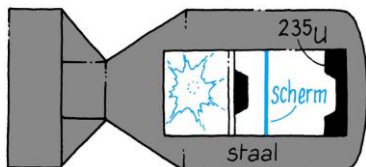
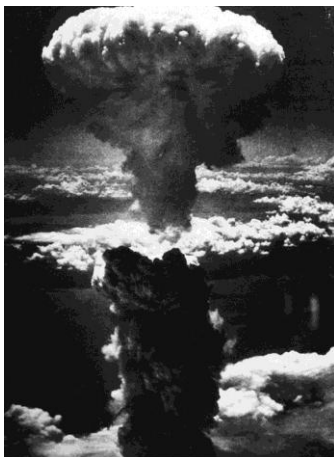


## Kernbommen

De bom die in 1945 op Hiroshima werd gegooid, Little Boy, was een uraniumbom. Het zeer zuivere  $^{235}\text{U}$  was verdeeld over twee stukken die elk kleiner maar samen groter waren dan de kritieke massa. Met een conventionele ontploffing werd de ene helft tegen de andere geschoten. Zo ontstond in een fractie van een seconde een stuk uranium van meer dan de kritieke massa.

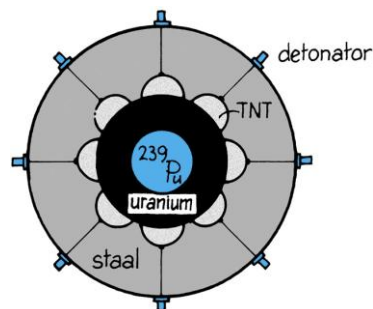


Tijdens het contact van de twee uraniumhelften werden bovendien kleine hoeveelheden beryllium en een  $\alpha$ -straler met elkaar in contact gebracht. In de reactie  $^9\text{Be}(\alpha, n)^{12}\text{C}$  werden neutronen geproduceerd om de kettingreactie snel op gang te brengen. In een tijd van  $10^{-8}$  s werd een temperatuur van  $10^8$  K bereikt en ging de bom over in een radioactieve vuurbal. Na de lichtflits en de ioniserende straling kwamen de schokgolf en de hitte.



Drie dagen later viel op Nagasaki een plutoniumbom, Fat Man (foto). Hierin zat 7 kg  $^{239}\text{Pu}$  ter grootte van een flinke sinaasappel. Alleen doordat de bom niet precies boven de stad ontplofte, waren er minder mensen onmiddellijk dood: 27000 in plaats van 80000 bij de eerste bom.

Bij de plutoniumbom moest men een andere techniek toepassen omdat  $^{239}\text{Pu}$  verontreinigd is met de  $\alpha$ -straler  $^{240}\text{Pu}$ . Met lichte kernen geven de  $\alpha$ 's een reactie waarbij neutronen ontstaan, zodat het gevaar van spontane explosie bestond. In deze bom werd het plutonium kritisch gemaakt door het samen te persen tot 80% van zijn volume. Dat gebeurde door een aantal springladingen precies tegelijk te ontsteken.



Het uranium om het plutonium heen diende als neutronenreflector. Deze bom was – natuurkundig gezien – ‘beter’: de explosietijd was iets langer. In beide gevallen werd ongeveer 1 kg gespleten. In grootte is dat een flinke stuiterbal. Daarbij werd 1 g in energie omgezet.

De ‘atoombommen’ (A-bommen) op Japan leidden tot het einde van de tweede wereldoorlog, maar ook tot het begin van de kernwapenwedloop. Ze hadden een sterkte van 15 à 20 kiloton TNT – in 1940 werd Rotterdam met minder dan 100 ton TNT platgegooid.

De eerste waterstofbom (H-bom) werd in 1952 beproefd. Deze bom dankt zijn naam aan de fusie die optreedt tussen twee waterstofisotopen,  $^2\text{H}$  en  $^3\text{H}$ . Om de fusiebom zit een mantel van  $^{238}\text{U}$  dat door de snelle neutronen gespleten wordt, zodat er nog meer energie vrijkomt.

In een ‘neutronengranaat’ (een mini fusiebom) laat men dat achterwege; tot 30 % van de energie komt hier vrij via neutronen en  $\alpha$ 's. Officieel wordt deze bom aangeduid met de term ERRB (Enhanced Radiation, Reduced Blast). De bedoeling is namelijk zoveel mogelijk mensen uit te schakelen door straling en zo weinig mogelijk schade te veroorzaken aan gebouwen. Overigens is dat laatste zeer betrekkelijk, want de ‘lichtste’ neutronenbom is zwaarder dan alle bommen op Rotterdam bij elkaar. Het woord granaat is dus tamelijk misleidend.

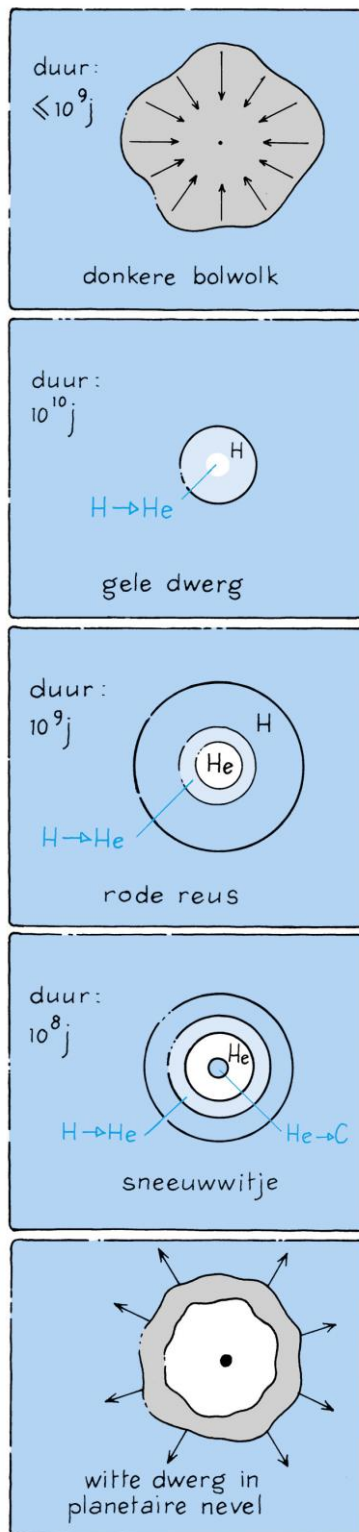
Het menselijk lichaam is erg gevoelig voor neutronenstraling doordat we voor het grootste deel uit water bestaan en dus veel protonen bevatten. Deze protonen kunnen vanwege hun massa vrijwel alle energie van aanstormende neutronen overnemen en dan begint de vernietigende werking op de cellen.

Bij een kernexplosie valt de radioactieve neerslag (fall out) nog op honderden km afstand; deze kan op wat langere duur dodelijk zijn. De hoeveelheid fall out hangt niet alleen af van de soort bom, maar ook van de hoogte waarop de ontploffing plaatsvindt. De vuurbal zal opstijgen als een hete luchtballon en kan daarbij zelfs een deel van de aarde ‘opzuigen’ in de steel van de paddestoel.

### De levensloop van de zon

Iedere ster ontstaat uit een donkere wolk stof en waterstofgas, die onder invloed van de zwaartekracht krimpt. Daarbij wordt zwaarte-energie omgezet in kinetische, met als gevolg dat temperatuur en druk stijgen. Na hoogstens  $10^9$  jaar ontstaat er een 'protoster' die een temperatuur van 10000 K heeft en die al IR uitzendt. Zulke protosterren worden ook nu nog aan de hemel gevonden. Bij nog hogere temperatuur wordt de ster zichtbaar. In de 19e eeuw verklaarden Kelvin en Helmholtz de zonnestraling met dit mechanisme en ze berekenden dat de zon op die manier ruim 10 miljoen jaar zou kunnen bestaan. Na het ontdekken van de radioactiviteit werd echter duidelijk dat de aarde al zo'n viereneenhalf miljard jaar bestaat en dat de zon nog ouder moet zijn. Er moest dus nog een andere energiebron in de zon zijn.

In 1938 kwam Bethe met het idee dat in de zon kernfusie plaatsvindt. Daarbij wordt waterstof in helium omgezet. De druk van binnenuit is dan zo groot dat het krimpen stopt en de zon ongeveer tien miljard jaar stabiel blijft in de vorm van een gele dwerg. We zijn dus nu ongeveer op de helft. De kernfusie kan slechts in een klein gebied rond het centrum van de ster plaatsvinden omdat het meer naar buiten toe 'te koud' is; daardoor kan maar 10% van alle waterstof in de ster worden omgezet in helium. Als de zon ouder wordt, raakt de voorraad waterstof in de kern op en stopt de fusie, met als gevolg dat de zon opnieuw gaat krimpen.



Druk en temperatuur stijgen dan weer, zodat nieuwe lagen waterstof toch nog kunnen fuseren. Als gevolg daarvan zwellen de buitenste lagen van de ster op en wordt de zon over vijf miljard jaar een rode reus. Hij wordt dan zo groot dat hij de aarde zal opslokken. Een rode reus is kouder dan een gele dwerg, maar doordat zijn oppervlak groter is, ziet hij er toch helderder uit.

Voorbeelden van rode reuzen die nu aan de hemel staan, zijn Betelgeuze in Orion en Aldebaran in de Stier. Betelgeuze is zo groot dat ons zonnestelsel er in rond kan draaien.

In het reuzenstadium krimpt de kern van de zon verder en stijgt de temperatuur tot 100 miljoen K. Bij die temperatuur kan helium tot koolstof fuseren. Dat proces is echter niet zo voordelig en duurt dus niet zo lang. De zon zal na het reuzenstadium krimpen en opnieuw in temperatuur stijgen, maar nieuwe fusiereacties treden niet op. In dit stadium is hij niet erg stabiel; hij pulseert en uiteindelijk zal hij zijn buitenste schil wegblazen. De weggeblazen wolk wordt een planetaire nevel genoemd. Bij deze explosie wordt de zon opeens erg helder, we spreken dan van een nova. In deze eeuw zijn er al meer dan 150 novae waargenomen.

Wat er overblijft is een witte dwerg. De temperatuur ervan is zeer hoog en de dichtheid is enorm (ruim  $10^8 \text{ kg/m}^3$ ), want alle atomen zijn ineengestort. In een witte dwerg treedt geen fusie meer op; hij kan dus alleen nog maar afkoelen, dat kan echter nog miljarden jaren duren. Tenslotte eindigt de zon als een uitgedoofde sintel in een koud heelal.