

Torsten Wilner

TEKNISKA MUSEETS ATOMARIUM

Civilingeniör Torsten Wilner, som kunnat knytas till Tekniska Museets föreläsnings- och demonstrationsverksamhet tack vare anslag från Wenner-Grenska Samfundet, ger här en beskrivning av museets Atomarium samt i anslutning därtill en översikt över atom- och kärnfysiken.

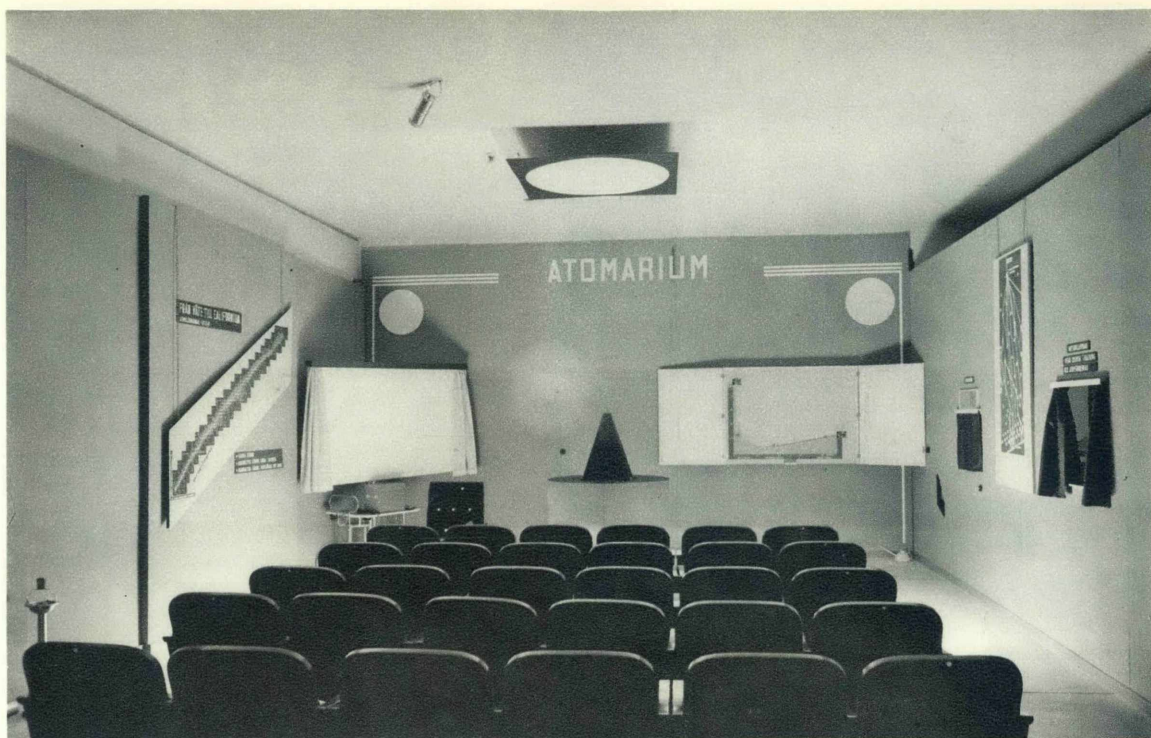
Atomarium är ett nytt ord som skapats för att karakterisera en ny avdelning inom Tekniska Museet, en »levande utställning», som byggts upp kring en samling atomfysikaliska demonstrationsapparater och modeller. Uppläggningsen har skett efter delvis helt nya linjer, och någon direkt motsvarighet finnes veterligen ej på andra håll. Invigningen ägde rum den 30 januari 1953 i närvaro av framstående representer för forskning, industri och undervisning.

Den väg som museet nu slagit in på har förberetts genom en under ett antal år utvecklad demonstrations- och föreläsungsverksamhet, där särskilt intresse ägnats åt de tekniska framstegens naturvetenskapliga underlag. Atomariet syftar till att med enkla hjälpmedel ge en åskådlig och lättfattlig bild av atomfysikens grunder, att framhäva den enhetlighet som skönjes i naturen samt att visa framåt mot nya möjligheter att tekniskt utnyttja naturföreteelserna. Samlingen demonstreras under korta föredrag, vid vilka apparaterna visas i funktion. Museets strävan är att söka ytterligare utöka apparatbeståndet och att ständigt ge en aktuell bild av utvecklingen inom de berörda områdena.

Visningarna inom Atomariet inledas med en allmän orientering över materiens uppbyggnad av molekyler och atomer. Atomen utgöres av en positivt laddad kärna med ett hölje av negativa elektroner, ordnade i olika skal. Varje grundämne har ett karakteristiskt antal kärnladdningar och i grundtillståndet ett däremot svarande antal elektroner i höljet.

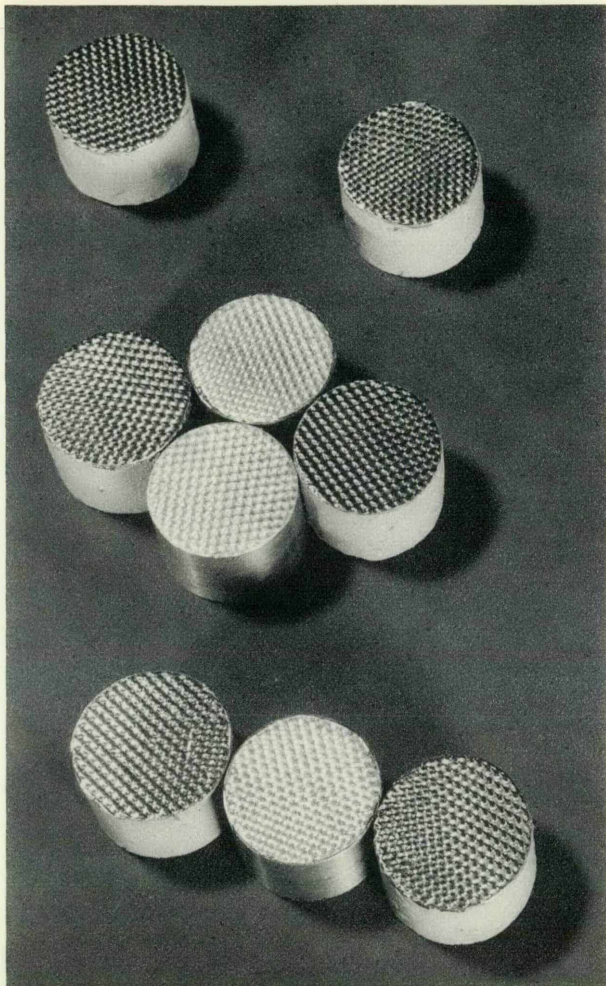
Fältelektronmikroskop.

Hos ämnen i form av kristaller motsvaras den yttre regelbundenheten av en bestämd ordning i den inre strukturen. Mycket vackra experiment belysande dessa förhållanden kunna göras med det av E. Müller utvecklade fältelektronmikroskopet (1), av vilket museet förvärvat ett exemplar av Leybolds tillverkning. Apparatsens huvuddel utgöres av en lufttom klotformig glaskolv med en i mitten anbragt ytterst fin spets, utgörande en enhetlig kristall av metallen volfram. Inuti kristallen bilda atomerna ett regelbundet gittermönster av kubisk karaktär. Den sida av kolven mot vilken spetsen är riktad är belagd med ett lysämne. Laddas nu spetsen negativt med hög spänning, drivas elektroner direkt ut ur gittret, och detta sker till följd av strukturen med olika intensitet i olika riktningar. Elektronerna stråla radiellt ut mot lysesytan, där de framkalla en bild av spetsens ändyta i omkring femhundra tusenfaldig förstoring. Gitterstrukturen framträder här som ett vackert



Tekniska Museets Atomarium. Besökarna sitta i bekväma stolar i det halvmörka rummet. En del av försöken fordra mörkeranpassade ögon. Till höger, nischer i vilka visas atomkärnsönderfall i spintariskop och Wilsonkammare, båda i nya och speciella utföranden. I taket projiceras ett partikelspel, som på ett åskådligt sätt visar många kärnprocesser. På en lysskärm utförs demonstrationer. Atomkärnornas byggnad och den kosmiska strålningen visas med lysfärgbelagda figurer. — Dessa och följande bilder efter fotografier tagna av Hans Hammarskiöld.

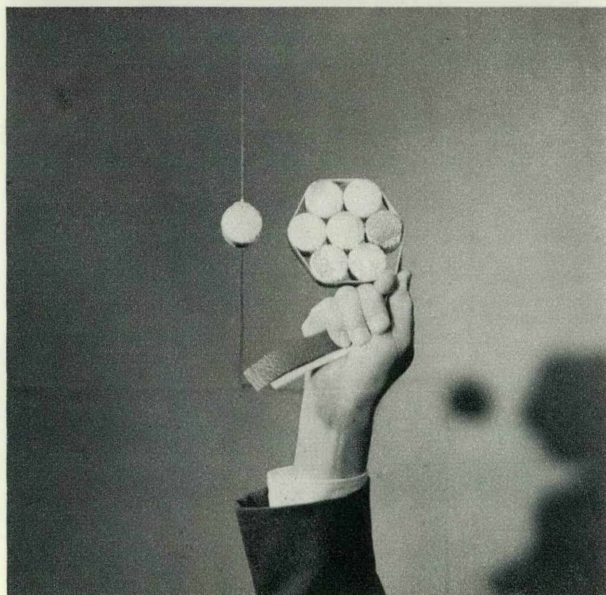




Modeller som användas i Atomariet för att illustrera atomkärnornas uppbyggnad. Överst: Två korta magnetcylindrar, båda med nordpolen riktad framåt. Magneterna stöta bort varandra i likhet med vad de positivt laddade protonerna göra.

I mitten: Alfapartikeln, kärnan hos helium 4, består av två protoner och två neutroner. Modellen ger en antydning om alfapartikelns stabila byggnad. Helium 3 och helium 4 äro isotoper med samma kärnladdning men med olika masstal.

Nederst: Två repellerande magneter sammanbindas genom en mjukjärnsbit, som inte har någon egen bindkraft — en modell av kärnan hos helium 3, vilken består av två protoner och en neutron.



Kraftverkningar mellan en fri proton och en atomkärna. Kärnan tillhör här litium 7. Den består av tre protoner och fyra neutroner. Bortom ett visst kärnavstånd repelleras protonen, men nära intill kärnan uppträder en attraktion. Kärnan omgives av en potentialbarriär, innanför vilken de intensiva kärnkrafterna råda. Modellen som består av dels magnetiska dels omagnetiska järncylindrar illustrerar dessa egenskaper.

och regelbundet mönster med omväxlande ljusa och mörka partier. Den direkta inblick i materiens inre som på detta enkla sätt bjudes är högst märklig. Experimentet kan emellertid drivas längre. Från en särskild glödelektrod förångas en ringa mängd av metallen barium. De bariumatomer som råka slå ned på spetsen framträda inom apparatens bildfält såsom små lysande prickar, företrädesvis grupperade kring vissa bestämda partier av bildmönstret. Uppvärmes nu spetsen — vilket kan ske på elektrisk väg — iakttages värmerörelsen direkt såsom en tilltagande oro hos de enskilda bariumatomerna. Stegras temperaturen tillräckligt, förångas beläggningen på spetsen, de lysande punkterna glesna alltmera, och slutligen framträder åter volframgittret i sin ursprungliga rena form. Det är utomordentligt intressant att i detalj kunna följa ett förlopp sådant som detta.

Såväl atomerna själva som de system som byggs upp därav — molekyler eller kristallgitter — kunna upptaga eller avgiva energi. Förloppen ske alltid plötsligt och språngvis. Liksom själva materien visar även energien diskontinuerlig karaktär. När vi se det hela i stort — och ytligt — kunna dessa diskontinuiteter dock ej iakttagas. De nämnda förhållandena spela emellertid en avgörande roll vid alla såväl fysiska som kemiska förlopp.

Några av elektronhöljernas energiförhållanden kunna ganska påtagligt demonstreras med hjälp av fosforescerande lysfärger, vilka ha en särskild förmåga att upptaga och magasinera ljusenergi. När materialet belyses, upptaga en del av elektronerna energi, och de sägas därvid övergå till högre energinivåer. När de återgå till lägre nivåer, utsändes ljus. De högre nivåerna ha här karaktären av magasinsnivåer, där elektronerna ha viss benägenhet att dröja kvar. Värmerörelsen inom materialet ger emellertid då och då impulser som leda till återgång under utsändande av fosforescensljus. Vid stark avkylning minskas värmerörelsen, tillståndet blir mera stabilt och ljuset dör bort. Energin konserveras i »djupfrost» form. Uppvärmning eller bestrålning med infrarött ljus ger motsatt effekt. Ljusstyrkan ökar tillfälligt, men den avtager snabbt genom den ökade förbrukningen av upplagrad energi.

I Atomariet göras försöken direkt på ytan av en större lysskärm, där de framträda på ett effektfullt sätt. Skärmen »laddas» med ljus från en kraftig projektlampa försedd med bländskydd. Ytan kan kylas ned med ett stycke kolsyreis och för uppvärmning användes en vanlig elektrisk värmestrålar. Några enkla modeller som var och en kan hantera eller själv tillverka ge en föreställning om det inre energi-

Lysskärm.

förloppet. Många av atomfysikens abstrakta begrepp få genom dessa enkla försök en levande innebörd.

Ett särskilt roande inslag är den »atomporträttering» av åskådarna som lätt göres på lysskärmen. Efter några sekunders belysning framträder den avbildades silhuett såsom en kvarvarande skugga i naturlig storlek. Text och figurer ritas på skärmen i lysande skrift med en särskild liten skrivlampa, och det hela kan snabbt åter tagas bort, om den större lampan användes som »tavelsudd». En »svart» tavla av detta slag är en värdefull tillgång vid experiment i skymning eller i mörker.

Utom ljuset ha även andra praktiskt viktiga energiformer sitt ursprung inom atomernas elektronhöljen. Vi kunna nämna den kemiska energin, vilken bl. a. kan tillgodogöras såsom förbränningsenergi, samt elektriciteten. Storleken av de energimängder det här är fråga om kan belysas därav, att den värmemängd, som utvecklas vid förbränning av ett kilogram av något av våra högvärdiga bränslen ungefärligen motsvarar tio kilowattimmar, mätt såsom elektrisk energi.

Atomkärnan.

Sedan vi nu stiftat någon bekantskap med atomens yttre, låta vi tanken glida vidare — allt djupare in emot materiens innersta. Vi stanna inför atomkärnan, den lilla centrala del av atomen, som innehåller huvuddelen av massan samt även i övrigt bär många av atomens viktigaste egenskaper. Kärnans diameter beräknas till blott mellan tiotusendelen och hundratusendelen av atomens yttre, och dess täthet måste följaktligen vara oerhörd. Om det vore möjligt att med den kompakta massa, som bildar det lätta vätets atomkärna, protonen, tätt fylla volymen av en liten kub med en millimeters kantlängd, så skulle vikten bli drygt tvåhundrausen ton! Vi ha kanske svårt att föreställa oss vad detta innebär, men siffran må på sitt sätt belysa de ytterst säregna förhållanden som råda inom atomkärnan.

Liksom atomens yttre anses även kärnan ha ett slags skalstruktur, och även här sker upptagande eller avgivande av energi såsom plötsliga språng. De vid kärnomvandlingar omsatta energimängderna kunna emellertid vara miljontals gånger större eller ännu mera än dem vi möta inom atomens yttre delar. När kärnan avger någon del av sitt väldiga energiinnehåll, så sker detta på bekostnad av massan, som minskas i motsvarande grad. Einsteins kända ekvation¹ rörande sambandet mellan massa och energi kan med ord uttryckas så, att när ett

¹) $E=mc^2$, där E är energien, mätt i den fysikaliska enheten erg ($1 \text{ erg} = 2,78 \cdot 10^{-14}$ kilowattimmar), m är massan, mätt i gram, och c ljushastigheten, $3 \cdot 10^{10}$ cm per sekund.

gram materia — av vilket slag som helst — helt omvandlas till energi, så uppgår denna till omkring 25 miljoner kilowattimmar. Lagen är helt allmängiltig, men vid de energiförlopp, vi vanligtvis möta inom materiens yttre är massförändringen omärkligt liten.

Fysiken har under de senaste årtiondena gjort utomordentliga framsteg i fråga om utforskandet av atomkärnans byggnad och egenskaper. Tolkandet av de experimentella resultaten har med matematikens hjälp lett fram till en helt ny naturvetenskaplig föreställningsvärld med begrepp som sträcka sig långt utanför dem våra vanliga ytligare erfarenheter av tingen ger oss. Atomariet ser som sin uppgift att söka finna framföringsformer som med nödvändig förenkling dock ge något väsentligt ur allt detta. Från enkla och lättfattliga utgångspunkter ledes resonemanget fram till åskådliga bilder och modeller, vilka belysa de nyare begreppen. Liknelser bli dock aldrig helt täckande, och de kunna om de drivas alltför långt leda till rena motsägelser. Detta är svårigheter, som även den enligt stränga principer arbetande vetenskapen har att kämpa emot, och det här använda bildspråket kan kanske trots sina ofullkomligheter vara en hjälp på vägen in i kärnfysikens tankevärld.

Atomkärnorna tänkas uppbyggda av huvudsakligen två slags elementarpartiklar — *protonen* och *neutronen*. Den förra är den positivt laddade kärnan i vanligt lätt väte, och den senare en partikel av liknande beskaffenhet men utan laddning. Enligt kända lagar sträva de positiva partiklarna att stöta bort — repellera — varandra, men det hela hålles samman av särskilda oerhört intensiva kärnkrafter, vilka emellertid ha mycket litet verkningsområde.

Såsom redan nämnts, kännetecknas varje grundämne av ett bestämt antal positiva kärnladdningar. Ordnas nu ämnena i följd efter stigande atomvikt och med väte, det lättaste grundämnet, i början, så anger ordningstalet direkt antalet kärnladdningar, d. v. s. antalet protoner i kärnan. Neutroninnehållet kan hos ett och samma grundämne variera inom vissa gränser. Masstalet — sammanlagda antalet partiklar i kärnan — kan sålunda vara olika. Ämnet har olika *isotoper*. De kemiska atomvikterna utgöra ett slags medelvärden som bero på isotopernas inbördes mängdförhållanden, vilka i allmänhet äro ganska konstanta.

I våra modeller låta vi nu protonerna motsvaras av korta cylindriska magneter och neutronerna av liknande stycken av omagnetiserat mjukjärn. Hos magneterna utgöras polerna av de plana ändytorna. Hållas nu två magneter sida vid sida och med samma polriktning, stö-

**Protoner och
neutroner.**

ta de bort varandra i likhet med vad de positivt laddade protonerna göra. Mjukjärnstyckena visa i sig själva inga inbördes avståndsverkningar, men de attraheras av magneterna, och de kunna även förmedla bindning mellan två eller flera varandra repellerande magnetstycken. Sammanhållningen gör sig gällande först när modellbitarna kommit varandra tämligen nära, och vi finna här åtskilliga likheter med de krafter som råda inom atomkärnan.

Väte har utom den i naturen rikligast företrädde lätta formen ytterligare två isotoper, deuterium och tritium. Låta vi protonen, den lättaste vätekärnan, representeras av en magnet, så motsvaras deuteriumkärnan, deutronen, av en magnet och en mjukjärnsbit och tritiumkärnan av en magnet och två mjukjärnsbitar. Nästa grundämne i serien, helium, har fyra kända isotoper med masstal från tre och till sex. Kärnan hos den lättaste av dessa, helium 3, representeras av två magneter och en mjukjärnsbit. Kärnan hos isotopen helium 4 innehåller två protoner och två neutroner, och den är kanske mest känd under benämningen *alfapartikel*. Den utmärker sig genom en särskilt framträdande stabilitet i uppbyggnaden, vilket kanske även partikelgrupperingen i modellen kan ge en antydning om. När större kärnor falla sönder, händer det ej sällan att delar av dem slungas ut i form av alfapartiklar.

Vi kunna nu bygga vidare och steg för steg framställa allt större och tyngre kärnmodeller med varierande grad av inre sammanhållningsförmåga. Jämförelsen med verkliga kärnfysikaliska förhållanden blir visserligen mycket fri — vi röra oss ju bland annat här blott med plana modeller, medan vi inom atomkärnorna måste tänka oss rymdgrupperingar — men vi kunna ändå lätt spåra några av de allmänna lagarna för kärnornas uppbyggnad och stabilitet.

Den elektriska repulsionen begränsar kärnans protonhalt. Å andra sidan nedsättes bindningsförmågan även av alltför hög halt av neutroner. Dessa omständigheter bestämma de gränser inom vilka kärnsammansättningen kan variera.

En av våra bilder visar en grafisk sammanställning omfattande flertalet av de för närvarande kända olika slagen av atomkärnor — från väte till californium — sammanlagt omkring ett tusental. Neutrontalet anges i vågrät och protonantalet i lodrät riktning. Kärnorna gruppera sig efter stigande masstal i en långsträckt svärm, som sträcker sig snett uppåt. I början äro proton- och neutronhalterna nära lika, och punktswärmens mittlinje bildar omkring 45° vinkel med axlarna.

Atomernas
vintergata.

Längre upp överväger neutronantalet, och lutningen är mindre. Varje horisontalrad omfattar isotoper av ett och samma grundämne, och den kemiska beteckningen är utsatt till vänster därom.

De stabila kärnorna, vilka bygga upp huvuddelen av den materia vi i praktiska livet ha att göra med, angivas med helt fyllda vita prickar. I naturen förekomma även åtskilliga slags instabila kärnor, å schemat utmärkta med kors. Dessa kärnor tillhöra de naturligt *radioaktiva* ämnena, vilka kännetecknas av ett i mer eller mindre snabb följd pågående ständigt kärnsönderfall. Varje individuellt sönderfallsförlopp sker plötsligt och utan någon iakttagbar regelbundenhet. Här råder den i grunden underbara lag, som vi kalla slumpens. Sett i stort framträder emellertid förloppet med utomordentlig jämnhet och precision, och det kan iakttagas och mätas genom de yttre verkningarna: strålningen och de utslungade kärnfragmenten.

Här framträder ett mycket intressant förhållande: den konstanta halveringstiden. En enkel bild kan kanske klarlägga vad detta innebär. Vi tänka oss en rak vattenbehållare med bottenavlopp så ordnat, att uttrinningshastigheten alltid är proportionellt mot vattenhöjden i kärlet och därmed också mot den inrymda vattenmängden. Vi kunna nu lätt mäta den tid som går åt för att halva vattenvolymen skall rinna ut. Fortsätta vi, så se vi att efter ytterligare lika lång tid en fjärdedel av den ursprungliga mängden är kvar. Mäta vi vidare på samma sätt, så finna vi varje gång en halvering av den vid föregående avläsning kvarvarande mängden. Vattenflödet sinar långsamt ut på ett sätt som motsvarar radioaktivitetens avtagande. I naturen finna vi ämnen med mycket olika halveringstider. Hos de mest långlivade kan det röra sig om miljarder år eller mera, och dessa ämnen te sig sålunda ganska stabila.

På vårt schema finna vi enstaka naturligt radioaktiva kärnor bland de lättare och medeltunga grundämnena. Högre upp minskar stabiliteten, och från och med masstalet 210 finna vi endast radioaktiva kärnor. Man kan sluta sig till, att det bör finnas en viss storleksgräns, ovan vilken kärnor överhuvud taget ej kunna existera, i varje fall inte under så lång tid, att de kunna påvisas.

Ända till för ett eller annat årtionde sedan var uran, grundämnet nummer 92, det tyngsta man kände. Numera har man med konst framställt tyngre radioaktiva kärnor, de s.k. *transuranerna*, ända upp till nummer 98 californium. Man anser sig ännu ha åtskilliga steg kvar innan slutgränsen är nådd, och intresset knytes för närvarande särskilt

Halveringstid.

Transuraner.

till det väntade hundra grundämnet. I sammanhanget kan nämnas, att sedan man med konst framställt grundämnet nummer 94, plutonium, så har man även funnit det i små mängder i naturligt pechbländemineral.

Det är den moderna kärnfysikens och kärnkemiens raffinerade hjälpmedel — partikelacceleratorer och atomreaktorer — samt en förfinad analytisk teknik, som möjliggjort framställningen av transurerna. På liknande väg har man även med konst framställt radioaktiva isotoper av alla övriga grundämnena. Många av dessa äro ganska kortlivade. Man finner halveringstider från de minsta mätbara bråkdelar av sekunder upp till minuter, dagar eller år. I åtskilliga fall rör det sig dock om långa tider, upp till miljontals år eller mera.

Vi kunna genom hela punktsvärmen på vårt schema draga en medellinje, kring vilken de stabila kärnorna ordna sig som ett intressant sick-sackmönster med de instabila kärnorna däromkring. Grupperingen röjer åtskilligt om kärnornas inre byggnad. Här och var förekomma ganska markerade anhopningar av stabila kärnor. Så är t.ex. fallet kring de linjer, som ange proton- eller neutrontalen 20, 28, 50, 82 och 126, de s.k. »magiska talen», vilka sättas i direkt samband med kärnans skalstruktur.

Kärnmodell.

Ännu några viktiga egenskaper hos atomkärnan kunna belysas genom experiment med våra magneter och järnbitar. Vi hänga upp en av magneterna på sådant sätt, att den kan pendla åt sidan, men ej ändra polriktning. Vi bygga dessutom upp en kärngrupp, motsvarande exempelvis litiumisotopen 7, vilken innehåller tre protoner och fyra neutroner. Liksom tidigare låta vi alla magneterna ha samma polriktning. Närma vi nu kärnmodellen till den fria partikeln, finna vi att denna väjer undan. — En fri proton stötes bort av den positivt laddade kärnan. Inom ett visst kort avstånd från kärnan är emellertid kraftverkan omvänd. Partikeln attraheras. — Motsvarande förhållande framträder tydligt även vid vårt modellförsök, och det sammanhänger här med en viss ompolarisation av partiklarna.

Som ett tankeexperiment kunna vi föreställa oss förloppet när en atomkärna bygges upp av sina beståndsdelar. Ett betydande arbete måste nedläggas för att mot de repellerande elektriska fältkrafterna föra samman de protoner som ingå i kärnan. Inom kärnkrafternas verkningsområde äro förhållandena omvända, och här frigöres åter energi vid sammanbindningens fullbordande. Det sålunda frigjorda arbetet är större än den arbetsinsats som gjorts under förloppets första

del, och överskottet benämnes kärnans *bindningsenergi*. Då energien här tages direkt ur massan, medför den avgivna energien en *massdefekt*, som vid de medeltunga kärnorna uppgår till omkring 0,9 %.

Med tillämpande av klassiska elektrostatiske lagar har man beskrivit de nämnda förhållandena i kärnans närhet så, att kärnan omgives av en *potentialbarriär*, vilken en mot kärnan slungad positivt laddad partikel måste övervinna för att tränga in i kärnan. En enkel geometrisk bild kan åskådliggöra detta. Den framrusande partikeln far under uppoffrande av rörelseenergi upp för en »backe» med tilltagande branthet för att därpå, när krönet nåtts, plötsligt och under stor energiutveckling störta in emot kärnan, till en nivå som ligger betydligt lägre än den, från vilken partikeln började sin rörelse. Bindningsenergien här rör från denna sistnämnda nivåskillnad.

Nu visa emellertid experimentella resultat att partikeln kan tränga in i kärnan redan vid betydligt lägre energier än vad som motsvarar fulla barriärhöjden. Man har infört begreppet *tunneleffekt* och beskriver förloppet så, att partikeln tränger in i kärnan genom en *potentialtunnel*. Detta jämte andra fenomen beskrives fullständigare under antagande av att de partiklar vi här röra oss med ha *vågnatur*. Vi kunna ej gå närmare in på denna sak, men det bör nämnas, att vi i detta sammanhang påträffa *resonansfenomen*. En partikel med låg energi som träffar kärnan under resonansbetingelser kan ha större verkan än en partikel med högre energi.

De nu nämnda förhållandena äro av grundläggande betydelse inom kärnfysiken och på dem beror också möjligheten att med konst genomföra kärnomvandlingar och framställa nya isotoper.

De magnetiska kärnmodeller vi hittills sett kunna kanske uppfattas som ett slags »ögonblicksbilder». De ge ej någon uppfattning om de ständiga växlingarna och energiutbytena inom atomkärnan. En mera levande bild av detta spel kunna vi få genom rörliga modeller (2). För Atomariet har en sådan modell byggts. Kärnan representeras av ett antal magneter, burna av stålfjädrar, vilka äro fästa på en bottenplatta. Omedelbart ovan dessa magneters poler är en »fri» magnet upphängd i en något mera än meterlång pendel, så att den kan röra sig inom kärnmodellens kraftfält utan att direkt beröra de övriga magneterna. Polriktningarna äro sådana, att samtliga magneter repellerar varandra. De sammanhållande kärnkrafterna representeras av stålfjädrarna. Alla magneterna äro försedda med små elektriska lampor, vilka genom en enkel lins projiceras såsom lysande punkter på en skärm i

taket. Det variationsrika partikelspel som framträder sedan pendeln satts i rörelse erbjuder en ganska fascinerande anblick och många atomkärnprocesser kunna här på ett slående sätt efterliknas.

Om den fria partikeln snabbt får passera kärnan, så hinna den under den korta genomloppstiden ej framkalla stor verkan. En långsamare partikel kan ge resonans. Kärnpartiklarna väja undan, och barriären öppnar sig. Kärnan *exciteras*, dvs. den övergår i ett energirikt tillstånd. Dess partiklar komma i livlig rörelse under ständiga inbördes energiutbyten.

Den fria partikeln kan eventuellt infångas under överlåtande av hela sin energi åt kärnan. Modellen avger därvid överskottsenergien huvudsakligen därigenom att den sätter omgivande luft i rörelse. Den kärnfysikaliska motsvarigheten är partikelinfångning under utsändande av gammastrålning, hård genomträngande strålning, liknande röntgenstrålningen. En ny stabil kärna bildas, en enhet större än den ursprungliga kärnan.

Modellen kan också visa huru den exciterade radioaktiva kärnan efter en stunds intressanta inre variationer lungar ut den inneslutna partikeln. En radioaktiv isotop faller sönder!

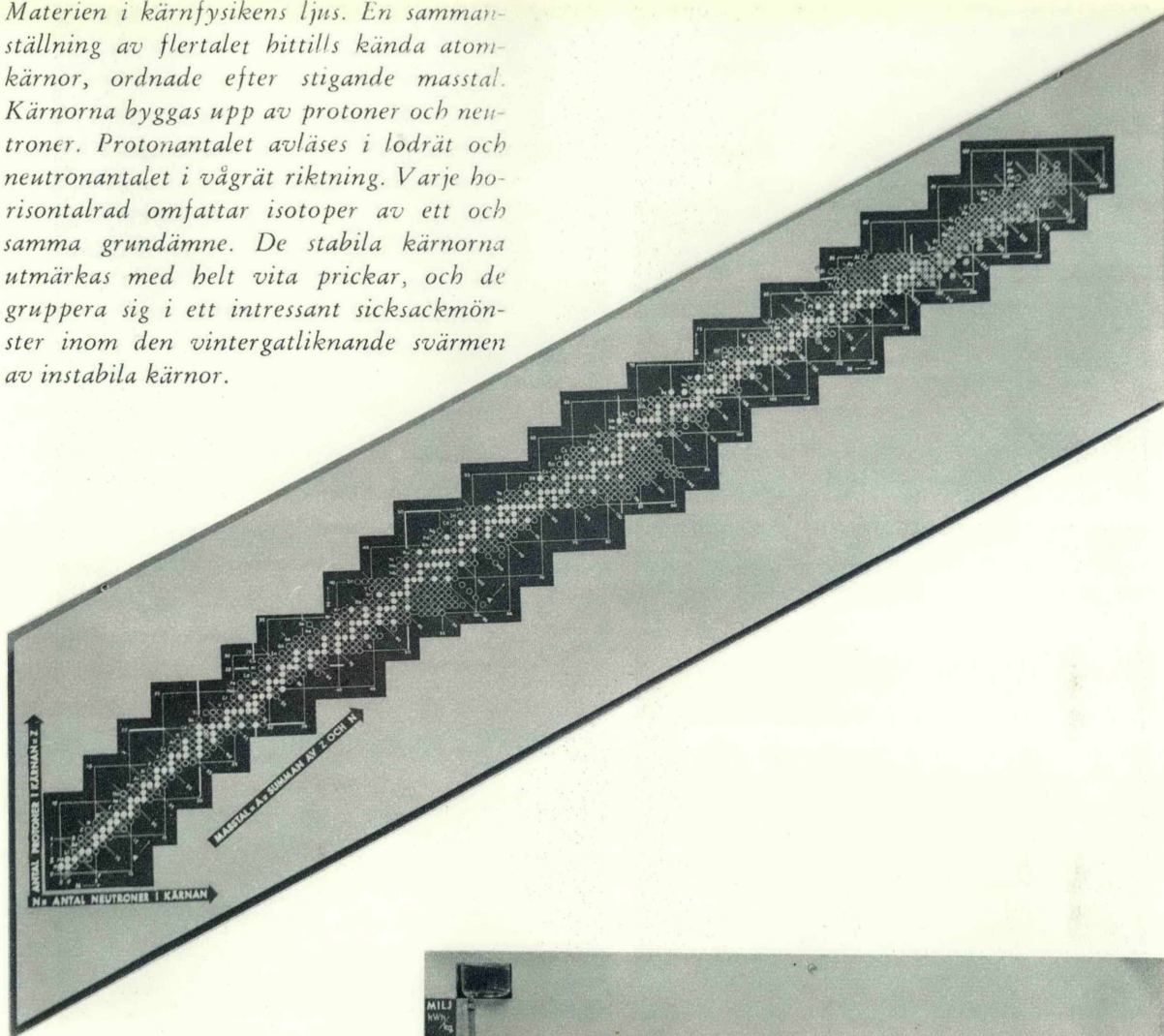
Många av de förlopp vi här se utspelas under några sekunder motsvara kärnprocesser som inträffa under oerhört korta tidrymder — miljondels, biljondels eller kanske triljondels sekunder. Vi se det hela såsom genom ett »tidsförstoringsglas». En av modellens brister ligger däri, att den kan antaga godtyckliga energitillstånd, vilka kontinuerligt dämpas, medan atomkärnan är bunden till vissa bestämda tillstånd, vilka språngvis ändras. Trots detta kan den enkla apparaten ge en viss åskådlighet åt atomkärnans svårtillgängliga värld, och den förmedlar på ett lättfattligt sätt bekantskap med åtskilliga av kärnfysikens begrepp.

Det är väl intressant att tillägga, att modellen — möjligen med undantag för belysnings- och projektionsanordningen — är utförd med så enkla medel, att den väl lämpar sig som skolpojksarbete. Stålfjädrarna bestå av strumpstickor som stuckits in i en träplatta, och den pendlande magneten bäres av en metalltrådbygel, som hänger i ett snöre.

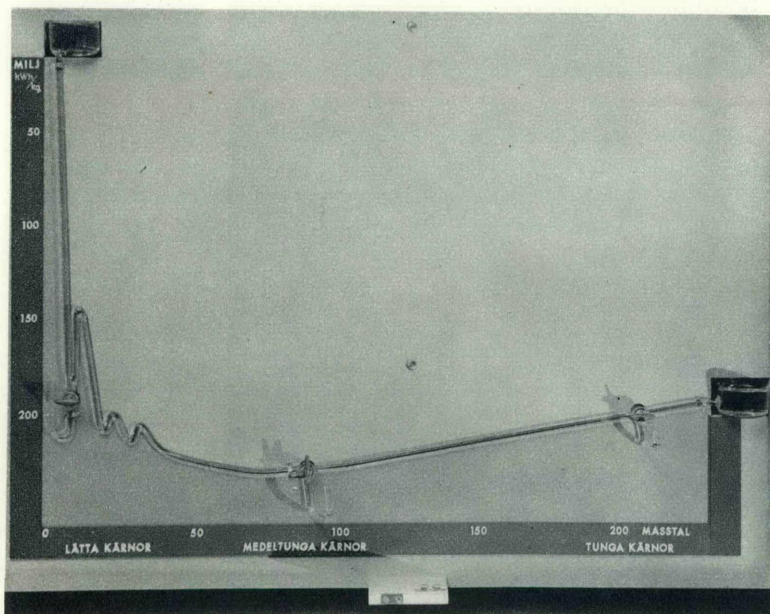
Cyklotron.

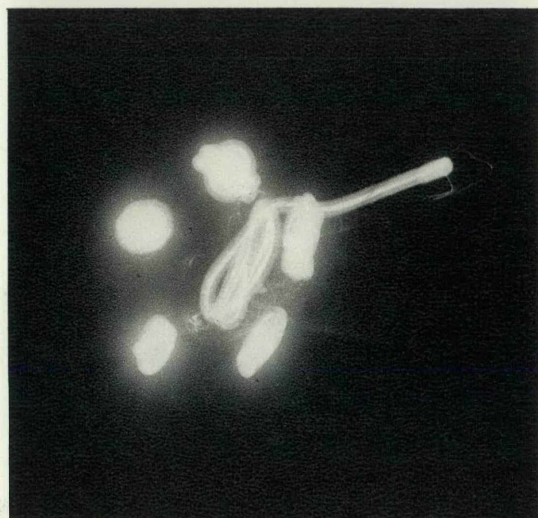
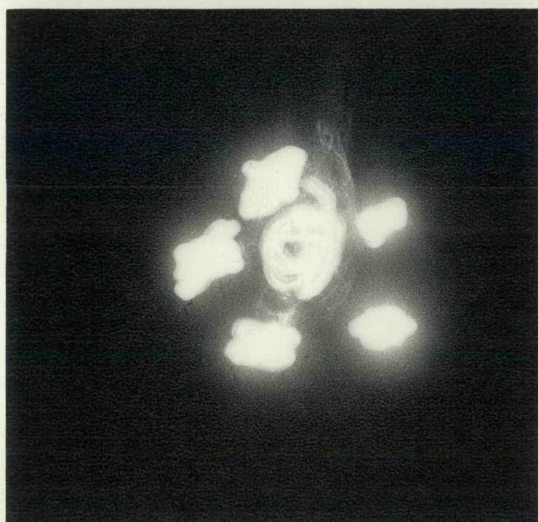
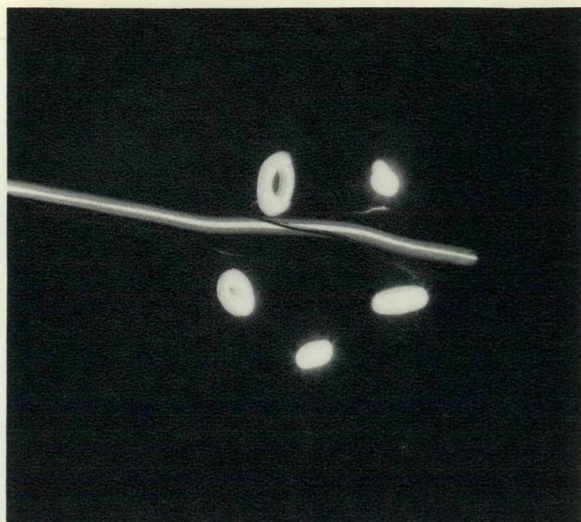
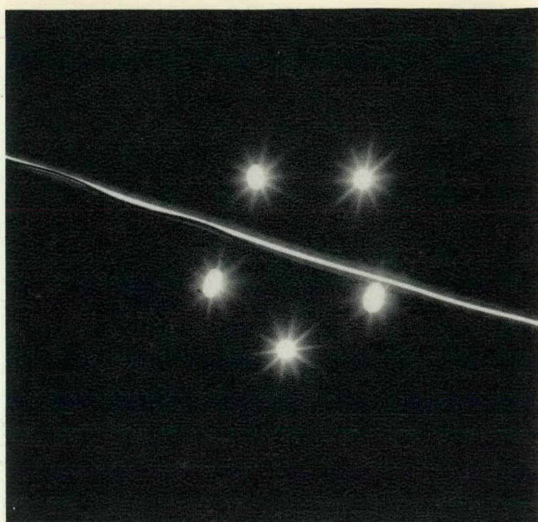
Kärnomvandlingar kunna framkallas genom bombardemang av materia med laddade partiklar av olika slag. Med hjälp av starka elektriska fält accelereras partiklarna till höga hastigheter. I cyklotroner och andra anordningar för multipel acceleration genomlöpes

Materien i kärnfysikens ljus. En sammanställning av flertalet hittills kända atomkärnor, ordnade efter stigande masstal. Kärnorna byggs upp av protoner och neutroner. Protonantalet avläses i lodrät och neutronantalet i vågrät riktning. Varje horisontalrad omfattar isotoper av ett och samma grundämne. De stabila kärnorna utmärkas med helt vita prickar, och de gruppera sig i ett intressant sicksackmönster inom den vintergatliknande svärmen av instabila kärnor.

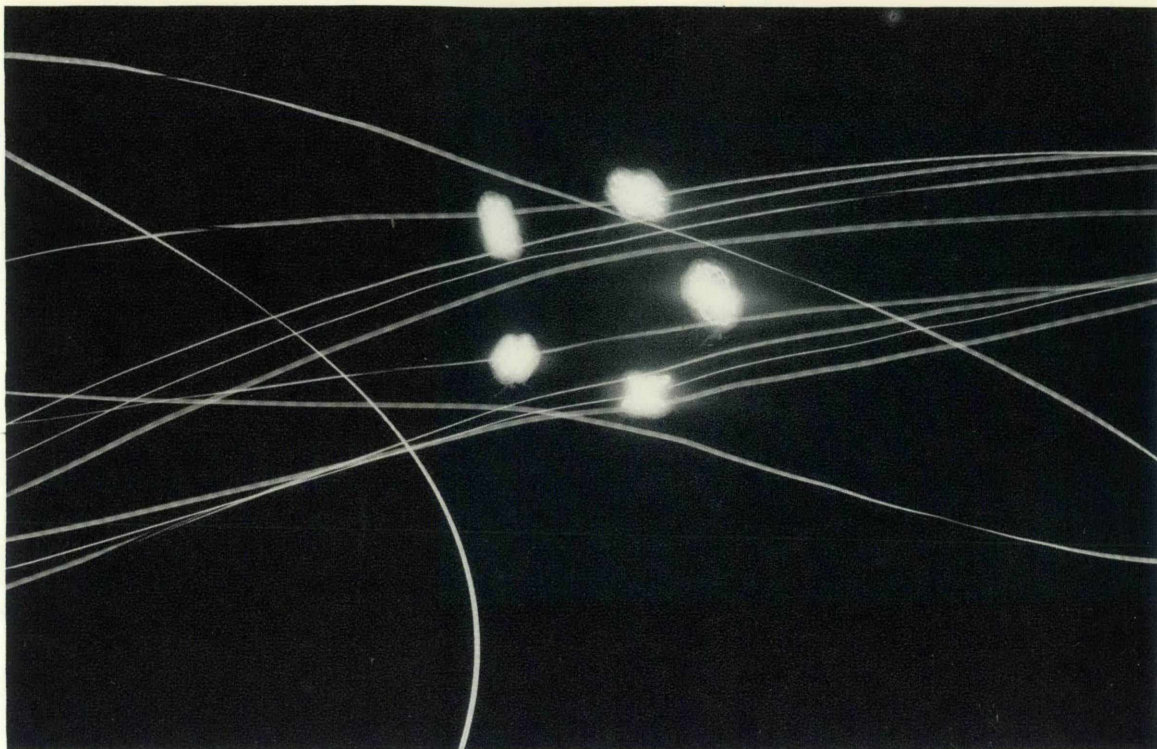


Atomkärnornas bindningsenergi — atomenergiens ursprung. Ett »levande» diagram, format av ett vattenfyllt glaströr och sträckande sig från väte till uran. Vid rörändarna finnas vattenbehållare, och på några ställen av röret kan vatten tappas ut med olika fallhöjd, illustrerande den energi, som frigöres vid ett antal olika kärnprocesser, såsom naturlig radioaktivitet, urankärnans klyvning och heliumbildning i solen.

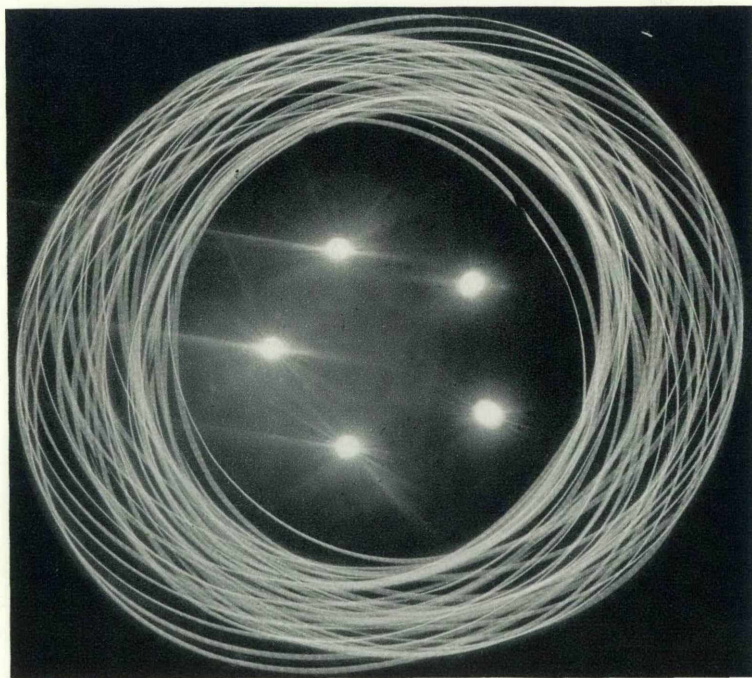




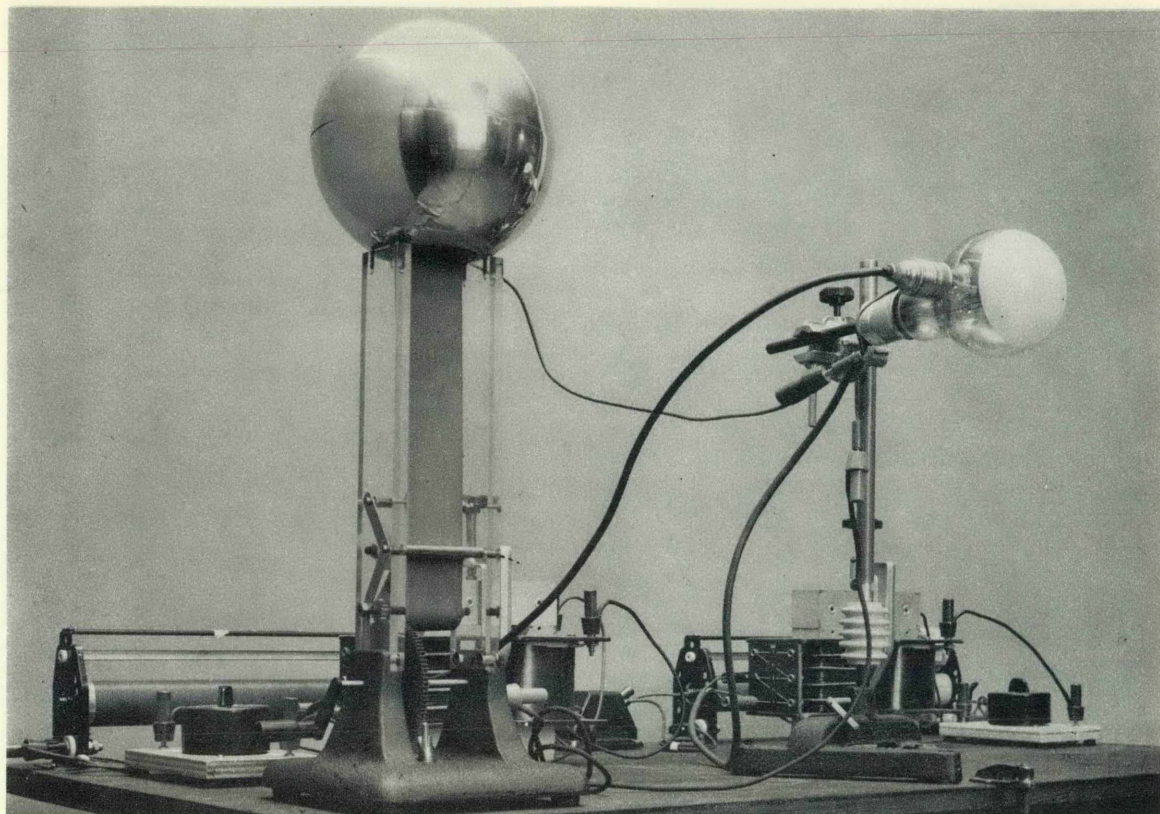
Några atomkärnans egenskaper åskådliggjorda med museets »atomprojektor». Från vänster till höger: 1. En snabb partikel kan passera kärnan utan större verkan. 2. En långsammare partikel kan ge resonansverkan. Kärnan exciteras. 3—4. Partikeln infångas av kärnan, som avger överskottsenergien utåt i form av gammastrålning. Vid modellen avges energien såsom rörelse hos omgivande luft. 5. En radioaktiv energirik kärna slungar ut en partikel.



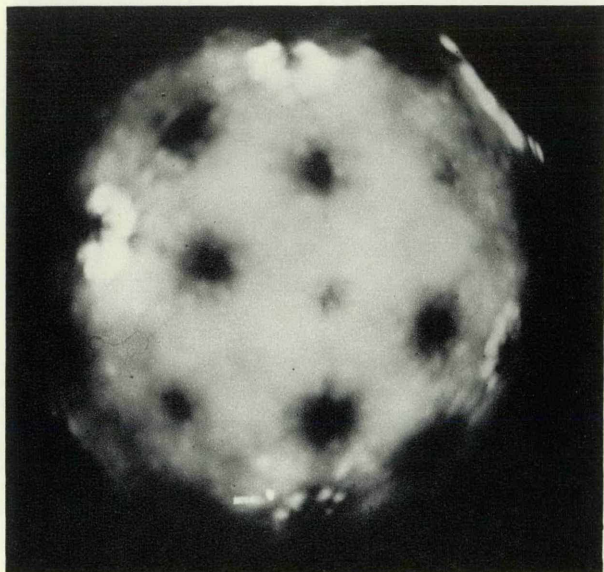
6. En partikelgrupp föreställande en atomkärna bombarderas av en ström av fria partiklar. Några av partikelbanorna böjas av.



7. Kärnan omges av en potentialbarriär. Här glider en pendlande partikel utmed kärnmodellens magnetiska barriär.



Fältelektronmikroskop enligt Müller från Leybolds i Köln, skänkt till Tekniska Museet av Svenska Jästfabriks AB, Ingeniör Anders Diös, Uppsala, och Bergman & Beving AB. Till vänster bandgenerator, till höger bildrör innehållande en ytterst fin spets av volfram (en enhetlig kristall). Röret innehåller även anordning för spetsens beläggning med ett tunt bariumskikt.



I museets fältelektronmikroskop återges anhopningar av bariumatomer som små, regelbundet grupperade ljusa fläckar med en utbredning motsvarande en förstoring av omkring två miljoner gånger. Bariumskiktet ligger på ytan av en volframkristall, vars inre struktur bildar bakgrundsmönstret.

fältet ett stort antal gånger, och hastigheter närmande sig ljusets kunna därvid uppnås. Partikelströmmen får såsom en stråle träffa det preparat man vill behandla. På detta sätt kunna såväl stabila som radioaktiva nya isotoper framställas i små mängder. Det uppnådda resultatet är starkt beroende av sannolikheten för verksamma kärnträffar.

De oladdade neutronerna kunna ej accelereras i elektriska fält, men de frigöras sekundärt vid många olika kärnreaktioner — ofta med stor energi — och de ha i sin tur utomordentlig förmåga att framkalla nya omvandlingar. Frånvaron av laddning medför att neutronerna lätt passera genom all slags materia utan att hejdas av de elektriska kraftfält som råda därinom. De kunna likaså — även med helt obetydlig energi — passera genom atomkärnornas potentialbarriär. Å andra sidan kunna de emellertid också gent emot atomkärnorna visa verkningar som äro ganska lika protonernas. De kunna sålunda ge kärnstötter, framkalla resonansverknings, och de kunna under stor energiutveckling »falla» in i kärnan.

Vissa kärntyper, såsom exempelvis den hos uranisotopen 235 , råka efter neutronabsorption i ett mycket energirikt och labilt tillstånd, och detta har till följd att kärnan klyves i två nära lika stora delar, vilka slungas ut med våldsam energi under samtidigt frigörande av överskottsneutroner.

Här har vägen öppnats för utvinning av atomenergi, eller rättare sagt atomkärnenergi. Atomreaktorernas arbetsprincip bygger därpå att de vid kärnklyvning frigjorda neutronerna utnyttjas för klyvning av nya kärnor. Processen kommer på detta sätt att löpa vidare såsom en *kedjereaktion*. Man kan här tala om neutronekonomi, och avgörande för resultatet äro de anordningar som vidtagas för neutronflödets fulla utnyttjande. Särskilda säkerhets- och regleringsanordningar sörja för att reaktionsintensiteten hålles inom önskade gränser. Framställning av radioaktiva och andra nya isotoper sker här i teknisk skala helt enkelt på det sättet, att de behandlade preparaten, inneslutna i lämpliga kapslar, direkt införas i neutronflödet. Man arbetar nu på att förbättra reaktorernas verkningsätt och ekonomi samt på att tillvarataga de väldiga värmemängder som där frigöras och omvandla dem i tekniskt användbara energiformer. När kärnorna i ett kilogram uran 235 klyvas, utvecklas en energimängd, motsvarande omkring 23 miljoner kilowattimmar.

Vid mycket hög temperatur — tiotals miljoner grader eller mera — har atomernas värmerörelse nått sådan intensitet, att den direkt kan

Atomenergi.

framkalla kärnomvandlingar, *termonukleära* processer. Dylika spela stor roll vid stjärnornas utveckling, och de utgöra viktiga led i de gigantiska kosmiska skeenden under vilken vår materia danats. Solen, vars strålning är ett grundläggande villkor för all livsverksamhet här på jorden, anses hämta energi ur en serie termonukleära reaktioner under vilka kärnan i heliumisotopen 4, alfapartikeln, bygges upp ur väte.

Bindningsenergien, den energi som frigöres när en atomkärna bygges upp av de ingående elementarpartiklarna, spelar en grundläggande roll vid alla kärnprocesser. Energiutvecklingen vid ett kärnomvandlingsförlopp kan beräknas såsom skillnaden mellan de bildade och de ursprungliga kärnornas bindningsenergier. Detta söker Atomariet — med tillåtliga approximationer — åskådliggöra med hjälp av den inom kärnfysiken välkända bindningsenergikurvan i originell framställningsform. I vågrät riktning tänka vi oss de olika atomkärnorna — i detta fall från väte och till uran — ordnade efter stigande masstal. Den lodräta axeln anger i »fallande» riktning bindningsenergien, beräknad i miljontal kilowattimmar per kilogram substans. Själva kurvan utgöres av ett vattenfyllt glaströr, matat från behållare vid ändpunkterna. På några ställen finnas kranar, där vatten kan tappas ut vid olika fallhöjder, representerande energiutvecklingen vid några olika kärnförlopp, såsom vid naturligt radioaktivt sönderfall, vid urankärnans klyvning samt vid bildningen av helium ur väte i solen.

I naturen möta vi kärnomvandlingar i ännu en form — den kosmiska strålningen. Från rymden utanför jordatmosfären kommer en ständig ström av oerhört energirika partiklar — protoner eller andra atomkärnor. När dessa löpa in i atmosfären, utlösa de explosionsartade kärnomvandlingar, vilka i sin tur ge sekundära verkningar i upprepad följd. På detta sätt kan en enda infallande partikel framkalla en hel partikelskur. Vi möta här ett nytt partikelslag som vi ej förut omnämnt, de gåtfulla *mesonerna*, vilka anses spela en viktig roll vid atomkärnornas bindning. Den kosmiska strålningens huvudförlopp visas såsom en intressant teckning i självlysande färg, uppsatt på en av vägarna i Atomariet.

Spintariskop.

Atomarievisningarna bruka avslutas med demonstration av naturliga kärnomvandlingar, direkt synliggjorda medelst två av kärnfysikens klassiska instrument: spintariskopet och Wilsonkammaren, båda i nya och originella utföringsformer.

Spintariskopet har här utvecklats till en scintillationsskärn (3). En lysfärgsyta är täckt med ett lager av sammanpackade glaskulor, ver-

kande som ljussamlade linser. Det hela påminner något om de ljus-reflekterande material som bl.a. användas till trafikmärken. Skärmen är till konstruktionen inte märkvärdigare än att den lätt kan tillverkas av en händig person. Få nu alfapartiklar som slungas ut vid kärnsönderfallet i ett radioaktivt preparat bombardera lysfärgen, så kunna enskilda träffar direkt iakttas på skärmen såsom små ljusglimtar, scintillationer. Den förmåga till mörkerseende som observationen kräver bruka åskådarna förvärva efter en stunds vistelse i Atomariets dämpade belysning. Det ligger något suggestivt i den inblick som detta enkla försök ger i ett djupt liggande mikrokosmos.

Wilsonkammaren står inte spintariskopet efter som förmedlare av direkt kontakt med atomvärlden. Den här visade utföringsformen grundas på en av Langsdorf (4) angiven, kontinuerligt arbetande konstruktion. På en med tunt svart tyg klädd bottenplatta av plåt, underifrån kyld med ett stycke kolsyreis, står en glasklocka, upptill försedd med en sluten vattenbehållare, vilken på undersidan är klädd med ett poröst tygskikt, fuktat med en blandning av alkohol och vatten. Vattenbehållaren utgör ett slags värmereserv, som underlättar avdunstningen. Ångan utbreder sig långsamt nedåt mot den kalla bottenytan. Inom ett visst skikt invid denna inträder det tillstånd som benämnes övermättning. Den normala kondensationstemperaturen underskrides utan att någon utfällning sker.

Passera nu laddade atomfragment genom detta skikt, så utfällas små vätskedroppar i stora mängder längs partikelbanorna, varigenom dessa vid lämplig belysning framträda såsom skarpt markerade dimstreck. En elektrisk spänning som anlägges mellan apparatens övre och undre del förhindrar ovidkommande dimbildning. Man kan i denna apparat direkt se, huru även ett ytterst obetydligt radioaktivt preparat slungar ut partiklar i ständig följd. Någon enstaka gång visa partikelspår en tvär krök eller en förgrening. — En atomkärna i luften har träffats och kanske sprängts! Då och då iakttas även helt fristående partikelspår, härrörande från den kosmiska strålningen.

Intrycket av det underbara mikrokosmiska skådespel som här framträder på ett så gripbart sätt förtages knappast av den visade anordningens enkelhet. Det radioaktiva preparatet består av en tändsticka, i ena änden överpudrad med något tiotal milligram pulvriserat pechblände, det uranmineral, från vilket makarna Curie utgingo vid upptäckten av radium. Minalet innehåller något tiondels gram radium per ton. Radiumvärdet i vårt lilla preparat kan därför uppskattas till

Wilsonkammare.

ett eller annat hundraöres! Radium har en halveringstid av 1 620 år, och det nybildas ständigt ur sönderfallande uran. Preparatets livslängd bestämmes därför av uraninnehållet, vars halveringstid överstiger fyra miljarder år. Den lilla obetydliga svarta pulverfläcken, som varje sekund slungar ut ett icke så ringa antal partiklar, har sålunda efter denna ofantliga tidrymd förlorat endast hälften av sin aktivitet. Ännu finnes halva mängden av den sönderfallande substansen kvar — en överväldigande bild av atomernas litenhet och mångfald!

★

De senaste årtiondenas storslagna naturvetenskapliga och tekniska utveckling har nåtts genom ett framgångsrikt samspel mellan forskning och teknik. Ganska slående är ofta den snabbhet med vilken de vunna resultaten finna praktisk tillämpning. Samtidigt som den yttre bilden av detta skeende ter sig alltmera mångskiftande, märkes inom grundforskningen en tydligt framträdande strävan att nå enhetliga föreställningar om naturföreteelserna. Som ett uttryck för en sådan strävan vill Tekniska Museets Atomarium med medel av suggestiv enkelhet söka belysa några av de grunder, på vilka forskningen och tekniken ytterst bygga sina framgångar.

Några drag ur kärnvetenskapens utveckling.

- | | | | |
|-----------|--|-----------|--|
| 1896 | Becquerel upptäcker radioaktiviteten hos uran. | 1924—1927 | de Broglie, Heisenberg och Schrödinger införa nya begrepp inom den teoretiska fysiken: materievågor, kvantmekanik och vågmekanik. |
| 1898 | Makarna Curie upptäcka radium och polonium. | 1927 | Geiger och Müller introducera räkneröret. |
| 1900 | Planck grundlägger kvantteorien. | 1930—1931 | Lawrence och medarbetare konstruera den första cyklotronen. |
| 1905 | Einstein uppställer relativitetsteorien. | 1932 | Urey upptäcker den tunga väteisotopen. Cockcroft och Walton genomföra de första helt konstgjorda kärnomvandlingarna med i högspänningsfält accelererade partiklar. Chadwick upptäcker neutronen. |
| 1911 | Rutherford och medarbetare påvisa atomkärnans existens. Wilson utvecklar dimkammarmetoden. | 1933 | Anderson upptäcker den positiva elektronen, positronen. |
| 1912 | Hevesy introducerar de radioaktiva indikatorerna. | 1934 | Makarna Joliot (Irène Curie-Joliot och F. Joliot) upptäcka den konstgjorda radioaktiviteten. Heisenberg uppställer teorien att atomkärnorna äro sammansatta av protoner och neutroner. |
| 1909—1913 | Soddy, Thomson m.fl. utreda isotopien. Aston bygger mass-spektrografen. | | |
| 1913 | Bohr uppställer sin atommodell. | | |
| 1919 | Rutherford och Chadwick spränga kvävekärnor genom bombardemang med alfapartiklar. | | |
| 1924 | Ising anger principen för multipel partikelacceleration. | | |

- 1937 Yukawas förutsägelse av mesonernas existens bekräftas genom undersökningar över den kosmiska strålningen.
 - 1939 Hahn och Strassmann klarlägga urankärnans klyvning genom neutroner. Grundläggande arbeten tidigare utförda tillsammans med Meitner.
Den första svenska cyklotronen bygges vid Kungl. Vetenskapsakademiens Forskningsinstitut för Fysik på initiativ av M. Siegbahn.
 - 1940 Mc Millan och Abelson framställa den första transuranen, neptunium.
 - 1942 Fermi och medarbetare starta i Chicago den första atomreaktorn.
 - 1945 De första atombombsprängningarna. Den svenska atomkommittén tillsättes. Det svenska arbetet på kärnfysikens område hade redan tidigare grundlagts, främst genom insatser av M. Siegbahn.
 - 1947 AB Atomenergi startas för att möjliggöra ett rationellt svenskt arbete på utvinning av atomenergi.
 - 1950 Grundämnena berkelium och californium, de tyngsta hittills kända, framställas med konst av Seaborg och medarbetare.
-
1. *Staffansson, Eve*, Fältelektronmikroskopet. Elementa 35 (1952), s. 101.
 2. *Wilner, Torsten*, Försök med enkla atomkärnmodeller. Elementa 35 (1952), s. 245.
 3. *Wilner, Torsten*, Scintillationsskärm. Elementa 33 (1950), s. 239.
 4. *Kuehner, A. L.*, A Continuous Cloud Chamber. Journal of Chemical Education 1952, s. 511.
(En svensk beskrivning kommer i ett följande nummer av Elementa.)

Litteratur-
hänvisningar.

