

## Hvad bruges de store accelerators til?

Inde i det 27 km lange ringformede vacuumrør i den store accelerator sendes partikler rundt med så stor fart, at de foretager 11000 omløb pr. sekund. Der sendes partikler begge veje rundt.

Fire steder langs ringen er der placeret måleudstyr, som kan registrere de partikel-sammenstød, der sker. Måleudstyret er kæmpestort og er placeret i 30 meter høje underjordiske grotter.

## CERN i dag

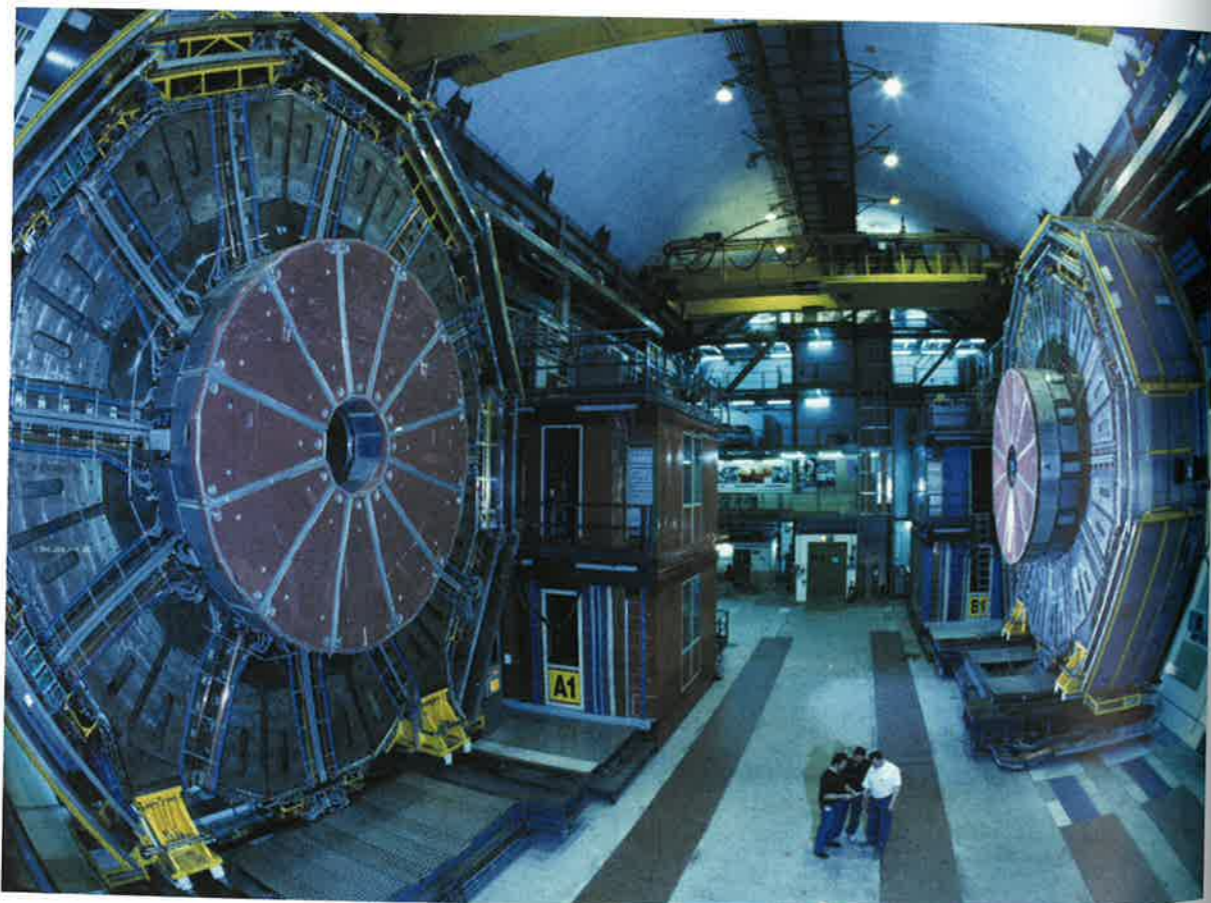
I dag finansieres CERN af 19 medlemslande. Her arbejder omkring 7000 forskere – både fra medlemslandene og fra andre lan-

de. CERN's årlige budget er på ca. 4 milliarder kroner.

I samarbejde med tilsvarende centre andre steder i verden er den forskning, der foregår her, med til at præge både vort verdensbillede og den teknologiske udvikling.

I tidens løb har mange danske videnskabsmænd udført et stort arbejde ved CERN. I øjeblikket er der ca. 30 danske forskere ansat. Hvem véd, måske kommer du også en dag til at deltage i dette spændende arbejde.

Men foreløbig skal du lære lidt mere om, hvad vi i dag ved om atomets opbygning. I næste kapitel skal vi beskæftige os med det spændende detektivarbejde, der har ført frem til vores nuværende viden.



Her ses en del af det kæmpemæssige måleudstyr, som er placeret fire steder langs CERN's 27 km lange accelerator. Apparaturet befinder sig i 30 m høje underjordiske grotter.

# 2 Atomets udforskning

Dette billede, som stammer fra CERN, viser sporene efter et voldsomt sammenstød mellem to atomare partikler i CERN's 27 km lange udpumpede vacuumrør.

Ved at studere sådanne spor kan videnskabsmændene få mange ting at vide om atomernes opbygning.



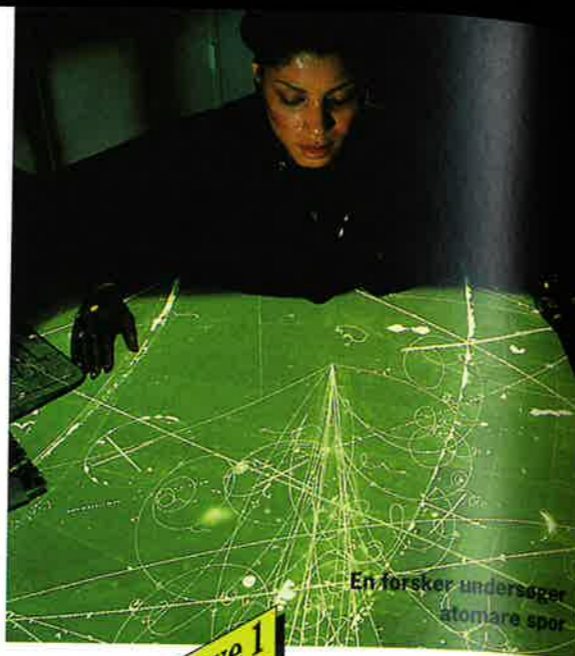


## Politiets og atomfysikernes detektivarbejde

Når politiet har anholdt en mand, der er mistænkt for et mord, skal den offentlige anklager bevise i retten, at manden er morderen. Og det lykkes ofte, selv om der ikke er noget menneske, der har set mordet blive begået. Selv om den mistænkte nægter, bliver han ofte dømt på indicier. Det betyder, at politiet har kunnet fremlægge så tydelige spor efter ugeringen, at retten ikke er i tvivl om, at de har fanget den rette mand. De forskellige spor kan f.eks. bestå af fingeraftryk på mordvåbnet og blodpletter fra den myrdede på den mistænkes tøj (se billedet øverst t.v.).

Den viden, vi i dag har om, hvordan atomerne i hovedtrækkene er opbygget, er også baseret på indicier. Det er nemlig ikke muligt at se de enkelte atomer – selv med verdens bedste mikroskoper. Men det er lykkedes videnskabsmænd fra mange forskellige lande at udforske atomernes opbygning ved at lave forsøg, hvis resultater kun kan forklares ved, at atomerne må være opbygget på en bestemt måde.

En naturvidenskabelig forsker og en detektiv anvender derfor i princippet samme arbejdsmetode. Måske er du selv god til at arbejde på denne måde. Det kan du få et indtryk af ved at udføre laboratorieopgave 1.



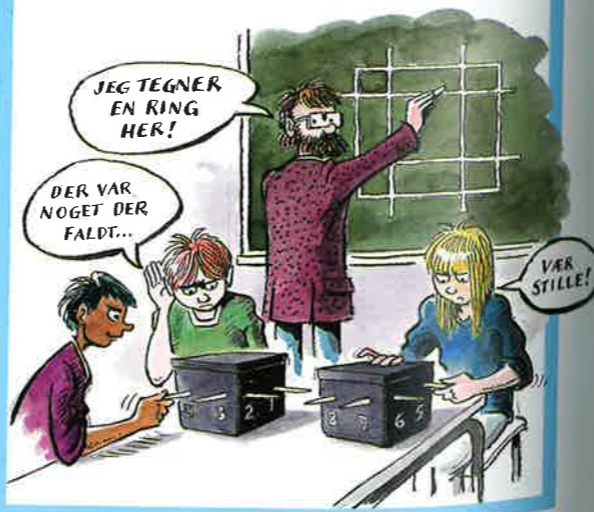
En forsker undersøger atomare spor

## Laboratorieopgave 1

### Den sorte kasses hemmelighed

I denne laboratorieopgave bliver I præsenteret for en række ens lukkede kasser, hvorigennem der er stukket 4 pinde. Ligesom vi ikke kan se ind i atomerne, således kan I heller ikke se ind i kasserne.

Men I kan måske alligevel finde ud af, hvordan de er opbygget indeni, idet I gerne må trække pinde ud af kasserne og høre, hvad der sker.



## Om at undersøge usynlige ting

Da I undersøgte de lukkede kasser, begyndte I sikkert med at rasle tilfældigt med kasserne og trække nogle pinde ud. Det førte til mere systematiske undersøgelser, hvor I skiftevis trak bestemte pinde ud, tegnede på modellen, trak flere pinde ud for at efterprøve jeres idéer, osv. På denne måde fortsatte I, indtil I var nogenlunde sikre på jeres model.

På tilsvarende måde har udforskningen af atomernes indre været præget af en stadig vekslen mellem at udføre forsøg og opstille modeller og teorier. På denne måde er de forestillinger om atomets opbygning, du har lært om i kemi, langsomt vokset frem. Vi vil nu se på, hvordan det hele begyndte.



## Den første primitive atommodel

Kort efter år 1800 opstillede englænderen Dalton en model for stoffets opbygning af atomer og molekyler – en model, som var baseret på forsøg og iagttagelser. Hans model gjorde især rede for, hvordan atomerne kunne gå i forbindelse med hinanden og danne molekyler. De enkelte atomer opfattede han nærmest som små hårde kugler, der ikke kunne deles i mindre dele. Denne model blev i de følgende år udbygget på forskellig måde.

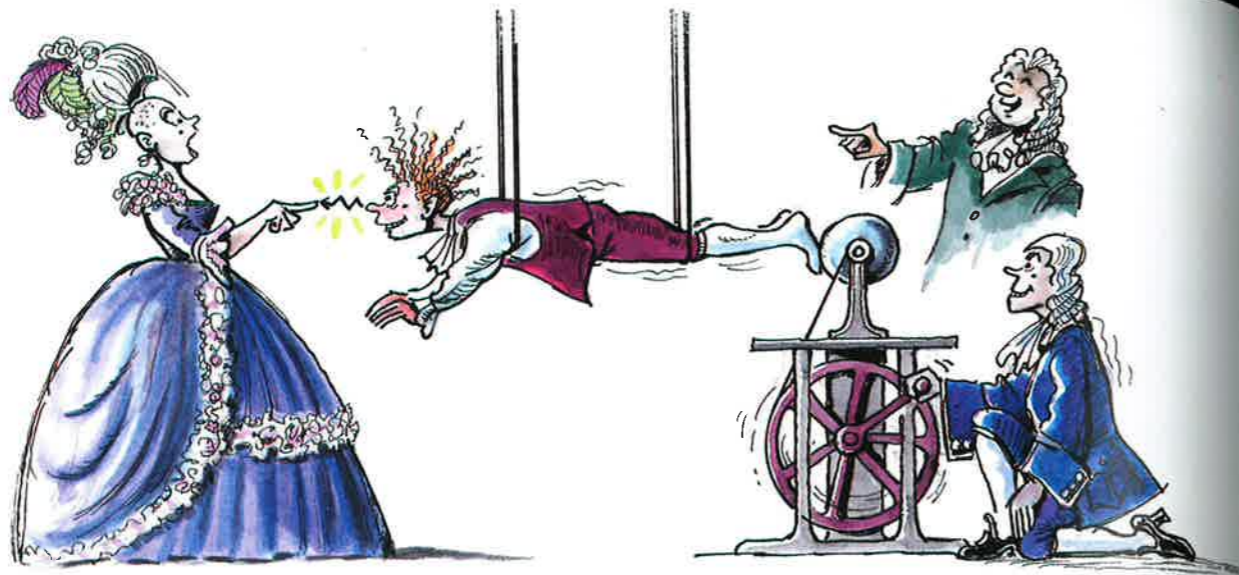
Omkring 1870 var man – ud fra mangfoldige forsøg og iagttagelser – nået til den konklusion, at alting måtte være lavet af mindre end 100 forskellige atomer, som afviger fra hinanden ved at have forskellig masse, rumfang og kemiske egenskaber.

Mange videnskabsmænd troede, at nu var man nået til grænsen for, hvad man kunne finde ud af om atomerne.

Men det skulle snart vise sig, at udforskningen af atomerne kun var i sin begyndelse. Flere gådefulde opdagelser i slutningen af århundredet tydede på, at der måtte foregå nogle spændende processer i atomernes indre.







### Højspændingsforsøg fører til nye spor

I slutningen af 1800-tallet blev man mere og mere overbevist om, at der måtte være en sammenhæng mellem *elektricitet* og atomernes opbygning.

Man vidste, at den elektriske strøm let kan løbe gennem metaller. Men man kunne kun få gnister til at springe gennem luften, hvis man anvendte en tilstrækkelig høj spænding (mange tusinde volt). Som spændingskilde havde man dengang for-



Når man sætter højspænding til en række glasrør, som der er suget mere og mere luft ud af, ser man forskellige lysvirkninger, som skyldes, at den tilbageværende luft bombarderes med katodestråler.

Allerede før år 1800 var forskellige former for elektricémaskiner højest mode i selskabslivet. Ved hjælp af den frembragte højspænding kunne man for eksempel få håret til at rejse sig på hovedet af folk og trække gnister ud af næsen på dem.

skellige typer af elektricémaskiner. De virker på lignende måde som den båndgenerator, vi tidligere har anvendt til forsøg med gnidningselektricitet.

Allerede omkring 1850 havde tyske videnskabsmænd opdaget, at elektriske udladninger også kan foregå i glasrør, hvorfra det meste af luften er suget ud. Der fremkom dog ikke gnister, men i stedet gav den tilbageværende fortyndede luft sig til at lyse. I stærkt udpumpede rør, hvor der næsten ingen luft var tilbage, fik man ingen lysvirkninger. Heraf sluttede man, at lysvirkningerne nok skyldtes, at den fortyndede luft blev bombarderet af en usynlig stråling, som udgik fra en af elektroderne. Plus-elektroden kaldte man *anoden* og minus-elektroden *katoden*.

Man fandt ret hurtigt ud af, at man kunne påvise disse stråler ved at lade dem ramme en skærm, som var malet med nogle bestemte stoffer (f.eks. zinksulfid). Skærmen ville da lyse op, hvor den blev ramt af strålerne. Da man derved kunne vise, at strålerne udgik fra katoden, kaldte man dem *katodestråler*.

At katodestrålerne virkelig udgår fra katoden, kan vi vise ved et simpelt forsøg.

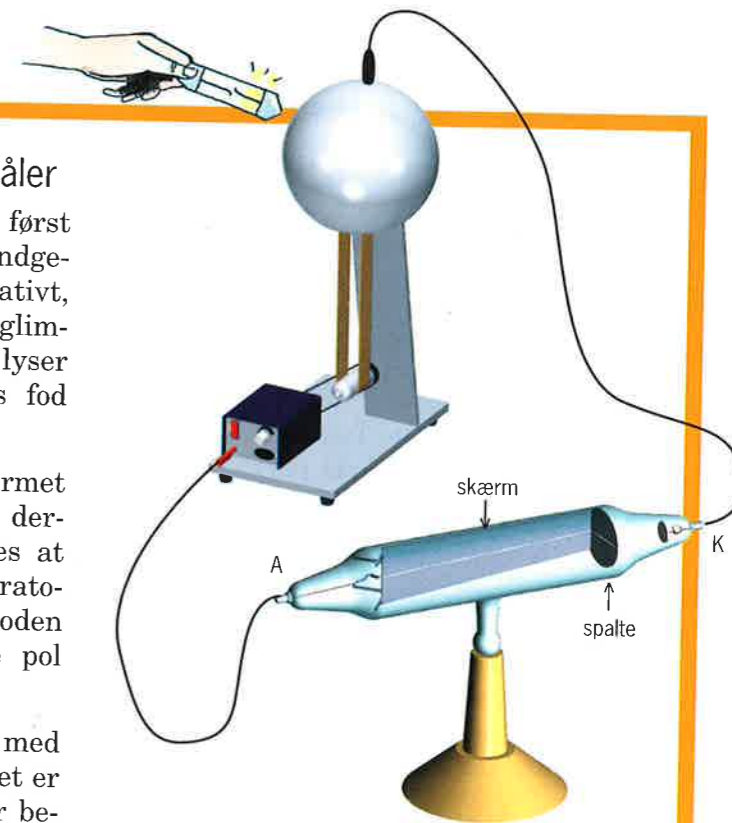
### FELLESFORSØG

### Forsøg med katodestråler

Vi mørklægger lokalet og viser først ved hjælp af en glimlampe, at båndgeneratorens kuppel oplades negativt, når vi starter båndgeneratoren (glimlampens nærmeste elektrode lyser op). Bøsningen på generatorens fod oplades positivt.

Et udpumpet glasrør, der er udformet som vist på tegningen, forbindes derefter til båndgeneratoren, således at katoden K forbindes til båndgeneratorens negative pol (kuplen) og anoden A til båndgeneratorens positive pol (foden).

Foran K er der anbragt en plade med en spalteåbning, og på langs i røret er der en skråtstillet skærm, som er belagt med zinksulfid. Vi ser nu tydeligt på skærmen, at der udgår stråler fra K, som passerer gennem spalten og laver en lysende stribe på skærmen.



Gør vi derimod K positiv og A negativ, fremkommer der ingen lysende stribe. Strålingen må derfor udgå fra den negative elektrode.

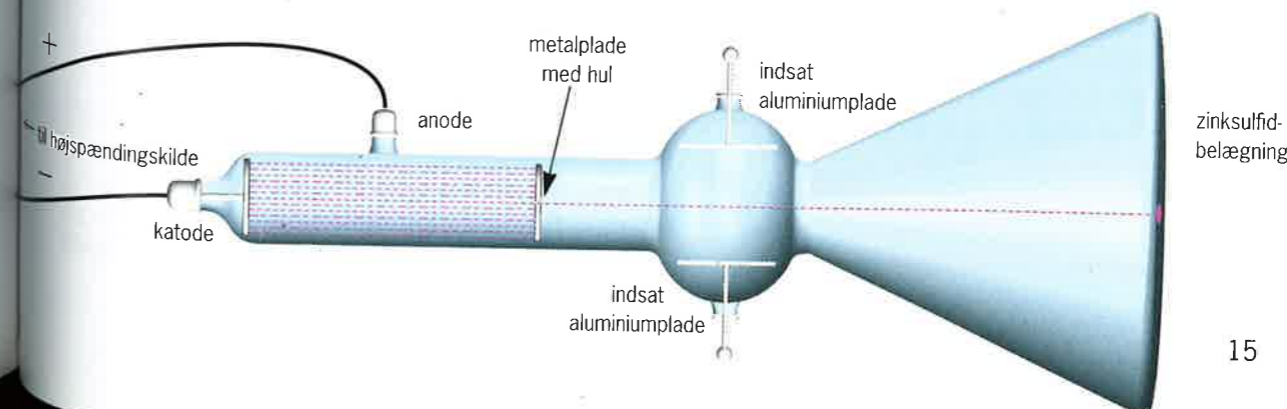
### Elektronens opdagelse

I 1897 satte den engelske fysiker J. J. Thomson sig for, at han ville prøve at finde ud af, hvad de usynlige katodestråler bestod af. Til det formål konstruerede han et udpumpet rør, der var opbygget som vist på denne tegning. Med dette rør udførte han nu en række forsøg.

Han viste først, at han ved at forbinde katoden og anoden til en højspændingskilde som vist på tegningen kunne få katode-

strålerne til at fare forbi anoden og fortsætte hen imod den runde metalplade, der var anbragt lidt længere henne i røret.

Som det ses på tegningen, var der boret et lille hul midt i den runde metalplade, så de katodestråler, der havde retning mod hullet, kunne passere igennem dette hen forbi de to viste aluminiumplader, for til sidst at ramme den belægning af zinksulfid, der var anbragt for enden af røret. Her frembragte de som forventet en lysende plet.





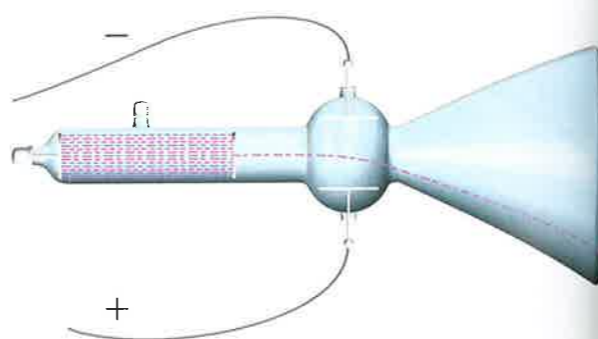
Thomson forbandt nu de to aluminiumplader til en spændingskilde, så den øverste plade fik en negativ ladning og den nederste plade fik en positiv ladning. Det fik den lysende plet til at bevæge sig nedefter. Jo større ladning han frembragte på aluminiumpladerne, jo længere flyttede pletten sig nedefter.

Heraf sluttede Thomson, at katodestrålerne sandsynligvis måtte bestå af en strøm af bittesmå negativt ladede partikler, som han kaldte elektroner.

Thomson var overbevist om, at alle elektroner var ens, dvs. havde samme ladning og samme masse. Ellers ville de ikke blive afbøjet lige meget af de elektrisk ladede aluminiumplader, og så ville den lysende plet for enden af røret blive udtværet til en streg og ikke blot blive flyttet nedefter.

### Hvor kommer elektronerne i udladningsrøret fra?

På Thomsons tid var man ikke klar over, hvad det egentlig var, der strømmede igennem en strømførende elektrisk ledning. Thomson hævdede nu, at det var elektroner, der bevægede sig gennem ledningen i



**Katodestråler består af elektroner**

retningen fra minus til plus i et elektrisk kredsløb, og at det var disse elektroner, der løb videre gennem det udpumpede rør.

Thomson vidste, at en strømførende ledning, som anbringes i gabet mellem en U-magnets poler, bliver påvirket af en kraft, der søger at skubbe ledningen ud af eller ind i gabet, afhængig af strømmens retning. Han hævdede nu, at det er de strømmede elektroner i ledningen, der bliver påvirket af denne kraft og trækker ledningen med sig. Vi kan lave nogle simple forsøg, der underbygger denne påstand.

### FÆLLESFORSØG

#### Forsøg 1. En strømførende ledning i et magnetfelt

Vi anbringer ca. 50 cm af en 0,25 mm tyk konstantantråd, så den hænger i en løs bue mellem to polstænger, som vi tilslutter en spænding på 6V=.

Vi holder nu en U-magnet ned over tråden – så den vender præcis som vist på tegningen i forhold til strømretningen – og ser, at tråden bevæger sig opefter. Vi vender derefter magneten, så nordpolen vender fremad. Nu trækkes tråden nedefter.

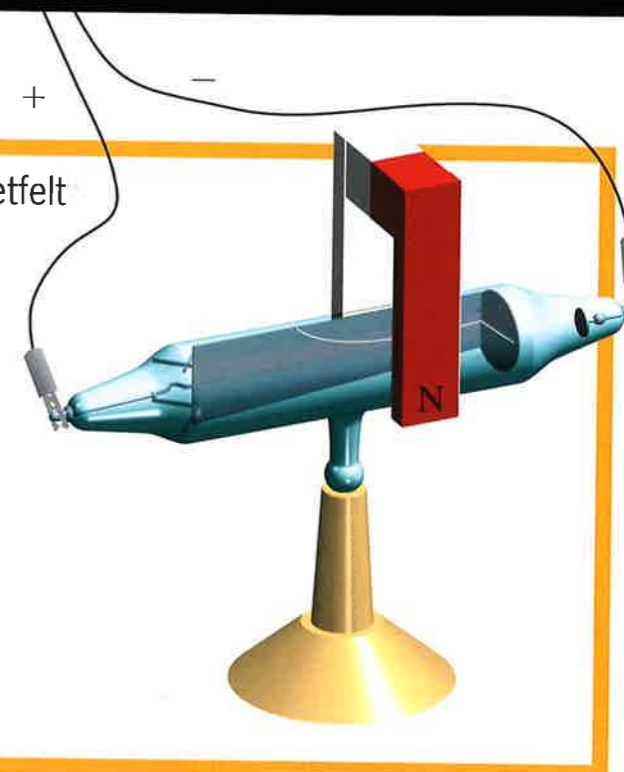


til båndgenerator

#### Forsøg 2. Katodestråler i et magnetfelt

Vi laver den opstilling, der er vist på tegningen. Vi ser, at elektronstrålen ligesom den strømførende ledning trækkes opad, når magneten holdes ned over røret som vist på tegningen. Vender vi magneten, så nordpolen vender fremad, trækkes strålen nedefter.

Vi ser altså, at i et magnetfelt afbøjes katodestråler på samme måde som elektronerne i en strømførende ledning.



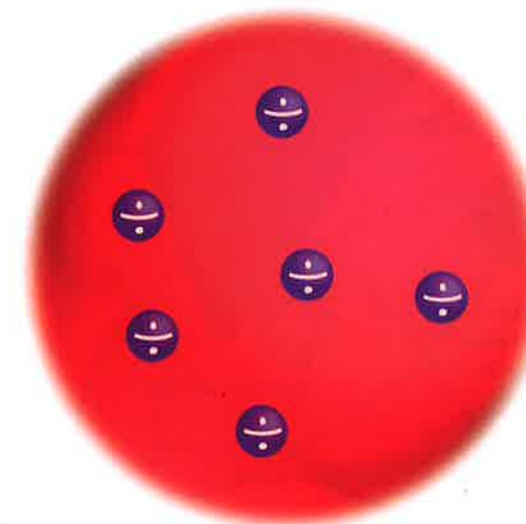
#### Elektronens masse og ladning

Thomson satte sig nu som mål, at bestemme elektronens masse og ladning. Hvad ladningen angår, var han overbevist om, at elektronens negative ladning måtte være af samme størrelse som den mindste positive ladning, man kendte på den tid, og som man havde givet navnet en *positiv elementarladning*. Han erklærede derfor, at elektronens ladning måtte være den mindste negative ladning, der fandtes, og at man skulle kalde denne ladning for en *negativ elementarladning*. Senere har man foretaget en direkte bestemmelse af elektronens ladning og herved vist, at Thomson havde fuldstændig ret.

Ved at foretage en nøjagtig udmåling af de afbøjninger, han fik, når han anvendte en kendt spændingsforskel mellem afbøjningspladerne, og en afbøjningsmagnet med kendt styrke, var Thomson nu i stand til at beregne en enkelt elektrons masse. Til sin overraskelse fandt han, at den var mere end tusind gange så lille som et hydrogenatoms masse. I dag har man målt en elektrons masse med stor nøjagtighed. Den er 1/1836 af et hydrogenatoms masse.

#### Thomsons atommodel

Thomson mente, at elektronerne måtte være en bestanddel af alle atomer. Da et atom udadtil virker elektrisk neutralt, var han klar over, at der også må være en positiv ladning i atomet. Han forestillede sig derfor et atom som en positivt ladet kugle, hvori de små negative elektroner var fordelt ligesom rosiner i en kagedej. Hans model blev spøgefuldt kaldt for "rosinkagemodellen".



Thomsons atommodel



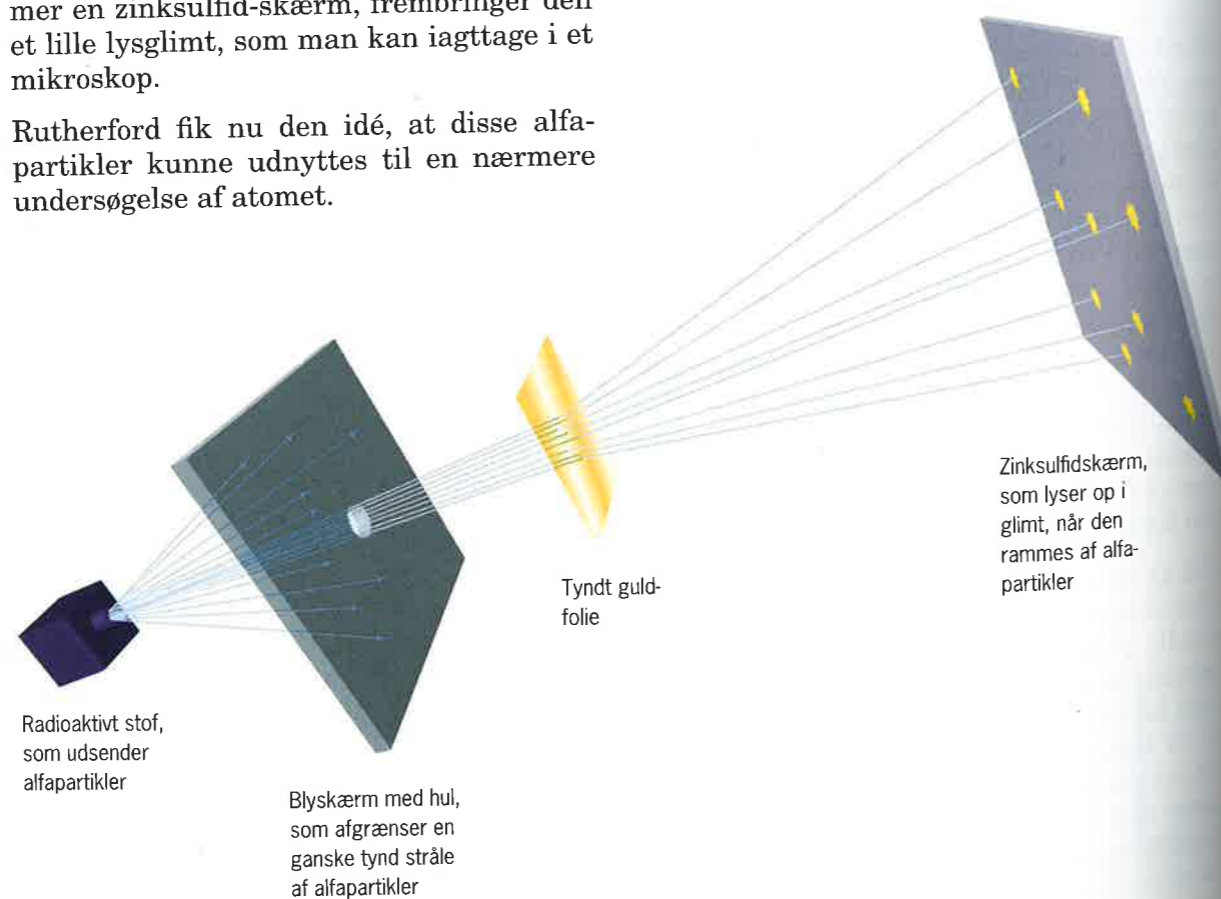
## Usynlige stråler bringer forskningen videre

Det blev en af de andre gådefulde opdagelser fra slutningen af århundredet, som gav stødet til det næste store fremskridt på atomforskningens område.

I 1896 opdagede franskmanden Becquerel, at nogle grundstoffer, for eksempel uran, udsender en usynlig men gennemtrængende stråling. Man kalder sådanne stoffer for *radioaktive stoffer*.

Den engelske fysiker Ernest Rutherford påviste, at strålingen fra nogle af de radioaktive stoffer består af bittesmå, positivt ladede partikler, som bliver skudt ud fra det radioaktive stof med stor fart. Han kaldte disse partikler for alfa-partikler (alfa er betegnelsen for det græske alfabets første bogstav). Når en alfapartikel rammer en zinksulfid-skærm, frembringer den et lille lysglimt, som man kan iagttage i et mikroskop.

Rutherford fik nu den idé, at disse alfapartikler kunne udnyttes til en nærmere undersøgelse af atomet.



## Rutherford opdager atomkernen

For at undersøge, om Thomsons atommodel var rigtig, lavede Rutherford og hans medarbejdere en række forsøg, hvor de bombarderede et uhyre tyndt guldfolie med alfapartikler. Hvis Thomsons atommodel var rigtig, skulle man nemlig forvente, at alfapartiklerne ville gå lige igennem foliets atomer uden at blive væsentligt afbøjet. De vil ikke møde særlig modstand fra det udbredte positive område, men ville passere næsten uhindret igennem atomerne. Kun nogle få alfapartikler skulle blive lettere afbøjet.

For at alfapartiklerne ikke skulle bremses af luften, måtte Rutherford udføre sine forsøg i en næsten lufttom beholder. Denne tegning viser princippet i Rutherfords forsøgsopstilling:



Ernest Rutherford (1871-1937) opdagede atomkernen og bestemte dens omtrentlige størrelse og masse.

Ved de første mange forsøg konstaterede Rutherford og hans medarbejdere, at de fleste alfapartikler – som forventet – gik lige igennem foliet næsten uden at ændre retning, men engang imellem forekom der langt større afbøjninger.

To af Rutherfords unge medarbejdere prøvede derfor at flytte zinksulfidskærmen om på forsiden af guldfoliet, selv om de ikke anså det for sandsynligt, at der ville ske noget her. Til deres forbavselse så de alligevel enkelte glimt som tegn på, at nogle alfapartikler var blevet slået direkte tilbage fra guldfoliet. De skyndte sig at tilkalde Rutherford, som blev lige så overrasket.

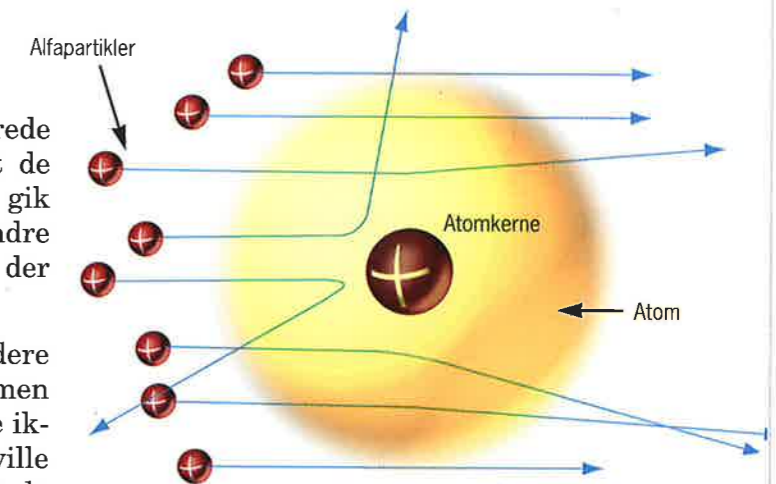
En nærmere undersøgelse viste, at én ud af hver 20000 alfapartikler blev slået tilbage fra et guldfolie med tykkelsen 0,0004 mm. Rutherford har senere udtalt: "Det var i virkeligheden den mest utrolige begivenhed, der nogensinde er hændt mig. Det var omtrent lige så utroligt, som hvis jeg havde affyret en 15-tommers granat mod en ladeport, og den var kommet farende tilbage mod mig igen!"

## Rutherfords atommodel

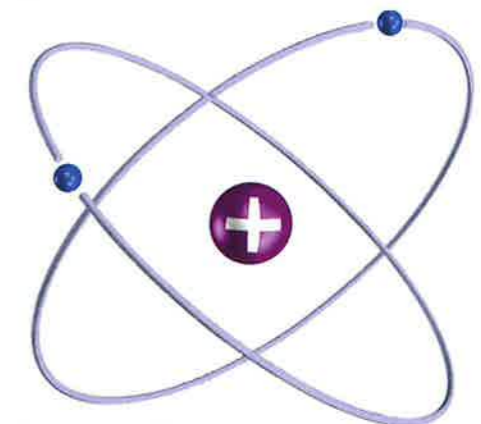
Rutherford drog den slutning af sine forsøg, at de alfapartikler, som blev stærkt afbøjet eller slået tilbage, måtte have ramt tæt på et eller andet område i atomet, hvor en stærk positiv ladning var koncen-

treret. Et sådant positivt område ville nemlig frastøde de positive alfapartikler. Området måtte endvidere fylde uhyre lidt i forhold til hele atomets udstrækning, siden så få alfapartikler blev slået tilbage.

Det var nærliggende for Rutherford at forestille sig, at dette område var den positive del af atomet, og at det var koncentreret i atomets centrum. Han kaldte det lille positive område for atomets kerne.



Rutherford opstillede derfor i 1911 en ny atommodel til erstatning for Thomsons model. Modellen gik ud på, at praktisk taget hele atomets masse er koncentreret i den positive kerne, mens de små negative elektroner kredser om kernen – omtrent som planeterne om Solen, men med meget stor fart, så de ikke bliver trukket ind mod kernen af den elektriske tiltrækning fra den positive kerne.



Rutherfords atommodel

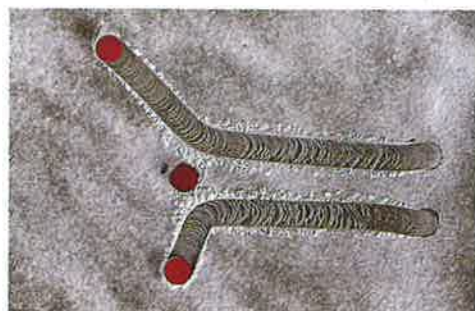


## Laboratorieopgave 2

### Afbøjning af alfapartikler

Den bane, en alfapartikel følger, når den passerer tæt forbi en atomkerne, minder om den bane, som en lille skiveformet magnet følger, når den skydes ind mod en anden skiveformet magnet, som frastøder den.

I denne laboratorieopgave skal du selv prøve at lade magneter foretage sådanne sammenstød, idet de trækker spor efter sig i et tyndt lag kartoffelmel.

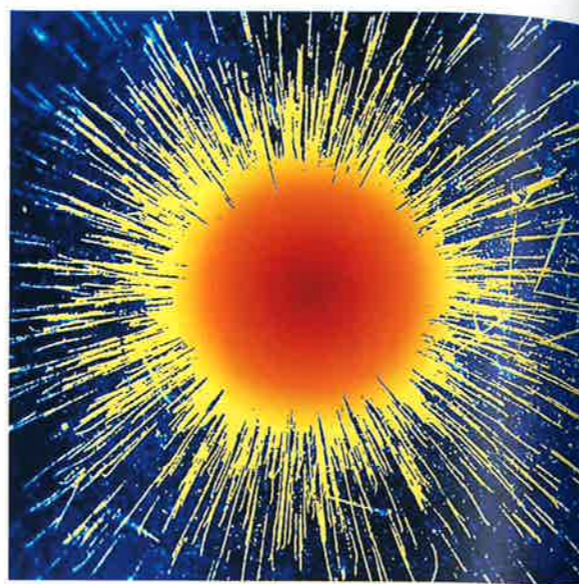


Her er to skiveformede magneter blevet skudt ind mod en magnet, som blev fastholdt mod underlaget.

### Alfapartikelspor i tågekammer

Ligesom de runde magneter i laboratorieopgave 2 kunne trække spor i kartoffelmel, kan man få alfapartikler til at trække tågespor efter sig i en beholder med overmættet vanddamp, et såkaldt tågekammer.

Til skolebrug er der udviklet to typer af tågekamre. Den ene type viser kun tågesporene et kort øjeblik ad gangen, når man sænker temperaturen ved at fortynde luften i tågekammeret ved hjælp af en tilsluttet sprøjte, hvis stempel man hurtigt trækker udefter. Den anden type – som kræver afkøling ved hjælp af fast  $\text{CO}_2$ , som kaldes kulsyresne – kan hele tiden vise tågesporene, efterhånden som de dannes (se lærervejledningen).

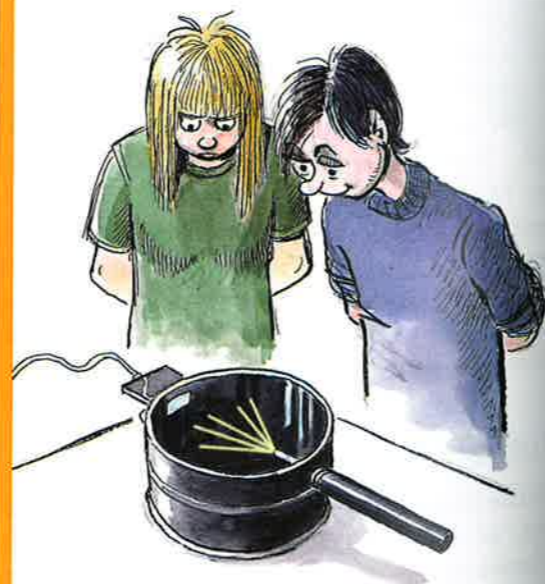


Spor af alfapartikler.

## FÆLLESFORSØG

### Vi frembringer tågespor

For at frembringe spor af alfapartikler, anbringer vi et stof, der udsender alfapartikler, i et tågekammer. Når vi belyser tågekammeret fra siden, kan vi tydeligt se sporene af de partikler, der skydes ud fra stoffet.



### Atomkernens størrelse

Rutherford kunne ved hjælp af de målte afbøjninger i sine bombardementsforsøg (se side 19) beregne den omtrentlige størrelse af atomkernens udstrækning. Han sammenholdt simpelthen antallet af træffere, dvs. antallet af store afbøjninger, med antallet af forbriere.

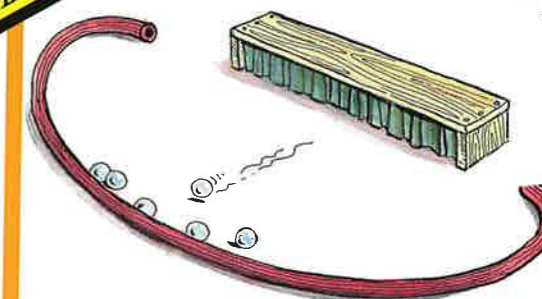
Rutherfords beregninger førte til det forbausende resultat, at kernens diameter højst udgjorde  $1/10000$  af hele atomets udstrækning.

Du kan få en forestilling om, hvor lidt atomets kerne fylder i forhold til hele atomet, hvis du tænker dig, at atomet blev forstørret, så kernen blev på størrelse med et knappenålshoved. Denne kerne skulle så anbringes midt i en oppustet ballon, der skulle være så stor, at en stor skolebygning kunne være inde i den. Ballonen ville da angive hele atomets størrelse.



At Rutherfords metode kan bruges til at bestemme størrelsen af ting, man ikke direkte kan se, kan vi vise ved et forsøg. Vi vil søge at bestemme diameteren af nogle runde jernstænger, som er skjult under en bro med et gardin for.

## FÆLLESFORSØG



### Vi bruger Rutherfords metode

Fra en afstand af 5-6 meter triller vi 100 stålkugler hen under broen. For eksempel kan hver elev efter tur sende 5 kugler af sted. På grund af den store afstand vil kuglerne ramme forskellige steder inden for broens område. De kugler, som rammer ved siden af eller rammer broens endestykker, skydes om. En tyk gummislange kan anbringes bag broen for at opfange kuglerne.

Under broen er der skjult 5 lige tykke runde jernstænger, som kuglerne har mulighed for at ramme.

Antallet af træffere noteres i arbejdsheftet på den tilhørende udfyldningsside, hvor der også er lavet et skema som hjælp til at foretage de nødvendige beregninger. I kan så se, om jeres resultat kommer tæt på det rigtige, idet I bagefter må vende broen på hovedet og måle stængerens diameter direkte.

Vi har nu set, hvordan Rutherford benyttede sig af de usynlige alfapartikler, da han forbedrede Thomsons atommodel.

Den næste til at forbedre atommodellen blev den danske atomfysiker Niels Bohr. Han benyttede sig af det lys, som atomer kan udsende. Derfor skal vi i næste kapitel først se lidt på, hvad lys egentlig er for noget.