

Atomenergi og Atom bomber.
av

Forord.

Den siste verdenskrig fikk som kjent en brå avslutning da USA satte sine atombomber inn i kampen mot Japan. Virkningen av en enkelt bombe var enorm - nærmest å sammenligne med en naturlig katastrofe. Hverken de japanske vitenskapsmenn eller militære forstod til å begynne med hvordan slike ødeleggelser kunde oppstå - så meget mer som bare ett eneste amerikansk fly, av japanerne oppfattet som er rekogniseringsfly, åpen-synlig hadde været i virksomhet. Imidlertid fant de japanske vitenskapsmenn forholdsvis snart ut at amerikanerne hadde løst det problem de selv - og forøvrig de fleste fysikere i verden hadde været beskjeftiget med i lengere tid: framstillingen av en atombombe. Mot den slags våpen vilde det japanske krigsmateriell, om det var aldri så teknisk fullkomment, nærmest være å regne for leketøy. Fortsatt kamp under slike betingelser var en umulighet, og kapitulasjon følgelig en bydende nødvendighet.

Også idag henger atombomben truende over verden. Den moderne vitenskap har løst en av naturens store gåter. Vitenskap og teknikk i forening har gjort mennesket til hersker over krefter av slike dimensjoner som bare de ferreste har anelse om. Det står til mennesket selv å bestemme om disse krefter skal benyttes til å framkalle menneskehetens undergang eller til å skape lykkeligere tilstander på jorden. Det er i hvert fall sikkert nok at det er ingen uoverkommelig oppgave for dem som sitter inne med framstillingsmetoden, å fabrikere atombomber tilstrekkelig til fullstendig å utslette den nuværende sivilisasjon og kultur i løpet av ganske kort tid. Men det er like sikkert at hvis vitenskapen under fredelige og stabile forhold får fortsette med utforskningen av atomenergi

gåter, vil resultatet bli en total forandring av menneskehetens livsvilkår. For den kommende generasjon vil i så fall nutidens moderne lokomotiver, biler og fly fortone sig som rene museumsgjenstander, og lægevitenskapen vil bli gitt midler i hende som det idag ikke er gått nogen å overskue rekkevidden av.

Den rent tekniske framstilling av atombomben er en en hemmelighet. Selv om det under FN's møte i Paris i oktober 1948 er antydnet at Sovjet-Rusland også har sine atomvåpen, er det en almindelig utbredt oppfatning at bare USA har kjennskap til framstillingen av atombomber. De naturlover og de vitenskapelige forskingsresultater hvorpå den tekniske framstilling hviler som et avsluttende overbygg, er kjent og i stor utstrekning forsåvidt som vel noget må antas å bli holdt hemmelig, tilgjengelig for alle vitenskapsmenn som arbeider med atomforskning.

I disse naturlover og forskingsresultater ligger nøkkelen til forståelsen av de prosesser som kalles kjedereaksjoner, ved hvilke atomenes indre energi frigjøres.

I det følgende vil en søke å gi en kort, lett forståelig framstilling og forklaring på disse fenomener innenfor rammen av det kjennskap vitenskapen for tiden har til atomene og deres indre forhold.

1. Kapitel.

Den radioaktive stråling.

Allered i oldtiden hevdet greske naturfilosofer at alle stoffer var bygget av små for det blotte øye usynlige partikler. Etter deres oppfatning lot en slik partikkel seg ikke dele opp i mindre deler, overensstemmende hermed kalte de partiklen atom, d.v.s. noget som er udelelig. Denne atomistiske oppfatning av materiens oppbygging må ansees som et resultat av filosofiske spekulasjoner. Der gis nemlig intet vitnesbyrd om den grunnet seg på eksperimentelle eller andre fysikalske erfaringer.

Antikkens sammenbrudd etterfulgtes av et 1000 - årig tidsrom med kulturell stagnasjon og vitenskapelig forfall. Oldtidens vismenn ble glemt. Først omkring år 1500 våkner mennesket av sin dvaletilstand. Vitenskap og kunst når høyder som aldri før, og spesielt innenfor naturvitenskapen gjøres der i de følgende hundre-år enorme framskritt.

De resultater fysikken og kjemien etterhvert kom fram til, fikk sin fulle forklaring når der forutsattes en atomistisk materiestruktur. Da videre de konsekvenser som kunde trekkes av en slik oppfatning, fikk sin fulle bekræftelse, måtte man derfor anse en atomistisk oppfatning av materien for riktig.

Omkring siste århundreskifte ble der gjort oppdagelser som innleder en ny tid for utforskningen av atomene. Det blir derfor nødvendig å gi en kort oversikt over hvad man egentlig visste - eller mente å vite - i tiden omkring århundreskiftet om materiens struktur i den utstrekning dette har betydning for det følgende :

Materien er bygget opp atomer. Det er 92 ulike slags atomer,

og siden hver grunnstoff består av utelukkende ensartede atomer, er det følgelig 92 grunnstoffer.

Vannstoff-atomet er det letteste av alle atomer. De andre atomers vekt i forhold til vannstoffatomet - den såkalte atomvekt - er kjent i den utstrekning grunnstoffene enno er oppdaget. Den minste elektriske ladning som overhodet kan eksistere er kjent og bestemt. Elektronet har en negativ elektrisk ladning av denne størrelse - det såkalte elektriske elementærkvantum.

I 1896 oppdaget franskmannen Becquerel at grunnstoffet uran og andre stoffer hvori uran inngår som en kjemisk bestanddel, utsendte en stråling som inntil da var ukjent. En eiendommelighet ved denne stråling^{var} at den foregikk uavhengig av uranets fysiske tilstand, d.v.s. uavhengig av bl.a. temperaturen. Fortsatte undersøkelser viste at strålingen heller ikke var ensartet. Den bestod i virkeligheten av 3 slags forskjellige strålinger. Etter de greske bokstaver α - alfa, β - beta og γ - gamma, fikk de navnene α -stråling, β - stråling og γ -stråling. Disse stråler kalles med et fellesnavn radioaktive stråler eller Becquerelstråler. De stoffer som utsender en eller flere av disse strålearter, sies å være radioaktive.

Oppdagelsen av den radioaktive stråling kom til å få enorm betydning for studiet av atomene og dessuten for forståelsen av atomenes indre mekanisme. Den har åpnet portene til den vei som fører til utnyttelsen av atom-energien.

Ved å la den radioaktive stråling passere gjennom magnetiske resp. elektriske felter, kan man av den avvysning strålene blir utsatt for, gjøre seg opp en mening om deres natur. Når nemlig en elektrisk ladd partikkel passerer gjennom slike

felte, vil den avbøyes fra sin opprindelige retning, og denne avbøyning vil foregå til den ene eller annen side ettersom partikkelen er positiv eller negativ elektrisk ladet. Stråler av samme art som lyset, f.eks. røntgenstråler, forandrer imidlertid ikke retning ved å passere slike felte. Når styrken av de anlagte magnetiske, resp. elektriske felte er kjent og avbøyningen måles, kan partikkelens vekt, elektriske ladning og dens hastighet bestemmes.

Forsøk og beregninger av denne art viste at α - strålingen måtte bestå av positivt ladd elektriske partikler hvis vekt er 4 ganger så stor som vekten av et vannstoffatom og hvis hastigheter beløp seg til flere tusen kilometer pr. sek. Da atomet i grunnstoffet helium har samme vekt som de positive elektriske α - partikler, og da der dessuten alltid dannes helium når et radioaktivt stoff innelukkes i en tett beholder, må det ansees fastslått at α - partiklene er positivt ladde heliumatomer. Selve α - strålingen er altså en strøm av positive elektriske heliumatomer.

Videre blev det på denne måte fastslått at β - strålingen bestod av partikler med en negativ elektrisk ladning av samme størrelse som det elektriske elementærkvantum og med samme vekt som et elektron. Hastigheten av disse β - partikler er meget stor - opp til 99 % av lyshastigheten eller over 290 000 km. pr. sekund. Det må derfor ansees bevist at β - strålingen er en strøm av elektroner som beveger seg med voldsom hastighet.

γ - strålingen viste ikke tegn til avbøyning hverken i magnetiske eller elektriske felte og måtte følgelig være stråler av samme art som lyset. Det er da også blitt godtgjort at γ - strålene er røntgenstråler, men dog med langt større gjennemtreningssevne enn vanlige røntgenstråler.

Siden den radioaktive stråling består av stofflige partikler som slynges ut fra atomet, må resultatet herav bli at atomet etterhvert brytes ned. Dets evne til fortsatt å utsende radioaktiv stråling må således avta. Et radioaktivt stoff har derfor en viss "levetid". Av praktiske grunner benyttes i regelen den såkalte halvveringstid. Hermed menes den tid som medgår inntil intensiteten i strålingen er sunket til det halve av den oppbindelige. Denne halvveringstid varierer betraktelig fra det ene radioaktive stoff til det annet. For "vanlig" uran er den således millioner av år, mens den for et stoff som går under navn av Radium C' er langt under 1 milliontedels sekund. for å nevne nogen ekstreme ytterverdier. For de fleste radioaktive stoffers vedkommende er dog halvveringstiden av en nogenlunde rimelig lengde - fra nogen minutter og oppover til nogen år.

2. Kapittel.

Atomet.

Kjennskapet til den radioaktive stråling og da spesielt kjennskapet til α - strålingen og α - partiklernes egenskaper kom til å føre atomforskningen et langt skritt framover.

I 1910 undersøkte Ernest Rutherford - Nobelpris 1919 - hvorledes α - partiklene forholdt seg under og etter å ha gått gjennom tynne lag av forskjellige stoffer. Ett av hans forsøk gikk bl. a. ut på å la α - partikler gå gjennom et tynt lag vannstoffgas.

Allerede på den tid var det almindelig antatt at atomene var bærere av elektriske ladninger hvorfor de også måtte antas å omgi seg med elektriske felter. Hvis så var tilfelle, måtte der ventes en nogenlunde regelmessig spredning av de passerende α - partikler. Dette slo også til, men enkelte α - partikler viste også en helt abnorm avbøyning. Den eneste mulige forklaring herpå var at enkelte α - partikler kolliderte med andre forholdsvis tunge partikler og etter dette sammenstøt fortsatte i en retning som var mer eller mindre på tvers av den opprindelige bevegelsesretning. Da vekten av α - partiklen var kjent, kunde man av dens retningsforandring også danne seg en mening om vekten av den annen partikkel som hadde deltatt i kollisjonen.

Av det totale antall α - partikler var det imidlertid bare en liten brøkdel som ble utsatt for slike abnorme avbøyninger. Herav trakk Rutherford den slutning at det måtte være forholdsvis langt mellom hver enkelt av de partikler hvormed α - partiklene støtte sammen. Dette sammenholdt med α - par-

partiklernes egenskaper og den normale spredning av disse partikler førte ham til følgende oppfatning av atomet :
 Atomets måtte bestå av en positiv elektrisk ladning og en like stor negativ elektrisk ladning. Hele den positive ladning og praktisk talt hele atomets vekt måtte være konsentrert i en kjerne hvis diameter er ca. 10^{-12} cm. eller 0,000000000001 cm. Den negative elektriske ladning måtte forekomme i form av elektroner omkring kjernen. Avstanden mellom kjernet og elektronet, eventuelt elektronene, måtte være ca. 10^{-8} cm eller 0,00000001 cm d.v.s. omkring 10 000 ganger så stor som kjernens diameter.

Rutherfords forsøk viste også at såvel den normale spredning av α - partiklene som den abnorme avbøyning varierte alt ettersom α - partiklene passerte det ene eller annet stoff. Som Rutherford påviste, lot disse variasjoner seg forklare ved å anta at jo tungere et atom var, desto større positiv ladning hadde også kjernen. Siden atomet som helhet er uelektrisk, måtte dermed også antallet av elektroner øke om like stor negativ ladning skulde tilveiebringes. Etter dette måtte både kjernens ladning og antallet av elektroner øke med tiltagende atomvekt.

I henhold til denne såkalte Rutherfords atom-modell, er altså avstanden mellom kjernen og elektronet, eventuelt elektronene, ca. 10 000 ganger så stor som kjernens diameter. Hva dette betyr, belyses best ved et eksempel fra kjente forhold. Tenkes atomkjernen å være en kule med diameter 1 cm, vil elektronet av størrelse som et knappenålhode befinne seg 10 000 cm eller 100 meter borte. Atomets er altså et i høy grad åpent system. Som det senere skal sees, spiller dette forhold en betydningsfull rolle ved frigjøringen av atomenes indre energi.

Alle eksperimenter og undersøkelser har ført til at vannstoff-

atomet er det enkleste av alle atomer. Det er funnet å bestå av en kjerne hvis masse er funnet å være $1,661 \cdot 10^{-24}$ gr. - et tall hvor sifrene 1,6,6,1 kommer på den 24.de og de 3 etterfølgende desimalpalsser - og et eneste elektron. Dets masse er omtrent ~~1~~ $1/1850$ av kjernens masse. Elektronet er altså så lett i forhold til kjernen at en kan tillate seg å betrakte atomvekten som vekten av selve kjernen alene. Kjernens størrelse og vekt samt elektronets avstand fra den viser seg å stemme med Rutherfords resultater. Kjernen danner sentret og omkring denne kretser elektronet omtrent som jorden rundt solen. Kjernen i vannstoffatomet har fått et eget navn : proton.

Det må medgis at atomet slik Rutherford tenker seg; det, er meget enkelt i sin konstruksjon. Det kunde imidlertid reises meget sterke innvendinger mot Rutherfords oppfatning av atomets struktur. Det lar seg bl. a. matematisk bevise at et slikt atom ikke kan eksistere - en avgjørende hindring for tilstedeværelsen av atomer etter Rutherfords modell.

Hvis nemlig to uelektriske, ulike tunge partikler skal danne et adskilt system, viser en matematisk behandling av problemet at et sådant adskilt system kun kan bestå såframt den lette partikkel beveger seg rundt den tunge. Uten et slikt kretsløp faller den letteste partikkel inn mot den tunge og begge forenes. Men er begge partiklerne elektriske med like store og motsatte ladninger - som f.eks. et proton og et elektron - viser den matematiske behandling at den lette partikkel med tiden vil falle inn mot den store og forene seg med denne også når den lette partikkel beveger seg rundt den ~~store~~ tunge. Årsaken hertil er heller ikke så vanskelig å forstå. Består f.eks. systemet av et proton med et elektron kretsende rundt, har en her en elektrisk ladning

i bevegelse og følgelig vil der finne sted en energi-utstråling omtrent som energi-utstrålingen fra antennen på en radiosender. Resultatet er at systemet - protonet og elektronet - mister mer og mer av sitt energi-innhold. Dette har til følge at elektronet etterhvert nærmer seg mer og mer til kjernen for tilsist å falle inn med denne og sammen med denne danne et grilitt uelektrisk massepunkt.

Med den respektable alder universet har, måtte alle atomer forlengst ha trukket seg sammen til slike uelektriske massepunkter. Dette er imidlertid stikk i strid med all erfaring, og konsekvensen herav må derfor bli: enten er den forestilling om atomenes struktur og oppbygging som Rutherford har gjort seg til talsmann for, fullstendig gal, eller også må der eksistere naturlover som vi enda ikke har kjennskap til.

Spørsmålet ble løst ved den teori som den da vel 27 - årige danske, senere Nobelpristager Niels Bohr framsette i 1913. Man beholder Rutherfords oppfatning av atomet - en positiv elektrisk kjerne omkretset av negativ elektriske elektroner - men hevedr som gjeldende naturlover 2 ganske bestemt formulerte regler som gjør det Rutherfordske atom stabilt. Vistnok var Bohrs teori av 1913 mangelfull, men grunn tanken er blitt stående og har ført atomfysikken fram med kjempesteg i helt nye spor.

De 2 regler som ifølge Bohr er naturlover, lyder:

1. Ethvert atom er normalt i en såkalt stasjonær tilstand hvor dets energi-innhold holder seg stabilt. Noen utstråling finner da ikke sted.
2. Atomet kan gå over fra en slik stasjonær tilstand til en annen stasjonær tilstand. Har atomet i den siste tilstand større energi enn i den første, må energi-forskjellen tilføres uteifra. Har det i den siste tilstand mindre energi

enn i den første tilstand, kan atomet sende ut energi-forskjellen i form av lysstråling.

Med formuleringen av disse 2 lover var atomfysikken i store trekk fastlagt.

Av Bohrs lover kan trekkes et par konklusjoner som har spesiell betydning for det etterfølgende. Ifølge den 1. ste lov er atomets normale tilstand karakterisert ved at ingen utstråling finner sted. I henhold til 2. den lov kan atomet både motta og avgir energi, men avgir det energi, kan dette skje i form av lysstråling. Det må her erindres at røntgenstråler - og altså også γ - stråler - er av samme natur som lysstråler.

Den radioaktive stråling og da spesielt γ - strålingen synes ikke ved første øyekast å stemme overens med Bohrs lover.

Alle atomer skal jo normalt være i en såkalt stasjonær tilstand hvor ingen utstråling finner sted, og så forekommer ikke desto mindre stråling som uten stans og som det synes uten foranledning pågår i opptil tusener av år. Denne selvmotsigelse er dog i virkeligheten bare tilsynelatende. Man må nemlig være oppmerksom på at Bohrs lover bare redegjør for hvordan atomet som helhet forholder seg og at lovene ikke inneholder noget om hvad som foregår i atomets indre. Disse lover gjelder nemlig bare for de prosesser som foregår i atomets ytre deler α - nemlig i selve elektronsystemet. Den radioaktive stråling skyldes at selve atomkjernen er ustabil, og dette forhold omfattes ikke av Bohrs lover. Disse lover forteller hvorledes atomet synes å oppføre seg når det betraktes utenfra, men de inneholder intet om atomets, spesielt kjernens indre mekanisme. Disse problemer behandles av den såkalte kjernefysikk og skal i det følgende omtales nærmere.

3. Kapitel.

Det periodiske system.

Som tidligere nevnt, trakk Rutherford den slutning av sine eksperimenter at der måtte finnes forskjellige atomsorter. Dette var i og for seg intet nytt. Kjemikerne og fysikerne var forlengst på det rene hermed, men Rutherfords resultater var i hvert fall en bekreftelse på tidligere, på helt andre felter, innhentede erfaringer.

Gjennem årrekker var med stadig forbedrede metoder og måleapparater de forskjellige grunnstoffers karakteristiske egenskaper som tetthet, smeltepunktstemperatur, kokepunktstemperatur etc. blitt grundig undersøkt. Det viste seg da at når grunnstoffene blev ordnet i en rekke etter succesivt stigende atomvekt, kom en viss likhet i disse karakteristiske egenskaper tilbake med periodiske mellomrom. Det lå da nær å trekke den slutning at der måtte være et visst släkteskap mellem enkelte grunnstoffer selv om der kunde være stor forskjell i atomvekten. Videre syntes den iaktatte periodiske tilbaks vending av en viss likhet i de karakteristiske egenskaper å tyde på at også grunnstoffene selv måtte kunne innordnes i et periodisk system. Lothar Meyer i 1864 og Mendeléeff i 1869 påviste uavhengig av hverandre at så virkelig var tilfelle. Det var et faktum at grunnstoffene ordnet etter atomvekt - eller riktigere som vi senere skal se, etter det såkalte atomnummer - danner et periodisk system. Foruten å få stor betydning for kjemien, kom det også til å danne grunnlaget for forståelsen av atomenes oppbygging.

I kjemien har hvert grunnstoff en bestemt forkortet betegnelse. Av hensyn til det etterfølgende hitsettes først en alfabetisk

fortegnelse over alle grunnstoffer. Den første kolonne inneholder deres "fulle" navn, den annen deres kjemiske betegnelse og den tredje deres atomvekt. Det må her tilføyes at opprinnelig var vannstoffets atomvekt satt lik 1, og de andre grunnstoffers atomvekter bestemt i forhold hertil. Man fant således at surstoff hadde atomvekten 16, d.v.s. surstoffatomet var 16 ganger så tungt som vannstoffatomet. Forbedrede metoder viste imidlertid at disse tal ikke var helt nøyaktige. Av praktiske grunner ble surstoffets atomvekt satt lik 16, og de andre grunnstoffers atomvekter deretter bestemt i forhold hertil. Dette er årsaken til det noget påfallende forhold at vannstoffatomet som det letteste av alle atomer ikke har en atomvekt som er nøyaktig lik 1.

Aluminium	Al	26,97	Mangan	Mn	54,93
Antimon	Sb	121,76	Molybdæn	Mo	96
Argon	Ar	39,94	Natrium	Na	23
Arsen	As	74,96	Neodym	Nd	144,27
Barium	Ba	137,36	Neon	Ne	20,18
Beryllium	Be	9,02	Nikkel	Ni	58,69
Bly	Pb	207,2	Niobium	Nb	93,5
Bor	B	10,82	Niton	Nt	222
Brom	Br	79,92	Osmium	Os	196,9
Cerium	Ce	140,13	Palladium	Pd	106,7
Cesium	Cs	132,81	Platina	Pt	195,23
Dysprosium	Dy	162,46	Praseodym	Pr	140,92
Erbium	Er	167,64	Radium	Ra	225,79
Europium	Eu	152	Rodium	Rh	102,9
Fluor	F	19	Rubidium	Rb	85,45
Fosfor	P	31,02	Rutenium	Ru	101,7
Gadolinium	Gd	157,3	Samarium	Sa	150,43
Gallium	Ga	69,72	Selen	Se	79,2

Germanium	Ge	72,60	Skandium	Sc	79,2
Gull	Au	197,2	Silisium	Si	28,06
Hafnium	Hf	178,6	Sink	Zn	65,38
Helium	He	4,002	Sirkonium	Zr	91,22
Holmium	Ho	163,5	Strontium	Sr	87,63
Indium	In	114,8	Surstoff	O	16
Iridium	Ir	193,1	Svovel	S	32,06
Jern	Fe	55,84	Sølv	Ag	107,88
Jod	J	126,93	Tantal	Ta	181,5
Kadmium	Cd	112,41	Tellium	Tl	204,39
Kalsium	Ca	40,07	Tellur	Te	127,5
Kalium	K	39,10	Terbium	Tb	159,2
Klor	Cl	35,46	Tinn	Sn	118,7
Kobber	Cu	63,57	Titan	Ti	47,90
Kobolt	Co	58,94	Torium	Th	232,12
Krom	Cr	52,01	Tulium	Tu	169,4
Krypton	Kr	82,9	Uran	U	238,14
Kullstoff	C	12	Vanadium	V	50,95
Kvikksølv	Hg	200,61	Vannstoff	H	1,008
Kvelstoff	N	14,008	Vismut	Pb	209
Lantan	La	138,90	Wolfram	W	184
Litium	Li	6,94	Xenon	Xe	130,2
Lutetium	Lu	175	Ytterbium	Yb	173,5
Magnesium	Mg	24,32	Yttrium	Y	88,93

Det forhold at grunnstoffene lar seg innordne i et periodisk system, muliggjør en spesiell tabellarisk oppstilling av alle grunnstoffer. I denne tabell er alle grunnstoffer ordnet etter økende atomvekt fra venstre mot høyre slik at der framkommer 9 loddvette grupper hvor den siste kalles gruppe 0. De grunnstoffer som viser beslektede karakteristi-

ske egenskaper, faller da under hverandre i samme gruppe, Hvert enkelt grunnstoff kan derfor gis et ganske bestemt nummer - det såkalte atomnummer - som tilsvarer dets plass i det periodiske system. I tabellen er dette atomnummer satt ved siden av grunnstoffets kjemiske betegnelse og atomvekten under denne.

Periode	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV	Gruppe V	Gruppe VI	Gruppe VII	Gruppe VIII	Gruppe IX	Gruppe X
I	H									
II	Li	Be	B	C	N	O	F			
III	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl			
IV	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni
V	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd
VI	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt
VII										
VIII										
IX										
X										

57-71 =, utelukkende

57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
138.9	140.1	140.9	144.2	-	150.4	152.0	157.3	158.9	162.5	164.9	167.3	171.9	174.9	175.0

Da Lothar Meyer og Mendeléeff framsatte det periodiske system, var anda mange grunnstoffer ukjente. De siste som er oppdaget er således nr.85 og nr.87, og dette skjedde bare for få år siden. Men som det framgår av det periodiske system, er det ikke nødvendig å kjenne alle grunnstoffer for å kunne angi hvor mange det er. Kjenner en nemlig uran, må dette i henhold til sine kjemiske egenskaper tilhøre gruppe VI og ha atomnummer 92 uavhengig av om alle forangående grunnstoffer er kjent eller ikke. Det er nemlig stoffets kjemiske egenskaper som angir dets plass i systemet og dermed dets atomnummer.

Som nevnt lot grunnstoffene seg innordne i et periodisk system når de ble ordnet etter succesivt stigende atomvekter. Undersøker en imidlertid nærmere, ser det ut til å være avvikelser herfra. I henhold til atomvekten skulde således nr.18 A komme etter nr. 19 K, likeledes nr.28 Ni foran nr. 27 Co, og nr.53 I foran nr.52 Te. I disse tilfelle ser det ut til at man har været nødt til å foreta visse tillempinger for å få nevnte grunnstoffer til å passe inn i de grupper hvor de i henhold til sine karakteristiske egenskaper skulde høre hjemme.

Bekreftelsen på at denne "omvendte" rekkefølge i de ovenfor nevnte tilfelle allikevel var korrekt, kom fra en kant som neppe noen kunde tenkt på forhand. Det viser seg nemlig at hvert grunnstoff som utsettes for en passende behandling, utsender røntgenstråler av en ganske bestemt bølgelengde, og at disse bølgelengder avtar lovmessig ettersom grunnstoffenes atomnummer øker. Som følge av denne lovmessige avtagning av røntgenstrålenes bølgelengde vil grunnstoffene kunne anordnes i en tilsvarende lovbestemt rekkefølge.

Denne rekkefølge viser seg å være bestemt av grunnstoffenes atomnummer og ikke av deres atomvekt, og i denne rekkefølge kommer grunnstoffene i samme orden som i det periodiske system, Dermed må det ansees godtgjort at grunnstoffenes kjemiske egenskaper bestemmes av deres atomnummer og at det periodiske system er korrekt i den ovenfor angitte form.

4. Kapitel.

Atomenes bygning.

Som nevnte er vannstoffatomet som vi nu vet består av et proton omkretset av et elektron, det enkleste av alle atomer og dessuten det letteste av dem alle.

Allerede så tidlig som i 1815 - 1816 gjorde englenderen Prout seg til talsmann for den oppfatning at alle andre atomer var sammensatt av slike vannstoffatomer. Konsekvensen herav var at i så fall måtte alle atomvekter uttrykkes ved hele tall når vannstoffets atomvekt ble satt lik 1.

Av de foregående tabeller framgår at enkelte grunnstoffer også har atomvekter som er hele eller temmelig nær hele tall, men for de aller flestes vedkommende er avvikelsen temmelig stor. Prouts hypotese stemte således meget slett overens med de faktiske forhold og ble oppgitt. Det så ikke ut til å være mulig å gi en rimelig forklaring på hvorfor enkelte atomvekter var hele tall og andre ikke.

Det varte helt til 1919 før dette spørsmål ble klarlagt. Man visste fra før at når partikler med forskjellig vekt og med stor hastighet passerer et magnetisk felt, vil partikler med samme vekt avbøyes like meget likesom størrelse av avbøyningen avhenger av partiklens vekt. På dette prinsipp konstruerte den engelske fysiker Aston - Nobelpris 1922 - et apparat som har fått navnet massespektrograf. Med dette apparat, som arbeider fotografisk, kan atomvekter bestemmes med en nøyaktighet på 0,01 %, likesom atomer med forskjellig vekt "sorteres" fra hverandre slik at alle atomer med samme vekt samles og treffer den fotografiske plate i samme punkt. På den måte gir hver enkelt atomsort sitt bestemte bilde, og omvendt gir billedets beliggenhet på den fotografiske

plate beskjed om vekten av atomet d.v.s. atomvekten. Man kan altså så å si fotografere hver enkelt atomvekt.

Astons undersøkelser viste at Prout i virkeligheten hadde hatt rett, og han ga ved sine forsøk ugjendrivelige beviser for at vekten av hvert enkelt individuelt atom var et helt tall når vannstoffatomets vekt ble satt lik 1. Altså måtte alle grunnstoffer, hvad enten deres atomvekter var hele tall eller ikke, være bygget opp av vannstoffatomer, eller som vi nu sier, av protoner. Eksperimentene gav nemlig det merkelige resultat at de grunnstoffer hvis atomvekter avvek vesentlig fra hele tall, i virkeligheten var en blanding av atomer som nok var kjemisk like, men hadde forskjellig atomvekt. Eksempelvis viste klor - Cl - hvis atomvekt er 35,457 sig å bestå av to forskjellige sorter klor-atomer med atomvekter henholdsvis 35 og 37. De betegnes Cl^{35} og Cl^{37} . Disse to "klorer" har de samme kjemiske egenskaper, altså samme atomnummer, men forskjellig atomvekt. De er å betrakte som to forskjellige "utgaver" av samme grunnstoff og kalles isotoper.

De eldre metoder til bestemmelse av atomvekter tillot jo ikke å bestemme vekten av et enkelt atom. Man måtte alltid operere med en viss mengde av det stoff hvis atomvekt skulde bestemmes. Det grunnstoff som i almindelighet kalles klor - Cl - og hvis atomvekt var bestemt til 35,457, er altså i virkeligheten en blanding av disse to klor-isotoper. De er blandet i et slikt forhold at den resulterende atomvekt blir 35,457.

De andre grunnstoffer hvis atomvekter avvek nevneverdig fra hele tall, viste seg også å være slike isotop-blandinger.

Ved Astons forsøk ble det i første rekke fastslått at alle grunnstoff-atomer er bygget opp av protoner og dernest førte de til oppdagelsen av isotopene. Isotope stoffer er stoffer som består av kjemisk helt like atomer men med forskjellig

atomvekt. Som vi senere skal se, er det nettop slike isotoper som er ansvarlige for atombombens farlige ettervirkninger. Fortsatte undersøkelser har godtgjort at praktisk talt alle grunnstoffer har flere isotoper. Kvikksølv - Hg - har således 7 og tin - Sn - hele 11 isotoper. Det kan i denne forbindelse være av interesse å nevne at der i enkelte tilfelle er funnet atomer fra kjemisk forskjellige grunnstoffer med samme atomvekt. Slike atomer kalles isobarer og forekommer ikke ofte. Vi skal ikke gå nærmere inn på dette her.

Ved oppdagelsen av isotopene fikk man en fullstendig tilfredsstillende forklaring på hvorfor atomvektene kunde avvike sterkt fra hele tall, men noen forklaring på de små avvikelser gav Aston's resultater ikke. Dette skal bli nærmere behandlet i et senere kapittel.

I det periodiske system blir hvert atom - egentlig hver atomsort - tilfordnet et atomnummer Z og en atomvekt A . Atomnummeret angir hvor mange protoner kjernen inneholder eller med andre ord, hvor mange positive elektriske enhetsladninger kjernen inneholder. Da atomet som helhet er uelektrisk, må der være like mange negative elektriske enhetsladninger - elektroner - utenom kjernen som der er positive enhetsladninger i selve kjernen. Atomnummeret må derfor tillike angi hvor mange elektroner som kretser rundt kjernen.

Betraktes eksempelvis grunnstoffet helium - He - sees dette av tabellen over det periodiske system å ha atomnummer 2 og en atomvekt ubetydelig større enn 4. I henhold til atomnummeret inneholder altså kjernen 2 protoner som omkretses av 2 elektroner, men i henhold til atomvekten 4 veier denne kjerne like meget som 4 protoner, idet en kan se bort fra den ubetydelige vekt elektronene har. Etter atomvekten å dømmes skulde derfor kjernen 4 positive enhetsladninger. Men siden

atomer er uelektrisk og der er fastslått at der kun finnes 2 negative elektroner, kan det nødvendigvis heller ikke finnes mer enn 2 positive enhetsladninger - protoner. Helium - atomets kjerne må derfor foruten å inneholde 2 protoner, bestå av noe mer, og dette "mer" må ha samme vekt som 2 protoner og dessuten være uelektrisk. For andre atomer - bortsett fra vannstoff - er forholdet det samme. Atomvekten er alltid større en atomnummeret, og forskjellen mellom dem blir stadig større ettersom atomnummeret øker. Da nu hvert atom inneholder like mange protoner som atomnummeret angir, må følgelig hvert atom i tillegg til disse protoner inneholde noe mer som bringer atomvekten opp til den ved eksperimenter funne verdi, og dette "mer" må som ved helium være uelektrisk. Dessuten må også mengden av dette "mer" utgjøre en stadig større del av atomkjernens hele vekt etterhvert som forskjellen mellom atomvekt og atomnummer tiltar. Av tabellen over det periodiske system sees at denne forskjell vokser med tiltagende atomnummer. Omvendt utgjør protonene en stadig mindre andel av hele atomkjernens vekt ettersom man etterhvert kommer til stadig tungere atomer. Dette foreløpig ukjente "mer" dominerer stadig sterkere jo tungere atomer er.

Det kunde ligge nær å anta at regulære vannstoffatomer som jo er elektrisk neutrale, kunde være pakket inn i de andre atomkjerner. Dette er imidlertid en umulighet. Som det er indres, er vannstoffatomets utstrekning - avstanden mellom protonet og elektronet - omtrent 10 000 ganger så stor som protonets diameter. Selv om de tunge atomers kjerner må antas å være av langt større dimensjoner enn et proton, blir allikevel et regulært vannstoffatom tusenvís av ganger for stort til å kunne få plass innenfor kjernen til et annet atom.

Den radioaktive β - stråling kommer fra atomkjernen og består

av elektroner. Det er derfor ikke så urimelig å anta at kjernen inneholder elektroner, men hvis så er tilfelle må disse elektroner befinne seg i en helt annen tilstand enn de ~~de~~ elektroner som kretser rundt kjernen. I så fall må kjernen bestå dels av selvstendige protoner og dels av protoner som er forbundet med elektroner på en måte som man for tiden er uten kjennskap til.

Imidlertid oppdaget man i 1931 at grunnstoffet beryllium som bombardertes med α - stråler, utsendte en egen slags stråling som løsrev atomer fra andre grunnstoffer, f.eks. fra helium, litium, kvvelstoff, sørstoff osv.v. når den ble sendt mot dem. De løsrevne atomer beveget seg med stor hastighet, og størrelsen av den veilengde disse løsrevne atomer beveget seg, kunde bare forklares ved at de var blitt slitt løs ved kollisjon med en partikkel av samme vekt som et proton. Ved å undersøke disse partikler etter samme metoder som anvendes ved studiet av den radioaktive stråling, viste det seg at disse partikler hadde en meget stor gjennemtreningssevne og at de var elektrisk neutrale. Videre viste det seg at de måtte ha samme dimensjoner som et proton. Det var med andre ord oppdaget en uelektrisk partikkel med samme vekt og dimensjoner som et proton. Denne har fått navnet : neutron.

Denne oppdagelse gjør det plausibelt å anta at atomkjernen er bygget opp av protoner og neutroner. Hvorvidt dette neutron er en selvstendig grunnpartikkel på samme måte som protonet og elektronet eller om det er en partikkel som framkommer ved en intim forening av et proton og et elektron, er for tiden ukjent. Dette spørsmål er forøvrig blitt ~~en~~ ytterligere komplisert ved oppdagelsen av det positive elektron : positronet.

I henhold til disse vitenskapelige forskingsresultater må

atomet består av en kjerne sammensatt av protoner og nøytroner og omkretset av elektroner. Atomnummeret angir antallet av protoner i kjernen og tillike antallet av elektroner omkring kjernen. Antallet av nøytroner i kjernen øker med tiltagende atomvekt, og nøytronenes antall finnes som forskjellen mellom atomvekten og atomnummeret.

5. Kapitel.

Atomkjernen.

I 1932 undersøkte Madame Curie-Joliot og hennes mann, professor Joliot - forøvrig den samme Madame Curie-Joliot som av de amerikanske myndigheter ble nektet å holde foredrag i USA og den samme professor Joliot som for tiden er leder av den franske atomforskning og som USA's atomkommisjon ifølge presse-meldinger nekter å samarbeide med på grunn av hans angivelig øst-orienterte politiske syn - hvorledes grunnstoffet beryllium forholgt seg ved bombardering med α -partikler. De fant at beryllium da utsendte en stråling som bestod av hurtige neutro-ner med stor gjennentrengingsevne. Som nevnt er atomet et temmelig åpent system, og da et neutron har samme dimensjoner som et proton, følger herav at et neutron kan passere gjennom de ytre deler av et atom uten å frambringe forstyrrelser i det- te og uten selv å influeres av det atom det passerer igjennem. Dette forklarer neutronets store gjennentrengingsevne, men med- fører også at når en neutronstrøm sendes gjennom et stoff, vil på grunn av neutronets små dimensjoner de aller fleste passere gjennom atomenes ytre deler og bare noen få kolliderer med sel- ve atomkjernen. Dette forhold spiller en vesentlig rolle ved de prosesser hvorved der frigjøres energi fra atomenes indre.

Fortsatte undersøkelser viste at beryllium langt fra var det eneste grunnstoff som utsender neutroner ved bombardering med α -partikler. Alle grunnstoffer opp til atom- nummer 13 aluminium bortsett fra helium, kvelstoff, kullstoff og surstoff utsender neutroner - altså bortsett fra de grunnstof- fer hvis atomvekter praktisk talt er hele tall - og noen få grunnstoffer avgir både neutroner og protoner.

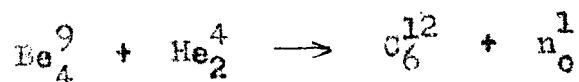
Nu har beryllium atomnummer 4 og atomvekt 9,02.

Kjernen inneholder derfor $9 + 4 = 5$ neutroner.

Når et beryllium-atom treffes av en α -partikkel, forsvinner α -partiklen og et neutron sendes ut. Den prosess som foregår, må da åpenbart bestå deri at α -partiklen kiler seg fast i beryllium-atomets kjerne som derpå utsender ett av de 5 neutroner den inneholder. Nu har α -partiklen samme vekt som et heliumatom, altså 4 og en positiv ladning på 2 enhetsladninger. Beryllium-atomet må da etter innfangingen av en α -partikkel få en atomvekt på $9+4 = 13$ og en positiv ladning på tilsammen $4+2 = 6$ positive enhetsladninger. Ved utsendingen av et neutron avtar igejn atomvekten med 1 slik at atomvekten sluttelig blir $13-1 = 12$. Men siden neutronet er uelektrisk, beholdes ladningen på 6 uforandret. Sluttresultatet må derfor bli et atom med atomvekt 12 og ladningstall - altså atomnummer - på 6. Av det periodiske system sees at dette er et kullstoff-atom.

Beryllium-atomet har altså ved å fange inn en α -partikkel og derpå å sende ut et neutron gått over til å bli et kullstoff-atom. Vi står med andre ord overfor en fullstendig forvandling av et grunnstoff til et annet.

Settes atomnummeret som indeks nederst ved grunnstoffets kjemiske betegnelse og atomvekten som indeks oppe, kan prosessen skrives :



idet neutronet betegnes med n_0^1 .

Lignende prosesser foregår når de tidligere nevnte grunnstoffer ved bombardering med α -partikler sender ut neutroner. Også her foregår grunnstoff-omvandlinger.

Årsaken til at atomkjernen etter å ha fanget inn en α -partikkel etterpå sender ut et neutron må søkes deri at kjernens indre likevekt forstyrres og at kjernen således blir ustabil

etter at α -partiklen har kilt seg fast. For igej å skaffe li-
kevekt og stabile forhold i kjernen slynges så neutronet ut.

Når beryllium bombarderes med α -partikler,
blir resultatet derfor i første omgang at beryllium-atomet
går over til et atom med atomvekt 13 og atomnummer 6. Dette
må være en isotop til grunnstoffet kullstoff med atomvekt 12
og atomnummer 6, og betegnelsen for disse to atomer blir derfor
henholdsvis C_6^{13} og C_6^{12} . I atomet C_6^{13} er kjernen
ustabil, og nettopp dette at det kan framstilles ustabile
atomkjerner i tillegg til de som naturlig forekommer, er en
av de viktigste forutsetninger for framstillingen av atom-
energien.

6. Kapitel.

De radioaktive serier.

Når et atom utsender radioaktiv stråling, vil en utsending av γ -stråler - som jo er stråler av samme art som lysstråler - ikke medføre forandringer hverken av atomets vekt eller dets ladningstall - atomnummer. Anderledes stiller det seg ved utsending av α - og β - stråling.

Som nevnt tidligere, består α -strålingen av en strøm positivt ladde heliumatomer. Disse har atomvekten 4 og atomnummer 2. Når et radioaktivt atom slynger ut en α -partikkel, fjernes der således 2 positive enhetsladninger fra atomets indre. Derved forminskes atomets opprinnelige atomnummer med 2. Dessuten mister samtidig det radioaktive atom en vekt så stor som vekten av 4 protoner, d.v.s. atomvekten må avta med 4. Ved utsending av α -stråling må derfor det radioaktive atoms atomvekt forminskes med 4 og atomnummeret med 2.

β -strålingen består som tidligere nevnt av elektroner - altså av negative elektriske enhetsladninger. Sender et radioaktivt atom fra seg et elektron i form av β -stråling, vil atomets samlede negative elektriske ladning forminskes med 1. Dette betyr at en av atomets positive elektriske ladninger nu ikke lenger oppheves av den motsvarende negativ elektriske. Atomet vil derfor oppføre seg som om det hadde en positiv enhetsladning for meget d.v.s. som om dets atomnummer vokser med 1. Da vekten av elektronene kan settes ut av betraktning, vil en β -stråling ikke ha noen innflytelse på atomvekten. Når et radioaktivt atom sender ut et elektron i form av β -stråling, blir resultatet derfor at atomnummeret øker med 1 mens atomvekten beholdes uforandret.

Et radioaktivt stoff som utsender både α - og β -stråling, vil altså forandres både i atomvekt og atomnummer, d.v.s. det går over til å bli et annet slags atom. Dette kan nu i sin tur igjen være radioaktivt og således gå over til et tredje slags atom som atter igjen kan være radioaktivt o.s.v.

På denne måte oppstår de såkalte radioaktive serier eller radioaktive rekker. Det har vist seg at alle de 3 øverste grunnstoffer, nemlig torium med atomnummer 90, proto-aktinium med atomnummer 91 og uran med atomnummer 92, alle er radioaktive og danner utgangspunktet for hver sin radioaktive serie.

For den fortsatte frastilling er bare uran-serien av interesse hvorfor kun den gjengis her. Den første kolonne begynner med Uran I og inneholder betegnelsene for de stoffer som etterhånden dannes ved stadig fortsatt radioaktiv stråling. Når et stoff, som f.eks. Uran K_1 spaltes i to forskjellige andre stoffer, er likeledes angitt den prosentvise andel av den totale stråling som fører til dannelsen av hvert av de to stoffer. I annen kolonne angis atomnummeret Z , i tredje arten av den stråling som utsendes, i 4de halvverings-tiden og i siste kolonne atomvekten.

Som det sees, går Uran I ved en α -stråling og 2 successive β -strålinger i det vesentligste over til Uran II med samme atomnummer, nemlig 92, som Uran I, men med atomvekt 234. Dette er en uran-isotop som betegnes U^{234} og har en viss interesse i forbindelse med prinsippene for framstillingen av atombomben.

Videre sees at Uran II for en vesentlig del ved α -stråling går over til Jonium som ved fortsatt α -stråling går over til radium med atomnummer 88 og atomvekt 226. Dette er det samme stoff som på grunn av sin utstråling av radioaktive stråler har fått så stor betydning ved behandlingen av kreft

og andre svulster. Dette viktige grunnstoff er altså en mellomstasjon i uran-serien. Ved stadig fortsatt radioaktiv stråling fra de etterhvert dannede nye stoffer kommer man omsider til radium D med atomnummer 84 og atomvekt 210. Dette er det samme som det grunnstoff som i det periodiske system har navnet Polonium - Po - . Det siste ledd i rekken er radium D som ikke er noe annet enn bly - eller rettere en bly-isotop. Hele denne rekke av nydannede atomer fra uran til bly er altså alle radioaktive, d.v.s. den opprinnelige såvel som de etterhvert dannede atomkjerner må alle være ustabile. Fra hvert enkelt av disse nydannede atomer utsendes radioaktiv stråling uten ytre foranledning inntil det til slutt ender med et atom som ikke lenger er radioaktivt, eller med andre ord, inntil der er dannet et atom med stabil kjerner. Naturen selv tilstreber altså dannelsen av stabile atomer.

Uran - serien.

Uran I	92	α	4,5 milliarder år	238,13
Uran X ₁	90	β	23,8 dager	234
Uran 2	91	β	6,7 timer	
Uran X ₂	91	β, γ	70 sek.	234
Uran II	92	α	1 million år	234
Uran Y	90	β	24,6 timer	230
Jonium	90	α	90 000 år	230
Radium	88	$\alpha(\beta+\gamma)$	1580 år	226
Radiumemanasjon (Radon)	86	α	3,83 dager	222
Radium A	84	α	3 min.	218
Radium B	82	$\beta+\gamma$	26,8 min.	214
Radium C	83	$\alpha+\beta+\gamma$	19,6 min	214
Radium C'	81	$\beta+\gamma$	1,32 min.	210
Radium C ¹	84	α	100-milliontedels sek.	214

Til Radium D Til proto-aktinium $Z=9, A=214$

- 30 -

Radium D	82	$\beta + \gamma$	16 år	210
Radium E	83	$\beta + \gamma$	4,85 dager	210
Radium F (Polonium)	84	$\alpha (+\beta)$	136,5 dager	210
Radium G	82	-		206

7. Kapitel.

De små avvikelser i atomvektene.

De grunnstoffer hvis atomvekter avviker sterkt fra hele tall, ble ved Austons undersøkelser påvist å bestå av en blanding av to eller flere isotoper, men denne forklaring strekker ikke til for de små avvikelser i atomvektene.

I det periodiske system følger helium og litium på de nærmeste plasser etter vannstoff og må derfor bestå av forholdsvis enkle atomer. Helium har således atomnummer 2 atomvekt 4,002. Et helium-atom må derfor bestå av 2 protoner og $4 - 2 = 2$ neutroner. Da vekten av et neutron er like stor som vekten av et proton, må et helium-atom veie like meget som 4 protoner eller vannstoffatomer da vekten av de tilhørende elektroner kan settes ut av betraktning. Av tabellen sees at atomvekten for vannstoff er å være 1,0078, og følgelig skulde derfor et helium-atom ha atomvekten ~~1,0078 * 4~~ $1,0078 \cdot 4 = 4,0312$ mens den ved eksperimenter funne verdi er 4,002. Differensen mellom den teoretiske verdi og den ved forsøk funne verdi blir derfor $4,0312 - 4,002 = 0,0292$ eller rundt regnet 0,03, d.v.s. vekten av et heliumatom ser ut til å være 0,03 ganger vekten av et proton for lite.

For litium-atomet finnes noe lignende. Litium har atomnummer 3 og en atomvekt nær inntil 7. Litium-atomets kjerne må følgelig bestå av 3 protoner og $7 - 3 = 4$ neutroner. Med samme resonnement som ovenfor skulde derfor litium-atomets atomvekt bli $1,0078 \cdot 7 = 7,0546$ mens den eksperimentelt funne verdi er 6,940. Differensen mellom den teoretiske og den funne verdi blir her $7,0546 - 6,940 = 0,1146$ eller rundt regnet 0,11, d.v.s. vekten av et litium-atom ser ut til å være

0,11 ganger vekten av et proton for liten.

Lignende betraktninger kan anstilles for atomer hvis atomvekter ligger nær hele tall. Det ser med andre ord ut til at noget av vekten forsvinner samtidig med at enkelte atomer bygges opp av protoner og neutroner.

Dette er imidlertid stikk i strid med all vitenskapelig erfaring og dette vekttap lar seg da også forklare. I 1905 hadde Albert Einstein framsett sin spesielle relativitetsteori.

En konsekvens av denne teori er at all energi har masse - altså vekt - og omvendt har enhver masse et visst energiinnhold. I mere forståelige vendinger kan dette uttrykkes slik: Masse - d.v.s. noe som har vekt kan under visse omstendigheter gå over til energi, og omvendt kan en viss energimengde gå over til masse - d.v.s. til noe som har vekt.

Ifølge Einstein er altså masse og energi å oppfatte som to forskjellige ytringsformer av ett og det samme. I henhold til hans teori kan den energi som en viss masse er i besiddelse av, også beregnes. Det fører imidlertid for langt å gå nærmere inn på det her.

Hermed får man forklaringen på det vekttap som oppstår f.eks. ved sammensettingen av et helium- eller litium-atom av protoner og neutroner. Ifølge Einstein må den forsvunne vekt ha gått over til energi.

Ved dannelsen av et heliumatom forsvant som nevnt en vekt motsvarende 0,03 ganger vekten av et proton. Kver gang et helium-atom dannes, går derfor en vekt motsvarende ~~vekt~~ 0,03 ganger vekten av et proton over til energi. Denne energi *lar* seg beregne etter Einsteins teori.

I atomfysikken benyttes en energi-enhet som kalles 1 elektronvolt som er den energi et elektron tilføres ved å gjennomløpe et spenningsfall på 1 volt. Et vekttap motsvarende 0,03 ganger

vekten av et proton gir en energimengde på 28 millioner elektronvolt. Dette betyr at hver gang det dannes et helium-atom, frigjøres en energimengde på 28 millioner elektronvolt.

For å gi en forestilling om størrelsen av denne energi kan tilføyes at denne svarer til at der ved dannelsen av 1 kg helium av protoner og neutroner, utløses en energimengde svarende til i energi-innholdet i 21 millioner kg kull, d.v.s. 21 000 tonn kull.

Av disse resultater fremgår at når der ved atomprosesser forsvinner en viss vektmengde, svarer dette til at der samtidig utløses en viss energimengde som kan beregnes. Som det sees av det ovenfor nevnte eksempel har de på denne måte frigjorte energimengder kolossale dimensjoner i forhold til de energimengder som leveres av vanlige energi-kilder som f.eks. elektriske generatorer, dampmaskiner o.l.

8. Kapitel.

Frigjøringen av atomenes indre energi ved atomspalting.

Av den tidligere framstilling fremgår at atomkjernene er sammensatt av protoner og neutroner, og de antall neutroner i kjernen er lik differensen mellom atomvekten og atomnummeret, såes det også at antall neutroner i kjernen er større enn antall protoner. Dette overskudd av neutroner øker også med voksende atomvekt. Hos uran med atomnummer 92 og atomvekt 238 er der således hele $238 - 92 = 146$ neutroner i ~~kjernen~~ hver atomkjerne.

Videre er det nettop de tre tungeste grunnstoffer, uran, protoaktinium og torium, som danner utgangspunktet for hver sin av de radioaktive serier. De tre tungeste grunnstoffer er selv radioaktive og forvandles under utsending av radioaktiv stråling etterhvert til andre radioaktive grunnstoffer eller grunnstoffisotoper helt til rekken avsluttes med et ikke-radioaktivt grunnstoff eller grunnstoff-isotop. De radioaktive stoffer som succesivt dannes ved denne omvandling, er alle selv stoffer med stor atomvekt og følgelig har de alle et stort antall neutroner i kjernen.

Siden nu de radioaktive stoffer alle er stoffer hvor overskuddet av neutroner i kjernen er stort i forhold til antallet av protoner og den radioaktive stråling må sees som følge av at atomkjernen er ustabil, ligger det nær å slutte at denne ustabilitet i kjernen på en eller annen måte henger sammen med overskuddet av neutroner.

La oss for å klargjøre forholdet gå tilbake til det av ekteparet Joliot utførte forsøk med bombardering av beryllium med α - partikler. Resultatet var i første omgang et atom med atomvekt 13 og atomnummer 6 - en kullstoffisotop med

betegnelsen C_6^{13} . Det normale kullstoffatom har atomvekt 12 og atomnummer 6, altså et atom C_6^{12} . Det siste har $12 + 6 = 6$ neutroner, det førstnevnte $13 + 6 = 7$ neutroner i kjernen, altså et neutron for meget i forhold til den normale tilstand. Når dette overflødig neutron slynges ut igjennom igjen, kan årsaken hertil kun være at dette ekstra neutron gjør kjernen i atomet C_6^{13} ustabil, og at kjernen selv søker tilbake til den stabile likevektstilstand ved å skille seg av med det overtallige neutron.

Selv om det i de senere år oppbevist en svak radioaktiv stråling fra grunnstoffer med forholdsvis lave atomnummer og små atomvekter, er den radioaktive stråling i overveiende grad knyttet til atomer med høyt atomnummer og stor atomvekt. Dette leder til den tanke at de tunge atomkjerner må ha en viss mangelfull indre likevekt, men denne ustabilitet må åpenbart være av en annen art enn den ustabilitet som opptrer i atomet C_6^{13} og forårsaker utslyngingen av et ~~neutron~~ neutron.

Et slikt frigjort neutron kan nå i sin tur innfanges av en annen atomkjerne, men den videre utvikling er avhengig av hva slags atomkjerne neutronet treffer på. Det er slett ikke sikkert at den påtrufne atomkjerne ved å tilføres et nytt neutron blir til de grader ustabil at det skjer noe i det hele tatt. Det kan f.eks. dannes en isotop som selv er stabil. Rettopp fordi de forskjellige atomkjerner synes å ha en forskjellig grad av indre stabilitet, er det på forhånd umulig å si hva resultatet vil bli når et neutron innfanges av en atomkjerne.

Derfor kunde man bare ved eksperimenter komme til klarhet over hva som vilde inntreffe når man sendte en strøm av neutroner mot uran, det tungeste av alle grunnstoffer, hvor man på grunn av det særlig store neutron - overskudd måtte anta at kjernen var mer enn almindelig ustabil. Slike forsøk ble foretatt i slutten av 1930 - årene av italieneren

Fermi som senere ble en av de ledene ved framstillingen av atombomber. Resultatene var i høyeste grad besynderlige. Etter noen tids bombardering av uran med neutroner kunde han nemlig påvise 4 nye stoffer som alle var radioaktive, men hadde forholdsvis korte levetider, henholdsvis 10 sek., 40 sek., 13 min. og 90 min. Disse 4 stoffer gikk altså alle etter kort tid over til helt andre stoffer. Det var jo å vente at en i første omgang i hvert fall skulde få en eller flere av de 3 kjente uran-isotoper U^{234} , U^{235} og ~~U²³⁸~~ U^{238} . Men det besynderlige var at ingen av de 4 framkomne stoffer var identisk med noen av de 3 uran-isotoper.

Etter grundige undersøkelser kunde Fermi påvise at ingen av de 4 framkomne stoffer kunde være grunnstoffer med atomnummer fra og med 86 til og med 92. De måtte være grunnstoffer med høyere atomnummer enn uran. Vitenskapen hadde med andre ord frambragt grunnstoffer som naturen selv ikke har maktet.

resultater
Disse ~~undersøkelser~~ gav som ventelig var,

støttet til systematiske undersøkelser i praktisk talt alle verdens forskingsinstitutter. Etter at man anså det fastslått at disse 4 nye stoffer var såkalte trans-uranske grunnstoffer, d.v.s. grunnstoffer med høyere atomnummer enn uran, gikk spesielt de tyske forskere igang med å undersøke dem mer inngående.

Imidlertid viste det seg at når man bombarderte uran med neutroner gjennom et lengere tidsrom, oppstod der ikke bare 4, men hele 9 forskjellige ukjente stoffer. Da det var en viss sannsynlighet for at i hvert fall ett av disse 9 nye stoffer kunde være radium, forsøkte man etter kjente metoder å utskille radium. Alle anstrengelser i så måte var fruktesløse - ingen av disse 9 ukjente stoffer var radium. Derimot gjorde man en temmelig uventet oppdagelse : ett av de 9 stoffer var nemlig grunnstoffet barium med atomnummer 56. Herpå var bare en eneste forklaring mulig : uran-atomet måtte etter

å være truffet av et neutron ha delt seg i to noenlunde like store atomer hvorav det ene var et barium-atom, med ~~sin~~ atomnummer 56.

Denne oppdagelse åpnet perspektiver av umåtelig rekkevidde. Som det fremgår av det foregående var en oppspalting av en atomkjerne intet ukjent fenomen - det foregår jo til stadighet under utsending av radioaktiv stråling - . Det nye ved den her iaktatte atomspalting var at kjernen delte seg i 2 lettere kjerner - at det av ett tungt atom var dannet 2 lettere atomer, og som vi nu nok skal se, under frigjøring av enorme energimengder. Det ligger i sakens natur at de 2 lette atomers atomnummer til sammen må være lik det spaltede atoms atomnummer.

Som enhet for energi brukes i atomfysikken som tidligere nevnt 1 elektronvolt. Ved fullstendig forbrenning av et molekyl bensin frigjøres en energimengde på noen ganske få elektronvolt, og ved dannelsen av et helium-atom ved forening av 2 vannstoffatomer med 2 neutroner utvikles som tidligere nevnt en energimengde på 28 millioner elektronvolt. Spaltes et enkelt U^{235} - atom i f.eks. et xenon-atom med atomnummer 54 og atomvekt 131,3 og i et strontium-atom med atomnummer 38 - idet $54 + 38 = 92$ - og atomvekt 87,63, blir den samlede vekt av de 2 lette atomer $131,3 + 87,63 = 218,93$. Da U^{235} har atomvekten 235, blir således vekttapet $235 - 218,93 = 16,07$ eller rundt regnet 16 ganger vekten av et proton.

I henhold til det som er forklart i det foregående, motsvarer en forsvunnen vekt av denne størrelse en frigjøring av en energimengde på ca. 200 millioner elektronvolt eller rundt regnet 50 millioner ganger mer enn der utvikles ved fullstendig forbrenning av et molekyl bensin.

Det frigjøres med andre ord energimengder av slike dimensjoner sammenlignet med de energimengder mennesket hittil har hatt til rådighet ved utnyttelse av vannkraft, brennstoffer o.l., at disse siste nærmest må betraktes som noe hjelpeløst pusleri.

Skal nu disse veldig store mengder kunne utnyttes, måtte en først og fremst komme til klarhet over hva som egentlig skjer når f.eks. en uran-kjerne spaltes i to lettere atomkjerner, hvorfor det skjer og hvorledes det skjer.

Til forståelse herav er det hensiktsmessig å benytte en billedlig anskueliggjøring som er uttenkt av Bohr. Først blir det imidlertid nødvendig å gjøre en liten sidebemerkning.

En veskes fri overflate, f.eks. overflaten av vannet i en kopp, overflaten av en innsjø eller lign., dannes av en hinne, den såkalte overflatehinne. Ved hjelp av en almindelig spise-gaffel kan man, når forsiktighet utvises, få lagt en knappe-nål eller synål slik i et glass vann at den "flyter". Ser man inn fra siden, tar det seg ut som om nålen hviler i en fordykning - i en slags pose. Det kan tydelig sees at overflatehinnen holder nålen oppe. Når der dannes dråper, f.eks. vandråper, skyldes det at overflatehinnen danner en sekk som holder vannet innenfor på plass. Alle har sikkert lagt merke til at når en vanddråpe blir tilstrekkelig stor, deler den seg i to mindre dråper. Overflatehinnen eller "dråpesekken" blir for svak og klarer ikke lenger påkjenningen fra vannet innenfor.

Bohr sammenligner nu atomkjernene med veskedråper bestående av små partikler som alle frastøter hverandre, men holdes på plass av "overflatehinnen". Hvis nu antallet av partikler i dråpen øker - svarende til at der med stigende atomnummer blir stadig fler og fler protoner og neutroner i kjernen -

vil de frastøtende krefter mellom veskepartiklene stadig vokse og med stadig større kraft ~~xi~~ sprengte mot "overflatehinnen". Resultatet herav må, da nødvendigvis bli at den kraft i overflatehinnen som holder dråpen sammen - holder atomkjernen sammen - stadig svekkes, og når antallet av partikler i dråpen - antall protoner og neutroner i kjernen - blir tilstrekkelig stort, deler dråpen - atomkjernen - seg.

Overført på grunnstoffene betyr dette at de tungeste - altså de radioaktive grunnstoffer - har atomkjerner som er på kanten til å dele seg. Atomene i disse grunnstoffer synes altså å ha blitt for store til å kunne bestå. Ved den radioaktive stråling synker etterhvert både atomnummeret og atomvekten - de frastøtende partiklers antall avtar - og tilslutt nåes en stabil tilstand.

Etter denne betraktning er det, som det forståes, overveiende sannsynlig at det ikke kan forekomme grunnstoffer med høyere atomnummer enn uran med nr. 92, da slike atomer tydensynlig må være altfor litet stabile til å kunne bestå i lengere tid.

9 . Kapitel.

Fisjon og kjederaksjon.

Kan man som Bohr betrakte uran-kjernen som en dråpe som på grunn av sin størrelse er på kanten til å dele seg, må det også formodes at en forholdsvis liten ytre foranledning, f.eks. inntrenging av et neutron i kjernen, kan være tilstrekkelig til å framkalle en deling av atomkjernen. Noen annen forklaring kan i hvert fall ikke gis, og det må derfor ansees fastslått at en uran-kjerne kan dele seg som følge av at et neutron trenger inn i den. Denne deling av uran-kjernen har fått et eget navn : fisjon. Når det sies at et neutron framkaller fisjon, betyr det at neutronet forårsaker en deling av en atomkjerne i to lettere atomkjerener. Forklaringen på fenomenet blir da : Den på forhånd temmelig ustabile uran-kjerne blir ved inntrenging av et neutron til de grader ustabil at den deler seg i to lettere atomkjerener med en frigjøring av enorme energimengder tilfølgse.

Den nødvendige forutsetning for å skaffe disse energimengder tilveie blir således at der foregår en fisjon. Den videre undersøkelse måtte derfor gå ut på å finne de stoffer som viser størst tilbøyelighet til kjernedeling, og dessuten om neutronene under bestemte vilkår, f.eks. ved å ha en bestemt hastighet, lettere vil framkalle fisjon enn ellers.

Det er imidlertid ikke sikkert at et neutron som trenger inn i en uran-kjerne i alle tilfelle frambringer en fisjon. Det må nemlig antas at neutronet straks ved sin inntrenging i atomkjernen begynner å støte sammen med de protoner og neutroner hvorav kjernen er oppbygget. Den energi det inntrengende neutron er i besiddelse av vil derfor etterhvert fordeles på de opprin-

nelige partikler i kjernen. Nu er den måte hvorpå det inntrengende neutrons energi fordeles på de opprinnelige partikler i kjernen avhengig av flere faktorer, bl. a. av den retning neutronet har i forhold til kjernen i støtøyeblikket. Det er derfor all grunn til å anta at blandt de muligheter som finnes for fordelingen av det inntrengende neutrons energi, også kan inntreffe tilfelle hvor ett av kjernens opprinnelige neutroner kan tildeles så stor energi at det bryter ut av kjernen så hurtig etter sammenstøtet med det inntrengende neutron at kjernen enda ikke har fått tid til å dele seg. Resultatet blir i så fall bare at et neutron trenger inne i kjernen og et annet slynges ut.

Den mulighet foreligger også at den energi det inntrengende neutron er i besiddelse av, helt eller delvis sendes ut igjen i form av γ -stråling. Ifølge disse strålers natur er da neutronets energi i henhold til Bohrs 2nen lov medgått til å bringe atomet fra en stasjonær tilstand til en ny slik tilstand med større energi. Ved derpå fullstendig ~~absorbering~~ eller delvis å sende den mottatte energi ut igjen i form av γ -stråling, går atomet tilbake til den opprinnelige stasjonære tilstand eller til en tredje slik tilstand. I begge tilfelle har det inntrengende neutron bare frakalt en prosess som har foregått i atomets ytre elektronsystem, og neutronet har overhodet ikke vært i berøring med kjernen. Følgelig kan det heller ikke ha hatt høve til å frakalle noen fisjon.

Hertil kommer da videre den mulighet at neutronet innfanges av kjernen uten at der skjer noget mer. I så fall vil resultatet bare bli at der dannes en isotop.

Når en uran-kjerne - eller kjernen i et annet radioaktivt atom - utsettes for bombardering med neutroner, er det altså 4 mulige resultater hvorav i hvert fall de to er uten verdi når det gjelder å frigjøre atomenes indre energi.

På den annen side er de forskjellige radioaktive atomers kjerner forskjellig oppbygget. Det kan derfor være grunn til å anta at enkelte atomkjerner kan være mere "disponert" for den ene av de ~~tre~~⁴ prosesser enn for de andre 3. I så fall gjaldt det å eksperimentere seg fram til den atomsort som var best "disponert" for fisjon.

Undersøkelser med henblikk herpå førte ganske snart til at det bare er hos de to uran-isotoper U^{234} og U^{235} en treffer på betydelige "anlegg" for fisjon. U^{238} viser seg derimot å være best "disponert" for innfangning av neutronet.

Nu forekommer imidlertid U^{234} bare i ytterst små mengder. I praksis kan derfor bare U^{235} komme i betraktning når man ved en direkte fisjonsprosess vil frigjøre atomenergien.

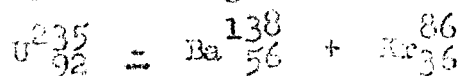
Tenker en seg nå en viss mengde U^{235} - f.eks. 1 gram - utsatt for neutrobombardering, vil dette framkalle fisjon i hvert fall i noen av atomkjernene. Fisjonsproduktene blir atomer med lavere atomnummer, men fordi neutron-overskuddet er størst hos tunge atomer, vil atomkjernene i spaltingsproduktene komme til å inneholde flere neutroner enn de gjør i sin "normale" tilstand. - Sammenlign overgangen fra C_6^{13} til C_6^{12} .-

Følgen av dette blir derfor at fisjonsproduktene utsender nye neutroner som i sin tur frambringer nye fisjoner i en del av de gjenværende uran-kjerner. De herved dannede fisjonsprodukter utsender så igjen neutroner som framkaller nye fisjoner osv. v. v. det oppstår en såkalt kjedereaksjon. Da kjedereaksjonen kan foregå i et uhyre kort tidsrom - 1 milliontedels sekund eller deromkring - kan hele prosessen få en eksplosionslignende virkning.

De nye atomer som dannes ved fisjon av et uran-atom viser seg å være atomer tilhørende alle stoffer mellom selenium med atomnummer 34 og lantan med atomnummer 57.

La oss som eksempel se nærmere på den energi som frigjøres ved en atombombe som inneholder U^{235} under forutsetning av at alle U^{235} - atomer ved fisjon spaltes barium - Ba - atomer med atomnummer 56 og atomvekt 138 krypton - Kr - atomer med atomnummer 36 og atomvekt 86.

Denne prosess kan med betegnelser som tidligere skrives :



Den opprinnelige atomvekt er 235 eller 235 ganger vekten av et proton. Den samlede atomvekt av spaltingsproduktene Ba og Kr er $138 + 86 = 224$ eller 224 ganger vekten av et proton. Da $235 + 224 = 11$ er med andre ord en vektmengde motsvarende 11 ganger vekten av et proton forsvunnet. Denne vektmengde er altså gått over til energi og kan beregnes som Einstein har vist.

Disse beregninger viser at hvis alle atomer i 1 kg U_{92}^{235} spaltes i Ba - og Kr - atomer, vil den frambragte energi svare til energi-innholdet i 20 000 tonn TNT - trinitrotoluol - det sprengstoff som vanligvis brukes i bomber.

Teoretisk skulde altså en atombombe inneholde 1 kg U_{92}^{235} anrette samme ødeleggelse som en luftarmada på 10 000 fly hver med en 2 tons bombelast.

I praksis må - en kan vel kanskje si heldigvis - disse tallene reduseres betraktelig. Vistnok var det så at U_{92}^{235} var best "disponert" for fisjon, men det utelukker ikke at der også kan skje andre ting når U_{92}^{235} bombarderes med neutroner.

Som der erindres, må atomet oppfattes som et temmelig åpent system. Likeledes er neutronet temmelig litet i forhold til atomets hele utstrekning. Det er derfor ikke så helt ubetydelige sjangser for at neutronet kan passere gjennom atomet og gå tapt for den tilsiaktede fisjonsprosess.

Videre kan det tenkes at neutronet kiler seg fast i kjernen på

et U_{92}^{235} - atom slik at dette går over til isotopen U_{92}^{236} .

I så fall vil der heller ikke oppstå noen fisjon.

Hertil kommer at det tross all omhu med framstillingen av U_{92}^{235} vanskelig kan undgås at der finnes urenheter i dette. En må derfor også ta den mulighet i betraktning at neutronet kan absorberes i disse urenheter og derved gå tapt.

Som 4 de og siste mulighet kommer da at neutronet framkaller fisjon i U_{92}^{235} .

I de 3 førstnevnte tilfelle foregår prosesser som forbruker neutroner til ingen nytte, mens den 4-de og siste frambringer nye neutroner ved fisjon. Hvis nu antallet av de ved fisjonen frambragte nye neutroner er for litet til å oppveie det tap som forårsakes av de 3 andre forekommende prosesser, går det hele i stå. Den nødvendige forutsetning for å få kjedereaksjonen igang er altså at fisjonen ikke bare skaffer neutroner tilstrekkelig til å dekke tapet ved de 3 andre prosesser, men dessuten også frambringer neutroner som igjen kan frambringe nye fisjoner.

Om det således frambringes en kjedereaksjon i en bestemt mengde U_{92}^{235} - f.eks. 1 kg - er det overveiende sannsynlig at bare en del av atomene vil spaltes i 2 lettere atomer i løpet av den tid som medgår fra kjedereaksjonen settes igang til bombens enkelte deler slenges fra hverander. Dette betyr at bare en brøkdel av den teoretisk beregnet verdi for den ved spalting av 1 kg U_{92}^{235} frigjorte energi, vil frigjøres i praksis. Det antas at således bare 1 - 5 % av den teoretisk beregnede verdi frigjøres i praksis. Dette vil da si at en atombombe inneholdende 1 kg U_{92}^{235} har samme virkning som 200 - 1000 tonn TNT istedetfor som beregnet 20 000 tonn.

10. Kapittel,

Det fysikalske grunnlag for framstilling av atombomben.

Som nevnt i innledningen er den tekniske framstilling av atombomben en av USA's dypetste statshemmeligheter. Det kan derfor i dette avsnitt bare kort omtales hvad der fra et fysikalsk standpunkt må gjøres og hvilke vitenskapelige spørsmål må løses for å gjøre det mulig å framstille en atombombe. Hvorledes dette gjøres i praksis, kjenner bare de innviede til. Når det hevdes at USA for tiden er den eneste stat i verden som har kjennskap til hemmeligheten om atombombens tekniske framstilling - det ser ikke ut til at Sovjet-Russlands antydninger om det motsatte vinner større tiltro - må det dog erindres at denne påstand i det alt vesentligste grunner seg på de innviedes vurdering av de tekniske vanskeligheter ved framstillingen. Men noen garanti for at ikke andre nasjoner kan ha løst de tekniske vanskeligheter gir jo denne vurdering ikke.

En leser til stadighet i pressen om nye og forbedrede atombomber, men om disse forbedringer skyldes helt nye prinsipper, bygget ^{på} nye, ennu hemmeligholdte, oppdagelser innenfor atomfysikken, eller om det består i forbedringer av de tidligere atombomber, er ukjent. Som det framgår av det foregående var jo resultatet av en atombombe i praksis nærmest bedrøvelig ~~xxxxxxxxxxxx~~ i forhold til den teoretisk beregnede resultat, og når man som ovenfor nevnt, kjenner de vesentligste årsaker hertil, skulde det trolig ligge innenfor mulighetens grenser å oppnå forbedringer.

Atombomben må etter det kjennskap en har til atomene idag, konstrueres ut fra den forutsetning at en kjedereaksjon settes igang som følge av en fisjon av en radioaktiv atomkjerne frambragt ved å bombardere en slik ustabil atomkjerne med neutroner. Herav følger at en slik bombe må være

over en viss minstestørrelse da ellers neutronene har gode sjanser til å slippe ut før de treffer på en ustabil atomkjerne. Videre må det tas i betraktning at selv om en kjedereaksjon forløper uhyre hurtig, krevor den dog ~~xxx~~ en viss tid. Følgen herav kan bli at bombens bestanddeler slynges fra hverandre før kjedereaksjonen har løst helt ut. Dette vil - som ovenfor forklart - i høy grad nedsette bombens effektivitet. Det gjelder derfor å få kjedereaksjonen til å foregå så hurtig som mulig - helst momentant. Da den hurtighet hvormed kjedereaksjonen forløper, åpenbart er avhengig av hvor mange atomer allerede fra begynnelsen av deltar i prosessen, må det stoff hvis atomer skal spaltes, anbringes slik at mest mulig av det treffes av neutroner straks ved neutronbombardementets begynnelse. Bomben bør derfor bestå av 2 adskilte deler som ved utløsningen hurtig bringes sammen slik at flest mulig atomer deltar i prosessen fra begynnelsen av.

Som tidligere nevnt, er U_{92}^{235} godt "disponert" for fisjon og kan derfor anvendes i atombomber i den form det naturlig forekommer i motsetning til U_{92}^{238} som først må omformes.

Det uran som forekommer i naturen er en blanding av U^{235} og U^{238} . Den overveiende del av blandingen utgjøres av U^{238} idet blandingsforholdet er omtrent som 1:140. Siden U^{238} er mindre godt "disponert" for fisjon, må derfor, hvis atombomben er tenkt basert på fisjon i U^{235} , framstillingsprosessen innledes med å skille U^{235} ut fra blandingen.

Dette er imidlertid intet enkelt foretagende. Da U^{235} og U^{238} er isotoper, har de samme kjemiske egenskaper og kan derfor ikke skilles ved kjemiske midler. Den kjennegjering at U^{235} og U^{238} har forskjellig atomvekt, gjør det imidlertid mulig å skille dem fra hverandre ad fysisk vei. Når nemlig en flytende eller gasformig blanding av partikler med forskjellig vekt stenges

inne i en beholder med porøse vegger - f.eks. et uglasert lerkar - viser det seg at de lettere partikler trenger raskere gjennom den porøse vegg enn de tunge. ved dette fenomen, som kalles diffusjon, vil altså rummet utenfor beholderen etter hvert fortrinsvis komme til å inneholde partikler av den laveste vekt, mens de tungere partikler i overveiende grad blir igjen i beholderen. U^{235} kan derfor til en viss grad skilles fra U^{238} ved diffusjon gjennom en slik porøs mellevegg.

En annen metode grunner seg på det samme prinsipp hvor-etter Aston konstruerte sin masse-spektrograf. Ved å la atomene i naturlig forekommende uran med stor hastighet passere gjennom et magnetisk felt, vil U^{235} -atomene og U^{238} -atomene på grunn av sin forskjellige vekt avvæyes ulike meget. Dette gjør det mulig "å samle inn" de to atomsorter hver for seg.

Begge prosesser er brukbare, men i begge tilfelle vil det jo ta sin tid å produsere U^{235} i større mengder. Dessuten må en, siden U^{235} forekommer i så små mengder i vanlig uran - ~~ikke~~ 1:140 - benytte temmelig store kvanta naturlig forekommende uran for å framstille nevneverdige mengder U^{235} . Men selv om framstillingen av U^{235} er en omstendelig prosess, har i hvert fall U^{235} den fordel at det er godt "å disponert" for fisjon og derfor uten videre kan anvendes i f.eks. atombomber.

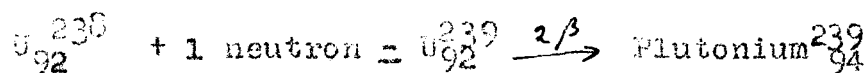
Som utgangsmateriale kan imidlertid også anvendes U^{238} . Dette er som nevnt best "å disponert" for innfangning av neutroner, og metoden må derfor bli en annen.

U^{238} har atomvekten 238 og atomnummer 92. Fanger kjernen inn et neutron, stiger atomvekten til 239, men atomnummeret holder seg uforandret. Resultatet blir en uran-isotop - U_{92}^{239} .

Dette atom er radioaktivt og sender ut en slags "dobbel" β -stråling. Som der erindres, ytrer vanlig β -stråling seg

på den måte at atomnummeret stiger med 1, men ved denne "dobbelte" β -stråling øker det med 2. Da β -strålingen er uten innflytelse på atomvekten, blir slutt-produktet et atom med atomnummer $92 + 2 = 94$ og atomvekt 239. Dette er et nytt trans-uransk grunnstoff som har fått navnet plutonium, og som det i hver fall ikke hittil er lyktes å påvise i naturen.

Den ovenfor omtalte prosess kan med vanlige betegnelser skrives :



Det på denne måte gadd frambragte plutonium viser seg å være godt "disponert" for fisjon og kan derfor anvendes i atombomben på samme måte som U^{235} og med samme resultat.

Denne metode byr på den fordel at utgangsmaterialet U^{238} er hovedbestanddelen i vanlig uran. Dette medfører at det blir et rimelig forhold mellom den anvendte uranmengde og den framstilte plutonium-mengde. Inidlertid står man også her overfor problemet med å skille det utvunne plutonium fra det gjenværende U^{238} . Da plutonium og U^{238} er forskjellige grunnstoffer, har de også forskjellige kjemiske egenskaper og kan derfor skilles med kjemiske metoder. Sammenlignet med metodene for adskillelse av U^{235} og U^{238} er dette fordelaktig.

Alt tatt i betraktning synes den siste prosess å være gunstiger for framstillingen av et stoff hvis indre energi kan utnytted ved fisjon enn den første. Det er derfor sannsynlig at U^{238} kommer til å danne utgangspunktet for den framtidige utnyttelse av atom-energien.

Ekspirimentet har vist at en bombardering med neutroner er mer virkningsfull når neutronene har en moderat hastighet. Ved en prosess som den ovenfor omtalte, vil derfor mengden av det utvunne plutonium øke hvis man på en eller annen måte kan få redusert hastigheten til de neutroner hvermed U^{238} bombarderes.

Konsekvensen herav ble da at man for å oppnå det gunstigst mulige ~~konstant~~ utbytte av prosessen, måtte skaffe til veie et "bremsstoff" for neutronstrømmen.

"Tungt vann" er uten tvil det beste "bremsstoff" en for tiden kjenner. Det kan i denne forbindelse nevnes at Norsk Hydro i sine anlegg ved Kjutan alt lenge før den siste krig hadde tatt opp produksjonen av "tungt vann", og at det nettopp var den ovenfor nevnte anvendelse av dette "tunge vann" som gav foranledning til den såkalte "Tungtvann-sabotasje" ved Vemork.

Imidlertid er også grafitt fullt anvendelig som "bremsstoff". Dette ble brukt ved framstillingen i USA - vel nærmest fordi en der hadde grafitt mer enn tilstrekkelig, og derhøst fordi framstillingen av "tungt vann" i større mengder både er en langvarig og omstendelig affære.

I blokker av grafitt - som altså skulde tjene som "bremsstoff" for neutronene - ble i hvert hjørne anbragt et stykke vanlig uran, som altså inneholder U^{235} og U^{238} i forholdet 1:140. Ved å utsette disse klumper for bombardering med neutroner, framkalles fisjon i enkelte av de tilstedeværende U^{235} -atomer. Herved frambringes nye neutroner hvorav en del i sin tur frambringer nye fisjoner i de gjenværende U^{235} -atomer mens andre trenger inn i kjernene tilhørende U^{238} -atomer.

Neutronbombarderingen framkaller således en kjedereaksjon i ~~denne forbindelse~~ hvilken de tilstedeværende, eller i hvert fall en del av de tilstedeværende U^{235} - atomer deltar.

Herved tilveiebringes de nødvendige neutroner såvel til vedlikehold av kjedereaksjonen som til omformingen av U^{238} til U^{239} som derpå av seg selv går over til plutonium. Det avgjørende for hele prosessen blir derfor å begrense kjedereaksjonen i U^{235} til bare å frambringe de neutroner som er

nødvendig for å holde begge prosesser vedlike. Blir nemlig neutronmengden for liten, stopper det hele opp, og blir den for stor, eksploderer det hele som en stombombe av mindre format. Det lar seg imidlertid gjøre å holde kjedereaksjonen gående uten at eksplosjon inntreffer.

Ved de etterhvert opptredende fisjoner i U^{235} må det, som det sees av eksemplet med spalting av U^{235} i barium og krypton, frigjøres en energimengde av betydelig størrelse. Denne energi-frigjøring ytrer seg som en oppvarming av grafitt-bløkken, og et kjøleanlegg blir derfor i den høyeste grad påkrevet. Ved anlegg som skal produsere plutonium i slike mengder som det trenges til atombomber etc., må kjøleanleggene ha en en betydelig kapasitet, og det er inegn lett sak å bli kvitt den utviklede varme. Dessuten byr det på store tekniske vanskeligheter å få kjøleanlegget tilstrekkelig effektivt. Ved framstilling av 1 kg plutonium pr. dag vil der utløses en energimengde på 500 000 - 1 500 000 kg.watt. Dette svarer rundt regnet til halvdelen av hvad samtlige norske kraftverker produserer.

Dette gir et litt begrep om hvilke energimengder som kan stilles til menneskehetens tjeneste bare ved hjelp av den prosess ved hvilken plutonium framstilles. Etterpå kan en så ved å frambringe fisjon å det framstilte plutonium ytterligere skaffe seg energimengder av samme størrelsesorden som nevnt under den tidligere omtale av atombombens energi-innhold.

11. Kapittel.

Atombombens virkninger.

Når en atombombes 2 deler hurtig bringes sammen, inntreer en kjedereaksjon som momentant utbreder seg til alle deler av detstoff bomben inneholder - det være seg enten U^{235} eller plutonium. Herunder frigjøres uhyre store energimengder som sprenger bombens enkelte deler fra hverander og sprer død og fordervelse ut over store områder.

Bombens eksplosjon ledsages av 3 umiddelbare hovedvirkninger :

1. Direkte eksplosjonsvirkning.
2. Varmevirkning.
3. Radioaktiv stråling.

Den første av disse virkninger - eksplosjonen - frambringer en trykksbølge av voldssom styrke. Selv i en avstand på 1 km fra eksplosjonsstedet vil der enno oppstå et overtrykk på 1 - 2 atmosferer. Dette vil i praksis si at f.eks. en husvegg vil bli utsatt for en påkjenning på 10 - 20 tonn pr. kvadratmeter overflate. Anderledes uttrykt kan en si at trykksbølgen svarer til en orkan på 440 sekundmeter. Til sammenligning anføres at en vindstyrke på 30 sekundmeter river svære trær over ende.

Vanlige bygninger er jo ^{ikke} dimensjonert for slike påkjenninger som nevnt ovenfor. Alle murstenshus innenfor et område med avstand 1 km fra eksplosjonsstedet vil falle sammen, og stålkonstruksjonsbygninger kreples sammen i hverander opp til 2 km. I avstander op til 3 - 4 km oppstår store beskadigelser. Solide husvegger vil vel stå, men innervegger og inventar ødelegges.

I tillegg til disse ødeleggelsler kommer de skader som forårsakes ved sammenstyrtningen av bygninger etc. Herved oppstår brudd på vannledninger og gassledninger og kortslutninger i elektriske ledninger. Resultatet blir brander rundt omkring i " nedslagsdistriktet" og liet eller intet vann til å slukke dem med.

Varmevirkningen består i en kortvarig, men uhyre sterk temperaturstigning - opp til flere millioner grader.

~~I eksplosjonsøyeblikket~~ I eksplosjonsøyeblikket og også senere fra bombens bruddstykker utsendes en kraftig γ -stråling. Denne γ -stråling virker som en sterk overdosering av en behandling med røntgenstråler. Det har vis og at denne γ -stråling bl.a. ødelegger sellene i benmargen hvor de røde blodlegemer dannes slik at produksjonen av røde blodlegemer opphører. Døden vil i så fall inntreffe etter få uker.

Men heller ikke med dette er elendigheten slutt. De spaltingsprodukter som dannes ved fisjonen i atombomben er på grunn av det altfor store neutron-overskudd i kjernen selv radioaktiv. Følgen er at "nedslagsdistriktet" blir radioaktivt og fortsatt opphold der direkte farlig. Stedet blir dermed ubeboelig - hvor lenge vil avhenge av de radioaktive fissionsprodukters levetid. De seneste undersøkelser tyder på at den radioaktive stråling vil holde seg i år-hundrer. Selv om et slikt "atomisert" område ikke er absolutt ubeboelig i så lang tid, vil den radioaktive stråling innvirke på de menneskelige kromosomer og derved forandre arveanleggene - og desverre i uheldig retning - i generasjoner framover.

.....

Det finnes intet forsvar mot atombomben. Menneskeheten er nu kommet til det punkt i sin utvikling hvor det må ta definitivt standpunkt til anvendelsen av de krefter det har lært seg å beherske. Atomenergien lar seg ikke som krutt, dynamitt etc. bruke både til krigerske og fredelige formål, men bare enten til det ene eller til det annet. Ved en atomkrig i større målestokk vil menneskeheten utslutte seg selv - ved en fredelig utnyttelse av atomenergiens muligheter vil den skape seg en gullalder som overstiger selv den dristigste fantasi.

Menneskeheten står foran et "enten eller" og det kan fritt bestemme seg. Valget avhenger av om mennesket i sin indre utvikling har holdt følge med den utvikling det selv har framkalt i sin vitenskap og i sin teknikk - om mennesket har forutsetninger for å beherske de krefter som synes å være selve unnaversets drivende kraft.