

1. (a) Kuinka monta lepotilassa olevaa elektronia täytyy kiihdyttää 1000 V:n jännite-eron yli, jotta niiden yhteenlasketuksi liike-energiaksi saadaan 1 J?
(b) Oletetaan että 1 cm³ suuruiseen kudokappaleeseen pysähtyy 10¹⁰ kpl elektroneja, jotka on kiihdytetty 1000 V:n jännite-eron yli. Mikä on absorboitunut annos yksikössä Gy = J/kg?
(c) Jos (b)-kohdan absorptiot tapahtuvat 10 sekunnissa, mikä on keskimääräinen annosnopeus Gy/h tuona aikana?
2. (a) Lampun lähettämän keltaisen valon aallonpituus on 580 nm. Laske valokvantin energia.
(b) Miksi lampun lähettämä valo aistitaan jatkuvana eikä erillisistä fotoneista koostuvana?
(c) Fotonin energia on 16,9 eV. Laske fotonin aallonpituus. Millä aallonpituusalueella säteily on?
(d) Pienin energiamäärä, jonka ihmisen silmä havaitsee valona, on noin 10⁻¹⁷ J. Kuinka monta a-kohdan fonia tarvitaan, jotta näköhavainto syntyy?
3. Laske massavaje, sidosenergia ja sidoseisuus ⁶⁰Ni-atomille, jonka massa on $m_{\text{Ni}} = 59,930788$ u. Arvot m_p , m_n ja m_e saadaan taulukoista. Käytä 8 numeron tarkkuutta.
4. Aktiivisuus eli ydinten hajoamisten määrä aikayksikköä kohti on $A = \lambda N$, missä N on radioaktiivisten ydinten määrä ja λ hajoamisvakio. Aktiivisuuden yksikkö on Bq (s⁻¹), koska hajoamisvakion yksikkö on s⁻¹. Radioaktiivisten ydinten lukumäärän muutos aikayksikössä on $-A$, joten $dN/dt = -\lambda N$, josta saadaan $N(t) = N(t = 0)e^{-\lambda t}$. Puoliintumisaika $T_{1/2}$ määritellään: $N(t = T_{1/2}) = N(t = 0)/2$.
(a) Johda puoliintumisaajan ja hajoamisvakion yhteys.
(b) Kahden radioaktiivisen lähteen aktiivisuudeksi oli määritetty viime maanantaina 4,5 GBq. Tänä aamuna mitattaessa toisen aktiivisuus oli 4,4 GBq ja toisen 2,0 kBq. Määritä kummankin lähteen puoliintumisaika.
5. Pistemäisestä lähteestä tuleva sm-säteily ("vapaasti" edetessään) heikkenee verrannollisesti etäisyyden neliön käänteislukuun ($\sim 1/r^2$). Röntgensäteilyä pitemmät aallonpituudet voivat absorboitua väliaineeseen elektronivirtitysprosessien avulla riippuen vahvasti säteilystä ja väliaineesta. Gammasäteily heikkenee eksponentiaalisesti: $I(x) = I(x = 0)e^{-\mu x}$. Tässä väliaineen matkavaimennuskerroin on μ ja sen yksikkö m⁻¹.
(a) Seisot metrin päässä gammasäteilylähteestä. Kuinka kauas sinun pitää siirtyä, jotta säteilyn intensiteetti pieneneisi tuhannesosaan?
(b) Seisot metrin päässä gammasäteilylähteestä. Voitko asettaa väliin lyijylevyn, joka vaimentaisi säteilyn intensiteetin tuhannesosaan? Lyijyn matkavaimennuskerroin on gammasäteilylle n. 0,5 cm⁻¹.

6. Yhdessä fissiossa vapautuu noin 200 MeV energiaa. Valitaan esimerkissä fissioreaktoriksi Olkiluoto 1 (OL1): sähköteho 900 MW, terminen hyötysuhde 0,33, vuosittainen polttoainelataus 20 tonnia polttoainetta ja vuotuinen käyttöaika 350 d.
- (a) Minkä verran massaa muuttuu energiaksi yhdessä fissiossa?
 - (b) Kuinka monta fissiota tapahtuu sekunnissa OL1:ssä?
 - (c) Kuinka paljon poistettava polttoaine-erä on tuoretta kevyempi?
7. Yhdessä DT-fuusiossa vapautuu noin 17,6 MeV energiaa eli luokkaa 100 GWh/kg. Oletetaan seuraavanlainen fuusiovoimalaitos (vrt. OL1): sähköteho 900 MW, terminen hyötysuhde 0,33 ja vuotuinen käyttöaika 350 d.
- (a) Minkä verran massaa muuttuu energiaksi yhdessä fuusiossa?
 - (b) Kuinka paljon DT-seosta tarvitaan vuodessa?
 - (c) Maailman tritium-varasto on 20 kg. Kuinka kauan se riittää ITERissä ja mitä sen jälkeen? ITERin terminen teho on luokkaa 500 MW.

Tehtävien ideat ja ratkaisuvinkit

Edellä tehtävät ovat siinä muodossa, jossa ne voisivat esiintyä kurssin tentissä. Alla on joitakin vinkkejä tehtävien ratkaisemiseksi.

1. Tällä kurssilla tulee eteen useita fysiikan suureita ja yksiköitä, jotka eivät ole yleisiä muilla aloilla. Tämän tehtävän ajatuksena on nostaa esiin muistilo- keroista kolme keskeistä yksikköä: elektronivoltti (eV), gray (Gy) ja grayta tunnissa (Gy/h).

Näiden yksiköiden sisäistäminen auttaa monissa myöhemmissä laskutehtävissä.

2. Tämän tehtävän ajatuksena on muistuttaa sähkömagneettisen säteilyn dua- listisesta luonteesta. Eri tilanteissa voidaan käyttää aaltoliikkeen suureita ku- ten aallonpituutta λ ja taajuutta f tai hiukkassuureita kuten fotonin energiaa E . Näiden suureiden yhteys saadaan aaltoliikkeen perusyhtälöistä, jotka on hyvä muistutella mieleen ja sisäistää tässä vaiheessa.
3. Einsteinin yhtälö $E = mc^2$ kertoo energian ja massan ekvivalenssista, eli että energia ja massa ovat sama asia. Kaavaa voi soveltaa, kun pohditaan ato- miydinten ja elektroniverhojen koossapysymistä. Tätä voi käsitellä ytimen sidosenergian kautta tai ekvivalentisti massavajeen kautta, joka on helpompi laskea. Joka tapauksessa atomin massa on pienempi kuin sen rakennuspali- koiden yhteenlaskettu massa, syynä sidosenergia.
4. Kurssin laskuissa käytetään paljon radioaktiivisuuden hajoamisen kaavaa $A(t) = A_0 e^{-\lambda t}$, joka on syytä sisäistää. Tässä tehtävässä yhdistetään toi- saalta radioaktiivisten ytimien lukumäärä N ja aktiivisuus A sekä toisaalta hajoamisvakio λ ja puoliintumisaika $T_{1/2}$.
5. Fotonisäteily vaimentuu kahdesta eri syystä: yhtäältä säteily hajaantuu 4π - avaruuskulmaan ja toisaalta säteily vaimentuu väliaineen absorption kautta. Ensinmainittu noudattaa $1/r^2$ -riippuvuutta ja jälkimmäinen exp-funktiota. Tehtävän ratkaisussa kannattaa huomata, että gammasäteilyn hajaantumi- nen pätee kaikissa väliaineissa, etenkin ilmassa, mutta merkittävää absorp- tiota tapahtuu vain nesteissä ja kiinteissä aineissa.
6. Tässä tehtävässä yhdistetään fissioreaktorin energiantuotanto sen polttoai- neen massanmuutokseen Einsteinin yhtälöä $E = mc^2$ käyttäen. Lämpövoi- malaitokselle oleellinen terminen hyötysuhde tulee myös kerrattua.
7. Tässä fuusioreaktoria koskevassa tehtävässä pyöritetään samoja kaavoja kuin edellisessä fissioreaktorilaskussa, mutta vähän eri päin. Lisäksi tässä tulee kerrattua atomimassan yksikkö 1 u.