiden trendikäyrää. Opiskelijoiden määrät eivät laske välttämättä muuta kuin suhteellisesti verrattuina muihin tieteenaloihin. Kuitenkin trendin perusteella voidaan sanoa opiskelijoiden suhteellisen määrän olevan pienempi luonnontieteiden alalla. Muut tieteenalat ovat siis kasvattaneet opiskelijamääriään verrattuna luonnontieteisiin.

Oppilaille täytyy siis tarjota tarkkaa tietoa opinnoista ja työelämästä, jotta alan vetovoimaisuutta voidaan voimistaa. Hallitusten ja oleellisten laitosten tulisi tarjota opettajille koulutusta ja puitteita opetukseen. Laitosten tulisi julkaista joustavat ja vetovoimaisemmat opinto-ohjelmat, joissa on ajankohtaiset luonnontieteiden sisällöt. Monet hallitukset tarjoavat tukea luonnontieteiden uravalinnoille, joten tieto

parhaista käytänteistä ja arviointimenetelmistä on merkittävää. (Auriol ym., 2006)

Tyttöjen määrä kolmannen asteen koulutuksessa on voimakkaassa nousussa, mutta luonnontieteiden ja teknologian alalle heistä päätyy alle 40 % useimmissa OECD-maissa. Tieteenala on tunnetusti miesten suosima ja tämä voi luoda negatiivisia paineita ja ulkoisia odotuksia naisopiskelijoille. Alituiset stereotyyppit vaikuttavat tyttöjen valintoihin läpi koulutuksen. Hallituksen täytyisi edistää tasapuolisia mahdollisuuksia ja negatiiviset stereotyyppit tulisi eliminoida, koska naisopiskelijoiden määrän lisääminen näyttäisi olevan helpoin tapa lisätä luonnontieteiden ja teknologian suosiota. (Auriol ym., 2006)

Eurobarometri 2005:n mukaan 80 % eurooppalaisista ($N = 24895$) uskoo, että luonnontieteiden koulutus on tulevaisuuden kannalta olennaista (EC, 2005). Tämän takia on hieman yllättävää, että yhä harvempi nuori käy näitä opintoja. Luonnontieteiden opetus tarjoaa yhteiskunnalle tieteellistä tietoa ja rajapinnan positiiviseen kokemukseen tieteen kanssa. Tulevaisuudessa tarvitaan yhä enemmän teknologian ja luonnontieteiden ymmärrystä ja taitoja. Luonnontieteellistä osaamista (Scientific literacy) tarvitaan nykyisessä yhteiskunnassa ympäristö-, lääketieteellisissä-, talous- ja muissa ongelmissa, joissa kehittyminen tapahtuu pitkälti tieteen ja teknologian avulla. (Rochard ym., 2007)

On syytä tarkastella tapaa, jolla luonnontieteiden opetus järjestetään. Syy mielenkiinnon heikkenemiseen tuskin on yksiselitteinen. Kuitenkin on selviä todisteita siitä, että käytettävä opetusmenetelmä on sidoksissa oppilaiden asenteisiin. Eurobarometri 2005 mukaan vain 15 % eurooppalaisista on tyytyväisiä luonnontieteiden opetukseen koulussa. Lisäksi aikaisempi barometri vuodelta 2001 selvitti syitä notkahtaneeseen mielenkiintoon, jolloin noin 60 % vastaajista ilmoitti luonnontieteiden tuntien olevan vailla mielekkyyttä. Luonnontieteen ja teknologian alalle ilmoittaneiden opiskelijoiden määrä on ollut monissa OECD maissa huolen aihe viime vuosina. (EC, 2005)

Lapsilla on luontainen kiinnostus tutkia luontoa, mutta formaali opetus voi tukahduttaa tämän mielenkiinnon. Täten luonnontieteitä kohtaan voi muodostua negatiivinen kuva jo hyvin aikaisin. Huomion arvoinen seikka on varmasti se, että peruskoulun vuosiluokkien 1-6 opettajilla ei ole riittävästi itsevarmuutta ja tietoa opettaa luonnontieteitä. He suosivat perinteisiä liitutaulun menetelmiä luonnontieteiden opetuksessa, koska tutkimuksellinen tapa vaatisi syvempää luonnontieteiden ymmärtämistä. Tällöin paino oppimisessa siirtyy ymmärtämisestä muistamiseen. Suu-

ret työmäärät oppiaineessa haittaavat pidempien ja merkittävien kokeiden suorittamisesta. Opettamisen tulisi keskittyä pelkän informaation välittämisen sijasta mallien ja menetelmien oppimiseen. Opettajien tuen tarve tulisi huomioida luonnontieteiden opettajien koulutuksessa. (Auriol ym., 2006)

Peruskoulussa valittavien aineiden jakauma tapahtuu nähtävästi sukupuolen mukaan. Joistakin aineista on tullut poikien vallitsevia ja toiset ovat taas tyttöjen suosiossa. Syy sukupuolijakaumaan voi olla stereotypioissa ja ennakkoluuloissa. Nämä jakaumat kuitenkin vaihtelevat maiden välillä. Tästä syystä luonnontieteiden opetussuunnitelmat, opetusmenetelmät ja käytännöt on syytä tarkistaa, luovatko ne jo itsessään jakaumaa. On harmittava tosiasia, että vain harvoissa maissa luonnontieteisiin erikoistuneita opiskelijoita haetaan opettajaopintoihin. Tulevalla opettajalla ei siis ole suuntautuneisuutta luonnontieteisiin, vaikka sitä päätyisi opettamaan. (Gago ym., 2004)

Valitettavasti luonnontieteiden opetuksen parissa on syntynyt oma alakulttuuri. Erityisesti koulutuksen toisella asteella monet luonnontieteiden opettajat eivät näe opettamista oppilaan kasvatuksen kehittämisenä vaan heidän määrittelemän aihealueen asiantuntemuksen tavoitteluna. Nämä opettajat samaistavat koulussa olevan luonnontieteiden toiminnan ja tiedon luonteen akateemiseen koulutukseensa. Tämä tapahtuu erityisesti niillä opettajilla, joilla on vahva akateeminen oppiaineidentiteetti ja he käyttävät opetusmenetelmänä yliopistossa omaksumaansa luennointia. Suurin osa oppilaista voi menettää mielenkiintonsa luonnontieteiden opetukseen tämän myötä. Kuitenkin vahva oppiaineidentiteetti voi olla myös opettajan etu, koska luonnontieteistä kiinnostunut opettaja voi kehittää opettamistaan hyvin mielenkiintoiseen suuntaan. (Gago ym., 2004)

Euroopan komission tutkimuksen mukaan (Gago ym., 2004) on perusteltua väittää, että aikaiset positiiviset kokemukset luonnontieteiden opetuksesta edistävät oppilaiden motivaatiota ja asenteita luonnontieteitä kohtaan. Luonnontieteet ovat siis perustellusti osa perusopetuksen varhaisten luokkien opetussuunnitelmaa. Abstraktit mallit eivät kuitenkaan toimi tämän ikäryhmän kanssa, joten opetus tulee järjestää käytännön työskentelynä. Tämän menetelmän avulla voidaan motivoida tyttöjä ja poikia tasapuolisesti. Alakoulussa² opetettava luonnontiede on arvokasta ja merkittävää, mutta sillä ei näyttäisi olevan merkittävää vaikutusta uravalintoihin.

²Käytän jatkossa Suomen perusopetuksen vuosiluokista 1-6 nimitystä alakoulu ja perusopetuksen vuosiluokista 7-9 nimitystä yläkoulu.

(Gago ym., 2004)

Saman tutkimuksen mukaan (Gago ym., 2004) luonnontieteiden opetus on leimautunut tiedemiesten oppiaineeksi ja se koetaan irralliseksi yhteiskunnasta. Lisäksi opetuksen historialliset perusteet ovat abstrakteja, mikroskooppisia ja eivät kohtaa käytännön tilannetta, jossa luonnontieteiden avulla kehitetään teknologiaa. Luonnontieteiden opetus näyttää tästä syystä alkeelliselta, koska se ei pysty kilpailemaan tieteenalan etenemisen kanssa. Luonnontieteistä pyritään opettamaan 1900-luvulla kehitettyjä opetuksen perusteita, mutta nämä perusteet eivät sisällä riittävästi kokeellisuutta, taustatietoja, havainnointia ja tulkitsemista, johtopäätösten ymmärtämistä eikä kumulatiivista oppimista. (Gago ym., 2004)

Tieteellistä tietoa on jatkuvasti lisätty opetussuunnitelmien jo alkujaan laajaan pohjaan. Lisäksi arviointi on usein rajattu informaation ulkoaopetteluun ja yhtälöiden algebralliseen muokkaamiseen. Tämän perusteella ei ole ihme, miten yhteiskunta määrittelee luonnontieteiden opetuksen. Se on merkityksellistä ja hyödyllistä vain niille, jotka ovat hakeutumassa itsekin tiedemiehiksi. Näin ollen oppilaat asennoituvat luonnontieteitä kohtaan niin, että ne ovat vaikeita ja epäoleellisia. On mahdollista, että luonnontieteiden opettajilla ei ole käsitystä yhteiskunnan odotuksista ja suunnasta, johon heidän odotetaan kehittyvän. (Gago ym., 2004) Näitä keskeisiä ajatuksia luonnontieteiden opetuksen haasteista pyritään huomioimaan opiskelukonaisuuden suunnittelussa, joka on esitelty luvussa 6.

3.3 Opetusmenetelmien vaikutus opiskelun mielekkyyteen

Opetusmenetelmien suunnittelussa on huomioitava käsitteellisen ymmärtämisen vahvistamisen lisäksi opetuksen mielekkyys. Esittelen opiskelun mielekkyyden motivoivan opetusmenetelmän vaatimuksena, koska motivaation syntymisen edellytyksenä on kuitenkin oppilaiden positiivinen asenne.

Seuraavassa tutkimuksessa (Lavonen, 2007) on selvitetty joitakin tyypillisiä opetusmenetelmiä Suomen ja Norjan lukioissa. Tutkimuksessa on myös pohdittu oppilaiden oppiainevalintojen taustavaikuttajia. Oppilaiden mielipiteet selvitettiin kyselyn avulla ja kerätty aineisto analysoitiin monimuuttuja-analyysillä. Kyselyyn vastasivat sattumanvaraisesti valitut toisen vuoden lukio-oppilaat. Tyypillisin tapa opettaa kyselyyn osallistuneiden oppilaiden mukaan oli opettajan esittämä teoria- tai laskuesimerkki liitutaululla. Suurimmalla osalla oppilaista ei ollut mitään tätä vas-

taan. Oppilaat kuitenkin esittivät, että he haluaisivat keskustella vaikeista käsitteistä ja ongelmista ja selvittää näitä myös ryhmänä. Oppilaat halusivat lisäksi, että opettaja johtaa avointa keskustelua luokassa. Tutkimuksessa selvisi, että oppilaiden sukupuoli, opiskelun helppous, mielenkiinto, työmäärä tai ohjeistuksen laatu eivät selittäneet mielekkäintä tapaa opiskella. Näin ollen voidaan sanoa vain yleisesti, että oppilaat pitivät vaihtelevasta opetuksesta. (Lavonen ym., 2007)

Oppiminen on monimutkainen prosessi, eikä sitä ole mielekästä yrittää kuvata yksinkertaistetuilla algoritmeilla tai ketjuna peräkkäisiä tiettyjä opetusmenetelmiä. Kuitenkin yleensä yhden oppitunnin aikana käytetään useita opetusmenetelmiä. On myös huomattu, että erilaisilla opetusmenetelmillä päästään samaan lopputulokseen. Lopputulos riippuu muun muassa opettajan toiminnasta, luokan ominaisuuksista ja luokan hallinnan vaihdoksista. Opettajan on syytä tietää erilaisten opetus- ja oppimismenetelmien vahvuudet ja heikkoudet, erilaiset oppijat, koulun ja luokan tunnusomaiset oppimismenetelmät sekä keskeiset pedagogiset tutkimustulokset luonnontieteiden opetuksen ja oppimisen alalta. Lisäksi opettajan tulisi tietää tutkimustulokset oppilaiden mielenkiinnosta ja odotuksista luonnontieteiden opetusta kohtaan. Opettajan sisäistettyä opetussuunnitelman tavoitteet ja tutkimuspohjaisen tiedon opettamisesta ja oppimisesta, hän voi valita kuhunkin tilanteeseen sopivat opetusmenetelmät. (Lavonen ym., 2007) Kyseisessä tutkimuksessa (Lavonen ym., 2007) opetusmenetelmät jaettiin kolmeen ryhmään ja käytän tätä jakoa myös omassa tutkielmassani eritellessäni opettajan roolia oppimistilanteessa.

1. Opettajakeskeinen oppiminen:

- opettajajohtoinen keskustelu vaikeista käsitteistä
- opettaja esittää uuden materiaalin liitutaululla
- opettaja ratkaisee ongelmat liitutaululla
- opettaja esittää demonstraatioita.

2. Oppilasjohtoinen oppiminen:

- ongelmanratkaisua pienryhmissä
- keskustelua ongelmista ja käsitteistä pienryhmissä
- käytännön työn tekemistä
- projektitöiden tekemistä pienryhmissä.

3. Oppilaskeskeinen oppiminen:

- itsenäistä ongelmanratkaisua
- itsenäistä lukemista ja kirjoittamista.

Opettajakeskeistä opetusta kritisoidaan siitä, että se ei aktivoi eikä haasta oppilaita miettimään syvemmällä tasolla (analysointi, yhdisteleminen, arviointi). Toisaalta opettaja on luokassa ainut ammattilainen, joka pystyy yhdistelemään tärkeitä oppimiseen vaikuttavia tekijöitä. Näitä ovat muun muassa oppiaineen tuntemus, opetussuunnitelman sisältö, tieto oppimisvaikeuksista ja ennakkokäsityksistä ja erilaiset tavat esittää tietoa. Fysiikan oppimisen näkökulmasta on täten perusteltua sanoa, että opettaja esittelee uuden teorian. Opettajan tulisi johtaa keskustelua, jossa muodostetaan yhdessä tietoa ja tieteellisiä selityksiä. Tällaiset sosiaaliset mallit oppimisesta luokitellaan usein oppilaiden väliseksi tapahtumiksi, vaikka opettaja on tärkeässä roolissa ohjaamassa tieteellistä ajattelua. On myös huomattava, että opettaja voi auttaa oppilaita selittämään havaintoja ja huomioita laboratoriotöistä tai kirjallisista lähteistä ja ohjata heitä konstruoimaan yhdessä ilmiöiden merkityksiä. (Lavonen ym., 2007)

Oppilasjohtoiset oppimismenetelmät painottavat oppilaiden välistä sosiaalista vuorovaikutusta pienryhmissä. Käytännössä oppilaat keskustelevalta aktiivisesti ajatuksistaan ja työskentelevät yhdessä yhteisten päämäärien, päätöksien ja ratkaisujen saavuttamiseksi. Samalla he konstruoivat yhdessä tietoa ja arvioivat tuloksiaan keskustelun ja toiminnan avulla. Oppimisen edistäminen sosiaalisen tapahtuman kautta vaatii opettajan jatkuvaa ohjausta ja oppilailta enemmän osallisuutta ja mielenkiintoa. Menetelmää kritisoidaan siitä, että se vaatii paljon aikaa ja asiasisältö jää näin normaalia pienemmäksi suuremmassa mittakaavassa. Kuitenkin sosiaalinen vuorovaikutus edistää oppilaiden ymmärrystä ja tiedon konstruointia luonnontieteissä.

Pienryhmätyöskentelyllä näyttäisi olevan positiivinen vaikutus oppilaan mielenkiintoon luonnontieteitä kohtaan, itsevarmuuteen ja sosiaalisiin taitoihin. (Lavonen ym., 2007)

Kyseisen tutkimuksen mukaan (Lavonen ym., 2007) Suomessa oppilaat olivat suurilta osin sitä mieltä, että yleisin opetusmenetelmä oli opettajajohtoinen ongelmanratkaisu liitutaululla. Norjassa oppilaiden itsenäinen työskentely ja ryhmätyöskentely olivat yleisempää kuin Suomessa. Täten yksi syy Norjan menestymiseen oppilaiden mielenkiinnon herättämisessä luonnontieteitä kohtaan voi olla opetustilanteiden sosiaalisen kanssakäymisen luonne. Oppilaiden työskennellessä itsenäisesti tai ryhmässä heidän mielenkiintoaan fysiikkaa kohtaan voidaan nostaa, kun heidän itsenäistä työskentelyään tuetaan (Reeve, 2002). Suomessa lukion opetussuunnitelman perusteissa (2003) painotetaan, että oppilaan tulee oppia keskeiset käsitteet ja luonnonlait, joita tarvitaan jatko-opiskelussa. Norjassa vastaavasti painotetaan luonnontieteellistä osaamista ja teoriaan perehtymistä laadullisella tasolla. Suomalaiset oppilaat näyttävät uskovan, että opettajajohtoinen opetus on paras ratkaisu jatko-opintojen vaatiman tiedon saavuttamiseen. Lisäksi myös näyttää sille, että suomalaiset oppilaat pitävät ryhmätyöskentelyä tehottomana tapana oppia. (Lavonen ym., 2007)

Keskustelevat opetusmenetelmät näyttäisivät sopivan lähes kaikentyypisille oppilaille. Käsitteiden merkitykset tulisi muodostaa luonnontieteiden opetuksessa sosiaalisessa kontekstissa (Duit & Treagust, 1998). Tutkimuksen mukaan (Duit & Treagust, 1998) näissä opetusmenetelmien tarkasteluissa opettajan merkitys sosiaalisessa vuorovaikutuksessa on usein aliarvioitu. Jatkossa on siis kehitettävä ja tutkittava opetusmenetelmiä, joissa opettaja voi tukea oppilaita luokkahuoneessa. Oppilaat ilmaisivat halunsa osallistua fysiikan oppituntien suunnitteluun. Tällä tavoin oppilaiden itsenäisyyttä ja yksilöllisyyttä voitaisiin huomioida, mikä voi vaikuttaa opiskelumuotivaatioon positiivisella tavalla. Oppilaiden toiveiden mukaisesti opettajajohtoista osaa voitaisiin pienentää ja jättää enemmän aikaa ryhmä- ja yksilötyöskentelylle. (Lavonen ym., 2007)

Tärkeimpänä viestinä on aineistosta nostettu esille se, että oppilaat toivovat monipuolista opetusta. On mahdollista, että opettajien ja opettajaopiskelijoiden käsitykset koulutuksesta ovat vakiintuneita ja vastustus muutokselle on voimakasta. Tämä on merkittävä tekijä fysiikanalan koulutuksen hitaalle muutokselle. Ottaen huomioon luonnontieteiden opetuksen kulttuurin, muutoksia menetelmiin ei voida

odottaa kovinkaan nopeasti. Mikäli oppilaan kokemusta fysiikan opetuksesta halutaan muuttaa, täytyy opettajan muuttaa mentaliteettiaan ja opetuskäytäntöjään. Tätä prosessia täytyy tukea opettajan koulutuksen jatkuvana kehittämisenä ja opettajien täydennyskoulutuksena. (Lavonen ym., 2007)

Seuraavassa tutkimuksessa (Juuti ym., 2010) on selvitetty Suomen perusopetuksen yhdeksännen vuosiluokan oppilaiden ($N = 3626$) suosimia luonnontieteiden opetusmenetelmiä. Oppilaat pitivät luonnontieteiden opetusta oleellisena osana yhteiskuntaa, mutta he eivät pitäneet luonnontieteiden opetusta mielenkiintoisena. Kyselyssä keskityttiin yhdeksäsluokkalaisten käytännön kokemuksiin luonnontieteiden opetuksesta ja heidän mieltymyksistään siitä, kuinka he haluaisivat itse opiskella luonnontieteitä. Otanta koostui satunnaisesti valituista kouluista. Oppilaita pyydettiin arvioimaan, kuinka usein tiettyä opetusmenetelmää käytettiin fysiikan ja kemian opetuksessa. Lisäksi kysyttiin, kuinka usein he haluaisivat kyseistä opetusmenetelmää käytettävän. Pojat näyttivät olevan tyytyväisempiä nykyisiin opettajajohtoisiin menetelmiin, joissa ratkaistaan perusongelmia, luetaan kirjaa ja tehdään laboratoriotöitä. Tytöt olisivat halunneet enemmän keskustelevia menetelmiä. Luonnontieteiden opetuksesta kiinnostuneet oppilaat olisivat halunneet luovempaa toimintaa, kuten ideoimista ja projektitöitä. (Juuti ym., 2010)

Oppilaiden mielenkiinnon palauttamista voidaan pitää yhtenä luonnontieteiden opetuksen tärkeimpänä haasteena. Ongelma ei ole uusi vaan trendi on jatkunut jo vuosikymmeniä. Täten tutkimus nuorten oppilaiden mielenkiinnon herättämisestä ja ylläpitämisestä on ilmiön kannalta ratkaisevassa osassa. Mielenkiinnon herättämiseen on laadittu teoria, jossa opetustilanteissa käytetään erikoisia, yllättäviä, intensiivisiä ja oppilaan henkilökohtaiseen elämään liittyviä tilanteita (Hidi & Renninger, 2006). Nämä tilanteet herättävät mielenkiintoa oppilaissa. Oppilaat näyttäisivät säilyttävän mielenkiintonsa, kun he kokevat työskentelyn merkityksellisenä ja saavat kokea henkilökohtaista osallistumista. Näin siis voidaan ylläpitää tilannekohtaista mielenkiintoa. (Juuti ym., 2010)

Tutkimuksessa (Juuti ym., 2010) oletettiin, että oppilaille mieluisat opetusmenetelmät tukevat positiivisia asenteita. Tutkimuksessa nostettiin esille seuraavia huomioita opetusmenetelmistä. Luonnontieteistä kiinnostuneet ja positiivisen asenteen omaavat oppilaat haluaisivat enemmän luovia työskentelytapoja. Tarve luovalle toiminnalle voidaan tulkita niin, että asiasta kiinnostuneet oppilaat kaipaavat enemmän haasteita. Merkittävä huomio koskee oppilaita, joilla oli negatiivinen kuva luon-

nontieteiden opetuksesta. He eivät halunneet muutoksia luonnontieteiden opetukseen. Onko Suomen fysiikan opetus järjestetty peruskoulussa ja lukiossa motivaation menettäneiden ja välinpitämättömien oppilaiden mukaisesti? On siis mahdollista, että nämä oppilaat eivät halua ideoida ja keskustella vaikeista käsitteistä. Täten positiivisesti suuntautuneet oppilaat tyytyvät todennäköisesti tarjolla oleviin vaihtoehtoihin. (Juuti ym., 2010)

Luokassa on erilaisia näkemyksiä siitä, mikä on mielekäs tapa opiskella. Opettajan täytyisi ottaa huomioon oppilaiden eriäviä mielipiteitä, kun hän valitsee opetusmenetelmiä. Tämä konstruktivistinen perspektiivi mahdollistaa oppilaiden tasapuoliset mahdollisuudet kehittää kompetenssejaan ja itsenäisyyttään, mikä toivottavasti johtaa positiivisiin kokemuksiin luonnontieteiden opiskelusta. Konstruktivistisella perspektiivillä tarkoitetaan oppilaslähtöistä oppimismenetelmän valintaa. (Juuti ym., 2010)

Tämän tutkimuksen perusteella (Juuti ym., 2010) opetusmenetelmien monipuolistamiselle näyttäisi olevan tarvetta. Tutkimuksellisissa opetusmenetelmissä työskentely voidaan järjestää hyvin usealla tavalla, joten erilaisia oppimistapoja pystytään tukemaan. Tutkimukselliset opetusmenetelmät saattaisivat tarjota vastauksen mielekkääseen oppimiseen. Nämä ajatukset tukevat valintaani käyttää tutkimuksellista lähestymistapaa radioaktiivisuuden opettamisessa.

IBSE-menetelmän esittely

Seuraavaksi määrittelen keskeisimmät käsitteet, joita käytän opiskelukokonaisuuden laatimiseen. Tarkastelen oppimista motivaation kannalta, joten pyrin esittelemään tässä luvussa keskeisimmät ajatukset motivaation ja oppimisen suhteesta. Tavoitteena on löytää opetusmenetelmä, joka haastaa oppilasta syvempään osallisuuteen, ymmärrykseen ja tiedon konstruointiin sosiaalisessa oppimistapahtumassa. Toisaalta opettajan haasteena on siirtyä kohti oppilaskeskeistä oppimista.

4.1 IBSE-menetelmä oppilaan motivoijana

Luonnontieteiden opetuksen historiasta voidaan erottaa kaksi lähestymistapaa käsitteellisen tiedon esittelemiseen oppilaille. Näistä ensimmäinen on perinteisesti käytetty opettajajohtoinen tapa, jossa opettaja esittelee käsitteet ja niiden loogiset deduktiiviset johtopäätökset tai päätelmät. Tätä lähestymistapaa on myös sanottu ylhäältä alaspäin siirtymiseksi (top-down transmission). Menetelmässä esitellään ensiksi abstraktit käsitteet, mikä tekee opettamisesta ja oppimisesta vaikeaa erityisesti koulutuksen ensimmäisellä asteella. Toinen lähestymistapa on pitkään tunnettu induktiivisena menetelmänä. Se mahdollistaa havainnoinin, kokeellisuuden ja opettajajohtoisesta käsitteenmuodostuksen. Tätä menetelmää kutsutaan alhaalta ylöspäin (bottom up) toimivaksi. Terminologia on kehittynyt vuosien mittaan ja käsitteitä on hienosäädetty. Nykyisin luonnontieteiden opetuksessa induktiivista lähestymistapaa kutsutaan useimmiten tutkimukselliseksi lähestymistavaksi. (Rochard ym., 2007)

Motivaation eksakti määrittelyminen ei ole tarpeen, sillä voimme tarkastella vain motivaation tuomia vaikutuksia. Määrittelen kuitenkin kaksi motivaation osaluuetta, jotka esittelen alla tarkemmin. Näitä ovat ulkoinen ja sisäinen motivaatio.

”Motivation, like the concept of gravity, is easier to describe (in terms of its outward observable effects) than it is to define. Of course, this has not stopped people from trying it.”

Yleisesti voidaan sanoa valintojen taustalla olevaa syytä motivaatioksi eli jokin tapahtuma aiheuttaa ihmisessä syyn toimia. Motivaatio on myös osallisena siihen, miten paljon yksilö on valmis tekemään töitä saavuttaakseen päämäärän ja kuinka pitkään työskentelyä pidetään yllä. Motivaatio voi syntyä usealla tavalla ja se voidaan jakaa lukemattomiin osiin. Tutkielman kannalta olennaisia motivaation muotoja ovat sisäinen ja ulkoinen motivaatio. En asettele näitä vastakkain vaan tarkastelen mahdollista yhteisvaikutusta. Ulkoinen motivaatio syntyy yksilöstä katsoen hänen ulkopuoleltaan esimerkiksi kouluarvosanan tai sosiaalisen tunnustuksen muodossa. (Dörnyei, 2006)

Oppilasta voivat motivoida yhtäaikaan ulkoiset ja sisäiset tekijät ja molemmat voivat olla hyödyllisiä oppimisen kannalta. Sitoutuminen oppimiseen tapahtuu kuitenkin pääsääntöisesti sisäisen motivaation kautta. Oppimisen merkityksellisyys ja sisäinen motivaatio ovat sidoksissa toisiinsa. Luvussa 4.3 esittelen tutkielman kannalta olennaisen yhteyden merkityksellisyyden ja sisäisen motivaation välillä. Merkityksellisyyden ja sisäisen motivaation avulla oppilaat ovat valmiimpia kohtaamaan haasteita ja ajattelevat luovemmin verrattuna ulkoisesti motivoituneisiin oppijoihin. Ulkoisesti motivoituneet oppilaat kokevat opiskelevansa pakon vuoksi ja ovat haluttomia kohtaamaan haasteita, mikäli tiedossa ei ole merkittävää palkintoa. (IOM, 2003)

Oppilaat nauttivat oppimisesta ja ovat motivoituneita työskentelemään, mikäli heille annetaan mahdollisuus olla aktiivisia. Näin ollen luennointi, lukeminen ja työkirjan käyttö suuressa määrin on sisäisen motivaation kannalta haitallista. Oppilaat kokevat mielekkäämmäksi työskentelyn, jossa he pääsevät itse osallistumaan työskentelyyn. Tällaiset työskentelytavat tukevat ongelmanratkaisutaitoja. (IOM, 2003)

Yhdessäoppimisen taustalla on seuraavia ajatuksia. Oppilaiden sitoutumista oppimisprosessiin voidaan parantaa järjestämällä työskentely pienryhmissä tai pareittain. Ryhmätyöskentelyssä tulee olla merkityksellistä vuorovaikutusta ja jakamis-

ta, joten vierekkään istuminen ei vielä riitä vaan myös tehtävät on mietittävä ryhmätyöskentelyn kannalta. Yhdessäoppiminen tukee yhteistyötaitoja ja vertaisryhmän keskinäistä vuorovaikutusta toistensa opettamisen näkökulmasta. Oppilaat saavat myös mahdollisuuden tuoda omia vahvuuksiaan esille yhteisessä työskentelyssä. (IOM, 2003)

Määritelmän mukaan tutkimuksellinen lähestymistapa luonnontieteiden opetuksessa eli IBSE-metelmä on tarkoituksenmukaista ongelmanratkaisua, kokeellisuuden kriittistä tarkastelua, vaihtoehtojen tunnistamista, tutkimuksen suunnittelua, ennusteiden testaamista, informaation etsimistä, mallien rakentamista, väittelyä vertaisryhmässä ja johdonmukaisten väitteiden esittämistä. Kokeellisuus ei tarkoita monimutkaisia mittauksia, joissa käytetään erikoisia ja kalliita mittausvälineitä. Kokeellisuus on mahdollista yksinkertaisilla ja tavallisilla välineillä. Mietitään opettajan mahdollisuuksia seuraavan esimerkin avulla. Opettaja haluaa oppilaiden miettivän tiimalasin toimintaa. Heidän tulisi selvittää, mitkä tekijät vaikuttavat hiekan valumisnopeuteen. Käydään läpi erilaisia tilanteita, miten opettaja voi toimia. (Rochard ym., 2007)

A. Opettaja näyttää oppilaille tiimalasin ja kertoo, että hiekan valumisnopeuteen vaikuttava tekijä on tiimalasin raon suuruus. Lisäksi opettaja sanoo, että oppilaat voivat itse nähdä tämän. Tämä on perinteisen kaltainen luentotyylinen opetusformaatti, jossa opettajan tulee ilmoittaa oikea vastaus. Tyyllillä ei ole mitään tekemistä tutkimuksellisen lähestymistavan kanssa.

B. Oppilaat havainnoivat, piirtävät ja kuvailevat opettajan pöydällä olevaa tiimalasikoetta. Tämän jälkeen opettaja kysyy oppilailta, mitkä tekijät vaikuttavat tiimalasin hiekan valumisnopeuteen. Osalle oppilaista kysymys on merkityksellinen, mutta ei kaikille.

C. Tiimalasin toiminnan havainnoimisen jälkeen opettaja kysyy oppilailta, miten tiimalasin hiekan valumisnopeutta voidaan muuttaa. Tässä vaiheessa oppilaille alkaa muodostua kysymyksiä, kun he yrittävät ratkaista ongelmaa.

D. Opettaja ottaa esille vähintään kolme erilaista tiimalasia, joissa yhdessä hiekan valumiseen kuluva aika on merkittävästi pidempi kuin toisissa. Pienryhmiin jaetut oppilaat havainnoivat, piirtävät ja kuvailevat tiimalaseja, jotka heillä on edessään. He pohtivat edessään olevien tiimalasien eroja samalla, kun huomaavat hiekan valuvan näissä eri nopeuksilla. Eron huomatesaan oppilaat alkavat vaistomaisesti pohtia, mikä aiheuttaa eron. Tämä on yksi keino saada oppilaat sitoutumaan työ-

kentelyyn ongelman ratkaisussa.

Oppilaat muistavat itsetekemät kokeelliset työt erittäin hyvin, mutta heidän on päästävä itse ratkaisemaan ongelma kokeellisuuden kautta. Vain täten oppiminen on tehokasta. Tiimalasi-esimerkissä oppilaat voivat miettiä erojen johtuvan hiekan määrästä, raon leveydestä, hiekkajyvien koosta, tiimalasin koosta tai hiekan värieroista. On erittäin palkitsevaa päästää oppilaat itse tutkimaan ongelmaa. Näin he voivat ymmärtää, että järkevien tulosten saaminen edellyttää yhden tekijän muuttamista kerrallaan. Tämä on erittäin keskeinen oivallus luonnontieteiden luonteesta. (Rochard ym., 2007)

4.2 Yhteiskunnallisilla ongelmilla kohti merkityksellistä oppimista

Oppiaineen ja opetuksen merkityksellisyys syntyy oppilaalle henkilökohtaisesti mielenkiintoisista ja heidän omaan elämäänsä liittyvistä lähtökohdista. Tällöin oppilaat nauttivat enemmän oppimisesta ja oppivat myös paremmin. Koulun merkityksellisyttä nuoren elämässä voidaan parantaa, kun oppilaalle tarjotaan mahdollisuus ottaa vastuuta oppimisestaan ja osallistua mielekkääseen työskentelyyn. (IOM, 2003)

Käsitykset oppimisprosessista ja opetustapahtuman luonteesta ovat perustana opettamiselle ja oppimiselle. Näihin käsityksiin vaikuttavat psyykkiset prosessit, tiedon luonteen määritelmät, opetukselle asetetut odotukset ja teoria oppimisesta. (Rauste-vonWright, 2003) Konstruktivistisen oppimiskäsityksen mukaan ihminen rakentaa aktiivisesti tietoa yhdistäen uutta tietoa aiemmin opitun tiedon kanssa (Jordan & Orison-Stack, 2008). Konstruktivistinen oppimiskäsitys on oppilaskeskeinen ja se johtaa oppilaan valmiuksia korostavaan joustavaan opettamiseen (Rauste-vonWright, 2003). Suomessa opetussuunitelman perusteet perusopetuksessa ja lukiossa perustuvat konstruktivistiseen oppimiskäsitykseen (Opetushallitus 2004; Opetushallitus 2003). Lisäksi opetussuunnitelmien perusteissa korostuu oppimisen yhteydessä vuorovaikutus. Tämä on konstruktivismia uudempi näkökulma. Se on nimetty sosiokonstruktivismiksi ja tämän oppimiskäsityksen mukaan oppijat rakentavat tietystä kontekstista tietoa yhdessä. Tieto on näin sosiaalisen vuorovaikutuksen tulos. (Harmelen, 2008) Tämä tutkielma perustuu sosiokonstruktivistisen oppimiskäsitykseen.

Yhteiskunnalliset ongelmat luonnontieteiden opetuksessa (Socioscientific issues,

SSI) luokitellaan sellaisiksi tilanteiksi, joissa luonnontieteelliset tapahtumasarjat ja seuraukset ovat sidoksissa laajaan yhteiskunnalliseen taustaan. Näitä ovat esimerkiksi ilmaston lämpeneminen, kestävä kehitys ja evoluutio. Ne ovat tyypillisesti esillä julkisessa keskustelussa ja niistä on kiistanalaista tietoa tieteen parissa. Lisäksi järkevien väitteiden muodostamiseen tarvitaan tiettyä tietotaitoa. (Forbes & Davis, 2008)

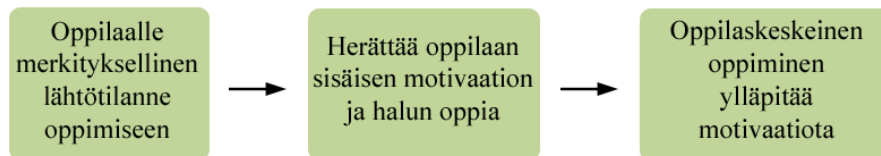
SSI-opetuksen lähtökohtien täytyy olla yhteiskunnan kannalta merkittäviä ja perustan on oltava luonnontieteissä. Työskentely edellyttää mielipiteiden muodostamista ja aihepiirin on oltava mediasta tunnettu. Opetuksen lähtökohdissa tulisi huomioida paikallisten toimijoiden osallisuus. SSI-opetuksella on yhteyksiä yhteiskuntaan ja politiikkaan kansallisella ja kansainvälisellä tasolla. Opetus sisältää myös arvoja ja eettisiä valintoja ja yhteyden kestäväan kehitykseen. Ongelmanratkaisu sisältää riskien ja todennäköisyyden hallintaa, eikä oikeita vastauksia ole olemassa. Ongelmiin vastatessa päätöksenteko ja perusteleminen on keskeisessä roolissa. (Ottander & Ekborg, 2012)

4.3 IBSE-menetelmä vaiheittain

Esittelen seuraavaksi yleisen teorian opiskelukokonaisuuden rakenteesta, jota sovellan radioaktiivisuuden opettamiseen. Tässä opiskelukokonaisuudessa painotetaan kolmivaiheista opetusmallia (kuva 4.1), johon on sidottu oppilasta motivoivia menetelmiä. Soveltamani kolmivaihemalli käydään yksityiskohtaisesti läpi luvussa 6.1. Mittauksiin on myös sisällytetty osioita, joissa huomioidaan tutkimuksissa esille tulleita yleisiä ennakkokäsityksiä radioaktiivisuuteen liittyen. IBSE-menetelmä täytyisi nähdä samanlaisena työkaluna kuten liitutaulu tai modernimpi projektorikangas. IBSE-menetelmä on yksi keino laajentaa opetusmenetelmiä.

Kolmivaihemallin hyödyllisyys perustuu tunnistetulle tarpeelle, jossa opetuksen lähtökohtana tulisi olla oppilaalle tuttu ja oleellinen tilanne. Itsestään oleellinen lähtökohta ei tietenkään ratkaise tilannetta, koska oppilaan täytyisi sitoutua myös työskentelyyn. Ongelman on siis oltava sellainen, että oppilas kokee sen olevan ratkaistavissa. Kuvassa 4.1 on esitetty idea, kuinka oppilaalle merkityksellinen lähtökohta edistää sisäisen motivaation syntymistä. Sisäistä motivaatiota pidetään yllä oppilaan osallisuudella ja opettajan esittelemillä näkökulmilla, joilla pyritään vahvistamaan sisäistä motivaatiota ulkoisen motivaation avulla. (Holbrook & Rannikæ,

2007) Ulkoisia motivaation lähteitä voivat olla esimerkiksi oppilaan tutkimuksellisen työskentelyn arvioiminen tai sen sisällön käyttäminen kurssikokeessa. Seuraavassa kuvassa (4.1) olen käyttänyt Holbrookin (2010) esittämää ideaa kolmivaihemallista.



Kuva 4.1: Merkityksellisen lähtökohdan rooli oppimisessa.

Sisäisen motivaation hyödyntäminen luonnontieteiden koulutuksessa voidaan siis toteuttaa mahdollisesti kolmivaihemallia käyttäen. Ensimmäisen vaiheen eli skenaarion on tarkoitus olla oppilaille tuttu ja mielenkiintoinen. Paikalliset ongelmat ovat hyviä skenaarion aiheita, jolloin on helpompi yhdistää skenaario oppilaiden elämään. Skenaarion täytyy myös olla sellainen, johon oppilaat voivat kokea osallistuvansa. Skenaarion onnistuminen on keskeinen asia kolmivaihemallin toteuttamisessa. On parempi keskeyttää kolmivaihemallin käyttö, mikäli skenaario ei toimi toivotulla tavalla. Tämä tulisi tehdä siitä syystä, että oleellisuus on tärkeä edellytys oppilaan henkilökohtaisen mielenkiinnon herättämisessä ja täten tehokas työkalu luonnontieteiden oppimisessa. Mielenkiinto skenaariota kohtaan johtaa oppilaan miettimään ratkaisuja skenaariovaiheen yli. (Holbrook & Rannikmäe, 2010)

Oppimista lähestytään motivaation muodostumisen kautta. Usein mielenkiintoa pyritään herättämään itse tieteen avulla, jolloin motivaatio syntyy vasta esittelyn jälkeen. Skenaarion tarkoituksena on houkutella oppilaita osallistumaan toimintaan luonnontieteiden tunnilla, vaikka sen yhteydessä on opiskeltava oppitunnin asia. Ei voida olettaa suoraan, että hyvin opetettu käsitteellinen luonnontiede on luontaisesti kiinnostavaa oppilaille. Tämä tyyli näyttäisi motivoivan kuitenkin pientä osaa luokasta. (Holbrook & Rannikmäe, 2010)

Motivaation heräämisen jälkeen voidaan aloittaa opiskelemaan koulutuslaitosten opetussuunnitelmassa määriteltyä käsitteellistä tietoa, jonka tuloksena oppilaat kerryttävät luonnontieteellistä osaamistaan. Tämä osaaminen ei muodostu pelkästään käsitteellisestä tiedosta. Käsitteellisyys on luonnontieteiden koulutuksessa tarpeellista, mutta yksinään riittämätön kriteeri osaamiselle. Kolmivaihemallin mukaan

oppimisen merkityksellisyys ja motivaation ylläpitäminen toteutuvat yhteiskunnallisten luonnontieteiden ongelmien (socio-scientific issues eli SSI) avulla. (Holbrook & Rannikmäe, 2010)

Skenaarion tarkoitus on herättää mielenkiintoa, jonka avulla voidaan siirtyä kolmivaihemallin toiseen vaiheeseen eli tutkimusvaiheeseen. Siirtyminen skenaariosta tutkimusvaiheeseen voidaan ajatella kahden vaiheen kautta. Ensin oppilaat ymmärtävät, että he voivat ottaa kantaa skenaarion aiheeseen ilman vaadittua käsitteellistä tietoa. Keskustelun myötä tulisi nousta esille luonnontieteellisiä kysymyksiä, joiden selittämiseen tarvitaan käsitteellistä tietoa. Tässä vaiheessa useasti opettaja antaa oppilaille tarvittavat tiedot, mutta IBSE-menetelmässä tietojen antaminen ei ole tarkoituksen mukaista. Tutkimusvaihe on oleellisin tekijä oppilaan uuden luonnontieteellisen tiedon ja taidon omaksumisessa. Oppiminen tulee tapahtua tutkimuksellisen työskentelyn avulla, joista IBSE-menetelmä on yksi vaihtoehto. Mallin toinen vaihe keskittyy vahvasti oppilaskeskeiseen oppimiseen ja sosiaaliseen vuorovaikutukseen oppilas-oppilas ja opettaja-oppilas suhteessa. (Holbrook & Rannikmäe, 2010)

Seuraavan taulukon (4.1) avulla opettaja voi miettiä mahdollisia vaihtoehtoja, miten valmiita reseptiohjeita pystytään vähentämään (Smith, 2011). Ei ole yhtä toimivaa tapaa vaan jokaisen käsitteen kohdalla on mietittävä sopivin yhdistelmä tehtävän avoimuutta ja annettuja ohjeita. Olen suomentanut ja muokannut taulukkoa yksinkertaisemmaksi, jolloin vertailu vaihtoehtojen välillä on helpompaa.

Taulukko 4.1: Oppilaiden tutkimustehtävien avoimuuden asteet (Smith, 2011).

Avoimuuden aste	Ongelma	Materiaalit / Tutkimusvälineet	Suunnittelu / Tutkimusmenetelmät	Tulokset
0*	Annettu	Annettu	Annettu	Annettu
1 Rajoitettu	Annettu	Annettu	Annettu	Avoim
2 Ohjattu	Annettu	Annettu osittain / valmiit vaihtoehdot	Materiaalit ohjaavat tutkimusta	Avoim
3 Ohjattu	Osittain avoim	Avoim	Osittain annettu (oppilaat soveltavat aikaisempaa tietoa)	Avoim
4 Avoim	Avoim	Avoim	Avoim	Avoim

Siirtyminen kolmivaihemallin viimeiseen osaan eli päätöksentekovaiheeseen tapahtuu tutkimusvaiheen aikana kerätyn tiedon perusteella, jonka avulla nousseisiin tutkimuskysymyksiin on vastattu. Hankitun käsitteellisen tiedon avulla voidaan tä-

ten vastata yhteiskunnallisiin kysymyksiin, joita esitettiin skenaariossa. Myös viimeinen vaihe voidaan jakaa kahteen kokonaisuuteen. Ensinnäkin tarkoituksena on vahvistaa toisessa vaiheessa esille tulleita luonnontieteellisiä ajatuksia. Tämä toteutetaan jatkotehtävillä, joissa mietitään tehtävään liittyviä käsitteitä. Pienryhmäkeskustelun avulla voidaan vertailla tuloksia, selityksiä ja heränneitä ajatuksia vertaisryhmässä. Oppilaiden oman tiedon konstruoinnin tukemisen jälkeen voidaan siirtyä alkuperäiseen skenaarioon. Nyt voidaan keskustella uudestaan skenaariosta uuden tiedon valossa. Tämä on oppimisen kannalta merkittävä vaihe. Oppilaat soveltavat oppimiaan luonnontieteellisiä tietoja ja taitoja uudessa tilanteessa. Tällä tarkoitetaan tilannetta, jossa oppilas pystyy osallistumaan keskusteluun ongelmasta ja perustelemaan mielipiteensä kyseiseen yhteiskunnalliseen ongelmaan. (Holbrook & Rannikmäe, 2010)

PARSEL¹-projektissa on testattu opiskelukokonaisuuksia, joissa on huomioitu tarve luonnontieteiden koulutuksen kiinnostavuuden ja suosion lisäämisestä. PARSEL-projektin opiskelukokonaisuudet olivat luonteeltaan IBSE-menetelmän mukaisia. PARSEL-projektin lähtökohtana oli muokata oppilaiden käsityksiä luonnontieteiden opiskelusta. Luonnontieteiden suosiota pyrittiin parantamaan merkityksellisyyden korostamisena, jolloin oppilaat näkisivät luonnontieteiden alan yhtenä tulevaisuuden ammattivaihtoehtona. Viidessä Viron koulussa toteutettiin kysely, jonka avulla selvitettiin merkityksellisyyden ja suosion suhdetta. Tutkimuksen (Holbrook ym., 2008) perusteella näyttää sille, että oppilaat ottivat opetusmoduulit hyvin vastaan. Kyselyn perusteella kävi tosin ilmi, että oppilaat eivät osanneet erotella mielenkiintoa ja mielekkyyttä, tärkeyttä ja merkityksellisyyttä. (Holbrook ym., 2008)

Oppilaat pitivät opetusmenetelmää mielenkiintoisena ja osoittivat halukkuutta kokeilla vastaavanlaisia opetusmoduuleja lisää. Opettajien vastauksista voitiin päätellä, että he kokivat opetusmoduulien herättävän oppilaiden mielenkiintoa ja uteliaisuutta. Suurin huolenaihe oli opetusmenetelmän vaatima aika, koska työskentelyyn kuuluu ongelmanratkaisu- ja esiintymistaitojen kehittämistä ja oppilaan merkityksellistä osallistumista ryhmän toimintaan. Opettajat arvioivat, että jopa 50 % ajasta kului muuhun kuin aineenopiskeluun. Opettajat eivät osanneet vastata kysymykseen, kannattiko ylimääräinen aika käyttää mielenkiinnon nostattamiseen. (Holbrook ym., 2008)

¹PARSEL on lyhennelmä sanoista Popularity and Relevance of Science Education for Scientific Literacy.

PARSEL-projektin pohjalta muodostettu PROFILES²-projekti testaa myös samantyyppisten opiskelukokonaisuuksien toimivuutta. Itä-Suomen yliopiston Soveltavan kasvatustieteen ja opettajankoulutuksen osasto on järjestänyt koulutusta opiskelukokonaisuuksien ja IBSE-menetelmän käytöstä vuosina 2011-2013 (PROFILES, 2014). Opettajien kokemukset opetusmoduulien käytöstä näyttäisivät positiivisilta. Seuraava sitaatti esittelee kokemuksia kolmivaihemallin käytöstä Kirkkoharjun koululta :

”Students like this form of study based on a three stage model. They worked in groups of 3 to 4 persons. Students managed to complete all of the experiments and write down their observations and conclusions. They co-operated with each other and the teacher had enough time to observe the students’ work. The three-stage model functioned well, the students learned the properties of sound, and three-stage model also supported students’ thinking and decision making.”

Oppilaat saivat suoritettua kokeelliset tehtävät ja tehtyä havainnointia ja johtopäätöksiä. Oppilaat tekivät yhteistyötä ja opettajalla oli aikaa seurata työskentelyä. Kolmivaihemalli oli käytännössä toimiva ja oppilaat myös oppivat moduulin sisältämät käsitteet. (Lehtonen, 2012)

²PROFILES on lyhennelmä sanoista Professional Reflection Oriented Focus on Inquiry-based Learning and Education through Science.

Tutkimuskysymykset ja menetelmä

Luonnontieteiden opetuksen mielenkiintoisuus ja merkityksellisyys näyttäisi olevan haasteen edessä (Auriol ym., 2006). Perinteinen opettajajohtoinen liitutaulu- tai oppikirjapainotteinen opetus on mieleinen lähinnä vain niille oppilaille, joita luonnontieteiden opiskelu ei kiinnosta (Juuti ym., 2010). Tämä tarkoittaa sitä, että nämä oppilaat haluavat päästä mahdollisimman vähällä vaivalla luonnontieteiden opitunneista eroon ja opettajajohtoinen opetusmenetelmä tukee heidän ajatustaan. Vaikka oppilaat pitäisivät luonnontieteitä tärkeänä osana yhteiskuntaa ja pärjäisivät PISA-testeissä, he eivät välttämättä pidä luonnontieteitä merkittävänä itselleen (EC, 2005).

5.1 Tutkimuskysymysten muodostuminen

Oppimistuloksien mittaamiseen keskittyminen ei tuota haluttua muutosta luonnontieteiden opetukseen, koska ongelma on nähtävästi motivaation tasolla. Huomio täytyisi kohdistaa myös mielenkiinnon ja motivaation herättämiseen sekä ylläpitämiseen, sillä sen avulla saadaan oppilaat jatkossakin valitsemaan luonnontieteiden opin-
toja. Mitä hyötyä on peruskoulutuksessa saavutetusta luonnontieteellisestä osaamisesta, jos mielenkiinto häviää sen seurauksena? Opettajajohtoisesta opetuksen seurauksena vain erityisen motivoituneet oppilaat päätyvät tulevaisuudessa luonnontieteiden alalle, mutta myös he kaipaavat työskentelyyn vaihtelevuutta (Juuti ym., 2010). Jos oppilaan mielenkiinto ja motivaatio murretaan peruskoulutuksessa, heistä ei luultavasti saada tulevaisuudessa luonnontieteiden alan ammattilaisia. Aineenhallinta on erittäin tärkeä osa-alue luonnontieteissä, mutta se ei voi olla mielenkiinnon, merkityksellisyyden ja motivaation esteenä.

Henkilökohtainen mielenkiinto näyttäisi olevan suuressa roolissa, kun oppilas miettii uravalintojaan (Auriol ym., 2006). Oppilas ei silti välttämättä tiedosta, mistä kiinnostus uravalintaan kumpuaa. Tästä syystä opettajan on hyvä tietää sisäisen ja ulkoisen motivaation ero ja niiden soveltaminen opetuksessa. Ne ovat tehokkaita oppimista tukevia välineitä. IBSE-menetelmän avulla on mahdollista kehittää oppilaille pitkäkestoinen motivaatio luonnontieteiden opiskeluun. Tällä tasolla motivaatio näkyy myös myöhemmissä valinnoissa jatko-opintojen ja uran suhteen.

Luonnontieteiden opetus nähtiin tutkimuksessa (Auriol ym., 2006) vanhanaikaiseksi modernin tieteen rinnalla. Peruskoulussa ja lukiossa käydään läpi 1900-luvulla tai aikaisemmin kehiteltyjä abstrakteja malleja, mutta tieteen ja teknologian parissa julkaistaan uusia innovaatioita. Tutkimuksen mukaan (Auriol ym., 2006) opetus suunnitelmien perusteet eivät välttämättä sisällä riittävästi aikaa havainnoinnille, kokeellisuudelle, testaamiselle ja ymmärtämiselle edes yläasteella. Tämä on ongelma luonnontieteiden opetuksen suosion kasvattamisen suhteen, koska motivoivat menetelmät näyttäisivät vaativan enemmän aikaa (Holbrook ym., 2008).

Pyrin yhdistelemään opetusmenetelmien mielenkiintoa herättäviä, motivoivia ja merkityksellisyyttä lisääviä piirteitä laatimaan opiskelukokonaisuuteen radioaktiivisuudesta. Näin voidaan muodostaa kokonaisuus, jonka avulla oppilas saadaan mahdollisesti motivoitumaan luonnontieteiden opiskelusta. Opiskelukokonaisuuden tavoite on myös syvällisempi käsitteellinen ymmärtäminen. Lähestyn aihetta pitkälti pedagogiikan uudistamisen näkökulmasta, mutta pohdin oppimista myös hieman yhteiskunnan ilmiönä. Tutkielma tähtää erityisesti motivoivan opetuksen suunnitteluun. Tutkimuskysymyksiäni ovat:

1. *Miten IBSE-menetelmää voidaan soveltaa radioaktiivisuuden opiskelussa?*
2. *Mitä haasteita on IBSE-menetelmän soveltamisessa?*

Esittelemieni haasteiden pohjalta valitsin IBSE-menetelmän ja kolmivaihemallin, joita pyrin seuraavaksi soveltamaan radioaktiivisuuden opettamisessa. Tavoitteenaani on muodostaa opiskelukokonaisuus, jonka lähtökohta on mielenkiintoinen. Mielenkiinnon heräämisen seurauksena oletan, että oppilas osallistuu keskusteluun tarkoin valitun yhteiskunnallisen ongelman puitteissa. Täten radioaktiivisuuden opiskelu muodostuu oppilaalle merkitykselliseksi ja oppilaalle muodostuu sisäinen motivaatio esittämäni ongelman ratkaisemiseen.

5.2 Tutkielman lähestymistapa

Tutkielmani lähestymistapa on teoreettinen kirjallisuuskatsaus luonnontieteiden opetuksen haasteisiin, joita ovat muun muassa oppimisen mielekkyyden, merkityksellisyyden, motivaation kohottaminen ja käsitteellisen ymmärtämisen syventäminen. Tämän taustalta esittelen kirjallisuuteen pohjautuen IBSE-menetelmän, jonka avulla voidaan vastata näihin haasteisiin. Teoreettisen tarkastelun pohjalta suunnittelen IBSE-menetelmään sopivan opiskelukokonaisuuden radioaktiivisuudesta, jota voitaisiin jatkossa käyttää opetusinterventiossa. Tämä voitaisiin toteuttaa Case-tutkimuksen avulla.

Lähestyn tutkielmassani kriittisesti nykyisten opetusmenetelmien miellekkyyttä oppilaille, koska tutkimuksissa (Rochard ym., 2007) on havaittu luonnontieteiden koulutuksen suosion olevan heikko. Oppilaan sisäinen motivaatio saadaan mahdollisesti aktivoitua yhteiskunnallisten ongelmien avulla, jotka liitetään tutkimukselliseen opetusmenetelmään. Sisäinen ja ulkoinen motivaatio sekä opiskelun merkityksellisyys ja mielekkyys ovat kaikki sidoksissa toisiinsa. Näiden yhteyksiä olen pohjannut tarkemmin kuvassa 7.1. Tämän taustalta esitän IBSE-menetelmän soveltamisen mahdollisena vastauksena luonnontieteiden opiskelun suosion parantamiseksi kyseisten osa-alueiden osalta.

IBSE-menetelmä radioaktiivisuuden opettamisessa

Motivaation herättäminen IBSE-menetelmän avulla näyttäisi mahdolliselta, koska merkityksellinen lähtökohta voi herättää sisäisen motivaation. Kuinka IBSE-menetelmää voidaan soveltaa abstraktien käsitteiden, kuten radioaktiivisuuden parissa? Tutkimuksissa esille tulleita ideoita luonnontieteiden opetuksen tilanteen parantamiseksi on järkevä tarkastella käytännön toteutuksen avulla. Seuraavaksi esitelen sovellukseni kolmivaihemallista, joka pohjautuu tutkielmassani tarkastelun kohteena olevaan radioaktiivisuuden opettamiseen.

6.1 IBSE-menetelmän soveltamisen analysointi

Tarkastellaan ensiksi kokeellisen työn perusta lukion opetussuunitelman perusteista (2003), koska työ on ensisijaisesti suunniteltu lukio-opetukseen. Fysiikan opetuksen tavoitteissa on mainittu, että opiskelijan tulisi pystyä ratkaisemaan luonnontieteiden ja teknologian alaan kuuluvia ongelmia fysiikan lakeja ja käsitteitä luovasti käyttäen. Tämä vaatimus tukee yhteiskunnallisten ongelmien (SSI) käyttöä lukio-opetuksessa. Lisäksi luova ongelmanratkaisu tukee IBSE-menetelmän käyttöä. IBSE-menetelmä ja yhteiskunnallisten ongelmien käyttö opetuksessa ovat samassa linjassa myös luvussa 2.1 esiteltyjen opetuksen järjestämistä koskevien määräysten kanssa.

Lukion 8. kurssin Aine ja säteily (FY8) keskeisissä sisällöissä on mainittu radioaktiivisuus ja säteilyturvallisuus. Mikäli opettaja haluaa ottaa tähän tutkimukselliseen projektiin kvantitatiivista mittausta ja sen vaatimaa teoriaa, voi mittausten haasteellisuus nousta merkittävästi. Kuitenkin kyseessä on lukion viimeisiä fysiikan kursseja. Tällöin voidaan olettaa, että oppilasmateriaali on melko kiinnostunut aiheesta. Aikaisemmissa tutkimuksissa on mainittu, että erityisesti luonnontieteistä

kiinnostuneet oppilaat haluavat tehdä haastavampia projektitöitä (Gago ym., 2004). Säteilyturvallisuus on mainittu myös perusopetuksen opetussuunitelman perusteissa (2004) keskeisenä sisältönä, mutta tämä opiskelukokonaisuus on suunnattu lukioon. Opiskelukokonaisuuden voi toteuttaa myös yläasteella, mutta tarkastelu on mielestäni jätettävä hyvin laadulliselle tasolle, tutkimusten avoimuuden astetta joudutaan rajoittamaan ja tutkimuksia on yksinkertaistettava.

Skenaario: Suunnittelemani skenaario on kuvitteellinen, mutta mahdollinen tilanne. Kolmivaihemallin mukaan skenaarion täytyy olla yhteiskuntaan liittyvä, sidoksissa oppilaiden arkipäivään ja tunnettu myös mediasta. Lisäksi oppilaiden on pysyttävä osallistumaan skenaarion edellyttämään keskusteluun, jotta kolmivaihemallissa voidaan edetä. Yhteiskunnalliseksi ongelmaksi olen valinnut ydinvoimaloiden ydinjätteiden loppusijoituksen. Loppusijoituksesta voi aiheutua monenlaista haittaa kyseiselle kunnalle, kuten esimerkiksi asukasluvun tai kiinteistöjen arvon lasku. Nämä tilanteet voivat aiheutua epärealistisista peloista radioaktiivisuutta kohtaan. Täten oppilaiden on tarkoitus kehittää tiedotus- ja koulutustilaisuus, jonka avulla turhia pelkoja voidaan poistaa. Skenaarion tilanne on esitelty tarkemmin oppilaan työskentelyohjeessa luvussa 6.2.

Mielenkiintoa voidaan herättää lisäksi vanhalla lääkeaineen mainoksella (Kuva 6.1). Radiumvettä myytiin kansalle 1920- ja 1930-luvuilla. Tuotetta tuli sekoittaa maitoon, jolloin lapsien ja invalidien ruoansulatusta voitiin parantaa (Jelliffe & Stewart, 1969).



Kuva 6.1: Radiumvesi-mainos, jossa on mainosteksti ”Säteilevä vesi – Säteilevä terveys. Radiumvesi tuo eloa!”. (Jelliffe & Stewart, 1969)

Kuvan tarkoituksena on herättää ajatuksia luonnontieteiden tarpeellisuudesta. Ilman luonnontieteellistä kehitystä saattaisimme edelleen siemailla radiumvettä. Toisaalta kuvan avulla voidaan miettiä tietoteorian luonnetta, jossa joudutaan yhdistämään empiriaa ja rationalismia (Kantin kriittinen filosofia) (Rauste-vonWright, 2003). Tieto ionisoivan säteilyn haitallisuudesta on kokemusperäistä eli voidaan selittää empiirisen tietoteorian avulla. Vasta tämän perusteella voitiin järkeillä, miten säteily aiheuttaa tuhoa biologisessa kudoksessa rationalistisen tietoteorian mukaisesti.

Tämän lisäksi oppilaiden sitoutumista aiheeseen voidaan lisätä sopivilla videopätkillä, keksityillä tai oikeilla lehtiartikkeleilla, kuvilla ja mahdollisten paikallisten toimijoiden yhteistyöllä. Näin mielenkiinto voitaisiin saada heräämään oppilaissa. Tämän jälkeen skenaarion toisessa vaiheessa opettaja voi esittää kysymyksiä. Kysymysten on tarkoitus tukea skenaarion merkitystä ja herättää ajatuksia ja keskustelua, mikä mahdollistaa oppilaiden osallistumisen aiheeseen ilman käsitteellistä osaamista.

Tutkimusvaihe: Kolmivaihemallin toinen vaihe eli tutkimusvaihe on vahvasti sidoksissa skenaarioon. Skenaario luo aihepiirille merkityksellisyyden, jonka avulla oppilaiden sisäinen motivaatio herää. Skenaarion keskustelun pohjalta opettajan johdamana nostetaan esille tutkimuskysymyksiä, joiden avulla aloitetaan oppilaskeskeinen opiskelu. Tutkimusvaiheen koejärjestelyjen tavoitteena on oppia säteilyturvallisuuden liittyviä käsitteitä, joiden ymmärtämisen avulla vähennetään epärealistisia pelkoja liittyen radioaktiiviseen aineeseen.

Taulukon 4.1 avulla opettaja voi eritellä oman opetuksensa kokeellisen työskentelyn osioiden avoimuutta ja täten tukea oppilaiden tutkimuksellista toimintaa. Avoimuuden asetta 0* ei voida pitää IBSE-menetelmän mukaisena toimintana. Ehdotan tutkimustehtäviin seuraavia avoimuuden asteita (katso taulukko 4.1, s.31). Tutkimusvälineiden avoimuuden aste on ”annettu osittain (2)”, jolloin välineet ovat esillä luokassa. Ongelman avoimuuden aste on ”osittain avoin (3)”, koska tehtävänannossa ei määritellä suoraan tutkimuskysymyksiä. Suunnittelun ja tutkimusmenetelmien avoimuuden aste on ”osittain annettu (3)”, koska oppilaat tarvitsevat aikaisempaa tietoa ja opettajan ohjausta kokeellisuuden toteuttamiseen. Tuloksien avoimuuden aste on ”avoin (4)”, koska oikeita vastauksia ei voida skenaarioon määritellä. Näin ollen kokonaisuutena tutkimustehtävät asettuvat avoimuuden asteelle 3.

Oppilaiden on itse hahmoteltava tarvittavat välineet ja rakennettava mittausjärjestelyjä. Työskentelyä ennen oppilaiden on osattava selittää radioaktiivinen hajoaminen ja tiedettävä erilaiset säteilylajit (Liite C), joiden perusteella voidaan edetä radioaktiivisen aineen tutkimiseen ja säteilyn intensiteetin vaimenemiseen.

Valmiin ja tarkan oppilaan ohjeistuksen laatiminen antaisi väärän signaalin IBSE-menetelmän soveltamisesta, mutta oppilaille on silti annettava sopiva työskentelypohja. Radioaktiivisuuden tapauksessa olen rajannut tutkimuksen avoimuutta välineiden ja aikaisemman osaamisen osalta. Olen esittänyt liitteenä mahdollisia mittausjärjestelyjä, joita opettaja voi käyttää oppilaiden ohjauksen tukena (Liite A). Mittausjärjestelyjen ohjeet (Liite A) tutkimuksiin 1 ja 2 pohjautuvat Philip Harrisin tekemään ohjeeseen *Experimental Radioactivity Bench* (2011), mutta tutkimukset 3, 4 ja 5 ovat tutkielmaproessin aikana kehittämiäni tehtäviä.

- Tutkimus 1. Luokittele radioaktiiviset ja ei-radioaktiiviset materiaalit.
- Tutkimus 2. Tutki radioaktiivisen hajoamisen satunnaista luonnetta Koboltti-60 avulla.
- Tutkimus 3. Tekeekö säteilyaltistus materiaalista radioaktiivista?
- Tutkimus 4. Alfa-, beeta- ja gammasäteilyn intensiteetin vaimeneminen.
- Tutkimus 5. Gammasäteilyn intensiteetin vaimeneminen eri metalleissa.

Oppilaat joutuvat itse miettimään aikaisemman tiedon perusteella, mitä muuttujia säteilyturvallisuuksessa on olemassa. Tehtävä voi olla vaativa, mutta kolmivaihe-mallin mukaan merkityksellisyys herättää oppilaan sisäisen motivaation. Näin ollen teorian opiskelu on mielekkäämpää myös opettajan ohjaamana, eikä opettajan tarvitse tuolloinkaan antaa kaikkia vastauksia. Tässä tulee huomata ero oppilasjoh-toisen ja opettajakeskeisen oppimisen välillä (luku 3.3, s.19). Tutkimusvaiheeseen liittyvä tiedonhaku onnistuu oppikirjoista ja Säteilyturvakeskuksen (STUK) verkkosivuilta, joita voidaan pitää aihepiirin luotettavana lähteenä. Näin oppilaat voivat itse hakea tietoa, eikä heidän tarvitse turvautua satunnaiseen tietoon verkossa tai opettajakeskeiseen esittelyyn.

Esittelen seuraavaksi luonnontieteellisiä kysymyksiä, joiden avulla oppilaita voidaan ohjata tutkimusten 1-5 mukaiseen työskentelyyn. Nämä kysymykset siis ohjaavat oppilasta skenaariosta tutkimusvaiheeseen. Oppilaille voidaan myös painottaa,

että tavoitteena on perustella omat näkemykset eikä niinkään odottaa, että opettaja kertoo oikean vastauksen. Tutkimusvaiheen aikana tarvitaan tietenkin opettajan ohjausta ja valvontaa, jotta oppilaat saavat varmistusta omille ideoilleen. Tutkimusten erikoislaadusta johtuen turvallisuusohjeet on käytävä läpi ennen kokeellisuutta (Liite B).

Säteilyturvallisuuden tutkimuksiin sopivia johdattelevia tutkimuskysymyksiä voivat olla esimerkiksi

- Mitä on radioaktiivisuus ja miten se voidaan havaita?
- Millainen on radioaktiivisen hajoamisen luonne?
- Miten erilaiset säteilylajit etenevät väliaineessa?
- Mitkä aineet ovat hyviä säteilyn hidastimia?
- Mitkä tekijät ovat tärkeitä säteilyn intensiteetin vaimenemisessa?
- Mitkä tekijät vaikuttavat säteilyannoksen suuruuteen?

Opettaja voi johdatella ryhmää oikeaan suuntaan, mikäli oppilaat eivät osaa aloittaa tutkimuskysymysten laatimista. Tällöinkin on vältettävä antamasta ongelmia suoraan oppilaille. Nämä kysymykset siis ohjaavat oppilaita tutkimaan ja ottamaan selvää uusista käsitteistä. Sisäisen motivaation ylläpitämiseksi pelkkä käsitteellisen tiedon oppiminen ei riitä. Tutkimusvaiheessa tulee keskittyä siihen, että teorian avulla pystytään vastaamaan skenaariossa esitettyihin ongelmiin.

Päätöksentekovaihe: Tässä vaiheessa on tärkeää, että oppilaat pääsevät vahvistamaan uusia käsityksiään. Ennen päätöksentekoa oppilaiden tulisi keskustella keskenään, miten he perustelevat omia päätöksiään. Tämän jälkeen on aika julistaa päätökset skenaarion ongelmiin. Päätöksenteon toteutustapojen rajana on vain opettajan luovuus. Tämä on oppimisen kannalta tärkeä vaihe. Päätöksentekoon on käytettävä yhtä paljon huomiota kuin kolmivaihemallin muihinkin vaiheisiin. Päätöksenteko voidaan sitoa koulun ulkopuolisiin toimijoihin. Tällöin oppilaat raportoivat projektinsa tuloksia myös muille kuin oman luokkansa oppilaille. Myös draamaa voidaan käyttää tulosten esittelyyn, jolloin korostuu menetelmän tavoitteet oppia myös

sosiaalisia taitoja. Esimerkissäni oppilaiden on löydettävä oleellisia menetelmiä, joilla voidaan vähentää turhaa pelkoa radioaktiivisuutta kohtaan. Oikeita vastauksia ei ole olemassa, joten perusteluihin on kiinnitettävä erityistä huomiota. Opettaja voi kiinnittää myös huomiota siihen, yrittävätkö oppilaat poistaa virhekäsityksiä laatimassaan ohjeessa valmiiksi suunniteltujen kokeiden avulla vai käyttävätkö he samaa menetelmää, jolla itse opiskelivat asian.

Tutkimuksissa ei käsitellä yleistä puoliintumisaikaa, koska se ei ole suojauksen rakenteen kannalta oleellista. Puoliintumisaika voisi olla mahdollinen jatkotutkimus näiden tutkimusten jälkeen. On mielenkiintoista tietää, kuinka kauan uraanin isotooppeja ^{238}U ja ^{235}U on pidettävä loppusijoituksessa. Oleellisia käsitteitä säteilyturvallisuudessa ovat etäisyys, aika ja suojauksen rakenne. Oppilaille on saattanut nousta erilaisia kysymyksiä tutkimusten aikana, joiden perusteella opettaja voi järjestää mielekästä teoriaopetusta ja uutta kokeellista työskentelyä.

Tuntisuunnitelmat: Työskentelyn ajankäyttöä arvioin seuraavasti. Skenaarion esittely ja tutkimuskysymysten laatiminen kestää noin 2 oppituntia¹. Mittausten suunnittelu ja suorittaminen, teoriaan perehtyminen sekä tulosten analysoiminen vie aikaa noin 2 oppituntia tutkimusta kohden. Päätöksentekovaiheeseen on hyvä käyttää 2 oppituntia, jotta oppilaat pystyvät vertailemaan tuloksiaan keskenään ja he saavat yhdessä laadittua ohjeet radioaktiivisuuteen liittyvien pelkojen poistamisesta. Näin ollen tähän toimintaan voi kulua yhteensä 14 oppituntia aikaa, mikä kuulostaa melko suurelta määrältä lukiossa käytettäväksi pelkästään säteilyturvallisuuden opettamiseen.

Mahdollisesti tutkimuskysymysten teoriapohjan selvittäminen voidaan suorittaa kotitehtävinä ryhmätyöskentelyn avulla esimerkiksi googledocs sovelluksen avulla, jolloin projektin tuntitaakkaa saadaan vähennettyä lukion kurssin opetussuunnitelmasta. Lisäksi voidaan keskittyä vain kaikkein oleellisimpiin tutkimuksiin, jotka ovat säteilyn intensiteetin vaimeneminen ja säteilytyksen aktivointiin liittyvä työ. Tällöin tarvittava aika on mielestäni vähintään 6 oppituntia.

¹Yhdellä oppitunnilla tarkoitan 45 min jaksoa.

Ennakkokäsitykset: Radioaktiivisuudesta ilmenevät ennakkokäsitykset ovat esiteltynä tutkimuksessani erityisesti siitä syystä, että valmiiksi suunniteltu kokeellinen työskentely ei näyttäisi poistavan ennakkokäsityksiä aiheesta. Toisekseen siksi, että niitä on pyritty huomioimaan tutkimusesimerkeissäni. Virhekäsitysten testaamiseen esitän kuitenkin kolmivaihemallin tutkimusvaiheen lopussa tapahtuvan oppilasjohtoisen menetelmän avulla. Opettaja esittää luokalle seuraavat väitteet: 1 Luokahuoneessa ei ole normaalisti radioaktiivisuutta. 2 Säteilytys tekee materiaaliasta radioaktiivista. 3 Radioaktiivinen aine on ihmisen luomaa. 4 Radioaktiivisen aineen lämpötila vaikuttaa sen aktiivisuuteen. Näiden väittämien perusteella oppilaat tekevät hypoteesit ja suunnittelevat koejärjestelyitä, joilla voidaan testata opettajan esittämiä väitteitä. Nämä olivat luvussa 3.1 esiteltujen tutkimusten kaikista yleisimmät virhekäsitykset, joita opiskelijoilla ilmeni. Rajausta aiheuttaa myös kokeellisuuden vaatimus, koska kaikkia virhekäsityksiä ei voida mielekkäästi osoittaa vääriksi Geigerputken avulla.

Näitä vastaavat kokeelliset mittaukset ovat seuraavia: a) Geigerputkella voidaan havaita luokahuoneessa taustasäteilyä, jonka yksi aiheuttaja on betonirakenteissa olevat pienet uraanipitoisuudet. b) Säteilylähteen eteen asetetaan jokin esine noin 10 min ajaksi, jonka jälkeen sitä tutkitaan Geigerputkella. c) Selkein esimerkki lienee paljon urania sisältävä mineraali eli uraniitti, jota löytyy luonnosta. Tätä mineraalia voidaan tarkastella Geigerputkella. d) Säteilylähde (muovikapselissa oleva) voidaan laittaa pakkaseen tai lämmittää vedellä, jonka jälkeen aktiivisuutta voidaan verrata huoneen lämpötilassa mitattuun aktiivisuuteen.

6.2 Opiskelukokonaisuuden työskentelyohje oppilaalle

Esittelen seuraavaksi esimerkin oppilaalle annettavasta työohjeesta. Tämän lisäksi oppilaalle voidaan antaa mittauspöytäkirjapohja, johon tulee kirjata tutkimuskysymykset, hypoteesit, mittausjärjestelyt ja tulokset. Ohjeissa ei siis anneta suorita toimintaohjeita. Oppilaan ohjeessa tulee keskittyä oleellisiin kysymyksiin, joiden avulla oppilasryhmät voivat edetä tutkimuksissaan itsenäisemmin. IBSE-menetelmän tavoitteena on oppilaskeskeinen oppiminen, mutta työskentelyä ei voida toteuttaa ilman opettajan ohjausta.

Skenaario: Tulevaisuudessa tapahtuu ydinvoimaloiden ydinjätteiden loppusijoituksia. Näyttää sille, että osa sijoituksista tehdään Suomen kallioperään. Loppusi-

joitus on herättänyt kuntalaisissa monenlaisia pelkoja ympäri Suomea ja sosiaalinen media on reagoinut hankkeisiin voimakkaasti. Tunnetusti ongelmat voivat eskaloitua sosiaalisessa mediassa hyvin nopeasti. Täten Suomen hallitus on määrännyt koulutuslaitokset valistamaan asiaan liittyviä seikkoja kansalaisille. Tehtävänäsi on suunnitella tiedotus- ja koulutustilaisuus kunnanhallitukselle ja keskeisille päättäjille. Täten pyritään vähentämään tarpeetonta pelkoa radioaktiivisuutta kohtaan.

Pohtikaa ryhmässä seuraavia aiheita:

- Missä olet kuullut puhuttavan radioaktiivisuudesta?
- Onko luokassa radioaktiivista ainetta?
- Onko kaikki säteily vaarallista?
- Uskaltaisitko mennä ydinvoimalaan töihin?

Kirjoittakaa yhteisen keskustelun ja opettajan ohjeistuksen perusteella skenaarioon liittyviä luonnontieteellisiä tutkimuskysymyksiä, joiden pohjalta voitte suorittaa mittausjärjestelyjä.

Tutkimusvaihe: Miettikää noin 2-5 mahdollista koejärjestelyä, joiden avulla voitte tutkia oleellisia piirteitä radioaktiivisuudesta säteilysuojelun näkökulmasta. Käytösänne ovat luokassa olevat välineet. Tehkää tämän jälkeen suunnitelma tarvittavista laitteista ja mittauksien suorittamisesta. Tarkastelkaa tulostenne johdonmukaisuutta ja etsikää kirjallisuudesta tukea tuloksillenne. Lähteenä voivat toimia oppikirja tai STUK-verkkosivut.

Päätöksentekovaihe: Ennen päätöksentekoa keskustelkaa myös muiden pienryhmien kanssa, miten he perustelevat omia päätöksiään. Vertailkaa tuloksianne ja perusteluja väitteillenne. Tämän jälkeen on aika esittää tulokset ja ehdotukset, kuinka epärealistisia pelkoja radioaktiivisuutta kohtaan voidaan vähentää. Esitelmien perusteella koko ryhmän tulee äänestää parhaat menetelmät, joiden perusteella muodostetaan kansalaisille perehdyttämisohje säteilyturvallisuuteen.

Keskustelu ja pohdinta

Ensimmäinen tutkimuskysymykseni käsitteli IBSE-menetelmän soveltamista radioaktiivisuuden opettamiseen. Soveltaminen radioaktiivisuuteen liittyviin abstrakteihin käsitteisiin on haasteellista, mutta voidaan toteuttaa oppilaskeskeisen oppimisen avulla tarkasti laaditun opiskelukokonaisuuden avulla. IBSE-menetelmän avulla voidaan liittää radioaktiivisuus yhteiskunnalliseen ongelmaan, johon oppilaat voivat ottaa kantaa hypoteesien ja mielipiteiden avulla. Mikäli oppilaat kokevat ongelman merkitykselliseksi, kolmivaihemallin mukaan heille syntyy sisäinen motivaatio ongelman selvittämiseen. Määrätietoisien työskentelyn ja opettajan ohjauksen avulla saavutetaan oppilaskeskeinen oppiminen, jossa oppilaat muodostavat tietoa sosiaalisessa tapahtumassa. Opettajan rooli on merkittävä oppilaskeskeisessä oppimisessä, vaikka usein keskitytään oppilaiden väliseen vuorovaikutukseen.

IBSE-menetelmä voidaan yhdistää kolmivaihemallin tutkimusvaiheessa yleisiin ennakkokäsityksiin radioaktiivisuudesta. Tutkimusvaiheen lopussa opettaja voi esittää yleisiä ennakkoluuloja väitteinä oppilaille. Väitteiden avulla opettaja pystyy selvittämään onko työskentelyn avulla saavutettu syvällisempää käsitteellistä ymmärrystä aiheesta. Mikäli ennakkoluuloja ilmenee vielä oppilasjohtoisen työskentelyn jälkeen, opettaja voi ohjata lisää kokeellisia mittauksia. Laatimieni tehtävien avulla saatetaan oppilaan virhekäsitykset ja kokeelliset tulokset keskenään ristiriitaan.

Toisena tutkimuskysymyksenäni oli IBSE-menetelmän soveltamisen haasteet, joita mietin seuraavaksi. Mielestäni tutkielmassa on kauhaistu pedagogiikan viitekehystä riittävän syvältä, jotta voidaan tiivistää seuraavia seikkoja motivoivan opetuksen valmistelusta. IBSE-menetelmän avulla pystytään luultavasti parantamaan oppilaiden työskentelyn motivaatiota luonnontieteissä, koska se mahdollistaa oppilaan

aktiivisen osallistumisen ja menetelmän avulla voidaan monipuolistaa työskentelytapoja. Lisäksi luonnontieteiden opetus voidaan sitoa oppilaan arkielämään tarkasti valittujen yhteiskunnallisten ongelmien avulla. Työskentelyn monipuolisuus tuo mielekkyyttä ja yhteiskunnalliset ongelmat tekevät oppimisesta merkityksellistä. Näitä rakenneseitä tulisi siis motivoivan opetusmenetelmän sisältää.

Tutkimukset luonnontieteiden suosion huononemisen trendistä ovat mielestäni yhdenmukaisia ja vaikutukset näkyvät konkreettisesti oppilaiden hakeutumisessa kolmannen asteen koulutukseen (EC, 2005). On mahdollista, että tilannetta voidaan parantaa IBSE-menetelmän avulla. Täten opettajien on hyvä ottaa huomioon opetuksen suunnittelussa oppilaan motivaation merkitys ja opetettavan aiheen merkityksellisyys oppilaan arkielämässä.

Suomen opetussuunnitelmien perusteet (2004, 2003) perusopetuksen ja lukion osalta näyttäisivät olevan opetuksen järjestämisen määräysten kannalta suotuisia IBSE-menetelmän ja yhteiskunnallisten ongelmien (SSI) kannalta. Täten niitä voidaan soveltaa määräysten puolesta.

Mielestäni lukion opetussuunnitelman perusteissa (2003) luonnontieteiden oppiaineiden kurseilla on laajat käsitteelliset sisällöt. Tästä mainitaan myös yleisesti Euroopan komission raportissa (Gago ym., 2004). Tämä voi olla yksi syy pedagogiikan hitaaseen uudistumiseen lukiossa, koska tutkimuksellinen opetusmenetelmä näyttäisi vaativan enemmän aikaa (Holbrook ym., 2008). Tuota aikaa ei ole käytettävissä, jos sisällöt ovat suuria. Tietenkin voidaan painottaa, että lukiossa opettajan tulee keskittyä kaikista olennaisimpiin käsitteisiin. Tällöin käsitteet eivät näytä vain luettelolta, mutta oppilaiden tasa-arvon takia tällaiset yleiset luonnonlait pitäisi olla mainittuna lukion opetussuunnitelman perusteissa (2003). Lukiot tähtäävät myös ylioppilaskirjoituksiin. Tämä voi vaikuttaa opettajien halukkuuteen tehdä sisällöllisiä muutoksia koulujen opetussuunnitelmiin. IBSE-menetelmän käyttö lukiossa on näistä syistä hieman haastavaa.

Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteiden uudistaminen tapahtuu vuonna 2016. Uudistuksen tavoitteena yleisellä tasolla on luoda paremmat edellytykset koulun kasvatustyölle, mielekkäälle oppimiselle ja kestäväälle tulevaisuudelle. Tämän tavoitteen saavuttamiseksi Opetushallitus esittää, että perusopetuksen sisältöjä jäsennetään ja karsitaan. Näin oppiminen voi tapahtua kiireettömästi, opetuksessa voidaan keskittyä olennaiseen ja oppiminen on syvällisempää. (OPS2016, 2014) Mikäli tämä linjaus säilyy vuonna 2016 julkaistavissa perusopetuksen opetussuunnitel-

man perusteissa, IBSE-menetelmän kaltaiset tutkimukselliset luonnontieteiden opetusmenetelmät sopivat perusopetukseen mielestäni hyvin.

Voidaan melko luotettavasti olettaa, että merkityksellinen ja oleellinen luonnontieteiden koulutus synnyttää oppilaille positiivisia kokemuksia. Täten oppilaat kokevat koulutuksen mielenkiintoisena ja sisäinen motivaatio herää opiskelua kohtaan. Tällä tavoin tulevaisuuden Euroopassa on luonnontieteiden, teknologian ja tekniikan alan asiantuntijoita ja huippututkijoita.

IBSE-menetelmän kriittinen arviointi on syytä pitää mielessä, jotta mahdolliset positiiviset vaikutukset koulutukseen eivät peitä haasteita. Tietyntyylinen uhkakuva menetelmälle on mielenkiintoisen ja hauskan luonnontieteellisen toiminnan loppu-tulos, jossa ei opita luonnontieteisiin liittyviä tarpeellisia käsitteitä. Tästä voisi aiheutua käsitteellisen ymmärtämisen romahtaminen kaikilla koulutuksen asteilla. Tämän uhkakuvan toteutuessa yliopistojen keskeyttäneiden määrä lisääntyisi luultavasti merkittävästi. Oppilasta olisi tavallaan johdettu harhaan tieteellisen tiedon laajuudesta, jota tarvitaan yliopistossa. Tämä uhkakuva vältetään sillä, että perus- ja lukio-opetuksessa käytetään monipuolisia opetusmenetelmiä. IBSE-menetelmä tähtää syvällisempään ymmärrykseen luonnontieteiden käsitteistä. Menetelmä vaatii kuitenkin enemmän aikaa, joten käsitteitä ei välttämättä ehditä käydä yhtä paljon läpi. Toisaalta hyvin opitut käsitteet peruskoulussa ja lukiossa vähentävät kertauksen tarvetta yliopistossa.

IBSE-menetelmän käytön haaste on myös opetuksen liittäminen yhteiskunnallisiin ongelmiin. Ongelman asettelussa tarvitaan ammattitaitoa, koska opettajan omat mielenkiinnon kohteet eivät välttämättä kohtaa oppilaiden kanssa. Tämän lisäksi ongelma on pystyttävä sitomaan oleelliseen luonnontieteelliseen ilmiöön. Tästä syystä opettajien yhteistyö ja verkostoituminen olisi tärkeää, koska näitä sopivia ongelmia on vaikea löytää. Laajan yhteistyön avulla saadaan kerrytettyä paremmin opiskeluko-konaisuuksia, jotka ovat IBSE-menetelmälle sopivia. IBSE-menetelmä vaatii opettajalta melko laaja kompetenssia, joten jatkokoulutuksen tarve on todennäköistä.

Oppilaan osallistuminen yhteiskunnallisesti merkittävään luonnontieteelliseen keskusteluun voi kuulostaa suurelta kynnykseltä. Ei voida olettaa, että oppilaat pysyvät argumentoimaan tiedeyhteisön tasolla olevia ongelmia saati löytämään uusia ratkaisuja näihin ongelmiin. Opettajan on rajattava ongelmaa riittävästi, jotta sitä voidaan tarkastella joltakin tietyltä kannalta. Lisäksi oppilailla on oltava asiasta joltakin käsitteellistä tietoa ennakkoon. Mielestäni luonnontieteelliset ongelmat eivät

voi olla täysin avoimia opetuksessa, koska jo tiedeyhteisökin nojaa vahvasti aikaisempaan tietoon. Toisaalta ongelmat voisivat olla avoimia, mutta luonnontieteellistä tietoa toiminnalla olisi erittäin vaikea saavuttaa.

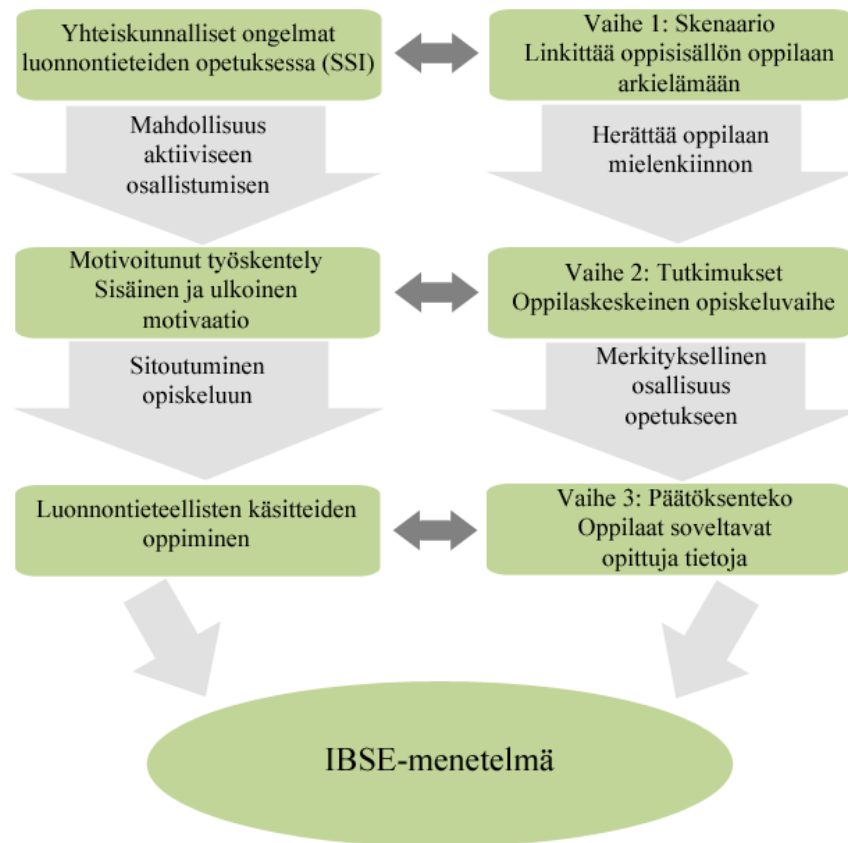
IBSE-menetelmä tuo mielestäni mielekkään sovelluksen teorialle, mutta sen suunnittelu on haastavaa. Menetelmä toimii mielestäni parhaiten ilmiöissä, joissa useita käsitteitä voidaan ymmärtää toisten käsitteiden avulla. Esittelemässäni opiskelukokonaisuudessa radioaktiivisen hajoamisen ja säteilylajien syntyminen ymmärtämisen jälkeen voidaan tarkastella säteilyn vaimenemista väliaineessa melko oppilaskeskeisesti. Lisäksi menetelmän avulla voidaan herättää mielenkiintoa teoriaa kohtaan, vaikka opettaja mahdollisesti joutuu esittelemään uuden asian. Tämäkin tyyli on IBSE-menetelmän kaltainen, koska teorian esittelyn jälkeen voidaan edetä kolmivaihemallin mukaan. IBSE-menetelmän tavoite ei ole mielestäni se, että oppilaat yrittävät keksiä uudestaan luonnonlakeja omasta päästään. Ensisijaisesti menetelmän avulla voidaan lisätä oppilaiden osallisuutta luonnontieteiden opetuksessa.

Luonnontieteiden opetuksen oletetaan olevan vain tieteen tekijöille suunnattua opetusta, vaikka yliopistoura on vain yksi monista luonnontieteiden mahdollisuuksista (Gago ym., 2004). IBSE-menetelmän avulla voidaan tukea tämän ajattelun muuttumista, koska työskentelystä on mahdollista tehdä oppilaille merkityksellistä myös yhteiskunnan kannalta. IBSE-menetelmän sisältämät työskentelytavat näyttäisivät sopivan myös tytöille hyvin, koska he halusivat enemmän keskustelevaa toimintaa. Tyttöjen motivoiminen luonnontieteiden parissa voi tuoda merkittäviä resursseja korkeakoulujen luonnontieteellisille aloille.

Motivoivan opetuksen suunnittelussa tulisi ottaa huomioon seuraavia asioita:

- Mielekkyyttä luonnontieteiden oppitunneille saadaan monipuolistamalla opetusmenetelmiä. Erityisesti sellaisia työskentelytapoja tulisi lisätä, joissa oppilaat pääsevät itse osallistumaan opetukseen.
- Merkityksellisyyttä luonnontieteiden oppitunneille saadaan käyttämällä tarkoin valittuja yhteiskunnallisia ongelmia, jotka ovat nuorelle entuudestaan tuttuja.
- Sisäisen motivaation syntyminen voidaan saada aikaan käyttämällä IBSE-menetelmää. Kolmivaihemallin avulla oppilaalla on mahdollisuus määrätietoiseen työskentelyyn, jolloin motivaatio säilyy ainakin työskentelyjakson ajan.

IBSE-menetelmän käyttöönotolla voidaan monipuolistaa nykyisiä opetusmenetelmiä ilman suuria materiaali- ja välinehankintoja, mutta opettajien jatkokoulutus ja tukiverkosto olisi järjestettävä menetelmän haastavuuden takia. Kuvassa 7.1 olen tehnyt yhteenvedon IBSE-menetelmän ratkaisevista osa-alueista rinnakkain kolmivaihemallin kanssa.



Kuva 7.1: Motivaation ja merkityksellisyden ratkaisevat roolit ja kolmivaihemallin integraatio IBSE-menetelmässä.

Kyseistä opiskelukokonaisuutta voidaan käyttää jatkossa opetusinterventiossa, jossa tulisi tutkia sen vaikutuksia oppilaiden motivaatioon, käsitteellisen ymmärtämisen tasoon sekä opiskelun mielekkyyteen ja merkityksellisyyteen. Tämän toteuttaminen on mahdollista Case-tutkimusten avulla. Yksittäisten Case-tutkimusten tuloksia voitaisiin yhdistellä yleistysten saavuttamiseksi. Oppilaskyselyn järjestämi-

sessä on huomioitava oppilaiden mahdollinen vaikeus erottaa käsitteitä mielekkyys ja merkityksellisyys. On myös mahdollista, että oppilaiden on vaikea eritellä motivaation roolia työskentelyssä luonnontieteiden tunnilla. Tästä syystä motivaatiota voitaisiin tarkastella toimeliaisuuden näkökulmasta. Mikäli oppilaat aktivoituvat työskentelemään normaalia enemmän, voidaan katsoa motivaation nouseen jollakin tasolla. Oppilaiden motivaation mittaamista voitaisiin tukea opettajien näkemysten avulla. Opettajat voisivat tarkkailla IBSE-menetelmän vaikutuksia luokkansa toimintaan. Toisaalta motivaatio voidaan määritellä jollakin tarkoituksen mukaisella tavalla, jolloin sitä voidaan selvittää epäsuorien kysymysten avulla.

Jatkossa tulisi tutkia myös IBSE-menetelmän vaikutuksia pitkittäistutkimuksen avulla. Motivaation, merkityksellisyyden ja mielenkiinnon kohoaminen olisi luotettava mittapuu IBSE-menetelmän toimivuudesta. Pitkittäistutkimus voidaan toteuttaa esimerkiksi seuraamalla oppilaiden suuntautumista perus- ja lukiokoulutuksen jälkeen luonnontieteiden alan jatkokoulutuksiin. Yksinään opetusmenetelmät eivät riitä luonnontieteiden suosion parantamiseksi vaan on huomioitava myös yhteiskunnan asettamia haasteita. Näistä mielestäni yksi oleellisin on luonnontieteiden opetuksen ympärillä oleva ennakkoluulo, jonka mukaan luonnontieteet mielletään vain tiedemiesten oppiaineiksi. Vastaavat ennakkoluulot voivat vaikuttaa oppilaan uravalintoihin. Tästä syystä ennakkoluulot luonnontieteiden opetusta kohtaan tulisi huomioida tutkimuksissa, joissa pyritään parantamaan luonnontieteiden suosiota.

- Aubrecht, G. J. & Torick, D. A. 2001. *Designing Inquiry-based Courses in Mathematics and Physics*. The Ohio State University.
- Auriol, L., Hemmo, V. & Sgard, F. 2006. *Evolution of Student Interest in Science and Technology Studies*. Organisation for Economic Co-operation and Development.
- Bisconti, A. S. 2011. Communication with Stakeholders about Nuclear Power Plant Radiation. *Health Physics Society*, **100**(1), 97–102.
- Dörnyei, Z. 2006. *Motivational Strategies in the Language Classroom*. Cambridge: Cambridge University press.
- Duit, R. & Treagust, D. 1998. Learning in Science – from Behaviourism Towards Social Constructivism and Beyond. Teoksessa B. J. Fraser & K. G. Tobin (toim.), *International handbook of science education*, 3–25. Kluwer Academic Publishers.
- EC 2005. *Special Eurobarometer: Europeans, Science and Technology*. European Commission.
- EC 2011. *Science Education in Europe: National Policies, Practices and Research*. EACEA P9 Eurydice.
- Forbes, C. T. & Davis, E. A. 2008. Exploring Preservice Elementary Teachers' Critique and Adaptation of Science Curriculum Materials in Respect to Socioscientific Issues. *Science and Education*, (17), 829–854.

- Freedman, Y. 2012. *University Physics*. Jim Smith.
- Gago, J. M., Ziman, J., Caro, P., Constantinou, C., Davies, G., Parchmann, I., Rannikmäe, M. & Sjöberg, S. 2004. *Europe Needs More Scientists: Report by the High Level Group on Increasing Human Resources for Science and Technology in Europe*. European Commission.
- Harmelen, M. 2008. Design Trajectories: Four Experiments in PLE Implementation. *Interactive Learning Environments*, **16**(1), 35–46.
- Hidi, S. & Renninger, K. A. 2006. The Four-phase Model of Interest Development. *Educational Psychologist*, **41**(2), 111–127.
- Holbrook, J. & Rannikmäe, M. 2007. The Nature of Science Education for Enhancing Scientific Literacy. *International Journal of Science Education*, **29**(11), 1137–1362.
- Holbrook, J. & Rannikmäe, M. 2010. Contextualisation, De-contextualisation, Re-contextualisation – A Science Teaching Approach to Enhance Meaningful Learning for Scientific Literacy. Teoksessa I. Eilks & B. Ralle (toim.), *Contemporary Science Education*, 69–82. Germany: Shaker.
- Holbrook, J., Rannikmäe, M. & Kask, K. 2008. Teaching the PARSEL Way: Students' Reactions to Selected PARSEL Modules. *Science Education International*, **19**(3), 303–312.
- IOM 2003. *Engaging schools: Fostering High School Students' Motivation To Learn*. Washington: National Academics Press.
- Jelliffe, A. M. & Stewart, F. S. 1969. Radium Vita Emanator – An unusual Potential Radiation Hazard. *British Medical Journal*, **2**, 305–306.
- Jordan, A. C. & Orison-Stack, A. 2008. *Approaches to Learning : A Guide for Teachers*. Berkshire: Open University Press.
- Juuti, K., Lavonen, J., Uitto, A., Byman, R. & Meisalo, V. 2010. Science Teaching Methods Preferred by Grade 9 Students in Finland. *International Journal of Science and Mathematics Education*, (8), 611–632.

- Klemola, S. 2002. Säteilyn ilmaisimet. Teoksessa T. K. Ikäheimo (toim.), *Säteily ja sen havaitseminen*, 116–132. Hämeenlinna: Karisto Oy.
- Kupari, P., Välijärvi, J., Andersson, L., Arffman, I., Nissinen, K., Puhakka, E. & Vettenranta, J. 2013. *PISA12 Ensituloksia*. Opetus- ja kulttuuriministeriön julkaisu.
- Lavonen, J., Angell, C., Bymen, R., Henriksen, E. K. & Koponen, T. 2007. Social Interaction in Upper Secondary Physics Classrooms in Finland and Norway: A Survey of Students' Expectations. *Scandinavian Journal of Educational Research*, **51**(1), 81–101.
- Lehtonen, A. 2012. Three-stage Study Modules in Finnish Physics Education at the Secondary School Level. Teoksessa C. Bolte, J. Holbrook & F. Rauch (toim.), *Inquiry-based Science Education in Europe: Reflections from the PROFILES Project*, 109–111. Freie Universität Berlin.
- Marttila, O. J. 2002. Suureet ja yksiköt. Teoksessa T. K. Ikäheimo (toim.), *Säteily ja sen havaitseminen*, 66–91. Hämeenlinna: Karisto Oy.
- Nakibogly, C. & Tekin, B. B. 2006. Identifying students' Misconceptions about Nuclear Chemistry. A Study of Turkish High School Students. *Journal of Chemical Education*, **83**(11).
- Novoa, A. & Yariv-Mashal, T. 2003. Comparative Research in Education: A Mode of Governance or a Historical Journey? *Comparative Education*, **39**(4), 423–438.
- Opetushallitus 2003. *Lukion opetussuunnitelman perusteet*. Helsinki: Opetushallitus.
- Opetushallitus 2004. *Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet*. Helsinki: Opetushallitus.
- Opetushallitus 2011. *Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteiden muutokset ja täydennykset 2010*. Tampereen yliopistopaino Oy.
- OPS2016, 2014, <http://www.oph.fi/ops2016/tavoitteet> (voimassa 09.02.2014).

- Ottander, C. & Ekborg, M. 2012. Students' Experience of Working with Socioscientific Issues - a Quantitative Study in Secondary School. *Research in Science Education*, **42**, 1147–1163.
- Prather, E. 2005. Students' Beliefs About the Role of Atoms in Radioactive Decay and Half-life. *Journal of Geoscience Education*, **53**(4), 345–354.
- Rauste-vonWright, M. 2003. *Oppiminen ja koulutus*. Helsinki: WSOY.
- Reeve, J. 2002. Self-determination Theory Applied to Educational Settings. Teoksessa E. L. Deci & R. M. Ryan (toim.), *Handbook of Self-determination Research*, 183–203. University of Rochester Press.
- Rochard, M., Csermely, P., Jorde, D., Lenzen, D., Walberg-Henriksson, H. & Hemmo, V. 2007. *Science Education Now: A Renewed Pedagogy for the Future of Europe*. European commission.
- Simola, H. 2005. The Finnish Miracle of PISA: Historical and Sociological Remarks on Teaching and Teacher Education. *Comparative Education*, **41**(4), 455–470.
- Smith, C. 2011. Scientific Thinking. *ICASE newsletter*, (April), 11–12.
- STUK 2007. *Ionisoivan säteilyn käyttö fysiikan ja kemian opetuksessa*. Säteilyturvakeskus.
- Väljärvi, J., Kupari, P., Linnakylä, P., Reinikainen, P., Sulkunen, S., Törnroos, J. & Arffman, I. 2003. *The Finnish Success in PISA - And Some Reasons Behind It 2*. OECD.
- PROFILES, 2011, <http://www.uef.fi/fi/profiles> (voimassa 28.01.2014).

Esimerkkejä mittausjärjestelyistä

Nämä tutkimusohjeet (1-5) ovat esiteltyinä tässä opettajan ohjauksen näkökulmasta. Tämän tyylisten tutkimusten avulla voidaan selvittää säteilyturvallisuuden aihepiiristä oleellisia seikkoja. Aikaisemmassa tutkimuksessa väitettiin, että ennakkokäsitykset eivät muutu suorittamalla valmiita koejärjestelyjä (Prather, 2005). Tästä syystä suoria ohjeita tulisi välttää.

Tutkimus 1. Luokittele radioaktiiviset ja ei-radioaktiiviset materiaalit.

Mittausvälineet:

- Pulssimittari
- Geigerputki
- Radioaktiiviset mineraalit tai muut radioaktiiviset materiaalit
- Ei-radioaktiiviset materiaalit

Mittauksen suorittaminen:

1. Kytke Geigerputki pulssimittariin.
2. Aseta vahvistus 440 V ja mittausaika 10 s ja kytke virta päälle.
3. Tee yksi mittaus ja lue pulssimittarin lukema digitaalinäytöstä ilman näyttettä. Pulssimittarin näytön vieressä on katkaisin, jolla voit valita yksittäisen mittauksen (single reading) tai jatkuvat syklit (continuous).

4. Aseta erilaisia materiaaleja hyvin lähelle Geigerputkea vuorotellen ja mittaa kullekin 10s sykli.
5. Taulukoi näytteiden tulokset pulssimittarin digitaalinäytöltä.
6. Luokittele radioaktiiviset ja ei-radioaktiiviset näytteet mittauksen perusteella.

Keskustelun paikka! Mineraalien ja kivien mahdolliset erittäin pienet uraanipitoisuudet aiheuttavat radioaktiivisuutta. Radioaktiivisuutta on siis todellakin luokkahuoneessa läsnä ilman erillisiä säteilylähteitä ja tätä säteilyä kutsutaan luonnolliseksi taustasäteilyksi. Itä-Suomen yliopiston LUMA-keskuksessa taustasäteilystä aiheutuva pulssimittarin lukema on noin 1 s^{-1} , riippuen kyseisen pulssimittarin vahvistuksen suuruudesta.

Taulukko A.1: Esimerkkejä mahdollisista tuloksista.

Näyte	Uraniitti	Monatsiitti	Liuskekivi	Betoni
Pulssimittarin lukema (s^{-1})	84	71	2	3
Korjattu pulssimittarin lukema (s^{-1})	83	70	1	2

Mikäli oppilaat mittaavat useamman jakson samalla näytteellä, huomaavat he tuloksissa heittoja. Tämä voi nostaa kysymyksiä mittauksen luotettavuudesta. Tästä voidaan luonnollisesti jatkaa seuraavaan mittaukseen, jossa perehdytään radioaktiivisen hajoamisen satunnaiseen luonteeseen.

Tutkimus 2. Tutki radioaktiivisen hajoamisen satunnaista luonnetta koboltti-60 avulla.

Mittausvälineet:

- Pulssimittari
- Näytepidike
- Geigerputki
- Pihdit säteilylähteen käsittelyyn
- Co-60 gammaemitteri

Mittauksen suorittaminen:

Mittauslaitteiston asetukset pysyvät kaikkien tutkimusten ajan vakiona tutkimuksen 1 mukaisella tavalla.

1. Käsittele säteilylähdettä pihdeillä ja aseta Co-60 gammaemitteri pidikkeeseen 7 cm päähän Geigerputkesta.
2. Mittaa seuraavaksi 10 s mittaisia jaksoja peräkkäin 5 minuutin ajan ja kirjaa tulokset pulssimittarista taulukkolaskentaohjelmaan.
3. Laske mitattujen arvojen keskiarvo taulukkolaskentaohjelmalla.

Mittaustulosten tilastollinen käsittely taulukkolaskentaohjelmalla:

Laske mitattujen arvojen keskiarvo taulukkolaskentaohjelmalla. Arvoissa voi olla suurtakin vaihtelua, mutta on tärkeää valita peräkkäiset jaksot vaihtelusta huolimatta. Täten vältetään systemaattinen virhe, joka aiheutetaan valikoimalla tuloksia.

1. Laske mitattujen arvojen keskiarvo x_m .
2. Laske mitattujen arvojen poikkeama keskiarvosta σ_x .
3. Laske otannan varianssi σ^2 .
4. Määritä tämän jälkeen keskihajonta σ .

Keskiarvo x_m tietystä otannasta lasketaan otannan alkioden summan ja lukumäärän suhteena.

$$x_m = \frac{\Sigma x}{N}, \quad (\text{A.1})$$

missä on x yksittäisen alkion arvo, Σx on otannan alkioden summa ja N on alkioden lukumäärä. Tästä voidaan edelleen siirtyä laskemaan otannan alkioden poikkeama σ_x keskiarvosta.

$$\sigma_x = x - x_m. \quad (\text{A.2})$$

Seuraavaksi määritetään otannan varianssi σ^2 eli poikkeamien neliöllinen summa jaettuna alkioden lukumäärällä, jonka avulla saadaan summaan lisättyä myös negatiivinen poikkeama.

$$\sigma^2 = \frac{\Sigma \sigma_x^2}{N}. \quad (\text{A.3})$$

Varianssin avulla voidaan määrittää otannan alkioiden keskihajonta tai hajontaluku σ , joka siis tarkoittaa otannan alkioiden keskimääräistä etäisyyttä keskiarvosta.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum \sigma_x^2}{N}}. \quad (\text{A.4})$$

Kun taulukkolaskenta suoritetaan vaiheittain tietokoneohjelmalla, oppilaat voivat mielekkäästi havainnoida tilastollisten käsitteiden merkityksiä.

Tutkimus 3. Tekeekö säteilyaltistus materiaalista radioaktiivista?

Mittausvälineet:

- Pulssimittari
- Näytepidike
- Co-60 gammaemitteri
- Geigerputki
- Vesilasi, ilmapallo, sokeripala yms.

Johtopäätösten laadullisessa käsittelyssä tulee huomioida, että säteilylähde on hyvin matalatehoinen. Mahdollisen säteilystä aiheutuvan aktivoinnin teoria on esitetty edellä, josta voidaan myös keskustella. Merkittävin vahinko ympäristölle esimerkiksi ydinvoimalaonnettomuudessa ei kuitenkaan tapahdu ympäristön säteilyaltistuksesta vaan kontaminaatiosta. Tämän työn tarkoitus on havainnollistaa näiden käsitteiden merkittävää eroa.

Mittauksen suorittaminen:

1. Aseta kukin esine gammaemitterin ja Geigerputken väliin useaksi minuutiksi. Täten oppilaille varmistuu, että materiaaliin kohdistuu säteilyä.
2. Poista esineet säteilytyksen jälkeen gammaemitterin edestä ja tarkastele Geigerputkella mahdollista materiaalin aktiivisuutta.

Sähkömagneettinen säteily ei muuta edetessään väliainetta radioaktiiviseksi. Gammasäteily on sähkömagneettista säteilyä, kuten näkyvä valo, mikroaallot, infrapunasäteily tai radioaallot. Jos asetat veden gammasäteilijän eteen astiassa, se ei muutu radioaktiiviseksi. Kuten ei muutu vesi mikroaaltouunissakaan radioaktiiviseksi. Atomin aktivointi eli keinotekoisien radionuklidien valmistaminen tapahtuu neutronipommituksella. Ionisoiva säteily on vaarallista, mutta ionisaatiota, radioaktiivisuutta ja kontaminaatiota ei tule sekoittaa.

Tutkimus 4. Alfa-, beeta- ja gammasäteilyn intensiteetin vaimeneminen.

Mittausvälineet:

- Pulssimittari
- Näytepidike
- Alfa-, beeta- ja gammaemitteri
- Geigerputki
- Alfaemitterin tarkkuusjalusta
- Paperiarkki ja 1 mm paksuinen alumiinilevy

Seuraavassa mittauksessa perehdytään säteilylajien ominaisuuksien perusteella niiden vaatimiin suojausten rakenteisiin. Liikuttele säteilylähteitä aina pidikkeessään ja vaihda säätelylähteet pidikkeeseen pihdeillä tai pinseteillä. Laske jokaisen mittauspisteen arvo viiden mittauksen keskiarvona.

Mittauksen suorittaminen:

1. Aseta ensin alfaemitteri omassa tarkkuusjalustassa hyvin lähelle Geigerputkea.
2. Mittaa 2,5 cm matkalta tasaisin välein alfasäteilyn vaimenemista ilmassa. Huom! Liikuta vain muutamia millejä kerrallaan.
3. Aseta tämän jälkeen alfaemitteri lähelle Geigerputkea ja vie paperiarkki näiden väliin. Mitä intensiteetille tapahtuu?

4. Vaihda näytepidikkeeseen beetaemitteri ja vertaa beetasäteilyn vaimenemista ilmassa alfasäteilyyn.
5. Aseta tämän jälkeen beetaemitteri takaisin lähelle Geigerputkea ja vie näiden väliin ensin paperi ja sitten 1 mm paksuinen alumiinilevy. Mitä intensiteetille tapahtuu?
6. Vaihda näytepidikkeeseen gammaemitteri. Vertaa gammasäteilyn vaimenemista ilmassa alfasäteilyyn.
7. Aseta tämän jälkeen gammaemitteri lähelle Geigerputkea ja vie näiden väliin ensin paperi ja sitten 1 mm paksuinen alumiinilevy. Mitä intensiteetille tapahtuu?

Intensiteettien käyrät on nopeinta muodostaa taulukkolaskentaohjelmassa, jossa käyriä voidaan vertailla laadullisesti. Tämän tehtävän selittämiseen oppilaiden täytyy perehtyä säteilylajien luonteeseen ja teoriaan intensiteetin vaimenemisesta. Kuitenkin mittausten jälkeen oppilaat pystyvät sanomaan, että gammaemitterin suojauksen rakenne näyttäisi olevan vaikein rakentaa. Mittausten perusteella muut säteilylajit ovat suhteellisen helppoja pysäyttää verrattuna gammasäteilyyn. Tästä voidaan edetä seuraavaan mittaukseen, jossa perehdytään gammasäteilyn vaimenemiseen kvalitatiivisesti.

Tutkimus 5. Gammasäteilyn intensiteetin vaimeneminen eri metalleissa.

Mittausvälineet:

- Pulssimittari
- Näytepidike
- Co-60 gammaemitteri
- Geigerputki
- 5 mm paksuisia alumiini-, teräs- ja lyijylevyjä

Kaikkia metalleja tulisi olla vähintään 60 mm paksuudelta, jotta päästään mielekkäisiin tuloksiin. Tämä tehtävä vaatii erityisesti huolellisuutta kohtisuoruudessa. Mikäli metallilevyt eivät ole kohtisuorassa Geigerputkea ja gammaemitteria kohden, säteilyn kulkema matka väliaineessa on pidempi kuin metallilevyn paksuus.

Mittauksen suorittaminen:

1. Aseta gammaemitteri 7 cm etäisyydelle Geigerputkesta.
2. Aseta metallilevyt statiivin ja kouran avulla Geigerputken eteen.
3. Lisää kutakin metallia 5 mm kerrallaan ja mittaa läpäisyn intensiteetti 10-20 mittauksen keskiarvona.
4. Käytä tutkimuksesta 2 saamaasi tulosta intensiteetin keskiarvosta 7 cm etäisyydellä. Tämä vastaa kuvaajassa tilannetta, kun hidastimen paksuus on 0 cm.
5. Suorita mittaus alumiinilla, teräksellä ja lyijyllä.
6. Lisäksi voidaan kokeilla myös muita tavallisia materiaaleja, kuten puuta, styroksia tai vettä.

Laske tämän jälkeen mittauspisteiden keskiavot kullekin metallille. Aseta pisteet kuvaajaan talukkolaskentaohjelmalla, mutta älä käytä valmiita viivoja pisteiden välillä. Koska mittapisteet sijoittuvat melko lyhyelle välille, eksponentiaalinen kuvaaja voi erehdyttävästi näyttää suoralle. Etenkin, jos mittauksissa ei käytetä riittävästi arvoja keskiarvon laskemiseen. Eksponentiaalisten käyrien tarkastelun jälkeen voidaan perehtyä intensiteetin vaimenemiseen laskennallisesti.

Gammasäteilyn intensiteetti I_0 vaimenee väliaineen paksuuden x funktiona seuraavasti

$$I = I_0 e^{-\mu x}, \quad (\text{A.5})$$

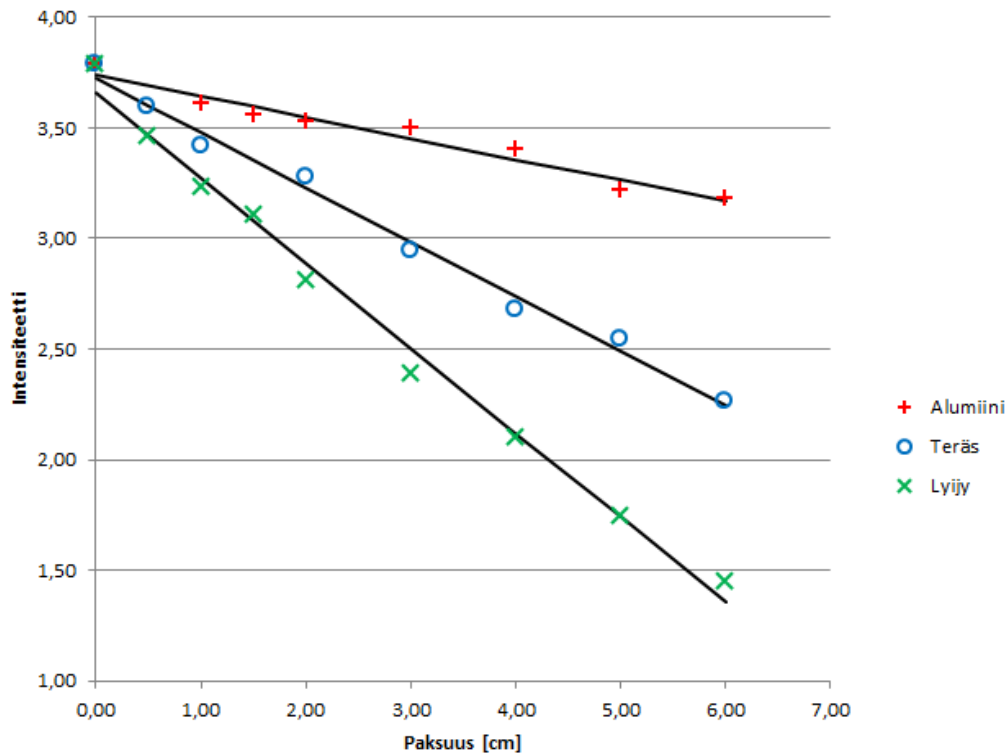
missä I on gammasäteilyn intensiteetti läpäisyn jälkeen ja μ on lineaarinen vaimennuskerroin (Freedman, 2012). Otetaan yhtälöstä luonnollinen logaritmi, jolloin saadaan

$$\ln I = \ln I_0 - \mu x. \quad (\text{A.6})$$

Tämä on suoran yhtälö, jonka kulmakerroin $-\mu$ (Kuva A.1). Tämän lisäksi voidaan yhtälön (A.5) avulla määrittää paksuus, jossa intensiteetti puolittuu eli $I = \frac{1}{2}I_0$

$$\begin{aligned} \ln \frac{1}{2}I_0 &= \ln I_0 e^{-\mu x} \\ \ln \frac{1}{2} &= \ln 1 - \mu x \\ x &= \frac{\ln 2}{\mu}. \end{aligned} \tag{A.7}$$

Tämä tutkimus toimii erityisen hyvin metallien keskinäiseen hidastuskyvyn vertailuun. Mikäli halutaan laskea numeroarvot lineaariselle vaimennuskertoimelle ja intensiteetin puolituspaksuudelle, täytyy tuloksia vertailla kirjallisuusarvoihin. Arvoissa on hyvin luultavasti 20 - 50 % poikkeamaa kirjallisuusarvoihin riippuen mittaus-tarkkuudesta. Syitä eroihin on aina hyvä eritellä.



Kuva A.1: Gammasäteilyn intensiteetin vaimeneminen luonnollisena logaritmina hidastimen paksuuden funktiona.

Tulokset voivat näyttää jotakuinkin tältä. Mittapisteinä voi käyttää 10s keskiarvoja tai muuttaa ne halutessaan muotoon, jossa tuloksia voidaan verrata kirjallisuusarvoihin. Lähtökohtaisesti en suosittele vertaamista kirjallisuusarvoihin, koska tutkimukset ovat luonteeltaan enemmän laadullisia. Mittauksen tärkeämpi piirre on ymmärtää, mistä kulmakerroin saadaan ja mitä se tarkoittaa.

Ennen varsinaista kokeellisuutta on syytä tarkastella turvallisuusohjeita liittyen ionisoivan säteilyn käyttöön fysiikan ja kemian opetuksessa. Opettajan on perehdyttävä ohjeisiin ennen mittauksia. Suomessa on olemassa viralliset ohjeet ionisoivan säteilyn käyttöön fysiikan ja kemian opetuksessa. Valtuutusperuste on asetettu säteilylain (592/1991) 70 §:n 2 momentin nojalla. Tämän mukaan säteilyturvakeskus antaa säteilynkäytön ja muun säteilytoiminnan turvallisuutta koskevat yleiset ohjeet ja säteilyturvallisuusohjeet. Säteilytoiminnan turvallisuudesta vastaa kuitenkin säteilytoiminnan johtaja. Toiminnan harjoittaja on vastuussa siitä, että säteilyturvakeskuksen ohjeiden mukainen turvallisuustaso toteutetaan ja ylläpidetään. (STUK, 2007)

Säteilyturvakeskus on määritellyt turvallisuusvaatimukset kouluopetukseen liittyvälle säteilylle, joiden mukaan säteilylähteitä voidaan käyttää ilman säteilylain (592/1991) 16 § tarkoitettua turvallisuuslupaa. Ohje koskee peruskouluja, lukioita, ammatillisia oppilaitoksia ja niihin rinnastettavien laitoksien fysiikan ja kemian opetusta, jossa käytetään ionisoivaa säteilyä aikaansaavia säteilylähteitä. Säteilylähteiden käyttöön pitää siis pääsääntöisesti olla turvallisuuslupa. Kuitenkin säteilylain 17 §:ssä on mainittu, että eräät toiminnot ovat vapautettuja turvallisuusluvasta. Kouluopetuksessa säteilyn käyttö kannattaa järjestää niin, että erillistä lupaa ei tarvita. (STUK, 2007)

Turvallisuusluvasta ovat vapautettuja muun muassa kulutustavarana käytettävät säteilyesineet ja luonnon radioaktiivisia aineita sisältävät mineraalit ja kiviaineet. Radionuklideille on määritelty vapaarajat, kun tietty aktiivisuus ja aktiivisuuspitoisuus alitetaan, voidaan radionuklideja käyttää ilman turvallisuuslupaa. Seuraavassa

taulukossa (B.1) on esitelty tavallisesti käytettyjen radionuklidien vapaarajat.

Taulukko B.1: Säteilyturvakeskuksen asettamat radionuklidien vapaarajat.

Radionuklidi	Vapaaraja	
	Aktiivisuus (kBq)	Aktiivisuus- pitoisuus (kBq/kg)
Co-60	100	10
Sr-90	10	100
Cs-137	10	10
Ra-226	10	10
Am-241	10	1

Aineen aktiivisuus määritellään becquerellin (Bq) avulla siten, että yhden becquerelli aktiivisuus tarkoittaa ainemäärässä yhtä hajoamista sekunnissa. Oppilaitoksen on haettava säteilylain 16 §:n mukainen turvallisuuslupa, mikäli kouluopetuksessa aiotaan käyttää muita kuin turvallisuusluvasta vapautettuja säteilylähteitä. Lupa haetaan säteilyturvakeskukselta. (STUK, 2007)

Yleisten säteilysuojelun periaatteiden mukaan säteilyaltistus on pidettävä niin pienenä kuin on käytännöllisesti mahdollista. Oppitunnin päätyttyä säteilylähteet tulee siirtää välittömästi säilytyspaikkaansa. Opettajan on pidettävä huolta, että säteilylähteiden käyttö kestää vain opetuksen kannalta välttämättömän ajan. (STUK, 2007)

Kokeellisen työn teoreettinen tausta

Viimeisen vuosisadan aikana ihmiskunta on saavuttanut suuria hyppäyksiä ydinfysiikan sovelluksissa, joista osaa voidaan pitää hyödyllisenä ja osaa tuhoisina. Asian ympärille on ymmärrettävästi muodostunut voimakkaita mielipiteitä. Aseteollisuus ja ydinvoimat voivat luoda helposti uhkakuvia. Ennakkokäsitykset ovat kuitenkin suurilta osin tunnesidonnaisia eivätkä perustu tietoon. Tämän teoriaosuuden tarkoituksena on valistaa säteilyturvallisuuden peruskäsitteistä. Ideaalissa tilanteessa tiedon omaksumisen seurauksena lukijan mahdolliset negatiiviset ennakkokäsitykset horjuvat.

Kaikkien atomien keskuksessa on ydin, joka on erittäin tiheä, positiivisesti varautunut ja atomin kokoon nähden häviävän pieni. Kuitenkin ydin sisältää lähes kaiken atomin massan. Ytimen sisällä on käynnissä kamppailu sähkömagneettisen ja vahvan vuorovaikutuksen välillä, jonka seurauksena ydin on pysyvä tai epävakaa. Epävakaat ytimet hajoavat spontaanisti toisiksi atomeiksi tiettyjen prosessien kautta. Ydinreaktiot voidaan saada myös aikaan törmäyttämällä ytimeen toisia ytimiä tai hiukkasia. Ydinreaktiot voidaan luokitella fission ja fuusioon. Ilman näitä reaktioita elämä ei olisi mahdollista. (Freedman, 2012)

On hyvä tietää atomimaailman konkreettinen kokoluokka, kun tarkastellaan erilaisia ilmiöitä ytimen mittaluokassa. Laajan kokeellisen työn tuloksena on voitu päätellä, että ydintä voidaan kuvata pallona, jonka säde on R . Tämä säde on riippuvainen nukleonien lukumäärästä A seuraavasti

$$R = R_0 A^{1/3}, \tag{C.1}$$

missä R_0 on kokeellisesti määritetty vakio jonka arvo on

$$R_0 = 1,2 \times 10^{-15} m = 1,2 fm. \quad (C.2)$$

Nukleonin lukumäärää sanotaan atomin massaluvuksi. Se on lähin mahdollinen kokonaisluku, joka kuvastaa atomin koko massaa atomimassayksiköissä. Nykyisen tietämyksen mukainen atomimassayksikkö on suuruudeltaan

$$u = 1,6605387882 \times 10^{-27} kg. \quad (C.3)$$

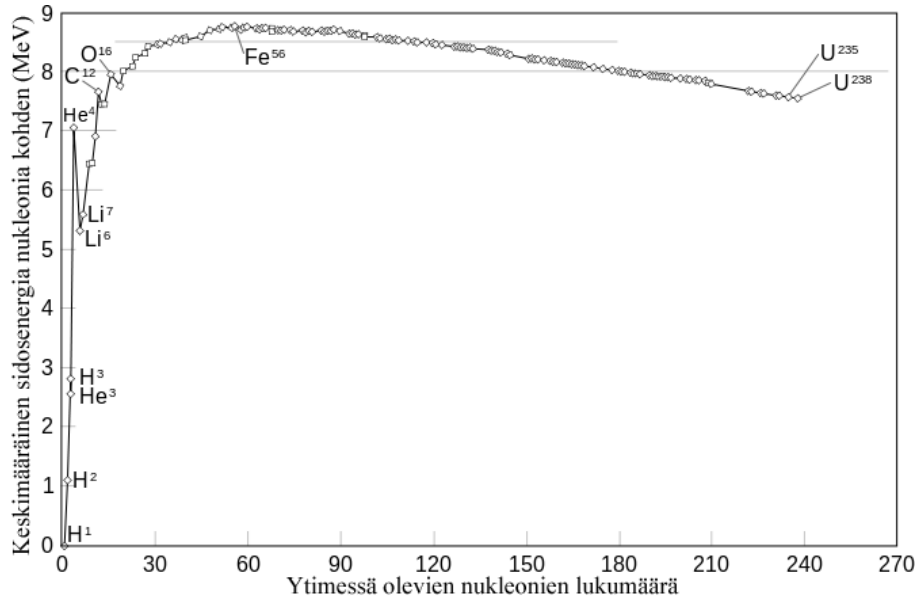
Teknologian kehittyminen on mahdollistanut yhä tarkemmat kokeelliset mittaukset, joten viimeisimpien desimaalien voidaan odottaa jatkuvan. (Freedman, 2012)

Ytimen rakenneosia ovat neutronit ja protonit, joiden yhteisnimitys on nukleoni. Neutraalissa ytimestä jokaista protonia kohden on yksi elektroni, jonka paikkaa ytimen ympärillä kuvataan todennäköisyydellä. Protonien lukumäärää sanotaan järjestyslukuksi Z . Neutronien lukumäärää merkitään kirjaimella N . Täten nukleonien lukumäärä eli massaluku voidaan ilmoittaa näiden summana

$$A = Z + N. \quad (C.4)$$

Nuklidiksi sanotaan yksittäistä atomiydinlajia, jolla on tietty järjestys- ja massaluku. Atomin isotoopeilla on sama järjestysluku, mutta eri massaluku. Isotoopit siis muodostuvat ytimen neutronien määrän vaihtelusta. Yleinen esimerkki isotoopeista on Kloori (Cl, $Z = 17$), jonka nuklideista 78 % on $N = 18$ ja 22 % on $N = 20$. (Freedman, 2012) Atomin kemialliset ominaisuudet johtuvat elektronirakenteesta, joka puolestaan määräytyy ytimen varauksen mukaan. Elektronien tarkastelu jää tutkielmassa vähäiseksi, koska säteilyturvallisuuden kannalta merkittävämpää on ytimestä peräisin oleva gammasäteily.

Atomin ytimen hajoittamiseen tarvitaan energiaa. Tästä syystä erillisten protonien ja neutronien lepomassa on suurempi, kuin kyseisen nukleonin lepomassa. Nukleonien erottamiseen tarvittava energia on nimeltään sidosenergia (binding energy). Lähes kaikilla pysyvillä atomeilla sidosenergia on luokkaa 7-9 MeV nukleonia kohden. Kuvassa C.1 on esitetty nuklidien sidosenergioita suhteutettuna atomin massalukuun. Olennainen huomio on $A = 4$ kohdalla, jossa on ${}^4_2\text{He}$. Tätä nuklidia kutsutaan alfahiukkaseksi ja sillä on poikkeavan suuri sidosenergia verrattuna viereisiin nuklideihin. Käyrän muodon selittämiseen on tarkasteltava nukleonien keskeistä



Kuva C.1: Atomien sidosenergia nukleonia kohden massaluvun funktiona.

vuorovaikutusta. Lyhyesti sanottuna ytimessä on sähkömagneettisen vuorovaikutuksen aiheuttama Coulombinen repulsiovoima ja vahvan vuorovaikutuksen aiheuttama vetovoima. Tälle kokonaisuudelle ei ole toistaiseksi saatu määritettyä tarkkoja kuvauksia yhtälöiden muodossa. Vahva vuorovaikutus näyttää loppuvan tietyn etäisyyden jälkeen, kun sähkömagneettinen vuorovaikutus jatkuu loputtomiin. Tätä vahvan vuorovaikutuksen ominaisuutta kutsutaan saturaatioksi, jota voidaan verrata kovalenttisen sidoksen syntymiseen. Vahvavuorovaikutus on voimassa vain lähekkäisten nukleonien kesken. Vahva vuorovaikutus suosii vastakkaisin spinein pariutuvia protoni- ja neutronipareja. Tämän jälkeen ydinvoiman kannalta edullista on näiden neutroni- ja protoniparien yhdistyminen, jos pareilla on vastakkaiset spinnit. Tästä syystä alfahiukkanen on hyvin pysyvä nuklidi verrattuna massalukuun. (Freedman, 2012)

Seuraavaksi esittelen lyhyesti nukleonien spinien muodostumiseen. Protoneilla ja neutroneilla on spin kuten elektroneillakin on. Spin-liikemäärämomentin \vec{S} suuruus nukleonille on

$$S = \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} + 1 \right)} \hbar = \sqrt{\frac{3}{4}} \hbar, \quad (\text{C.5})$$

jonka z-komponentti on

$$S_z = \pm \frac{1}{2} \hbar. \quad (\text{C.6})$$

Yksittäiset nukleonit voivat pyöriä oman akselinsa ympäri ja kiertoradan suhteen, kokonaisliikemäärämomentti \vec{J} lasketaan näiden summana. Tämän perusteella voidaan määrittellä hiukkasten magneettiset momentit. Kaikki nuklidit joilla Z ja A ovat parittomia lukuja $J = 0$. Pariutuvat nukleonit voivat siis olla suuressa merkityksessä ytimen rakenteen muodostumisessa. Ytimen rakenteen analysoiminen on monimutkaisempaa kuin monielektronisen atomin rakenteen ratkaiseminen. (Freedman, 2012)

Tunnetuista 2500 nuklidista pysyviä on vain alle 300. Muut nuklidit ovat epävakaita ja hajoavat toisiksi nuklideiksi emittoiden partikkeleita ja sähkömagneettista säteilyä. Tätä prosessia kutsutaan radioaktiiviseksi hajoamiseksi. Hajoamiseen kuluva aika vaihtelee sekunnin murto-osista miljardeihin vuosiin. Tunnetuista 2500 nuklidista lähes 90 % on radioaktiivisia eli ne hajoavat toisiksi nuklideiksi. Hajotessaan ytimet emittoivat usein alfa- ja beetahiukkasia. Alfahiukkanen on ${}^4_2\text{He}$ nuklidi, jossa on kaksi neutronia ja kaksi protonia. Alfahiukkaseen emissio tapahtuu pääsääntöisesti nuklideissa, jotka ovat liian suuria ollakseen pysyviä. Tällöin nuklidin massaluku pienenee ja se siirtyy lähemmäs pysyvää aluetta Segre-kaaviossa. (Freedman, 2012)

Tunnettu esimerkki alfaemitteristä on Radium, ${}^{226}_{88}\text{Ra}$. Emittoitun alfahiukkaseen nopeus on noin $1,52 \times 10^7 \text{ m/s}$. Nopeus on suuri, mutta silti vain 5 % valonnopeudesta. Energian laskemiseen voidaan käyttää klassista mekaniikka ja tulokseksi saadaan $4,79 \text{ MeV}$. Alfahiukkasten energia voidaan laskea liikemäärän- ja energiansäilymislaista ja energiajakauma on diskreetti. Alfahiukkaseen massan ja varauksen takia se kulkee ilmassa vain muutamia senttimetrejä ja korkeintaan millimetrin kymmenesosia kiinteässä väliaineessa, ennen kuin se pysähtyy törmäyksien johdosta. Jotkut ytimet voivat hajota spontaanisti emittoimalla alfahiukkaseen, koska prosessissa vapautuu energiaa. Alfahajoamisessa hiukkanen tunneloituu potentiaalivallin läpi. Tunneloitumista ei voi verrata mekaaniseen läpäisyyn, koska alfahiukkanen ei menetä energiaansa tunneloituessaan. (Freedman, 2012)

Beetahajoaminen voidaan jakaa kolmeen tyyppiin, jotka ovat beetamiinus, beetaplius ja elektronisieppaus. Beetamiinushiukkanen (β^-) on elektroni. Ei voida pitää itsestään selvänä, kuinka ydin voi emittoida elektronin, koska ytimessä ei ole elektroneita. Beetamiinushiukkaseen emittoituminen edellyttää neutronin muuttumista pro-

toniksi, elektroniksi ja antineutriinoksi. Mikäli neutroni poistettaisiin ytimeistä, se hajoaisi protoniksi, elektroniksi ja antineutriinoksi keskimäärin 15 minuutissa. Beetahiukkaset pystytään tunnistamaan ja niiden nopeudet voivat olla jopa 99,95 % valonnopeudesta, joten niiden energian määrittämisessä on otettava huomioon suhteellisuusteoria. Niiden emission energiajakauma on jatkuva. Se ei olisi mahdollista, mikäli prosessissa olisi osapuolina vain beetahiukkanen ja ydin. Täten kolmannen hiukkasen läsnäolo on välttämätön. Varauksen säilymislain perusteella sen on oltava neutraali ja liikemäärämomentin säilymislain perusteella sen spinin on oltava $-\frac{1}{2}$. Kolmas hiukkanen on nimeltään antineutriino eli neutriinon antihiukkanen. (Freedman, 2012)

Varauksettomat ja mahdollisesti massattomat neutriino ja antineutriino ovat mittalaitteilla hankalia havaita. Niistä ei ollut havaintoja ennen vuotta 1953. Nykyisin tietämyksen mukaan neutriinoja on olemassa ainakin kolmea tyyppiä ja kullakin on oma antineutriino. Yksi havaitaan beetahajoamisen yhteydessä ja kaksi muuta epävakaiden hiukkasten myöskin ja taun hajoamisessa. Beetahajoamisen yhteydessä havaittu antineutriino nimettiin $\bar{\nu}_e$. Beetamiinus-hajomisen reaktiota merkitään seuraavasti



Beetamiinus-hajoaminen tapahtuu yleensä nuklideissa, joissa neutroni-protoni suhde N/Z on liian suuri ja se ei ole pysyvä. Beetamiinus-hajoamisessa massaluku pienenee yhdellä ja järjestysluku suurenee yhdellä, mutta massaluku ei muutu. (Freedman, 2012).

Beetamiinus-hajoaminen tapahtuu, kun neutroni-protoni suhde on liian suuri. Toisaalta neutroni-protoni suhteen ollessa liian pieni emittoituu positroni, joka on elektronin antihiukkanen. Positroni on identtinen elektronin kanssa, mutta sillä on vastakkainen varaus. Prosessia kutsutaan beetaplus-hajoamiseksi ja se voidaan kirjoittaa muotoon



missä β^+ on positroni ja ν_e elektronin neutriino. Kolmas tyyppi beetahajoamiselle on elektronikaappaus. On olemassa muutamia nuklideja, joilla beetaplus hajoaminen ei ole energeettisesti mahdollista. Näillä nuklideilla kuitenkin elektroni voi yhdistyä ytimen protoniin ja näin muodostuu neutroni ja neutriino. Neutroni jää ytimeen ja

neutriino emittoituu. Prosessi voidaan esittää seuraavasti



Kaikissa beetahajoamisissa massaluku pysyy vakiona. Beetaplus-hajoamisessa ja elektronikaappauksessa järjestysluku pienenee, jolloin nukleonit siirtyvät kohti pysyvämpää aluetta Segre-kaaviossa. Kaava (C.9) auttaa myös ymmärtää neutronitähden syntymistä. (Freedman, 2012)

Nuklidin sisäinen energia on kvantittunut. Tyypillisesti nuklidilla on sarja sallittuja energiatioja, joihin kuuluu perustila ja useita virittyneitä tiloja. Nuklidissa vaikuttavien voimakkaiden vuorovaikutusten johdosta nuklidin viritystilojen energiaerot ovat 1 MeV luokkaa. Vertailukohteena voidaan käyttää atomin viritystilojen energiaeroja, jotka ovat 1 eV luokassa. Normaalit fysikaaliset ja kemialliset prosessit tapahtuvat aina ytimen ollessa perustilalla. Nuklidi voi virittyä viritystilalle suurienergisten hiukkasten törmäyksen myötä tai radioaktiivisen prosessin kautta. Nuklidi voi palata perustilalle emittoimalla yhden tai useamman fotonin. Näitä fotoneita kutsutaan gammasäteilyksi, jonka energia on tyypillisesti 10 keV ja 5 MeV välillä. Tätä prosessia sanotaan gammahajoamiseksi. ^{226}Ra emittoimilla alfahiukkasilla on kaksi mahdollista liike-energiatasoa, joko 4,784 MeV tai 4.602 MeV. Syntyvän ^{222}Ra nuklidin rekyylienergia mukaan laskettuna nämä vastaavat 4.871 MeV ja 4.685 MeV. Alemman energian alfahiukkasen emittoitumisen jälkeen ^{222}Ra nuklidi on virittyneessä tilassa. Viritystila purkautuu gammahajoamisen kautta fotonina, jonka energia on

$$(4,871 - 4,685)\text{MeV} = 0,186\text{MeV}. \quad (\text{C.10})$$

Tämän hajoamisen aikana havaitaan fotoni, jolla on kyseinen energia. (Freedman, 2012) Luonnossa esiintyy useita radioaktiivisia aineita. Olemme itsekin radioaktiivisia epävakaiden hiili-14 ja natrium-40 atomien vuoksi. Hajoavaa nuklidia nimitetään yleensä emoytimeksi ja syntyvää nuklidia tytärtimeksi. Radioaktiivisen hajoamisen seurauksena syntynyt tytärtimeksi voi olla myös radioaktiivinen. Tässä tapauksessa syntyy peräkkäisiä hajoamisia, kunnes pysyvä nuklidi muodostuu. Näitä hajoamis-sarjoja löytyy luonnosta useita. Yksi runsaimmista maaperän radioaktiivisista aineista on ^{238}U , joka käy läpi 14 hajoamista. Näistä kahdeksan on alfahajoamisia ja kuusi beetamiinushajoamisia, joiden seurauksena syntyy pysyvä nuklidi ^{206}Pb . (Freedman, 2012)

Radioaktiivisessa hajoamisessa emittoidut hiukkaset etenevät väliaineessa menettäen energiaansa. Ne katkovat molekyyli sidoksia ja muodostavat ioneita, mistä tulee nimitys ionisoiva säteily. Varatut hiukkaset vuorovaikuttavat suoraan väliaineen elektronien kanssa. Gammasäteily vuorovaikuttaa elektronien kanssa valosähköisen ilmiön ja Compton sironnan kautta. Neutronisäteily ionisoi epäsuorasti törmästen nuklideihin tai absorboituen, josta seuraa syntyneen nuklidin radioaktiivinen hajoaminen. Vuorovaikutuksia ei voida kuvailla yksinkertaisesti. (Freedman, 2012)

Tarkastelen lisäksi lyhyesti säteilyn vaikutusta ihmiseen säteilyannoksen avulla. Liiallinen altistuminen säteilylle aiheuttaa solukuolemaa. Tällaiseksi säteilyksi voidaan katsoa auringonvalo, röntgensäteily ja radioaktiivisuudesta aiheutuva ionisoiva säteily. Pienet altistukset johtavat palovammaan. Suuret altistukset voivat aiheuttaa kuoleman usealla tavalla, joita ovat muun muassa valtava solukuolema, dna:n muuttuminen ja luuytimen tuhoutuminen. Tietyn annoksen ylittäminen johtaa aina kuolemaan. (Freedman, 2012)

Säteilyannoslaskut ovat kvantitatiivisia kuvauksia säteilyn vaikutuksesta biologiseen kudokseen. Absorboitu säteilyannos D määritellään energian imeytymisenä massaa kohden. SI-yksiköiden mukainen yksikkö on gray (Gy), joka ilmoittaa säteilyn energian absorboitumista massayksikköön J/kg . Toinen yksikkö on rad, joka määritellään seuraavasti

$$D = 1\text{rad} = 0,01\text{Gy} \quad (\text{C.11})$$

Rad on kuitenkin käytöstä poistettu yksikkö. Absorboitu annos ei itsessään kuvaa riittävän tarkasti säteilyn biologisia vaikutuksia, koska eri säteilylajit aiheuttavat eri määrin vahinkoa kudokselle. (Freedman, 2012)

Säteilynsuojelusuureita voidaan luokitella kahteen ryhmään. Keskimääräisiä suureita käytetään käytännön suojelutyössä ja annosrajoituksia säädettäessä. Näitä suureita ovat esimerkiksi ekvivalenttiannos ja efektiivinen annos. Biologisen kudoksen T ekvivalenttiannos H_T on siihen absorboituneiden annosten $D_{T,R}$ summa, joka on painotettu kudosten säteilykomponenttien painotuskertoimilla. Merkitään säteilyn komponentin R painotuskerrointa w_R , jolloin ekvivalentti annokseksi saadaan

$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R}. \quad (\text{C.12})$$

Alaindeksi R tarkoittaa, että kutakin säteilyn komponenttia varten on laskettava erikseen absorboitunut annos. Komponentista R aiheutuva biologiseen kudokseen T

absorboituva annos on $D_{T,R}$. Efektiivinen annos on säteilylle altistuneen kudoksen T painotuskertoimilla w_T painotettujen keskimääräisten ekvivalenttiannosten summa

$$E = \sum_T w_T H_t = \sum_T w_T \sum_R w_r D_{T,R} = \sum_R w_R \sum_T w_T D_{T,R}. \quad (\text{C.13})$$

Efektiivisen annoksen yksikkönä käytetään sievertiä (Sv). Biologisen kudoksen T painotuskertoimen w_r kuvaa sen todennäköistä alttiutta säteilyhaitalle. Painotuskertoimien w_r summaksi saadaan määritelmän nojalla yksi. Annosnopeus E^* infinitesimaalinen muutos tietyllä aikavälillä tapahtuvasta efektiivisen annoksen muutoksesta dE

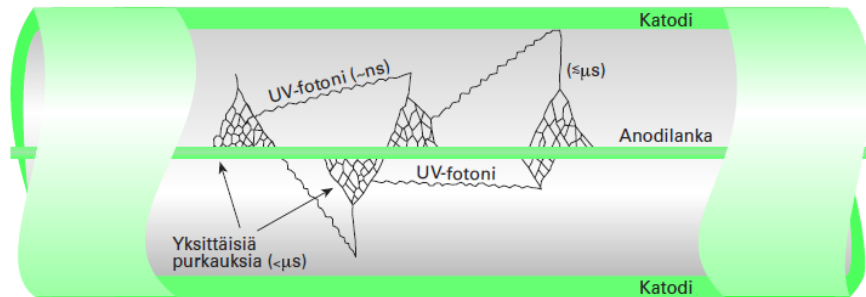
$$E^* = \frac{dE}{dT}. \quad (\text{C.14})$$

Vastaavasti annosnopeuden perusyksikkönä käytetään sievertiä sekunnissa ($Sv\ s^{-1}$). Säteilyannoksien laskentatapoja on laaja valikoima. Näistä efektiivinen annos on laskennallinen suure, eikä sitä voida mitata suoraan. (Marttila, 2002)

Mittauslaitteiston esittelyssä oleellisin komponentti on Geigerputki, jonka perusteella määritellään tutkielmassa esiteltyjen mittausten säteilyjen intensiteetit. Opilaita on hyvä valistaa mittauslaitteiden toimintaperiaatteista muutenkin, koska se lisää mittausten ymmärrettävyyttä. Tutkimuksellisen oppimisen näkökulmasta työskentelyä ei kuitenkaan tule aloittaa mittauslaitteiston esittelyllä.

Säteilyn havaitseminen ilmaisimella perustuu aineen ja säteilyn vuorovaikutukseen. Väliaineessa edetessään säteily menettää energiaansa ionisoimalla ja virittämällä atomeja sekä tuottamalla lämpöä. Ilmaisemisen kannalta on oleellista, että väliaineeseen syntyy havaittavia muutoksia. Tämän jälkeen ongelma siirtyy signaalinkäsittelyyn. Muutokset on saatava talteen signaalinkäsittelyjärjestelmän avulla, joka on tämän tutkielman mittaustuloksissa pulssimittari. Ilmaisimissa olevien elektrodien välille syntyy hetkellinen virta ionisoituneista varauksen kuljettajista. Tällaiset ilmaisimet ovat joko puolijohteita tai kaasutäytteisiä. Yksinkertaisin ilmaisimena on kaasukammio, jossa on kaksi elektrodia. Ionisoiva säteily synnyttää tilaan ionipareja ja ne kerätään jännitteen avulla elektrodeille. Jännitteen voimakkuudesta riippuen ilmaisimet määritellään ionisaatiokammioiksi, verrannollisuuslaskuriksi tai geigerputkeksi. (Klemola, 2002)

Kaasutäytteisen ilmaisimen keräysjännitteen ollessa riittävän suuri kasvaa ionien ja erityisesti elektronien energia niin paljon, että ne aiheuttavat ionisaation törmäillessään kaasumolekyyleihin (kuva C.2). Tällöin syntyy lisää vapaita elektroneja, jot-



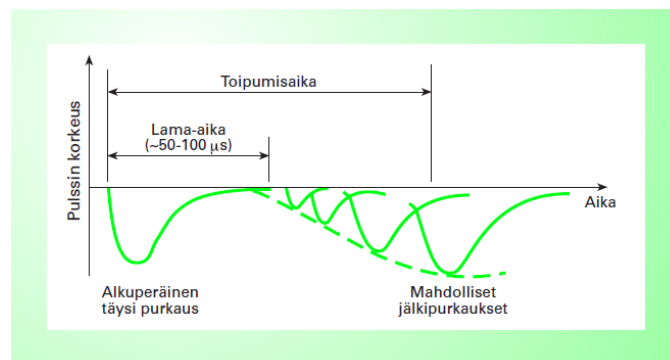
Kuva C.2: Geigerputkessa tapahtuvien lisäpurkausten syntymisen periaate. (STUK)

ka alkavat kiihtyä ja synnyttävät edelleen ionisaatiota. Tästä aiheutuu elektronivyöry. Se loppuu vasta, kun kaikki vapaat elektronit ovat kulkeutuneet anodille. Tämä ilmiö on nimeltään kaasumonistus. Tyypillisesti ilmaiskaasussa 1 atm paineessa kaasumonistusta alkaa tapahtua, kun keräysjännite on luokkaa 10^6 V/m. Vaikka elektrodille kertyvä varaus on tuhatkertainen, se on verrannollinen alkuperäisten ionien määrään. Tästä saa nimensä verranollisuuslaskuri. (Klemola, 2002)

Geigerputki on vanhimpia säteilyn ilmaisimia, mutta silti vielä käytössä. Geigerputken toiminta-alueella kaasutäytteen ilmaisimien antaa aina samansuuruisen pulssin riippumatta säteilyn ominaisuuksista tai energiasta. Tällä keräysjännitteen alueella positiivisten varausten pilvi on suuri, jolloin sähkökenttä pienenee alle kaasumonistuksen kynnyksarvon ja elektronipurkaus lakkaa. Geigerputkessa tapahtuvan elektronivyöryn seurauksena muodostuu ionien lisäksi myös paljon virittyneitä molekyylejä. Viritykset purkautuvat fotoneina, jotka absorboituvat kaasuun tai putken katodiin. Absorption seurauksena muodostuu fotoelektroneita ja ne aiheuttavat uusia elektronivyöryjä. Näin putkessa syntyy jatkuvasti lisää elektronivyöryjä, joiden kesto on vain noin yhden mikrosekunnin. Purkausaika on lyhempi kuin yksittäisen vyöryn aiheuttaman pulssin muodostumiseen kuluva aika. Täten pulssin amplitudi syntyy kaikkien vyöryjen yhteisvaikutuksesta. (Klemola, 2002)

Positiiviset ionit liikkuvat paljon elektroneja hitaammin, koska ne ovat huomattavasti raskaampia. Tästä syystä näiden keräytyminen katodille tapahtuu hitaasti, eikä uutta purkausta voi syntyä. Ionit liikkuvat geigerputkessa kohti ulkokehää, jolloin varausitiheys pienenee ja sähkökenttä palautuu lopulta normaaliin arvoonsa.

Uusi purkaus voi kuitenkin tapahtua jo ennen täydellistä palautumista, mutta tällöin pulssin amplitudi on pienempi. Täydellisen pulssin syntymisestä uuteen purkaukseen kuluvaa aikaa sanotaan Geigerputken lama-ajaksi, joka on tyypillisesti noin 50-100 mikrosekuntia (kuva C.3). Laskentapiiri havaitsee pulssin vasta tietyn amplitudin arvon ylityksen jälkeen. Laskentapiirin hylkäysrajan ylittämiseen kuluvaa aikaa sanotaan erotusajaksi. Toipumisajaksi sanotaan aikaa, joka kuluu pulssin normaalin amplitudin saavuttamiseen. Geigerputkessa täytekaasuna käytetään inerttejä kaasuja, joista yleisimpiä ovat Argon ja Helium. (Klemola, 2002)

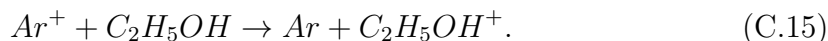


Kuva C.3: Geigerputken toimintaan vaikuttavat periodit. (STUK)

Yksittäinen purkaus voi aiheuttaa jatkuvasti uusia purkauksia geigerputkessa. Tämän takia tarvitaan ylimääräisten pulssien hallitsemiseen jokin mekanismi. Positiivisten ionien neutralisoituessa katodille syntyy ylimääräisiä purkauksia. Tämän edellytyksenä on, että kaasun ionisaatioenergia on tarpeeksi suuri. Tällöin neutralisoinnissa emittoitu energia riittää toisen ylimääräisen elektronin irrottamiseen. Tapahtuman todennäköisyys ei ole suuri, mutta ionien valtavan määrän takia näistä ylimääräisistä purkauksista aiheutuu kokonainen uusi geigerpurkaus. (Klemola, 2002)

Geigerputken sammutus voidaan tehdä kahdella tavalla, joita ovat ulkoinen ja sisäinen sammutus. Ulkoinen sammutus on harvinaisempi, koska putken lama-aika kasvaa entisestään järjestelyn myötä. Sisäisessä menetelmässä geigerputken kaasuun lisätään niin sanottu sammutuskomponentti, joka on yleensä moniatominen orgaaninen kaasu tai halogeenista Kloori tai Bromi. Sammutuskomponentin osuus on noin 5-10 % täytekaasusta. Komponentin ionisaatioenergia on varsinaista täytekaasua pienempi, jolloin positiivinen varaus siirtyy vaelluksen aikana sammutuskomponen-

tille. Esimerkiksi näin



Sammutuskomponentin molekyyli rakenne on heikko, jolloin neutralisoidussa vapautuva energia hajottaa molekyylin. Tällöin katodilta ei irtoa elektronia ja ylimääräisiä purkauksia ei pääse syntymään. Hajoamisesta syntyneet molekyyli radikaalit eivät yhdisty uudelleen. Näin ollen tällaisen putken käyttöikä on rajallinen, mutta kuitenkin noin 10^9 pulssia. Ikää voidaan pidentää valitsemalla sammutuskomponentiksi halogeeni, jonka atomit yhdistyvät uudelleen molekyyliksi. Näiden putkien ikää rajoittaa purkausten aiheuttaman kaasun muutos ja myös anodin pinnan muuttuminen. Geigerputki on kätevä liikuteltavuutensa takia ja yleisin ilmaisimissa kannettavissa säteilysojelumittareissa. Lisäksi geigerputken elektroniikka on yksinkertaista ja on siten edullinen. Geigerputken antamat jännitepulssit ovat itsessään jo havaittavia (0,1 - 1,0 V), joten moninkertaisia vahvistuspiirejä ei tarvita. Putkia voidaan valmistaa pituudeltaan sentteistä aina metriin saakka ja halkaisijaltaan millimetreistä useisiin sentteihin. Geigerputkella voi olla päätyikkuna, joka on usein kiillettä. (Klemola, 2002)