

Om at se det usynlige

I udstillingen *Det nysgerrige menneske på Steno Museet* er der et afsnit, der handler om, hvordan fysikerne har udviklet stadig bedre redskaber til at observere stoffets byggesten, altså de ufatteligt små partikler, som alting i verden er opbygget af.

Vi oplever ofte, at gæster på Steno Museet falder fuldstændig i staver, når de står ved det store tågekammer, som findes i udstillingen *Det nysgerrige menneske*. De luftige tågespor, som tilsyneladende opstår ud af in-

det og straks forsvinder igen, har en både dragende og fascinerende virkning.

Det er egentlig ikke så underligt. For det første pirrer det nysgerrigheden, at man ikke ved, hvornår det næste spor viser sig, eller hvordan det ser ud. For det andet er det tankevækkende, at man på denne måde kan se sporet efter usynlige partikler. For mange er det meget overraskende at opleve, hvor meget baggrundsstråling der egentlig er.

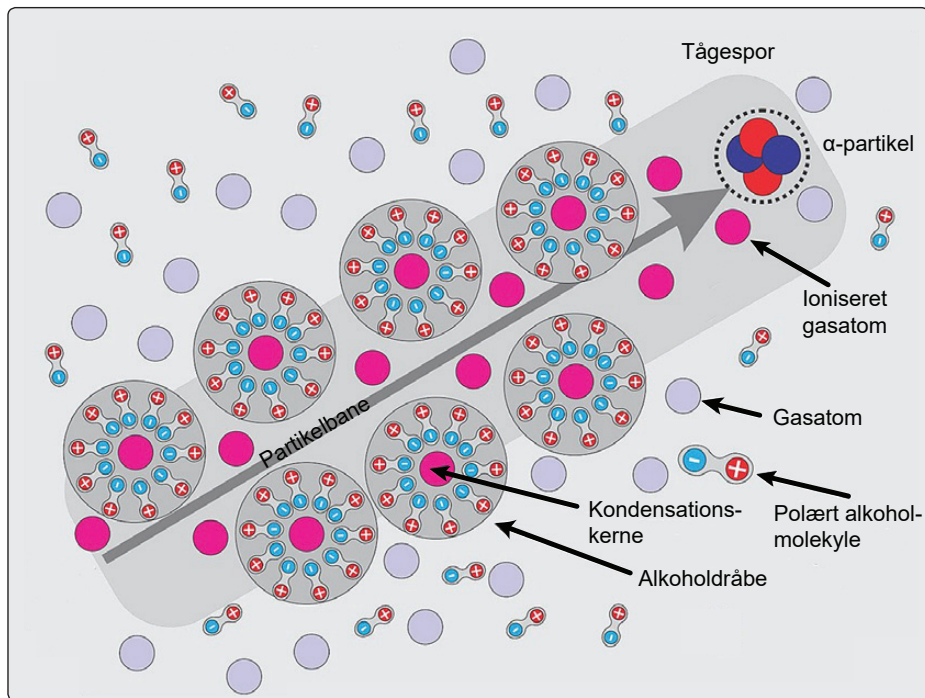
Tågekammeret

Tågekammerets virkemåde

er baseret på, at en ladet partikel, f.eks. en elektron eller en alfapartikel, som bevæger sig hurtigt igennem luften, vil danne ioner langs sin bane, altså slå elektroner af luftens atomer, så de bliver elektrisk ladede. Hvis luften samtidig er fyldt med en overmættet spritdamp, vil ionerne virke som kondensationskerner og få spritdampen til at danne skyer af mikroskopiske dråber langs det ioniserede spor. Dampen overmættes ved kraftig afkøling eller ved pludseligt at sænke trykket.



Steno Museets gæster falder ofte i staver over de fascinerende spor i museets store tågekammer. Foto: Erik Balle/fotomontage: Hans Buhl.



Tågekammeret virker ved, at en ladet partikel ioniserer atomerne langs sin bane. Når der samtidig er en overmættet spritdamp til stede, vil spritmolekylerne blive tiltrukket af ionerne og danne mikroskopiske dråber; der tilsammen ses som et tågespor. Grafik (oversat): A. Stoev/Kotarak71, CC BY-SA 4.0, via Wikimedia Commons.

Under alle omstændigheder gør tågen den usynlige partikels spor synligt, ligesom når sodpartikler i udstødningen fra en flyvemaskine højt oppe virker som kondensationskerner for den kolde vanddamp deroppe og forårsager en langstrakt sky langs flyets bane.

Tågekammeret blev opfundet af den skotske fysiker Charles T.R. Wilson i begyndelsen af 1900-tallet.

Senere er der sket forskellige forbedringer, hvilket i flere årtier gjorde tågekammeret til et af de vigtigste instrumenter til at studere forskellige typer af stråling bestående af ladede partikler. F.eks. blev elektronens antipartikel, positronen, og dens tunge fætter, myonen, opdaget ved hjælp af tågekammer.

Boblekammeret

Da fysikere i 1950'erne be-

gyndte at frembringe nye elementarpartikler kunstigt ved hjælp af store partikelacceleratorer (se "LEP – verdens hurtigste accelerator", *Stenomusen* 84, 7-12), viste tågekammeret sig uegnet til at studere dem. Men heldigvis fandt den amerikanske fysiker Donald Glaser i 1952 på det såkaldte boblekammer, som gav nye muligheder. Heri lader man de partikler, som

skal studeres, bevæge sig i en overophedet væske. Så er den energi, der afsættes, når en partikel ioniserer væsken, nemlig tilstrækkelig til at fremkalde lokal kogning, hvorved der dannes en hale af bobler langs partiklens bane. Væsken blev overophedet ved pludselig at sænke trykket i boblekammeret lige inden målingen. Ved at fotografere boblesporene var det muligt at

lave detaljeret analyse af dem.

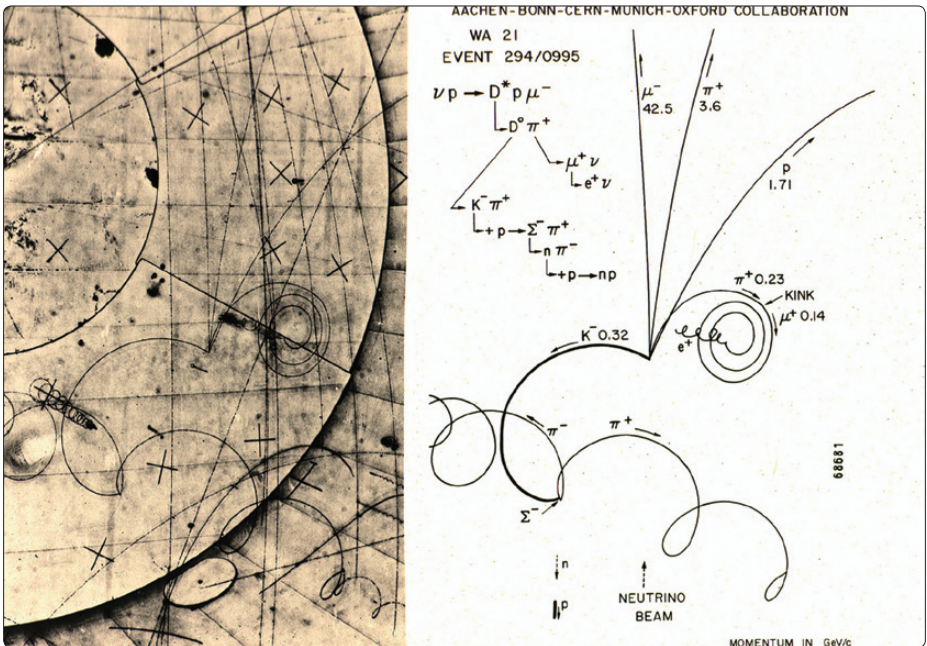
Det er en ofte fortalt historie, at Glaser blev inspireret til boblekammeret af boblerne i et glas øl. Han har dog selv afvist historien, men samtidig nævnt, at han faktisk brugte øl som væske i nogle af de første prototyper.

En krævend metode

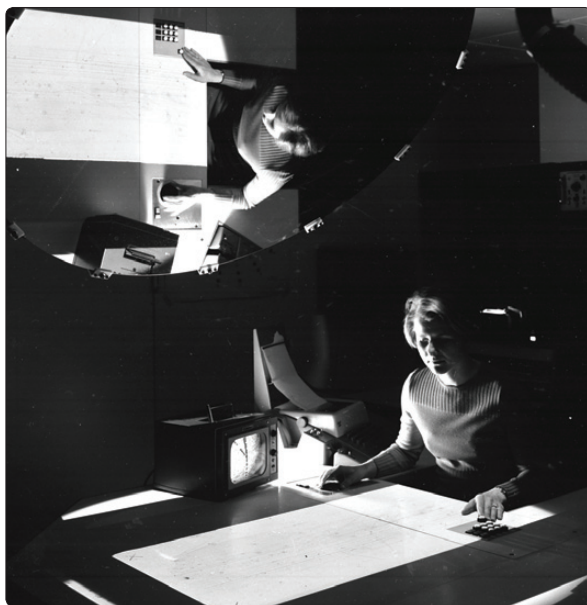
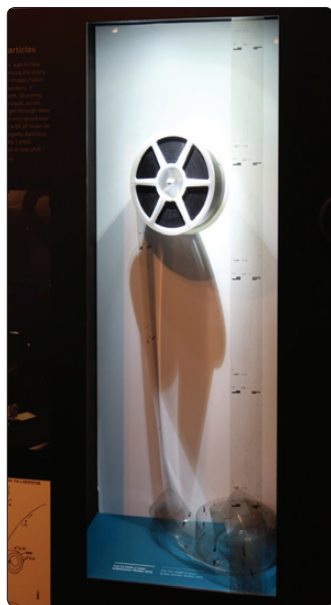
Boblekamre er i udstrakt

grad blevet brugt til at studere sammenstød mellem protoner. Derfor har man normalt benyttet flydende brint som væske. Det havde den fordel, at brinten ud over at være detektor også kunne fungere som target.

Når man skød en stråle af protoner med høj energi ind i den flydende brint, ville nogle af dem uundgåeligt støde ind i de protoner, som udgør brintatomernes ker-



I dette eksempel på et boblekammerfoto kommer en neutrino ind fra bunden af billedet. Den er dog usynlig, da det kun er ladede partikler, som laver spor. Men da den rammer en proton i boblekammerets brint, bliver der dannet partikler, hvis spor kan ses. Bl.a. en D-meson, som næsten øjeblikkeligt henfalder til en K-meson og en række andre partikler. Billedet er optaget i Big European Bubble Chamber, som var i brug fra 1973 til 1984, og som optog ca. 3.000 km film med 6,3 millioner billeder af partikelspor. Foto: CERN.



T.v.: I udstillingen Det nysgerrige menneske er der mulighed for at nærstudere en strimmel med boblekammerfotografier. Foto: Hans Buhl.

T.h. ses scanning af boblekammerfoto. Madelaine Znoy, en af de mange scannere på CERN, har fortalt, at "vores opgave som 'scannere' var at finde interessante begivenheder blandt de mange partikelspor på billederne fra boblekammerne. Det var virkelig et detektivarbejde – og der var altid noget at lære. Scanning fandt sted døgnet rundt, fordi mængden af film, der skulle gennemgås, var enorm. Hvert skift varede kun fire timer, fordi det var meget anstrengende for øjnene at sidde i komplet mørke og stirre på filmene. Jeg scannede engang mere end 750 billeder på én dag." Foto: CERN.

ner. Derved kunne der dannes nye partikler, som også ville afsætte boblespor i brinten. En stor del af de kortlivede elementarpartikler, vi kender, er opdaget ved sådanne sammenstød i boblekammer.

For at kunne kende forskel på de forskellige partikler, som afsatte spor på boblekammerfotografierne, anbragte man boblekamme-

ret i et kraftigt magnetfelt. Det fik de ladede partiklers baner til at krumme – jo mere, desto lettere de var. På den måde kunne man indirekte måle deres forskellige masse og derved identificere dem.

Den store ulempe ved boblekammeret som detektor var, at billederne skulle analyseres med "håndkraft" ved, at særligt uddannede

personer kikkede dem igennem med avancerede optiske apparater. Selv om disse scannere var både dygtige og hurtige, var der trods alt en grænse for, hvor mange billeder de kunne nå at analysere. I moderne accelerators, hvor man kolliderer to partikelstråler, ville det i øvrigt slet ikke fungere, hvis man blokerede strålerne med en portion flydende

brint. Derfor bruger man i dag næsten udelukkende elektroniske detektorer, hvor målingerne kommer ud som elektriske signaler, der kan lagres og analyseres af computere.

Gnistkammeret

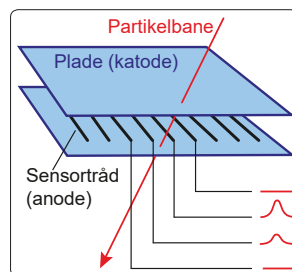
Der er udviklet mange forskellige typer elektriske detektorer inden for partikelfysikken. En af de tidligste var det såkaldte gnistkammer. Det består af en række tynde, parallelle og let adskilte metalplader, der er anbragt i et lukket kammer, som er fyldt med neon eller anden inaktiv gas. Desuden

sørger man for, at der er højspænding mellem pladerne.

Når en ladet partikel passerer gennem kammeret, ioniserer den gassen langs sin bane. Det gør gassen ledende med det resultat, at der bliver dannet gnister langs det ioniserede spor. Disse gnistspor kan så fotografieres til senere analyse. Den neutrino-type, som er relateret til den tidligere nævnte myon, er påvist med et gnistkammer.

Ionisationskammeret

I moderne, elektriske strålingsdetektorer undgår man,



Ved at lade en computer holde øje med, hvilke tråde i et multi-wire-kammer, der opfanger ladning, når der går en partikel igennem kammeret, kan man finde ud af, hvor partiklen ramte. I praksis har man mange lag af disse kamre. Grafik: K.E. Sørensen.

at der springer gnister. I stedet opsamler og måler man direkte de elektroner eller ioner, som dannes, når en partikel ioniserer gassen i detektoren.

Den grundlæggende udgave af denne detektor er den såkaldte geigertæller, som består af en enkelt, trådformet elektrode i midten af et metalrør. Mellem elektroden og røret er der et kraftigt elektriske felt, som trækker frigjorte elektroner hen til tråden. Derved fremkommer der et strømstød, som kan måles.

Da partikelfysikerne ikke blot er interesseret i at registrere partiklerne, men også at finde deres præcise position, benytter de såkaldte



I et gnistkammer kan man bl.a. se spor efter myoner fra den kosmiske stråling. Forhåbentlig bliver det en dag muligt at udstille det gnistkammer, der findes i Steno Museets magasin. Foto: J. Koopstra, Wikipedia, CC BY-SA 4.0.

multi-wire-kamre, hvor der er et stort antal parallelle tråde. Ved at lade en computer registrere, hvilke af trådene der bliver påvirket, når en ladet partikel bevæger sig igennem kammeret, kan man afgøre, hvor den passerer. Hvis man så har mange lag af disse multi-wire-kamre, kan man rekonstruere partiklens bane og f.eks. vise denne på en skærm.

Se lyset

De hidtil nævnte eksempler på detektorer er alle baseret på ionisation af væsker eller gasser. Men man kan også udnytte vekselvirkningen mellem hurtige ladede partikler og faste stoffer til at registrere partiklerne.

F.eks. har visse gennem-sigtige krystaller eller plastmaterialer den egenskab, at de udsender et lysglimt, når de træffes af stråling. Lyset fra disse såkaldte scintillatorer kan så ledes hen til en særlig lysmåler, en fotomultiplikator, der opfanger lyset og omsætter det til et elektrisk signal, der kan registreres.

Partikelkamera

I dag fremstiller man ofte detektorer af halvleder-materialet silicium, som også er



I udstillingen ses en kunstfærdigt udformet lysleder af plexiglas, som har forbundet flere lag af scintillationsplader med en rund fotomultiplikator. På fotografiet til venstre ses, hvordan der har været mange lag af sådanne detektorer på kryds og tværs. Derved var det muligt omtrent at bestemme en partikels bane gennem hele detektoren. Foto: Hans Buhl.

hovedbestanddelen i de mikrochips, der får vores elektronik til at virke. Ved at be-

nytte teknikker fra chipproduktion er det muligt at lave strålingsfølsomme pla-

der, der ligesom billedsensoren i et digitalkamera er delt op i et meget stort antal bittesmå pixler. Ved hjælp af sådanne siliciumdetektorer er det muligt at måle meget nøjagtigt, hvor en partikel er gået igennem pladen. Og hvis man arrangerer flere lag af sådanne plader, kan partiklens bane rekonstrueres ud fra de målte punkter.

En rivende udvikling

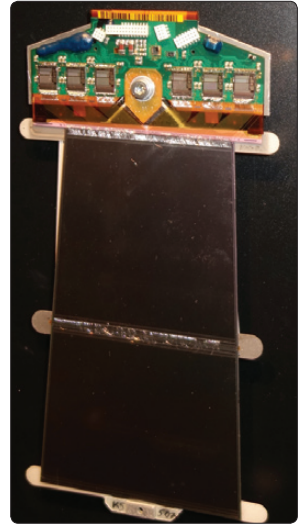
Som det er fremgået, er der sket en rivende udvikling af

de metoder, fysikerne bruger til at aflure de usynlige partikler deres hemmeligheder. Desuden kombinerer forskerne ofte flere af de nævnte teknikker, når der skal bygges detektorer til moderne partikelfysiske eksperimenter. Men det er en historie for sig.

Hans Buhl

Man kan se et eksempel på en avanceret siliciumdetektor i udstillingen. Den er udskiftet fra det indre af den enorme ATLAS-detektor, som laver målinger på LHC-acceleratoren på CERN.

Foto: Hans Buhl.



Der er en del at kikke nærmere på i udstillingsafsnittet om, hvordan fysikerne ser de usynlige elementarpartikler. Foto: Hans Buhl.