

ALICE i kvark-gluon-land

CERNs kommende vidundermaskine LHC, vil sætte forskerne i stand til at genskabe forhold fra universets fødsel. Detektoren ALICE bliver det centrale instrument i forskernes studier af stoffets tilstand ved disse ekstremt høje energier – det gådefulde kvark-gluon plasma.

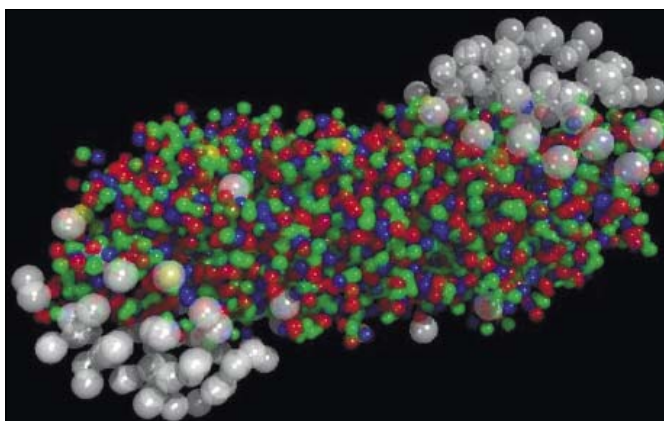
Af Jens Jørgen Gaardhøje

■ I Lewis Carroll's *Alice in Wonderland* møder vi blandt mange sære, smukke og charmerende væsener også "Cheshire katten". Denne grinnende skabning udmærker sig ved at kunne lade sin krop blive usynlig, indtil der til sidst kun er smilet tilbage. Alice må så gætte sig til resten.

På CERN er et nyt gigantisk eksperiment, kaldet ALICE, under opbygning af et konsortium af flere hundrede fysikere fra mange lande, herunder Danmark. ALICE, der er en forkortelse for det mere prosaiske *A Large Ion Collider Experiment* skal, som sin navnesøster fra eventyret, udforske en ny og vidunderlig verden. Det er en verden befolket af objekter, som vi i naturen ikke støder på til dagligt, men som lever inde-spærret i de kernepartikler, vi selv består af. ALICE vil da også for det meste kun se "smilet", og skal slutte sig til resten.

Nær lysets hastighed

I 2007 forventes CERN's nye accelerator LHC (Large Hadron Collider) at blive taget i brug. Denne 27 km lange superledende accelerator, der er kølet ned til nogle få grader over det absolutte nulpunkt, repræsenterer en enestående teknisk



Simulation af en kernekollision ca 10^{-23} sekund efter sammenstødet. De hvide kugler illustrerer protoner og neutroner fra de dele oprindelige kerner, der ikke har vekslvirket. De farvede kugler illustrerer partikler og antipartikler, der dannes ved kollisionen.

bedrift. Den vil gøre det muligt at accelerere protoner og atomkerner op til hastigheder så tæt på lysets, at deres masse bliver over 2700 gange større end hvilemassen. Hermed bliver det muligt at bringe partikler til at støde sammen med uhørt voldsomhed. Med den energi, der er til rådighed i sådanne kollisioner, kan der skabes ny materie i form af en sværm af nye partikler, der strømmer væk fra kollisionspunktet.

ALICE-detektoren skal studere kollisioner mellem kerner af bly, der hver består af 208 protoner og neutroner. Hver af disse består igen af kvarker af de to letteste sorter (kaldet u og d), der bindes sammen af gluoner. Gluonerne formidler den

stærke vekselvirkning og har fået deres navn fra det engelske ord for lim. I hvert sammenstød vil der dannes titusinder af nye kvarker og antikvarker. I de tidlige faser af kollisionen vil tætheden af kvarker og gluoner være så høj, at man kan tale om stof bestående af kvarker og gluoner. Denne tilstand har fået navnet kvark-gluon plasma. Det formodes, at universet i tiden op til den første milliontedel sekund efter Big Bang befandt sig i kvark-gluon tilstanden. Herefter faldt temperaturen under ca. 1000 milliarder grader som følge af universets udvidelse, og kvarker og gluoner blev indespærret i kernepartiklerne, hvor de befinder sig i dag.

Opfører sig som væske

At det forholder sig sådan er senest blevet meget stærkt sandsynliggjort gennem eksperimenter ved forløberer for LHC-acceleratorer, den 4 km lange RHIC (Relativistic Heavy Ion Collider) maskine på Brookhaven National Laboratory i staten New York, der blev taget i brug i år 2000. De fire eksperimenter ved RHIC, herunder BRAHMS, som har betydelig dansk deltagelse, har for nylig påvist en række effekter, der tyder på, at der dannes en kortvarig tilstand med en energitæthed, der er 10-30 gange større end den for typiske kernepartikler, og hvis egenskaber skal forstås på kvark og gluon niveau. Den mest slående effekt, der er observeret, er et markant energitab af såkaldte "jets", der produceres, når kvarker spredes som følge af kollisionerne. Dette energitab kan forklares ved, at de spredte kvarks mister energi ved at udsende gluoner som følge af vekselvirkningen med andre kvarker og gluoner. Imidlertid tyder forsøgene også på, at den dannede tilstand på væsentlige punkter afviger fra det kvark-gluon plasma, man teoretisk har forudsagt igennem de seneste 20 år. Faktisk opfører det kvark-gluon stof, der dannes ved RHIC, sig mere som en væske end som den ideale gas, teorien forudsiger.

Foto: CERN



Fotografi af Time Projection Chamber, som er et sporingskammer til at måle banerne af ladede partikler. Man kan sige at det er en meget avanceret elektronisk afløser for boble og tågekamrene som man brugte for 20-30 år siden. En TPC består af en beholder der er fyldt med en gas der ioniseres af indtrængende elektrisk ladede partikler. Ved hjælp af et elektrisk felt på ca. 100.000 volt kan man få ioniseringselektronerne til at "drifte" med konstant fart ned mod en opsamlingselektrode.

Overraskelser forude

LHC-maskinen ved CERN vil frembringe en kollisionsenergi, der er ca. 30 gange højere end hvad der i dag kan opnås ved RHIC. Dette vil dramatisk forøge den opnåelige energitæthed og dermed også tætheden af kvarker og gluoner. Under disse betingelser forventer man, at den ideale kvark-gluon tilstand kan realiseres, idet vekselvirkningen mellem kvarker og gluoner bliver svagere jo tættere de er på hinanden i modsætning til hvad der er tilfældet for mere velkendte kræfter. Desuden vil den meget højere energi tillade dannelse af store mængder tunge kvarks (f.eks s, c, b, hvor bogstaverne står for "strange", "charm" og "beauty"). Disse partikler vil vekselvirke med det dannede stof på karakteristisk vis og tillade egentlige tomografiske studier (som vi kender fra Røntgen-billeder) af den nye stoftilstand.

ALICE bliver instrumentet til det systematiske studie af kvark-gluon plasmets, når dette dannes i en tilstand, der sandsynligvis minder om universets tilstand længe før overgangen til det nuværende stof. Meget tyder på, at vi allerede har udviklet en del af metoderne til at "rekonstruere katten ud fra smilet". Men som altid, når man har med smil at gøre, ligger der uden tvivl også en del overraskelser og venter forude. ■

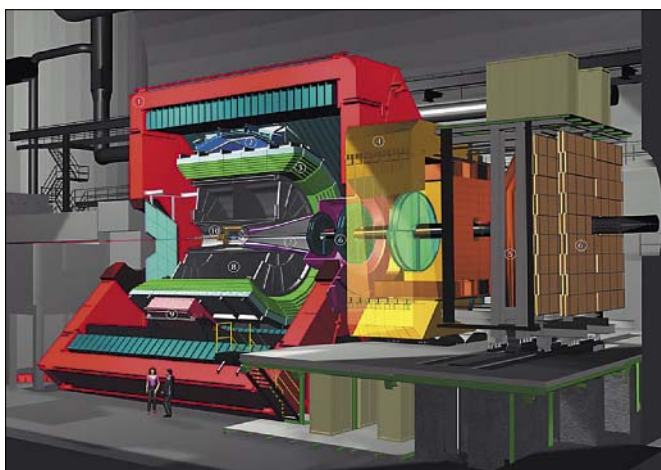


Illustration (tværsnit) af ALICE detektoren som den vil tage sig ud i 2007 ved LHC's kollisionspunkt nr. 2 ca. 70 meter under jorden.

Kvark-Gluon Plasma

Kvarker, der er kernepartiklernes byggesten (protoner og neutroner består hver af 3 kvarker) er bærere af en særlig "ladning" der går under navnet "farve". Det har vist sig, at det ikke er muligt at løsrive objekter, der har farve, idet frie partikler altid optræder i farvneutrale kombinationer (de tre kvarker i f.eks. protonen har hver deres farve, således at protonen som helhed er farvneutral). Dette skyldes, at kraften mellem objekter med farve vokser med afstanden, således at de bliver stærkere bundet, jo længere man tvinger dem fra hinanden. Omvendt aftager vekselvirkningen mellem kvarker jo tættere, de er på hinanden. Denne vekselvirkning formidles af partikler, der også selv har farve, og som kaldes for gluoner (fra det engelske ord for lim). Det er derfor nærliggende at forestille sig, at man kan frembringe en ny stoftilstand bestående af næsten frie kvarker og gluoner, hvis man blot kan opnå en tilstrækkelig stor tæthed af disse partikler. Denne tilstand går under det engelske navn Quark Gluon Plasma (QGP). Universet har efter al sandsynlighed bestået af QGP indtil det var ca. 1 milliontedel sekund gammelt. De moderne acceleratorforsøg ved RHIC og LHC sigter på at genskabe QGP i laboratoriet og studere dets egenskaber.



Om forfatteren

Jens Jørgen Gaardhøje er professor ved Niels Bohr Institutet Københavns Universitet. Med-talsmand for BRAHMS eksperimentet ved RHIC og projektleder ved ALICE-forsøget ved LHC på CERN.

Tlf.: 35 32 53 09

E-mail: gaardhoje@nbi.dk

Yderligere læsning:

HEHI-gruppe:
www.nbi.dk/hehi/research

ALICE CERN:
<http://alice.web.cern.ch/Alice/>
AliceNew

Jens Jørgen Gaardhøje:
Det Lille Big Bang, *Aktuel Naturvidenskab*, nr. 1/2001.