

SÄTEILYSUOJELU, VASTAAVAN JOHTAJAN KUULUSTELU 7.2.2006

Mallivastaukset

Pisteet yhteensä 5 x 6 p, läpimenoraja 20 p ja jokaisesta tehtävästä vähintään 2 p

1 Olet palkannut kesäksi radiokemian opiskelijoita selvittämään radiokemian nuklidi- ja jätevarastoa ja käsittelemään radioaktiivisia jätteitä. He löytävät varaston nurkasta muovilaatikon, jonka sisältö on seuraavanlainen:

- pussillinen orgaanista nestetuikeainetta sisältäviä muovipulloja, pussin päällä lukee ”²⁴¹Am-näytteitä, aktiivisuudet 50-100 Bq/näyte”
- 250 ml mittapullo laimeaa happoliuosta, pullossa merkintä ”³²P, 800 000 nCi/g 6.10.1975”
- muovipussillinen käytettyjä kumihanskoja, pussin kylkeen on tussilla piirretty säteilyvaaramerkki ja kirjoitettu ”¹³⁷Cs”
- pieni pahvilaatikollinen eppendorf-putkia, laatikon päällä lukee ”Näytteet N1-N15, PP/6.8.1984”.

Mitä neuvot opiskelijoita tekemään näille löydöille? (Erittele kohta kohdalta.)

Vastaus:

- nestetuikeaineet: sisältää (pitkäikäistä!) alfasäteilijää, ei voi laittaa EKOKEMille hävitettäväksi. Koska tuikeaine, ei voi kaataa viemäristä. Ainoa vaihtoehto erottaa ja kiinteyttää aktiivisuus (esim. ioninvaihtimilla) ja toimittaa kiinteä aktiivisuus STUKiin loppusijoitettavaksi. (1.5p)
- mittapullo: ³²P:n puoliintumisaika 14.26 d, jos aktiivisuus on peräisin 70-luvulta, se on kokonaan hajonnut ja pullon sisältö kaataa viemäriin inaktiivisena jätteenä (1.5p)
- tutkitaan onko aktiivisuus tasaisesti kaikissa hanskoissa vai vain osassa (jos näin, poimitaan aktiiviset talteen, inaktiiviset normaalisti roskiin). Aktiivisista voi yrittää arvioida aktiivisuutta ja sitä, alittaako se roskeenrajan (10 Bq/g), vai pitääkö hansikkaat toimittaa valvotulle kaatopaikalle (rajat!) tai STUKiin loppusijoitettavaksi. (1.5p)
- Ensin kyseltävä vanhemmilta tutkijoilta tietoja nimikirjaimista ja ajankohdasta – mistä näyttäistä mahtaisi olla kysymys. Jos tietoa ei löydy tai se on epämääräistä, pitää mittaamalla selvittää mistä näytteistä on kyse: ensin kontaminaatiomittarilla tutkitaan, lähettääkö merkitsevästi gammasäteilyä. Tämän jälkeen voi mitata germaniumspektrometrilla ja tunnistaa ja kvantifioida aktiivisuudet. Jos näytteestä ei lähde gammasäteilyä, pitää vielä tutkia beeta- ja alfasäteilyn mahdollisuudet. Eppendorf-putken sisällöstä voisi ottaa näytteen ja käyttää esim. nestetuikemenetelmää mahdollisen aktiivisuuden mittaamiseen.
Hävitys sen mukaan mitä näytteestä saadaan selville. (1.5p)

2 Olet antanut luvan ioninvaihtokokeen suorittamiselle C-luokan laboratoriossa radionuklidilla ¹³⁴Cs. Liuosta, jonka aktiivisuuskonsentraatio on 200 kBq/l, pumpataan ioninvaihtokolonnin läpi ylipaineella. Pumpun ja kolonnin välillä on puolen litran vetoinen paineentasausastia. Eräänä iltana Anja A., kyseisestä kokeesta vastuussa oleva tutkija pyytää sinua palaamaan laboratorioon. Päästyäsi perille kertoo tutkijan apulainen Kalle K. seuraavaa: ‘Olin yksin laboratoriossa, kun havaitsin pumpun käyntiäänessä oudon muutoksen. Kun menin katsomaan, mikä olisi vikana, laukesi paineentasausastian varoventtiili. Radioaktiivista liuosta purkautui ulos hienojakoisena sumuna, osittain

päälleni. Minulla oli työtakki, käsineet ja kasv suojuus. Pysäytin pumpun, menin suihkuhuoneeseen, riisiin kaikki vaatteeni, pakkasin ne muovipussiin ja peseydyin perusteellisesti. Onneksi minulla oli vaihtovaatteet pukukaapissa. Sen jälkeen ilmoitin Anjalle tapahtuneesta. Muuta emme ole vielä tehneet.'

Mitä sinun, vastaavan johtajan, pitää tehdä?

Vastaus:

Annosarvio ja Kallen mittaus. Ulos vuotaneen liuoksen enimmäisaktiivisuus: Tasaustilan tilavuus * liuoksen aktiivisuuskonsentraatio eli 100 kBq. Annoskertymä tästä aktiivisuudesta olisi 1,9 mSv (nieltynä) tai 1 mSv (hengitettynä). Koko aktiivisuus ei ole suinkaan voinut joutua Kallen kehoon, sillä kukaan ei huomannut niele eikä hengitä puolta litraa nestettä. Kalle oli puhdistautunut ripeästi ja perusteellisesti. Pääelmä: sisäinen kontaminaatio ei voi olla vaarallisen suuri. Jos käytettävissä on kehonsisäisen aktiivisuuden mittauslaite mitataan Kallen sisäinen aktiivisuus. Ellei laitetta ole, mitataan kuitenkin mahdollisesti saastunut iho pintakatteen mittarilla. Jos Kalle vastoin odotuksia on huomattavasti kontaminoitunut ¹³⁴Cs:lla on kuitenkin heti kysyttävä neuvoa STUK:n päivystäjältä. (3p)

Dekontaminaatio. Varmistetaan, ettei laitteesta vuoda enää aktiivista liuosta. Anja siivoaa saastuneen alueen käyttäen Cs-kantajaliuosta ja laimeaa happoa. Pesuvedet kootaan astiaan mittausta varten. Puhdistuksen jälkeen mitataan pinnat pintakatteen mittarilla. Jos kontaminaatiota edelleen esiintyy merkitään saastunut alue lippusiimalla ja säteilyvaaramerkeillä. Puhdistamista jatketaan seuraavana työpäivänä. (2p)

Ilmoittaminen. Laaditaan yhdessä käsikirjoitus raportiksi tapahtuneesta mittaustuloksineen. Onnettomuudesta ilmoitetaan seuraavana työpäivänä säteilyturvakeskukselle, sekä vastaavalle lääkärille, jos sellainen on. (1p)

3 Työpöytä on jäänyt ⁹⁰SrTiO₃:n käsittelemisen jälkeen lievästi kontaminoituneeksi. Kokeellisesti on todettu, että kyseisen kaltaisen yhdisteen aktiivisuuskatteesta irtoaa ja joutuu hengitysilmaan osuus $2 \cdot 10^{-4} \text{ (Bq m}^{-3}) / \text{(Bq m}^{-2})$. Kuinka suuri saa pinnan aktiivisuuskate enintään olla, jotta hengitysilman aktiivisuuskonsentraatio pysyisi johdetun konsentraatorajan (DAC) puitteissa? Mitä sanot arvion tuloksesta?

Vastaus:

⁹⁰SrTiO₃: luokka S → 1um partikkelit ALI = 133 333 Bq
5 um partikkelit = 259 740 Bq

Hyväksytään myös taulukosta 7 löytyvän ALI_{min}-arvon käyttö (2p)
valitaan pienempi → DAC = 133 333 Bq/2400 m³ = 55.5 Bq/m³ (1p)

Jos näin paljon hengitysilmassa, pöydässä on
 $55.5 \text{ Bq/m}^3 / (2 \cdot 10^{-4} \text{ (Bq m}^{-3}) / \text{(Bq m}^{-2})) = 277 500 \text{ Bq/m}^2$

Eli aktiivisuuskate saa olla korkeintaan tämä. (1p)

Suurin sallittu aktiivisuuskate strontiumia pöydällä valvonta-alueella on 40 Bq/cm²
= 400 000 Bq/m² ja tarkkailu- ja muilla alueilla 4 Bq/cm² = 40 000 Bq/m².

Valvonta-alueella pöydän aktiivisuuskatetta määrää siis DAC, tarkkailualueilla (jos kontaminaatorajoissa pysytään) ei ilmaan haihtuvasta aktiivisuudesta tule ongelmaa. (2p)

4 Valukappaleita kuvattiin ^{192}Ir -radiografialaitteella (2000 GBq). Samassa kuvausbunkkerissa oli myös ^{60}Co -kuvauslaite (3600 GBq). Kuvaus tapahtuu seuraavasti: Kuvaaja varmistaa, että lähteet ovat suojuksissaan. Hän menee bunkkeriin, sijoittaa filmin kuvattavan kappaleen taakse ja lähteen kuljetusputken kappaleen eteen. Sitten hän poistuu bunkkerista, sulkee sen oven, ja kiertää bunkkerin ulkopuolelta lähteen kuljetusputkensa päähän. Kuvauksen jälkeen lähde palautetaan suojukseensa (edelleen bunkkerin ulkopuolelta).

Kuvaajan tarkoituksena oli kiertää kuvauksen jälkeen ^{192}Ir -lähde takaisin suojukseen. Hän kuitenkin erehdyksessä kiersi ^{60}Co -lähteen ulos suojuksesta ja meni kuvaustilaan (eli bunkkeriin) kääntämään lukkorengasta kiinni-asentoon. Kun tämä ei onnistunut, hän huomasi erehdyksensä ja poistui kuvaustilasta. Kuvaajalla oli taskussaan hälyttävä annosnopeuden mittari, mutta ei reagoinut sen äänimerkkiin, koska mittari hälytti aina lähteiden läheisyydessä, vaikka lähteet olivat suojuksessa. Tapahtumasta aiheutui noin yhden millisievertin ylimääräinen säteilyannos. **Mitä sinun pitää tehdä?**

Vastaus:

- Varmistat, että molemmat lähteet **nyt** ovat suojuksessa. (1p)
- Arvioit kuvaajan saaman annoksen hänen kertomuksensa perusteella (tässä vaiheessa et tiedä, että se oli 1 mSv) (1p)
- Ilmoitat tapahtuneesta säteilyturvakeskukselle, tarvittaessa päivystäjälle (ja noudatat saamiasi ohjeita). (1p)
- Lähetät kuvaajan annosmittarin luettavaksi. (1p)
- Tapauksen jälkihoitona käyt kaikkien kuvaajien kanssa läpi tapahtunut sekä turvallisuusohjeet (niihin kuuluu mm. määräys, että erillisellä mittarilla on varmistettava radiografialähteen menneen suojukseensa). Taskuhälyttimen hälytysrajaa säädetään korkeammaksi, jotta normaalitilanteessa ei saataisi aiheettomia hälytyksiä. Myös laitteiden turvajärjestelmiin olisi syytä tehdä muutoksia. (2p)

(Tämä tapahtuma ei aiheuttanut ulkoisen kontaminaation riskiä, koska lähteitä liikuteltiin bunkkerin ulkopuolelta ja mikään ei muutenkaan ollut varsinaisesti rikki – vain väärin käytetty.)

5 Laske efektiivinen annos **vuodessa**, jos työntekijä joutuu oleskelemaan työssään keskimäärin kolme tuntia viikossa 1,5 metrin päässä suojaamattomasta ^{137}Cs -lähteestä, jonka aktiivisuus on 370 MBq (10 mCi). Minkä suuruinen vuosiannoksesta tulisi, jos lähde ympäröidään 5 cm:n paksuisella lyijysuojalla?

Vastaus:

Suojaamaton lähde: $D = [370\text{MBq} \cdot 8.0 \cdot 10^{-14} \text{ Gy m}^2 / (\text{Bq h})] / (1.5\text{m})^2 = 13.155 \mu\text{Sv/h}$. (2p)

Vuodessa 3 h/vko $\cdot 48$ vko = 144 h \rightarrow vuosiannos ≈ 1.9 mSv. (1p, ei verotettu pisteitä vaikka olisi jättänyt loman pitämättä...)

Lyijysuoja: $D = D_0 \cdot B \cdot e^{-\mu d}$. $\mu = 0.0113685 \text{ m}^2/\text{kg} \cdot 11350 \text{ kg/m}^3 = 129.032475 \text{ 1/m}$,
 $\mu \cdot d = 129.032475 \text{ 1/m} \cdot 0.05 \text{ m} \approx 6.45$. (1p, käytetty 600 keV:n μ -arvoa -0.5p, koska annosarvio tulee liian pieneksi. Arviot tehtävä aina konservatiiviseen suuntaan (tässä siis taulukossa seuraava energia ylöspäin))

Tällöin $B \approx 2.245$ ja $D = 13.155 \mu\text{Sv/h} \cdot 2.245 \cdot e^{-6.45} \approx 0.046678 \mu\text{Sv/h} \rightarrow$ vuosiannos $\approx 6.7 \mu\text{Sv}$. (2p)