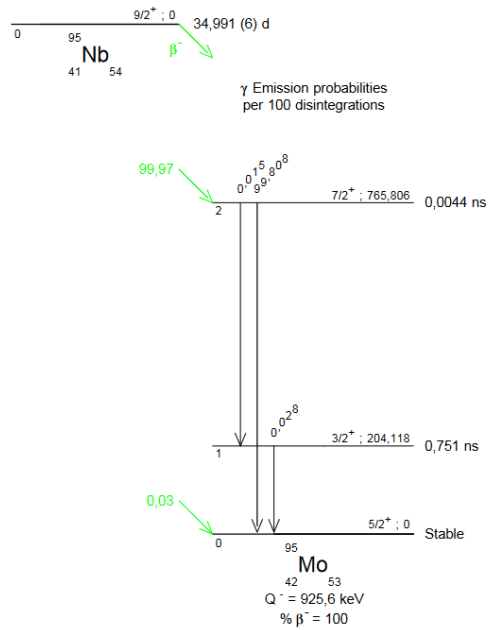


1. Määrittele saantiraja, annoskertymä, annositouma ja kollektiivinen annos. Missä yhteyksissä niitä käytetään?
2. Kudosalueen keskellä oleva ^{24}Na -atomi säteilee $0,549\text{ MeV}$ β^- -hiukkasen ja neutriinon, jonka energia on $0,844\text{ MeV}$. Syntyvä epästabiili ^{24}Mg :n viritystila laukeaa säteilemällä peräkkäin $2,754\text{ MeV}$ ja $1,369\text{ MeV}$ gammakvantit. Lopputuotteena on stabiili magnesiumin isotooppi ^{24}Mg .
 - (a) β -hiukkanen luovuttaa koko energiansa kyseiseen kudosalueeseen.
 - (b) $2,754\text{ MeV}$:n fotonin tuottaa elektroni-positroniparin, jonka molemmat osapuolet luovuttavat liike-energiansa kyseiseen kudosalueeseen. Positronin annihiloituessa syntyvät kvantit karkaavat energiaa menettämättä.
 - (c) $1,369\text{ MeV}$:n gammakvantti siroaa siten, että comptonelektroni (e_1) saa suurimman mahdollisen liike-energian, $1,154\text{ MeV}$. Sironnut kvantti siroaa toisen kerran tuottaen 50 keV :n comptonelektronin (e_2). Tässä sironnassa syntynyt kvantti poistuu tarkastelun kohteena olevasta alueesta.
 - (d) Comptonelektroni e_1 luovuttaa osan liike-energiastaan kudokseen ja tuottaa $0,385\text{ MeV}$:n jarrutussäteilykvantin, joka karkaa kyseisestä kudosalueesta absorboitumatta. Kudosalueesta poistuessaan elektronilla on vielä 220 keV liike-energiaa.
 - (e) 50 keV :n elektronin kantama kudoksessa on vain $30\ \mu\text{m}$.

Kudosalueen massa on 100 mg . Laske kerma ja absorboitunut annos.

3. Pyöreä ohut ^{95}Nb -lähde, jonka aktiivisuus on 300 kBq ja halkaisija 25 mm , jää jostain syystä iholle työpäivän eli 8 tunnin ajaksi. Määritä altistuneen ihon ekvivalenttiannos.



Energia-absorption massakerroin μ_{en}/ρ , cm^2g^{-1} .

| Fotonin energia, MeV | Vesi | Ilma | Luu | Lihäs |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|
| 0.010 | 4.84 | 4.65 | 19.0 | 4.96 |
| 0.015 | 1.34 | 1.30 | 5.89 | 1.36 |
| 0.020 | 0.536 | 0.527 | 2.51 | 0.544 |
| 0.030 | 0.152 | 0.150 | 0.743 | 0.154 |
| 0.040 | 0.0680 | 0.0671 | 0.305 | 0.0677 |
| 0.050 | 0.0415 | 0.0404 | 0.158 | 0.0409 |
| 0.060 | 0.0315 | 0.0301 | 0.0979 | 0.0312 |
| 0.080 | 0.0258 | 0.0239 | 0.0520 | 0.0255 |
| 0.10 | 0.0254 | 0.0232 | 0.0386 | 0.0252 |
| 0.15 | 0.0276 | 0.0249 | 0.0304 | 0.0276 |
| 0.20 | 0.0297 | 0.0267 | 0.0302 | 0.0297 |
| 0.30 | 0.0319 | 0.0287 | 0.0311 | 0.0317 |
| 0.40 | 0.0328 | 0.0295 | 0.0316 | 0.0325 |
| 0.50 | 0.0330 | 0.0297 | 0.0316 | 0.0327 |
| 0.60 | 0.0328 | 0.0295 | 0.0315 | 0.0326 |
| 0.80 | 0.0321 | 0.0288 | 0.0306 | 0.0318 |
| 1.0 | 0.0310 | 0.0279 | 0.0297 | 0.0308 |
| 1.5 | 0.0283 | 0.0255 | 0.0270 | 0.0281 |
| 2.0 | 0.0260 | 0.0234 | 0.0248 | 0.0257 |
| 3.0 | 0.0228 | 0.0206 | 0.0219 | 0.0225 |
| 4.0 | 0.0206 | 0.0187 | 0.0199 | 0.0203 |
| 5.0 | 0.0192 | 0.0174 | 0.0186 | 0.0188 |
| 6.0 | 0.0181 | 0.0165 | 0.0178 | 0.0178 |
| 8.0 | 0.0166 | 0.0152 | 0.0165 | 0.0163 |
| 10.0 | 0.0157 | 0.0145 | 0.0159 | 0.0154 |

4. Iäkkäälle potilaalle oli tehtävä kilpirauhasen ablaatio käyttäen 7400 MBq ^{131}I -cocktailia. Potilas on pidätyskyvytön ja hänelle on asetettu katetri ja virtsankeräyspusi.

^{131}I hajoaa beetahajonnalla lähettäen 607 keV:n beetan ja 81 prosentin todennäköisyydellä 364 keV:n gamman. Sen puoliintumisaika on 8 päivää.

Tiedetään, että useimmissa tapauksissa radioaktiivinen hajoaminen ja biologinen poistuma vähentävät kilpirauhasablaatiopotilaille annostellun ^{131}I :n aktiivisuuden puoleen ensimmäisen vuorokauden aikana.

^{131}I :n kermanopeuskerroin $\Gamma_\delta = 52,0 \cdot 10^{-15} \text{ Gy m}^2/\text{Bq h}$.

Samansuuruisen kudoksenopeuden aiheuttaa fotonikertymänopeus $\varphi = 1,48 \cdot 10^{12} \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

^{131}I :n biologinen puoliintumisaika kilpirauhasessa = 138 d.

Kilpirauhasen massa = 20 g.

- (a) Virtsapussia tultiin tyhjentämään ensimmäisen kerran 24 tunnin kuluttua ^{131}I :n annostelusta. Pussiin oli kertynyt 1000 ml virtsaa. ”Pancake”-tyyppisellä laajaikkunaisella ilmaionisaatiokammioilla tehty annosnopeusmääritys osoitti pussiin kertyneen radiojodiaktiivisuuden aiheuttamaksi annosnopeudeksi 30 cm:n etäisyydellä 0,41 mGy/h. Kuinka paljon ^{131}I virtsassa tällöin oli?
- (b) Potilas oli kovin riidanhaluinen ja paiskasi virtsapussin seinään. Pussi repesi, jodipitoinen virtsa levisi huoneeseen ja hoitajan oli pyydettävä paikalle sairaala-apulainen, jonka kanssa hän siivosi jäljet. Jostakin syystä hän muisti kertoa tästä vasta seuraavana päivänä. Päätit tarkistaa, oliko hoitaja saanut osansa kontaminaatiosta, mihin kuului ihon kontaminaation määrityksen lisäksi kvalitatiivinen kilpirauhaskartoitus. Käytettävissä olevaan tarkkailumittariin voitiin liittää anturiksi joko laajaikkunainen päätyikkuna-tyyppinen GM-laskuri tai ohutikkunainen NaI(Tl)-ilmaisin.
- Kumpi näistä mittareista soveltuu mielestäsi paremmin alustavaan kilpirauhaskartoitukseen, kumpi ihon kontaminoitumisen määrittämiseen? Perustele vastauksesi vertailemalla kyseisten anturien ominaisuuksia – olennaisimmat edut ja haitat kilpirauhaskartoitinkäytössä ja vastaavasti kontaminoitumisen määrityskäytössä.
- (c) Kartoitus osoitti, että hoitaja oli todella saanut kilpirauhaseensa radiojodia. Tarkempi kartoitus tehtiin kiinteästi asennetulla Ge-ilmaisinkartoittimella. 10 minuuttia kestäneen mittauksen aikana saatiin 0,364 MeV täysenergiapiikkiin 1800 pulssia. Ennen ja jälkeen varsinaisen mittauksen tehty taustan laskenta antoi tulokseksi kyseisellä spektrialueella keskimäärin 80 pulssia minuutissa. Ilmaisimen 0,364 MeV:n piikkitehokkuus oli $1 \cdot 10^{-3}$. Arvioi tästä hoitajan kilpirauhasen ^{131}I -aktiivisuus mittauksen aloitushetkellä.
- (d) Samalla havaittiin, että siivoustyössä avustaneen sairaala-apulaisen kilpirauhaseen oli sitoutunut 4 MBq ^{131}I . Mitä toimenpiteitä tulos edellyttää?
- (e) Voidaanko kilpirauhasen mitatun ^{131}I -aktiivisuuden ja ^{131}I :n saantirajan suhteesta johtaa luotettava efektiivisen annositouman arvo?

5. Kerää aikaisempien laskuharjoitusten esimerkeistä itsellesi taulukko, josta selviää miten annoslaskut tehdään α -, β - ja γ -säteileville nuklideille, kun ne ovat ulkoisia lähteitä. Kunkin säteilytyypin taulukossa on yhtenä dimensiona etäisyys lähteen ja kohteen välillä (0 cm, 10 cm, 2 m) ja toisena dimensiona lähteen geometria (piste, viiva, pinta).

Kerää myös tieto siitä, miten lasketaan annosnopeudet sisäisen α -, β - tai γ -säteilylähteen tapauksessa.

Taulukkoon saattaa tulla arvoja 0 ja ∞ — perustele miksi.

Tehtävien ideat ja ratkaisuvinkit

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

1. Tässä jälleen esimerkki tyypillisestä tentissä käytetystä selitystehtävästä. Tentissä pyydetäisiin tyypillisesti määrittelemään yksi käsite kerrallaan.
2. Kerman ja absorboituneen annoksen määritelmät sekä suureiden vertailu löytyvät STUK-kirjasta 1 (s. 69–76). Tämän tehtävän tarkoitus on valaista niiden eroa.

Kannattaa piirtää kuva tilanteesta: kudosalue, jossa olevasta ^{24}Na -ytimestä lähtee β - ja γ -säteilyä, ja säteilystä osa absorboituu kudosalueeseen ja osa karkaa. Sitten poimitaan kuvasta arvoja kerman ja absorboituneen annoksen kaavoihin.
3. ^{95}Nb -ytimestä lähtee β - ja γ -säteilyä, joten lasketaan niiden annosnopeudet ihon pinnalla. β -säteilyn osalta käytetään aiempaa laskutapaa eli keskimääräistetään puolen kantaman matkalle. γ -säteilyn osalta määritetään annosnopeuden maksimi käyttäen fotonikertymänopeutta eli fotonivuota ja energia-absorptioon massakerrointa (STUK-kirja 2, luku 8).

Lasketaan annosnopeudesta absorboitunut annos ja siitä ekvivalenttiannos yleisohjeen (laskarit 2) mukaisesti.
4. Tässä sivun mittaisessa tehtävässä on jonkin verran laskettavaa, mutta enemmän pohdittavaa.

Kohdassa (a) lasketaan gamma-annosnopeuden kaava kääntämällä lähteen aktiivisuus. Kohdassa (b) saa tarvittavaa lisätietoa STUK-kirjan 1 luvusta 4 sekä internetistä.

Kohdassa (c) täytyy laskea annetuista arvoista ^{131}I :n aktiivisuus. Se onnistuu, kun ymmärtää termin piikkitehokkuus: se on arvo, joka kertoo mikä osuus gammoista aiheuttaa mittauspulssin täysenergiapiikissä.

Kohdassa (d) käytetään annosmuuntokerrointa, jolla saadaan sairaala-apulaisen annos. Sen pohjalta tehdään sitten johtopäätökset. Kohdassa (e) tarvitaan pohdintaa.
5. Tämä pseudotehtävä kannattaa tehdä annoslaskuja harjoitellessa tai tenttiin valmistautumisen yhteydessä. Se ei vaadi enempää vinkkejä kuin mitä tehtävänannossa on.