

**Vertailua Suomen ja Ruotsin modernin fysiikan lukio-
oppikirjojen välillä**

Katja Iivonen

Pro gradu -tutkielma

Jyväskylän yliopisto

Fysiikan laitos

23.4.2007

Tiivistelmä

Tämän työn tarkoitus oli tutkia suomalaisten ja ruotsalaisten modernin fysiikan lukiokurssin oppikirjoja. Työssä tarkastellaan kahta kirjaa kummastakin maasta keskittyen pääasiassa kirjojen tehtäviin.

Suomen lukioissa on tämän työn tekoaikana suoritettu opetussuunnitelman muutos, jonka vuoksi suomalaiset kirjat ovat jo periaatteessa vanhentuneita. Kirjat kuitenkin esittelevät kaikki ne asiat, joita uusikin opetussuunnitelma vaatii modernin fysiikan kurssissa opetettavaksi.

Kirjojen tehtävistä haettiin ominaisuuksia, joiden mukaan niitä voitiin luokitella laskennallisiksi, sanallisiksi, kokeellisiksi, arkeen liittyviksi tai kuvaajiin liittyviksi. Samassa tehtävässä oli mahdollista olla useita ominaisuuksia. Tehtävistä laskettiin, kuinka monessa prosentissa esiintyi näitä ominaisuuksia. Tarkastelin kirjojen välisiä eroja ja maiden välisen eron laskin maataan edustavien kirjojen keskiarvona.

Laskennallisuuden ja sanallisuuden osalta kirjojen erot olivat sellaiset, että suomalaisten välillä oli suuri ero ja ruotsalaiset kirjat sijoittuivat niiden väliin. Maiden keskiarvoja tarkastellessa Suomessa laskennallisuutta painotetaan enemmän ja Ruotsissa vastaavasti sanallisten tehtävien osuus on suurempi.

Kokeellisuuteen ja arkielämään liittyviä tehtäviä oli molemmissa ruotsalaisissa kirjoissa saman verran tai vähemmän kuin suomalaisissa. Varsinkin kokeellisia tehtäviä oli melko vähän kaikissa kirjoissa, sillä niiden keskimääräiset prosentuaaliset osuudet olivat vain 6 % (Suomi) ja 4 % (Ruotsi). Arkielämään liittyvien tehtävien osuudet olivat Suomessa 17 % ja Ruotsissa 12 %. Graafeihin liittyvissä tehtävissä oli suuri ero maiden välillä, sillä Suomessa niihin viitattiin 10 %:ssa tehtävistä ja Ruotsissa vain 5 prosentissa.

Ainoastaan käsitteellisten tehtävien osalta ruotsalaisten kirjojen välillä oli niin suuri ero, että molempien suomalaisten kirjojen arvot mahtuivat niiden väliin. Maiden välisessä vertailussa kuitenkin Suomen keskimääräinen osuus oli 18 % kun Ruotsissa osuus jäi 17 prosenttiin.

SISÄLLYSLUETTELO

1.	Johdanto.....	1
2.	Opetussuunnitelmista ja oppikirjoista	3
2.1	Suomen lukioiden väistynyt opetussuunnitelma	4
2.2	1.8.2005 voimaan astunut opetussuunnitelma.....	6
2.3	Ruotsin lukion opetussuunnitelma.....	6
3.	Lyhyt modernin fysiikan historia.....	9
4.	Modernin fysiikan kurssisisältöjen teoria.....	15
4.1	Sähkömagneettinen säteily.....	15
4.2	Röntgensäteily	16
4.3	Mustan kappaleen säteily	17
4.4	Valosähköilmiö.....	17
4.5	Säteilyn hiukkasluonne ja hiukkasten aaltoluonne	19
4.6	Atomimallit esimerkkinä Bohrin atomimalli	20
4.7	Kvantittuminen, viivaspektri, atomin energiatilat ja energiatasokaavio.....	22
4.8	Atomiytimen rakenne	23
4.9	Radioaktiivisuus ja säteilyturvallisuus.....	24
4.10	Massan ja energian ekvivalenssi	26
4.11	Ydinreaktiot ja ydinenergia.....	26
4.12	Aineen pienimmät osat ja niiden luokittelu	28
4.13	Suhteellisuusteoriaa	29
5.	Oppikirjojen tarkastelua.....	32
5.1	Eri aihealueiden käsittely oppikirjoissa	33
5.2	Fysiikan harjoitustehtävistä.....	36
5.3	Tehtävien luokittelusta.....	39
5.4	Tutkittujen suomalaisten oppikirjojen tehtävien eroja	43

5.5	Tutkittujen ruotsalaisten oppikirjojen tehtävien eroja	46
5.6	Erot maiden välillä.....	48
6.	Johtopäätöksiä	51
Lähteet	52
Liitteet	54

1. Johdanto

Tässä työssä on tarkoituksena selvittää, onko suomalaisten ja ruotsalaisten lukion oppikirjojen välillä eroja modernin fysiikan kurssin opetuksessa. Työssä keskitytään pääasiassa tehtäviin ja niiden tyypeihin, mutta vertaillaan hieman myös eri aihealueiden käsittelyn laajuutta. Olen tutkinut kahta ruotsalaista oppikirjaa ja kahta suomalaista. Työn aloitusvaiheessa Suomessa käytettiin vanhaa, vuodelta 1994 peräisin olevaa, opetussuunnitelmaa ja kirjat ovat sen mukaisiksi kirjoitettuja. Työn ollessa vielä kesken siirryttiin uuteen opetussuunnitelmaan.

Oppikirjojen tutkimiselle näin motivaationa sen, että kirja on hyvin näkyvä osa suomalaista koulunkäyntiä. Tämän vuoksi on hyvä olla olemassa tutkimuksia käytettävistä kirjoista. Harjoitustehtävät kuuluvat olennaisena osana fysiikan harjoitteluun ja sen vuoksi halusin tutkia erityisesti niitä. Vertailuun Suomen ja Ruotsin välillä on tuonut idean ja motivaation oma opintohistoriani yliopistossa, sillä olen aloittanut ruotsin kielen opiskelijana ja sittemmin siirtynyt luonnontieteiden pariin.

Moderni fysiikka saattaa helposti kuulostaa asialta, jota ei tavallisen ihmisen tarvitse eikä ole erityistä hyötyäkään ymmärtää. Lukion kursseihinkin se on sijoitettu viimeiseksi, mikä saattaa aiheuttaa joillekin opiskelijoille hieman ylimääräistä pelkoa kurssia kohtaan, sillä onhan totuttu siihen, että asiat vaikeutuvat mitä pidempään niitä opiskellaan. Kuitenkin modernin fysiikan kurssissa käsitellään paljon asioita, joista tietäminen on hyödyllistä yleistiedon kannalta, riippumatta siitä, mille alalle aikoo myöhemmin hakeutua. Tämän vuoksi kurssille osallistuminen olisi mahdollistettava myös niille opiskelijoille, jotka eivät ole käyneet kaikkia aiempia fysiikan kursseja. (Auramo ym. 2001, 34.) Moderni fysiikka on nykypäivänä niin laaja tutkimusala, että yhden kurssin sijaan aiheesta riittäisi sisältöä kahdellekin lukiokurssille. (Auramo ym. 2001, 34.) Auramo kritisoi myös aihealueen nimeämistä, sillä kurssin sisältöä pidetään nykyisin jo hyvinkin klassisena fysiikkana. Tähän onkin saatu korjaus uuden opetussuunnitelman myötä, kun uuden kurssin nimenä on Aine ja säteily.

Todellisuudessa moderni fysiikka ei kuitenkaan ole mitään, mitä normaali ihminen ei pystyisi ymmärtämään, vaan osa jokapäiväistä elämäämme. Moderni fysiikka on mahdollistanut yhteiskuntamme kehityksen tällaiseksi kuin se on, mutta luonnollisesti kehitys on tuonut mukanaan myös varjopuolia, kuten ydinaseet. Myös kaikuluotaustekniikkaa on tutkittu ja kehitetty sotilaallisiin tarkoituksiin. (Kragh 2002, 169.) Modernin fysiikan käyttö on kuitenkin myös avustanut monien vaikeiden sairauksien hoidossa. Monien tuntuma esimerkki tästä on syövän sädehoito, jossa käytetään hyväksi säteilyn ominaisuuksia, kuten eri

tyyppisten säteilyjen erilaisia tunkeutumissyvyyksiä kudokseen. Toimintaperiaatteena on, että säteily vahingoittaa DNA:ta ja siten estää solujen lisääntymisen, jolloin sen avulla voidaan poistaa sairastunutta kudosta.

Tärkeitä modernin fysiikan lukiokurssin aihealueisiin perustuvia sovelluksia ovat esimerkiksi röntgensäteiden käyttö lääketieteellisissä tutkimuksissa, säteilyn ja sen vaarojen tutkiminen, ydinenergian tuotanto.

2. Opetussuunnitelmista ja oppikirjoista

Opetussuunnitelma on koulutyön kulmakivi, jonka pohjalta rakennetaan koulun oppisisällöt ja käytännöt. Opetussuunnitelma ei ole vain oppiainekohtaisten tavoitteiden määrittelyä, vaan siinä määritellään myös koulun yleisiä kasvatuksellisia periaatteita ja tavoitteita.

Suomessa opetussuunnitelman kehittäminen on aloitettu vasta vuonna 1925, jolloin julkaistiin ensimmäinen opetussuunnitelma maassamme. Sen painopisteenä oli oppiaineiden systemaattinen opettaminen ja tavoitteet ja se toteutettiin eturyhmistä kootun komitean mietintönä. Vuonna 1952 julkaistiin kansakoulun opetussuunnitelmakomitean mietintö. (Uusikylä & Atjonen 2000, 50.) Opetussuunnitelmien teko tapahtui hyvin pitkään erilaisten komiteoiden työnä ja vasta vuonna 1994 ilmestyneen *Peruskoulun opetussuunnitelman perusteet* -dokumentin teossa oli alusta asti mukana muitakin tahoja kuin vain virkamiehiä, ja sitä valmisteltiin avoimemmin kuin aiempia versioita opetussuunnitelmista. (Uusikylä & Atjonen 2000, 52.) Samalla valmistui myös *Lukion opetussuunnitelman perusteet* -opas.

Opetussuunnitelmatyössä on ollut yleisenä trendinä ja ongelmanakin, että jatkuvasti tulee uusia asioita, jotka tulisi sisällyttää opetussuunnitelmaan. (Lehtinen 1989, 17.) Opettajan tulisi kuitenkin pohtia itselleen selväksi, mitä, miksi ja miten hän koulussa opettaa. Opetussuunnitelman avulla opettaja toki tietää, mitä suomalaisissa kouluissa tulee opettaa, ja siihen voidaan rinnastaa lakeja ja komiteamietintöjä, joista useimmiten löytyy myös syitä sille, miksi tiettyjä asioita opetetaan. (Ahtee & Pehkonen 2000, 16.) Opetussuunnitelmassa annetaan opettajille tietyt puitteet sille, miten heidän tulisi oppilaitaan kasvattaa ja sosiaalistaa yhteiskuntaan. Voi silti myös kuulla väitettävän oppikirjojen olevan opettajien opetussuunnitelmia, vaikka pelkkää oppiainekohtaista tietoa sisältävä teos ei voikaan mitenkään kertoa opettajalle ainakaan sitä, miten opiskelijoita tulisi kasvattaa. (Uusikylä & Atjonen 2000, 49.) Hyvästä oppikirjasta tosin ilmenevät asiat, joita tulee opettaa ja se voi myös auttaa opettajaa ja oppilasta rajaamaan aihepiirejä ja asettamaan tavoitteita oppimiselle. Hyvä kirja sitoo tiedot yhdeksi kokonaisuudeksi eikä anna opiskelijalle mielikuvaa, että oppiaine olisi vain monia pieniä tiedonpalasia, jotka eivät liity mihinkään arkielämän asioihin. (Sinnemäki 2003, 25.)

Vaikein osio opettajan työssä onkin se, miten opettaja asiat oppilailleen opettaa. Opettajan tulisi olla niin varma omasta aine- ja pedagogisesta osaamisestaan, ettei hän suorittaisi kaikkea opetustaan suoraan käytössä olevan kirjan pohjalta, sillä oppikirjaa voidaan kuitenkin pitää vain sen tekijöiden tulkintana opetussuunnitelmasta, eikä se velvoita opettajaa näkemään

asiaa aivan samalta kannalta. (Ahtee & Pehkonen 2000, 16.) Tuntityöskentelylle olisi hyväksi, jos se olisi riippumatonta oppikirjasta ja muotoutunut sen mukaisesti, mikä on kyseessä olevalle opettajalle ja opetusryhmälle luontevinta. Oppikirja on tarkoitettu ennen kaikkea opiskelijoiden työvälineeksi ja sen tulisi olla myös itsenäiseen opiskeluun soveltuva. (Auramo 2001, 17.)

Fysiikkaa ja muita luonnontieteitä opettaessa tulisi myös aina ottaa huomioon, millaisia ennakkokäsityksiä opiskelijoilla on opetettavasta aiheesta. Läheskään aina ne eivät ole yhteensopivia sen tiedon kanssa, jota pyritään koulussa opettamaan. Opiskelijoiden ennakkokäsitykset nojaavat heidän kokemuksiinsa ja niistä muotoutuneisiin käsitteisiin. Heille voi jokin asia, jonka he osaavat sanallisesti selittää, olla kuitenkin hyvin abstrakti, eivätkä he ymmärrä sitä täysin, ennen kuin he pääsevät käyttämään sitä jonkin ongelman ratkaisemisessa. Näiden ennakkokäsitysten olemassaoloon on kiinnitetty huomiota vasta 1970-luvun alusta lähtien. (Saari & Viiri 1998, 6-8.)

2.1 Suomen lukioiden väistynyt opetussuunnitelma

Suomen lukioissa on juuri suoritettu opetussuunnitelman uudistus. Tämän työn tekeminen on aloitettu ennen uuden opetussuunnitelman voimaantuloa, joten käsitellyt kirjat ovat vanhan opetussuunnitelman mukaisia ja niitä tulee tarkastellakin sen pohjalta.

Suomen lukion opetussuunnitelman perusteissa määritellään yleisiä kasvatustavoitteita lukio-opetukselle. Nuoren oma-aloitteisuutta ja aktiivisuutta pyritään kehittämään. Nopeasti kansainvälistyvässä maailmassa myös eri kulttuurien tuntemusta ja monipuolista kielitaitoa pyritään korostamaan. Opetus- ja kasvatustyössä täytyy koulun pyrkiä välittämään sellaisia arvoja, että yhteiskunnan säilyminen turvataan ja sen kehitystä edistetään. Tähän liittyy myös yksilön kehittymismahdollisuuksien tukeminen. Kouluilta odotetaan myös oppiaineiden rajojen ylittämistä niiden välisen yhteistyön puitteissa, avaraa ja realistista näkökulmaa todellisuuteen sekä valmiutta tarpeen vaatiessa tarkastella ajankohtaisia ilmiöitä. Opiskelijan rooli oppijana tulee opetussuunnitelman mukaan nähdä aktiivisena tiedon hankkijana, joka käsittelee uutta tietoaan aikaisempien tietojensa pohjalta muokaten ja täydentäen niitä. Myös tiedon kriittistä tarkastelua painotetaan. Lukiossa opiskelevia nuoria tulee tukea yksilöllisessä kasvussaan ja kypsymisessään aikuisuuteen sekä sukupuolten tasa-arvoa tulee edistää. Lukion yleissivistävään antiin kuuluu myös yhteiskunnan arvojen välittäminen opiskelijoille. Yleissivistys ja sen mukanaan tuomat tiedot, taidot ja arvot ovat opiskelijan itsetunnon kehityksessä ja elinikäisessä kasvussa tärkeitä. (LOPS 1994, 9-12.)

Nuoren itsetuntoa pyritään vahvistamaan ja sitä kautta auttamaan nuoren kasvua aikuiseksi. Nuoren oppimishalua pyritään pitämään yllä ja hänen asettamiinsa tavoitteisiin pääsyä pyritään edistämään. Koulun arvoperustaan kuuluvat Suomessa hyvyys, totuus ja kauneus. Myös kristillisellä lähimmäisenrakkaudella on oma paikkansa Suomen koululaitoksessa. Ihmisen elämän ja ihmisarvon kunnioittaminen on tärkeää, samoin kuin sukupuolten ja rotujen tasa-arvo. (LOPS 1994, 14-15.)

Kasvatustavoitteiden lisäksi opetussuunnitelmassa määritellään oppiainekohtaisia tavoitteita, joita usein harhaanjohtavasti pidetään koulun ainoana tavoitteena. Vielä toistaiseksi käytössä olevassa fysiikan opetussuunnitelmassa modernin fysiikan kurssikohtaiseksi sisällöksi on annettu seuraavaa:

2.1.1 Moderni fysiikka

”Tutustutaan kvantittumiseen, dualismiin sekä aineen ja energian ekvivalenssiin aineen rakennetta ja rakenneosien dynamiikkaa hallitsevina periaatteina. Perehdytään atomi- ja ydinfysiikan perusteisiin sekä ionisoivan säteilyn syntyyn ja vaikutuksiin. Rakennetaan kokonaiskuvaa fysiikan kehityksestä ja sen pätevyysalueesta luonnonilmiöiden tulkitsijana.” (LOPS 1994, 79.)

Tämä opetussuunnitelma on hyvin suppeasti annettu ja siinä on jätetty pitkälti kuntien päätettäväksi, mitä niiden kouluissa opetetaan. Meisalo ja Lavonen ovat kuitenkin kirjoittaneet oppaan Fysiikka ja kemia opetussuunnitelmassa, jonka tarkoitus on ollut tukea fysiikan ja kemian kunta- ja koulukohtaisen opetussuunnitelman laadintaa. Oppaan olemassaolosta huolimatta löyhästi määritelty sisältö on johtanut siihen, että eri kuntien välillä on ollut suuriakin eroja opetettavissa asioissa ja opettajat ovat seuranneet paljon pelkästään oppikirjoja. Tämän vuoksi uudessa opetussuunnitelmassa on huomattavan paljon tarkemmin määritelty opetettavat asiasisällöt. Meisalon ja Lavosen oppaassa on annettuna ehdotuksia, mitä eri kursseihin tulisi sisällyttää ja modernin fysiikan kurssiin opas ehdottaa seuraavia sisältöalueita:

- dualismi, valon hiukkasluonne, elektronien aaltoluonne, yleinen dualismi,
- aineen ja energian ekvivalenssi
- kvantittuminen, viivaspektri, atomin energiatilat, atomin rakenteen kokeellinen perusta,
- atomin energiatilat, kvantittuminen, energiatasokaavio
- ytimen rakenne, radioaktiivisuus, ydinreaktiot, hajoamislaki, fissio ja fuusio, sovelluksia,
- hiukkasfysiikka. (Meisalo & Lavonen 1994, 70.)

2.2 1.8.2005 voimaan astunut opetussuunnitelma

Modernin fysiikan kurssin nimi on uudessa opetussuunnitelmassa ”Aine ja säteily” ja kurssi on fysiikan oppisisällön viimeinen kurssi. Kurssin oppiainesisältö on seuraava:

2.2.1 8. Aine ja säteily (FY8)

Tavoitteet

Kurssin tavoitteena on, että opiskelija

- tutustuu kvantittumiseen, dualismiin sekä aineen ja energian ekvivalenssiin aineen rakennetta ja rakenneosien dynamiikkaa hallitsevina periaatteina
- syventää kokonaiskuvaa fysiikan kehityksestä ja sen pätevyysalueesta luonnonilmiöiden tulkitsijana.

Keskeiset sisällöt

- sähkömagneettinen säteily
- röntgensäteily
- mustan kappaleen säteily
- valosähköilmiö
- säteilyn hiukkasluonne ja hiukkasten aaltoluonne
- atomimallit esimerkkinä Bohrin atomimalli
- kvantittuminen, viivaspektri, atomin energiatilat ja energiatasokaavio
- atomiytimen rakenne
- radioaktiivisuus ja säteilyturvallisuus
- massan ja energian ekvivalenssi
- ydinreaktiot ja ydinenergia
- aineen pienimmät osaset ja niiden luokittelu (lainattu: LOPS 2003, 148.)

Myös Ylioppilastutkintolautakunta nojaa opetussuunnitelman perusteisiin laatiessaan ylioppilaskokeita. Lautakunta laatii tehtävät fysiikan eri kurssien sisällön pohjalta ja tehtävissä kuvastuu lautakunnan käsitys keskeisimmästä oppiaineesta. Tehtävistä noin 60 % pyritään tekemään laskennallisiksi ja noin 40 % sanallisiksi, fysikaalisen ilmiön ymmärtämistä mittaaviksi (Auramo ym. 2001, 48), sillä fysiikka ei ole pelkkää laskemista vaan puhtaan laskemisen opettelua varten kouluissa on oppiaineena matematiikka.

2.3 Ruotsin lukion opetussuunnitelma

Ruotsin lukiojärjestelmä poikkeaa suomalaisesta jonkin verran. Kuitenkin molemmissa maissa lukiokoulutus on kolmen vuoden mittainen ja antaa korkeakouluopintoihin vaadittavan pohjakoulutuksen ja kelpoisuuden. Niiden opetussuunnitelmissa on myös määritelty toisiaan vastaavia kasvatustavoitteita, sillä jokaisen koulussa toimivan tulee edistää toisten kunnioitusta ja opetella ympäristön kunnioittamista. Koulun tehtävänä on myös välittää

opiskelijoille arvoja, jotka yhteiskunnassa vallitsevat ja opastaa heitä toimimaan niiden mukaisesti. Ihmiselämän loukkaamattomuus, yksilön vapaus ja koskemattomuus ovat myös tärkeitä ihmisten samanarvoisuuden ja sukupuolten tasa-arvon lisäksi. Opetus ei myöskään saa olla tunnustuksellista ruotsalaisissa oppilaitoksissa, vaikka yksilön kasvua ohjaavatkin kristillisen etiikan periaatteet oikeudenmukaisuus, suvaitsevaisuus ja vastuullisuus. Koulussa tulisi jokaisella olla mahdollisuus löytää oma persoonansa ja sen kautta osallistua yhteiskunnallisiin asioihin parhaansa mukaan. (ROPS)

Ruotsissa on 17 erilaista lukio-ohjelmaa, jotka on jaoteltu sen mukaan, minkä alan aineisiin ne painottuvat. Ohjelmat voivat olla esimerkiksi luonnontieteellisiä, yhteiskuntatieteellisiä tai taideaineita painottavia. Kaikkien ohjelmien laajuus on 2500 opintopistettä, josta 1450 pistettä suoritetaan ohjelmassa painotettavista aineista. Kaikkiin ohjelmiin kuuluu ns. ydinaineita 750 pisteen verran. Ydinaineisiin kuuluu kahdeksan ainetta: englanti, taideaineet, liikunta- ja terveystieto, matematiikka, luonnontieto, yhteiskuntatieto, ruotsi (mahdollista suorittaa myös ruotsi toisena kielenä) ja uskonto. Useisiin ohjelmiin kuuluu myös pakollinen työharjoittelu koulun ulkopuolella ja kaikissa ohjelmissa sellainen on mahdollista opintoihin liittää. Oppiaines on jaettu kursseiksi, joiden laajuudet ovat 50, 100, 150 tai 200 opintopistettä. (1,5 – 6 suomalaisen lukion kurssiin verrattavissa) (ROPS)

Ruotsin lukioissa on fysiikan oppiaines jaettu kolmeen kurssiin. Kurssit ovat nimeltään Fysiikka A, Fysiikka B ja syventävä kurssi. Näistä kurssiin B on sisällytetty Suomen lukion modernin fysiikan kurssiin kuuluvat asiat sekä muita alueita, sillä kurssin laajuus on suurempi kuin yhden Suomen lukion kurssin. Kurssi sisältää mekaniikkaa, sähkömagnetismia, mekaanisia ja sähkömagneettisia aaltoja sekä atomi- ja ydinfysiikkaa. Kurssissa on tarkoitus myös antaa kuva maailmankaikkeuden kehityksestä. Kurssiin kuuluu myös jonkin opettajan ja oppilaiden mielenkiinnon mukaan valitun aiheen syventävä käsittely. (ROPS)

Ruotsin lukion opetussuunnitelmassa määritellään luonnollisesti vastaavia tavoitteita fysiikan opiskelulle, kuin Suomessa, sillä ainekohtaisiin vaatimuksiin kuuluu, että opiskelija kehittää tietojaan fysikaalisista käsitteistä, suuruusluokista ja perusmalleista, harjoittelee kertomaan ja kirjoittamaan fysikaalisista ilmiöistä, malleista ja käsitteistä sekä pohtimaan niitä. Opiskelijan tulee myös kehittää taitojaan arkipäivän, luonnon, yhteiskunnan ja työelämän fysikaalisten ilmiöiden kvantitatiivisessa ja kvalitatiivisessa kuvailussa, analysoinnissa ja tulkinnassa. Ilmiöiden kokeellinen tutkimus kuuluu myös ruotsalaisten koulusivistykseen, opiskelijoiden on tarkoitus harjoitella kokeiden suunnittelua ja toteutusta sekä myös niiden tulosten kuvailua ja tulkintaa fysikaalisten käsitteiden ja mallien avulla. Ruotsin lukion opetussuunnitelmassa

otetaan myös huomioon tekniikan tuomat uudet mahdollisuudet, sillä opiskelijoiden tulee kehittää taitojaan datan keräämisessä ja analysoinnissa teknisten apuvälineiden avulla, myös ilmiöiden simuloinnin harjoittelu on kirjattu opetussuunnitelman osaksi. Fysiikan aatehistoriallisen kehityksen tuntemus sekä se, miten se on vaikuttanut ihmisten maailmankuvaan ja yhteiskunnan kehitykseen, kuuluu osana ruotsalaiseen fysiikan yleissivistykseen. Yleisesti ottaen fysiikan rooli yhteiskunnassa tulisi tulla tutuksi ruotsalaisen lukion opiskelijalle. (ROPS)

3. Lyhyt modernin fysiikan historia

Moderni fysiikka ei ole mitenkään uusi asia, vaan sen alkuna pidetään jo 1890 -luvun puolivälissä Wilhelm Röntgenin löytämiä säteitä, joita sittemmin on ruvettu kutsumaan röntgensäteiksi löytäjänsä mukaisesti. Amerikkalainen fyysikko Albert Michelson tosin oli antanut tätä löytöä edeltävänä vuonna lausunnon, jossa totesi: ”Tuntuu todennäköiseltä, että useimmat suuret peruseriaatteet on todistettu vakuuttavasti ja että tuleva edistys perustuu pääasiassa näiden periaatteiden täsmälliseen soveltamiseen kaikkiin havaittuihin ilmiöihin”. (Kragh 2002, 19.) Myöhemmin uudet tutkimukset ovat kuitenkin todistaneet hänen olleen todella pahasti väärässä tämän lausuntonsa suhteen. Röntgensäteillä on sittemmin tutkittu atomien rakenteita ja niiden käyttö oli tärkeässä asemassa esimerkiksi kun määritettiin DNA-molekyylin rakenne vuonna 1953. (Kragh 2002, 50.) Muita modernin fysiikan alkukauden tärkeitä keksintöjä olivat Planckin vuonna 1900 esittelemä säteilylaki ja siinä tekemänsä oletus energian kvantittumisesta sekä Albert Einsteinin kuuluisa suhteellisuusteoria, jonka 100 -vuotisjuhlavuotta juuri vietimme.

Kvantin syntytarina alkoi siitä, kun Max Planck pyrki määrittämään mustan kappaleen säteilyn spektrin. Hän yritti selittää Wienin säteilylain teoreettisesti tyydyttävämmiin kuin Wien itse. (Kragh 2002, 83.) Hän esitteli 14.12.1900 tutkimuksensa, jossa esitti, että mustan kappaleen oskillaattoreiden kokonaisenergia jakautuu osaenergioiksi, joita on äärellinen määrä. Vaikka tätä nykyisin pidetään kvanttiteorian syntymäpäivänä, ei Planck itse pitänyt esittelemäänsä energia-alkioitaan energian kvantittumisena, vaan ennemminkin pelkkänä matemaattisena oletuksena, joka ei sisältänyt lainkaan fysiikkaa. (Kragh 2002, 86.) Planck itse asiassa pyrki kaikin keinoin estämään tulostensa ja vanhan, säteilyä jatkuvana pitävän, teorian erottamista. (Fölsing 2000, 127.) Albert Einstein erotti Planckin tulokset klassisista sähkömagneettisten aaltojen teorioista, kun vuonna 1905 selitti valon kvantittumista käsittelevässä artikkelissaan, että sähkömagneettisen säteilyn rakenne on diskreetti eikä jatkuva, kuten Planck aiemmin oli ajatellut. (Kragh 2002, 92.)

Suhteellisuusteoria, josta Albert Einstein suuren yleisön keskuudessa tunnetaan, julkaistiin vuonna 1905. Nuori Einstein oli tuolloin vielä täysin tuntematon fyysikkojen piireissä. Einsteinin suhteellisuusteoriasta kertovan artikkelin kirjoittaminen sai alkunsa keskustelusta ystävänsä Michele Besson kanssa. Kesken keskustelun hän oivalsi, mikä oli hänen ongelmansa ratkaisun avain. Jo seuraavana päivänä hän riensi kertomaan ystävänsä ratkaisseensa ongelman ja ratkaisu liittyi ajan käsitteeseen eli siihen, ettei aika ole

absoluuttinen käsite. Einstein kirjoitti artikkelin hyvin nopeasti valmiiksi ja se julkaistiin syksyllä 1905 *Annalen der Physik*issä. (Fölsing 2000, 141.) Julkaisuvaiheessa artikkelin nimi oli ”Liikkuvien kappaleiden sähködynamiikasta” mutta jo muutaman vuoden kuluttua artikkelista alettiin käyttää nimeä suhteellisuusteoria. (Fölsing 2000, 142.) Einstein hylkäsi työssään siihen asti vallinneen käsityksen, että maailmankaikkeudessa olisi joka paikassa ainetta, eetteriä, jonka suhteen kaikki liike tapahtuu. Hän osoitti työssään yksinkertaisin perustein, että samanaikaisuus ei ole absoluuttinen asia, vaan se riippuu havainnoitsijoiden liiketiloista. Hän näytti myös, että ei ole absoluuttista aikaa tai absoluuttista pituuskäsitettä. Hän esitti myös liikkuvan ja paikallaan pysyvän koordinaatiston väliset liikkeen muunnokset tässä työssä. (Kragh 2002, 119.) Toisessa vuonna 1905 ilmestyneessä artikkelissa Einstein esitteli erään fysiikan tunnetuimmista kaavoista, massan ja energian vastaavuuden $E = mc^2$. (Kragh 2002, 121.) Hän kehitti teoriaansa kymmenen vuoden ajan ja vuonna 1915 hän esitteli Berliinin tiedeakatemialle gravitaatioon liittyvät kenttäyhtälönsä eli yleisen suhteellisuusteorian. Tässä vaiheessa hän itsekin ymmärsi keksinnöllään olevan suuren merkityksen ja kirjoitti Sommerfeldille tuon olleen hänen elämänsä arvokkain keksintö. (Kragh 2002, 124.)

Atomin rakenteen selvittäminen oli houkuttanut fyysikoita jo aiemminkin, mutta J. J. Thomsonin vuonna 1897 löytämä elektroni muutti sen realistiseksi tutkimusalueeksi. Samassa artikkelissa, missä Thomson esitteli elektroninsa, hän myös julkaisi mallinsa atomin rakenteesta. Tämä ”luumuvanukkaaksi” tai ”rusinakakuksi” kutsuttu atomi koostui elektroneista ja positiivisesti varatusta nesteestä, joka piti elektroneja paikallaan. (Kragh 2002, 66.) Vaikka sitä pidettiin aluksi hyvänä mallina, silti monet ilmiöt, kuten viivaspektrit ja alfasironta, jäivät selittämättä sitä soveltamalla. Jo ennen Rutherfordin vuonna 1911 julkaisemaa atomimallia Thomsonin mallia pidettiin aikansa eläneenä. (Kragh 2002, 70.) Ernest Rutherford tutki alfasirontaa ja muodosti siitä saamiensa tulosten perusteella atomimallin, jossa oli lähes kaiken atomin massan sisältävä ydin ja sen ympärillä tasainen elektroniverho. Kun atomimalli julkaistiin keväällä 1911, sitä ei pidetty kovinkaan tärkeänä, sillä pääasiassa se oli sirontaan liittyvä teoria, eikä varsinainen atomin rakenteen teoria. (Kragh 2002, 75.)

Tanskalainen Niels Bohr vietti vuodet 1911 – 1912 Englannissa ja Rutherfordin luona ollessaan myös hän alkoi tutkia atomimallia koska piti sitä kiehtovana. Hän ymmärsi, että elektroneille oli löydettävä malli, jonka mukaisesti ne asettuvat ytimen ympärille, eivätkä ne voi olla homogeenisena pilvenä, kuten Rutherford oli aiemmin olettanut. (Kragh 2002, 77.)

Tutkimuksessaan hän ei aluksi käsitellyt lainkaan spektriviivoja, kunnes hänen kööpenhaminalainen kollegansa kysyi, miten hänen kehittelemänsä rakenne liittyi Balmerin sarjaan. Vasta silloin hän keksi laajentaa teoriaansa spektrien selittämiseen ja kirjoittikin kuuluisat postulaattinsa hyvin pian tämän jälkeen. Postulaattien sisältö oli, että elektronilla on stationaarisia tiloja, joilla pätee tavallinen mekaniikka, muttei sähködynamiikka ja tiloilla elektronin pyörimismäärä on kvantittunut. Atomit emittoivat tai absorboivat säteilyä vain silloin, kun elektroni siirtyy stationaariselta tilalta toiselle. Siirtymässä eivät päde klassisen mekaniikan lait ja energiaero absorboituu tai emittoituu yhtenä kvanttina, jonka energia on $E = hf$. (Kragh 2002, 78.) Arnold Sommerfeld laajensi Bohrin teoriaa vuosina 1915 – 1916 vielä liittämällä siihen suppean suhteellisuusteorian ja sai aikaan mallin, jolla pystyi ennustamaan spektriviivojen hienorakenteen, jonka vahvasti kokeellisesti Friedrich Paschen. (Kragh 2002, 81.)

Kvanttimekaniikan kehitys oli keväällä 1925 niin pahassa kriisissä, että Bohr, Kramers, Heisenberg ja Pauli keskustelivat siitä pitämässään kokouksessa. Kriisi johtui siitä, että Bohr vastusti kiivaasti valon kvanttitulkintaa ja kehitti Kramersin kanssa John Slaterin ei-fotonista säteilyteoriaa, joka perustui virtuaalisiin oskillaattoreihin ja energian tilastolliseen säilymiseen atomien ja säteilyn vuorovaikutuksissa, hän luopui myös säteilyprosessien kausaalisuudesta. Walther Bothe ja Hans Geiger kumosivat kuitenkin kokeellisesti koko Bohrin-Kramersin-Slaterin teorian. Bohr hyväksyi, että teoria ei vastannut kokeita, muttei sitä, että valo koostuisi fotoneista. (Kragh 2002, 198.)

Heisenberg julkaisi vielä samana vuonna artikkelin, jossa laski harmonisen värähtelijän energiaspektrin $E_n = \left(n + \frac{1}{2}\right)h\nu$ ja johti hieman aiemmin mitatun nollapiste-energian. Born muunsi Heisenbergin kertolaskut matriisimuotoon Jordanin kanssa ja tämä oivallus matriisilaskennan käyttämisestä kvanttimekaniikassa sai asiat etenemään nopeasti. Monimutkaisen matematiikan takaa piti nyt vain löytää vastaavuus kokeisiin ja tämän toteuttivat toisistaan riippumatta Pauli ja Dirac vuonna 1926 käsitellessään ei-relativistista vetyatomia kvanttimekaanisesti saaden oikeat tulokset. Vaikka kaikki kvanttimekaniikan kehittäjät eivät aluksi ajatuksesta pitäneetkään, otettiin näihin aikoihin käyttöön myös käsite spin. (Kragh 2002, 200.) Keväällä 1926 saatiin kuitenkin todiste elektronin spinille, kun Heisenberg ja Jordan johtivat spinin kvanttimekaniikalla vedyn hienorakenteen ja onnistuivat samalla selittämään anomaalisen Zeemanin ilmiön. Tähän mennessä ei kuitenkaan kvanttimekaniikan avulla ollut ennustettu yhtään uutta ilmiötä. (Kragh 2002, 201.) Vuoden

1926 jälkeen kvanttimekaniikasta julkaistiin hyvin paljon artikkeleita, sen kehitys- ja leviämismuutos oli nopea ja sitä kohtaan oli hyvin vähän vastustusta verrattuna esimerkiksi aiemmin julkaistun suhteellisuusteoriaan. (Kragh 2002, 207.) Kvanttimekaniikka vaikutti fysiikan julkaisujen luonteeseen paljon, sillä sen myötä fysiikan kirjallisuus muuttui teoreettisempaan suuntaan eli koetulosten teoreettisesta selittämisestä enemmän tulosten ennustamiseen. (Kragh 2002, 210.) Vuonna 1928 George Gamow liitti kvanttimekaniikan ytimeen ja pystyi sen avulla selittämään alfahajoamisen tunneloitumisprosessina, jossa alfahiukkasella on tietty todennäköisyys, jolla se tunkeutuu ytimen aiheuttaman potentiaalivallin läpi. (Kragh 2002, 217.) Ensimmäisiin kvanttimekaniikan ennustamiin ilmiöihin kuului Nevill Mottin vuonna 1928 johtama varattujen hiukkasten siroaminen pistemäisestä ytimestä. Rutherford oli tehnyt saman 17 vuotta aiemmin, mutta Mott sai kahden identtisen hiukkasen törmäykselle erilaisen tuloksen kuin Rutherford. Mottin lasku antoi kaksi kertaa suuremman arvon kuin Rutherfordin lasku alhaisilla nopeuksilla 45 kulmassa. Mottin ennuste vahvistettiin sumukammiokoeksessa kolme vuotta myöhemmin. (Kragh 2002, 218.)

Ydinfysiikan alkutaival oli suurelta osin pelkkää spekulatiota siitä, mistä ytimet rakentuvat, sillä 1910- ja 1920 -lukuilla ei ollut kokeellisia tuloksia, joista ytimen rakenteen teorioita olisi voitu johtaa. Aluksi aineen ajateltiin koostuvan vain protoneista, elektroneista ja niiden yhdistelmistä, alfahiukkasista. (Kragh 2002, 213.) Ernest Rutherford esitti kuitenkin vuonna 1920, että ytimessä voisi olla muitakin hiukkasia, vaikkapa neutraaleja elektroneista ja protonista koostuvia hiukkasia, joita hän kutsui neutroneiksi. Vasta vuonna 1932 James Chadwick havaitsi neutronin, mutta se ei ollutkaan Rutherfordin ennustama protonin ja elektronin yhdistelmä. (Kragh 2002, 214.) Rutherford aiheutti vuonna 1919 tutkimuksissaan ensimmäisen keinotekoisin atomiytimen hajoamisen, kun hän pommitti typpi-14-kaasua alfahiukkasilla. Hän tulkitsi aluksi reaktion olevan ${}^{14}\text{N} + {}^4\text{He} \rightarrow {}^{13}\text{C} + {}^4\text{He} + {}^1\text{H}$, mutta vasta vuonna 1924 huomattiin sen olleen ${}^{14}\text{N} + {}^4\text{He} \rightarrow {}^{17}\text{O} + {}^1\text{H}$. (Kragh 2002, 215.)

Ytimien tutkimisessa oli pitkään ongelmana kuva siitä, että aine koostuu vain protoneista ja elektroneista ja oltiin jo luopumassa energian säilymisperiaatteesta beetahajoamisessa, koska sitä ei pystytty muuten selittämään näitä hiukkasia käyttämällä. Wolfgang Pauli kuitenkin keksi joulukuussa 1930 ehdottaa kirjeessään Lise Meitnerille ja Hans Geigerille, että ytimessä saattaisi olla jokin muukin hiukkanen protonin ja elektronin lisäksi ja hän kutsui sitä ”neutroniksi”. Hänen ajatuksensa julkaistiin vuonna 1934, mutta samaan aikaan keksittiin nk. raskaat neutronit ja Paulin hiukkasia alettiin kutsua neutriinoiksi. (Kragh 2002, 220.)

Vuonna 1932 Heisenberg vihdoinkin keksi ytimeen sopivan neutraalin hiukkasen, neutronin, jonka Chadwick havaitsi. (Kragh 2002, 222.) Kuitenkin Chadwick itse piti löytämäänsä hiukasta Rutherfordin ennustamana protoni-elektroni -dipolina, mutta noin vuoden kuluttua todettiin neutronin olevan alkeishiukkanen, eikä suinkaan tällainen dipoli. (Kragh 2002, 225.) Chadwick saikin vuonna 1935 fysiikan Nobelin palkinnon neutronin löytämisen ansiosta. (NOBEL) Neutronin löytyminen oli eräs tärkeimmistä tekijöistä ydinfysiikan kehityksessä, sillä sen ymmärrettiin olevan hyvä ammus ydinprosesseissa ja huomattiin sen olevan epävakaata ja hajoavan spontaanisti protoniksi ja elektroniksi puoliintumisajan ollessa noin 13 minuuttia. (Kragh 2002, 227.) 1930 -luvun alussa keksivät Frédéric Joliot ja Irène Joliot-Curie keinotekoisesta radioaktiivisuudesta, jonka merkitys ymmärrettiin heti ja sitä alettiin käyttää monilla aloilla kuten ydinfysiikassa, kemiassa ja lääketieteessä. (Kragh 2002, 228.) Myös tätä löytöä kunnioitettiin Nobelin palkinnolla, jonka Joliot ja Curie saivat vuonna 1935 kemian alalta. (NOBEL)

Hiukkasfysiikan eräs tärkeä tapahtuma oli, kun Dirac vuonna 1931 esitteli antielektronin, jolla on sama massa kuin elektronilla, mutta positiivinen varaus. Tuolloin se oli täysin hypoteettinen hiukkanen ja harvat fyysikot suhtautuivat tähän hiukkaseen vakavasti. (Kragh 2002, 233.) Tämän positronin havaitsi kaksi vuotta myöhemmin Carl Anderson, mutta hän ei perustellut löytöään Diracin teorian avulla. (Kragh 2002, 234.) Uusien tutkimusten julkaisemisen yhteydessä huomattiin, että Andersonin löytämä hiukkanen oli juuri Diracin ennustama positroni ja siitä tuli nopeasti tärkeä hiukkanen fysiikan tutkimuksessa. (Kragh 2002, 235.) Anderson sai tästä Nobelin palkinnon vuonna 1936. (NOBEL) Positronin löytyminen johti fyysikot tutkimaan kosmisiä säteitä, ja niistä he löysivät uusia hiukkasia, jotka olivat hyvin läpäisykykyisiä. (Kragh 2002, 237.) Näitä hiukkasia tutkittiin monessa paikassa, eikä kunniaa niiden löytämisestä vuonna 1937 voi antaa vain yhdelle tutkijalle tai tutkijaryhmälle. Näille uusille hiukkasille annettiin nimeksi μ -mesoni eli myoni. (Kragh 2002, 238.) Toinen maailmansota hidasti hiukkasfysiikan tutkimusta, sillä fyysikoita joutui rintamalle tai he siirtyivät kehittämään sodassa tarvittavia teknisiä apuvälineitä, monet myös olivat mukana atomipommin kehitystyössä. Sodan jälkeen kuitenkin asiat alkoivat taas edetä nopeasti. (Kragh 2002, 247.) Vasta 1950-luvulla hiukkasfysiikka erkani omaksi tieteenhaarakseen IUPAP:in perustaessa Suurenergiafysiikan komitean. (Kragh 2002, 371.)

50- ja 60-luvuilla löydettiin suuria määriä uusia hiukkasia tekniikan kehittymisen myötä ja niitä pyrittiin luokittelemaan helpommin käsiteltäviksi ja ymmärrettäviksi kokonaisuuksiksi. (Kragh 2002, 381-382.) Eräs näistä oli ”Kahdeksankertainen tie”, jonka Gell-Mann kirjoitti

ennen vuotta 1961 ja josta hän vuonna 1964 kirjoitti erillisen tulkinnan. Tässä tulkinnassa hän kutsui hiukkaset muodostavia rakenneosasia kvarkeiksi ja selitti hadronien koostuvan kahdesta tai kolmesta kvarkista tai antikvarkista. Malli ei kuitenkaan saanut aluksi kovin suopeaa vastaanottoa, sillä tutkijat eivät saaneet havaittua kvarkkeja vapaina hiukkasina ja sen teoreettisia perusteita pidettiin heikkoina. (Kragh 2002, 384.) Hiukkasfysiikan puolella syntyi yhteistyöhön pohjautuva tieteen tekemisen malli, eivätkä yksittäiset tutkijat saaneet enää samalla tavalla kunniaa löydöistä kuin aiemmin. Luonnollinen syy sille oli, että tarvittavat laitteistot olivat valtavia ja valtavan kalliita. Hiukkasfysiikan tutkimuksessa myös teoreettinen ja kokeellinen puoli erottuivat toisistaan selkeästi. (Kragh 2002, 393.)

4. Modernin fysiikan kurssisisältöjen teoria

Koska tässä työssä tarkastelen modernia fysiikkaa lukiossa, esittelen lyhyesti teorian niistä asiasisällöistä, joita Suomen lukion opetussuunnitelman mukaan tulee lukion modernin fysiikan kurssissa opettaa. Käytän lähteenä uutta opetussuunnitelmaa. (LOPS 2003, 148.) Käyn läpi myös hieman suhteellisuusteorian perusteita, sillä siitä on yleistiedon puitteissakin hyvä tietää edes pääpiirteet vaikka sitä ei enää opetussuunnitelmassa eritelläkään opetettavaksi asiasisällöksi. Sen merkitys nykypäivän ihmiselle on niin suuri, että mielestäni siitä kuuluisi opettaa perustiedot lukiokurssissa.

4.1 Sähkömagneettinen säteily

Sähkömagneettiset aallot ennusti teoreettisesti James Clerk Maxwell vuonna 1865 ja ne havaitsi ensimmäisenä, vuonna 1887, saksalainen fyysikko Heinrich Hertz koevälineenään L-C -piirissä värähtelevät varaukset, joiden aiheuttamia sähkömagneettisia aaltoja hän havainnoi toisilla piireillä. Piirien resonanssitaajuuden tietäessään hän pystyi laskemaan aaltojen nopeuden aaltoyhtälöstä

$$v = \lambda f \quad (1)$$

ja totesi niiden etenevän valon nopeudella. Tällä tuloksella hän todisti Maxwellin yhtälöiden teoreettisen ennustuksen ja sai löytönsä kunniaksi nimensä taajuuden yksiköksi. (Young & Freedman 2000, 1027.) Sähkömagneettinen säteily ei tarvitse edetäkseen väliainetta, vaan se voi kulkea tyhjiössäkin. Sähkömagneettista säteilyä ovat valo, radioaallot, infrapuna- ja ultraviolettisäteily, röntgensäteet ja gammasäteily, jotka eroavat toisistaan aallonpituuksiltaan. (Young & Freedman 2000, 593.) Sähkömagneettisten aaltojen aallonpituudet vaihtelevat hyvin laajalla alueella, sillä niitä on havaittu taajuusalueella $1-10^{24} \text{ Hz}$ ja tällä alueella aaltojen käyttötarkoitukset muuttuvat huomattavasti. Kaikille aallonpituuksille pätee kuitenkin sama aaltoyhtälö, kaava (kaava1). (Young & Freedman 2000, 1044.) Näkyvän valon alue on saanut nimensä siitä, että ihminen pystyy näköaistillaan havaitsemaan näitä aallonpituuksia. Näkyvän valon aallonpituudet vaihtelevat noin 400 – 700 nanometrin välillä ja ihmisen havaitsema väri riippuu silmään osuvan valon aallonpituudesta. (Young & Freedman 2000, 1045.)

Sähkömagneettisen säteilyn teknisiä käyttötarkoituksia on aikojen kuluessa kehitetty paljon. Ensimmäinen tällainen oli, kun Guglielmo Marconi lähetti ensimmäisen morsesähkötysviestin 1900-luvun vaihteessa. Nykyisin suuri osa tiedonsiirrosta tapahtuu sähkömagneettisen

säteilyn avulla, sillä puhelinyhteydet ja tietoverkot perustuvat sähkömagneettiseen säteilyyn. Marconi sai yhdessä Karl Ferdinand Braunin kanssa Nobelin palkinnon langattoman viestinnän kehittämisestä vuonna 1909. (NOBEL)

4.2 Röntgensäteily

Todennäköisesti jokainen meistä tietää röntgensäteilylle yhden käyttötarkoituksen, lääketieteen röntgentutkimukset. Tämä luunmurtumat paljastava säteily on myös sähkömagneettista säteilyä ja saanut nimensä löytäjänsä ja ensimmäisen tutkijansa Wilhelm Röntgenin mukaan. Röntgen havaitsi, että nämä säteet voivat valottaa valokuvausfilmiin, vaikka kulkisivat siihen kiinteän kohteen läpi. Myös ihmiskeho kuului näihin kiinteisiin kohteisiin. (Harris 1999, 75.) Röntgen sai löytönsä ansiosta Nobelin palkinnon vuonna 1901, jolloin se jaettiin ensimmäistä kertaa. (NOBEL)

Röntgensäteilyä syntyy, kun katodilta lähtee elektroneja, jotka kiihtyvät matkalla anodille potentiaalieron takia, ja anodiin törmätessä niiden liike hidastuu nopeasti ja ne emittoivat sähkömagneettista säteilyä, jota kutsutaan jarrutussäteilyksi. Jarrutussäteilyn spektri on jatkuva fotonispektri, jossa on myös röntgensäteitä. Klassisen fysiikan avulla ei voida selittää, miksi tässä jarrutussäteilynä emittoituvan röntgensäteilyn spektrissä on maksimitaajuus f_{\max} (kutsutaan rajataajuudeksi) ja sitä vastaava minimaalinen aallonpituus λ_{\min} , jotka eivät riipu anodimateriaalista. (Young & Freedman 2000, 1255.)

Röntgensäteiden tyypilliset aallonpituudet ovat $10^{-12} - 10^{-9}$ metriä ja röntgenkvantin energian suhde sen taajuuteen on kuten muillakin fotoneilla:

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda}. \quad (2)$$

Kvanttimekaniikka auttaa selvittämään f_{\max} :n ja λ_{\min} :n suhteen toisiinsa ja elektronien kineettiseen energiaan. Koska elektronilla on varaus $-e$ ja se saa kineettisen energian eV_{AC} kiihdytettäessä jännitteellä V_{AC} , suurienergisiin, eli lyhimmän aallonpituuden ja suurimman taajuuden omaava, fotoni syntyy, kun elektronin kaikki kineettinen energia kuluu yhden fotonin tuottamiseen:

$$E_{\text{fotoni}} = eV_{AC} = hf_{\max} = \frac{hc}{\lambda_{\min}}. \quad (3)$$

Suurilla kiihdytysjännitteillä röntgenspektriin syntyy myös piikkejä niin kutsuttujen karakterististen taajuuksien ja aallonpituuksien kohdalle, ja ne ovat riippuvaisia anodimateriaalista. Niiden syntyminen johtuu siitä, että jotkin elektronit voivat siirtää osan energiastaan anodin atomeille, jotka näin virittyvät jollekin viritystilalleen. Kun nämä viritystilat purkautuvat, emittoituu röntgensäteilyä, jonka taajuus riippuu viritystilojen energioista, jotka ovat aineille ominaisia. (Young & Freedman 2000, 1255.)

4.3 Mustan kappaleen säteily

Kaikki kappaleet säteilevät sähkömagneettista säteilyä ja tämä säteilyteho riippuu sekä pinnan ominaisuuksista että lämpötilasta. (Blatt 1992, 65.) Musta kappale on kappale, joka absorboi kaiken siihen kohdistuvan valon, mutta säteilee sähkömagneettisina säteinä lähinnä lämpöä. Esimerkiksi Aurinkoa voidaan pitää mustana kappaleena, sillä sen pinta ei juuri heijasta valoa, vaan sen tuottama valo johtuu liikkuvien varausten, kuten vetyatomien ytimien, lämpöliikkeestä. (Harris 1999, 556.) Musta kappale emittoi säteilyä kaikilla aallonpituuksilla, mutta suurimmalla intensiteetillä emittoitua säteilyä aallonpituus riippuu sen pinnan lämpötilasta. (Harris 1999, 557.) Tämä aallonpituus on kääntäen verrannollinen lämpötilaan Wienin siirtymälain

$$\lambda T = b \quad (4)$$

mukaisesti, missä b :n arvo on $2,90 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$. (Young & Freedman 2000, 1259.) Tämä laki selittää miksi esimerkiksi kuumennettu teräs hohtaa punaisena, sillä kuumennettaessa säteilyä emittoituu enemmän (Stefan-Boltzmannin laki) ja suurimman intensiteetin aallonpituus lyhenee infrapuna-alueelta näkyvän valon alueelle (punaiseksi) ja edelleen lämpötilan noustessa hohde muuttuu keltaiseksi ja viimein valkoiseksi. (Harris 1999, 557.) Mustan kappaleen emittoima kokonaisintensiteetti puolestaan saadaan Stefan-Boltzmannin laista:

$$I = \sigma T^4, \quad (5)$$

missä σ on Stefan-Boltzmannin vakio ja sen lukuarvo on $\sigma = 5,67051 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$. (Young & Freedman 2000, 1258.)

4.4 Valosähköilmiö

Klassisesti sähkömagneettista säteilyä pidetään aaltoliikkeenä ja jo ennen kvanttifysiikan keksimistä tiedettiin, että metallipintaan kohdistettu valo pystyy irrottamaan pinnasta

elektroneja. Ilmiötä kutsuttiin valosähköiseksi ilmiöksi, millä viitattiin siihen, että valo aiheutti sähkövirran koelaitteistossa. Oli myös huomattu, että tarvitaan tietynsuuruinen minimienergia, jotta elektronin saa irrotettua metallista, mutta sitä ei pystytty valon aaltoluonteen kautta selittämään. Elektroni on sidottuna metalliin ja sen vetäminen irti siitä vaatii tietyn määrän energiaa. Jos energiaa on yli tämän määrän, ylimenevä osuus siirtyy elektronin kineettiseksi energiaksi. Vaadittavaa minimienergiämäärää kutsutaan nimellä työfunktio ja sitä merkitään ϕ :llä. Työfunktio on jokaiselle metallille ominainen. (Harris 1999, 72.) Ilmiön ensimmäisiä havainnoijia olivat Hertz, Hallwachs ja Lenard. (Young & Freedman 2000, 1233.)

Jos valoa voisi käsitellä tässä aaltoliikkeenä, tulisi saada havainnoista tuloksiksi, että jos jokin aallonpituus pystyisi irrottamaan elektronin, pitäisi minkä tahansa aallonpituuden kyetä siihen ja silloin irtoavien elektronien määrää voitaisiin lisätä mielivaltaisen paljon kasvattamalla vain valon intensiteettiä, riippumatta aallonpituudesta. Toisaalta, jos intensiteetti olisi matala, elektroneita irtoaisi edelleen, mutta niiden irtoamisessa olisi aikaviive. Viive aiheutuisi siitä, että aallon energia olisi jakaantunut jatkuvasti koko aallon matkalle ja tarvittaisiin tietty aika, jossa energiaa keräytyisi riittävästi elektronin vaikutuspiiriin. Lopputuloksena olisi, että mille tahansa taajuudelle intensiteetin kasvaessa irtoavien elektronien tulisi olla suurempienergisää, eli suuremman sähkökentän tulisi tuottaa suurempi kiihtyvyyttä. Kuitenkin kokeissa todettiin, ettei irtoamista tapahdu kaikilla aallonpituuksilla eikä pienilläkään intensiteeteillä irtoamisissa ole viivettä. Klassisesti tätä ei pystytty mitenkään selittämään ja tarvittiin apuun Albert Einstein, joka vuonna 1905 ehdotti ilmiölle selitykseksi Planckin muutama vuosi aiemmin esittelemää kvanttia, eli valo käyttäytyykin kuten kokoelma hiukkasia, joita kutsutaan fotoneiksi, ja niillä jokaisella on energia

$$E = hf = h \frac{c}{\lambda}, \quad (6)$$

missä h on Planckin vakio ja f taajuus. Elektronin irrottamiseen tarvitaan yksi fotoni siten, että se siirtää koko energiansa elektronille ja katoaa sitten itse. Jos tulevan valon taajuus on liian matala eli fotonin energia on pienempi kuin työfunktio, ei ole riittävästi energiaa irrottamaan elektronia. Vaikka intensiteetti olisi kuinka suuri, ei elektronia tällöin irtoa ja fotonien energia muuttuu lämmöksi ja heijastuneeksi valoksi. Jos taas fotonin energia hf on suurempi kuin työfunktio, elektroni voi irrota metallipinnasta saaden kineettisen energian, jonka suuruus on fotonin energian ja työfunktion erotus $K_{\max} = hf - \phi$. Alaindeksi *max*

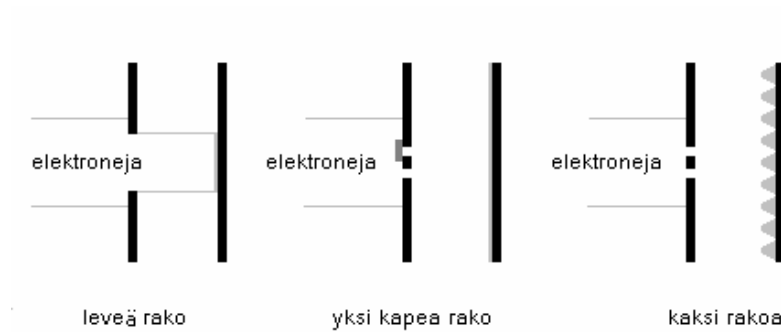
merkitsee sitä, että kaikki elektronit eivät ole yhtä tiukasti sidottuina pintaan. Työfunktio annetaan heikoimmin sidottujen elektronien mukaan ja ne voivat saada suurimman mahdollisen liike-energian, koska niiden irrottaminen vie vähiten energiaa. (Harris 1999, 72-73.)

Einstein ei pystynyt selittämään vain havaintoa, vaan myös toisen klassisesti selittämättömän tuloksen: Jos yksittäisellä fotonilla on riittävästi energiaa, elektronin irtoaminen tapahtuu heti ja elektronin kineettinen energia riippuu vain yksittäisen fotonin energiasta eikä intensiteetistä. Einsteinin tulkinnassa keskeistä on, että sähkömagneettinen säteily käyttäytyy kuten kokoelma hiukkasia, joilla on diskreetti energia, eikä kuten aalto. (Harris 1999, 72 – 73) Valosähköilmiön selittäminen toi hänelle fysiikan Nobelin palkinnon vuonna 1921. (NOBEL)

4.5 Säteilyn hiukkasluonne ja hiukkasten aaltoluonne

Sähkömagneettista säteilyä voidaan käsitellä kuten hiukkasia tai kuten aaltoja, riippuen havainnointivälineestä ja säteilyn aallonpituudesta suhteessa sen dimensioihin. Jos sähkömagneettista säteilyä halutaan tutkia aaltolina, täytyy tutkimuslaitteen dimensioiden olla säteilyn aallonpituuden kanssa samaa kokoluokkaa tai pienempiä. Vastaavasti voitaisiin tutkia aineen aaltoluonnetta, mutta sen aallonpituudet ovat hyvin pieniä. Esimerkiksi elektroneja voidaan käsitellä aaltolina niiden kiertäessä atomissa radoillaan, joilla ne käyttäytyvät kuten seisovat aallot. (Harris 1999, 96.)

Elektronisuihku voi käyttäytyä kuten hiukkaset tai kuten aallot erilaisilla raoilla toteutetuissa kokeissa. Jos elektronisuihku kohdistetaan leveään ragoon, elektronit jatkavat liikettään suoraviivaisesti varjostimelle kuten hiukkasten tuleekin. (Kuva 1) Jos rakoja kavennetaan huomattavasti, huomataan elektronien liikeradan taipuvan raossa siten, että elektroneja havaitaan koko varjostimen alueella. Jos taas näitä kapeita rakoja on kaksi, elektronit muodostavat niiden läpi kulkiessaan aivan samanlaisen diffraktiokuvion kuin valon aallot taipuessaan kahdessa raossa. Tämän käyttäytymisen perusteella elektronejakin voidaan ajatella aaltolina tietyissä yhteyksissä. (Harris 1999, 97.)



Kuva 1. Elektronien käyttäytyminen erilaisissa rakosysteemeissä (kuva kuten Harris 1999, 97.)

Aineaallolle, eli hiukkaselle tai laajasti ajateltuna jopa liikkuvalla ihmiselle, voidaan laskea nk. de Broglie -aallonpituus kaavalla

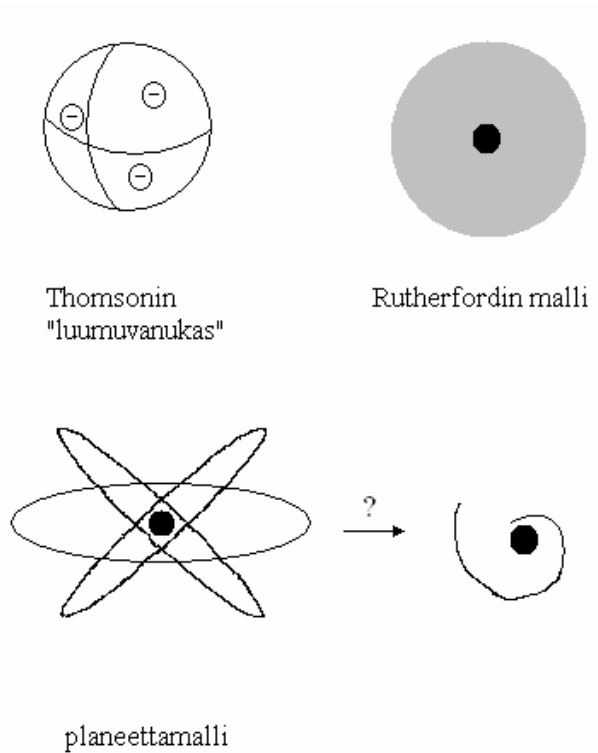
$$\lambda = \frac{h}{p}, \quad (7)$$

jossa h on Planckin vakio ja p hiukkasen liikemäärä. Tämä de Broglie'n kaava on todistettu kokeilla ja se pätee myös relativistisilla nopeuksilla. (Harris 1999, 102.) De Broglie sai tästä saavutuksestaan Nobelin palkinnon vuonna 1929. (NOBEL)

4.6 Atomimallit esimerkkinä Bohrin atomimalli

Kuten jo aiemmin on todettu, atomimallien kehitys oli hankalaa työtä ja siksi arveluita atomin rakenteesta esitettiin useita erilaisia. Tutkituissa oppikirjoissa näistä esitellään Thomsonin, Rutherfordin ja Bohrin atomimallit sekä planeetta-, hiukkasmekaaninen ja kvanttimekaaninen malli.

Thomsonin atomimalli oli myös luumuvanukkaaksi kutsuttu malli, jossa juuri löydetty elektronit kelluivat positiivisesti varautuneen aineen seassa muodostaen tasajakoisen ainekeskittymän. Rutherfordin mallin mukaan atomilla oli pieni, positiivisesti varattu, hyvin tiheä ydin, jonka ympärille elektronit muodostivat tasaisen pilven. Planeettamallissa ajateltiin elektronien kiertävän ydintä kuten planeetat kiertävät Aurinkoa. Mallin ongelmana kuitenkin oli, että varattuna hiukkasena elektronin olisi pitänyt säteillä energiaansa kiertäessään ydintä, sillä kaikki varatut hiukkaset säteilevät energiaa kiihtyvässä liikkeessä ollessaan. Tämä olisi johtanut siihen, että jossain vaiheessa elektroniin kohdistuva keskeisvoima ei olisi enää pitänyt sitä radallaan, vaan ytimen vetovoima olisi voittanut ja imaissut elektronin sisäänsä. (Harris 1999, 232.) Tästä on havainnollistava kuva alla. (Kuva 2) Bohr kuitenkin valotti ratkaisua tähän ongelmaan esittelemällä atomimallilla.



Kuva 2. Atomimalleja

Bohrin atomimallilla ennustettiin, että vetyatomien ydintä, protonia, kiertävillä elektroneilla voi olla vain tiettyjä diskreettejä energioita. (Harris 1999, 132.) Atomimalli perustuu toiseen Newtonin lakiin, kiertävän elektronin klassisesti laskettavaan energiaan ja elektronin pyörimismäärän kvantittumisen sisältävään postulaattiin, jonka mukaan pyörimismäärä on \hbar :n monikerta: $L = n\hbar$, jossa $n = 1, 2, 3, \dots$ on nk. pääkvanttiluku.

Bohr laski elektronin energialle arvon

$$E(r) = -\frac{1}{8\pi\epsilon_0 m_e} \frac{e^2}{r}, \quad (8)$$

mutta siinä energia vaihteli jatkuvasti koska r :n arvot olivat jatkuvasti jakautuneet. Bohr lisäsi tähän elektronin pyörimismäärän kvantittumisehdon $L = n\hbar$ ja vielä, koska ympyräradalla olevan hiukkasen pyörimismäärä on $L = mvr$, hän sai yhtälön muotoon $m_e vr = n\hbar$, missä

$n = 1, 2, 3, \dots$. Kun tähän liitettiin Newtonin toisesta laista saatu yhteys $v^2 = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 m_e r}$, Bohr

sai ennustettua elektronin kiertoradan säteeksi

$$r = \frac{(4\pi\epsilon_0)\hbar^2}{m_e e^2} n^2 = a_0 n^2, \quad (9)$$

missä $n = 1, 2, 3, \dots$ ja a_0 on nk. Bohrin säde ja sen lukuarvo on $52,9 \text{ pm}$. (Harris 1999, 133.)
 Kun tästä saatu r yhdistetään kaavan (ä) kanssa, saadaan kaava, joka ilmaisee atomin energian kvanttumisen:

$$E = -13,6 \text{ eV} \cdot \left(\frac{1}{n^2} \right). \quad (10)$$

(Harris 1999, 134.)

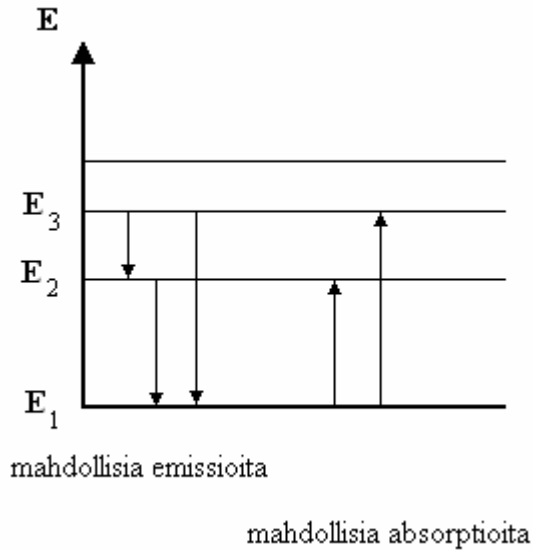
4.7 Kvantittuminen, viivaspektri, atomin energiatilat ja energiatasokaavio

Atomilla on energiatiloja, joilla se voi olla, eikä sen sisäinen energia voi koskaan olla näiden tasojen välillä. Energiatilat ovat aineelle ominaisia. Bohr totesi atomimallissaan, että atomi voi absorboida tai emittoida energiaa vain kokonaisina kvantteina. Nämä emissiot tai absorptiot tapahtuvat atomin siirtyessä energiatilalta toiselle. Kun atomi siirtyy alemmalle energiatilalle, se emittoi energiakvantin ja vastaavasti ylemmälle tilalle siirtyminen vaatii energiakvantin, jonka atomi voi absorboida. Siirtyneen kvantin energia saadaan laskettua kaavasta

$$hf = \frac{hc}{\lambda} = E_{alku} - E_{loppu}, \quad (11)$$

jossa esiintyvät E_{alku} ja E_{loppu} ratkaistaan kaavasta (11). Näin laskettuna positiivinen tulos merkitsee kvantin emissiota ja negatiivinen vastaavasti absorptiota. Nämä tapahtumat näkyvät aineelle ominaisessa spektrissä viivoina, joiden aallonpituuksista saadaan laskettua energiatilojen eroja. (Young & Freedman 2000, 1238.)

Alin mahdollinen energiatila, jolla atomi voi olla, on sen perustila E_1 , jota vähemmän energiaa atomilla ei voi olla. Kaikki tilat, joilla on tätä enemmän energiaa, ovat viritystiloja. Energiatiloja kuvaamaan käytetään usein energiatasokaaviota, johon on piirretty energiatasot. Energiatasot esitetään viivoina, joiden etäisyys on suhteutettu energiatilojen eroihin. (Young & Freedman 2000, 1241.)



Kuva 3. Esimerkki atomin energiatasokaaviosta

4.8 Atomytimen rakenne

Atomin ydin koostuu nukleoneista, joita ovat protonit ja neutronit. Protonien lukumäärä on sama kuin alkuaineen järjestysluku, ja sitä yleensä merkitään Z :lla. Neutronien lukumäärää, neutronilukua merkitään N :llä. Yhteenlaskettuna nämä luvut muodostavat atomytimen massaluvun A . Ytimet, joilla on sama järjestysluku, mutta eri määrä neutroneja, ovat kyseisen aineen eri isotooppeja. Kaikkia isotooppeja ei esiinny luonnossa, vaan niitä voidaan tuottaa keinotekoisesti tai niitä voi esiintyä radioaktiivisten hajoamisten yhteydessä. Atomin ytimen säteen on todettu olevan verrannollinen massalukuun likimain kaavan

$$r = R_0 \sqrt[3]{A} \quad (12)$$

mukaisesti, ja siinä esiintyvän R_0 :n lukuarvo on $1,2 \cdot 10^{-15} \text{ m}$. (Harris 1999, 469-471.)

Vaikka atomytimen koostuu massallisista rakenneosasista, sen massa ei ole suoraan näiden massojen summa, vaan rakenneosasten yhteismassa pienenee niiden ollessa liittyneinä ytimeen. Massojen ero kertoo ytimen sidosenergian, eli kuinka paljon energiaa tarvitaan erottamaan rakenneosaset toisistaan. (Harris 1999, 478.) Sidosenergia lasketaan kaavalla

$$E_B = (Zm_H + Nm_n - {}^A_ZM)c^2. \quad (13)$$

Sulkujen sisällä olevaa massojen erotusta kutsutaan massavajeeksi, joka nimensä mukaisesti kertoo, kuinka paljon rakenneosien massoista katoaa, kun ne ovat liittyneinä ytimeksi. (Young & Freedman 2000, 1388.)

Miksi sitten atomin ydin pysyy koossa, ovathan protonit positiivisesti varattuja ja neutronit neutraaleja ja jo sähköopissa on opetettu samanmerkkisten varausten hylkivän toisiaan? Nukleonien ominaisuuksiin kuuluu, että ne vetävät toisiaan puoleensa vahvan vuorovaikutuksen avulla ollessaan hyvin lähellä toisiaan, lähes kiinni toisissaan. (Harris 1999, 472.) Vahvan vuorovaikutuksen olemassaoloa on tutkittu ja todistettu sirontakokeiden avulla ja niissä on huomattu sen olevan riippumaton tutkittavien nukleonien varauksesta, mutta puolestaan riippuvainen niiden spinien suunnista. (Harris 1999, 473.)

4.9 Radioaktiivisuus ja säteilyturvallisuus

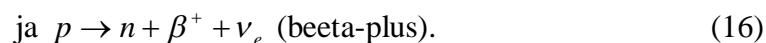
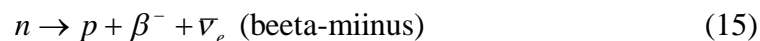
Tunnetuista noin 2500 ytimeistä vain vajaa 300 on stabiileja. Muut ytimet hajoavat emittoimalla hiukkasia ja sähkömagneettista säteilyä muodostaen uusia ytimiä. Hajoamista kutsutaan radioaktiivisuudeksi. (Young & Freedman 2000, 1393.)

Alfahajoamisessa hajoava ydin emittoi alfahiukkasen, joka on helium-4 -ydin. Alfahajoavat ytimet ovat pääasiassa sellaisia, jotka ovat liian suuria ollakseen stabiileja. (Young & Freedman 2000, 1394.) Radium alfahajoaa 222-radoniksi ja alfahiukkaseksi kaavan



mukaan ja tässä hajoamisessa vapautuu 4,871MeV energiaa. (Young & Freedman 2000, 1395.)

Beetahajoamisessa on kolme eri tyyppiä: beeta-miinus, beeta-plus sekä elektronisieppaus. β^- -hiukkanen on elektroni ja plus-hiukkanen vastaavasti positroni. Beeta-miinushajoavan ytimen sisällä olevasta neutronista muodostuu protoni, beetahiukkanen sekä elektronin antineutriino $\bar{\nu}_e$ siten, että protoni jää ytimen sisään ja ulos lähtevät vain elektroni ja sen antineutriino. β^+ -hajoamisessa puolestaan ulos lähtevät positroni ja elektronin neutriino:



Näin ollen beetahajoavan ytimen massaluku säilyy samana, mutta neutroniluku N pienenee yhdellä ja järjestysluku kasvaa yhdellä. (Young & Freedman 2000, 1396.)

Elektronisieppauksessa ydin sieppaa sisäänsä ydintä kiertävän elektronin, joka on yleensä K-kuorelta, ja siitä muodostuu protonin kanssa yhdistyessään ytimeen yksi neutroni lisää.

Yhdistymisprosessin jälkeen syntynyt neutroni jää ytimeen ja pelkästään neutriino emittoituu ytimestä pois:

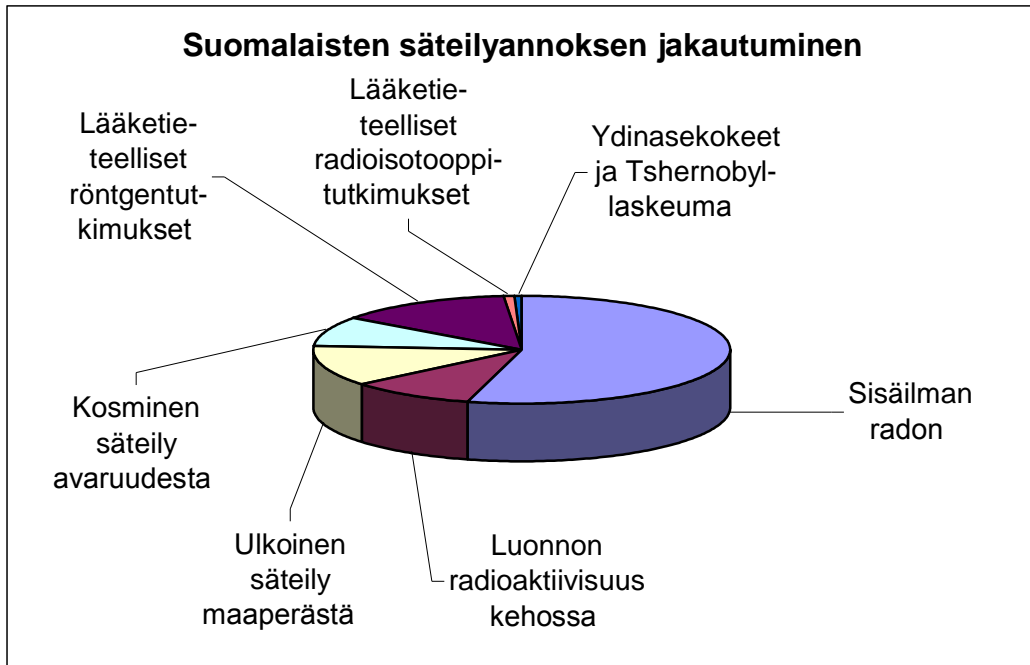


Gammahajoamiseksi kutsutaan ytimen viritystilojen purkautumista sähkömagneettista säteilyä emittoimalla. Gammasäteilyn tyypilliset energiat ovat luokkaa 10 keV – 5 MeV. Esimerkiksi aiemmin mainitussa radiumin hajoamisessa emittoituu eri liike-energian omaavia alfahiukkasia. Kun alfahiukkanen saa pienemmän liike-energian, jää hajoava radium-ydin viritystilalle ja se purkautuu gammahajoamisella. Vastakohtana alfa- ja beetahajoamiselle gammahajoaminen ei muuta ytimen järjestys- tai neutronilukua. (Young & Freedman 2000, 1397.)

Ytimen fission epästabiili ydin jakautuu kahdeksi samaa kokoluokkaa olevaksi osaseksi. Fissio on spontaani, kun sen aiheuttamiseen ei tarvita neutronia, jonka ydin emittoisi sisäänsä. Spontaanit fissiot ovat kuitenkin harvinaisia. (Young & Freedman 2000, 1408.)

Uraanin käyttö polttoaineena ydinvoimaloissa perustuu sen radioaktiiviseen hajoamiseen, joka tapahtuu ketjureaktiona. Jotta reaktiot tapahtuisivat tasaisesti, eikä ketjureaktio pääsisi laajenemaan vaaralliseksi, on ydinvoimaloissa käytössä säätösauvat, joiden avulla saadaan ylimääräiset neutronit poistettua reagoimasta reaktorisydämessä.

Säteilyturvallisuus liittyy niin ydinenergiaan kuin luonnolliseen säteilyynkin. Usein tullaan ajatelleeksi vain ydinenergiaa säteilyn lähteenä, mutta suomalaisten vuotuisesta 3,7 millisievertin säteilyannoksesta suurin osa aiheutuu sisäilman radonista. Toiseksi suurin säteilyn aiheuttaja on luonnon taustasäteily ja nämä kaksi yhdessä muodostavat jo noin 80 % suomalaisten vuotuisesta säteilyannoksesta. Vuonna 1986 tapahtuneesta Tshernobylin ydinvoimalaonnettomuudesta aiheutuva annos on alle prosentin suuruinen, vaikka usein saattaa kuulla ihmisten puheissa kuvitelman, että kyseinen laskeuma aiheuttaisi edelleen suuria säteilyannoksia. (STUK1) Säteilyturvakeskuksen sivuilta löytyvistä säteilyannostiedoista muodostettu kaavio alla tuonee paremmin näkyviin lähteiden suuruusluokat. (Kaavio 1)



Kaavio 1. Suomalaisten säteilyannoksen jakautuminen (arvot: STUK)

Säteilyturvallisuustunneilla tulisi mielestäni aina kerrata, kuinka tulee toimia säteilyvaaran uhatessa sekä mistä opiskelijat voivat tietää säteilyvaaran uhkaavan heitä. Säteilyvaarasta ilmoitetaan yleisellä hätämerkillä ja viranomaistiedottein radiossa ja televisiossa, teksti TV:n säteilyturvasivulla, Säteilyturvakeskuksen internet-sivulla sekä sisäasiainministeriön internet-sivulla. Myös puhelinluettelon alkusivuilla on ohjeet, miten vaaratilanteessa tulee toimia. (STUK2)

4.10 Massan ja energian ekvivalenssi

Einstein esitteli massalle ja energialle vastaavuuden

$$E = mc^2. \quad (18)$$

Tämä lienee fysiikan tunnetuin kaava. Tässä m on tutkittavan objektin lepomassa, eli se ei ole liikkeessä. Lepoenergia ei ole mikään matemaattinen oletus, vaan se on havaittu kokeellisesti levossa olevan pionin hajotessa. Pionin massa on m_π ja on mitattu, että hajoamisessa vapautuva energia on täsmälleen $m_\pi c^2$. (Young & Freedman 2000, 1219.)

4.11 Ydinreaktiot ja ydinenergia

Ydinreaktioissa voidaan pommittaa suurempaa ydintä (emoydin) pienemmällä (pommitushiukkanen) siten, että tuloksena on niiden yhdistyminen uudeksi ytimeksi

(tytärydin) ja energian vapautuminen. Ensimmäisiä tällaisia oli, kun Rutherford pommitti typpeä alfahiukkasilla aiheuttaen reaktion



Ydinreaktion vapauttama energia saadaan laskettua alku- ja loppuytimien massoista kaavalla

$$Q = \left(\sum M_{\text{alku}} - \sum M_{\text{loppu}} \right) c^2, \quad (20)$$

missä $\sum M_{\text{alku}}$ sisältää kaikkien reaktioon osallistuvien hiukkasten massat ennen reaktiota ja $\sum M_{\text{loppu}}$ kaikkien reaktion jälkeen esiintyvien hiukkasten massat c^2 :n arvon ollessa tuttu 931,5 MeV/u. Jos Q :n arvo on positiivinen, sanotaan reaktion olevan eksotermisen eli energiaa (lämpöä) vapauttava. Jos taas arvo on negatiivinen, reaktiota kutsutaan endotermiseksi, eli energiaa sitovaksi. Endotermistä reaktiota ei tapahdu, ellei pommitushiukkasen liike-energia ole suurempi kuin reaktiossa sitoutuvan energian määrä. (Young & Freedman 2000, 1406.) Huomioon täytyy myös ottaa, mikäli pommitushiukkanen on varauksellinen, ytimen ja hiukkasen välillä vaikuttava potentiaalivalli, joka vaikeuttaa hiukkasen pääsyä ytimeen. Tässä tapauksessa myös eksotermisen reaktion tapahtumisessa täytyy pommitushiukkasella olla riittävän suuri energia päästäkseen aiheuttamaan reaktion. (Young & Freedman 2000, 1407.) Ydinreaktioiden pommitushiukkasina käytetään yleisesti neutroneita, koska niiden käytössä ei tarvitse ottaa huomioon potentiaalivallia, sillä niillä ei ole varausta, jota ydin hylkisi.

Ydintä neutroneilla pommittamalla aiheutetussa indusoidussa fissiossa emoydin hajoaa kahdeksi saman kokoluokan ytimeksi vapauttaen samalla energiaa. Tosin tarkalleen ottaen esimerkiksi ${}^{235}\text{U}$:a neutroneilla pommittamalla ei hajoa ${}^{235}\text{U}$ -ydin vaan ${}^{235}\text{U}$:n ja neutronin muodostama ${}^{236}\text{U}$, joka on viritystilalla. Esimerkiksi seuraava hajoaminen on tyypillinen ${}^{235}\text{U}$:lle:



(Young & Freedman 2000, 1408.) Reaktiossa vapautuvat neutronit toimivat seuraavien fissioiden indusioijina muodostaen ketjureaktion, jossa yhä useampia neutroneja tulee hajoamisista ja ne aiheuttavat uusia hajoamisia. (Young & Freedman 2000, 1410.) Ketjureaktioiden kontrolloimattomalla etenemisellä on tuhoisia seurauksia, kuten moni varmasti muistaa Tshernobylin onnettomuudestakin. Esimerkiksi atomipommissa ketjureaktiota käytettiin hyväksi, jotta saatiin riittävästi energiaa vapautumaan.

Ydinenergiaa tuotetaan ydinreaktoreissa, joissa kontrolloidut ketjureaktiot vapauttavat energiaa. Reaktorissa tapahtuu ^{235}U :n hajoamisia ja niiden tuottama energia lämmittää vettä, jonka lämmön avulla muodostetaan höyryä. Höyry siirtyy turbiinille, jonka tehtävänä on siirtää energia generaattorille, joka tuottaa sähköä. (Young & Freedman 2000, 1411.)

Suomessa tuotettiin sähkön kokonaiskulutuksesta vuonna 2004 noin 25 prosenttia (22 TWh) ydinvoimalla. Neljästä ydinvoimalaitosyksiköstämme kaksi sijaitsee Loviisassa ja kaksi Olkiluodossa. (STUK3) Olkiluotoon on rakenteilla uusi, noin 13 TWh vuodessa tuottava reaktori. (STUK4) En tässä esittelen ydinvoimaloiden toimintaperiaatteita, tyyppejä enkä turvallisuuteen liittyviä asioita, mutta opiskelijoille tulisi modernin fysiikan kurssin aikana antaa valmiudet osallistua ydinvoimakeskusteluun myös fysikaalisiin perusteisiin nojaten. Monille ydinvoima on kaukainen ja ehkä hieman salaperäinenkin asia, joten on todella tärkeää että fysiikan tunneilla opettaja antaa heille realistista tietoa ydinenergian tuotannosta, mahdollisista vaaroista ja hyödyistä, jotta opiskelijoista saataisiin kasvatettua valveutuneita, asiat järkisyin perustelevia tulevia päättäjiä. Olisi myös todella hyvä, jos voisi käydä tutustumassa ydinvoimalaan, koska omalta osaltani käynti Olkiluodossa oli hyvinkin antoisa tapahtuma. Tuon tutustumisen jälkeen ydinvoimala tuntui paljon läheisemmältä asialta ja kaikki siihen liittyvä teoria sai aivan uuden ulottuvuuden, kun näki asioita lähempää.

4.12 Aineen pienimmät osat ja niiden luokittelu

Muinaiset kreikkalaiset pitivät atomia jakamattomana aineen osasena, mutta 1900 -luku on tuonut suuren muutoksen tähän kuvaan. Uusien hiukkasten tutkimus on alkanut atomeista ja kun atomin rakenneosat tunnettiin, haluttiin tutkia mistä ne koostuvat ja nyt tutkimuksen kohteena ovat jo atomin rakenneosasten rakenneosien eli kvarkkien, sisäinen rakenne.

Atomin ytimessä olevat hiukkaset koostuvat kvarkeista, joita pitää yhdessä vahva vuorovaikutus. Kvarkkeja on 6 erilaista (Taulukko 1): up (u), down (d), charm (c), strange (s), bottom (b), top (t) sekä niiden antikvarkit. Kvarkeista ja antikvarkeista muodostuu muita hiukkasia, esimerkiksi protoni rakentuu kahdesta u- ja yhdestä d-kvarkista, joiden varausten summa on $+1e$. Neutroni puolestaan muodostuu kahdesta d- kvarkista ja yhdestä u-kvarkista, joiden varausten summa on nolla. Kvarkeista koostuvia hiukkasia kutsutaan hadroneiksi ja ne jaetaan baryoneihin ja mesoneihin. Protoni ja neutroni kuuluvat baryoneihin, jotka koostuvat kolmesta kvarkista. Kahdesta kvarkista (oikeastaan kvarkista ja antikvarkista) muodostuvia hiukkasia ovat esimerkiksi pioni π ja kaoni K . (Taulukko 2) (Harris 1999, 520-523.)

Kvarkki	lyhenne	varaus	antikvarkki
Up	u	2/3	\bar{u}
Down	d	-1/3	\bar{d}
Charm	c	2/3	\bar{c}
Strange	s	-1/3	\bar{s}
Bottom	b	-1/3	\bar{b}
Top	t	2/3	\bar{t}

Taulukko 1. Kvarkit ja antikvarkit

hiukkanen	kvarkkikoostumus
protoni (baryoni)	uud
neutroni (baryoni)	udd
pioni π^0 (mesoni)	$u\bar{u}, d\bar{d}$
kaoni K^+ (mesoni)	us

Taulukko 2. Joidenkin hiukkasten kvarkkikoostumus

4.13 Suhteellisuusteoriaa

Erityinen suhteellisuusteoria tulee ottaa huomioon, jos tarkasteltavia nopeuksia voi verrata valon nopeuteen $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$. Erityisessä suhteellisuusteoriassa tulee voida määritellä inertiaalikoordinaatisto, jossa tutkittava kohde liikkuu vakionopeudella ja siihen vaikuttavien voimien summa on nolla. Mikäli liike on kiihtyvää, täytyy ottaa käyttöön yleinen suhteellisuusteoria. Einsteinin asettamat suhteellisuusteorian postulaatit ovat:

1. Fysikaaliset lait säilyvät muuttumattomina inertiaalikoordinaatistoissa.
2. Valon nopeus on vakio.

Ensimmäisen postulaatin mukaista inertiaalikoordinaatistoa ei voi yksikäsitteisesti määrätä, vaan se täytyy valita tapauskohtaisesti. Näin ollen voidaan sanoa kaiken liikkeen olevan suhteellista. (Harris 1999, 2.)

Yleinen esimerkki suhteellisuudesta käytännössä ovat myonit. Ne ovat hiukkasia, jotka syntyvät kun kosmiset säteet osuvat ilmakehään ja niiden elinikä on niin lyhyt (2,2 μ s), että klassisesti tarkasteltuna niitä ei tulisi koskaan havaita maan pinnalla. Niitä kuitenkin havaitaan ja se johtuu myonin kannalta pituuden kontraktiosta ja maapallon pinnalla olevan tarkastelijan kannalta ajan dilataatiosta. Myoni kokee ilmakehän reunan ja maanpinnan välisen matkan lyhyempänä kuin se on, koska sen nopeus on niin suuri, ja siksi sen elinikä

riittää maan pinnalle asti pääsyyn. Myonin kokema matka ilmakehän reunalta maanpinnalle saadaan laskettua Lorentz-muunnoksena

$$l = l_0 \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}, \quad (22)$$

missä l_0 on lepopituus eli myonin suhteen liikkumattoman matkan pituus. Kun myoni liikkuu nopeudella v suhteessa ilmakehään, ilmakehä näyttää sen mielestä kutistuvan pituuteen l . (Harris 1999, 8.-9. kaava s. 15.)

Vastaavasti, jos ajatellaan ilmakehän olevan paikallaan ja myonin liikkuvan sen suhteen, saadaan myonin suhteellisuusteorian mukainen elinaika t laskettua kaavalla

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}, \quad (23)$$

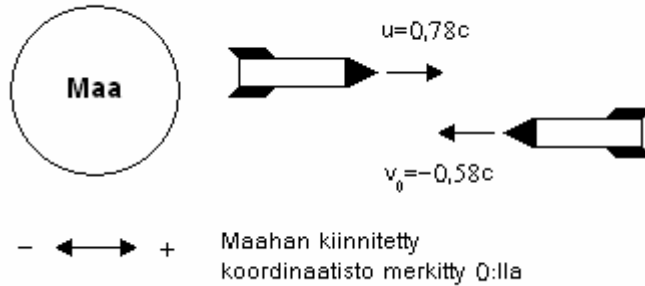
missä t_0 on paikallaan olevan myonin elinikä. Koska myonin elinaika näin laskettuna on pidempi kuin paikallaan olevalla olisi, voidaan todeta, että se ehtii maan pinnalle elinaikanaan. Tästä muunnoksesta voidaan päätellä, että liikkuva kello jätättää. (Harris 1999, 8. kaava s. 14.)

Klassisesti toistensa suhteen liikkuvien kappaleiden nopeudet voidaan suoraan laskea yhteen, jos halutaan tietää niiden nopeus suhteessa toisiinsa. Suhteellisuusteoreettisilla nopeuksilla tämä ei onnistukaan, sillä silloin voi tulokseksi tulla, että jokin objekti liikkuu suhteessa toiseen objektiin nopeammin kuin valo, mikä ei ole mahdollista. Myös nopeuksille on oma Lorentz-muunnoksensa, joka esitetään muodossa:

$$v = \frac{v_0 - u}{1 - \frac{uv_0}{c^2}}. \quad (24)$$

Tässä v_0 on tarkasteltavan objektin nopeus inertiaalikoordinaatistossa ja u sen objektin nopeus, jonka suhteen objektia tarkastellaan. Jos esimerkiksi avaruusalus kulkee Maasta poispäin nopeudella $u = 0,78c$ ja sitä vastaan tulee toinen, lennoltaan palaava alus nopeudella $v_0 = -0,58c$ (miinusmerkki: katso Kuva 4), niin tämä lennoltaan palaava alus ei lähtevän aluksen miehistön mielestä lähesty heitä nopeudella $(0,78 + 0,58)c = 1,36c$, vaan kaavan mukaisesti nopeus on (Young & Freedman 2000, 1210.):

$$v = \frac{v_0 - u}{1 - \frac{uv_0}{c^2}} = \frac{-0,58c - 0,78c}{1 - \frac{(-0,58c)(0,78c)}{c^2}} = -0,936c.$$



Kuva 4. Suhteellisuusteorian laskuesimerkkiin liittyvä kuva

Myös liikemäärä ja -energia muuttuvat suhteellisuusteoreettisilla nopeuksilla. Liikemäärä suurella nopeudella liikkuvalla kappaleella saadaan ratkaistua kaavasta

$$\vec{p} = \frac{m\vec{v}}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}, \quad (25)$$

jossa m on kappaleen (hiukkasen) lepomassa. Liike-energia puolestaan on hiukkasen kokonaisenergian ja lepoenergian erotus

$$K = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} - mc^2 = E - mc^2. \quad (26)$$

Hiukkasen kokonaisenergian ja liikemäärän suhde on

$$E^2 = (mc^2)^2 + (pc)^2. \quad (27)$$

Nämä tulokset antavat hiukkasen liike-energian tai liikemäärän ollessa nolla tulokseksi sen lepoenergian $E = mc^2$ ja kaikki suhteellisuusteorian kaavat palautuvat klassisiin tuloksiin, kun v :n arvot ovat pieniä. Näin tuleekin olla, sillä muutoin ei Einsteinin teoriaa olisi voitu hyväksyä. (Young & Freedman 2000, 1217-1219.)

5. Oppikirjojen tarkastelua

Työssäni olen käyttänyt suomalaisia kirjoja, jotka ovat ilmestyneet ennen vuonna 2005 voimaantulleen opetussuunnitelman käyttöönottoa ja työn valmistumisen viivästymisen takia kyseiset oppikirjat ovat poistuneet koulukäytöstä työn valmistuessa. Uudet oppikirjat ovat työn tekovaiheessa olleet valmistumaisillaan, mutta useista sarjoista on ollut juuri modernin fysiikan (uudessa opetussuunnitelmassa kurssin nimenä on *Aine ja säteily*) kurssin osa julkaisematta. Ruotsalaisista kirjoista on käytössäni ollut Börje Ekstigin ja Lennart Boströmin Quanta Fysik B sekä Jan Pålsgårdin, Göran Kvistin ja Klas Nilsonin tekemä Ergo Fysik B.

Suomen ja Ruotsin lukioiden fysiikan oppikirjat eroavat toisistaan jo ensisilmäyksellä melko paljon. Suomalaisista kirjoista Atomista avaruuteen -sarja koostuu kahdeksasta yhden kurssin käsittävästä osasta yhden kirjan sivumäärän ollessa 100 – 150. Fysiikka -sarjassa kirjoja on kuusi kappaletta, joista yksi on kertauskirja, ja niiden sivumäärä on noin 150. Ruotsalaiset kirjat ovat kursseittain tehtyjä, mikä luonnollisesti tarkoittaa, että kurssien A ja B kirjat ovat huomattavan paljon paksumpia kuin suomalaiset kurssikirjat, noin 400-sivuisia. Kokonaissivumäärä kaikissa kirjasarjoissa kuitenkin on likimain sama.

Tehtävien sijoittelu tekstin lomaan on tutkituissa suomalaisissa kirjoissa toteutettu siten, että aina tietyn osa-aiheen teorian käsittelyn lopuksi on siihen liittyviä harjoitustehtäviä, kun puolestaan ruotsalaisissa kirjoissa tehtävät on sijoitettu isomman kappaleen loppuun. Tehtävät ovat ruotsalaisissakin kirjoissa kuitenkin samassa järjestyksessä, kuin missä asiat tekstissä käsitellään ja tekstiosiossa on kerrottu, mitkä tehtävät siihen liittyvät.

Asiasisältöjen järjestely on hieman erilainen kirjoissa maiden välillä. Suomessa on opetussuunnitelmankin kautta totuttu järjestykseen, jossa fysiikan opiskelu aloitetaan sen yhteydestä yhteiskuntaan, mekaniikan laeista ja edetään lämpöopin kautta aaltoihin, sähköön, magnetismiin ja lopulta lukion fysiikka huipentuu moderniin fysiikkaan. Kahdessa ruotsalaiskirjassa on melko suuri ero siinä, missä järjestyksessä asioita on niissä käsitelty. Ekstigin kirjassa on mielestäni selkeämpi järjestys, sillä siinä B -kurssi aloitetaan mekaniikalla ja aalloilla, jonka jälkeen siirrytään fotoneihin, atomeihin ja niiden ytimiin, magnetismiin ja lopulta maailmankaikkeuden syntyyn ja rakenteeseen. Pålsgårdin kirjassa taas iloisesti vaihdetaan aihetta aalloista atomeihin ja ytimiin, jonka jälkeen ovatkin vuorossa suora- ja kaarevaviivainen liike. Liikemäärän kautta siirrytään gravitaation tutkimukseen ja siitä sähkö- ja magneettikentän läpi induktioon, jonka jälkeen seuraavat suhteellisuusteoria,

kvanttifysiikka ja astrofysiikka. Tähän mielipiteeseeni luonnollisesti vaikuttaa se, että Ekstigin kirjan järjestys on lähempänä suomalaista, johon olen tottunut.

5.1 Eri aihealueiden käsittely oppikirjoissa

Eri aiheiden käsittelyyn käytettyjen sivumäärien laskemisessa täytyy ottaa huomioon, että ei voida yksiselitteisesti määritellä yhden sivun tekstin kuuluvan vain yhteen aiheeseen. Tämän vuoksi taulukoissa esiintyvien sivumäärien summat eivät välttämättä täsmää kirjojen yhteissivumäärien kanssa.

Haluan tässä työssä eritellä myös kansainvälisen fysiikan vuoden 2005 (myös tämän työn aloitusvuosi) innoittajan, 100-vuotiaan suhteellisuusteorian, vaikka se ei kuulukaan Suomen opetussuunnitelmassa erikseen määriteltyihin asioihin. Suhteellisuusteoriaa käsitellään kirjoissa hyvin vaihtelevasti. Pålsgård on omistanut aiheelle kokonaisen 25-sivuisen erillisen kappaleen, kun taas Ekstig on liittänyt 8 tekstisivua suhteellisuusteoriaa mekaniikan kappaleen yhteyteen. Atomista avaruuteen -kirja muistaa modernin fysiikan tärkeää alkuunsaattajaa neljällä sivulla ”Aaltoja vai hiukkasia?” -kappaleen alaotsikkona ja Fysiikka 5 seitsemällä tekstisivulla heti kirjan alussa täysin omana kappaleenaan.

Suurimmat hajonnat aihealueille omistetuissa sivumäärissä eri kirjojen välillä on juuri suhteellisuusteorian sekä radioaktiivisuuden, säteilyturvallisuuden ja ytimen rakenteen käsittelyssä. Suhteellisuusteorian käsittelyyn käytetyt sivumäärät vaihtelevat välillä 4 – 25, radioaktiivisuuteen on käytetty 11 – 24 sivua, säteilyturvallisuuteen 2 – 10 ja ytimen rakenteeseen 3 – 9. Näistä neljästä aiheesta säteilyturvallisuus on ainoa, johon käytettyjen sivujen molemmat ääripäät löytyvät Suomesta, sillä Atomista avaruuteen esittelee säteilyturvallisuutta kirjoista eniten ja Fysiikka 5 vähiten, vain kahden sivun verran varsinaisessa tekstissä. Tosin Fysiikka 5 -kirjan loppupäässä on kuuden sivun tietopaketti säteilyturvallisuudesta, mutta liian usein tällaiset liitteenomaiset lisälukemistoksi helposti mielletävät tekstiosat sivuutetaan opetuksessa lähes kokonaan. Tekstiin ei myöskään liity yhtään harjoitustehtävää, mikä on omiaan vahvistamaan opiskelijoiden kuvaa siitä, ettei kyseinen aihealue ole kovin tärkeä. Säteilyturvallisuus on ainoa alue, johon Atomista avaruuteen käyttää käsitellyistä kirjoista eniten sivuja, kirja keskittyy siihen 10 sivun verran muiden jäädessä kuuteen tai sen alle. Maakohtaisesti kirjojen yhteiset sivumäärät maittain kuitenkin ovat 12 ja 11, eli tämä kirja yksinäänkin käsittelee säteilyturvallisuutta lähes yhtä paljon kuin ruotsalaiset kirjat yhteensä. Säteilyturvallisuus on kuitenkin tärkeä asia esitellä tässä kurssissa jo yleistiedon kannalta ja sitä voisi kirjoissa esitellä enemmänkin, myös

arkipäivän esimerkkien kannalta, joiden kautta opiskelijoille paremmin muodostuisi realistisempi kuva säteilystä ja sen vaaroista.

Maiden välillä suurin ero käsittelyn määrässä on suhteellisuusteoriassa, jonka Suomi häviää länsinaapurilleen 11 – 33, kun otetaan huomioon näiden kahden maataan edustavan kirjan yhteensä käyttämät sivut. Radioaktiivisuuden käsittelyssä on toiseksi suurin hajonta, mutta sen käsittelyyn Suomessa käytetään sivuja enemmän, suhteen ollessa 44 – 27. Erilaisia spektrejä esitellään suomalaisissa kirjoissa paljon vähemmän kuin ruotsalaisissa, sivumäärien ollessa 9 – 15. Lähimpänä toisiaan maiden kirjat ovat valosähköilmion esittelyssä, sillä molemmissa maissa kirjat käyttävät siihen yhteensä 9 sivua, sekä massan ja energian yhteyden käsittelyssä, sillä molemmissa maissa se on saanut hyvin vähän sivuja käyttöönsä. Ruotsalaisissa kirjoissa tosin siten, että Quanta käyttää kaikki kaksi sivua, eikä Ergo yhtään, kun suomalaiset käyttävät tasaisesti yhden sivun kummassakin kirjassa. Vastaavuus kyllä ilmenee melko usein esimerkiksi laskuissa, mutta sen esittely on hyvin lyhyttä, lähinnä vain todetaan, että massa ja energia vastaavat toisiaan kaavan $E = mc^2$ mukaisesti.

Kummassakin maassa mustan kappaleen säteilyn käsittely on hyvin vähäistä. Suomalaiset kirjat käsittelevät tätä yhteensä yhden lasketun sivun verran, kun Fysiikka 5 määrittelee sivulla 54 mustan kappaleen ja kertoo sen aiheuttamasta säteilystä noin puolen sivun verran antaen Wienin siirtymälain kaavan $T\lambda_{\max} = b$ ja siihen liittyvän vakion b arvon, sekä kertomalla, että tämän lain mukaan ”--säteilymaksimin aallonpituus on kääntäen verrannollinen kappaleen lämpötilaan. Wienin siirtymälaki on voimassa vain ideaaliselle säteilijälle, ns. mustalle kappaleelle. Se säteilee kaikkia aaltoja ja absorboi (lat. *absorbere*, imeä) kaikkia aaltoja, mutta ei heijasta siihen kohdistuvaa valoa ollenkaan takaisin. **Mustan kappaleen säteily** on osoitus säteilyn hiukkasluonteesta. Musta ei tässä tarkoita kappaleen väriä.” Tähän on liitetty vain yksi varsinainen harjoitustehtävä, tehtävä 3-6. Ruotsalaisista kirjoista asian esittelevät molemmat, mutta Ergossa käsittely on johdannonomainen siirryttäessä fotonien käsittelyyn ja Planckin säteilylakia käsitellään vasta seuraavan kappaleen, jonka otsikkona on astrofysiikka, yhteydessä. Quanta on ainoa kirja, joka kunnollisesti esittelee mustan kappaleen ja esittelyn yhteydessä käydään läpi myös Stefan-Boltzmannin sekä Wienin lait.

Aalto-hiukkasdualismin käsittelyssä Suomen ja Ruotsin kirjat eroavat hieman. Ruotsissa asia esitellään mielestäni yhtenäisemmin ja siitä kertoo sivumäärien laskennassa tekemäni ryhmittelykin. (Taulukko 3) Suomalaisen kirjojen aiheet olen luokitellut otsikoiden ”aineen

aaltoluonne” ja ”valon hiukkasluonne” alle, mutta ruotsalaisissa kirjoissa yleisemmän otsikon ”dualismi” alle. Oma mielipiteeni on, että ruotsalaisista kirjoista on helpompi saada käsitys siitä, että hiukkaset ovat hiukkasia, mutta voivat käyttäytyä tietyissä olosuhteissa kuten aallot. Suomessa jo kappaleiden otsikointi voi olla opiskelijalle hieman harhaanjohtavaa, varsinkin Atomista avaruuteen -kirjan osalta, sillä sen ensimmäinen kappale on nimeltään ”Aaltoja vai hiukkasia?” ja opiskelijalle ei välttämättä tästä avaudu idea, että aallot ja hiukkaset eivät sulje toisiaan pois. Myös asian käsittelyvaiheessa pienempien kappaleiden otsikot ”Sähkömagneettisen säteilyn kvantit” sekä ”Hiukkasten aaltoluonne” kieliasullaan tavallaan peittävät toista vaihtoehtoa. Myös kirjan Fysiikka 5 otsikoista ”Valon hiukkasluonne” sulkee aaltoluonteen pois, mutta vastaavasti aineen luonnetta käsitellessä otsikointi on ”Aineen aalto- ja hiukkasluonne”, mikä antaa hieman paremman kuvan. Myös Quanta -kirjassa sorrutaan kappaleen alkuotsikoinnissa poissulkevaan vaihtoehtoon otsikolla ”Våg eller partikel”, mutta asiaa hieman helpottavat alaotsikot. Ensimmäisenä käsitellään otsikon ”Ljus – våg och partikel” alla valon käyttäytymistä kaksoisrakokokeessa ja kappaleen lopussa vielä erikseen todetaan, että kysymys siitä, onko valo aaltoja vai hiukkasia, on väärin asetettu, sillä nämä ominaisuudet eivät sulje toisiaan pois, mikä on hyvä lukiotasoisessa kirjassa erikseenkin mainita. Myös elektronia käsitellään nämä molemmat ominaisuudet omaavana hiukkasena kappaleessa ”Elektronen – partikel och våg”.

Hiukkasfysiikan esittely on oppikirjoissa melko vähäistä, vaikka aineen pienimpien osasten käsittely on sisällytetty Suomen opetussuunnitelmaankin. Suhteellisuusteorian sivumääriin verrattuna suomalaisissa kirjoissa hiukkasfysiikkaan käytetään lähes sama sivumäärä, vaikka suhteellisuusteoria erillisenä aihealueena ei opetussuunnitelmaan kuulukaan, kuten hiukkasfysiikka. Hiukkasfysiikan osuudessa Fysiikka 5 -kirjassa esitellään kvarkkeja ja leptoneita sekä mainitaan myös siitä, että suurin osa aineesta onkin tyhjää tilaa. Antihiukkasetkin mainitaan ja kerrotaan, että kymmenen vuotta sitten onnistuttiin Cernissä tuottamaan antiainetta.

	Atomista avaruuteen	Fysiikka5	Ergo	Quanta
Historiallisia ilmiöitä				
sähkömagneettinen säteily	4	6	2	2
röntgensäteily	2	7	7	3
mustan kappaleen säteily	0	1	1	5
valosähköilmiö	4	5	4	5
dualismi			3	5
–aineen aaltoluonne	3	4		
–valon hiukkasluonne	1	6		
atomimallit	9	7	10	5
yhteensä	23	36	27	25
kvantittuminen, viivaspektri, energiatilat				
–kvantittuminen	4	2	4	1
–spektrit	5	4	8	7
–energiatilat ja tasokaavio	2	8	7	7
–ytimen rakenne	4	9	3	8
yhteensä	15	23	22	23
radioaktiivisuus & säteilyturvallisuus				
radioaktiivisuus	20	24	11	16
säteilyturvallisuus	10	2	5	6
massa=energiaa	1	1		2
yhteensä	31	27	16	24
ydinreaktiot ja ydinenergia				
ydinreaktiot	6	7	11	6
ydinenergia	7	3	8	4
aineen pienimmät osaset	6	4	8	6
suhteellisuusteoria	4	7	25	8
yhteensä	23	21	52	24

Taulukko 3. Aiheiden käsittelyyn käytetyt sivumäärät oppikirjoittain

5.2 Fysiikan harjoitustehtävistä

Teoksessaan Fysiikan merkitykset ja rakenteet Kaarle ja Riitta Kurki-Suonio käsittelevät fysiikan tehtäviä ja heidän mukaansa fysiikan opetuksessa perinteinen harjoitustehtävän

tyyppi on laskennallinen ja ne ovat tärkeitä, sillä niitä itse ratkaisemalla opiskelija on aktiivisen oppijan roolissa ja pääsee harjoittelemaan fysikaalista esitystapaa. Erilaisiin yhteyksiin tarkoitettujen tehtävien vaatimukset riippuvat tehtävän käyttötarkoituksesta. Tehtävien eri käyttötarkoituksia ja -yhteyksiä ovat opettajan tunnilla käsittelemät tehtävät, tunti-/kotiharjoitustehtävät, kertaustehtävät sekä koe-/tenttitehtävät. Kaikilla näillä tehtävätyypeillä on yhteistä se, että niiden tulee tasoltaan ja sisällöltään vastata suoritettua opetusta. Opettajan käsittelemiä tehtäviä Kurki-Suoniot pitävät ”teorian demonstraatioina” ja niiden tarkoitus on selventää käsitellyn teorian merkitystä. Aiheen käsittelyn alkuvaiheeseen ei kuitenkaan tule ottaa kovin monimutkaisia tehtäviä, vaan yksinkertaiset ongelmat ja lyhyet tehtävät ovat soveltuvimpia. Myöhemmin, syventävän käsittelyn vaiheessa voi tehtävissä olla enemmän laajuutta ja vaiheita. Näitä tehtäviä käsitellessä opiskelija jää helposti aktiivisen tekemisen ulkopuolelle ja toimii passiivisena tiedon vastaanottajana. (Kurki-Suonio & Kurki-Suonio 1994, 313.)

Opiskelijoiden kotona tai tunneilla laskemia harjoitustehtäviä luonnehditaan Kurki-Suonioden teoksessa ”teorian laboratorioharjoituksiksi” ja niiden tarkoituksena pidetään asioiden opettamista ja esitystavan harjoittamista. Näihin koti- ja tuntitehtäviin opettaja voi niin halutessaan liittää myös asioita, joita ei vielä ole opetuksessa käyty läpi, mikäli opiskelijoiden kyvyt sen sallivat. Harjoitustehtävissä voi aluksi olla vain vähän laajuutta ja vaiheita, mutta opiskelijoiden tietojen ja taitojen karttuessa niitä voi ja tuleeekin lisätä. (Kurki-Suonio & Kurki-Suonio 1994, 313.)

Kertaustehtävien tärkeä ominaisuus on, että ne auttavat hahmottamaan kokonaiskuvaa opetetusta aiheesta sekä vahvistavat ja syventävät aiheen osaamista. Niissä voi hyvinkin olla tehtäviä, joissa yhdistyy useita asioita ja on paljon eri ratkaisuvaiheita. Kertaustehtävien sarjan tulee olla muodostettu siten, että se kattaa koko opetetun alueen. Myös koe- ja tenttitehtävien laadinnassa täytyy huomioida, että testataan koko alueen osaamista, eikä rajoituta pieneen osaan siitä. Opetuksen tavoitteiden, joita ovat tarpeellisten tietojen muistaminen, ratkaisutaitojen osaaminen, periaatteiden ymmärtäminen ja kyky soveltaa niitä, saavuttamisen testaaminen on tärkeimmässä roolissa. Koetehtävien tulee myös olla monipuolisia sisältäen niin laskuja kuin sanallisia tehtäviäkin ja yksi tärkeimpiä ominaisuuksia koetehtäväsarjalle on, että ne ovat tasoltaan vaihtelevia, jotta saadaan kokeessa eroteltua opiskelijoiden saavuttamat taitotasot paremmin. (Kurki-Suonio & Kurki-Suonio 1994, 313.)

Fysiikan tehtävien ratkaisussa on eroteltavissa kolme eri vaihetta, joista ensimmäisenä suoritetaan fysikaalisen tilanteen tarkastelu, johon liittyy ilmiön, olosuhteiden ja mahdollisten tilanteen rajoitusten selvittäminen. Tässä vaiheessa myös selvitetään, mitä suureita, lakeja, teorioita ja malleja tilanteeseen liittyy ja mistä niistä saadaan ratkaisu tehtävälle. Tämän ajatusprosessin jälkeen kirjoitetaan lakeihin liittyvät suureyhtälöt sekä niiden pätevyysalueet. Myös käytettyjen tunnusten merkitys ja tunnettujen suureiden lukuarvot merkitään näkyviin. Selvitetään myös, mitä arvoja tarvitaan ja miksi, jotta ratkaisu saadaan laskettua. Tämä on tehtävän ratkaisussa fysiikan osaamisen paljastava osio, joskin usein opiskelijat helposti jättävät tämän tekemättä pitäen sitä turhana kirjoittamisena. (Kurki-Suonio & Kurki-Suonio 1994, 314.)

Toinen vaihe on se, mitä yleensä pidetään, tosin virheellisesti, fysiikan tehtävän ratkaisuna: laskeminen. Tässä vaiheessa on tärkeää myös tarkistaa yksiköiden paikkansapitävyys, ja mikäli ne eivät täsmää, täytyy yrittää löytää kohta, missä ratkaisussa on tapahtunut virhe. Tehtävien laskujen suorittamisen ei tulisi olla opiskelijoille turhan suuria ponnisteluja tuottavaa, koska laskemisen kanssa tuskailu helposti vie huomion tärkeimmästä asiasta eli fysiikasta. (Kurki-Suonio & Kurki-Suonio 1994, 314-315.)

Kolmannessa vaiheessa tarkastellaan saatua tulosta osatun fysiikan pohjalta. Tässä vaiheessa tulee tarkastella, onko saatu laskun tulos millään lailla järkevä tai todellisuutta vastaava. Jos opiskelija on sitä mieltä, että saatu tulos on järjetön, täytyy hänen etsiä taas virhettä. Jos hän ei sitä ponnisteluistaan huolimatta onnistu löytämään, hän voi näyttää esimerkiksi kokeen tarkastajalle osaavansa ja ymmärtävänsä fysiikkaa selittämällä, että tulos ei ole järkevä ja pohtimalla, mistä virhe johtuu. Tuloksen ilmoittamistarkkuutta tulee myös opiskelijoille painottaa heti opiskelun alusta asti. Ilmoitustarkkuus riippuu annettujen lähtöarvojen tarkkuudesta. Varsinaisen fysiikan osaamisensa opiskelija voi siis osoittaa tehtävän ratkaisun ensimmäisessä ja kolmannessa vaiheessa, toinen vaihe on vain matemaattinen välivaihe matkalla alkumääritystuloksen analysointiin. (Kurki-Suonio 1994, 315.)

Myös ylioppilastutkintolautakunta painottaa laskennallisissakin tehtävissä fysikaalisen tilanteen tarkastelua sekä perustelujen esittämistä käytettävien lakien soveltumisesta kyseiseen tilanteeseen. Tehtävän lopuksi tulee vielä arvioida tuloksen järkevyyttä. Näitä näkökulmia on haettu muuttamalla ylioppilastutkinnon tehtäviä avoimemmiksi. Näin opiskelijat ovat pakotetumpia perustelemaan tekemänsä oletukset ja käyttämänsä mallit ja lait. Perustelujen vaatiminen liittyy kaikkien tehtävien arviointiin ja sen ajatuksena on pian tutuksi tulevasta kaavataudista eroon pääseminen. (Auramo ym. 2001, 48-50.)

5.3 Tehtävien luokittelusta

Erilaisia harjoitustehtävien tyyppejä voivat olla esimerkiksi laskennallinen, sanallinen ja kokeellinen. Hyvässä tehtävässä on eri ominaisuuksia yhdistetty siten, että tehtävään syntyy monipuolisuutta, eikä esimerkiksi aina ole eroteltuna laskut ja sanalliset tehtävät. Tämän vuoksi myöhemmin esiteltävissä tehtävien prosenttiosuuksissa summana ei ole 100 %, vaan enemmän.

5.3.1 Laskennalliset tehtävät

Laskennalliset tehtävät voidaan jaotella fysikaalisiin ja puhtaasti matemaattisiin sen perusteella, millaista ratkaisumenetelmää käytetään, miten tehtävä on muotoiltu ja miten sen tulosta halutaan tulkittavan. Jos tehtävä on puhtaasti matemaattinen (esimerkiksi pelkkä kaavaansijoitus), se voi ruokkia Kurki-Suonioiden (1994, 15.) määrittelemää kaavatautia. Tällaisista tehtävistä opiskelijalle ei välttämättä jää muuta mieleen kuin kaava, eikä hän välttämättä osaa liittää sitä mihinkään aiempaan tietorakenteeseensa. Fysiikan tärkein apuväline kuitenkin on juuri matematiikka, eikä sen merkitystä pidä vähätellä. Laskennallisen fysiikantehtävän ratkaisemisessa tulee kuitenkin painottaa opiskelijoille sanallisia selityksiä. Heidän laskunsa ei saa olla pelkkiä kaavoja ja numeroita, vaan esityksessä täytyy näkyä myös fysikaalisia perusteita sille, miksi mitäkin kaavaa on käytetty. Ilman näitä perusteluja heidän ratkaisuaan ei voi pitää fysikaalisena. Esimerkkinä kaavatautia ruokkivasta tehtävästä voidaan pitää Ekstigin Quanta -kirjan tehtävää 527, joka on kirjan tekstiosassa jo valmiiksi laskettukin:

”Heliumkärnans bindingsenergi är 7,1 eV per nukleon. Hur stor är den totala bindingsenergin?”

Hieman monimutkaisempi puhtaasti laskennalliseksi määrittelemäni tehtävä on Atomista avaruuteen -kirjan tehtävänä 3-37. oleva ylioppilastehtävä syksyltä 1986:

”Maasälpänäyte sisältää 1,76 μg ^{40}K -isotooppia, joka hajoaa β - ja γ -emissiolla. Näytteen gamma-aktiivisuus on 50 Bq, ja sen osuus on 11 % kokonaisaktiivisuudesta. Laske ^{40}K -isotoopin puoliintumisaika.”

Kirjan tekstissä ei esitellä lainkaan tilanteita, joissa hajoamisia tapahtuisi useammalla kuin yhdellä tavalla. Useiden hajoamiskanavien mahdollisuus mielestäni tulisi ehdottomasti selittää varsinkin jos aiheesta on myös tehtävä. Vielä osallistuessani yliopistossa ydinfysiikan laudatur-kurssille, tuntui joillekin olevan yllättävän hankalaa käsittää, että radioaktiivista hajoamista tapahtuu usean eri kanavan kautta, eikä tilanne olekaan niin yksinkertainen kuin

meille aiemmin on opetettu. Vaikka aiemmin onkin todettu, että opettaja voi ottaa opetukseensa mukaan tehtäviä aiheista, joita ei vielä ole käyty tunneilla läpi, tulisi opiskelijoilla kuitenkin olla mielellään omassa oppikirjassaan selitys näille asioille. Mikäli tietoa ei löydy oppikirjasta, kannattaa opettajan antaa vinkkejä tiedon löytämiseksi ainakin aluksi. Näin opiskelijat oppivat paremmin hakemaan tietoa oppikirjansa ulkopuolelta eikä motivaatio tehtävien ratkaisuun laske tarvittavan tiedon puuttumisen vuoksi.

Oman kokemukseni pohjalta opiskelijat ovat lukio-opiskelunsa aikana usein tottuneet siihen, että kaikki tarvittava tieto löytyy oppikirjasta, eikä sitä lähdetä kovin helposti etsimään muualta. Tiedon hankkimista oppikirjan ulkopuolelta pidetään usein hankalana vaikka monipuolisten tiedonhankintatapojen osaaminen on opiskelijoiden tulevaisuutta ajatellen hyvin tärkeä asia. Opettaja voisikin antaa vielä erillisen ohjeistuksen, että joihinkin tehtäviin tulee hankkia tietoa muualta kuin oppikirjasta. Opettaja voi aiheesta riippuen antaa vinkkejä tiedon etsimiseen mutta opiskelijoiden tulee itse pohtia, ovatko kaikki heidän löytämänsä tiedot yhtä uskottavia. Toinen asia ovat sitten erilliset tutkimustehtävät, joiden tekemisessä on tarkoituksenakin hankkia tietoa käytetyn oppikirjan ulkopuolelta.

5.3.2 Sanalliset tehtävät

Sanallisissa tehtävissä on laaja skaala. Ne voivat olla hyvinkin lyhyitä tehtäviä, joissa päätellään, perustellaan tai määritellään jokin fysikaalinen asia vaikkapa kirjan tietojen avulla mutta ne voivat olla myös laajoja esseetyyppisiä tehtäviä, joissa opiskelijan pitää muotoilla vastaus omin sanoin ja kerätä tietoa myös eri lähteistä. Määrittelytehtävissä tosin tulee olla tarkkana, ettei opiskelija vain toista kirjassa esitettyjä määritelmiä vaan osaa pukea ne myös omiksi sanoikseen. Hyvissä tehtävissä tulee esille useita eri tehtävätyyppejä, esimerkiksi kirjoissa on melko yleinen tehtävän rakenne sellainen, että a-kohdassa tulee selittää sanallisesti jokin ilmiö ja b-kohdassa suoritetaan jokin tähän ilmiöön liittyvä lasku. Uskon myös ylioppilastehtävissä tällaisen rakenteen olevan asianmukainen ja hyväksi koettu, sillä melko monia tämäntyyppisiä tehtäviä on ylioppilaskokeissa käytetty. Ylioppilaskokeista on kirjaan Fysiikka 5 lainattu keväältä 1999 tehtävä 2-14, jossa yhdistyvät laskennallisuus, sanallisuus, käsitteellisyys ja se on myös kuvaajaan liittyvä.

”a) Röntgenputken rakenne ja toimintaperiaate

b) Hahmottele tyypillinen röntgensäteilyn spektri ja perustelee sen muoto säteilyn syntymekanismien perusteella.

c) Kuinka suuri on röntgenputken jännitteen oltava, jotta syntyisi säteilyä, jonka aallonpituus on 0,15 nm?”

5.3.3 Käsitteisiin liittyvät tehtävät

Varsinkin Quanta -kirjassa on paljon sanallisia, käsitetehtäviä, jotka ovat tyypiltään lyhyitä, esimerkiksi tehtävä 427:

”Vad menas med bohradien?”

Tämäntyyppisiä tehtäviä olen luokitellut käsitteellisiksi, sillä niissä opiskelijan täytyy selvittää mitä eri fysiikan käsitteet tarkoittavat. Ilman fysiikan käsitteistön hallintaa on vaikea saada koostettua fysiikan rakenteista järkeviä kokonaisuuksia. Vastaava tilanne on, kun uutta kieltä opiskellessa kokonaisuuksien hahmottaminen teksteistä on heikkoa, koska joutuu takertumaan yksittäisiin sanoihin, joiden merkitystä ei ymmärrä.

5.3.4 Kokeelliset tehtävät

Kokeellisiksi tehtäviksi olen luokitellut sellaisia tehtäviä, joissa opiskelijat itse tekevät jonkinlaisia havaintoja luonnosta sekä sellaisia, joissa käsitellään suoritettuja kokeita ja analysoidaan niiden tuloksia. Myös tehtävät, joissa kysytään, miten fysikaalista ilmiötä voitaisiin kokeellisesti havainnoida, ovat luonteeltaan kokeellisia. Opiskelijoille on tärkeää huomata, että fysiikka perustuu kokeisiin, sillä mitään fysikaalista tietoa ei olisi ilman suoritettuja kokeita ja niiden tulosten analysointia. Kokeelliseksi tehtäväksi olen luokitellut esimerkiksi Fysiikka 5 -kirjan tehtävän 1-5:

”Miten suhteellisuusteoria on todennettu käytännössä?”

Fysiikan käyttämisestä käytännön tarkoituksiin eikä pelkästään laboratorio-olosuhteissa löytyy esimerkiksi tehtävä 4-31. kirjasta Atomista avaruuteen, jonka olen luokitellut sanalliseksi, kokeelliseksi ja arkielämään liittyväksi:

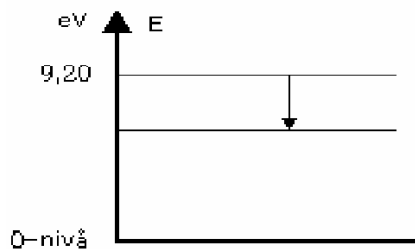
”Selvitä filmin ja/tai Geigerin ilmaisimen käyttöä eri tarkoituksiin esimerkiksi terveyskeskuksessa, pelastuslaitoksella ja teollisuudessa.”

5.3.5 Kuvaajiin liittyvät tehtävät

Kuvaajien tulkinta on usein varsinkin mekaniikan puolella opiskelijoille vaikeaa, sillä he eivät osaa yhdistää kuvaajaa ja fysikaalista ilmiötä ja myös kuvaajan liittäminen käytännön tilanteeseen tuottaa usein vaikeuksia. Opiskelijoilla on vaikeuksia ymmärtää, ettei kuvaaja ole tilanteen varsinainen kuva. (McDermott 1987, 509.) Modernissa fysiikassa on tapana kuvata

esimerkiksi atomien energiatasoja energiatasokaavioilla ja on tärkeää, etteivät opiskelijat ajattele näitä kaavioita kuvaksi atomista. Edes jollain tavalla kuvaajiin ja kaavioihin liittyvät ja viittaavat tehtävät olen luokitellut omaan kategoriaansa. Tehtävässä voi olla esimerkiksi annettuna atomin energiatasokaavio ja siitä pyydetään laskemaan yksinkertaisia asioita. Esimerkkitehtävänä tästä toimikoon kirjasta Quanta tehtävä 414, jonka olen luokitellut kategorioihin laskennallinen ja kuvaajaan (Kuva 5) liittyvä:

”En atom är exciterad till en nivå som ligger 9,20 eV ovanför grundtillståndet. Anta att återgången till grundtillståndet endast kan ske i två steg. I det första steget sänder atomen ut en foton med våglängden 0,46 μm . Beräkna våglängden för fotonen i det andra steget.”



Kuva 5. Tehtävään 414 liittyvä energiatasokaavio

Ergo fysik -kirjassa on kuvaajiin liittyviä tehtäviä hyvin vähän, mutta niistä esimerkkinä tässä laskennallinen, käsitteellinen ja kuvaajaan liittyvä 12.09:

”Vid ett försök med fotoelektrisk effekt bestämdes den kinetiska energin E_k för de frigjorda elektronerna. Tabellen visar sambandet mellan E_k och frekvensen f för det infallande ljuset:

$f / (10^{14} \text{ Hz})$	5,0	7,0	9,0	11,0
$E_k / (10^{-18} \text{ J})$	0,07	0,19	0,30	0,43

- Rita en kurva som visar E_k som funktion av f och använd kurvan till att bestämma ett värde för Plancks konstant.
- Använd kurvan till att bestämma gränshäufigkvensen och lossringsarbetet.”

Tehtävä liittyy kuvaajaan, koska sellainen täytyy piirtää itse. Laskennallisuus -omaisuuden olen tehtävään liittännyt, koska kuvaajan avulla tulee määrittää Planckin vakion arvo ja

käsitteellisyyden, koska opiskelijan tulee ymmärtää, mitä tarkoittaa irrotustyö ja vielä selvittää, miten sen saa kuvaajasta selville.

5.3.6 Arkielämään liittyvät tehtävät

Fysiikan ilmiöiden arkielämän tilanteisiin liittämisen tulisi olla hyvin tärkeällä sijalla lukio-opetuksessa, koska sen avulla opiskelijoille voi helpommin muodostua kuva siitä, että fysiikka on jotain käytännöllistä ja tärkeää sekä myös vahvempi ymmärrys ilmiöistä. Arkielämään liittyvien tehtävien määrittely tosin on hieman hankalaa. Mietin melko kauan onko esimerkiksi tämä Atomista avaruuteen -kirjan tehtävä 1-18. lukiolaiselle arkipäivään liittyvä vai ei:

”Ydinreaktiossa polttoainesauvojen massa pienenee 1 g:lla ydinreaktioissa. Kuinka paljon kevyttä polttoöljyä on poltettava, että vastaava määrä energiaa vapautuu?”

Toisaalta kevyen polttoöljyn määrä kilogrammoina tai litroina on arkinen esimerkki ja hyvä vertailukohta. Jos kuitenkin arkisuudella tarkoitetaan, että opiskelijat ovat tekemisissä kyseisen asian kanssa, monet arkisiksi määrittelemäni tehtävät muuttuvat hyvinkin teoreettisiksi opiskelijoiden kannalta. Arkipäivään liittyväksi olen määritellyt myös saman kirjan tehtävän 4-22. radiohiiliajoitukseen liittyen:

”Historiallisissa kaivauksissa löydetyn luurangon ikää tutkittiin radiohiilimenetelmällä. Aktiivisuusmittauksissa todettiin 5,3 hajoamista minuutissa näytteen yhtä grammaa kohti. Laske luun ikä, kun vastaavan kokoisessa elävässä organismissa tapahtuu 15,3 hajoamista minuutissa.”

Harva lukio-opiskelija kuitenkaan on tekemisissä radiohiiliajoituksen kanssa normaalissa elämässään. Tehtävä näyttää kuitenkin hyvin, kuinka fysiikkaa voidaan käyttää hyväksi muidenkin tieteiden saralla ja sen vuoksi määrittelin sen arkipäiväiseksi. Tältä kannalta ajatellen tehtäväluokalle sopivampi nimitys voisi olla käytännöllinen, mutta haluan tässä työssä erottaa kokeellisen ja käytännöllisen luokan nimen avulla paremmin toisistaan.

5.4 Tutkittujen suomalaisten oppikirjojen tehtävien eroja

Varsinkin lukiossa, kun laskut olivat helpompia, luotin siihen, että osaan laskea jonkin asian ja sen kunnollinen ymmärtäminen saattoi jäädä saavuttamatta. Vielä yliopisto-opiskelun aikana huomasin, että joskus tukeuduin opiskelussani samaan luottamukseen. Onnekseni olen myöhemmin sisäistänyt, että kun asian ymmärtää paremmin, myös laskeminen on helpompaa.

Joissain tapauksissa myös matematiikka on ollut sen verran mutkikasta, etten ole saanut siitä hirvittävän hyvää otetta. Sen suuremmin en ole tähän syitä miettinyt, mutta tämän työn aikana asiaan tuli hieman valotusta tehtävien analyysin kautta.

Olen itse opiskellut lukiossa kirjan Atomista avaruuteen ja lukiessani kirjaa Fysiikka 5 ymmärsin sen sisältävän huomattavan paljon enemmän sanallisia ja ehkä hieman parempaa asian ymmärrystäkin vaativia tehtäviä. Mikäli sama laskennallisten tehtävien osuus pätee läpi koko kirjasarjan, ymmärrän hyvin, miksi minullekin on tullut kaavataudin ensioireita. Näiden kahden kirjan osalta laskennallista suorittamista vaativien tehtävien osuus kaikista oli kirjassa Atomista avaruuteen huikea 77 % (118/153) ja Fysiikka 5 51 % (103/202). (Taulukko 4, kappaleen lopussa) Myös sanallista vastausta pyytäviä tehtäviä oli huomattavan erilainen osuus näissä kirjoissa. Atomista avaruuteen -kirjassa haettiin sanallista vastausta vain 31 %:iin kaikista tehtävistä kun taas Fysiikka 5 odotti muutakin kuin laskemista 57 % tehtävistä. Sanalliset tehtävät kirjoissa ovat useimmiten lyhyehköjä, ja niissä pyydetään selvittämään jokin yksittäinen ilmiön osa ja niihin pystyy vastaamaan hyvinkin lyhyesti ja usein jopa vastauksen suoraan kirjan tekstistä poimien. Ylioppilaskokeen prosenttiosuuksista nämä eivät ole kovin kaukana, mutta tehtävien laajuuden suhteen voidaan esittää kysymys, ovatko kirjojen tehtävät ehkä liian suppeita aiheen syvempää ymmärtämistä ajatellen sekä myös ylioppilaskirjoitusten tehtäviin nähden, sillä useinhan lukio-opetuksen suurimpana tavoitteena nähdään kaikesta huolimatta ylioppilaskirjoituksissa menestyminen.

Huomasin oppikirjoja tarkastellessani myös, että Atomista avaruuteen -kirja sisältää melko paljon ylioppilastehtäviä sekä lääketieteellisen tiedekunnan, (teknillisen) korkeakoulun ja yliopiston pääsykoetehtäviä. Atomista avaruuteen -kirjassa niitä on yli 28 % kaikista tehtävistä kun taas Fysiikka 5 -kirjassa niiden osuus on vain noin 7 %. Näinkin suuri ero herättää kysymyksen, miksi se on olemassa. Uskovatko Atomista avaruuteen -kirjan tekijät lähes kaikkien lukiossa fysiikkaa opiskelevien myös kirjoittavan reaalikokeessa fysiikkaa ja sen jälkeen pyrkivän näihin jatko-opintoihin? Haluavatko he näyttää opiskelijoille, että ylioppilaskirjoitukset tai pääsykokeet eivät ole mikään pelottava mörkö, jota tulee pelätä vaan niidenkin tehtävät pohjautuvat juuri siihen materiaaliin, mitä kurseilla käsitellään? Vai voiko kyseessä olla peräti se, että tällaista valmista materiaalia käytettäessä sen voi olettaa olevan virheetöntä ja mikäli siinä virhe olisikin, ei se ole kirjan tekijän tekemä? Koska ylioppilaskokeet ja monet pääsykokeetkin ovat saatavilla opiskelijoille helposti muuallakin kuin varsinaisessa kurssikirjassa, voi olla aiheellista kirjan tekijöille pohtia, tulisiko näiden

tehtävien osuutta oman kirjan tehtävistä hieman pienentää ja lisätä omia, vastaavantasoisia ja -laajuisia tehtäviä.

Vaikka opetussuunnitelmassa mainitaankin fysiikan opetuksen erääksi tavoitteeksi, että ”*opiskelija ymmärtää kokeellisen toiminnan ja teoreettisen pohdiskelun merkityksen luonnontieteellisen tiedon muodostumisessa*”, (LOPS 2003) kirjojen tehtävissä ei ainakaan erityisesti painotu tämä osio, sillä molemmissa kirjoissa jollain tavoin kokeellisuuteen viittaavia tehtäviä oli vain noin 6 % kaikista tehtävistä. Toisaalta modernin fysiikan ilmiöiden kokeellinen tutkiminen kouluympäristössä voi olla hieman hankalaakin, mutta olen ottanut luokittelussa löyhän asenteen ja luokitellut näihin tehtäviin myös ne, joissa viitataan johonkin jo suoritettuun tutkimukseen antaen sen tuloksia tai pyydetään pohtimaan, miten opiskelija suorittaisi ilmiön tutkimista. Tästä tosin on Jouni Viirillä eriävä mielipide, sillä hän toteaa Heikki Saaren kanssa tekemässään julkaisussa kokeellisuudesta oppikirjoissa, että niissä annetaan kokeellisuudesta aivan liian yksinkertaistettu kuva. Kokeilla saavutettua tietoa pidetään usein ongelmattomana, eikä kirjoista ilmene opiskelijalle, miten paljon työtä tiedon tuottaminen on vaatinut. Opiskelijoille voi hyvinkin jäädä kuva, että kaikki fysiikan kokeet ovat suoraviivaisia eikä tuloksista voi keskustella, vaikka asia ei näin suinkaan ole. (Saari & Viiri 1998, 43.) Tätä puolta opiskelijoille valottaessa voisi olla hyödyllistä tutustua jonkin ilmiön historialliseen kehitykseen muutoinkin kuin toteamalla, että jonkin tietyn ilmiön keksi henkilö nimeltään n. vuonna x. Fysiikan historiallisen kehityksen käsittely lukion fysiikan osana voisi tuoda joillekin opiskelijoille uudenlaista näkökulmaa ja motivaatiota itse ilmiöitä kohtaan. Ainakin omalta osaltani voin tunnustaa modernin fysiikan kurssin jääneen lukiosta mieleen hyvin pitkälti pelkkinä laskuina, ja vasta yliopistossa opiskellessa on paremmin valottunut, mitä ilmiöissä tapahtuu ja mikä niitä aiheuttaa. Tietysti yliopistossa on ollut aivan eri mittakaavassa aikaa käytettävissä näiden asioiden oppimiseen, sillä lukion kahdeksan viikon jakso, jossa muitakin aineita on todella paljon, on mielestäni aivan liian lyhyt aika oppia asioita syvällisesti. Usein minulle kävi siten, että opin asioita vasta pitkän aikaa kurssien jälkeen, kun ne olivat hautuneet mielessä riittävän pitkään.

Oppikirjoissa kokeellisuus voi myös ilmetä muissa osissa kuin varsinaisissa laskutehtävissä, sillä esimerkiksi Atomista avaruuteen -kirjassa on kahdeksan tuntitehtävää tai kokeellista tehtävää, yhdessä kohdassa kolme aihetta fysiikan historiaan liittyville kirjoitelmille sekä ydinenergia -kappaleen yhteydessä kahdeksan projektityön tai kirjoitelman aihetta ja ne kaikki on sijoitettu muualle kuin tavallisten harjoitustehtävien joukkoon. Fysiikka 5 -kirjassa puolestaan on 14 erilaista tutkimustehtävää, joista osa on tunnilla tehtäviä oppilastoita ja osa

antaa aiheen kirjoitelmille, jotka liittyvät esimerkiksi fysiikan ilmiöiden selittämiseen tai fysiikan tutkimuksen historiaan.

Atomista avaruuteen -kirjan tuntitehtävissä tehdään joko itse koe, johon annetaan ohjeita tai tulkitaan valmiita, annettuja kuvaajia, joita on mittauksissa saatu. Esimerkiksi sivuilla 9 – 10 on tehtävänä tutkia valosähköistä ilmiötä ensin omalla koejärjestelyllä ja sen jälkeen myös valmiiden koetulosten pohjalta. Voi tosin kuulla useinkin kritiikkiä siitä, että koulussa tunneilla ei ehditä tehdä muuta kuin käydä läpi opetussuunnitelman mukaiset asiat, mikä saattaa pahimmillaan johtaa aiemmin mainittuun kaavatautiin, jonka tunnistaa siitä, että asiat vain käydään läpi tunneilla pelkkinä kaavoina. Tämä opetussuunnitelman pakonomainen seuraaminen johtaa usein siihen, että kokeelliset havainnollistamiset ja käytännön sovellutukset jäävät luokkaopetuksesta pois, eikä opiskelijoille ehdi muodostua kunnollista kuvaa itse ilmiöistä, vaan he näkevät kaiken fysiikan vain kaavoina ja saattavat sen vuoksi alkaa pitää sitä arjesta irrallisena, turhana koulutietona.

	Laskennallinen	Sanallinen	Kokeellinen	Käsitteellinen	Arkeen liittyvä	Graafiin liittyvä
Atomista avaruuteen	77 %	31 %	6 %	15 %	16 %	7 %
Fysiikka 5	51 %	57 %	6 %	20 %	17 %	12 %

Taulukko 4. Suomalaisten oppikirjojen tehtävien jakaantuminen

5.5 Tutkittujen ruotsalaisten oppikirjojen tehtävien eroja

Kirjan Quanta tehtävistä yleiskuvaksi jäi, että niitä on paljon (236 kappaletta) mutta iso osa on kohtuullisen yksinkertaisia. Selitystehtävätkin ovat pääasiassa lyhyitä, yhdelle termille selitystä pyytäviä, mutta uskon jopa niiden tuovan opiskelijoille edes hieman kuvaa siitä, ettei fysiikka ole pelkkää laskemista, vaan on tärkeää tietää, mitä asioilla tarkoitetaan ja mikä niitä aiheuttaa.

Ruotsalaiset kirjat ovat keskenään laskennallisuuden ja sanallisuuden prosenttiosuuksien nojalla paljon paremmin toisiaan vastaavia kuin suomalaiset. Laskennallisuusprosentit ovat näissä kirjoissa järjestyksessä Ergo – Quanta 59 ja 51 % ja sanallisuuden osuus molemmissa 47 %. (Taulukko 5, kappaleen lopussa) Kirjojen välisiä selkeitä eroja joutuukin etsimään käsitteellisyyden sekä arkielämään ja kuvaajiin liittyvien tehtävien osuuksista, sillä Ergo -kirjassa käsitteitä kysytään lähes 23 %:ssa tehtävistä, kun Quantassa vastaava prosenttiosuus on noin 11 %, vaikka lyhyitä terminselitystehtäviä on paljon tuntuisesti. Ergo -kirjan hyvä

esimerkki monipuolisesta tehtävästä, jossa yhdistyy laskemista, sanallista selittämistä, käsitteen pohtimista ja arkipäivän kysymyksiä, on 2.05:

”2.05 a) Använd Rutherfords atommodell för att beräkna hur stor del atomkärnan utgör av atomens volym. Kommentera ditt resultat.

b) Hur förklarar du att Rutherford fick alfapartiklar att gå genom en metallfolie?

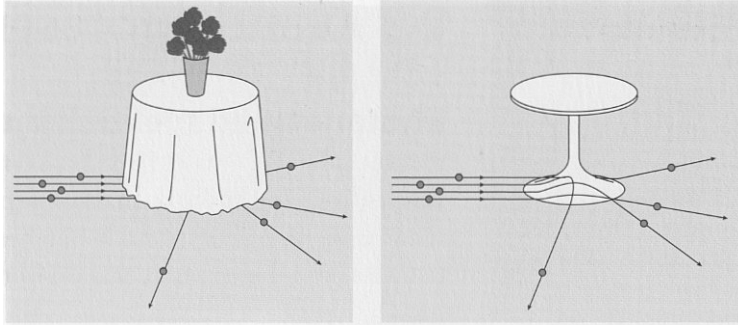
c) Varför går inte en knappnålspets igenom ett tunt metallstycke.

d) Hur kan det komma sig att många material, t. ex. en bordsskiva, känns hård trots att vi vet att det mesta är tomrum?”.

Ruotsalaisissa kirjoissa on molemmissa kokeellisten tehtävien osuus pienempi kuin suomalaisissa ja Quantassa se on suorastaan olematon verrattuna Ergoon, sillä 236 tehtävästä vain 2 % (5 kpl) viittaa kokeisiin.

Arkielämään liittyvien tehtävien osuus vaihtelee ruotsalaisissa kirjoissa myös paljon. Quantan tehtävistä vain 7 % liittyy arkipäivän tilanteisiin, mikä voi helpostikin johtaa opiskelijoita kaavataudin tielle koska he eivät saa yhtymäkohtia jokapäiväisen elämänsä ja fysiikan opiskelun välille. Ergo tarjoaa näitä yhtymäkohtia 16 %:ssa tehtävistään. Graafien avulla on monia asioita helpompaa esittää, mutta niiden käytössä ruotsalaiset kirjat eivät suuremmin kunnostaudu. Quantan tehtävistä 8 % viittaa kuvaajiin, mutta Ergossa vain vaatimattomat 2 % käyttää kuvaajia apunaan.

Ruotsalaisista kirjoista Ergo fysik ansaitsee erityismaininnan pienistä, tavallaan humoristisistakin, maininnoista, sillä juuri niiden kautta asiat helposti jäävät mieleen. Esimerkiksi massan ja energian vastaavuuden konkreettinen kokoluokka jää helposti huomiotta, mutta kun kirjan marginaalista huomaa tekstin: ”Varning Massan i denna bok innehåller energi motsvarande 3,5 miljarder ton TNT.”, pysähtyy helposti itsekin pohtimaan, kuinka paljon tuo käytännössä onkaan. Kirjassa esiteltiin sivulla 53 myös mainio arkipäivän esimerkki siitä, miten voidaan sirontakokeiden tuloksista arvioida atomien rakennetta. Kuvassa on pyöreä pöytä, jonka päällä on pöytäliina. Opiskelijaa pyydetään tutkimaan pöytäliinan alla olevaa rakennetta pyörittämällä kuulia pöydän alle. Toisessa kuvassa esitetään sellainen pöydän jalan rakenne, jollaisella saadaan samanlaisia sirontatuloksia kuin Rutherford sai pommittaessaan metallikalvoa alfahiukkasilla. Liitän tähän kirjasta skannatun kuvan, jotta asia selviää paremmin. (Kuva 6)



Kuva 6. Atomin rakenteen selvittämistä demonstroiva koe (kopioitu Pålsgård, 53.)

	Laskennallinen	Sanallinen	Kokeellinen	Käsitteellinen	Arkeen liittyvä	Graafiin liittyvä
Ergo	59 %	47 %	5 %	23 %	16 %	2 %
Quanta	51 %	47 %	2 %	11 %	7 %	8 %

Taulukko 5. Ruotsalaisten oppikirjojen tehtävien jakautuminen

5.6 Erot maiden välillä

Laskennallisuuden osalta maiden välillä ei ole huomattavissa selkeää eroa, suurimmat erot tämän tyyppisten tehtävien käytössä on tutkittujen suomalaisten kirjojen välillä (77 % ja 51 %) ja ruotsalaiset kirjat sijoittuvat näiden suomalaisten teosten väliin prosenttiosuuksillaan 51 % ja 59 %. Maiden keskiarvot laskettaessa Suomi on 9 prosenttiyksikköä laskennallisempi.

Myös sanallisten tehtävien käytössä ruotsalaiset oppikirjat sijoittuvat suomalaisten kirjojen väliin suomalaisten käyttäessä 31 – 57 % sanallisia tehtäviä, kun ruotsalaisten kirjojen osuus on molemmissa kirjoissa 47 % keskiarvojen ollessa Suomessa 44 % ja Ruotsissa 47 %. Ero voi tosin johtua osittain myös käsitteellisyyden kohdalla esiin tulevasta ruotsalaisten sanallisten tehtävien lyhydestä.

Näistä eroista tulee itselleni väistämättä mieleen se, kuinka suomalaisia yleisesti pidetään jäyhinä ja puhumattomina. Liekö niin, että ruotsalaiset ovat todella sen verran puheliaampia, että se heijastuu heidän oppikirjakulttuuriinsa sanallisuuden suurempana osuutena kuin suomalaisilla? Tältä pohjalta olisi hyvin mielenkiintoista tutkia muidenkin maiden oppikirjoja. Onhan totta, että eri kulttuurit arvostavat eri asioita ja voikin olla, että jo naapurimaiden välillä on eroja. Suomessa arvostetaan laskemista, mutta Ruotsissa hieman enemmän asioiden selittämistä. Todella rajua esimerkki kulttuurien erilaisista odotuksista löytyy Liisa Keltikangas-Järvisen kirjasta Temperamentti –ihmisen yksilöllisyys. Esimerkissä tutkittiin kiinalaisia ja amerikkalaisia lapsia, joilla oli samanlainen temperamentti. Ujot ja vetäytyvät lapset olivat aikuisina Kiinassa oikeinkin hyvin menestyviä, mutta Yhdysvalloissa heillä oli

vaarana syrjäytyä. (Keltikangas-Järvinen 2004, 238-240.) Kulttuuri siis ohjaa hyvin vahvasti ns. normikäyttäytymistä, enkä ihmettele yhtään, jos kulttuurien arvostukset näkyvät oppikirjoissa asti erilaisten taitojen painottamisena.

Kokeellisiksi luokiteltuja tehtäviä on suomalaisissa kirjoissa hieman enemmän (6 % molemmissa) kuin ruotsalaisissa (Ergo 5 % ja Quanta 2 %), vaikka Ruotsinkin opetussuunnitelmassa on annettu selkeät kuvailut sille, kuinka opiskelijoiden tulee oppia suunnittelemaan, kuvailemaan ja tulkitsemaan fysikaalisia kokeita.

Käsitteellisten tehtävien suurin ja pienin osuus löytyvät molemmat ruotsalaisista kirjoista. Quantassa vain 11 % tehtävistä viittaa käsitteisiin ja niiden hallintaan, vaikka tehtäviä selatessa saattaakin näyttää, että käsitteitä kysytään paljon. Useimpien aihealueiden tehtäväsarjat nimittäin alkavat lyhyillä käsitteen selitystä pyytävillä tehtävillä ja suuri tehtävien kokonaismäärä saa näiden määränkin tuntumaan suuremmalta kuin se todellisuudessa on. Suomalaisten kirjojen käsitteisiin liittyvät tehtävät ovat jonkin verran pidemmälle meneviä kuin suuri osa Quantan tehtävistä. Suomessa ylioppilaskokeet näyttävät hyvin suurta roolia lukiossa ja niitä silmälläpitäen on opiskelijoille tärkeää, että käsitteitä osattaisiin hieman soveltaakin, mikä on erittäin hyvä asia. Ylioppilaskokeissa harvemmin törmää Quantan tyypillisiin ”Mitä tarkoitetaan Bohrin säteellä?” -kysymyksiin.

Arkipäivään liittyvien tehtävien osuudet ovat hyvin tasaiset muissa kirjoissa kuin Quantassa, sillä se jää huomattavasti muita alhaisempaan prosenttiosuuteen 7 %:lla, muiden kirjojen osuuksien ollessa 16 – 17 %.

Graafeihin liittyvien tehtävien osuudet vaihtelevat selkeästi siten, että Ruotsissa niiden painotus on pienempää kuin Suomessa. Ruotsalaisten kirjojen tehtävistä Ergossa vain kaksi prosenttia viittaa kuvaajiin, kun Quantassa vastaava osuus on 8 %. Suomalaisista kirjoista Atomista avaruuteen käyttää kuvaajia 7 %:ssa tehtävistä ja Fysiikka 5 käyttää niitä kaikista eniten, sillä 12 %:ssa tehtävistä viitataan niihin, jolloin maiden keskiarvoiksi saadaan 10 % - 5 % Suomen hyväksi. Siitäkin huolimatta Erkki Arminen toteaa artikkelissaan, että suomalaisilla ylioppilaskokelailta on suuria ongelmia niin kuvaajien piirtämisessä kuin valmiiden graafien tulkitsemisessäkin. (Auramo ym. 2001, 49.) Oma mielikuvani lukioaikana oli, että graafeista saa paljon epätarkempaa tietoa kuin valmiiksi annetuista arvoista, mutta en ole suorittanut edes ystäväni keskuudessa kyselyä, oliko muilla sama mielikuva. Mikäli tämä kuva on yleinen kaikkien lukiolaisten keskuudessa, tulee kuvaajiin keskittyä melko paljon ennen kuin Ylioppilastutkintolautakunta saadaan tyytyväiseksi. Ennen kaikkea asenteeseen

tulee silloin vaikuttaa, koska yleisesti tunnettuahan on, että ihmisen on hyvin paljon vaikeampaa syventyä turhaksi kokemiinsa asioihin, kuin niihin, joita hän pitää tärkeinä.

	Lasken- nallinen	Sanallinen	Kokeelli- nen	Käsitteel- linen	Arkeen liittyvä	Graafiin liittyvä
Suomi	64 %	44 %	6 %	18 %	17 %	10 %
Ruotsi	55 %	47 %	4 %	17 %	12 %	5 %

Taulukko 6. Tehtävien prosentuaaliset osuudet oppikirjoissa

6. Johtopäätöksiä

Ruotsalaisten ja suomalaisten kirjojen välillä ei hyvin selkeitä periaatteellisia eroja ole, mutta kokeellisuutta Ruotsissa painotetaan kirjojen tehtävissä vielä vähemmän kuin Suomessa. Myös arkeen liittyvien tehtävien osuus on Ruotsissa hieman pienempi kuin Suomessa. Siihen nähden, kuinka suuria eroja pelkästään suomalaisten oppikirjojen välillä on, ovat maiden väliset erot tehtävien tyypeissä yllättävän pieniä.

Tehtävien alkuperäisellä analysointihetkellä (elokuun alku 2005) ei Lehdon ja Luoman kirjasta ollut vielä ilmestynyt uuden opetussuunnitelman mukaista laitosta modernin fysiikan kurssiin, vaikka suunnitelma oli jo käytössä ensimmäisen vuosikurssin opiskelijoilla. Vanhan suunnitelman mukaiset oppikirjat näyttäisivät kuitenkin soveltuvan hyvin käyttöön vaikka uuden opetussuunnitelman käyttöönoton jälkeenkin, sillä niissä on esitelty kaikki asiat, joita uudessa opetussuunnitelmassa edellytetään modernin fysiikan kurssissa opetettavan.

Atomista avaruuteen -kirjasta uuden opetussuunnitelman mukaista painosta ei tehty, vaan kyseistä kirjasarjaa käyttävät koulut joutuivat opetussuunnitelmaudistuksen yhteydessä vaihtamaan kirjasarjaa.

Jatkotutkimuksen aiheita tuli työtä tehdessä mieleeni useitakin, esimerkiksi minkälaisia eroja Suomen ja Ruotsin lukio-opiskelijoiden välillä on oppimisessa ja taitojen painottumisessa. Myös sen tutkiminen, onko oppimisessa ja sen painottumisessa eroja esimerkiksi ylioppilaskirjoitusten tulosten valossa eri kirjasarjoja käyttäneiden suomalaisten opiskelijoiden kesken, voisi tuoda kirjojen tekijöille tietoa siitä, miten tehdä toimivia kirjoja lukion tarpeisiin. Kulttuurien välisiä eroja olisi mielenkiintoista tutkia ja uskoisin, että myös graafeihin liittyvistä asenteista ja mielikuvista voisi saada mielenkiintoista ja tarpeellista tietoa opetuksen suunnittelua varten.

Lähteet

Tutkitut oppikirjat

Ekstig, B. & Boström, L. 2004. Quanta Fysik B. Tukholma, Bokförlaget Natur och Kultur.

Lehto, H. & Luoma, T. 2004. Fysiikka 5. Helsinki, Tammi.

Makkonen, J. & Meisalo, V. & Suokko, E. 1996. Atomista avaruuteen, lukion fysiikka, moderni fysiikka. Helsinki, Otava.

Pålsgård, J. & Kvist, G. & Nilson, K. 2003. Ergo Fysik B. Tukholma, Liber AB.

Kirjallisuus

Ahtee, M. & Pehkonen E. 2000. Johdatus matemaattisten aineiden didaktiikkaan. Helsinki, Edita.

Auramo P. & Iho I. & Parkkila I. & Sirviö J. (toim.) 2001. Fysiikka lukiossa. Matemaattisten Aineiden Opettajien Liitto.

Blatt, F. J. 1992. Modern physics. New York. McGraw-Hill.

Fölsing, A. 2000. (suom. Seppo Hyrkäs) Albert Einstein. Elämäkerta. Helsinki, Terra Cognita.

Harris, R. 1998. Nonclassical Physics: beyond Newton's view. San Francisco. Addison-Wesley.

Keltikangas-Järvinen, L. 2004. Temperamentti –ihmisen yksilöllisyys. Helsinki, WSOY.

Kragh, H. 2002. (suom. Kimmo Pietiläinen) Kvanttisukupolvet. 1900 -luvun fysiikka. Helsinki, Terra Cognita.

Kurki-Suonio, K. & Kurki-Suonio, R. 1994. Fysiikan merkitykset ja rakenteet. Helsinki, Limes ry.

Lehtinen, E. 1989. Vallitsevan tiedonkäsityksen ilmeneminen koulun käytännöissä. Kouluhallitus. Julkaisuja 18 – 19.

LOPS 1994 = Lukion opetussuunnitelman perusteet 1994. Helsinki, Valtion painatuskeskus.

LOPS 2003 = Lukion opetussuunnitelman perusteet 2003. Helsinki, Valtion painatuskeskus.

McDermott, L. & Rosenquist, M. & van Zee, E. 1987. Student difficulties in connecting graphs and physics: Examples from kinematics. American Journal of physics 55(6), 503-513.

Meisalo, V. & Lavonen, J. 1994. Fysiikka ja kemia opetussuunnitelmassa. Helsinki, Opetushallitus.

NOBEL = Nobel -akatemia kotisivut. Nobel -palkinnon saajat. Osoitteessa http://nobelprize.org/search/all_laureates_yd.html (luettu 5.8.2005)

ROPS = Ruotsin lukion opetussuunnitelma. Osoitteessa : <http://www3.skolverket.se/ki03/front.aspx?sprak=SV&ar=0405&skolform=21&infotyp=2&id=21> (luettu 5.8.2005)

Saari, H. & Viiri J. 1998. Kokeellisuus ja mallintaminen luonnontieteissä. Helsinki, Opetushallitus.

Sinnemäki, M. 2003. Newtonin mekaniikkaan liittyvät tehtävät suomalaisissa ja itävaltalaisissa fysiikan oppikirjoissa. Pro gradu -työ. Jyväskylän yliopisto, fysiikan laitos.

(STUK1) = Säteilyturvakeskus. Suomalaisten vuotuinen säteilyannos. Osoitteessa: http://www.stuk.fi/sateilytietoa/ihmisen_radioaktiivisuus/fi_FI/keskimaarainen_sateilyannos/. Luettu 14.7.2006.

(STUK2) Säteilyturvakeskus. Ohjeet säteilyvaaratilanneta varten. Osoitteessa: http://www.stuk.fi/sateilyvaara/toimintaohjeet/fi_FI/toimintaohjeet/. Luettu 14.7.2006.

(STUK3) = Säteilyturvakeskus. Suomen ydinvoimalaitokset. Osoitteessa: http://www.stuk.fi/ydinturvallisuus/ydinvoimalaitokset/suomen_ydinvoimalaitokset/fi_FI/suomen_ydinvoimalaitokset/. Luettu 14.7.2006.

(STUK4) = Säteilyturvakeskus. Olkiluoto 3. Osoitteessa: http://www.stuk.fi/ydinturvallisuus/ydinvoimalaitokset/suomen_ydinvoimalaitokset/fi_FI/olki luoto3/. Luettu 14.7.2006.

Uusikylä, K. & Atjonen, P. 2000. Didaktiikan perusteet. Helsinki, WSOY.

Young, H. & Freedman, R. 2000. Sears and Zemansky's University Physics with modern physics, 10th edition. San Francisco. Addison-Wesley.

Liitteet

1. Taulukko kirjan Ekstig & Boström: Quanta tehtävien luokittelusta.
2. Taulukko kirjan Lehto & Luoma: Fysiikka 5 tehtävien luokittelusta.
3. Taulukko kirjan Makkonen & Meisalo & Suokko: Atomista avaruuteen tehtävien luokittelusta.
4. Taulukko kirjan Pålgård & Kvist & Nilson: Ergo Fysik tehtävien luokittelusta.

Taulukko kirjan Ekstig & Boström: Quanta tehtävien luokittelusta

luokat lyhennetty:

lask.=laskennallinen

san.=sanallinen

kok.=kokeellinen

käs.=käsitteellinen

avoin=avoin tehtävä

arki=arkielämään liittyvä

johd.=aiheeseen

johdatteleva

hist.=historiaan

liittyvä

kuv.=kuvaajaan

liittyvä

suht.=suhteellisuusteoriaan liittyvä

yo=ylioppilas- tai pääsykoetehtävä

	lask.	san.	kok.	käs.	avoin	arki	johd.	hist.	kuv.	suht.	yo
167	X					X				X	
168		X						X		X	
169	X			X						X	
170	X	X							X	X	
171	X									X	
172	X									X	
173	X									X	
174	X									X	
175	X									X	
176	X									X	
301	X						X				
302		X		X			X				
303						X	X				
304		X					X				
305	X					X					
306	X					X					
307	X	X				X					
308	X	X									
309	X					X					
310	X										
311	X										
312	X	X									
313	X										
314		X									
315		X				X					
316		X				X					
317	X										
318	X										
319	X										
320	X										
321	X										
322	X					X					
323	X										
324		X		X						X	
325		X		X						X	

326		X									
327		X	X								
328		X				X					
329	X										
330	X					X					
331	X					X					
332		X		X							
333		X		X							
334		X									
335	X										
336	X										
337	X	X									
338			X					X			
339	X										
340		X		X							
341		X		X							
342		X	X								
343											
344	X										
345		X									
346	X										
347	X										
348		X				X					
349	X	X	X								
350	X										
351	X										
352	X					X					
353	X										
354	X					X					
355	X										
356	X										
401		X									
402	X										
403		X									
404		X									
405		X									
406		X									
407		X									
408		X		X							
409		X						X			
410		X						X			
411		X									
412	X							X			
413		X									
414	X							X			
415		X						X			
416	X							X			
417	X										
418		X		X							
419		X									
420		X						X			
421	X							X			

422		X		X							
423		X									
424	X										
425	X										
426	X										
427		X		X							
428	X										
429		X									
430	X										
431		X									
432											
433	X										
434	X										
435	X										
436		X									
437		X									
438	X										
439	X		X								
440	X										
441	X										
442	X										
443		X		X							
444	X										
445	X										
446		X									
447		X									
448		X									
449		X									
450		X									
451		X									
452		X									
453		X									
454		X		X							
455		X		X							
456	X										
457	X										
458		X		X							
459		X									
460		X									
461		X									
462	X										
463	X	X									
464		X									
465	X	X		X							
466	X										
467		X							X		
468	X								X		
469		X							X		
470	X										
471	X										
472		X									
501		X		X							

Taulukko kirjan Lehto & Luoma: Fysiikka 5 tehtävien luokittelusta.

luokat lyhennetty:

lask.=laskennallinen
 san.=sanallinen
 kok.=kokeellinen
 käs.=käsitteellinen
 avoin=avoin tehtävä
 arki=arkielämään liittyvä
 johd.=aiheeseen
 johdatteleva
 hist.=historiaan
 liittyvä
 kuv.=kuvaajaan
 liittyvä
 suht.=suhteellisuusteoriaan liittyvä
 yo=ylioppilas- tai pääsykoetehtävä

	lask.	san.	kok.	käs.	avoin	arki	johd.	hist.	kuv.	suht.	yo
1-1.		X		X						X	
1-2.		X	X							X	
1-3.		X								X	
1-4.		X						X			
1-5.		X						X			
1-6.				X							
1-7.	X									X	
1-8.	X									X	
1-9.	X									X	
1-10.	X									X	
1-11.	X									X	
1-12.	X										
2-1.	X										
2-2.	X										
2-3.	X	X									
2-4.	X	X									
2-5.	X					X					
2-6.	X			X		X					
2-7.	X										
2-8.	X										
2-9.	X										
2-10.	X	X							X		K89
2-11.	X	X		X							S86
2-12.	X		X			(X)			X		S93
2-13.	X	X		X					X		S98
2-14.	X	X		X					X		K99
2-15.		X			(X)						S99
2-16.		X	X			X					
2-17.	X	X	X								
2-18.		X		X	(X)						
2-19.		X	X	X	(X)						
2-20.		X		X							
2-21.		X		X		X					
2-22.		X		X		(X)					

Liite 2.

2-23.		X		X	(X)				X		
2-24.	X										
2-25.	X										
2-26.			X						X		(K83)ei lukenut
2-27.	X	X	X								
2-28.	X	X									S92
2-29.	X										
2-30.	X										
2-31.	X										K98
2-32.	X										
2-33.		X	X								
2-34.	X	X									
2-35.		X									
2-36.		X									
2-37.	X					X					
2-38.	X										
2-39.	X										
2-40.	X					(X)					
2-41.	X					(X)					
2-42.	X									X	
2-43.	X							X			
3-1.		X									
3-2.		X				X					
3-3.		X				X					
3-4.		X	X			X					
3-5.		X		X					X		K91
3-6.	X					X					
3-7.		X		X		X					
3-8.		X		X							
3-9.	X										
3-10.	X								X		
3-11.	X				X						
3-12.	X										
3-13.	X	X							X		
3-14.	X								X		
3-15.		X	X						X		
3-16.		X							X		
3-17.	X	X									
3-18.	X										
3-19.	X										
3-20.	X										
3-21.	X								X		
3-22.									X		
3-23.	X								X		S91
3-24.		X									
3-25.		X		X							
3-26.		X		X							
3-27.		X	X	X							
4-1.		X		X	X						
4-2.		X		X							
4-3.		X		X							
4-4.		X		X							

3-35.	X											
3-36.									X			
3-37.	X											S86
3-38.	X											K93
3-39.	X						X					K91
3-40.	X											KORKK86
3-41.	X											KORKK92
3-42.	X						X					KORKK94
3-43.		X		X								
3-44.	X			X								
3-45.	X											
3-46.	X											
3-47.	X											
3-48.	X											
3-49.	X											
3-50.	X	X		X								
3-51.	X											
3-52.	X											
3-53.		X										
3-53.toinen		X										
3-54.		X										
3-55.									X			
3-56.	X	X		X								
3-57.	X											
3-58.	X											
3-59.	X											
3-60.	X											
3-61.	X											
3-62.	X											K92
3-63.	X	X		X								
3-64.	X	X					(X)					K94
3-65.	X											YLIOP93
4-1.		X										
4-2.		X										
4-3.	X											
4-4.	X						X					
4-5.	X											
4-6.	X						X					
4-7.	X						X					
4-8.	X						X					
4-9.	X						X					KORKK88
4-10.	X											S95
4-11.	X											S87
4-12.	X						X					KORKK84
4-13.	X						X					KORKK93
4-14.		X		X								
4-15.		X										
4-16.		X		X			X					
4-17.		X					X					
4-18.	X											
4-19.		X					X					
4-20.		X					X					

Taulukko kirjan Pålsgård & Kvist & Nilson: Ergo Fysik tehtävien luokittelusta

luokat lyhennetty:

lask.=laskennallinen

san.=sanallinen

kok.=kokeellinen

käs.=käsitteellinen

avoin=avoin tehtävä

arki=arkielämään liittyvä

johd.=aiheeseen

johdatteleva

hist.=historiaan

liittyvä

kuv.=kuvaajaan

liittyvä

suht.=suhteellisuusteoriaan liittyvä

yo=ylioppilas- tai pääsykoetehtävä

	lask.	san.	kok.	käs.	avoin	arki	johd.	hist.	kuv.	suht.	yo
2.01		X					X	X			
2.02		X					X	X			
2.03		X					X				
2.04	X	X					X				
2.05	X	X		X		X					
2.06	X										
2.07	X			X							
2.08	X			X							
2.09	X										
2.10	X			X							
2.11	X										
2.12	X										
2.13	X	X		X							
2.14	X			X							
2.15	X	X	X								
2.16		X									
2.17	X										
2.18	X										
2.19	X								X		
2.20		X		X		X					
2.21		X		X							
2.22		X	X			X					
2.23		X		X							
2.24		X									
2.25		X									
2.26		X		X							
2.27		X	X								
2.28		X	X	X		X					
2.29		X	X			X					
2.30		X				X					
2.31		X		X							
2.32		X		X							
2.33		X		X							
2.34		X		X							

2.35		X		X							
2.36		X		X							
2.37		X		X							
3.01	X	X		X							
3.02	X										
3.03	X										
3.04	X										
3.05	X										
3.06	X										
3.07	X										
3.08	X			X			X				
3.09	X			X			X				
3.10	X						X				
3.11	X						X				
3.12	X						X				
3.13	X										
3.14	X						X				
3.15	X										
3.16		X		X							
3.17	X	X									
3.18	X										
3.19	X			X							
3.20	X										
3.21	X										
3.22	X										
3.23	X										
3.24	X										
3.25	X										
3.26	X										
3.27	X						X				
3.28	X						X				
3.29	X						X				
3.30	X						X				
3.31	X										
3.32	X										
3.33	X						X				
3.34		X		X							
3.35	X						X				
3.36	X						X				
3.37		X									
3.38		X									
3.39		X									
3.40		X		X							
3.41		X									
3.42		X									
3.43		X									
3.44		X									
3.45		X									
3.46		X		X							
3.47		X		X							
3.48		X		X			X				
3.49		X		X							

3.50		X		X						
3.51	X									
3.52	X									
3.53	X									
3.54	X									
3.55						X				
3.56				X						
3.57	X									
3.58	X									
3.59				X						
3.60				X						
11.01	X					X			X	
11.02	X					X			X	
11.03	X					X			X	
11.04				X					X	
11.05	X	X		X					X	
11.06		X				X			X	
11.07		X							X	
11.08		X							X	
11.09	X								X	
11.10	X								X	
11.11	X								X	
11.12	X								X	
11.13	X								X	
11.14	X								X	
11.15	X								X	
11.16	X								X	
11.17	X								X	
11.18	X								X	
11.19	X								X	
11.20	X								X	
11.21	X								X	
11.22		X							X	
11.23		X							X	
11.24		X							X	
11.25		X				X			X	
11.26		X							X	
11.27		X							X	
11.28		X							X	
12.01	X					X				
12.02	X					X				
12.03	X					X				
12.04	X	X								
12.05	X	X								
12.06	X									
12.07	X									
12.08	X									
12.09	X		X					X		
12.10	X	X								
12.11	X	X	X					X		
12.12	X					X				
12.13	X	X							X	

