

STUDIEOPDRACHT ter vervanging van de verplichte
WERKGROEPEN GEZONDHEIDSWETENSCHAPPEN (D'I - oud curriculum)

dd.: 14 juni 1988

IONISERENDE STRALING

ENKELE MEDISCHE ASPEKTEN

J.H. de Jonge

HOOFDSTUK 1	INLEIDING EN PROBLEEMSTELLING
HOOFDSTUK 2	KORTE GESCHIEDENIS VAN DE NUKLEAIRE WETENSCHAP
HOOFDSTUK 3	STRALINGSBRONNEN
HOOFDSTUK 4	ENKELE MEDISCHE ASPEKTEN VAN IONISERENDE STRALING
KONKLUSIE	
LITERATUURLIJST	

Hoofdstuk 1 Inleiding en probleemstelling.

Per 1 april 1987 werden in Nederland de stralingsnormen gewijzigd. Dit werd gedaan onder auspiciën van de International Commission on Radiological Protection (ICRP). De oude normen volgens ICRP-9 voldeden niet meer. Deze normen waren tot 1-4-'87 voor (rood) beenmerg, gonade, bot, schildklier, borst en long resp. 0,5 - 0,5 - 3,0 - 3,0 - 1,5 en 1,5 rem. Na de wijziging zijn ze volgens ICRP-26 geworden: resp. 4,2 - 2,0 - 5,0 - 5,0 - 3,3 en 4,2 rem. Voor beenmerg ruim 8 maal zo veel. De allereerste vraag die in mij opkwam was waarom de normen waren verhoogd. De tweede vraag was of er enige wetenschappelijke relevantie was te vinden bij een zo grote variatie in de normstelling. Bovendien vroeg ik mij af waarop de stralingsnormen werden gebaseerd: dierproeven, proeven met wetenschappelijke modellen of computersimulatie.

Na het lezen van enkele krantenartikelen en wat meer literatuur daarover bleken geen van de drie wetenschappelijke methoden te zijn gevolgd: waar de wetenschap de normen voor stralingsbescherming vandaan heeft is uit het onderzoek aan menselijke proefkonijnen. Tamelijk cynisch werden de mensen die de afworp van de atoombommen boven Japan hadden overleefd onderzocht door medische teams. De betrokken mensen leefden in de veronderstelling dat zij door de dokters behandeld zouden worden, maar niets was minder waar: er werd enkel onderzoek gedaan naar het ziekte- en stervensproces van deze mensen, weliswaar door artsen en verplegend personeel in witte jassen. De wetenschappelijke waarde van deze onderzoeken is kennelijk zo gering dat men rustig de normen met een faktor 8 kan variëren. Blijkens een bericht uit de Volkskrant van 14-1'87 heeft men deze onderzoeken voortgezet door moedwillig mensen met radioactieve stoffen in te spuiten en te bestralen en dan te kijken wat er gebeurt. Toch, als je naar de ICRP-normen kijkt, is er geen sprake van inwendige besmetting, terwijl dit toch na het ongeval in Tsjernobyl op 26-4'86 zeer duidelijk speelde (besmette spina-zie, de koeien op stal). De reden van de normverhoging blijft mij voornamelijk onduidelijk, het is beslist niet gebaseerd op wetenschappelijke informatie, want wetenschappelijk onderzoek wijst bijna unaniem naar verlaging van de bestaande normen vanwege het gevaar voor kleine kinderen en dus ook voor zwangeren. Of tellen deze mensen plotseling niet meer mee?

Hiermee kom ik op mijn voornaamste vraagstelling w.b. dit werkstuk: is het d.m.v. literatuuronderzoek mogelijk uit te zoeken of men in het verleden op de hoogte was van de gevaren van ioniserende straling en had men de mogelijkheid om deze voor de mens zo schadelijke fysische invloed te meten.

Daartoe heb ik de geschiedenis van de atoomfysica onderzocht en kort samengevat, verder de medische consequenties belicht, speciaal die van de uraniummijnwerkers, omdat die meestal onwetend zijn van de gevaren die het delven van uraniumerts met zich meebrengt.

Hoofdstuk 2 Korte geschiedenis van de nukleaire wetenschap

Tot ver in de 19e eeuw wist men eigenlijk niet hoe de materie was opgebouwd. De oude Grieken (Democritos) vermoedden reeds wel dat er een eind kwam aan de deelbaarheid van de materie en dat er uiteindelijk zo'n klein deeltje overbleef dat dan als ondeelbaar beschouwd moest worden (a-tomos=ondeelbaar). In 1808 publiceerde John Dalton een geschrift waarin een poging werd gedaan de atoomtheorie wetenschappelijke inhoud te geven(1). Door zeer nauwkeurig te wegen en te meten bepaalde Berzelius (1779-1848) de relatieve massa van allerlei elementen door aan waterstof het massagetal 1 toe te kennen (tegenwoordig 1/12 van de massa van het koolstof-atoom).

Het periodiek systeem van elementen werd ontwikkeld door Mendelejev (1834-1907). Door dit systeem konden onbekende elementen worden voorspeld. Door middel van een gelijkstroom via elektroden van platina in een oplossing van HCl in water kon Arrhenius in 1885 aantonen dat HCl gesplitst kon worden in de atomen H^+ en Cl^- . Faraday (1791-1867) toonde aan dat er een relatie bestaat tussen de hoeveelheid elektriciteit en de ontleding. Door toeval ontdekte Henri Becquerel (1852-1908) dat ongezuiverd kalium uranyl-sulfaat door zwart papier en aluminiumfolie heen een fotografische plaat kon belichten. Marie en Pierre Curie noemden het verschijnsel radio-activiteit en ontdekten dat ongezuiverd uraanerts sterker radio-actief is dan het gehalte aan uranium zou moeten produceren. Zij vonden dat nog 2 elementen straling uitzonden en dat waren dan Polonium-210 en Radium-226. Het laatste element was zo veel sterker radioactief dat toen voor het eerst werd onderkend dat straling kwaad kon voor levende wezens. In welke mate, daar is men het zelfs nu nog niet over eens.

Rutherford zag in 1919 dat alfa-deeltjes radicaal van richting veranderden als zij tegelijk een atoomkern opbotsen. De snelheid van een alfa-deeltje is 15 000 km. per seconde en zeer incidenteel botsen zij tegen een atoomkern op van het bestraalde objekt. Bohr, Schrödinger en Heisenberg bevestigden de ontdekkingen van Rutherford en toonden aan, dat alfa-, beta- en gammastraling uit de atoomkernen afkomstig zijn. Dit laatste bleek ook uit het feit dat veranderingen aan het omhulsel van atomen totaal geen invloed hebben op de intensiteit van de straling.

Verhitting tot zeer hoge temperaturen, chemische omzettingen en bestralingen stoorden de uitzending van alfa-, beta- en gammastraling totaal niet. De laatste 3 onderzoekers ontdekten ook dat met de overgang van uraniumatomen naar een ander element de straling niet verdween. Pas na 14 overgangen van uranium naar lood in miljoenen jaren is de radioactiviteit verdwenen.

De laatste belangrijke ontdekking was die van het bestaan van neutronen. Dit werd in 1932 gedaan door James Chadwick (1891-1974) met behulp van het beschieten van beryllium met alfa-deeltjes uit polonium. Na deze ontdekking ging de ontwikkeling in duizelingwekkende snelheid voort. Het echtpaar Curie ontdekte door beschieting van aluminiumfolie met alfa-deeltjes de kunstmatige radioactiviteit door de transformatie van aluminium in fosfor-30.

Het beschieten van elementen met alfa-deeltjes waardoor snelle neutronen ontstaan gaf de wetenschap de mogelijkheid met meer dan duizend nieuwe onstabiele radioactieve kernen kennis te maken die op de aarde niet voorkwamen. De productie van instabiele kernen heeft in de medische wetenschap vele toepassingen, echter de keerzijde is dat zeer frequent deze instabiele atomen in de atmosfeer terecht komen. Dit kan gebeuren door slordigheid met medische en/of laboratoriumapparatuur (Goiania, Brazilië, waar in 1987 veel mensen zijn gestorven en besmet door het slopen van een cesium-bestralingsapparaat), maar ook door ongevallen en lozingen uit de nucleaire industrie. De grootste ongevallen zijn al gebeurd: Tsjeljabinsk, 1957, waar een hele streek zwaar werd besmet en onbewoonbaar werd als gevolg van een explosie in een opwerkingsfabriek t.b.v. de productie van kernwapens, Windscale, een grote besmetting door een brand in een grafietreaktor, 1957, ook voor de productie van kernwapens: lange tijd moest de melk uit een groot gebied in de Ierse Zee worden gedumpt, Tsjernobyl, 1986, een brand in een grafietreaktor waardoor grote delen van Europa besmet zijn door instabiele kernen.

Door inhalatie van aerosolen van deze radioactieve stoffen of door opnemen in de voedselketen is er sprake van een reëel gevaar voor de gezondheid van iedereen. Erbij komt dat vele van die stoffen zeer lang radioactief blijven en bovendien een cumulatief effect hebben, waardoor zij zich ophopen in bepaalde organen of lichaamsdelen van mensen en dieren.

Ook de natuurlijke instabiele radioactieve stoffen zijn veel mijnwerkers in het verleden bij het delven van pekblende en tegenwoordig van uranium fataal geworden door het inademen van Radon-221. De populatie rondom die mijnen wordt besmet door de gigantische hoeveelheden radioactief gesteente die open en bloot worden gestort in de omgeving van de mijnen. Voor Indianen in de V.S. werden wel huizen gebouwd met behulp van gesteente uit een uraniummijn waar beton uit werd gemaakt. Toen de bewoners allen kanker kregen zijn de huizen schielijk weer afgebroken.

In de discussie over radioactieve straling wordt meestal niet gepraat over de mensen die het uranium uit de grond moeten halen. Praktisch altijd gebeurt dit door mensen afkomstig van autochtone minderheden: Indianen in de V.S. en Canada, Aboriginals in Australië, Touareg in Niger en Namibiërs.

Hoofdstuk 3. Stralingsbronnen.

A. Natuurlijke achtergrondstraling.

De achtergrondstraling op aarde verschilt van plaats tot plaats. In Nederland wordt gerekend met 170 millirem per jaar. Tot deze 'achtergrondstraling' dragen bij: de straling van de zon en de kosmos en die van langlevende radioactieve stoffen in de aardkorst en in organismen zelf. De rem is een maat voor de hoeveelheid, ten gevolge van straling ontvangen energie, waarin het biologische effect van de stralingssoort is betrokken.

Een belangrijk onderzoek naar de gezondheidseffecten van lage doses ioniserende straling werd gedaan door dr. Alice Steward, waardoor het aantal röntgen-foto's van kinderen-in-utero drastisch werd beperkt. Dit onderzoek uit 1955 wees uit, dat moeders van kinderen die aan kanker waren overleden kort vóór de bevalling waren blootgesteld aan röntgenstraling. Er waren enkele foto's gemaakt om de ligging van de baby te controleren. Deze lage stralingsdoses hadden een merkbaar effect op de sterfte aan kanker bij deze kinderen.

In de recente geschiedenis zijn er verschillende onderzoeken geweest naar het effect van achtergrondstraling in gebieden van verschillend niveau. De eerste onderzoeken waren in de V.S. en er werd geen verschil geconstateerd tussen het hoger gelegen Denver en lager gelegen kustgebieden. Een later in Japan gehouden onderzoek door dr. Ujeno bleek wel een verschil op te leveren. Deze onderzoeker bekeek alle sterfgevallen aan kanker bij personen boven de veertig jaar. Hij bracht ze in verband met tien verschillende niveaus van achtergrondstraling.. Hij ontdekte zo een stapsgewijze correlatie tussen deze late kankersterfte en de achtergrondstraling, voor vrouwen zowel als mannen. Dit effect blijkt nauw in overeenstemming te zijn met de resultaten van Steward en Kneale uit 1970 naar aanleiding van de effecten van prenatale röntgenbestraling. (2)

B. Door de mens veroorzaakte ioniserende straling.

Men kan een onderscheid maken in de vier volgende groepen:

1. Het delven van uraan heeft tot gevolg dat stoffen zoals Thorium-232, Radium-226 in de steenbergen achterblijven en door erosie over grote oppervlakten van de aarde verspreid worden.
2. Het versplijten van uraan.
3. Door elektrische opwekking van ioniserende straling voor doorlichting van mensen en objecten.
4. Door het 'beschieten' van kernen met snelle deeltjes zoals alfa-deeltjes en neutronen in laboratoria en industrie.

ad 1. Het delven van uranium veroorzaakt tevens het vrijkomen van alle vervalproducten tot lood die alle radioactief zijn en alfa en/of beta straling uitzenden. De mijnbouwmaatschappijen hebben nooit veel moeite gedaan deze stoffen

af te schermen, waardoor veel mensen besmet worden. De toename van kanker en afwijkingen bij pasgeborenen is rondom uraniummijnen significant. (3). Over de risico's van uraniummijnwerkers verscheen in september 1982 een rapport van de Atomic Energy Control Board in Canada. Hieruit blijkt dat jarenlang mensen welbewust het slachtoffer zijn gemaakt van de nucleaire industrie, een facet dat veelal in de discussies over kernbewapening en het 'vreedzame' gebruik van kernenergie wordt verdrongen. Grote gebieden in Canada, de V.S., Australië, Niger, Namibië, Tsjecho Slowakije, Oost-Duitsland en Zuid-Frankrijk zijn 'opgeofferd' aan de uraniumwinning.

Recente meteorologische omstandigheden brachten woestijnzand uit de Sahara naar ons land. Volgens de Franse regering was dit zand radioactief zonder erbij te vermelden waarvan dit dan afkomstig was. Er werd wel bij verteld dat er geen gevaar voor de volksgezondheid was. (Volkskrant 9 mei 1988).

Er zijn twee hypothesen over de oorsprong van dit radioactieve zand:

- 1. Uit Algerije waar Frankrijk in de 60'er jaren atoomproeven verrichtte.
- 2. Uit Niger waar Frankrijk al sinds tientallen jaren uranium delft.

Het Rijksinstituut Volksgezondheid en Milieuhygiëne (RIVM) in Bilthoven zal dit gaan onderzoeken. De populatie in de gebieden waar de kernproeven zijn verricht en waar uranium wordt gedolven wordt continu blootgesteld aan radioactieve deeltjes die hierbij vrijkomen. De gezondheid op langere termijn is nooit in de kalkulaties van regeringen en industrie van belang geweest.

ad 2. Het versplijten van uranium.

Met behulp van neutronen met hoge snelheden kunnen de kernen van uranium-235 worden gespleten, waardoor een enorme hoeveelheid energie vrijkomt. Het uranium-235 is het enige element dat in de natuur voorkomt dat spontaan kan splijten als het een bepaalde massa heeft. Die massa heet dan 'kritische massa'. In eerste instantie werden de ontdekkingen van Hahn, Strassman, Halban, Joliot, Kowarski en Fermi gebruikt voor militaire doeleinden wat resulteerde in de vernietiging van Hiroshima en Nagasaki. De 'vreedzame' toepassingen zijn daardoor altijd een achteraf-legitimatie gebleven van de militaire belangen. De produktie van plutonium voor de ontwikkeling van modernere kernwapens vindt dan ook voornamelijk plaats in de civiele kern- en kweekreactoren. Het is dan ook juist daarom dat de veiligheidseisen van ondergeschikt belang zijn in de keuze van het reaktortype. Belangrijker was en is bij kernenergiecentrales of zij voldoende plutonium produceren. De relatief onveilige grafietreactor in Tsjernobyl is daarvan een typisch voorbeeld. Door de brand in de grafietkern is naast duizenden splijtingsprodukten ook plutonium (de schattingen lopen uiteen: 50 tot 500 kg) in de lucht over grote gebieden van Europa verspreid.

ad. 3. Elektrische opwekking van ioniserende straling.

Röntgen en Thomson experimenteerden a.h. einde van de 19^e eeuw met kathodestraalbuizen. Röntgen ontdekte dat de wand die door de kathodestraal werd getroffen een merkwaardige straling uitzendt.

Deze wand werd geactiveerd door snelle elektronen en zond dan elektromagnetische straling uit met een zeer geringe golflengte van 10^{-9} tot 10^{-11} meter, de z.g. Röntgenstraling.

Hiermee was Röntgen in staat via een fotografische plaat skeletfoto's te maken. Echter een nadeel is, dat de straling ook uit het bestraalde object elektronen vrijmaakt.

Momenteel wordt nog veel gebruik gemaakt van Röntgentoestellen.

ad 4. Het beschieten van kernen met snelle deeltjes.

Vóór de 2^e wereldoorlog werd uitsluitend gebruik gemaakt van natuurlijke radionukliden zoals radium-226 in de kankertherapie. Radium geeft alfa-straling en moest in de te bestralen tumor worden ingebracht vanwege het geringe doordringingsvermogen van de alfadeeltjes. Men heeft radium ook wel per injectie toegediend, echter door de ophoping in het bot kregen de behandelde patienten later allerlei tumoren in het bot.

Nu kan men kunstmatig radionukliden bereiden en men kan in de handel een keuze maken tussen vele tientallen radionukliden uit experimentele kernreactoren en cyclotrons. De beschieting van kernen met neutronen of met versnelde alfadeeltjes heeft tot gevolg dat normaal niet-radioactieve kernen 'aangeslagen' worden en radioactief zijn. Meestal zenden deze 'aangeslagen' kernen zowel bèta als gamma straling uit.

In de praktijk maakt men gebruik van "gammaspectrometrie" om sporen verontreiniging zichtbaar te maken in een groot aantal stoffen waaronder silicium voor halfgeleiders (de zg. 'activeringsanalyse') Ook kan men met deze methode de ouderdom bepalen, sporen van gebruikte materialen in talloze voorwerpen. De vele kunstmatige radionukliden worden toegepast op allerlei wijzen. De laatste tijd is er echter wel een kentering in het denken over deze radioactieve stoffen te bespeuren. Veel wetenschappers willen het gebruik ervan beperken tot gevallen waarin van onvervangbaarheid en uitzonderlijk nut kan worden gesproken.

In laboratoria en ziekenhuizen maakt men zich druk over frakties van Curies, als die vrijkomen, in kernenergiecentrales hopen zich miljarden Curies op, allemaal aangeslagen kernen en kunstmatige radionukliden, om maar niet te spreken over de moedwillige kernexplosies die op of onder de grond plaatsvinden.

Hoofdstuk 4 Enkele medische aspecten van ioniserende straling.

Het is m.i. het beste om de indeling van hoofdstuk 3 opnieuw te gebruiken omdat analoog aan het vorige hoofdstuk de medische aspecten kunnen worden beschreven.

A. Vóór de ontdekking van de radioactiviteit zijn ongetwijfeld vele mensen door de natuurlijke vervalprodukten van uranium ziek geworden. Iets wat tot de dag van vandaag doorgaat. Door erosie worden deze stoffen zeer diffuus over het aardoppervlak verspreid en door opname in de voedselketen komen zij uiteindelijk bij de mens terecht. Het 'toeval' bepaalt dan of iemand een stralend thorium-deeltje inademt of opeet. Door bestraling van één of enkele celkernen kan dan een maligniteit ontstaan. Misschien kunnen een aantal gevallen van kanker hierdoor worden veroorzaakt. Het betreffende stralende deeltje wordt natuurlijk nooit gevonden. Wat wel zeker is dat in het verleden het aantal stralende deeltjes, en daardoor ook de kans dat zij in het menselijke lichaam belanden, veel geringer was dan nu het geval is.

Deze vermeerdering wordt veroorzaakt door o.a. de uraniummijnbouw, die enorme radioactieve steenberggen achterlaat (zie hoofdst. 3-B). Ook de atoomproeven uit de 50^{er} en 60^{er} jaren zijn verantwoordelijk voor die verhoging en natuurlijk ook de ongelukken die plaatsvonden in atoomenergieinstallaties.

Het hiervoor genoemde rapport van de Canadese Atomic Energy Control Board (4) spreekt van een significante verhoging van longkanker bij mijnwerkers en zeker als zij roken: minimaal 130 per duizend. Het rapport noemt op pag. 94 een proef met ratten: drie groepen werden blootgesteld aan resp. aerosole radondochters, aerosole radondochters plus sigarettenrook en enkel sigarettenrook. Het percentage longkankergevallen was bij deze ratten resp. 17, 32 en 0%.

Hieruit volgt dat sigarettenrook een synergistisch effect heeft.

Mijnwerkers worden echter niet enkel blootgesteld aan radon-gas en sigarettenrook, ook dieseldampen en stof spelen een rol. Het rapport noemt nog meer synergistische stoffen zoals ioniserende of ultraviolette straling, oestrogenen, haematite, cerium, methylcholonthrene, nitroquinoline, cortisone, urethaan en dimethyl benzathraceen.

In Jachymov in de Bohemen werd in 1516 zilver gedolven en sporadisch andere metalen. In de laatste helft van de 19^e eeuw werd uranium gedolven voor het gebruik als verfkleurstof. Pas begin deze eeuw werd radium het primaire doel. Het feit dat mijnwerkers in het Erzgebirge (Bohemen en Sachsen) vaak stierven op relatief jonge leeftijd met symptomen van longbeschadiging was bekend en toenmaals beschreven door Agricola in 1550. (G. Agricola, de Res Metallica, Basel, 1556)

In 1879 bewezen Harting en Hesse dat het probleem in Sachsen voornamelijk die van maligne tumoren van de longen was. (F.H. Harting en W. Hesse, Vierteljahrsschrift für gerichtl. Med. u. öffentl. Gesundheitswesen (NF) 30,296,1879)

De mijnwerkers van Jachymov leden aan een ziekte die "Bergkrankheit" werd genoemd. Ondanks dat werd aangetoond dat in Sachsen de ziekte bestond uit longtumoren werd het verband in Jachymov met deze ziekte niet gelegd. Het was pas in 1926 toen bij een Radium-werker in Jachymov bij obductie werd bewezen dat deze man aan longkanker leed. Meer gevallen werden bestudeerd in de periode 1928-'29. Een rapport werd in 1932 door Pirchan en Sikl gepubliceerd. Hierin werd gediskussieerd over de oorzaak van de hoge incidentie van longkanker bij 19 mijnwerkers die in de periode 1929-'30 gestorven waren. Bij 13 van de 19 werd autopsie verricht en daarvan waren 9 met maligne longtumoren. Er werd toen gediskussieerd over de mogelijke oorzaken: chemische analyses gaven geen abnormale hoge arsenicum, Bi, Co, Ni of U-concentraties. Er werd gesuggereerd dat Radon de meest waarschijnlijke oorzaak was. Dit hing samen met het feit dat de ontdekking van een rijke uranium-ader altijd na een paar jaar gevolgd werd door een hoge sterfte onder de mijnwerkers. (A. Pirchan en H. Sikl, Am. J. Cancer 16, 681)

In 1935 vond Large dat in Schneeberg in Sachsen longkanker 60-70% uitmaakte van de sterfgevallen bij mijnwerkers en ex-mijnwerkers. Hij stelde ook dat het vóórkomen van kanker in streken met hoge radiumvoorkomens drie keer zo hoog is dan in streken met lage voorkomens van radium.

William F. Bale schreef op 14 maart 1951 een memorandum over de gevaren die samengaan met Radon en Thoron. Om één of andere reden werd deze studie pas in juni 1980 gepubliceerd in 'Health Physics' Hierin komen de gevaren van Uraniumdelven duidelijk naar voren. De AEC (Atomic Energy Commission) hanteert bepaalde veiligheidsnormen die in de praktijk worden overschreden met een factor 190. Volgens het New York Operations Office is de AEC norm 1 maal 10^{-11} Curie radon per liter lucht; in uraniummijnen is de radonconcentratie vaak meer dan 19 maal 10^{-10} Curie per liter lucht.

Bale schreef ook dat de oorzaak van longkanker was gelegen in het feit dat 'radon-dochters' in de grote bronchiën bleven steken waardoor zij in de korte halfwaardetijd de bronchiën bestralen. (W.F. Bale, ongepubliceerd 1951; herdruk in Health Physics 38, 1061-66, 1980)

In de uraniummijn zijn de voornaamste schadelijke stoffen die uit de vervalreeksen van uranium²³⁸ en thorium²³². De mijn is weliswaar meestal opgezet ter winning van uranium²³⁵, maar dit maakt maar een heel klein deel uit van het uranium (0,3%). Dus wat betreft de belangrijkheid als ziekteverwekkers zijn thorium²³² en uranium²³⁸ de moeite waard om de vervalreeksen te vermelden op de volgende pagina.

THORIUM - REEKS

Thorium ²³²		
	alfa	1,4x10 ¹⁰ jaar
Radium ²²⁸		
	bèta	6 jaar
Actinium ²²⁸		
	bèta	6,1 uur
Thorium ²²⁸		
	alfa	1,9 jaar
Radium ²²⁴		
	alfa	3,6 dagen
Radon ²²⁰		
	alfa	54 sec
Polonium ²¹⁶		
	alfa	0,16 sec
Lood ²¹²		
	bèta	10,6 uur
Bismuth ²¹²		
	bèta+alfa	1 uur
Polonium ²¹²		
	alfa	0,3 microsec.
Thallium ²⁰⁸		
	bèta	3,1 min
Lood ²⁰⁸		
	stabiel	

URANIUM - REEKS

Uranium ²³⁸		
	alfa	4,5x10 ⁹ jaar
Thorium ²³⁴		
	bèta	24 dagen
Paladium ²³⁴		
	bèta	1,2 min.
Uranium ²³⁴		
	alfa	2,5x10 ⁵ jaar
Thorium ²³⁰		
	alfa	8x10 ⁴ jaar
Radium ²²⁶		
	alfa	1620 jaar
Radon ²²²		
	alfa	3,8 dagen
Polonium ²¹⁸		
	alfa	3 min.
Lood ²¹⁴		
	bèta	27 min.
Bismuth ²¹⁴		
	gamma+	
	bèta	160 microsec.
Polonium ²¹⁴		
	alfa	22 jaar
Lood ²¹⁰		
	bèta	5 dagen
Bismuth ²¹⁰		
	bèta	138 dagen
Polonium ²¹⁰		
	alfa	
Lood ²⁰⁶		
	stabiel	

Radon en Thoron (=Radon²²⁰) zijn beide gassen die ingeademd kunnen worden. De halfwaardetijden zijn kort tot extreem kort (resp 3,8 dgn. en 54 sec.) Men heeft gevonden dat deze stoffen zelf niet verantwoordelijk zijn voor de stralingsbelasting van de bovenste luchtwegen, echter wèl de vervalprodukten polonium-218 en polonium-216 en lood-212 die in de longen worden gevormd en achterblijven.

De Radon-concentratie in een mijn kan worden gemeten met een z.g. "Lucas-kamer". De Radon-dochters worden erui^tgehaald met een filter vóór de lucht uit de mijn de L-kamer binnenkomt. Radon is een inert gas.

De Lucas-kamer is van binnen bekleed met ZnS uitgezonderd één kant waar de scintillatiedetector is aangebracht. De alfa-aktiviteit bereikt na enige uren een evenwicht tussen radon en de radon-dochters zodat de aktiviteit meetbaar geworden is. De gevoeligheid van 10 pCurie/l is makkelijk haalbaar en tot 1 pCurie/l is mogelijk. De diverse meetmethoden vallen buiten het bestek van deze scriptie. Het is wel van belang ze te noemen.

- a. normaal is de straling te meten m.b.v. fotochemische reacties, reacties op kristallen of via latente afdrucken op Röntgen film, in de medische praktijk. Dit geldt dan vooral voor straling gedurende een langere periode.
- b. de overlevenden van de afworp van atoombommen op Hiroshima en Nagasaki zijn door speciale medische teams onderzocht en hebben een bekende hoeveelheid direkte straling opgelopen. (te berekenen via de afstand vanaf het ~~detonatie~~ detonatie-nulpunt, de mate van afscherming en de hoeveelheid afgegeven gamma en neutronenstraling) Er zijn zo ongeveer 80 000 overlevenden onderzocht. De onzekerheid over de opgelopen hoeveelheid neutronenstraling geeft echter aan deze onderzoeken een niet-wetenschappelijk verifieerbaar trekje.
- c. interne straling door radium en thorium agv. van alfa-emissie gaat via fysiologische modellen die men enige tijd deze stof laat opeten of inademen. Veel onzekerheden zijn nog steeds onderwerp van discussie: hoeveel blijft achter in het lichaam en hoeveel verlaat het lichaam via excreties? In de praktijk blijkt alleen te voldoen: het volgen van gecontamineerde personen en na hun dood: autopsie en na verbranding van de diverse (tumor) weefsels: meten van de radioaktiviteit van de as.
- d. de eerder besproken Lukas-kamer.
- e. de Kusnetz methode voor de meting van de straling van de Radon-dochters op het filter van de Lucas-kamer.
- f. de alfa-spectrometer voor meer informatie over Radon- en Thorondochters.
- g. persoonlijke dosimeters- pomp-en filtersystemen.
Nieuwe methode: permanent geladen electrets (Ko 81)
- h. werknivols per maand (WLM) = working level months.
In de uraniummijn: de bekende hoeveelheid straling geïntegreerd in de hoeveelheid tijd die wordt doorgebracht op specifieke (meet) plaatsen in de uraniummijn door de mijnwerkers.

Eigenlijk pas sinds 1951 is gerealiseerd dat Radon-dochters de primaire gevaren waren en als zodanig gemeten worden. Over de meetmethoden wordt nog steeds gediscussieerd omdat de mijnbouwirma's altijd lage nive's van straling door Radon-dochters meten en de mijninspekteurs van federale oorsprong in Canada en de V.S. slechts sporadisch en dan nog de hoogst vindbare concentraties opmeten. Echter na 1960 werden de cijfers van de mijnbouwirma's lager omdat men bang was voor aktie van de NRC (Nuclear Regulatory Commission) (4)

B. Medische aspecten van het versplijten van uranium en plutonium.

Meer en meer mensen komen sinds de ontwikkeling van de atoombom en de kerncentrale in aanraking met radioactieve isotopen, terwijl die eigenlijk alleen tot puur medische en wetenschappelijke onderzoeken beperkt zouden moeten worden. Het gebruik van radioactieve isotopen in de laboratoria en de ziekenhuizen is altijd met de grootst mogelijke zorg omkleed. Echter de risico's worden groter naarmate er meer van die stoffen worden geproduceerd. Voor de tweede wereldoorlog werd slechts gebruik gemaakt van natuurlijke isotopen: bij het verlies van een geringe hoeveelheid Radium stond het wetenschappelijke wereldje op z'n kop. Nu zijn op talloze plaatsen ongevallen en bijna-ongevallen te betreuren terwijl niemand ervan ópkijkt. Pas als het gaat om vele doden zoals in 1987 in Goiania (zie hoofdst. 2) besteedt men er aandacht aan. Het is ook onbekend hoeveel van deze onstabiele kernen in het riool, de zee en in de lucht geloosd worden. De verschillende normen die over de wereld worden gehanteerd maken een discussie over dit onderwerp bijna onmogelijk. Na de grote ongevallen in Windscale, Tsjeljabinsk en Tsjernobyl en door de konstante emissies van kernenergiecentrales (o.a. Tritium en Krypton) dreigt een berusting te ontstaan: wat helpt het, die stralingsnormen, buiten het laboratorium of ziekenhuis is alles radioactiever dan erin.

Bij de rampen met nukleaire installaties zijn honderdduizenden Curies van onbekende en onkontroleerbare aard in de atmosfeer terechtgekomen. De gevolgen op langere termijn zijn grotendeels onbekend.

C. Medische aspecten van elektrisch opgewekte ioniserende straling.

(Snelle) elektronen kunnen Röntgenstraling vrijmaken uit elke soort materie waarmee zij in botsing komen. Omgekeerd kunnen Röntgenstralen elektronen vrijmaken uit elke soort materie. De Röntgendiagnostiek maakt voor de westerse mens ongeveer 1/5 van de totale stralingsbelasting uit, dus een aanzienlijk deel. Alice Steward, van oorsprong huisarts ontdekte dat bij Engelse kinderen met kanker de helft van de ziektegevallen was veroorzaakt door bestraling voor de geboorte. Kankerinductie door straling vóór en vlak na de geboorte bleek een extreem hoge waarde te bereiken in contrast met latere perioden in het leven.

Mancuso, Steward en Kneale komen op basis van de Hanford-gegevens (Hanford: fabrieken van nukleaire onderzeeërs in de V.S.) tot een schatting van het kanker-risikó die vele malen hoger ligt dan de onderzoeksgegevens uit Hiroshima.(5) Er blijkt dus vóór 1977 en nu nog een veel te optimistische visie te zijn wat betreft het verband tussen straling en kanker. Het resultaat hierdoor is dat in ziekenhuizen veel te veel Röntgenonderzoek wordt en werd gedaan zonder te letten op de risico's op langere termijn.(6)

Volgens Dr. Alice Steward zijn er 3 punten van kritiek op de verkregen stralingsgegevens van de atoombomslachtoffers uit Hiroshima en Nagasaki:

a-- men heeft niet in overweging genomen dat er tussen 1945 en 1950 een selectie op sterke personen heeft plaatsgevonden

b-- men heeft alleen de externe bestraling in beschouwing genomen, en niet de interne door de diverse ingeademde isotopen en het besmette voedsel.

c-- de omstandigheden van bestraling na atoombomontploffingen (een hoge dosis ineens) verschillen radikaal van de omstandigheden waarvoor risico's geschat moeten worden (lage dosis, uitgesmeerd over langere tijd).

D. Medische aspecten van ioniserende straling opgewekt door beschieting van kernen met snelle deeltjes.

In steeds meer onderzoekslaboratoria komen de z.g. 'deeltjesversnellers' te staan. Deze 'versnellers' worden zo genoemd omdat d.m.v. elektromagnetische krachten of kernsplijtingsreacties deeltjes (alfa of neutronen) zo worden versneld dat zij in staat zijn kernen te splijten of radioactief te maken.

De meest z.g. 'kunstmatige radionukliden' zenden zowel bèta als gamma straling uit. De activiteit van b.v. bèta-straling varieert van stof tot stof, dus ook de doordringingsdiepte varieert. Deze energie drukt men uit in elektron Volts. Een 'zachte' bèta-straler is Tritium met een activiteit van 18,6 k.eV. Een 'harde' bèta straler is Yttrium-90 met een activiteit van 2,27 mega eV. Bèta-straling is eenvoudig tegen te houden, echter gammastraling niet. In veel laboratoria en ziekenhuizen moet men rekening houden met extra straling a.g.v. de radionukliden die gammastraling produceren in de cyclotrons en versnellers. Vaak worden uit kostenoverwegingen onvoldoende stralingsbeschermende maatregelen getroffen, waardoor personeel en patienten te veel straling oplopen, in ieder geval meer dan strikt noodzakelijk.

Gammafotonen dragen geen elektrische lading i.t.t. alfa en bèta deeltjes en worden daardoor minder duidelijk afgeremd. De afscherming tegen gamma stralen is daarom problematisch: meters beton en staal limiteren slechts de hoeveelheid straling tot een 'aanvaardbaar' minimum. De 'aanvaardbaarheid' wordt meestal bepaald door economische motieven en niet door medische en/of ethische. Er is geen scherp onderscheid tussen gamma- en Röntgenstralen waardoor voor Röntgenstraling hetzelfde probleem geldt: afscherming.

Echter de energie van gammakwanta is meestal groter dan die van Röntgenkwanta..

De halveringsdikte van de afscherming is verschillend voor de te onderscheiden stralingsenergieën. Om de stralings-energie van 1 MeV. gamma tot $1/10^6$ te reduceren moet men een betonwand van 1 m. dikte oprichten of een loodwand van 20 cm. dikte. Bij versnellers worden vaak gamma-kwanta met veel hogere energieën opgewekt, men heeft derhalve soms vele meters beton nodig om deze straling tot 'aanvaardbare' minima te reduceren. Vele stralingstoestellen die Röntgen- of gamma straling opwekken hebben geen meter beton of 20 cm, lood, waardoor de werkers met die apparatuur en de zaalgenoten van de intensive care waar vaak foto's worden gemaakt veel onnodige straling oplopen. (7)

KONKLUSIES

Dit kleine onderzoekje in de literatuur over de medische aspecten van ioniserende straling is verre van volledig, vandaar het woord enkele.

Het was moeilijk een keuze te maken uit de enorme hoeveelheden publikaties die over dit onderwerp bestaan. Daarom heb ik mij beperkt tot de onderwerpen waar niet zoveel over gediskussieerd worden: uraniummijnbouw en de twijfelachtige normen die men heeft gëdestilleerd uit het onderzoek van de atoombomslachtoffers in Hiroshima (Hibakusha: Hi=lijden; Baku=bom; Sha=mens).

Een voorzichtige konklusie is wel dat de 'wetenschap' te snel de nieuwe mogelijkheden van het gebruik van ioniserende straling heeft omhelsd, zonder zich rekenschap te geven van het feit dat vele van de kunstmatige stoffen duizenden tot miljoenen jaren hun radioactiviteit behouden; met ander woorden: er wordt een dubieuze erfenis met veel potentiële gevaren doorgegeven aan evt. toekomstige generaties. De radioactieve stoffen zullen in toenemende mate deel gaan uitmaken van de biosfeer, en dat met grotendeels onbekende effecten.

Heel vaak is de nukleaire industrie veel te voortvarend met het introduceren van nieuwe methoden. Een voorbeeld hiervan is een persoonlijke ervaring: in de 50^{er} jaren stonden in elke zich respekterende schóenenwinkel doorlichtingsapparaten waarmee je zo mooi kon zien of je nieuw gekochte schoenen wel goed pasten. De schrijver van dit werkstuk ging onderweg naar de lagere school vele malen 'botjes kijken'. Vandaar misschien de belangstelling voor de medische wetenschap. Het gevolg van dit 'botjes kijken' laat gelukkig nog op zich wachten. Nu dreigt in Nederland algehele voedselbestraling te worden ingevoerd. Het is echter allerm minst zeker of dit ónschadelijk is. In de BRD is elke vorm van voedselbestraling verboden en dat is niet zonder reden. Al in het begin van deze eeuw werd gevonden dat (gamma- en) Röntgenbestraling ionisaties veroorzaakt in de oppervlakken en voorwerpen die door de straling werden getroffen. Het is bekend dat gammabestraling waardevolle vitamines vernietigt in het voedsel zoals vit. A, B, C en E. De chemische veranderingen die het voedsel ondergaat zijn nog nauwelijks onderzocht en het effect van die ionenverschuivingen op de mens helemaal niet. Bovendien zijn de stralingsbronnen die gebruikt worden meestal cesium-137 waar in Goiânia in Brazilië al ervaring mee opgedaan is. Het cesium is bovendien afkomstig uit de kernwapenindustrie, die zodoende een steuntje in de rug krijgt.

Wat betreft de nukleaire wetenschap is het mij wel duidelijk geworden: het is als iemand die in een stikdonkere nacht een ladder op het ijs voor zich uitschuift en er dan zelf opkruipt zonder te weten hoe dun het ijs is onder de ladder en of er wel ijs is.

Literatuurlijst

1. Chemical Philosophy Part I by John Dalton 1808.
2. Risico's van lage stralingsdoses-hearing IMGO regionale ontwikkeling Middelburg 1980 blz. 61; dr Alice Steward
3. Marx J.L., Science 204 - 13 april 1979: 160-164, Low level radiation: Just how bad is it?
4. Risk estimates for the health effects of alfa radiation Duñcan C: Thomas en K.G.McNeill Atomic Energy Control Board Ottawa, Canada. september 1982.
5. Radiation exposure of Hanford workers dying from cancer and other causes, Steward, Kneale en Mancuso Health Physics, vol 33 nr5, pp. 369-384.
6. X-ray exposure and premature aging, Journal of surgical oncology, 9 pp. 379-391 (1977)
7. Nucl eaire geneeskunde, prof. dr. Ephraïm, Stafleu 68 1972 blz 20-22.

Leukemie en lage dosis straling 1979 S.C.J. van Schaardenburg

Energie uit atoomkernen prof. dr. J.D. Fast(1980) N & T Maastricht

Biologie en kernenergie W. van Raamsdonk e.a. 1980 van Gennepe

Volkskrant 6 februari 1988 Volkskrant 9 mei 1988

Hiroshima: Menschen nach dem atomkrieg DTV 1983

Straling, mag het ietsje meer zijn? Els de Groen Aktie Strohalme

De atoomstaat Robert Jungk 1983 Elsevier Focus.

Bedrijfsgeneeskundige aspecten van ioniserende straling
coronel laboratorium universiteit van Amsterdam.