

# Manhattan Projektet

AT1 i 1z, marts 2011

## Manhattan Projektet

- Foregik under 2. verdenskrig
- Projektet mål var at opfinde og fremstille atombomben
- Skulle være før tyskerne!
- Fysikere, som var flygtet fra nazisterne i Europa, deltog i projektet
- Et gigantisk projekt, som involverede flere hundrede tusinde mennesker
- Spredt over USA's store landområde
- Kun få deltagerne vidste, hvad de arbejdede med

## Atombomben 1945

- Atombomben blev afprøvet i ørkenen i Trinity Site, New Mexico, USA (16/7)
- 2 atombomber blev af USA kastet ned over Japan i august 1945:
  - Hiroshima (6/8)
  - Nagasaki (9/8)
- Formålet var at afslutte 2. verdenskrig uden at USA skulle invadere Japan
- I stedet for store amerikanske tab af soldater fik Japan store civile tab

## 1. Grundlæggende kernefysik

### ■ Atommodel:

- **Atom** består af kerne + elektroner i baner udenom
- **Kernen** består af:
  - nukleoner = protoner + neutroner
  - $A=Z+N$
- **Isotop**: variant af atomet, hvor Z er uændret, mens N varierer
  - Nogle isotoper er stabile, andre er radioaktive

## 1. Grundlæggende kernefysik

### ■ Kerneprocesser:

- Alfa-stråling ( $\alpha$ ):  ${}_{95}^{241}\text{Am} \rightarrow {}_{93}^{237}\text{Np} + {}_2^4\text{He}$   
 $\alpha$  er en Helium-kerne
- Beta-stråling ( $\beta$ ):  ${}_{38}^{90}\text{Sr} \rightarrow {}_{39}^{90}\text{Y} + {}_{-1}^0\text{e}$   
 $\beta^-$  er en elektron,  $\beta^+$  er en positron
- Gamma-stråling ( $\gamma$ ):  ${}_{56}^{137}\text{Ba}^* \rightarrow {}_{56}^{137}\text{Ba} + \gamma$   
 $\gamma$  er et energi-kvant

## 1. Grundlæggende kernefysik

- Tallet for oven angiver antal nukleoner (A)
- Tallet for neden angiver antal protoner (Z)
- Ved en kerneproces skal summen af A være ens på begge sider. Ligeledes med summen af Z:  ${}_{95}^{241}\text{Am} \rightarrow {}_{93}^{237}\text{Np} + {}_2^4\text{He}$

## 1. Grundlæggende kernefysik

### ■ **Bevarelse** under kerneprocesser:

- **Antal nukleoner (A)** er bevaret  
NB: proton kan laves til neutron og omvendt.
- **Samlede ladning (Z)** er bevaret  
NB: Ladningen kan flytte til en anden partikel
- **Samlede energi** er bevaret

## 2. Radioaktivt henfald

- Kerneomdannelsen kaldes et **radioaktivt henfald**
- Radioaktivitet er en **stokastisk proces**, dvs. der er en vis sandsynlighed for at en kerne henfalder i et tidsrum – men ingen garanti
- Kan efterlignes ved **simulering**
- For en stor stofmængde taler man om **halveringstiden** (når halvdelen er henfaldet)

## 2. Radioaktivt henfald

- **Aktiviteten A(t)** måles i **Bq** (Bequerel) = antal henfald pr. sekund
- For en mængde stof N(t) aftager aktiviteten eksponentielt:

$$A(t) = A_0 \cdot e^{-k \cdot t}$$

$$A(t) = k \cdot N(t)$$

$$A(t) = A_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\left(\frac{t}{T_{1/2}}\right)}$$

$$T_{1/2} = \frac{\ln(2)}{k}$$

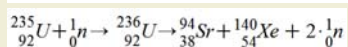
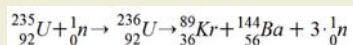
## 2. Radioaktivt henfald

- Henfald kan være del af en kæde, så stof1 er radioaktivt, og henfalder til stof2, som selv er radioaktivt, som så henfalder til stof3 osv.
- Eksempel på praktisk anvendelse er **Kulstof-14-metoden**, som anvendes til datering af moselig, gammelt træ osv.
  - C-14 er radioaktivt med en halveringstid på 5730 år. C-14 findes i levende stof og udgør en bestemt brøddel af C, men efter døden henfalder C-14. Måles brøddelen nu, kan man beregne, hvornår døden indtraf.

## 4. Uran-energi

### ■ **Fissions-proces:**

- Fission = spaltning  
Fusion = sammensmeltning
- Tunge nuklider som f.eks. U-235 kan lave fission og skabe energi:



- Lette nuklider som H-1 og H-2 kan skabe *stor* energi ved fusion.

## 4. Uran-energi

### ■ **Neutroner:**

- Ved at beskyde U-235 med 1 neutron får man 2-3 neutroner igen
- Fissionen (spaltningen) af U-235 kan give mange forskellige produkter. Mange kerner med massetal omkring 90-100 og mange omkring 135-145

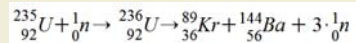
## 4. Uran-energi

### ■ Einsteins formel: $E = m \cdot c^2$

- Masse og energi er ækvivalent
- Forsvinder der masse, så opstår der energi
- Energi kan forsvinde og masse i form af en partikel kan opstå
- For at lave beregninger skal alle masser regnes med *mange* decimaler

## 4. Uran-energi

- Ved **fissionen** af U-235 opstår der stor energi, da "højresiden" har mindre masse end "venstresiden":



- Ved ovenstående fission skabes der 173 MeV i energi
  - 1 MeV = 1 mega elektronvolt
  - 1 eV =  $1.60 \cdot 10^{-19}$  J

## 5. Kædereaktion

- Naturligt uran består af 99.3% U-238 og kun 0.7% U-235
  - U-238 absorberer neutroner
  - U-235 udsender 2-3 neutroner ved fission
- Naturligt uran kan ikke anvendes til en atombombe, fordi neutronerne fra fissionen i U-235 absorberes af U-238

## 5. Kædereaktion

- *Langsomme* neutronerne har lettere ved at lave fission, når de rammer en U-235 kerne
- Så neutronerne skal helst bremses ned
- **IDE:** Derfor indføres en **moderator**, som skal nedbremse neutronerne
- Moderatoren skal være let, så bremser den neutronen bedst ved sammenstød
- Moderatoren må ikke selv absorbere neutronen

## 5. Kædereaktion

- Velegnede moderatører:
  - Tungt vand (indeholder tungt brint H-2, også kaldet deuterium)
  - Grafit (indeholder C)
- Tungt vand udgør 0,02% af vand
- Tyskerne forsøgte at skaffe tungt vand fra Norge, som de havde besat. Det tunge vand blev produceret af Norsk Hydro i Rjukan, Norge. Saboteret af 6 specialtrænede nordmænd i 1942, bombet af 173 allierede fly i 1943.

## 5. Kædereaktion

- **IDE: Berigning:**
  - Hvis man øger %-delen af U-235, kalder man det at **berige** uran
  - *Meget kompliceret og dyrt at berige uran*
  - Metoder, som udnytter masseforskellen, der jo er under 2%):
    - Centrifugering
    - Diffusion

## 5. Kædereaktion

### ■ IDE: Plutonium:

- Anden metode var at anvende plutonium (Pu) i stedet for Uran (U)
- PU-239
- Fremstilles ved beskydning af U-238 med en neutroner

## 5. Kædereaktion

### ■ Kritisk størrelse:

- For at holde kædereaktionen i gang skal klumpen af U-235 være tilstrækkelig stor
- Hvis ikke vil for mange neutroner undslippe gennem overfladen
- Antal U-235 vokser med rumfanget I tilfælde af en kugle er antallet proportionalt med  $R^3$ , mens tabet gennem overfladen er proportionalt med  $R^2$

## 6. Manhattan Projektet

- USA's præsident Roosevelt og den engelske premierminister Churchill igangsatte udviklingen af atom-bomben i USA i 1942. På det tidspunkt var USA med i krigen (efter Japans angreb på Pearl Harbor)
- Produktions- og forskningsfaciliteter blev placeret rundt omkring i USA

## 6. Manhattan Projektet

- Hanford, Washington: **produktion** af Pu-239
- Berkeley: **udvikling** af berigning af uran ved elektromagnetisk separation
- Los Alamos: **konstruktion** og samling af bomberne
- Trinity: test af bombe
- Chicago: **udvikling** af reaktor
- Oak Ridge: **produktion** af beriget uran ved gasdiffusion
- New York: **udvikling** af berigning af uran ved gasdiffusion

## 6. Manhattan Projektet

- Side 51: "Vejene til atombomben"
- Hanford: 50.000 indbyggere!
- Der gik 2 år fra Einsteins brev til præsident Roosevelt førend projektet blev igangsat:
  - 150.000 ansatte
  - 2 mia. USD i omkostninger (1945)

## 6. Manhattan Projektet

- Mange nødvendige ting måtte først opfindes! F.eks. membraner til pumper i gasdiffusionsanlægget
- Spredningen på mange centre langt fra hinanden sikrede imod bombing fra Japan og spionage
- Centrene havde ingen indbyrdes kommunikation

## 7. De første reaktorer

- Første grafit-reaktor CP-1 under stadion på University of Chicago:
  - 34 tons uran-oxid + 385 tons grafit
- Hanford-reaktor "Site-W":
  - Øde ørken
  - Flod til kølevand
  - Formålet var produktion af Pu-239 ud fra U-238

## 7. De første reaktorer

- Adskillelse af Pu og U måtte ske med fjernstyring pga. strålingen (periskop, mikroskop, fiskeøje-objektiv)
- Ved opstarten producerede reaktoren 100 MW, men gik hurtigt i stå (skyldtes Xenon-forgiftning)

## 7. De første reaktorer

- Reaktoren styres via kontrolstænger, som kan trækkes ud. Stængerne er neutronabsorberende
- NB: DR1 på RISØ var Danmarks første reaktor. Til forskning.
  - Danmark har ikke længere reaktorer.
  - [steen-toft.dk/fysik/19971998/RISO-DR1.htm](http://steen-toft.dk/fysik/19971998/RISO-DR1.htm) (forsøg med reaktor)

## 8. Bomberne

- Los Alamos (forskningslaboratorier)
- Trinity Site (test af atombombe)
- Problemstillinger:
  - Fissions-neutronernes fysik
  - Bestemmelse af den kritiske masse
  - Samling af den kritiske masse hurtigt nok
  - Fastholdelse af overkritik tilstand længe nok

## 8. Bomberne

- Neutronkilde til at starte kæde-reaktionen (radium-beryllium)
- Samling af kritisk masse:
  - **Kanonrørs**-metoden ("Little Boy" anvendt over Hiroshima)
  - **Implosions**-metoden ("Fat Man" anvendt over Nagasaki)
- **Spinoff**: Matematikeren von Neumann udviklede princippet bagved computere for at kunne udføre de mange beregninger, som var nødvendige

## 8. Bomberne

- Trinity-testen anvendte Pu. Man havde ikke tid til at teste U. Bomben var af implosionstypen.
- Ildkuglen kunne ses 350 km væk
- Forløbet af sprængning:
  - 100.000 grader varmt
  - Trykbølge med 3 x lydets hastighed
  - Ildkugle suger støv med op
  - Paddehattesky

## 8. Bomberne

- Fysikerne chokerede over bombens virkning
- Præsident Truman beordrede bomben anvendt på Japan
- 6. august 1945 kl. 8.15 lokal tid sprængtes "Little Boy" (510 meter over jorden for at optimere sprængkraften – hvad sker der, hvis den sprænges på jordoverfladen?)

## 8. Bomberne

- 70.000 mennesker døde straks
- Hiroshima og Nagasaki blev skånet for almindelige bombetogter, så det ville være lettere at se atombombens skadevirkninger!
- 9. august: bombe over Nagasaki
- 15. august: Japan kapitulerede
- Perspektiv: I 2. verdenskrig døde ca. 60 millioner mennesker!

## 9. Ingen vej tilbage?

- Bombens virkninger. Hvad dør folk af?
  - Varmen (1/3 af energien)
  - Trykbølge (1/2 af energien)
  - Ioniserende stråling (1/6 af energien)
- Hiroshima:
  - 13 km<sup>2</sup> blæst væk og forkullet
  - Ildkugle på 400 m i diameter, alt indenfor 2 km i afstand blev antændt direkte
  - Strålesyge pga. radioaktiviteten

## Mere om nukleare bomber

- **Brintbomben** blev først testet på Bikini-øerne
  - Forudsætter en atombombe for at opnå tilstrækkelig høj temperatur, så brinten kan lave fusion
- Først: FN-forbud imod sprængninger i atmosfæren. Skal foregå underjordisk
- Senere: forbud imod afprøvning overalt. Skal i stedet for lave computersimulering
- En atombombe-sprængning underjordisk kan detekteres af seismografer i andre lande! Kan skelnes fra et jordskælv, da der KUN er en primær bølge (kompression) ved en sprængning. Og størrelsen af bomben kan estimeres via størrelsen af seismografens udslag

## Efterskrift

- Militæret har også eksperimenteret med udvikling af en **neutron-bombe**:
  - Dræber levende ting (mennesker), men skåner i høj grad bygninger mm.!
  - Så man kan overtage fjendens landområde, som er rimeligt uskadt
- Fredelig udnyttelse af fission:
  - Atomkraftværker