

Stralingsnormen kunnen veel ruimer. Van Alara naar Ahars: As High as Reasonably Safe.

Prof. Dr. Wade Allison,
Em. Oxford, fysica



Dit is het mooie snuitje van de 10-jarige Ayaka uit Fukushima. Leuk heeft ze het niet: bij de tsunami verdween het huis van haar ouders en opa ging mee ten onder. Nu woont ze ergens anders en krijgt dagelijks te horen dat ze voortdurend in levensgevaar is vanwege de straling die wel 20 keer hoger is dan normaal! Haar vader heeft een geigerteller gekocht en nu mag ze nog maar een half uurtje per week buiten spelen en alleen op het asfalt, want op het gras is de straling te hoog. Ayaka groeit op in angst. En waarvoor? Volgens de metingen van haar vader straalt het asfalt 0.8 microsievert per uur. Dat beschouwen ze als gevaarlijk, en de officiële stralingskundigen moedigen dat aan: je moet altijd streven naar straling op zo laag mogelijk niveau. 'Alara' heet dat beleid. Ja, jammer dat zo'n snuitje de komende 70 jaar in ontzette doodsangst zal slijten, maar hey, being green means never having to say you're sorry.

Want die doodsangst van Ayaka IS ontzette. Zij is geen slachtoffer van te veel straling, maar van de media, de actievoerders, de ambtenarij en vooral de 'deskundigen', die via het Alara-beleid de mythe in stand houden dat één extra millisievert per jaar de gezondheid bedreigt, maar die tevens weten dat bij een kankertherapie een stralingsdosis wordt gegeven van *tienduizenden* millisievert en dat de patiënt daarna mag verwachten nog jaren in redelijke gezondheid te leven. De Alara-experts zwijgen als eerst in Tsjernobyl en nu weer in Fukushima een paar extra millisievert een complete maatschappij ontzette en de toekomst van de jeugd smoren in

doodsangst. Emeritus professor dr Wade Allison (fysica, Oxford) stelt een nieuw systeem voor: in plaats van te streven naar zo min mogelijk straling moet er een beleid komen dat de straling alleen beperkt wanneer deze gevaarlijk wordt: Ahars: As High As Reasonably Safe. En dat levert heel andere waarden op.

Overzicht

Het is niet moeilijk om de voor- en nadelen van kernenergie op een rijtje te zetten: we hebben kernenergie nodig, maar mensen zijn er bang van. De noodzaak om fossiele brandstoffen te vervangen met een ander krachtige bron wordt algemeen begrepen en de veiligheid van kernenergie is al vele malen aangetoond. Reactoren vernietigen vooral zichzelf tijdens kernongevallen, de impact op de menselijke gezondheid is minimaal. Bijvoorbeeld, bij Fukushima is er geen sterfgeval geweest noch moest iemand langdurig in een ziekenhuis opgenomen worden ten gevolge van straling. Dat valt in de komende 50 jaar ook niet te verwachten.

De redenen voor de angst voor straling zijn instinctief en historisch. Het is natuurlijk om bang te zijn voor iets dat zo krachtig is en onzichtbaar tegelijkertijd, en de erfenis van de Koude Oorlog met zijn kernwapens heeft daar alleen maar toe bijgedragen. Hoewel het publiek matig tot hoge doses straling accepteert bij ondermeer kankertherapie, zijn de *niet-medische* internationale veiligheidsnormen extreem scherp gesteld teneinde aan de publieke bezorgdheid tegemoet te komen, en staan bekend als Alara 'As Low As Reasonably Achievable'. Maar de moderne biologie en de geneeskunde hebben laten zien dat er geen schade te verwachten is van 1000 maal hogere stralingsniveaus en realistische veiligheidsnormen zouden daarom gesteld kunnen worden uitgaande van AHARS: 'As High As Reasonably Safe', zo hoog als relatief veilig. De lokale schade aan de volksgezondheid en de sociale economie als gevolg van de huidige toepassing van het ALARA-beginsel in Tsjernobyl en Fukushima zijn zeer ernstig en positieve gevolgen zijn er niet. Globale schade aan de toekomstige perspectieven voor kernenergie kan worden vermeden. Het publieke vertrouwen in kernenergie moet via een voorlichtingsprogramma op alle niveaus worden herbouwd op de bestaande acceptatie van gunstige klinische stralingsdosis. Wetenschap, niet het resultaat van een juridisch geschil of een politieke stemming moet de basis vormen voor radiologische veiligheid en het besef daarvan. De internationale autoriteiten (ICRP, UNSCEAR en IAEA) zouden hun beleid moeten aanpassen en zich richten op werkelijke gevaren, van ALARA tot AHARS en er zo voor zorgen dat de wereld zijn angst verliest voor een economische toekomst zonder schade aan het milieu.

Introductie

Een krachtige gigant als kernenergie zal, hoe goedaardig ook, met angst worden benaderd vooral bij een eerste kennismaking zonder enige introductie. Kernenergie is om kwantum fysieke redenen zo'n reus - een miljoen maal krachtiger dan chemisch vuur. Kernenergie kwam in 1945 zonder waarschuwing vooraf in de wereld, dus het is weinig verbazingwekkend dat het publiek wantrouwig en afwijzend reageerde. Deze houding is echter niet gerechtvaardigd door de huidige kennis. Verder is kernenergie nodig als koolstof-vrije milieuvriendelijke energiebron die grootschalig beschikbaar is. Afgezien van de noodzaak van een uitgebreide voorlichting kleven er geen nadelen aan deze energiebron.

Kernenergie is op twee verschillende manieren bijzonder veilig: op een fysieke en op een biologische wijze. De kernkrachten zijn zo goed verborgen dat het tot 1896 duurde alvorens deze

enorme energiereserve werd ontdekt. De mate van biologische veiligheid wordt steeds beter begrepen. In de afgelopen 60 jaar is er een aantal kernongevallen geweest en daarbij bleken de reactoren zichzelf te vernietigen. Maar hoewel de publieke reactie hierop steeds heviger werd is het aantal stralingsdoden beperkt gebleven tot de 50 die er bij Tsjernobyl vielen. Bij Fukushima vallen geen sterfgevallen te verwachten, ook niet in de komende 50 jaar. Dat zo'n krachtig fenomeen zo weinig invloed heeft op het menselijk leven laat zien hoe bijzonder deze fysieke en biologische bescherming is.

Persoonlijk intermezzo

Geboren in april 1941 ben ik een kind van het nucleaire tijdperk, hoewel ik nooit gewerkt heb voor de nucleaire industrie, commerciële nutsbedrijven of de overheid. Mijn zorg als academicus is geweest om de fysieke wereld te begrijpen door middel van experimenten, wiskundige berekening en computersimulatie. Ik heb in de afgelopen 40 jaar les gegeven over de meeste onderwerpen in de fysica en de toepassing ervan, vooral over straling, nucleaire en medische fysica. In 2006 publiceerde ik *"Fundamental Physics for Probing and Imaging"*, over medische beeldvorming, radiotherapie en veiligheid en andere zaken.

Door gesprekken met radiologen en anderen groeide bij mij de bezorgdheid over de discrepantie tussen de straling die met de grootste zorgvuldigheid in de klinische geneeskunde wordt toegediend en de straling die vanuit de milieuwereld als verboden en gevaarlijk gezien wordt terwijl de dosis daar duizend keer lager ligt. Hoe kon dit gebeuren? Een paar waarnemingen ter mogelijke verklaring.

- Weinig wetenschappers hebben een bereik van kennis die deze uitgebreide problematiek geheel omvat. Bij het stimuleren van specialisatie is de moderne wetenschappelijke educatie gefragmenteerd en maar weinig mensen kunnen daarom door de bomen het bos nog zien.
- Werknemers in de nucleaire industrie worden door de pers en de publieke opinie ervan verdacht dat ze niet eerlijk zijn omdat ze belang hebben bij kernenergie.
- De eerste plicht van een arts die met straling werkt is zijn patiënt gerust te stellen en hem/haar met een optimale dosis te behandelen. Bij een uitgebreide behandeling van allerlei risico's zou de patiënt de behandeling wellicht kunnen weigeren.
- In 60 jaar tijds is er een succesvolle wereldwijde industrie ontstaan gericht op het onderdrukken van de publieke bezorgdheid over de nucleaire veiligheid, maar de professionals in deze bedrijfstak (tot wie politici en de media zich terecht voor advies wenden) zijn terughoudend om grote aanpassingen te overwegen - banen, status en carrière zijn in gevaar.
- De meeste leden van het publiek weten nagenoeg niets van straling en voelen zich ook niet aangetrokken tot het bestuderen van een onderwerp dat gezien wordt als intimiderend, vermijdbaar en onsmakelijk – en dat geldt vooral politici en journalisten die doorgaans geen wetenschappelijke achtergrond hebben.
- Een ambitieuze jonge wetenschapper die dit academische gevaarlijke veld binnentreedt met veel controversen en weinig stimulerende wetenschap, riskeert zijn of haar carrière.

Maar geen van deze beperkingen gold voor mij in mijn latere jaren. Zou ik een begrijpelijk verhaal over straling en de veiligheid daarvan kunnen schrijven? De wetenschap is niet al te uitdagend, maar het begrijpelijk maken ervan des te meer. In 2009 schreef ik met hulp van vele mensen het populaire boek *"Radiation and Reason: The Impact of Science on a Culture of Fear"*

In januari 2010 schreef Simon Jenkins er over in de Guardian:

"De proliferatie van nucleaire paniek is politiek het meest gruwelijke. Het risico van straling is overdreven. Sommige boeken zijn geschreven om gelezen te worden, anderen zouden met een kanon op de machthebbers moeten worden geschoten. Twee van dergelijke schoten, afkomstig van academici van beide kanten van de Atlantische Oceaan zijn zojuist langs mijn bureau gekomen. Beide gaan over het onderwerp van de irrationele angst voor straling. Het eerste boek, *Radiation and Reason*, is van een Oxford professor in de natuurkunde, Wade Allison. Het vertelt de geschiedenis en de aard van het nucleaire straling, afgesloten met een aanval op de obsessieve veiligheidsniveaus voor kernenergie. Die veiligheidseisen overschatten het werkelijke risico van kernenergie volgens Allison, met een factor 500 [sic], waardoor kernenergie onbetaalbaar wordt en de bestrijding van opwarming van de aarde in gevaar komt. De tweede is *Atomic Obsession* door John Mueller, hoogleraar politieke wetenschappen aan de Ohio State University. Mueller beschrijft de giftige angst geassocieerd met straling van nucleaire wapens. Het verstoort de balans van de internationale betrekkingen en maakt vijanden van vrienden. De boeken ondermijnen gezamenlijk de conventionele wijsheid over de twee grootste politieke uitdagingen van de dag, op het gebied van energie en defensie. Als zodanig zijn zij sensationeel. Zoals Allison en Mueller stellen: niets is zo krachtig als de politiek van angst, en er is geen angst zo blind als die welke afkomstig is van een bom en een dodelijke straal. Dus wat is de wetenschap aan het doen? De wereld is in de greep van een vooroordeel waar niets lijkt in staat om het te bevrijden."

Wat de wetenschap doet, inderdaad? Is het gelukt om mijn boodschap over te brengen?

In maart 2011 kwam Fukushima. Mijn boek was vanaf juli 2011 beschikbaar in het Japans, en ik bezocht het getroffen gebied in september om te spreken met artsen, leraren en leiders van de gemeenschap. De lessen van Tsjernobyl inzake communicatie met het publiek waarover de VN en de WHO hadden gepubliceerd, waren niet geleerd. De tragedie van de misbegrepen straling speelde zich wederom af met akelige gevolgen. De Japanse overheid had op de media paniek gereageerd door onnodige draconische maatregelen uit te vaardigen en daarbij zonder goede redenen het leed juist vergroot. Het resultaat was een Shakespeareaans drama met zijn verdachtmakingen, goede bedoelingen en totale misverstanden.

Fysieke nucleaire veiligheid in de natuur

Kernenergie is ondanks zijn enorme vermogen veel veiliger dan verwacht. Dat komt omdat elke kern geïsoleerde en celibatair leeft met zijn energie veilig vergrendeld - de kern van een atoom komt nooit bij de kern van een ander atoom. In feite is slechts ongeveer één kern op de miljoen veranderd sinds de aarde meer dan 5.000 miljoen jaar geleden werd gevormd, en dan nog alleen door radioactief verval¹. Elke kern wordt bijgehouden door een sterke elektrische kracht in het midden van het atoom en afgeschermd door een omhullende elektronische wolk die 100.000 keer zo groot is. Dus kernen worden voortdurend *verhinderd* hun energie vrij te geven. Alleen in het midden van de zon op een temperatuur van ongeveer 15 miljoen graden krijgt een kern

¹ Afgezien van wat beweging in het centrum van het atoom is het enige wat sommige kernen kunnen doen: draaien. De dynamiek van deze rotatie is de basis van MRI, voluit Nucleair Magnetic Resonance Imaging. Het voorvoegsel 'nucleair' wordt echter weggelaten als een misplaatste knieval voor mensen met angst voor straling.

genoeg energie om een andere kern te ontmoeten, en zelfs daar, gebeurt dat slechts om de paar miljard jaar. Voordat de aarde werd gevormd was er veel nucleaire activiteit en de overgrote meerderheid van de atomen om ons heen vandaag de dag werd toen gemaakt. Velen waren instabiel en zijn inmiddels vervallen. Hoewel dat lang geleden was hadden enkele uitzonderlijke isotopen zo'n lange levensduur dat ze er nog steeds zijn en zich ergens in hun vervaltraject bevinden, met name Uranium-235, Uranium-238, Thorium-232 en Kalium-40. Dit zijn de bronnen van natuurlijke radioactiviteit.

Ze zijn overal verspreid in lage of zeer lage concentraties. Kalium-40 – natuurlijk aanwezig in leven - is verantwoordelijk voor ongeveer de helft van de interne stralingsdosis die het menselijk lichaam ontvangt, 7500 Becquerel² of 0,24 mSv³ per jaar. (een andere interne bron is koolstof-14, hieronder besproken). Deze natuurlijke radioactieve kernen zijn aanwezig in de rotsen, bodem en water en geven een groot deel van de externe dosis om het lichaam (ongeveer 1,5 mSv per jaar⁴). De energie die ze vrij geven, verspreid over de aarde, is voldoende om de hoge interne temperatuur te handhaven – de aarde zou anders in ongeveer een miljoen jaar afkoelen. Deze radioactieve warmte zorgt tevens voor de tektoniek (bewegen van aardplaten) en alle geologische activiteit, met inbegrip van aardbevingen en tsunami's⁵.

De enige manier om deze blokkade van sociaal contact tussen atoomkernen op te heffen wordt geleverd door het neutron. Dit werd pas ontdekt in 1932, omdat het neutron na een paar minuten vanzelf verdwijnt en in de vrije natuur niet bestaat. Omdat het niet elektrisch geladen is kan het zich vrijelijk verplaatsen door het sterke elektrische kracht veld en een kern binnendringen om de energie vrij te laten. Echter vrije neutronen bestaan alleen in werkende kernreactoren en, kortdurend bij exploderende kernwapens. (Ook komt een klein aantal neutronen vrij aan de top van de atmosfeer door kosmische straling, net genoeg om de paar atomen van koolstof-14 te maken - ongeveer 1 per 10¹² -, dat gebruikt wordt bij de koolstofdatering.) Wanneer een nucleaire reactor is stilgelegd, zoals bij Fukushima direct na de aardbeving gebeurde worden alle neutronen geabsorbeerd en de enige energie die dan nog vrij komt is afkomstig van radioactief verval.

Radioactiviteit - als bron van ioniserende straling - heeft een extra belangrijke fysieke veiligheid functie die vuur of biologische agentia niet hebben. Het verspreidt zich niet. Zaken die in aanraking met vuur komen vatten vlam en zo kan een grote vuurzee ontstaan. Bij infecties is iets vergelijkbaars gaande. Bij radioactiviteit kan dit niet.

Radioactiviteit kan niet worden gevangen, het kan alleen worden vervoerd. De radioactiviteit neemt niet toe maar af. Afhankelijk van de halfwaardetijd. Elke kern die straling uitzendt verandert daarmee in een ander, lager atoom. Vergelijk dergelijk verval met de hardnekkigheid van chemische gifstoffen zoals arseen of lood die altijd gevaarlijk blijven. Er waren trieste verhalen in de Japanse media in de maanden na het Fukushima ongeval over mensen die verbannen werden omdat zij bestraald waren en mogelijk anderen zouden kunnen infecteren. Dergelijke radioactieve infecties bestaan niet, normale straling veroorzaakt geen radioactiviteit.

² Een Becquerel is een maat voor de radioactiviteit van een bron. 1 Bq = 1 vervalcyclus per seconde.

³ Een millisievert (mSv) is een eenheid van stralingsdosis (energie) per kilo. Dus 1 mSv = 1 milli-joule per kilo. Noteer dat mSv niets zegt over een tijdseenheid (zoals de Becquerel wel doet). Strikt genomen is dit voor gammastraling en elektronen. Voor alfa straling ligt dit wat ingewikkelder. Zie ook Radiation and Reason.

⁴ Inclusief Radon

⁵ Waar maar vreemd, de Japanse aardbeving en tsunami van 11 maart 2011 werden veroorzaakt door de afvalwarmte van de aarde (radioactief verval) en dat was veel schadelijker dan de afvalwarmte die de mens in de Fukushima reactors produceerde.

Het publiek moet begrijpen dat, vanuit een fysiek oogpunt kernenergie buitengewoon veilig is op het punt van de productie - in feite zo veilig dat het alleen met vrij grote grootschalige investeringen en grote technische expertise mogelijk is om energie te produceren. De mens heeft allerlei regels bedacht om kernenergie veiliger te maken, maar deze regels verbleken bij de veiligheid waarmee de natuur deze energiebron heeft omgeven.

Wanneer ioniserende straling een bepaald materiaal binnendringt, via een interne of een externe bron is de schade die zo wordt veroorzaakt tamelijk willekeurig – hij is niet ergens op gericht. De schade ontstaat als een serie botsingen. De afstand tussen die botsingen varieert met de energie en het type straling, maar het spectrum van energie dat bij iedere botsing wordt afgeleverd verandert niet veel. Deze botsingsenergie is veel groter dan de typische chemische of biologische energie die gewone moleculen of delicate biologische moleculen bij elkaar houdt. Echter, de daaruit voortvloeiende schade is puur moleculair – er komt geen radioactiviteit vrij en de kernen van het materiaal krijgen geen actieve rol. De enige nucleaire rol was als bron van de straling in de eerste plaats. De volgende vraag is wat er gebeurt met levend weefsel wanneer het geraakt wordt door straling.

Stralingsdoses voor de medische gezondheid

De meeste mensen kennen zelf uit de eerste hand de schade veroorzaakt door overmatige blootstelling aan de zon, dat wil zeggen, aan ultraviolette straling. Zij zijn zich bewust dat dit op de korte termijn zonnebrand veroorzaakt - beschadiging van de huid die in enkele dagen wordt gerepareerd zonder lange termijn gevolgen. Ze hebben geleerd over barrièrecremes en hebben wellicht de voordelen van vitamine D-productie door de zon begrepen. Ze zijn gewaarschuwd voor het gevaar van huidkanker, jaren later, veroorzaakt door herhaalde overbelichting. De meeste zijn verstandig en genieten van hun zomervakantie in de zon. Een reisbureau kan de tent wel sluiten als ze vakanties in totale duisternis, meters onder de grond aan zouden gaan bieden, teneinde zonnebrand te voorkomen. Mensen hebben geleerd hoe ze risico's moeten balanceren bij ultraviolette straling. Dat moet met andere straling ook gebeuren.

Met het huidige hoge niveau van medische zorg hebben veel mensen ervaring met allerlei scans zoals artsen die adviseren. Sommige scans gebruiken geen ioniserende straling (echografie of radio frequenties (MRI)) andere doen dat wel Elk type scan heeft zijn sterke en zwakke punten en artsen passen daarop hun keuze aan. Er zijn twee soorten scans die met ioniserende straling werken. In het ene geval wordt gewerkt met een externe stralingsbron (CT of CAT), en in het tweede geval gebruikt men de straling van een radioactieve bron geïnjecteerd in het bloedstroom (PET of SPECT), Dit heet 'nucleaire geneeskunde'. Met een gematigde dosis van 5-10 mSv is het mogelijk om hoge resolutie 3-D beelden te maken. Een paar punten over de gebruikte straling in scans:

- Het type en de energie van de straling maakt verschil, maar waar de straling vandaan komt maakt niet uit. Bijvoorbeeld, een 1 MeV gammastraal uit een kern heeft precies dezelfde effect als 1 MeV gammastraal van een elektronenversneller.
- De straling van een CT-scan komt in een korte puls, de straling van een of SPECT PET-scan wordt geleverd over een periode van een paar uur. Dankzij de verhalen over "permanente straling" is het logisch om te denken dat een dergelijke dosis gevaarlijker is dan dezelfde dosis in een keer toegediend. Het tegendeel is het geval. Een bepaalde dosis

is altijd gevaarlijker wanneer deze wordt opgenomen in een korte tijd (net als dat met zonlicht het geval is).⁶.

Grote stralingsdoses zijn dodelijk. De meeste van de 237 werknemers die betrokken waren bij het blussen van de brand bij de ramp in Tsjernobyl die een acute dosis van meer dan 4.000 mSv ontvingen stierven binnen een paar weken aan acute stralingsziekte (ARS), die te wijten is aan celdood. Maar diezelfde celdood wordt ook ten gunste van de gezondheid gebruikt bij de behandeling van kanker. Tijdens een stralingskuur zijn de doses hoog. Miljoenen patiënten per jaar over de hele wereld krijgen deze behandeling en de meeste keren daarna dankbaar huiswaarts om nog vele jaren door te leven. Zo'n kuur kan 4-6 weken duren, met een dagelijkse dosis van 2.000 mSv gegeven telkens aan de tumor. Helaas is het niet mogelijk om met die straling alleen de tumor te raken, Naburige – gezonde - weefsels en organen kunnen zo veel als 1.000 mSv dagelijks ontvangen - en die weefsels en organen moeten natuurlijk wel overleven. Gedurende meer dan een maand krijgt de tumor zo meer dan 40.000 mSv en het perifere gezonde weefsel zo veel als 20.000 mSv - dat is vijf keer de dodelijke dosis die een aantal werknemers van Tsjernobyl ontvingen!

Hier is een zeer eenvoudige schets van hoe het werkt. Elke dag proberen de cellen om de schade veroorzaakt door de straling (zoals hieronder wordt besproken) te repareren. De tumorcellen krijgen dit maar nauwelijks voor elkaar, maar het perifere weefsel – dat een veel lagere dosis heeft ontvangen – lukt dat wel. De volgende dag komt de volgende dosis. Deze scheiding van de dosis in de dagelijkse behandelingen heet 'fractionering'. Na 4-6 weken dagelijkse stralingsdoses is de tumor hopelijk dood en het perifere weefsels overleeft. Het succes van dergelijke kuren met hun meervoudige doses bewijst dit reparatiemechanisme⁷. En iedereen heeft wel een vriend of kennis die dit zelf heeft ervaren, als het al niet henzelf betrof. Hoewel radiotherapie met in- of externe bronnen wordt gebruikt om kanker te doden kan deze straling paradoxaal genoeg ook zelf weer leiden tot kanker. Bij de hoge dosering die gebruikt wordt in de stralingstherapie is de kans op het krijgen van een nieuwe kanker, terwijl de bestaande kanker wordt bestreden niet meer dan enkele procenten. Anders zou een dergelijke behandeling niet worden gegeven! Indien de perifere dosis meer dan 100 keer kleiner is dan de dosis op de tumor zou zijn, bijvoorbeeld 100 mSv per maand zou je verwachten dat de kans veel kleiner zou worden dan 1 op de 1000. Maar hier zijn meer gegevens voor nodig.

Verborgen biologische bescherming tegen straling

Mensen maken zich zorgen dat straling en radioactiviteit onzichtbaar zijn en niet kunnen worden gevoeld. Als ze niet weten wanneer ze bestraald worden kunnen ze daar ook niets tegen doen.

Twee geruststellende opmerkingen hierover.

In een verduisterde kamer waar je niets kunt zien is het normaal om op zoek te gaan naar het lichtknopje of naar een zaklamp. Op vergelijkbare wijze kan een stralingsdetector nuttig zijn. Je kunt ze niet in iedere bouwmarkt kopen, maar daar zou niets tegen zijn. Straling is makkelijk en goedkoop te detecteren. Wat dat betreft kun je straling net zo makkelijk terugvinden als verbrande toast.

⁶ Doses kunnen niet zomaar opgeteld worden. Hun effect hangt er ook van af wanneer ze worden ontvangen. Dit is een voorbeeld van het falen van de simplistische Lineaire No Threshold theorie, een niet ondersteund dogma dat als argument gebruikt wordt voor de rechtvaardiging van de huidige overdreven regulering. Hieronder meer hier over evenals in *Radiation and Health*.

⁷ Radiotherapie van diepe kankers zou niet mogelijk zijn als de LNT van toepassing was.

Het andere punt is dat de moderne biologie heeft aangetoond dat de cellen van ons lichaam wel degelijk de effecten van straling kunnen vaststellen, ook al realiseren we ons dat niet. Cellen sturen chemische boodschappen om andere cellen te waarschuwen en zetten vervolgens aan tot reparatie van de schade. Dat gaat bijvoorbeeld via:

- Het wegvangen/neutraliseren van ‘hete’ chemische radicalen gegenereerd door de actie van straling op water en andere moleculen;
- De reguliere celcyclus, waarbij nieuwe cellen worden gemaakt van bestaande, ongeacht of er sprake is van straling;
- Apoptose, een proces waarin cellen gedood en verwijderd worden;
- De reparatie van breuken in de strengen van het DNA, zowel enkelvoudige als, met meer moeite, meervoudige breuken;
- Als stralingsschade wordt geconstateerd, stijgt de aanvoer van enzymen en andere stoffen om de bescherming te verbeteren voor het geval er later nog meer straling komt. (een adaptieve reactie genoemd hormese);
- De verschillende mechanismen van het immuunsysteem die zich richten op vreemde cellen en zodoende ontwikkelingen richting kanker tegenhouden.

Deze beschermingsmechanismen illustreren de enorme veerkracht die het leven dankzij de evolutie heeft verkregen. Ze zijn niet beperkt tot de reactie op straling, maar beschermen ook tegen andere oorzaken van kanker. We laten nu allerlei nieuwe ontwikkelingen buiten beschouwing en beperken ons tot hoe het lichaam zich heeft ingesteld op de bescherming tegen straling. Het brein is zich daar niet van bewust en kan dus ophouden met zich zorgen maken.

Hiroshima en Nagasaki

Het hoofdeffect van een kernwapen is een explosie, een vuurbal en een snelle uitstoot van straling. Bij Hiroshima en Nagasaki doodden deze direct ten minste een kwart van de bevolking van 429.000. In 1950, toen betrouwbare gegevens werden verzameld, konden slechts 283.000 overlevenden worden opgespoord, en hun medische gezondheid is sindsdien gevolgd.

Individuele doses werden gereconstrueerd voor 86.955 mensen inclusief de gegevens over waar ze zich bevonden toen de bom ontplofte en vergeleken met gegevens over chromosoomafwijkingen en dichtheden van ongepaarde elektronen in hun gebit (ESR). De gemiddelde totale lichaamsdosis (gamma en neutronen straling) was 160mSv. Een onbekend aantal burgers bezweek aan ARS (acute stralingsziekte) en sommigen zullen voor 1950 zijn gestorven aan kanker, maar de meeste vormen van kanker werden verwacht in de periode 1950-2000 en deze gegevens zijn beschikbaar. Vergelijkbare gegevens werden in andere Japanse steden verzameld.

Van degenen met een gereconstrueerde dosis overleden er 10.127 aan kanker terwijl er in die groep 9.647 (gebaseerd op ervaringen in andere, *niet* bestraalde steden) gevallen van kanker werden verwacht. Voor leukemie zijn de getallen 296 en 203. Deze cijfers betekenen dat de gevallen van ‘gewone’ kanker met 1 op de 15 verhoogd waren als gevolg van de straling. Voor de 67.794 overlevenden met doses van minder dan 100mSv zijn de getallen 7657 en 7595, en voor leukemie 161 en 157. Er zijn minder extra doden (62 en 4) dan de statistische foutmarge (90 en 13), en dit zijn dus geen significante cijfers.

Dus voor deze 67.794 mensen kunnen we zeggen dat het risico op kanker niet veel meer dan 1 op 1000 bedraagt. Ter vergelijking: de kans om te overlijden bij een verkeersongeval in een mensenleven varieert tussen de 3 en 6 in 1000. Blijkbaar is er een drempel van het risico op

100mSv - wat er gebeurt bij lagere doses is onmeetbaar, zelfs als men nucleaire bommen laat vallen op twee grote steden en de gezondheid van de overlevenden 50 jaar lang volgt. De dosis op Hiroshima en Nagasaki was een korte stralingsimpuls en er was weinig restradioactiviteit. Dit is het ergste geval, een chronische dosis ten gevolge van radioactiviteit, verspreid over dagen, maanden of jaren, zoals bij Fukushima, zouden aanzienlijk minder gevaarlijk zijn dankzij de biologische reparaties.

Een frisse kijk op de stralingsregelgeving

De werkzaamheid van stralingstherapie is een sterk bewijs dat wanneer een dosis verdeeld in de tijd en zo (al dan niet perfecte), reparatiemechanismen in het menselijk lichaam mogelijk maakt en dit laat tevens de zinloosheid zien van veiligheidsbeoordeling puur gebaseerd op de opgetelde dosis over een langere tijd. De tijd die nodig is voor herstel van de schade varieert van minuten tot dagen en weken, en sommige reparaties vinden helemaal nooit plaats. Voor het veiligheidsregime zijn daarom de volgende zaken van belang:

- (de hoogte van) een enkele acute blootstelling;
- eventuele blootstelling opgebouwd in enige maand;
- een levenslange cumulatieve dosis (om de schade die nooit wordt gerepareerd te dekken).

Waar de grenzen zouden moeten liggen is een kwestie van discussie op basis van wetenschappelijke gegevens - conservatief geïnterpreteerd. Naarmate de gegevens beter worden zouden de grenzen moeten worden verruimd als de wetenschap daar aanleiding toe geeft. Als mensen in hun eigen leven strengere normen aan willen houden staat ze dat vrij. Wat ze niet moeten doen is eisen dat onwetenschappelijke criteria worden opgelegd aan andere mensen teneinde hun persoonlijke angst te sussen.

Wanneer een nieuwe technologie wordt geïntroduceerd worden de risico's slecht begrepen. Toezicht en controle zijn zwak en het is redelijk om de veiligheid te benaderen via het voorzorgsprincipe. Toen de trein voor het eerst begon te rijden werd onder publieke druk de snelheid beperkt tot 2-4 mijl per uur via de "Red Flag" Act van 1865. Gelukkig voor de moderne beschaving, werden in 1896 (toevallig hetzelfde jaar waarin radioactiviteit werd ontdekt) deze beperkende maatregelen verruimd met een factor van 20 of meer. Aanvankelijk achtte het publiek dit onaanvaardbaar (de paarden zouden er van schrikken) maar geleidelijk aan verbeterde de technologie en het aantal ongelukken nam af. De mensheid leerde om de risico's te accepteren en de opbrengsten te oogsten. Het verkeer is nog steeds gevaarlijk, maar de voorzichtigheid uit de 19^e eeuw is nu ondenkbaar.

Er is geen reden om de veiligheid van ioniserende straling principieel anders af te handelen. Het moet een afweging zijn van de risico's tegen de voordelen in het licht van de ervaring, maar helaas, dat is niet wat er is gebeurd. In 1951 werd het veilige niveau vastgesteld op 3 millisievert per week (12 millisievert per maand). Hoewel de civiele toepassing van kernenergie een uitzonderlijk goede veiligheidsgeschiedenis had, werd sinds 1951 de maximale aanbevolen dosis voor het algemene publiek met een factor 150 gereduceerd in een poging niveaus te bereiken die ALARA waren (As Low As Reasonably Achievable). In het licht van de huidige kennis van het effect van straling op het menselijk leven ligt het meer voor de hand de normen met een factor van ongeveer 8 te verruimen.

Toevallig zou zo'n factor zijn vergelijkbaar met de ontspanning van snelheid van het verkeer na de intrekking van de "Red Flag" Act⁸. Interessant is dat van het Nobelprijswinnende echtpaar Pierre en Marie Curie dat de wetenschap van de radioactiviteit ontwikkelde, Pierre Curie stierf in een ongeluk met een paard en wagen in Parijs (1906) terwijl Marie Curie, ondanks het ontvangen van een ongekeerde stralingsdosis haar hele werkzame leven, leefde tot 1934. Maar het is niet wetenschappelijk om conclusies te trekken uit individuele gevallen, zelfs van de meest beroemde wetenschappers!

Waar komt het ALARA idee vandaan? Het zegt niets over veiligheid. Het is een beleid dat de angst over straling tracht te temperen, maar men baseert zich daarbij niet op de wetenschap, maar op angst voor een nucleaire holocaust in de Koude Oorlog tijdperk. De dreiging was toen permanent en de angst ervoor heeft een plaats gekregen in ons populaire gedachtengoed. Er wordt nog steeds gepoogd om het als een politiek wapen in de zetten, zoals bij de dreiging van "massavernietigingswapens" en "45 minuten" om de oorlog in Irak te rechtvaardigen. De wetenschap en de waarheid achter deze propaganda dienen in twijfel te worden getrokken. Stralingsbescherming moet een zaak zijn van ervoor zorgen dat de blootstelling aan straling niet boven een bepaald niveau komt waarbij er schade optreedt. De straling mag dus zo hoog zijn als relatief veilig (As High As Reasonably Safe - Ahars). De implementatie van onverantwoord lage niveaus leidt tot onnodige kosten en menselijk leed. Dat is wat er is gebeurd. Hoe hoog AHARS niveaus zouden kunnen zijn is vatbaar voor een discussie. Ik denk bijvoorbeeld aan:

De basis voor een maximale enkelvoudige acute dosis van 100mSv lijkt vrij stevig. Een limiet voor chronische of langdurige doses 100mSv in een maand zou conservatief zijn - een radiotherapie patiënt krijgt 200 keer die hoeveelheid, hoewel niet op het hele lichaam. De figuur afgebeeld op de volgende pagina geeft de relatieve grootte van deze maandelijks doses, weer als gebieden.

Bovendien is een totale levensduurlimiet van ongeveer 5000 mSv voorgesteld. Dit is een fractie van een radiotherapeutische kuur en veel lager dan de dosis die sommige mensen die levenslang bestraald worden zouden krijgen. (Zoals de straling die de schilders van lichtgevende wijzerplaten jarenlang ontvingen.) Als in de toekomst meer bekend en geaccepteerd wordt over adaptieve mechanismen of hormese, kunnen deze grenzen verder worden versoepeld.

⁸ Vergelijkbaar met de versoepeling van normen voor het gebruik van hoge statische magneetvelden in MRI gedurende de afgelopen 20 jaar. Een ander voorbeeld van veiligheid in een rijper wordende technologie.



Figuur bijschrift. Maandelijks stralingsdoses vertegenwoordigd door gebieden.

- a) 40.000 mSv per maand, een dodelijke dosis stralingstherapie gegeven aan een tumor is op zijn minst deze omvang;
- b) 20.000 mSv per maand, een overleefbare stralingstherapie zoals het perifere gezonde weefsel die ontvangt
- c) 100mSv per maand, een suggestie voor veilige grens per maand (AHARS);
- d) 0.7mSv per maand (of 1 micro-Sv per uur), het niveau in de Sellafield en Sizewell-B afval opslaghallen, ongeveer 3 keer de gemiddelde achtergrond;
- e) 0.08mSv per maand (of 1mSv per jaar), de openbare veiligheid limiet op achtergrond op dit moment aanbevolen door ICRP (ALARA).

Doses, voedsel, evacuatie en niet geleerde lessen

Het ongeluk in Tsjernobyl was meer dan 25 jaar geleden en wat er is gebeurd is uitgebreid beschreven in publicaties van de Wereldgezondheidsorganisatie, de Verenigde Naties en de Internationale Organisatie voor Atoomenergie. 28 brandweerlieden stierven aan stralingsziekte en 15 kinderen aan schildklierkanker.

Zij melden dat er geen harde bewijzen voor enig ander verlies van leven als gevolg van straling zijn gevonden, hetzij individueel geïdentificeerd of statistisch weergegeven. De hogere aantallen die soms worden gerapporteerd zijn gebaseerd op statistische berekeningen waarbij simpelweg risico coëfficiënten (bijv. 5% kans op overlijden per Sv) vermenigvuldigd werden met een lage dosering straling (in de buurt van natuurlijke niveaus) van heel veel mensen en dan vervolgens allemaal opgeteld. Dergelijke coëfficiënten zijn een kenmerk van het in diskrediet geraakte LNT model. Maar zelfs de Internationale Commissie voor Stralingsbescherming (ICRP), dat nog steeds de LNT in ere houdt vindt dat dergelijke berekeningen niet moeten worden gebruikt.

Met een kern die ongeveer de helft van de omvang heeft als de kern van uranium is jodium een van de vele producten van kernsplijting. Het smelt bij 114°C en kookt bij 184°C, en daarom komt het makkelijk vrij bij verbruikte splijtstof. Het is een actieve chemische stof die

gemakkelijk wordt opgenomen in de voedselketen. De belangrijkste radioactieve isotoop is jodium-131 dat een halfwaardetijd heeft van 8 dagen, hetgeen betekent dat het een paar weken na het stilleggen van de reactor zijn potentie verliest en geen blijvend onderdeel van verbruikte splijtstof is. Jodium is een belangrijk element voor de schildklier, vooral voor kinderen. Als de normale voeding te weinig jodium bevat stapelt de schildklier iedere hoeveelheid jodium die zich aanbiedt.

Als Jodium-131 wordt geconcentreerd in deze manier vervalt het snel en krijgen de reparatiemechanismen geen kans. De voeding in de Tsjernobyl regio was arm aan jodium en weinig kinderen kregen profylactisch tabletten stabiel jodium toegediend hetgeen resulteerde in ongeveer 6.000 extra gevallen van schildklierkanker. De meeste van deze werden behandeld, maar waren er 15 sterfgevallen. In Fukushima kwam minder Jodium-131 vrij, het dieet bevat zeewier (rijk aan natuurlijk jodium) en de kinderen kregen tabletten uitgedeeld. Het is onwaarschijnlijk dat er extra gevallen van schildklierkanker zullen optreden en ook geen sterfgevallen.

De meeste andere radioactieve isotopen die aanwezig waren in de Tsjernobyl hadden een veel hoger smeltpunt en kwamen daarom in veel kleinere hoeveelheden vrij dan jodium. De uitzondering was cesium dat vluchtig is, oplosbaar in water en gemakkelijk wordt opgenomen. Met een chemie zoals natrium en kalium kan cesium zich door het hele lichaam verspreiden en wordt in een periode van ongeveer 4 maanden weer uitgescheiden. De twee radio-isotopen hebben halfwaardetijden van 2 en 30 jaar. Geen doden in Tsjernobyl worden in verband gebracht met Cesium en niemand mag worden verwacht op Fukushima.

Hoewel het publiek altijd al bijzonder gevoelig is geweest voor de risico's van straling voor het nageslacht is er zelfs bij Hiroshima en Nagasaki geen bewijs voor gevonden. Noch door de BEIR commissie van de National Academy of Sciences (Beir 7, 2005), noch door de ICRP (2007) die de risico's zelfs 20-40 keer kleiner schat dan die op kanker.

Uit de internationale rapporten blijkt dat de meest ernstige gevolgen van Tsjernobyl zijn veroorzaakt niet door de straling, maar door de angst ervoor. De haastige evacuatie van 116.000 inwoners veroorzaakte sociale en economische stress die resulteerde in depressies, zelfmoord, alcoholisme, uiteenvallende families en kapotte levens. Mensen die te horen krijgen dat ze een stralingsdosis ontvangen hebben, hun huizen, banen en manier van leven moeten opgeven, ontwikkelen vanzelf een houding van hopeloosheid en een slachtoffercultuur. Ook mensen die veraf wonen kunnen zo worden beïnvloed. Zo hebben studies een stijging van ongeveer 2.500 abortussen in Griekenland in verband met een irrationele angst voor de straling van Tsjernobyl aangetoond.

Verdere sociale en economische schade was het gevolg van beperkingen op de verkoop van voedsel. Bijvoorbeeld in juni 1986 werd in Noorwegen de maximale radioactiviteit voor levensmiddelen vastgesteld op 600 Becquerel per kilo. Het economisch effect hiervan op de rendieren industrie was zo ernstig dat dit in november 1986 werd verruimd naar 6000 Bq/kg. In Zweden publiceerde 16 jaar later op 24 april 2002 de Zweedse StralingsBeschermingAutoriteit een verontschuldiging in de dagbladpers. Zij gaven toe dat de interventie niveaus te laag waren ingesteld en dat 78% van alle rendier vlees tegen hoge kosten voor de belastingbetaler was vernietigd en dat dit nadelig was geweest voor de industrie.

Maar het lijkt erop dat de Japanners hier niets van hebben geleerd. In juli 2011 wordt de "Maatregelen... om de veiligheid van rundvlees te verzekeren" uitgegeven door de Japanse regering waarbij een maximum van 500Bq/kg wordt gepresenteerd. Er staat in dat het eten van

1 kg van dergelijk vlees zou een dosis van 0.008mSv zou opleveren. Ik heb deze correspondentie gecontroleerd.

Dit betekent dat je 1.000 kg vlees zou moeten eten in 4 maanden tijd om dezelfde dosis te krijgen als die je binnen zou krijgen met een gewone scan. Dit toont aan dat de regeling nergens op slaat en grote ontberingen en alarm onder de mensen veroorzaakt zonder goede reden daarvoor.

De evacuatie criteria en de limitering van de publieke blootstelling op Fukushima waren gebaseerd op 20 mSv per jaar. Er is publieke druk om dit te verlagen naar 1mSv per jaar te. (De mensen blijven daarbij uiteraard wel de 'normale' achtergrondstraling van gemiddeld 2.4mSv per jaar – maar soms flink meer - ontvangen) . Zelfs 20 mSv per jaar als een chronische dosering is 10.000 keer minder dan de maandelijkse dosis die – ook in Japan – bij radiotherapie wordt geaccepteerd als bijwerking op gezonde organen. De 20 mSv per jaar dosering is 60 keer lager dan de voorgestelde conservatieve grens van 100mSv per maand gesuggereerd in dit artikel. De evacuatie en clean-up die is opgelegd in Fukushima hebben ernstige sociaaleconomische gevolgen voor de hele regio zonder ook maar enig voordeel en zijn een tragische vergissing. Hieraan dient te worden toegevoegd de grote economische en ecologische kosten van uit angst stilgelegde kerncentrales (Duitsland!) en de daarmee verband houdende import van fossiele brandstoffen.

Hoeveel sterfte door straling zou er kunnen optreden als gevolg van het Fukushima ongeluk? Dertig werknemers ontvingen doses van 100 tot 250 mSv, maar de laagste dosis die een werknemer van Tsjernobyl, die stierf aan stralingsziekte, ontving was 2000 mSv en dat was binnen 3 of 4 weken. Het is dus niet verrassend dat er geen melding is gedaan van sterfgevallen in Fukushima en die komt er ook niet. Hoe zit het met kanker in de komende jaren? Van een groep van 5.949 overlevenden van Hiroshima en Nagasaki, die doses in deze reeks (100-250 mSv) ontvingen overleden er 732 aan kanker (en 14 aan leukemie) terwijl er respectievelijk 691 en 15 werden verwacht. De 40 extra kankergevallen zouden dus aan straling te wijten zijn. Dat is 1 op de 150 kankergevallen. Maar in Fukushima hebben maar 30 mensen een dergelijke dosis ontvangen, er zouden dus $30/150=0,2$ kankergevallen in Fukushima optreden als gevolg van het ongeval.– minder dan 1.

Het publiek in Fukushima ontving veel lagere doses en loopt geen gevaar, behalve dan door het bestraffende effect van de regelgeving zelf.

Er is iets fundamenteel mis met deze veiligheidscultuur. Het was verkeerd in Tsjernobyl en dezelfde fouten worden herhaald in Fukushima met tragische gevolgen voor het leven van mensen en de Japanse economie.

Laten we een stap terug doen. Stralingsbescherming gaat over twee duidelijk gescheiden zaken: de veilige besturing van de reactor en de bescherming van mensen tegen straling. Aangezien een typische splijtingsreactor in principe een voorraad brandstof bevat die voor 3 jaar voldoende is kan er indien de controle wordt verloren in potentie een grote hoeveelheid energie vrij komen. Het afsluiten van een reactor door het absorberen van alle vrije neutronen en het stoppen van alle verdere kernsplijting stopt niet de warmte ontwikkeling uit radioactief verval. In Fukushima leidden deze problemen met de afvoer van de afvalwarmte tot de vernietiging van de reactoren. Stabiliseren van de werking van een reactor en het verstrekken van koeling tot het verval warmte te verwijderen zijn belangrijke en dure technische problemen. In Fukushima werd men overdonderd door uitzonderlijke omstandigheden, er trad een situatie op waar bij het ontwerp geen rekening was gehouden, omdat het werd gezien als te uitzonderlijk. Niemand hoeft hier de schuld van te krijgen, integendeel, de mensen die onder zeer zware omstandigheden werkten en belangrijke beslissingen namen zoals het ventileren van de reactoren verdienen lof en dank.

Onze fout, onze correctie, onze overleving

Waarom hebben de autoriteiten dergelijke draconische en ongepaste maatregelen genomen? Eigenlijk had zij geen keus. Alleen de dapperste overheid kan de richtlijnen van de ICRP, en weer ondersteund door de IAEA negeren - en deze richtlijn is gebaseerd op ALARA, zoals we hebben gezien. Een overheid die een dergelijk advies negeerde zou worden achtervolgd door een bange bevolking en snel werkloos zijn.

Dus, als de overheid niet de schuld krijgt, is het die van de ICRP met zijn aanbevelingen! Ja, maar de oorspronkelijke fout moet worden gelegd bij de mensen over de hele wereld met een democratische stem die betoogden, marcheerden, zongen en stemden voor een wereld met minimale straling - voor ALARA. Het is de schuld van iedereen.

Wat moet er nu gebeuren? Als we niet willen toe geven aan de rampen die mogelijk met de opwarming van de aarde samengaan, moeten we ons richten op de perceptie van het publiek en zonder angst doorgaan met kernenergie. Daartoe dient er een educatief programma over straling wetenschap te komen. Dat hoeft niet moeilijk te zijn. Het publiek heeft al een vrij evenwichtige houding ten opzichte van straling van de Zon en een zekere mate van vertrouwen in straling in de klinische geneeskunde. De publieke opinie kan sneller schakelen dan velen denken – een voorbeeld is de snelle verandering van inzichten bij het publiek over roken. Nieuwe realistische veiligheidsvoorschriften zouden moeten leiden tot grote kostenbesparingen aan een nucleair programma. Hoewel er geen hoeken worden afgesneden voor de verzekering van reactor stabiliteit en warmte afvoer kunnen via nieuwe gerechtvaardigde veiligheidsnormen veel kosten worden bespaard. En dat is niet afhankelijk van welke variant van de nucleaire technologie er wordt gekozen. Nucleair afval, opwerking en ontmanteling worden daarmee gewone milieuproblemen die net als de verwijdering van gevaarlijke chemisch en biologisch afval op transparante wijze kunnen plaatsvinden.

We hebben op de planeet Aarde met meer succes dan andere dieren overleefd, dankzij ons vermogen om rationeel te denken. In de afgelopen 60 jaar zijn we gestopt met het denken en bang geworden voor de oplossing van onze problemen. Het is tijd om de bakens te verzetten.

Wade Allison, Oxford
w.allison @ physics.ox.ac.uk