

# INTRODUKSJON TIL KJERNEVÅPEN

**Heidi Kristine Toft**  
Kjernefysiker, Universitetet i Oslo  
h.k.toft@fys.uio.no

Denne artikkelen forklarer hva kjernevåpen er og hvordan de virker. Et kjernevåpen (eller kjernefysisk våpen) er et våpen som gir en eksplosiv energifrigjøring fra reaksjoner som foregår i atomkjernene<sup>1</sup>. Slike kjernefysiske reaksjoner kalles fisjon og fusjon. Siden det er to typer reaksjoner, deler vi kjernevåpen inn i to hovedklasser: fisjonsvåpen og fusjonsvåpen. De to våpentypene vil beskrives i den rekkefølgen.

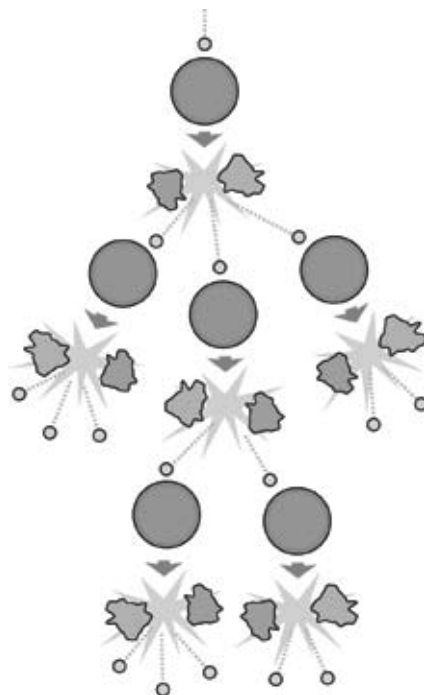
## Fysikk i fisjonsvåpen

En atomkjerne er bygd opp av to typer partikler som kalles protoner og nøytroner. Protoner har positiv elektrisk ladning, mens nøytroner er elektrisk nøytrale. Fisjonsvåpen er den enkleste typen kjernevåpen og baserer seg på den kjernefysiske reaksjonen fisjon. En fisjon kan forekomme når en tung atomkjerne tar opp et nøytron og derfor blir ustabil. Kjernen kan da dele seg til to nye og mindre kjerner. Alle protonene blir fordelt mellom de to nye kjernene. Derimot vil det bli igjen noen overskytende nøytroner (typisk 2-3 stykker) og ekstra energi, og nøytronene og energien frigjøres og sendes ut.

Enkelte typer tunge atomkjerner har den egenskapen at kjedereaksjon er mulig, og slike kjerner kaller vi fissile. Ved en kjedereaksjon vil nøytroner fra én fisjon brukes til å spalte nye kjerner, slik at nye nøytroner sendes ut, som igjen spalter flere kjerner osv. I et fisjonsvåpen er det som regel de fissile kjernene uran-235 og/eller plutonium-239 som brukes til å gi kjedereaksjon<sup>2</sup>. Tallene angir antallet partikler (det vil si summen av protoner og nøytroner) i atomkjernene. Fisjonsreaksjonen for eksempel uran-235

frigjør i gjennomsnitt ca 2,5 nøytroner (n) og kan skrives, der X og Y står for de to nye og mindre kjernene:  
 $U-235 + n \rightarrow X + Y + 2,5 \cdot n + \text{energi}$ .

Mellom protonene i en atomkjerne virker det frastøtende elektriske krefter. Når kjernen likevel holdes samlet uten at protonene flyr fra hverandre, skyldes det at de frastøtende kreftene blir kompensert av en annen type kraft, som er tiltrekkende. Kraften kalles den sterke vekselvirkningen. Den sterke veksel-



*Ved kjedereaksjon vil frigjorte nøytroner (små kuler) fra én fisjon brukes til å spalte nye kjerner (store kuler), slik at nye nøytroner sendes ut, som igjen spalter nye kjerner, osv.*

virkingen virker mellom alle partiklene i kjernen, det vil si også mellom de elektrisk nøytrale nøytronene. I tunge atomkjerner med mange protoner, som uran og plutonium, er de frastøtende elektriske kreftene store. Derfor er det nødvendig at de tunge kjernene har spesielt mange nøytroner. Det er

forklaringen på hvorfor fisjon gir et overskudd av nøytroner.

Den sterke vekselvirkningen mellom partiklene i kjernen er nødvendigvis meget sterk, siden den holder sammen mange protoner innen et lite volum. Når en kjerne splittes ved fisjon, blir derfor energifrigjøringen meget stor. Sammenlignet med vanlig kjemisk sprengstoff vil man ved kjerne-reaksjoner få om lag en million ganger mer frigjort energi per atom. Det er altså et viktig poeng at reaksjonene foregår mellom partiklene i kjernene, og ikke mellom atomene/molekylene, slik som for kjemiske eksplosiver. Det er derfor kjernefysikere foretrekker å bruke betegnelsene kjernevåpen fremfor «atomvåpen». (Men legg merke til at navnet på foreningen «Nei til atomvåpen» ikke er valgt for å være et innlegg i den språklige debatten...)

Når en kjedereaksjon pågår i en ansamling av uran-235 eller plutonium-239, vil en del nøytroner gå tapt uten å føre til fisjon, blant annet på grunn av lekkasje gjennom overflaten til det fissile materialet. Med større mengder fissilt materiale øker sannsynligheten for at nøytronene skaper nye fisjoner i kjernene fremfor å unnsnippe. Den minste vekten (massen) av det fissile materialet som kan gi kjedereaksjon, kalles kritisk masse.

Den kritiske massen er blant annet avhengig av formen på ansamlingen, renhetsgraden i det fissile materialet, og hvor tett de fissile kjernene ligger. Minst mulig overflate gir minst sannsynlighet for at nøytronene unnsnipper. Den kuleformede overflaten er den minste, og derfor går kuleformede ansamlinger kritisk med mindre vekt enn andre former. Tetthetsavhengigheten er slik at hvis man for eksempel komprimerer ansamlingen til halvparten av volumet,

<sup>1</sup> For eksempel er en «skitten bombe» ikke et kjernevåpen. En skitten bombe er en potensiell terroristbombe uten annen virkning enn spredning av radioaktive materialer ved hjelp av et kjemisk eksplosiv.

<sup>2</sup> Uran-235 eller plutonium-239 må produseres. Naturlig uran består av 0,7 prosent uran-235, som er fissilt, og resten uran-238. I såkalte anrikningsanlegg utvinnes uran-235 fra naturlig uran. Bombematerialet består altså av meget høyt anriket uran, det vil si en stor andel uran-235. Plutonium må på sin side lages i reaktorer som drives av uran som brensel. I uranbrenselet vil enkelte uran-238-kjerner ta opp nøytroner og omdannes til plutonium-239. Brenselet bør være i relativt kort tid i reaktoren, ellers vil det dannes ugunstige tyngre plutoniumkjerner. Den lille mengden plutonium i brenselet må trekkes ut kjemisk i såkalte gjenvinningsanlegg.

reduseres kritisk masse til en fjerdedel. Det betyr at kjedereaksjon da kan oppstå med bare en fjerdedel av vekten.

I et kjernevåpen er det ikke tilstrekkelig med en kritisk masse. Et kjernevåpen må ha en overkritisk ansamling fissilt materiale, slik at forholdene er mer enn gode nok for en kjedereaksjon. Når energifrigjøringen begynner, vil det skapes høye temperaturer og høyt trykk, som gjør at ansamlingen ekspanderer, slik at overflaten øker og kjernene fjernes fra hverandre (tettheten reduseres). Hvis ansamlingen ikke hadde startet som overkritisk, ville kjedereaksjonen derfor altfor tidlig ha blitt underkritisk og stoppet opp. Energifrigjøringen er eksponentiell, slik at nesten all den frigjorte energien kommer på slutten av eksplosjonen. Hvis våpenet skal ha stor sprengkraft, må kjedereaksjonen derfor vare tilstrekkelig lenge.

Et særlig tungt materiale, gjerne naturlig uran eller wolfram, kan legges rundt det fissile materialet for å forsinke ekspansjonen. Et reflekterende materiale kan brukes til å returnere enkelte nøytroner på vei ut av bomben, inn igjen. Begge deler gjør at det fissile materialet blir bedre utnyttet.

### **Virkemåten til fisjonsvåpen**

Et fisjonsvåpen må bestå av en i utgangspunktet underkritisk masse fissilt materiale, slik at våpenet ikke går kritisk av seg selv. Deretter gjøres denne overkritisk under detonasjonen. Man benytter faktorene som påvirker kritisk masse. Det enkleste prinsippet er kanonmodellen, som er hurtig å skyte sammen to underkritiske halvkuler av uran til én overkritisk kule. Overkritikaliteten kommer av at massen økes og at formen endres til kule. I kanonmodellen brukes uran-235, men plutonium-239 vil ikke bli brukt. Plutonium er mer ustabil enn uran og vil i større

grad undergå spontane fisjoner. Spontane fisjoner som frigjør nøytroner og kan sette i gang kjedereaksjon for tidlig, før bitene har rukket å komme helt inn i hverandre og skapt overkritikalitet.

Det andre prinsippet for fisjonsvåpen skaper overkritikalitet på en langt hurtigere måte enn ved kanonmodellen, og da er også plutonium-239 praktisk å anvende. Man starter med et underkritisk kuleskall (det vil si en kule med tomrom i midten) av fissilt materiale. Ved detonasjonen forårsaker et om-liggende kjemisk eksplosiv skape et innoverrettet trykk som komprimerer skallet til en liten kule i midten. Dette kalles implosjonsmodellen, implosjon er en innoverrettet eksplosjon. Ansamlingen blir overkritisk fordi implosjonen øker tettheten av kjerner og endrer formen fra skall til kule. Man slipper så løs frie nøytroner på det «optimale» tidspunktet, og da starter den kjernefysiske eksplosjonen.



*Fat Man var et implosjonsvåpen og ble sluppet over Nagasaki.*

Kjernevåpenet som rammet Hiroshima var av kanonmodell og hadde følgelig uran-235 som fissilt materiale. Prinsippet brukes trolig i liten grad av kjernevåpenstater i dag, men ville vært den modellen en terroristgruppe helst ville ha forsøkt seg på. Bomben som ble sluppet over Nagasaki i 1945, Fat Man, var et implosjonsvåpen med plutonium. Implosjonsmodellen brukes nok også i

en del av dagens kjernevåpen.

### **Fusjonsvåpen**

De fleste moderne kjernevåpenene er antagelig fusjonsvåpen, også kalt termonukleære våpen<sup>3</sup>. Prinsippet ble første gang forsøkt i en amerikansk prøvesprengning i 1952. Den kjernefysiske reaksjonen er sammensmelting av lette atomkjerner, og i likhet med fisjon frigjør dette også energi.

For at fusjon skal kunne foregå, kreves ekstrem kompresjon av fusjonsmaterialet og ekstremt høye temperaturer. Det er nødvendig at disse betingelsene skapes av fisjons-eksplosjoner. Kompresjonen forårsakes av en primær fisjonseksplisjon ved siden av fusjonsmaterialet. Energien fra eksplosjonen gir et trykk som gjør at fusjonsmaterialet imploderer til et volum som er om lag en tusendel av det opprinnelige. Den høye temperaturen antas å skapes ved hjelp av en stav av fissilt materiale inni fusjonsbrenselet. Staven går kritisk på grunn av kompresjonen, og en fisjonseksplisjon gir temperaturøkningen (til mange titalls millioner grader). Da kan fusjonsreaksjonene starte.

Deuterium og tritium er hydrogen som er tyngre enn «vanlig» hydrogen, fordi de i tillegg til protonet også har henholdsvis ett og to nøytroner i kjernen. Fusjon av deuterium og tritium er én av de reaksjonene som antas å foregå i fusjonsmaterialet. Reaksjonen skaper helium og frigjør ett nøytron og energi. Den kan skrives (med D for deuterium, T for tritium, og He for helium):  
$$D + T \rightarrow He + n + \text{energi.}$$

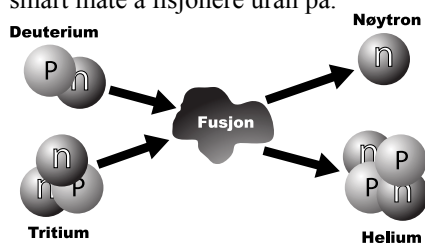
En fusjon frigjør mindre energi enn en fisjon. Men man kan utnytte de høyenergetiske nøytronene fra fusjonsreaksjonene til å forårsake fisjon i en urankappe som legges rundt fusjons-

<sup>3</sup> Tidligere brukte man begrepet «hydrogenbomber».



*Verdens første termonukleære eksplosjon var amerikansk og ble detonert på Marshalløyene i Stillehavet i 1952. Sprengkraften var ca 500 ganger større enn bombene fra 1945.*

materialet<sup>4</sup>. I mange av fusjonsvåpnene gir fisjonsreaksjonene faktisk det største bidraget til den totale energifrigjøringen, ifølge litteraturen. Oppbygningen av fusjonsvåpen er altså en smart måte å fisjonere uran på.



*Deuterium og tritium smelter sammen (fusjon) og danner helium med samtidig utsendelse av energi og ett nøytron.*

Sprengkraften til termonukleære våpen kan lages i hele spekteret fra liten til nesten ubegrenset, men i praksis vil det være øvre grenser. Trolig er sprengkraften til eksisterende våpen i verste fall opptil ca 200 ganger fisjonsvåpnene fra 1945. Konsekvensene hvis et kraftig termonukleært våpen skulle bli detonert over en høy befolkningstetthet, ville derfor blitt betydelig større enn i Japan i 1945, der ca 100 000 mennesker ble drept etter hver bombe.

### Terrortrusselen

Dr. Mohamed ElBaradei, som er direktør for Det internasjonale atomenergibyrået (IAEA) og fikk Nobels fredspris i 2005, omtaler risikoen for at terrorister får tak i kjernevåpen som den største sikkerhetstrussel i verden i dag. I motsetning til stater vil terrorister ikke nøle med avfyring.

Det vanskeligste innen kjernevåpenproduksjon er å produsere det fissile materialet, og dette kan terrorister ikke gjøre. Hvis stater passer godt på sine lagre av fissile materialer, reduseres terrorrisikoen betraktelig. Det eksisterer ulike oppfatninger av om terrorister ville klare å bygge den enkleste typen kjernevåpen hvis fissilt materiale var tilgjengelig. På grunn av de store konsekvensene kan man uansett ikke ta sjanser.

Vår nabo Sverige, som hadde et kjernevåpenprogram frem til 1968, har vurdert terrortrusselen slik: «Fisjonsvåpnenes prinsipper er beskrevet i oppslagsverk og virker enkle, men de sier ingenting om mulighetene for feil-

skjær, noe som ofte illustreres i «papirbombene» som har vært offentliggjort. Det er ikke lett å lage en fungerende kjernefysisk ladning. Det kreves kunnskaper og ressurser for målinger og eksperimenter innen flere tekniske områder, blant annet kjernefysikk, detonasjon, teoretiske beregninger og håndtering av radioaktivt materiale og av sprengstoff. Prosessen innbyr til feilskjær med skjebnesvangre konsekvenser for aktørene. Fra kun et teknisk synspunkt kunne man ikke utelukke at en gruppe med hjelp av samvittighetsløse spesialister kunne lykkes. Med hensyn til kravene for kompetanse og ressurser, og at arbeidet må gjøres i det skjulte og trolig under tidspress, er det ytterst usannsynlig at en eller flere enkeltstående personer skulle kunne klare prestasjonen.<sup>5»</sup>

Sitat: Forsvarets forskningsanstalt: FOA orienterar om Kärnvapen, ISBN 91-7056-076-5, 1990, samt personlig kommunikasjon med Totalforsvarets forskningsinstitut, 2008. Oversatt av undertegnede.



*-HYA SKAL VI MED ATOMBOMBER OG KJEMISKE VÅPEN, NÅR'U KAN LAMME ET HELT LAND MED TI CENTIMETER NYSNØ!-*

*Morten M: Faksimile fra VG.*

<sup>4</sup>Man kan visstnok velge om man vil benytte anriket (uran-235) eller naturlig uran (uran-238) i kappen rundt fusjonsmaterialet. Uran-238 er ikke fissilt, men fisjonerbart. En fisjonerbar kjerne kan spaltes av kun høyenergetiske nøytroner, og kjedereaksjon kan ikke oppstå. Siden nøytronene som skapes i fusjon er høyenergetiske, kan de forårsake fisjon i uran-238.

<sup>5</sup>Forsvarets forskningsanstalt: FOA orienterar om Kärnvapen, ISBN 91-7056-076-5, 1990, samt personlig kommunikasjon med Totalforsvarets forskningsinstitut, 2008. Oversatt av undertegnede.