###### Gecoördineerd examen stralingsbescherming

###### Deskundigheidsniveau 3

Nuclear Research and Consultancy Group NRG

Technische Universiteit Delft TUD

Boerhaave Nascholing/LUMC BN

Rijksuniversiteit Groningen RUG

Radboud Universiteit/UMC St.Radboud RU/UMC

TU Eindhoven TUE

examendatum: 13 mei 2013

examenduur: 13.30 - 16.30 uur

**Instructie:**

* **Deze examenopgaven omvatten 10 genummerde pagina’s en tevens een losse bijlage met gegevens van 15 pagina’s. Wilt u dit controleren!**
* Schrijf uw oplossingen en antwoorden op de daartoe verstrekte uitwerkbladen. Ook alle niet gebruikte uitwerkbladen dient u in te leveren.
* Vermeld **alleen uw examennummer** op de uitwerkbladen (dus niet uw naam en adres).
* Het is geoorloofd boeken, persoonlijke aantekeningen en ander documentatiemateriaal te raadplegen voor het beantwoorden van de vragen.
* *Met nadruk wordt erop gewezen dat u ook dient aan te geven via welke* ***berekeningsmethode*** *en volgens welke* ***beredenering*** *u tot de oplossing komt*.
* Indien u een onderdeel van een vraagstuk niet kunt uitrekenen en het antwoord nodig is voor het oplossen van de rest van het vraagstuk, mag u uitgaan van een fictief antwoord.
* Voor sommige vraagstukken behoeven niet alle gegevens noodzakelijkerwijs te worden gebruikt.
* In totaal kunt u 67 punten behalen bij het goed oplossen van de vraagstukken. De puntenverdeling over de vraagstukken is als volgt:

Vraagstuk 1: 17 punten

Vraagstuk 2: 17 punten

Vraagstuk 3:17 punten

Vraagstuk 4: 16 punten

**Vraagstuk 1 Afscherming vervoer**

Een bestuurder van een vrachtwagen vervoert 5 colli met radioactieve bronnen. Deze staan in de laadruimte.

**Gegevens:**

* De afstand tussen de chauffeur en het oppervlak van de colli is bij alle 5 colli 2 meter;
* Alle colli zijn standaardverpakkingen van 30 cm x 30 cm x 30 cm;
* De bronnen zijn steeds centraal in de verpakking geplaatst;
* Tabel 1.1, informatie over de colli in de laadruimte;
* Afscherming van de bron in collo 1: 1,6 cm dik lood;
* E mag benaderd worden door H\*(10);
* Ga ervan uit dat het gehele lichaam van de chauffeur gelijkmatig bestraald wordt;
* **Bijlage:** Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (2e druk 2007), blz. 172-173 en 238-239, gegevens resp. 137Cs en 241Am;
* **Bijlage:** figuur 1.1: Transmissie van brede bundels gammastraling van ra­dionucliden door lood (ontleend aan ICRP-33, blz. 47);
* **Bijlage:**  NVS-publicatie nr.32 (2002), blz 56, tabel categorie-indeling.

**Tabel 1.1** Informatie over de colli in de laadruimte.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| collo | verpakking | radionuclide | Transportindex (TI) |
| Collo 1 | type A | Cs-137 | 1,5 |
| Collo 2 | type A | Cs-137 | 0,8 |
| Collo 3 | type A | Cs-137 | 0,9 |
| Collo 4 | type A | Am-241 | 0 |
| Collo 5 | type A | Am-241 | 0 |

**Vraag 1.1**

Wat is het omgevingsdosisequivalenttempo ter plaatse van de chauffeur als er geen afscherming tussen hem en de colli is aangebracht? Afscherming door zijn stoel en dergelijke, mag buiten beschouwing worden gelaten.

De chauffeur heeft een rit voor de boeg van 6 uur rijden (exclusief pauze momenten). Zijn effectieve dosis door deze rit mag niet meer zijn dan

2,0 μSv. Tussen de laadruimte en de chauffeur wordt lood aangebracht als afschermend materiaal.

**Vraag 1.2**

Hoe dik moet een loodafscherming tussen chauffeur en colli zijn om bovenstaande eis te handhaven? Indien u geen antwoord op vraag 1.1 hebt gevonden, ga dan uit van 10 µSv/h.

**Vraag 1.3**

Bereken de activiteit in collo 1.

**Vraag 1.4**

Er zijn 3 mogelijke gevaarsetiketten voor verpakkingen: wit-I, geel-II of geel-III. Welke gevaarsetiket zit er op collo 1? Motiveer uw keuze.**Vraagstuk 2 Testopstelling doorlaatbaarheid van**

**een koolfilter**

In een B-laboratorium wordt de doorlaatbaarheid van een serie, bestaande uit een aantal koolfilters, getest. Om het vangstrendement van elk koolfilter te bepalen, wordt het radioactieve 131I gebruikt. Hiertoe wordt 120 MBq 131I in opgelost in 10,0 mL vloeistof.

In een testopstelling (zie figuur 2.1) worden vijf koolfilters achter elkaar geplaatst. Achter de vijf filters wordt een veiligheidsfilter geplaatst, dat het eventuele niet afgevangen 131I alsnog adsorbeerd.

Vervolgens wordt 0,100 mL van de 131I-oplossing verneveld in de ingaande luchtstroom. De lucht met het vernevelde 131I wordt door de serie filters geleid en daar geadsorbeerd.

Door de activiteit van het 131I in elk van de vijf filters te meten, kan men per koolfilter het vangstrendement bepalen.

uitgaande luchtstroom

v

5

4

3

2

1

ingaande luchtstroom

**Figuur 2.1** Schematische weergave van de testopstelling van vijf koolfilters en een veiligheidskoolfilter (v)

De filters worden na het doorleiden van de nevel uit de opstelling gehaald en vervolgens wordt de activiteit per filter bepaald met behulp van een NaI(Tl)-kristal. Het detectiesysteem met het NaI(Tl)-kristal registreert alle pulsen gemeten in het energiegebied van 300 tot 400 keV.

In het derde filter worden 110.000 counts gemeten in 1 minuut. Een meting van de achtergrond in hetzelfde energiegebied resulteert in 110.000 counts in 2200 seconden. De overige meetgegevens zijn te vinden in Tabel 2.1 op de volgende pagina.

**Gegevens:**

* **Bijlage:** Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (2e druk 2007), blz 164-165, gegevens 131I;
* Radioactief verval in de tijd tussen vernevelen en de laatste meting mag worden verwaarloosd;
* Dooralle filters tezamen (inclusief veiligheidsfilter) wordt al het vernevelde 131I geadsorbeerd;
* De efficiency van de telling van het eerste filter is gelijk aan de telefficiency van alle filters tezamen;
* Het vangstrendement van een filter is de fractie van de vernevelde activiteit, die door de filter is geadsorbeerd.

**Vraag 2.1**

Bereken het netto teltempo van het derde filter en de standaarddeviatie in het netto teltempo.

**Tabel 2.1** Netto telopbrengst van vijf koolfilters en een veiligheidsfilter

|  |  |
| --- | --- |
| 1ste filter | 7818 cps |
| 2de filter | 3750 cps |
| 3de filter | uw berekende telopbrengst |
| 4de filter | 856 cps |
| 5de filter | 405 cps |
| veiligheidsfilter | 374 cps |

**Vraag 2.2**

Bereken de telefficiency (in cps/Bq) van de opstelling voor alle filters tezamen (inclusief het veiligheidsfilter).

**Vraag 2.3**

Bepaal het vangstrendement van het 1ste filter in %.

**Vraag 2.4**

Bepaal de minimaal te detecteren activiteit bij een telling van 1 minuut.

De minimaal te detecteren activiteit is gedefinieerd als de netto telopbrengst die gelijk is aan driemaal de standaarddeviatie van het aantal telpulsen als gevolg van de achtergrond.

### Vraagstuk 3 Afscherming bij 89Zr

Als stralingsdeskundige van een laboratorium in een onderzoeksinstituut waar proefdieren worden gehuisvest wordt u verzocht muizen onder te brengen die bij een ander instituut zijn ingespoten met het radionuclide 89Zr. De muizen worden bij u in een kooi in een ‘stal’ gehuisvest waarin geen andere werkzaamheden plaatsvinden. De muizenkooi wordt op een tafel geplaatst en kan worden afgeschermd met loodblokken met een dikte van 5,0 cm. De kooi blijft daar staan totdat het 89Zr geheel is vervallen.

**Gegevens:**

* De totale activiteit die per jaar maximaal bij de muizen wordt ingespoten bedraagt 500 MBq – ter wille van de eenvoud mag u voor de berekeningen uitgaan van één muis die op het moment van huisvesten (t=0) 500 MBq 89Zr bevat;
* De muis zit in een kubusvormige kooi van 30 cm × 30 cm × 30 cm;
* De muis mag als een puntbron worden opgevat;
* De minimale afstand van de muis tot naastgelegen ruimtes bedraagt 0,25 m;
* De afstand van de bodem van de kooi tot het plafond bedraagt 1,8 m;
* Afscherming tussen de stal en aangrenzende ruimtes is verwaarloosbaar;
* De dichtheid van lood bedraagt 11,34 g·cm–3;
* Het omgevingsdosisequivalent H\*(10) kan worden benaderd door de kerma K;
* **Bijlage:** figuur 1. Gegevens 89Zr, ontleend aan de MIRD-database van de National Nuclear Data Service;
* **Bijlage:** Inleiding tot de Stralingshygiëne, Bos et al (2e druk 2007), tabel 11.1;
* **Bijlage:** Inleiding tot de Stralingshygiëne, Bos et al (2e druk 2007), appendix D, pag. 382 en 383.

**Vraag 3.1**

De omgevingsdosisequivalenttempoconstante (h) voor 89Zr kan worden geschat door het als een nuclide te beschouwen dat vervalt onder uitzending van één foton met een energie van 1 MeV en een emissiewaarschijnlijkheid van y = 1,16. Geef een schatting voor deze omgevings­dosisequivalenttempoconstante.

Indien u het antwoord op vraag 3.1 schuldig bent gebleven, mag u bij de rest van dit vraagstuk gebruik maken van de omgevingsdosisequivalent­tempo­constante h = 0,20 µSv·h–1·MBq–1·m2.

**Vraag 3.2**

Bereken, uitgaande van het resultaat van vraag 3.1 het maximale jaarlijkse omgevingsdosisequivalent H\*(10) in ruimtes die naast de stal gelegen zijn. Ga er hierbij van uit dat de activiteit in het betrokken jaar volledig vervalt en dat er geen afscherming geplaatst wordt.

**Vraag 3.3**

Bereken de transmissie van twee loodblokken voor fotonen met een energie van 1 MeV. Verifieer vervolgens dat, uitgaande van het resultaat van vraag 3.2 en de berekende transmissie, twee loodblokken voldoende zijn om ervoor te zorgen dat in ruimtes naast de stal het omgevingsdosisequivalent H\*(10) lager blijft dan 1 mSv per jaar.  
Indien u het antwoord op vraag 3.2 schuldig bent gebleven gebruik dan 0,2 Sv.

De muizenkooi wordt zoveel mogelijk alzijdig afgeschermd. Om praktische redenen is het echter niet mogelijk de kooien aan de bovenkant te voorzien van loodblokken. Hierdoor ontstaat op het plafond een niet afgeschermde stralingsvlek (zie onderstaande situatieschets).

**Situatieschets.** De kubusvormige muizenkooi.

Behalve aan de bovenkant is de kooi verder alzijdig afgeschermd met lood. Het stralingspatroon heeft de vorm van een rechthoekige kegel met de punt naar beneden. De tussenwand naast de kooi is niet getekend omdat deze bij de afscherming geen rol speelt.

**Aanvullende gegevens:**

* Ga ervan uit dat de stralingsintensiteit binnen de bundelvlek op het plafond *overal gelijk is en bepaald wordt door de kortste afstand* van de muis tot het plafond;
* De muis mag op de bodem in het midden van de kooi worden gedacht;
* Hanteer 1 m voor de minimale afstand tussen plafond en een eventueel in de naastgelegen ruimte aanwezige werknemer;
* Het plafond bestaat uit beton;
* Ga uit van een verstrooiingshoek tussen 135° en 180° (zie verstrooiingspatronen in bijlage pagina 14);
* **Bijlage:** ICRP-33, fig. 22 Verstrooiingspatronen van divergente bundels röntgen- en gammastraling bij loodrechte inval op een vlakke betonmuur.

**Vraag 3.4**

Schat de maximale bijdrage van de via het plafond verstrooide straling aan het jaarlijkse omgevingsdosisequivalent voor een naastgelegen ruimte.

**Vraagstuk 4 Oppervlaktebesmettingen**

Als gevolg van een calamiteit bij een kerncentrale zijn gedurende enkele dagen met een constant tempo radionucliden geloosd in de lucht. Door depositie van deze radionucliden zijn oppervlaktebesmettingen ontstaan. Een terrein is onder meer homogeen besmet met het radionuclide 137Cs.

**Gegevens:**

* De oppervlaktebesmetting met 137Cs bedraagt 80 kBq·m−2;
* De dosisconversiecoëfficiënt voor effectieve dosis van 137Cs (inclusief de bijdrage van het dochternuclide 137mBa) voor externe straling vanaf de grond bedraagt 1,70·10−8 Sv·jaar−1 per Bq·m−2;
* **Bijlage**: Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (2e druk 2007) blz. 172-173, gegevens 137Cs;
* Veronderstel dat de oppervlaktebesmetting uitsluitend door radioactief verval verdwijnt;
* De halveringstijd van 132Te is 2,82·105 s;
* De halveringstijd van 132I is 8,23·103 s.

**Vraag 4.1**

Bereken de effectieve dosis door externe straling gedurende het eerste jaar, voor werknemers die 1700 uren per jaar op dit terrein aanwezig zijn.

Naast een dosis door externe straling is er nog een mogelijk te ontvangen dosis door inhalatie. Door het opwaaien van stof vanaf de bodem (bijvoorbeeld door wind of omdat mensen over het terrein lopen) kan een deel van de radioactieve besmetting in de lucht komen. Dit noemt men *resuspensie*.

**Extra gegevens:**

* De resuspensiefactor *K*, met als eenheid m−1, is de factor waarmee de oppervlaktebesmetting (in Bq·m−2) vermenigvuldigd moet worden om de gemiddelde luchtconcentratie te bepalen op leefniveau (*Clucht*= *K·Cbesm*);
* *K* = 5,0·10−6 m−1, voor het terrein in deze opgave;
* Gemiddeld inhalatietempo van de werknemers is 1,2 m3·h−1.

**Vraag 4.2**

Bereken de jaarlijkse inhalatiedosis voor werknemers door resuspensie (van 137Cs) bij een verblijf van 1700 uren per jaar op het terrein en vergelijk het resultaat met het antwoord uit opgave 4.1.

Naast de cesiumbesmetting bleek het terrein ook besmet te zijn geraakt met het radionuclide 132Te en het 100% dochternuclide 132I. De gemeten oppervlaktebesmetting van het 132Te direct na de depositieperiode bedroeg 30 kBq·m−2.

**Vraag 4.3**

Hoe groot waren de oppervlaktebesmettingen van 132Te en het dochternuclide 132I drie dagen na deze meting, uitgaande van het feit dat er na de meting geen verdere depositie meer heeft plaatsgevonden en dat de oppervlaktebesmetting uitsluitend door radioactief verval verminderd is.

**Extra gegevens:**

* Door de constante aan- en afvoer van besmette lucht mogen we veronderstellen dat de luchtactiviteitsconcentraties tijdens de depositieperiode boven het terrein constant waren;
* De gemeten oppervlaktebesmetting van 30 kBq·m−2 voor 132Te is een evenwichtswaarde die zich heeft opgebouwd in de dagen dat de radioactieve wolk over het terrein trok.

**Vraag 4.4**

Bereken het gemiddelde depositietempo van 132Te in Bq·h−1·m−2 in de dagen van de passage van de radioactieve pluim.