

**Navn:**

**Fødselsdato:**

**Skole:**

Tårnby Gymnasium

**Fag:**

Studieretningsprojekt, Samlet vurd. (6647--

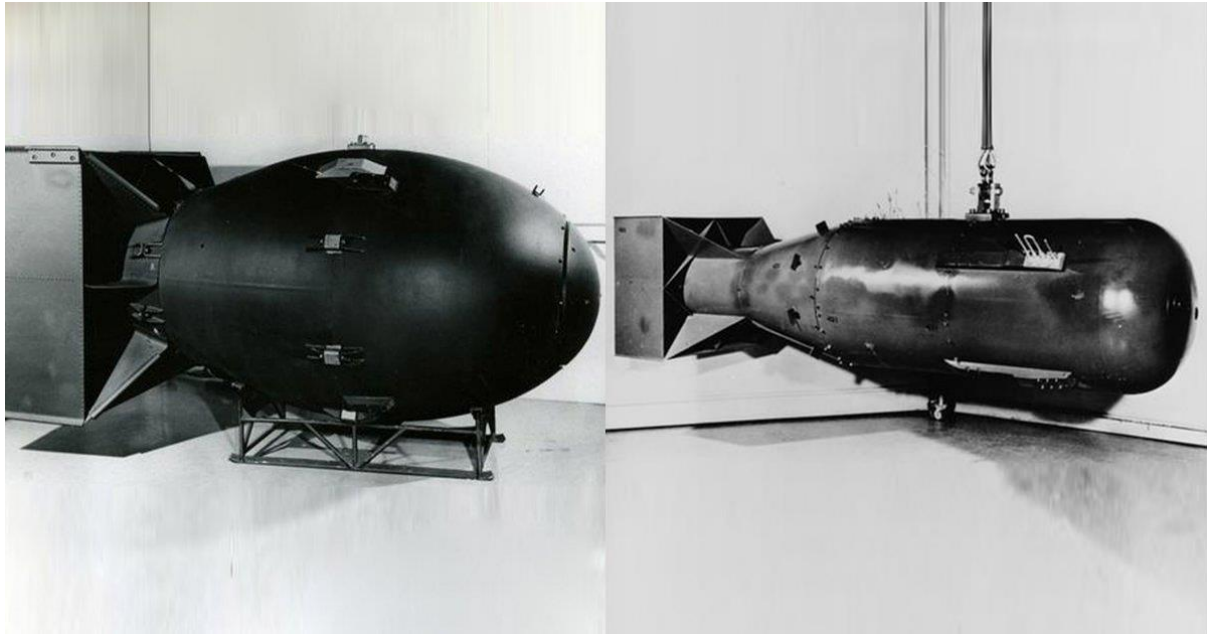
Gym bekend, )

**Dato for prøveafleggelse:**

26-03-2021

# SRP om Manhattanprojektet og fremstillingen af atombomben

Afleveret: 26/03/2021



1

---

<sup>1</sup> Padinger, G. (2020)

## **Opgaveformulering:**

‘Manhattanprojektet og fremstillingen af atombomben’

Redegør for Manhattanprojektet og den historiske kontekst. Der ønskes et særligt fokus på samspillet mellem videnskabens muligheder og de politiske beslutninger som blev truffet i perioden.

Gør rede for fysikken bag atombomber og hvilke skader atombomberne udløste i Hiroshima og Nagasaki. Inddrag herunder begreber som fission, massedefekt, bindingsenergi, kritisk masse, radioaktivitets typer, henfaldsloven, halveringstid, halveringstykkelser og stråledosis.

Diskuter hvilke konsekvenser atombombningen i 1945 fik for den politiske situation samt de forskellige moralske og etiske dilemmaer som opstod i forbindelse med udviklingen og brugen af atombomben. I din diskussion skal du inddrage bilag 1 (vedlagt)

Opgavens omfang: 15 - 20 sider a 2400 enheder (antal anslag inklusive mellemrum).

Forside, indholdsfortegnelse, noter, litteraturliste, figurer, tabeller og lignende materialer medregnes ikke i omfanget. Hvor det skriftlige produkt indeholder større mængder af symbolsprog, skal disse dele af besvarelsen opgøres ud fra deres omfang på de givne sider uden at tælle antal enheder.

**Navn:**

**Vejledere:**

**Fag:** Fysik og historie

## 1. Resume

Følgende projekt undersøger årsagerne til Manhattanprojektet, atombombens virkning og dertil konsekvenserne af atombombningerne af Hiroshima og Nagasaki. Opgaven har konkluderet, at Manhattanprojektet var et projekt, hvis hensigt var at udvikle atombomber, som skulle bruges militært under 2. Verdenskrig. Initiativet til Manhattanprojektet var det, at man frygtede Nazitysklands eventuelle udvikling af atombomber. Opgaven har også konkluderet, at der udvikledes 2 atombomber, hvor de to forskellige slags dermed havde forskellige detonationsmetoder, og at atombomber bruger et fænomen ved navn fission af tunge kerner, der frigiver store mængder af energi.

Slutteligt har opgaven konkluderet, at konsekvenserne af Manhattanprojektet var et atomkapløb og både en større respekt for atomkraften men dertil også en større frygt for den. Dertil har opgaven også konkluderet, at under udviklingen af bomberne fik flere videnskabsmænd mere humane tanker end at bruge bomberne på Japan uden varsel, men at disse tanker blev skubbet til side, og at man efterfølgende retfærdiggjorde bombningerne med, at man sparede allierede troppers liv ved at bruge bomberne og dermed undgå en invasion af Japan.

## Indholdsfortegnelse

1. Resume.....	3
2. Indledning .....	5
3. Manhattanprojektet .....	6
3.1 Brevet og årsager til Manhattanprojektet.....	6
3.2 Tysklands atomprojekt.....	7
3.3 Videnskaben sat mod den militaristiske politik .....	8
4. Fysikken bag atombomber .....	10
4.1 Radioaktivitetstyper .....	10
4.1.1 Alfahenfald .....	10
4.1.2 Betahenfald .....	11
4.1.3 Gammahenfald og elektronindfangning.....	12
4.2 Henfaldsloven .....	12
4.3 Ioniserende stråling.....	13
4.4 Halveringstykkelser.....	14
4.5 Atomkerner og nukleoner .....	15
4.5.1 Fission.....	16
4.6 Bomberne forklaret .....	16
4.6.1 Bombernes og strålingens effekt.....	17
4.6.2 Måling af strålingsskade .....	18
5. Politiske, moralske og etiske konsekvenser af bombningerne.....	19
5.1 Atomkapløbet og fremtidig brug af atomkraft.....	19
5.2 Edward Tellers valg .....	20
5.3 Groves' argument.....	21
5.4 Retfærdiggørelsen af bomberne .....	22
6. Konklusion.....	24
7. Litteraturliste.....	25
8. Billag.....	28

## 2. Indledning

Den 6. og 9. august 1945 kastedes 2 atombomber over henholdsvis Hiroshima og Nagasaki i Japan. Atombomberne var konstrueret i det statslige såkaldte Manhattanprojekt, der var placeret i USA. Atombomberne ødelagde store arealer og slog over 100.000 ihjel, og deres hensigt var ment til at være en hurtig slutning på 2. Verdenskrig.<sup>2</sup> I denne opgave undersøges årsagerne for dannelsen af Manhattanprojektet og hvordan politikken og videnskaben spillede sammen i den proces. Der forklares også fysikken bag atombomberne, hvor basale begreber fra radioaktivitet uddybes og bomberne hertil forklares i større dybde. Slutteligt diskuteres konsekvenserne af bombningerne og dertil undersøges de etiske overvejelser, man fik under udviklingen af bomben. Denne opgave løses ved indhentning af faglig viden fra diverse hjemmesider, artikler og i-bøger, hvor en primær kilde er BB Grafiks '*Manhattan Projektet*'. Der anvendes også matematikudvidelsen WordMat til Word, hvori symbolsprog i fysik indskrives. I diskussionen anvendes der også flere bilag udleveret af vejlederne, som består af to forskellige citater fra to forskellige medvirkere af Manhattanprojektet, herunder Leslie Groves og Edward Teller.

---

<sup>2</sup> History (2017)

### 3. Manhattanprojektet

Manhattanprojektet var et projekt lokaliseret i USA, der varede fra 1942 til 1945, og hvis opgave var at producere atomvåben. Det ledte til konstruktionen af 2 atombomber, hvor den ene blev smidt over Hiroshima 6. august 1945 og den anden over Nagasaki 9. august 1945. Bombningerne ledte til døden af over 100.000 civile fra Japan og det startede en ny atomalder.<sup>3</sup> I dette afsnit belyses optakten og årsagerne til Manhattanprojektets dannelse.

#### 3.1 Brevet og årsager til Manhattanprojektet

De ungarske fysikere Leo Szilard og Eugene Wigner tog i 1939 initiativet til at kontakte Albert Einstein, som på dette tidspunkt var en stjerne indenfor videnskaben, for at få hans hjælp til at skrive et brev til den amerikanske præsident Roosevelt.<sup>4</sup> Fælles for alle disse videnskabsmænd var, at de var flygtet fra Europa på grund af den voksende nationalsocialisme og antisemitisme i Tyskland. Leo Szilard og Eugene Wigner troede nemlig også, at Nazityskland var i gang med eller ville få evnen til at udvikle atomvåben, som også var det, de ville informere Roosevelt om. Det ses nemlig også i Einsteins brev, at han vidste, at Tyskland havde købt uran fra Tjekkoslaviet.<sup>5</sup> Brevet blev skrevet i august 1939, men præsidenten fik det først i oktober, og det lykkedes heller ikke at gøre præsidenten særligt interesseret i at starte projektet om at konstruere en atombombe på dette tidspunkt. Det skal også understreges, at Einstein i sit brev først skrev, at uran *“kan blive udviklet til en ny og betydningsfuld energikilde i den allernærmeste fremtid.”*<sup>6</sup> Altså skriver Einstein først og fremmest, at uran kan bruges som energikilde, og senere i brevet kommer han ind på, at teknologien også kan bruges til bomber, og at Tyskland nok allerede er i gang, så at USA nok også skulle komme i gang.

I England 1941 planlagde en britisk komite for uran, MAUD, at der skulle indføres produktion af atomvåben i landet. Men man var bange for, at industrien i England ville blive overvåget eller endda bombet af tyskerne, så man overvejede at flytte produktionen til USA. Den 6. december i 1941 valgte man selv i USA at gå i gang med foreberede produktionen af

---

<sup>3</sup> History (2017)

<sup>4</sup> Christensen, C. et al. (1993), side 48

<sup>5</sup> Ibid, side 47

<sup>6</sup> Ibid

atomvåben, muligvis efter inspiration fra MAUD i England. Dagen efter skete det japanske angreb på Pearl Harbour, og det var muligvis også med at til få USA i gang med forløbet, da angrebet gjorde, at USA trådte ind i krigen og igangsatte bombeprojektet i 1942. Man gjorde arbejdet til en fællesindsats med England, som Roosevelt og den engelske premierminister Churchill blev enige om. Projektet fik militærstatus og blev leddet af General Groves, og det blev placeret på Manhattan, som var der, navnet stammede fra.<sup>7</sup>

### 3.2 Tysklands atomprojekt

I Einsteins brev omtalte han som nævnt Tyskland og hentydede til muligheden om, at de var i gang med at arbejde med uran. I 1939 kom der rygter fra Tyskland til USA om, at Tyskland kiggede på at udvikle et uranprojekt, som skulle bruges til energiproduktion, men ikke bomber. Det skete, da en offentlig artikel kom ud i et tysk naturvidenskabstidskrift, der omhandlede atomkernens potentiale til at skabe energi. Men man tænkte i USA, at siden denne artikel var blevet godkendt til offentligheden, så måtte de tyske videnskabsmænd vide meget mere, end hvad artiklen indeholdt. Tyskland havde også besat en norsk fabrik, hvor man producerede tungt vand, og dette værk blev bombet af England.

Senere, under den allierede invadering af Tyskland i 1944, fandt man ud af, at tyskerne ikke var nået længere end forsøg på at lave atomreaktorer, og der blev ikke fundet nogen som helst atomvåben<sup>8</sup>. Faktisk er det den generelle konsensus, at Tyskland fejlede sit atomprojekt,<sup>9</sup> fordi de simpelthen ikke havde råd til at fuldføre det under krigen. Også af denne artikel ses det, at der var op mod 250.000, der arbejdede på Manhattanprojektet, mens der var omkring 100 i Tysklands atomprojekt. Werner Heisenberg, som var en af de ledende tyske videnskabsmænd under det tyske atomprojekt, prøvede faktisk også aktivt at undgå udviklingen af atombomber.<sup>10</sup> Det fremgår af denne artikel, at

*“After the war, Heisenberg wrote in Nature that there were simple practical reasons why Germany never embarked on a full-scale bomb programme. Under wartime conditions, it would have been impossible to build the huge industrial infrastructure of the US’s Manhattan Project. But he also wrote that the physicists themselves ‘had consciously striven to keep control of the project’ and avoided work on a bomb, preferring to work on reactors and cyclotrons.”<sup>11</sup>*

---

<sup>7</sup> Ibid, side 49

<sup>8</sup> Ibid, side 50

<sup>9</sup> Easley, M (s.d.)

<sup>10</sup> Charles, D. (1992)

<sup>11</sup> Ibid



så det var for dyrt for tyskerne at bygge bomben, og Heisenberg og hans kollegaer prøvede at undgå at arbejde på en bombe, og de ville hellere lave atomkraftværker.

Så det oprindelige motiv for Manhattanprojektet døde, når man i 1944 fandt ud af, at tyskerne ikke havde nogle bomber overhovedet, men man fortsatte alligevel produktionen af bomberne.<sup>12</sup>

### 3.3 Videnskaben sat mod den militaristiske politik

Før 2. Verdenskrig foregik det meste af den moderne forskning indbyrdes på universiteter og laboratorier og var hovedsageligt styret af enkelte forskere med ikke megen støtte fra staten eller den private sektor. Dette ændredes under Manhattanprojektet, hvor staten gav massiv støtte til videnskaben, og denne store og dyre støtte kalder man i dag 'Big Science'. Som nævnt ledede General Groves projektet, så på papiret var det militæret som styrede Manhattanprojektet. General Groves ønskede faktisk, at videnskabsmændene, der arbejdede på projektet, skulle blive en del af militæret,<sup>13</sup> men fysikerne afslog, da

*“de bl.a. sagde, at den typiske militære adfærd - at udføre en ordre uden at stille spørgsmål - var i strid med det væsentlige i videnskabelig forskning - at være kritisk overfor dogmer og autoriteter.”<sup>14</sup>*

Der opstod altså en form for konflikt mellem den metodiske videnskab og den impulsive politik og militarisme. Oppenheimer, som var en af de ledende fysikere under Manhattanprojektet, havde også et citat mens han så på atombombetestningen Trinity i New Mexico i juli 1945:

*“We knew the world would not be the same. A few people laughed, a few people cried, most people were silent. I remembered the line from the Hindu scripture, the Bhagavad-Gita. (...) ‘Now, I am become Death, the destroyer of worlds.’ I suppose we all thought that one way or another.”<sup>15</sup>*

I dette citat ses det altså, at Oppenheimer og mange andre af videnskabsmændene, der havde arbejdet på projektet, var bange for det våben, de havde lavet. Oppenheimer følte sig selv som Døden, der kunne ødelægge verdener.

---

<sup>12</sup> Christensen, C. et al. (1993), side 50

<sup>13</sup> Ibid, side 54

<sup>14</sup> Ibid

<sup>15</sup> Atomic Archive (s.d.):

Der var også andre videnskabsmænd, som henvendte sig til Roosevelt med tanker om, at brugen af bomberne kunne have moralske eller politiske konsekvenser for USA, herunder Niels Bohr, Einstein og Szilard - og de to sidste var endda dem, der opfordrede til, at projektet skulle startes.<sup>16</sup> Med denne viden og med Heisenbergs forsøg om at forhindre den tyske produktion af atomvåben kan det konkluderes, at en større håndfuld videnskabsmænd ikke støttede bombningen af Hiroshima og Nagasaki. Derimod var der i det politiske og militaristiske syn stor støtte for bombningen. Winston Churchill sagde under en debat 10 dage efter bombningen:

*“I am surprised that very worthy people, but people who in most cases had no intention of proceeding to the Japanese front themselves, should adopt the position that rather than throw this bomb, we should have sacrificed a million American and a quarter of a million British lives in the desperate battles and massacres of an invasion of Japan.”<sup>17</sup>*

Her siger Churchill altså, at man havde sparet millioner af allierede troppers liv ved at smide bomberne, da man mente, at man kunne have mistet mange liv ved at invadere Japan. Det var planen at invadere Japan efter, at Nazityskland gav op, og denne plan kaldtes Operation Downfall.<sup>18</sup> Det ses i denne artikel, at antal estimerede døde under Downfall varierede helt fra 250.000 til de 1.000.000, som Churchill forudså. Det ses også, at præsident Truman brugte mængde af allierede døde som argument for, at man skulle smide bomberne. Da Japan gav op den anden september, aflystes Operation Downfall altså.<sup>19</sup>

Det kan altså konkluderes, at flere videnskabsmænd var imod idéen om at smide bomberne. Oppenheimer var bange for det våben, de havde skabt, og Heisenberg ville hellere bruge fissionen som energikilde. Dog ville politiske aktører som Churchill og Truman gerne smide bomberne, fordi de mente, at det ville spare allierede troppers liv.

---

<sup>16</sup> Christensen, C. et al. (1993), side 75

<sup>17</sup> Hansard 1803-2005 (1945)

<sup>18</sup> Trueman, C. (2015):

<sup>19</sup> Ibid

## 4. Fysikken bag atombomber

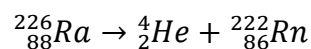
Bomberne, der blev smidt over Hiroshima og Nagasaki, var atombomber. I dette afsnit forklares grundlæggende fysik omkring radioaktivitet og fission og slutteligt bombernes virkemåde og dertil mulige skader ved stråling.

### 4.1 Radioaktivitetstyper

Der findes 4 generelle former for radioaktivt henfald. Et radioaktivt henfald er hvor en ustabil kerne forsøger at gøre sig selv mere stabil ved at udsende partikler. Generelt vedligeholdes der 4 ting ved kerneprocesser: Energi, ladning, nukleontal og leptontal. Dette betyder, at disse mængder skal være lig hinanden på begge sider af reaktionspilen i en kerneprocess. Leptoner er en form for elementarpartikel, der fremkommer i betahenfald og elektronindfangning.<sup>20</sup>

#### 4.1.1 Alfahenfald

I denne radioaktivitetstype udsender kernen en heliumkerne, der har 2 protoner og 2 neutroner. Man kalder også heliumkernen for alfapartikel, og det kan skrives som  $\alpha$ -partikel. Nedenstående er et eksempel på en  $\alpha$ -henfald, hvor en radiumkerne udsender en alfapartikel og så henfalder til en radonkerne.



Det ses, at de 4 kriterier for vedvarelse er overholdt.

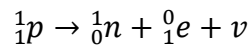
---

<sup>20</sup> Benoni, T. et al. (2020), id=567

#### 4.1.2 Betahenfald

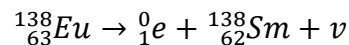
Betahenfald karakteriseres ved, at de udsender en betapartikel, som kan skrives som  $\beta$ -partikel, som også er en elektron.  $\beta$ -henfald inddeles også i 2 typer, herunder  $\beta$ -plus og  $\beta$ -minus.

I  $\beta$ -plus henfalder en proton til en neutron, positron og en neutrino. Det skrives op

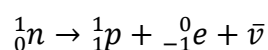


Det ses, at nukleontallet vedvares og ladning vedvares. En positron er en antipartikel til elektronen og skrives dermed som  $\beta^+$ . En antipartikel har samme masse som dens normale version, men ikke ladning eller magnetiske egenskaber.<sup>21</sup> Derudover udsendes en neutrino, som ingen ladning har og har en meget lille masse. Da positronen er en antipartikel, har den et leptontal på -1. Vi husker, at ved kerneprocesser skal leptontal vedligeholdes, og dette udlignes af neutrinoen, som har et leptontal på 1.<sup>22</sup> Skulle man angive et henfaldsskema for  $\beta$ -plus, ville protontallet falde med 1, da man jo omdanner en proton til noget andet.

Nukleontallet ville forblive det samme, da en proton jo omdannes til neutron. Nedenstående er et eksempel, hvor en europiumkerne henfalder til en samariumkerne.

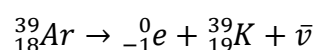


I  $\beta$ -minus henfalder en neutron til proton, elektron og en antineutrino. Det skrives op



Det ses her, at nukleontal vedvares, og ladning vedvares også, da den går fra 0 til 1-1.

Leptontallet for elektroner er 1, og leptontallet for antineutrinoer er -1, igen fordi det er en antipartikel.<sup>23</sup> I et henfaldsskema med  $\beta$ -minus ville protontallet stige med 1, da man omdanner en neutron til en proton, mens nukleontallet forbliver det samme. Et eksempel for  $\beta$ -minus-henfald ses nedenstående, hvor en argonkerne henfalder til en heliumkerne.



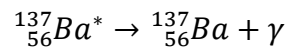
<sup>21</sup> Øehlenschläger, (2020), id=219

<sup>22</sup> Benoni, T. et al. (2020), id=567

<sup>23</sup> Ibid

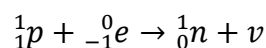
### 4.1.3 Gammahenfald og elektronindfangning

I gammahenfald er en kerne i en exciteret tilstand, hvor den så afspændes igen ved at emitte energi via en foton, der også kaldes en gammakvante, som kan skrives som  $\gamma$ -kvante. Man markerer den exciterede kerne med en stjerne, og et eventuelt henfaldsskema kunne se således ud:



Der ændres altså ikke i nukleontal, da der ikke udsendes nogen nukleoner.

Elektronindfangning er en anden type stråling. I elektronindfangning absorberer atomkernen en elektron fra den indre skal, eller k-skallen, og dette udlignes så ved, at en neutron og en neutrino udsendes. Det ses nedenstående, at en proton og en elektron i den forstand omdannes til en neutron og en neutrino.



### 4.2 Henfaldsloven

Hvis man har en mængde af radioaktive kerner, vil der gå en tid, før at alle kernerne er henfaldet. Den tid det tager, for at halvdelen af ens kerner er henfaldet, kaldes halveringstiden og skrives som  $T_{0,5}$ . Det viser sig så, at man kan skrive sammenhængen mellem antal kerner og tid med henfaldsloven, som ser således ud:

$$N(t) = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{0,5}}}$$

hvor  $N(t)$  er antal kerner efter tiden  $t$ ,  $N_0$  er antal kerner man startede med og  $T_{0,5}$  er halveringstiden. Man kan også skrive sammenhængen således:

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-kt}$$

så det ses, at antallet af kerner aftager eksponentielt med tiden. Man kan så finde halveringstiden fra denne sammenhæng med formlen:

$$T_{0,5} = \frac{\ln 2}{k}$$

hvor  $k$  er halveringskonstanten. At antallet af kerner aftager eksponentielt ses i model 1<sup>24</sup>

### 4.3 Ioniserende stråling

$\alpha$ -,  $\beta$ - og  $\gamma$ -partikler betegnes alle som ioniserende stråling, da de kan afgive energi til et stof, de rammer, og i den proces ionisere det. Dog absorberes de forskelligt. Henvist til model 2<sup>25</sup>, hvor en ionisering sker. En udefrakommende ioniserende partikel, som for eksempel en  $\gamma$ -kvante, kommer ind i atomets orbital, hvor det sparker en elektron ud af skallen, der så resulterer i, at den forblivende atomkerne bliver en positiv ion.

$\alpha$ -partikler afgiver energi ved sammenstød i elektroner hos et andet atom.<sup>26</sup> Dog vejer  $\alpha$ -partikler væsentligt mere end elektroner, og det kan regnes ud hvor meget. Af en artikel fra Chemistry LibreTexts fremgår det, at "*The mass of an electron is only about 1/2000 the mass of a proton or neutron.*"<sup>27</sup> Så vægten af protonerne og neutronerne sættes til den relative masse 1 sammenlignet med elektronerne. I en  $\alpha$ -partikel har man 4 nukleoner, så man finder forholdet.

$$\frac{4}{\frac{1}{2000}} = 8000$$

Så  $\alpha$ -partiklen ses at have en masse ca. 8000 gange større end en elektron, den kunne sparke ud af skallen. Så fordi, at de vejer så meget mere end elektroner, kan de meget nemt slå elektronerne ud af skallen, men de afgiver også meget af deres energi meget hurtigt, som resulterer i, at de ikke kan penetrere særligt meget biologisk materiale som papir eller hud. Dog kan  $\alpha$ -kernerne være relativt farlige, hvis de kommer direkte ind i kroppen, da så vil de kunne gøre større skader.<sup>28</sup>

$\beta$ -partikler ioniserer også atomkerner ved sammenstød med deres elektroner. Siden at  $\beta$ -partikler er elektroner, har de en meget mindre masse end heliumkerner og har dermed en

<sup>24</sup> Benoni, T. et al. (2020), id=568

<sup>25</sup> Ibid, id=572

<sup>26</sup> Ibid

<sup>27</sup> Chemistry LibreTexts (september 2019)

<sup>28</sup> Arpansa (s.d.)

større hastighed.<sup>29</sup> Dette gør også, at de generelt kan penetrere dybere i materiale end  $\alpha$ -kerner, som også ses i model 3.<sup>30</sup> Efter  $\beta$ -partiklen har ioniseret, vil den afbøjes i en zigzag-form, som gør, at ikke alle  $\beta$ -partiklerne kommer særligt langt ind i stoffet.

Bremsestråling skal også nævnes, som er det fænomen, hvor at en  $\beta$ -partikel med høj hastighed kommer tæt på en atomkerne, men derefter bremses og dermed udsender elektromagnetisk stråling.<sup>31</sup>

$\gamma$ -kvanter, eller fotoner, er anderledes i det, at de ingen masse har, og siden de er lys, findes de på det elektromagnetiske spektrum. Og i det elektromagnetiske spektrum findes gammastråler i den ende af spektret, der har den største energi, som det ses i model 4.<sup>32</sup>

Denne høje energi er grund til, at gammastråling dermed har større ioniseringsevne end alfa- og betastråling.<sup>33</sup>  $\gamma$ -kvanter med en lavere energi kan afgive deres energi til det atom, de rammer, ved almindelig absorption, hvor atomet bliver exciteret og sender en elektron til et højere energiniveau. Ellers kan elektronen bare skubbes ud af atomet, som kaldes fotoelektrisk effekt.<sup>34</sup> Den fotoelektriske effekt sker kun i den indre skal. En anden måde  $\gamma$ -kvanter kan afgive deres energi er ved et fænomen, der hedder Comptonspredning, som sker, hvis  $\gamma$ -kvanten har større energi, og dette sker kun, hvis fotonen rammer en elektron i den ydre skal. Fotonen skubber så elektronen ud af dens orbital, der ioniserer atomet, og fotonen fortsætter videre med en lavere energi.<sup>35</sup> Den energi fotonen mister er lig den kinetiske energi, elektronen sendes videre med.

#### 4.4 Halveringstykkel

Når  $\gamma$ -kvanter passerer gennem materialer, afhænger hvor langt de kan komme igennem af både strålens intensitet og tykkelsen af stoffet, det skal passere igennem. Ofte bruges bly som eksempel, og situationen ses i model 5.<sup>36</sup> Det ses nemlig, at færre og færre stråler passerer gennem mediet, som er bly, jo flere plader tilføjes.

---

<sup>29</sup> Harvard University (ukendt)

<sup>30</sup> Benoni, T. et al. (2020), id=572

<sup>31</sup> Ibid

<sup>32</sup> National Aeronautics and Space Administration (2013)

<sup>33</sup> Benoni, T. et al. (2020), id=572

<sup>34</sup> Ibid

<sup>35</sup> Clover Learning (2019)

<sup>36</sup> Benoni, T. et al. (2020), id=572

Hvis man analyserer intensiteten af strålen, vil man se, at intensiteten af strålen aftager eksponentielt med tykkelsen af mediet. Det skrives med denne sammenhæng:

$$I(x) = I_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{x}{x_{0,5}}}$$

hvor  $I(x)$  er intensiteten efter at have passeret gennem mediet,  $I_0$  er startintensiteten inden strålen rammer pladen,  $x$  er tykkelsen af mediet og  $x_{0,5}$  er halveringstykkelsen, som beskriver hvor tykt mediet skal være, for at intensiteten er halveret. Denne sammenhæng kan også skrives således

$$I(x) = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot x}$$

hvor  $\mu$  er den lineære absorptionskoefficient, som afhænger af densiteten af det medie, man bruger. Man kan finde den lineære absorptionskoefficient med formlen:

$$\mu = \frac{\ln 2}{x_{0,5}}$$

#### 4.5 Atomkerner og nukleoner

Einsteins formel  $E = mc^2$  siger, at der er en korrelation mellem masse og energi. Det ses, at massen bliver ganget med lysets hastighed  $c^2$ , som er

$$\left(3,0 \cdot 10^8 \frac{m}{s}\right)^2 = 9 \cdot 10^{16} \cdot \frac{m^2}{s^2}$$

Så det er altså en temmelig stor størrelse, at massen bliver ganget med - så man kan fra Einsteins formel udlede, at alt masse har en massiv indre energi. Det viser sig så, at hvis man udregner massen af frie nukleoner og sammenligner massen med den sammensatte atomkerne, så får man ikke den samme masse. Dette fænomen kaldes massedefekt, og det vises i model 6.<sup>37</sup> Der er udregnet vægten af 1 fri proton, 1 fri neutron og en elektron og det er sammenlignet med tabelværdien for vægten af en deuteriumkerne. Det ses så, at de ikke vejer det samme, hvor at den samlede atomkerne vejer mindre. Dette forklares af, at de sammensatte nukleoner er mere stabile og dermed har mindre energi - og mindre energi er som sagt lig med mindre masse.

---

<sup>37</sup> Chemistry LibreTexts (juni 2019)



Det er dette massetab, der kaldes massedefekt, og forskellen i energi kaldes bindingsenergi.<sup>38</sup> Bindingsenergien skal forstås som den energi, der frigives, når atomkernen sammensættes, og det kan også forstås som den energi, det kræver, for at bryde en atomkerne til frie nukleoner.

#### 4.5.1 Fission

Fission er en proces hvori man splitter en atomkerne i 2 mindre atomkerner, der kaldes fissionsprodukter, ved at "skyde" kernen med en neutron. Når tunge kerner bruges til fission, er det en exotermisk reaktion, der frigiver store mængder af energi. Denne proces ses i model 7.<sup>39</sup> Det ses, at når uran-235 optager neutronen, bliver kernen ustabil, og den undergår dermed fission for at blive mere stabil. Dette ses så at resultere i, at kernen splitter i to mindre kerner og nogle ekstra neutroner. Disse ekstra neutroner kan være med til at starte det, der kaldes en kædereaktion, hvor at neutronerne kan ramme andre uran-kerner, der så kan sende endnu flere neutroner af sted. Stof, der kan bruges til en fissionsproces, kaldes at være fissilt.<sup>40</sup> Det viser sig så, at naturligt uran består 99,3% af isotopen U-238 og 0,7% U-235. Det er generelt U-235, man gerne vil bruge, da dette har en større sandsynlighed for at undergå fission, når det modtager neutronen, hvor at U-238 har større chance for ikke at have nogen effekt. Man snakker dermed ofte om berigning, som er hvor, man øger andelen af U-235. Den kritiske størrelse er dermed mængden af U-235, der skal til, for at kædereaktionen skal kunne holdes i gang.<sup>41</sup>

#### 4.6 Bomberne forklaret

Lumen siger:

*"In fission weapons, a mass of fissile material, either enriched uranium or plutonium, is assembled into a supercritical mass—the amount of material needed to start an exponentially growing nuclear chain reaction. This is accomplished either by shooting one piece of sub-critical material into another, termed the "gun" method, or by compressing a sub-critical sphere of material using chemical explosives to many times its original density, called the "implosion" method."*<sup>42</sup>

---

<sup>38</sup> Ibid

<sup>39</sup> Lumen (s.d.)

<sup>40</sup> Ibid

<sup>41</sup> Christensen, C. et al. (1993), side 38 & 43

<sup>42</sup> Lumen (s.d.)

Det fremgår af dette citat, at den superkritiske masse er den masse af det fissile materiale, der skal til, for at fissionsprocessens kædereaktion er eksponentiel, og der så afgives store mængder af energi. Den underkritiske mængde forstås dermed som en for lille mængde af fissilt materiale, som ikke kan opretholde en kædereaktion.

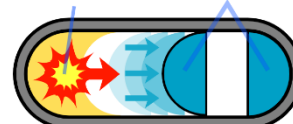
Bomben der blev smidt over Hiroshima kaldtes 'Little Boy', brugte uran i sin kernen og var af typen 'pistoltype'. Bomben der blev smidt over Nagasaki kaldtes 'Fat Man', brugte

plutonium i sin kerne og var en implosionstype.<sup>43</sup> Til højre ses en model fra samme artikel, der forklarer de 2 typer. Det ses, at pistoltypen bruger en normal eksplosion i den ene ende til at skyde et underkritisk stykke uran ind i et andet underkritisk stykke uran, der så kombineret gør dem til superkritiske. Dette starter kædereaktionen, der leder til eksplosionen.

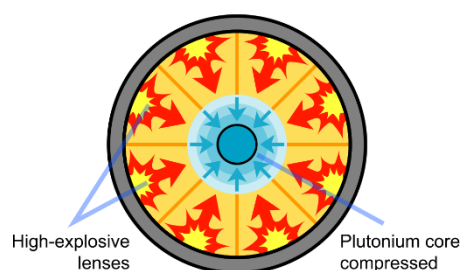
Implosionstypen er anderledes, da den bruger en hel, kugleformet kerne af plutonium i stedet for 2 stykker.

Kernen er dog stadig underkritisk. Når bomben detoneres, fyres der en masse normale eksplosioner af hele vejen rundt om kernen, der så komprimerer kernen og gør den mere tætpakket. Dette pres fra alle vinkler gør kuglen mindre, mens massen vedligeholdes, og dette gør massefylden af kernen større, som så gør massen til superkritisk - og dette starter så kædereaktionen, der leder til eksplosionen.

Conventional chemical explosive      Sub-critical pieces of uranium-235 combined



**Gun-type assembly method**



**Implosion assembly method**

#### 4.6.1 Bombernes og strålingens effekt

Når bomberne blev smidt, blev energien fra bomben fordelt i forskellige aspekter. Halvdelen gik en til tryk- eller chokbølge, en sjettedel til ioniserende stråling og 2 sjettedele som termisk energi eller varme.<sup>44</sup> En chokbølge forstås som en mur af luft der skubbes væk i en stor fart på 20 kilometer i minuttet, og den resulterede i Hiroshima i, at i et areal af 13 kvadratkilometer blev bygninger "blæst" i stykker. I den tidlige fission kom temperaturen i bomben op på millioner af grader, og dette skabte en kugle af ild med 200 meters radius, hvis overfladetemperatur nåede 5000 °C, hvilket nærmer sig Solens overfladetemperatur.

<sup>43</sup> Ibid

<sup>44</sup> Christensen, C. et al. (1993), side 79

Dette skabte ildstorme i en 2 kilometers afstand, der sendte askepartikler op i luften, der senere regnede ned igen som 'sort regn', der var stærkt radioaktivt. Ud af den sjattedels sidste energi kom den ioniserende stråling, hvor en tredjedel af denne kom i form af det, der kaldes initialstråling, som er stråling, der frigives inden for 1 minut efter eksplosionen.<sup>45</sup>

Resten af strålingen kom senere, efter at de tungere kerner havde henfaldet i noget tid. Denne andel af strålingen kaldes nedfald og spredtes langt fra stedet, hvor bomben eksploderede, og det tager lang tid, før den forsvinder. Hvis nogen befandt sig indenfor 1 km af eksplosionsområdet, og de ikke allerede var brændt ihjel eller knust af trykbølgen, ville de alligevel dø hurtigt af den massive mængde stråling. Symptomer på en så stor dosis indeholder kvalme, opkast af blod, feber, diarré og indre blødninger osv. Ofte vil en så stor strålingsdosis medføre død indenfor 2 uger. Dog kom andre følgevirkninger, for dem der overlevede, senere, i form af forskellige former for kræft og misdannede børn i form af genetisk skade.<sup>46</sup>

#### 4.6.2 Måling af strålingsskade

Der opstilles nogle begreber, der beskriver forskellige mængder eller typer af stråling. Den absorberede dosis  $D$  betegner den mængde energi der optages i kroppen, kaldes gray og har enheden  $[Gy] = \frac{J}{kg}$ . Hvilken effekt strålingen har på kroppen afhænger af typen af stråling, og den bestemmes af en kvalitetsfaktor  $Q$ .  $Q$  for  $\alpha$ -partikler er 20 og 1 for  $\beta$ -kvanter og  $\gamma$ -kvanter.<sup>47</sup> Dosisækvivalenten  $H$  findes så ved at gange  $Q$  og  $D$ :

$$H = Q \cdot D$$

Og siden  $Q$  ingen enhed har, bliver enheden for  $H$  også  $\frac{J}{kg}$ . Denne enhed hedder også sievert, der kan forkortes til Sv.

---

<sup>45</sup> Ibid

<sup>46</sup> Ibid, side 81

<sup>47</sup> Ibid

## 5. Politiske, moralske og etiske konsekvenser af bombningerne

Det er utvivlsomt, at atombombningerne havde større konsekvenser, hvis ikke kun dødstal og ødelæggelse. I dette afsnit fokuseres i stedet på andre aspekter af konsekvenserne, som kunne mærkes af verden rundt.

### 5.1 Atomkapløbet og fremtidig brug af atomkraft

Ved slutningen af 2. Verdenskrig så man potentiale i atomkraften, og dette ledte til et såkaldt atomkapløb mellem de to supermagter i vest og øst, USA og Sovjetunionen. I 1949 testede USSR sin første atombombe, og senere udviklede man såkaldte brintbomber, der er op til 1000 gange mere destruktive, end de bomber, som blev produceret i Manhattanprojektet.<sup>48</sup> Denne bog estimerede det totale antal atombomber i verden i 1993 til omkring 50.000. Dog var der endnu flere, mens den kolde krig stadig var i gang. Ifølge en artikel fra Routley, var der i 1986 i alt over 70.000 bomber, mens der i dag er omkring 15.000, hvor USA og Rusland stadig har langt størstedelen. Tallet er væsentligt lavere i dag, da man gennem tiden har ført en større nedrustning.<sup>49</sup> Der opstod også en anden bevægelse, der ville adskille det militære aspekt fra atomkraften og derimod anvende den til energi. Eisenhower, USA's præsident fra 1953 - 1961, var stor advokat for fredelig brug af atomkraften og førte et program, der kaldtes 'Atoms for Peace', hvis plan var at forsyne USA med billig atomkraft og fjerne det militære aspekt.<sup>50</sup>

Atombombningerne, selvom de var voldsomme og slog mange ihjel, kan også siges at have givet en bedre forståelse for den mulige fare ved at bruge denne stærke teknologi militært. Vi er i dag bedre sikret for, at noget som 2. Verdenskrig eller Hiroshima og Nagasaki ikke skal ske igen, og det har vi muligvis især FN at takke for. FN blev skabt i 1945 efter krigen for at vedligeholde verdensfred som en moralsk og etisk klogere kollektiv menneskelighed. Dog kunne man også argumentere for, at USA's atombombning af Japan har givet USA en større selvtillid som supermagt, og at det kan være farligt for resten af verden.

Dette understreges stærkt af den forrige præsident af USA Donald Trump, der i 2018

---

<sup>48</sup> Christensen, C. et al. (1993), side 83-84

<sup>49</sup> Routley, N. (2017)

<sup>50</sup> Christensen, C. et al. (1993), side 84

offentligt på det sociale medie Twitter udmeldte en form for trussel mod Nordkorea om, at hans atombombe-knap var større end den Øverste Leder af Nordkoreas:

*“North Korean Leader Kim Jong Un just stated that the ‘Nuclear Button is on his desk at all times.’ Will someone from his depleted and food starved regime please inform him that I too have a Nuclear Button, but it is a much bigger & more powerful one than his, and my Button works!”<sup>51</sup>*

Denne form for trussel af en amerikansk præsident virker farligt og det er ikke sikkert, at denne attitude havde været til stede, hvis atombombningerne ikke havde fundet sted.

En anden konsekvens af atombombningerne kom som en form for frygt for alt, der havde noget med atomkraft at gøre. Selvom den generelle holdning af offentligheden er voksende mod at være positiv for atomkraft,<sup>52</sup> får verden stadig kun 10 % af dens totale energi fra atomkraft,<sup>53</sup> og nogle lande går endda den forkerte retning, da Tyskland er i gang med at lukke atomkraftværker, fordi folk ikke vil have dem.<sup>54</sup> Det kan være problematisk at lukke atomkraftværker, når vi står i den klimakrise, vi gør, og når atomkraft er en carbonneutral og effektiv energikilde, der pr. energienhed slår proportionelt færre ihjel end fossile brændstoffer.<sup>55</sup> Så det er ikke utænkeligt, at atombombningerne har haft en negativ effekt i vores evne til at konvertere til carbonneutrale energikilder.

## 5.2 Edward Tellers valg

Edward Teller var en af de ledende videnskabsmænd under Manhattanprojektet sammen med Oppenheimer, og han havde senere en større rolle i udviklingen af hydrogenbomben.<sup>56</sup> I bilaget ses et længere citat fra Teller i 1962, hvor han omtaler sin bekymring og eventuelle fortrydelse af bombningen af Hiroshima og Nagasaki.

Teller fortæller om et tidspunkt, hvor han modtager et brev fra Szilard, der snakkede om, at man først skulle advare fjenden uden at smide bomben, som det ses i nedenstående citat.

---

<sup>51</sup> BBC News (2018)

<sup>52</sup> Bisconti, A.S. (2019)

<sup>53</sup> World Nuclear Association (2021)

<sup>54</sup> Murray, J. (2020)

<sup>55</sup> Ritchie, H. (2020)

<sup>56</sup> Britannica (2021)

*“Men i foråret 1945 blev jeg virkelig bekymret over den måde, hvorpå atombomben kunne anvendes. (...) da jeg i Los Alamos modtog et brev fra Szilard. Han bad om min støtte til en begæring, der indtrængende anmodede om, at USA ikke ville bruge atombomben i krigsøjemed uden først at advare fjenden. (...) Jeg rundtsendte ikke Szilards begæring. I dag beklager jeg, at jeg ikke gjorde det...”<sup>57</sup>*

Det fremgår også af kilden, at Teller gik til Oppenheimer, som ifølge Teller var lederen af projektet, med sine bekymringer. Oppenheimer svarede Teller, at *“han anså det for upassende for en videnskabsmand at bruge sin prestige som baggrund for politiske erklæringer.”*<sup>58</sup> Oppenheimer overtalte dermed Teller til ikke at sende Szilards anbefaling rundt, og dette fortrød Teller senere ikke at have gjort. Oppenheimer siger også her, at det ikke er videnskabsmændenes ansvar at klare det politiske, men at de bare skal følge ordrer og lave bomben, som de er blevet bedt om, og så vil de politiske aktører klare de svære beslutninger. Senere diskuterer Teller muligheden om at have vist bombernes styrke på en human måde, der ikke ville have dræbt nogen mennesker.

*“Vi kunne have bragt bomben til eksplosion i en meget større højde over Tokyo om aftenen. (...) Når bomben var blevet demonstreret (...) kunne vi have fortalt japanerne, hvad det var, og hvad der ville ske, hvis en anden atombombe blev bragt til eksplosion i lav højde...  
Jeg tror, at dette ultimatum ville være blevet accepteret, og at atombomben kunne være blevet brugt mere human, men lige så effektivt til at bringe krigen til en hurtig afslutning.”*

I dette citat ser vi altså Teller give et human, alternativt forslag til hvordan, man kunne have bragt en ende til verdenskrigen uden, at 100.000 japanske civile skulle dræbes i processen. At Teller selv, der har været med til at lave bomben, kalder den inhuman og fortryder sin mangel af indsats for at få bombningen stoppet, viser at der var et stort etisk og moralsk dilemma i udviklingen af bomberne.

### 5.3 Groves' argument

Det er tidligere nævnt, at Leslie Groves var den officielle leder af Manhattanprojektet. I et andet bilag ses et længere citat fra 1961, hvor han omtalte retfærdiggørelsen af bombningen. Som nævnt kom der flere videnskabsmænd til Oppenheimer og bad ham genoverveje brugen af bomben mod Japan. Groves siger dette om dem, der viste tvivl:

---

<sup>57</sup> Hansen, M. [Udleveret af vejleder AH] (2013)

<sup>58</sup> Ibid

*“En del af disse mænd var kommet til USA for at undslippe raceforfølgelse i Hitler-regimet. For dem var Hitler hovedfjenden, og da han var blevet tilintetgjort, fandt de det øjensynligt umuligt at udvikle den samme begejstring for at tilintetgøre Japans militærmagt.”<sup>59</sup>*

I Tellers citat så vi, at det bl.a. var Szilard, der genovervejede den militære brug af atombomben. Og som nævnt var det Szilard, Einstein og Wigner, der først startede initiativet til Manhattanprojektet, og at de alle var flygtet fra Europa fra jødeforfølgelsen. Groves lægger altså op til, at der er en mulighed for, at de videnskabsmænd, der var blevet forfulgt, havde en bias mod Hitler som deres ærkefjende, og når Hitler ikke længere var en trussel, så de ingen grund til at anvende bomben. Så det kan overvejes, om Szilards initiativ til at få bombningen stoppet måske ikke var ud af moral, men mere ud af personlig interesse. Groves nævner også den idé, som Teller havde, nemlig at man kunne have demonstreret styrken af bomberne uden at dræbe nogen:

*“Det har altid været vanskeligt for mig at forstå, hvorledes nogen kunne ignorere betydningen af bombens overvældende overrumplings-effekt på det japanske folk og dets regering. At opnå overrumpling var en af begrundelserne for, at vi så alvorligt havde prøvet at opretholde vor sikkerhedstjeneste.”<sup>60</sup>*

Altså siger Groves her, at man havde brugt meget energi på at holde projektet hemmeligt, og at man ved at varsle om bombens fare ville miste det potentielle overraskelsesmoment, man havde arbejdet så hårdt for at skabe. Men det er denne attitude, Teller mente var inhuman. Groves hentyder også til senere, at bombningen var et korrekt og klogt valg af præsident Truman, fordi historien viste, at det sparede amerikanske menneskeliv.

#### 5.4 Retfærdiggørelsen af bomberne

Som nævnt forsøgte politiske aktører som Churchill og Truman at retfærdiggøre bombningerne med, at der ville spares op mod en million allierede troppers liv. Men japanske filosof Masahiro Morioka siger: *“By making a justification, we are led to pretend that the perspective of the victims did not exist at all, which is morally and spiritually wrong, problematic and repugnant.”<sup>61</sup>*

Selvom Morioka nok har en større bias mod bombningerne, fordi han er fra Japan, så har han en god pointe.

---

<sup>59</sup> Hansen, M. [Udleveret af vejleder AH] (2013)

<sup>60</sup> Ibid

<sup>61</sup> Fisher, R. (2020)

Det virker inhumant at forsøge at retfærdiggøre den totale udslettelse af to byer, for at undgå at ens egne folk skal dø i stedet. Artiklen nævner også handlingsaversion, altså det at man undgår den svære måde at gøre tingene på og i stedet får andre til at gøre det, eller at man gør det på en måde, som ikke er så brutal. Den refererer til det klassiske dilemma om at hive i et håndtag, så et tog kører en person over i stedet for fem - men hvis man i stedet skulle skubbe personen ud foran toget for at stoppe det og ikke bare trække i et håndtag, så ville færre vælge at gøre det. Dette kan nemt perspektiveres til bombningerne. De politiske aktører skulle ikke selv trykke på knappen, der smed bomberne, og deres ordre fik konsekvenser flere tusinde af kilometer væk, så det føltes ikke særligt brutalt sammenlignet med, hvis de eksempelvis var nabolande. Det kunne også tænkes, at amerikanerne følte en eller anden form for trang til hævn efter det japanske angreb på Pearl Harbour. Denne tanke understreges også af det nævnte faktum, at Manhattanprojektet startedes kort tid efter angrebet på Pearl Harbour.



## 6. Konklusion

For at opsummere opgaven kan det konkluderes, at Manhattanprojektet var et projekt ledet af USA, hvis hensigt var at producere atombomber, der skulle forhindre Nazitysklands eventuelle brug af samme våben. Det blev startet under 2. Verdenskrig, og initiativet til dets dannelse blev taget af bl.a. Einstein og Szilard, som selv var flygtet fra raceforfølgelsen, da den primære historiske kontekst var raceforfølgelsen af jøder. Der opstod også en form for konflikt mellem videnskabens metoder og politikens impulsive væremåde, og dette ledte til en diskussion om, hvorvidt bomberne skulle bruges, som videnskaben generelt var imod og som politikken generelt var for.

Der er også redegjort for basal viden om radioaktivitet og forklaret forskellige begreber som fission og massedefekt og hvordan det er relevant for atombomber. Atombomber anvender kædereaktioner i spaltning af fissilt materiale, der kan skabe store mængder af energi, som forklares i Einsteins ligning. Der var også 2 slags atombomber, herunder en pistoltype og en implosionstype, og de detonerede på forskellig vis. Pistoltypen skydte fissilt materiale sammen og gjorde det superkritisk, mens implosionstypen maste fissilt materiale sammen og gjorde det superkritisk. Det er også fundet ud af, at bomberne var meget destruktive, og at man kan måle strålingsdosis i sievert.

Der er også diskuteret forskellige politiske konsekvenser af atombombningerne. Herunder fandtes atomkapløbet, der var den massive oprustning af atomvåben mellem USA og USSR. Dertil et bedre forsvar mod lignende krige og bombninger i form af FN, men også et muligvis mere selvsikkert USA, der er mere villigt til at bruge atomvåben. Derudover opstod der også en politisk agenda mod atomkraft. Der er dertil også diskuteret de etiske og moralske overvejelser, man fik under udviklingen af bomben. Disse sås hovedsageligt i, at flere videnskabsmænd, herunder Teller og Szilard, ændrede holdning til bomberne få måneder inden deres brug, da de mente, at det var inhumant. Teller og Szilard ville hellere demonstrere faren af bomberne ved at detonere dem et stykke fra Japan og dermed vise dem, hvad der ville ske, hvis de ikke gav op. Dette var lederen af Manhattanprojektet, General Groves, ikke enig i, og han og andre politiske aktører retfærdiggjorde brugen af bomberne ved, at man sparede allierede troppers liv ved at bombe Japan.

## 7. Litteraturliste

### **Bøger og ibøger:**

Benoni, T. & Elvekjær, F. (2020). *FysikABogen*. Systime A/S.

<https://fysikabbogen.systime.dk/>

Christensen, C., Meyer, T. & Munksgaard, T. (1993). *Manhattan Projektet* (Bd. 5). BB Grafik. (Originalværk udgivet 1989)

Øhlenschläger, E. (2020). *Grundlæggende fysik A - HTX*. Gyldendal A/S.

<https://grundlaeggende fysika.ibog.gyldendal.dk/index.php?id=55>

### **Internetsider:**

Afework, B., Hanania, J., Stenhouse, K. & Donev, J. (s.d.). *Heavy Water*. Energy Education.

Lokaliseret den 17. marts 2021 på [https://energyeducation.ca/encyclopedia/Heavy\\_water](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Heavy_water)

Arpansa. (s.d.). *Alpha particles*. Lokaliseret den 17. marts 2021 på

<https://www.arpansa.gov.au/understanding-radiation/what-is-radiation/ionising-radiation/alpha-particles>

Atomic Archive. (s.d.). *J. Robert Oppenheimer "Now I am become death..."* [Video].

<https://www.atomicarchive.com/media/videos/oppenheimer.html>

BBC News, Asia. (2018, 3. januar). *Trump to Kim: My Nuclear button is 'bigger and more powerful'*. <https://www.bbc.com/news/world-asia-42549687>

Bisconti, A.S. (2019, 12. juli). *Public opinion on nuclear energy: Turning a corner?*.

American Nuclear Society. Lokaliseret den 23. marts 2021 på

<https://www.ans.org/news/article-314/public-opinion-on-nuclear-energy-turning-a-corner/#:~:text=In%20April%202019%2C%20for%20the,the%20majority%20to%20be%20opposed>

Britannica. (2021, 11. januar). *Edward Teller: American physicist*. Lokaliseret den 24. marts

2021 på <https://www.britannica.com/biography/Edward-Teller>

Charles, D. (1992, 5. september). Heisenberg's principles kept bomb from Nazis. *NewScientist*. <https://www.newscientist.com/article/mg13518370-300-heisenbergs-principles-kept-bomb-from-nazis/>

Chemistry LibreTexts. (2019, 25. juni). *2.7 Mass Defect - The Source of Nuclear Energy*. Lokaliseret den 18. marts 2021 på [https://chem.libretexts.org/Courses/Grand\\_Rapids\\_Community\\_College/CHM\\_120\\_-\\_Survey\\_of\\_General\\_Chemistry/2%3A\\_Atomic\\_Structure/2.07\\_Mass\\_Defect\\_-\\_The\\_Source\\_of\\_Nuclear\\_Energy](https://chem.libretexts.org/Courses/Grand_Rapids_Community_College/CHM_120_-_Survey_of_General_Chemistry/2%3A_Atomic_Structure/2.07_Mass_Defect_-_The_Source_of_Nuclear_Energy)

Chemistry LibreTexts. (2019, 4. september). *4.4: The Properties of Protons, Neutrons, and Electrons*. Lokaliseret den 17. marts 2021 på [https://chem.libretexts.org/Courses/University\\_of\\_British\\_Columbia/CHEM\\_100%3A\\_Foundations\\_of\\_Chemistry/04%3A\\_Atoms\\_and\\_Elements/4.4%3A\\_The\\_Properties\\_of\\_Protons%2C\\_Neutrons%2C\\_and\\_Electrons](https://chem.libretexts.org/Courses/University_of_British_Columbia/CHEM_100%3A_Foundations_of_Chemistry/04%3A_Atoms_and_Elements/4.4%3A_The_Properties_of_Protons%2C_Neutrons%2C_and_Electrons)

Clover Learning. (2019, 27. december). *Compton Scattering (Radiography Physics)* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=QsCmslcSIEs>

Easley, M. (s.d.). *The Atomic Bomb That Never Was: Germany's Atomic Bomb Project*. Vanderbilt University. Lokaliseret den 15. marts 2021 på <https://www.vanderbilt.edu/AnS/physics/brau/H182/Term%20papers%20'02/Matt%20E.htm>

Fisher, R. (2020, 5. august). Can nuclear war be morally justified? *BBC, Future*. <https://www.bbc.com/future/article/20200804-can-nuclear-war-ever-be-morally-justified>

Hansard 1803-2005. (1945, 16. august). *Debate on the address* [Debat]. Lokaliseret den 15. marts 2021 på [http://hansard.millbanksystems.com/commons/1945/aug/16/debate-on-the-address#S5CV0413P0\\_19450816\\_HOC\\_43](http://hansard.millbanksystems.com/commons/1945/aug/16/debate-on-the-address#S5CV0413P0_19450816_HOC_43)

Hansen, M. (2013). *Overblik - det 2. århundredes historie*. [Udleveret af vejleder AH] Gyldendal A/S. <https://ibog3.gyldendal.dk/overblik20>

Harvard University. (s.d.).  *$\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  Penetration and Shielding*. Lokaliseret den 18. marts 2021 på <https://sciencedemonstrations.fas.harvard.edu/presentations/%CE%B1-%CE%B2-%CE%B3-penetration-and-shielding>

History. (2017, 26. july). *Manhattan Project*. Lokaliseret den 22. marts 2021 på <https://www.history.com/topics/world-war-ii/the-manhattan-project>

Lumen. (s.d.). *Nuclear Fission*. <https://courses.lumenlearning.com/boundless-chemistry/chapter/nuclear-fission/>

Murray, J. (2020, 11. februar). Is Germany making the correct decision by closing down its nuclear power plants?. *NS Energy, Analysis*. <https://www.nsenergybusiness.com/features/germany-nuclear-power-plants-2/>

National Aeronautics and Space Administration. (2013, marts). *The Electromagnetic Spectrum*. Lokaliseret den 18. marts 2021 på <https://imagine.gsfc.nasa.gov/science/toolbox/emspectrum1.html>

Padinger, G. (2020, 6. august). Little Boy vs. Fat Man: Why the Bombs That Devastated Hiroshima and Nagasaki Were Completely Different [Artiklen er kun brugt for billedet]. *NewsBeezer, World*. <https://newsbeezer.com/argentinaeng/little-boy-vs-fat-man-why-the-bombs-that-devastated-hiroshima-and-nagasaki-were-completely-different/>

Ritchie, H. (2020, 10. februar). *What are the safest and cleanest sources of energy?* Our World in Data. Lokaliseret den 23. marts 2021 på <https://ourworldindata.org/safest-sources-of-energy>

Routley, N. (2017, 12. august). The World's 15,000 Nuclear Weapons: Who Has What? *Visual Capitalist, Politics*. <https://www.visualcapitalist.com/worlds-nuclear-weapons/>

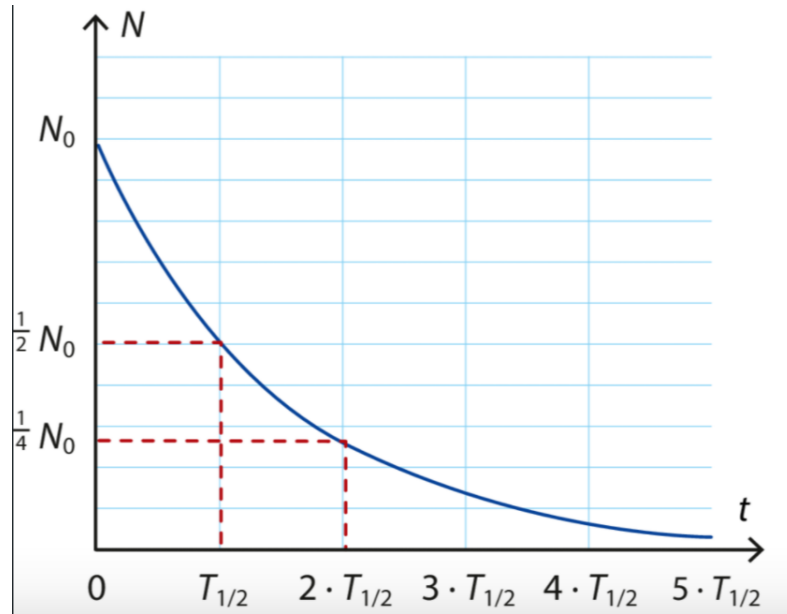
Trueman, C. (2015, 19. maj). *Operation Downfall*. History Learning Site. Lokaliseret den 15. marts 2021 på <https://www.historylearningsite.co.uk/world-war-two/the-pacific-war-1941-to-1945/operation-downfall/>

United Nations. (s.d.). *History of the UN*. Lokaliseret den 24. marts 2021 på <https://www.un.org/un70/en/content/history/index.html#:~:text=The%20United%20Nations%20is%20an,living%20standards%20and%20human%20rights>

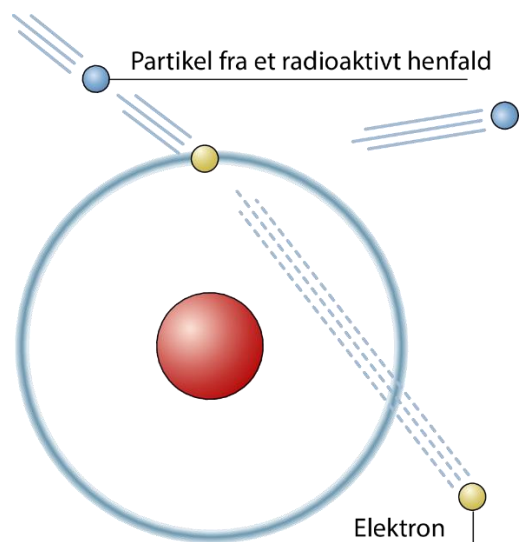
World Nuclear Association. (2021, marts). *Nuclear Power in the World Today*. Lokaliseret den 23. marts 2021 på <https://www.world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/nuclear-power-in-the-world-today.aspx#:~:text=Nuclear%20energy%20now%20provides%20about,in%20about%202020%20research%20reactors>

## 8. Billag

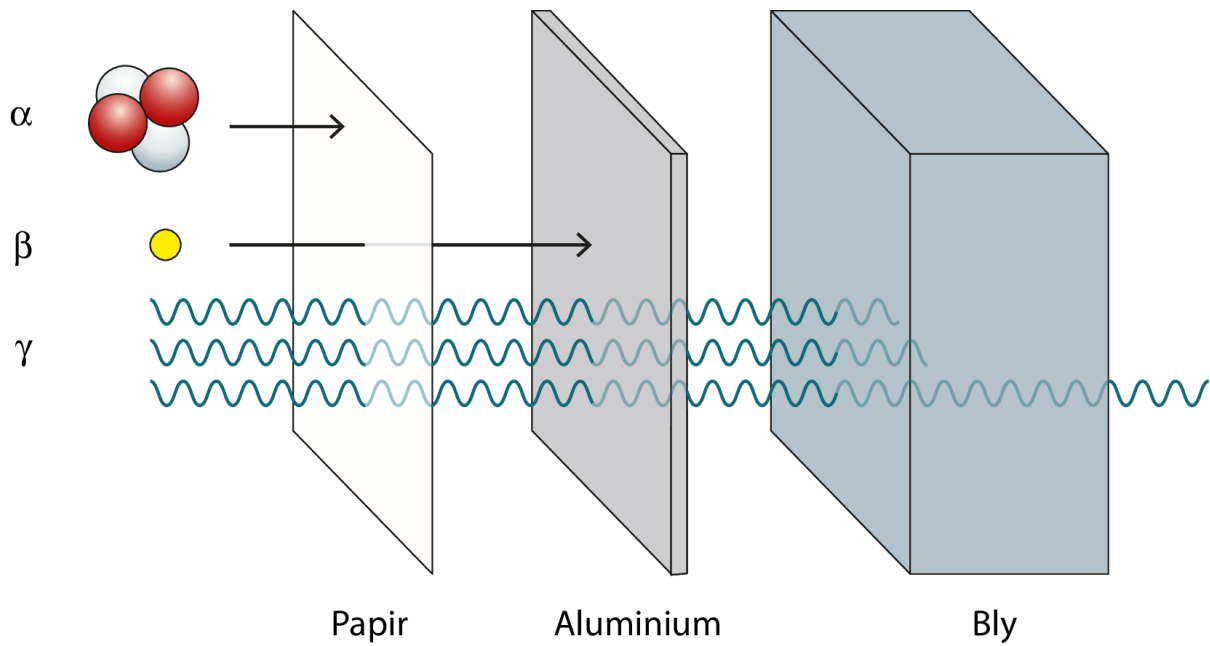
Model 1



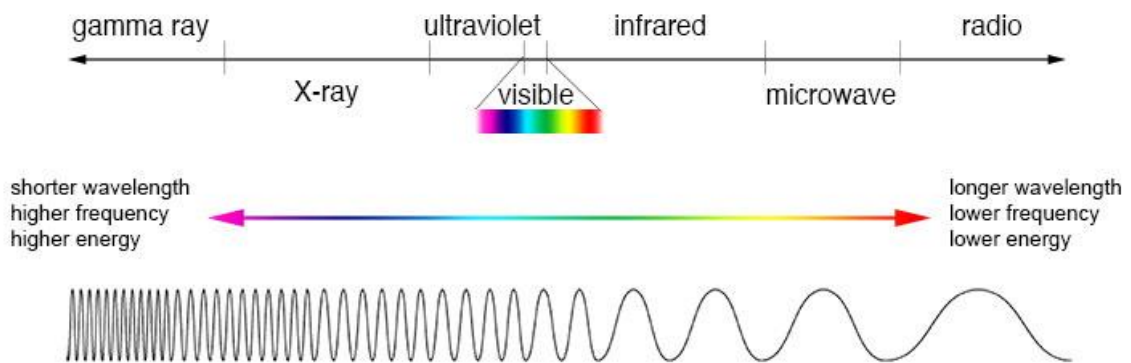
Model 2



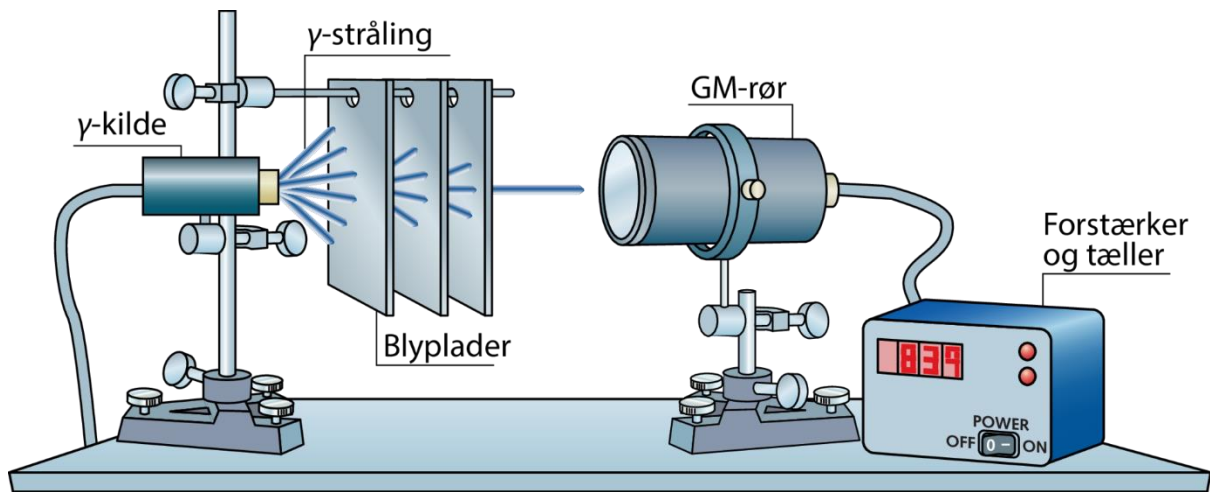
Model 3



Model 4



Model 5



Model 6

$^2\text{H}$  components

1.007276 amu



1.008665 amu



0.000549 amu



2.016490 amu

$^2\text{H}$  atom



2.014102 amu

Mass defect = 0.002388 amu

Model 7

