



# LUND UNIVERSITY

## Kosmisk strålning & tungjonsfysik

Hur man i Lund kunde bestämma den märkliga K-mesonens egenskaper och senare återskapa de fysikaliska processerna några milliondels sekunder efter Big Bang.

Jakobsson, Bo; Otterlund, Ingvar; Stenlund, Evert; Holmin Verdozzi, Kristina; Forkman, Bengt

*Published in:*

Fysik i Lund i tid och rum

2016

*Document Version:*

Förlagets slutgiltiga version

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*

Jakobsson, B., Otterlund, I., Stenlund, E., Holmin Verdozzi, K. (Red.), & Forkman, B. (Red.) (2016). Kosmisk strålning & tungjonsfysik: Hur man i Lund kunde bestämma den märkliga K-mesonens egenskaper och senare återskapa de fysikaliska processerna några milliondels sekunder efter Big Bang. . I *Fysik i Lund i tid och rum*

*Total number of authors:*

5

*Creative Commons License:*

CC BY

### General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

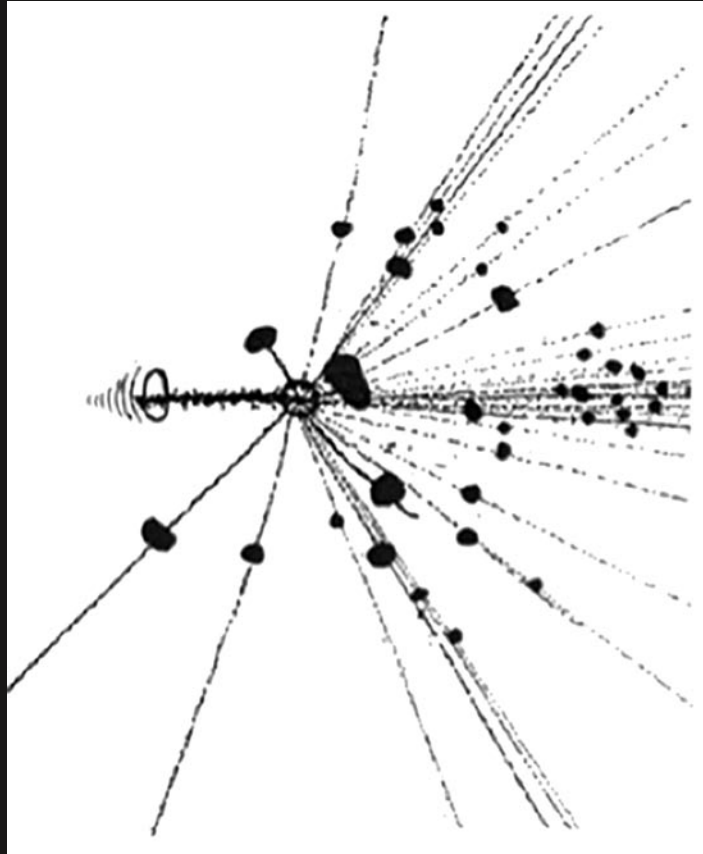
Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117  
221 00 Lund  
+46 46-222 00 00



## Kosmisk strålning & tungjonsfysik

Hur man i Lund kunde bestämma den märkliga K-mesonens egenskaper och senare återskapa de fysikaliska processerna några milliondels sekunder efter Big Bang.



## Upptäckten

År 1912 gjorde Victor Francis Hess från Österrike en ballongfärd upp till en höjd på 5 000 m. Han lyckades då mäta jonisationen i atmosfären som visade sig vara tre gånger större än på jordytan.

Upptäckten markerar början på studiet av kosmisk strålning. Vad var det för slags strålning? Laddade partiklar eller elektromagnetisk strålning?

Eftersom strålningen påverkades av det jordmagnetiska fältet, måste den bestå av laddade partiklar. Experimenten visade att partiklarna måste ha hög kinetisk energi.



En leende VF Hess år 1912, strax före luftfärden, med två nyutvecklade elektrometrar i bagaget som skall användas för att mäta jonisationen på hög höjd.



## Spårdetektorer

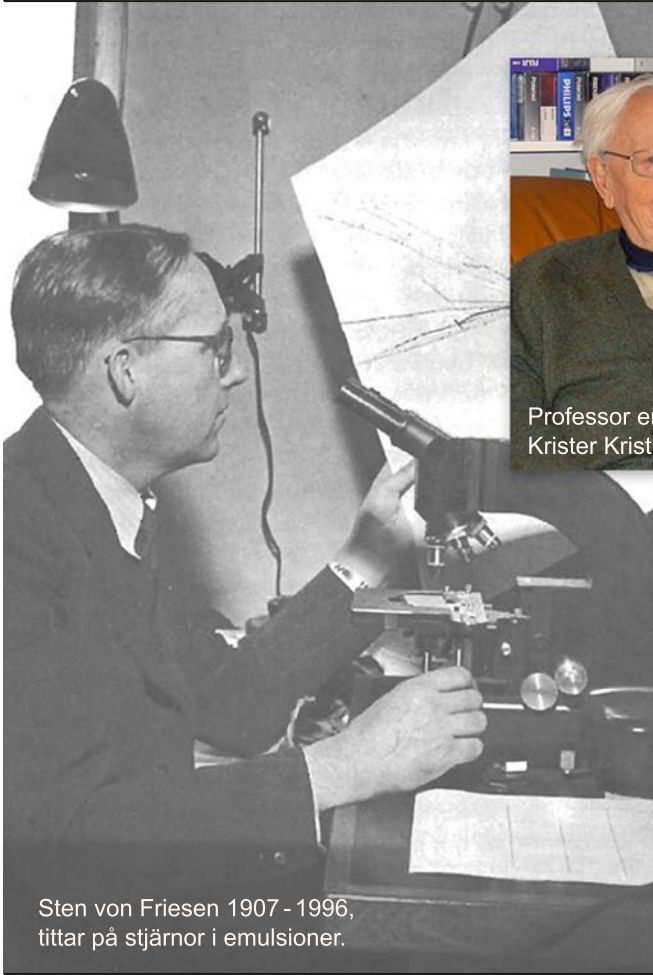


Cecil Frank Powell (1903 - 1969) fick 1950 Nobelpriset för sin utveckling av en fotografisk metod för att studera subatomära partiklar.

Dimkammaren hade utvecklats redan på 1910-talet av C T R Wilson i Cambridge, där joniserande partiklar vid passage genom övermättad ånga får denna att kondensera längs spåret.

Den brittiske fysikern Cecil Powell utvecklade under sent 1930-tal i Bristol fotografiska emulsioner med hög känslighet för att mäta spår med hög kinetisk energi.

## Studiet av K-mesoner



Sten von Friesen 1907 - 1996,  
tittar på stjärnor i emulsioner.



Professor emeritus  
Krister Kristiansson.

Mot slutet av andra världskriget hade kärnemulsionstekniken uppnått hög känslighet och många fundamentala upptäckter gjordes då paket med kärnemulsioner exponerades för kosmisk strålning på hög höjd.

I Lund inspirerades professorn i kärnfysik, Sten von Friesen, och hans närmaste medarbetare, Krister Kristiansson, av bristolgruppens resultat och började detektera den kosmiska strålningen med en Wilson-kammare men övergick snart till kärnemulsionsdetektorer. Dessa detektorer var bättre lämpade att bestämma de inkommande partiklarnas massa.

*Jag (Kristiansson) diskuterade spår-fotometeridéerna med Sten von Friesen och gjorde en skiss av den nya apparaten. Skissen hamnade hos Uno Persson i mekaniska verkstaden där apparaten snabbt tillverkades. Allt fungerade direkt och jag kunde fotometrera spår efter olika partiklar.*



## Birgit Lindkvist



Birgit Lindkvist belönades 1977 med ett hedersdoktorat för sin emulsionsteknik men även för utvecklingen av en metod att mäta fåglars flyghöjd.

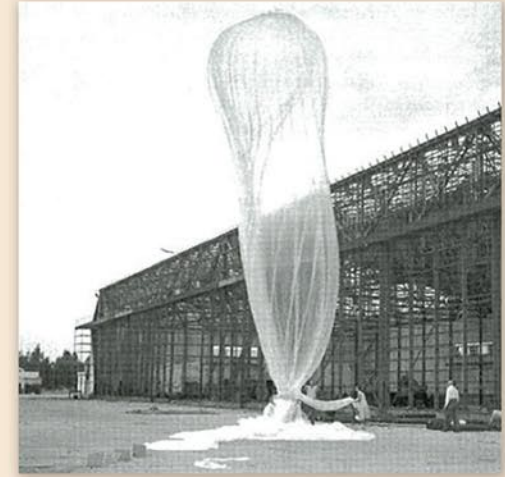
På Fysicum var forskningsingenjören Birgit Lindkvist verksam och utvecklade emulsionstekniken, vilket gav henne internationell ryktbarhet. Spårets korntäthet i relationen till spårets ändpunkt mättes. Kristiansson förbättrade kornräkningsprocessen med en spårfoto-meterteknik.



## Kaonens massa

Speciellt studerade lundagruppen K-mesonens (kaonens) massa. Man utförde ballongflygningar på 25-30 km höjd och fotometrerade sex kaonspår. Den genomsnittliga kaonmassan angavs till 974 elektronmassor. Spridningen var liten och de systematiska felen försumbara. Exponeringstiderna måste vara korta, eftersom de nyblivna spåren i emulsionerna bleknade med tiden.

Mesoner är instabila subatomära partiklar. De består av en kvark och en antikvark och förekommer positivt och negativt laddade men även oladdade. Massan på den neutrala kaonen anges idag till 973,8 elektronmassor.



Den stora lundaballongen är på väg att lyfta från Cagliari Elmas flygplats på Sardinien i juni 1952.

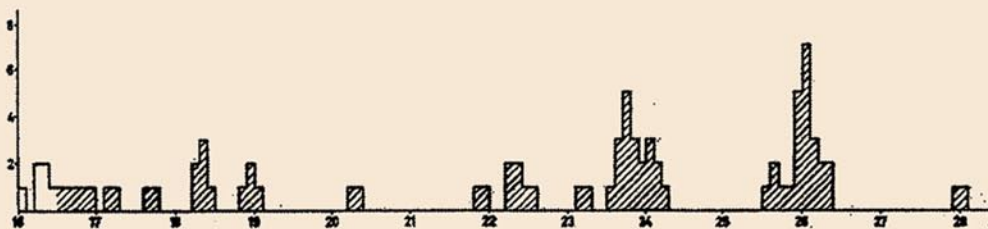
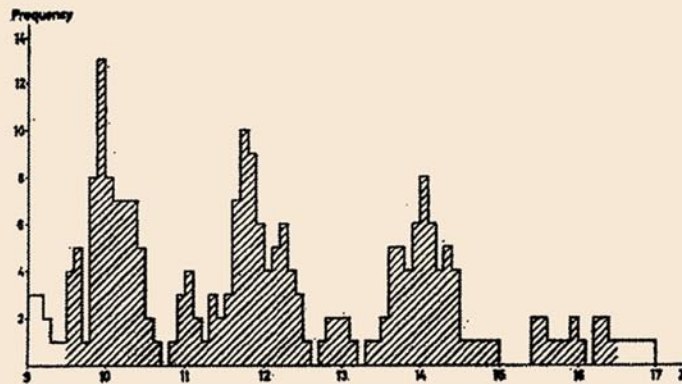


## Acceleratorbaserad forskning

Lundagruppens metod var noggrann men arbetskrävande. Tiden var inne för en övergång till acceleratorbaserad partikelfysik.

Fotografiska emulsioner levererade fortfarande viktiga resultat. Den primära kosmiska strålningen består av protoner, heliumkärnor och tyngre atomkärnor i proportionerna 100:10:1.

Primärstrålningen fanns redan i de emulsionspaket som genomförts från Fort Churchill i arktiska Kanada. Här påverkas de inkommande partiklarna ringa av jordens magnetfält. Man kunde påvisa stor likhet mellan den observerade laddningsfördelningen och den allmänna förekomsten av grundämnena i vår galax.

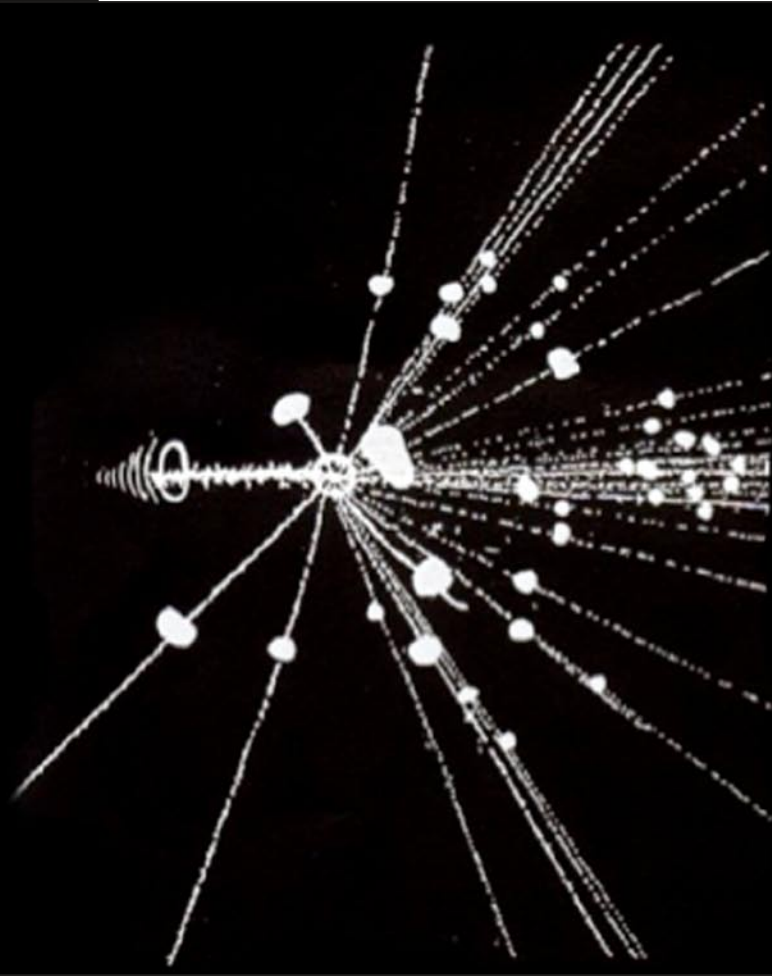


▨ One particle

Spektrum av relativistiska atomkärnor i den primära kosmiska strålningen i intervallet neon till nickel.



## Multifragmentering



I början på 1970-talet började de nya acceleratorerna i Dubna (USSR) och i Berkeley (USA) att leverera väldefinierade tunga joner. Ny elektronisk detektor-teknik förändrade forskningen.

Forskarna i Lund måste skola om sig men först kunde de med sitt stora kunnande i emulsionsteknik visa på möjligheterna med den nya tekniken. De analyserade de sällsynta stjärnor som uppstod i emulsionerna när de energirika jonerna kolliderade med kärnor i emulsionen. Från kollisionssentrum utgick fragment som hade ett brett masspektrum. Processen kallades multifragmentering.

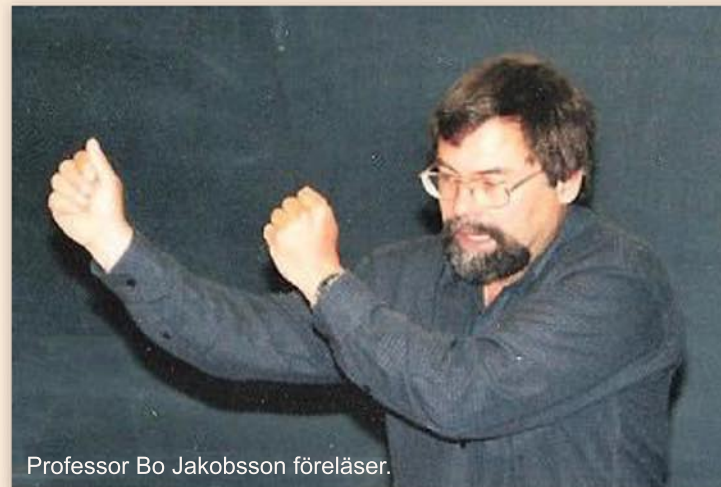
En klassisk bild från 1975 av en nästan symmetrisk  $^{84}\text{Kr} + ^{80}\text{Br}$  kollision vid en energi av  $\sim 1$  GeV/nukleon. Skannaren har ombetts rita en blob med yta proportionell mot fragmentets massa.



## Kärnans tillstånd

I Lund blev det Bo Jakobsson som utvecklade denna forskning. Han utbildade sig teoretiskt vid NORDITA-institutet i Köpenhamn under tre år och lärde känna teoretikern Jakob Bondorf. Därmed lades grunden till förståelsen av hur atomkärnan reagerar vid kraftig upphettning. Han samlade en grupp detektorkunniga lundafysiker och utförde experiment vid synkrocyclotronen i CERN.

Nästa steg innebar typisk så kallad resefysik, med besök vid flera stora accelerators, för att detaljstudera fragmenteringsprocessen genom ultrasnabba tidsstudier av n- och p-emission.



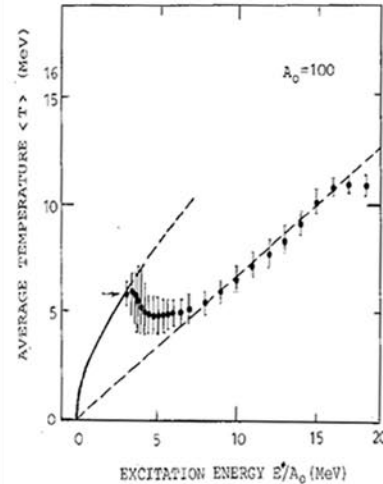
Professor Bo Jakobsson föreläser.



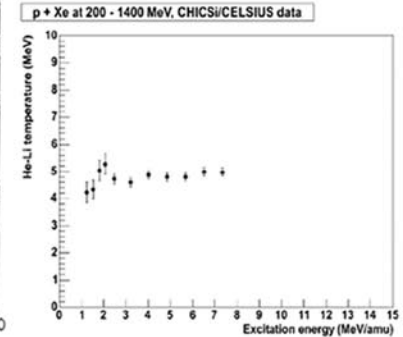
## Slow ramping mode

Samtidigt utvecklades den teoretiska forskningen inom området i snabb takt. Teoretiker förutsade att det skedde en fasövergång inne i kärnmaterien vid kraftig upphettning där materien övergick till en fas av kärnfragment och experimenterarna kunde visa att teoretikerna hade rätt.

Lundagruppens experiment vid CELSIUS-acceleratorn i Uppsala fick avgörande betydelse. Denna kunde drivas i *slow ramping mode* vilket innebar att man kunde accelerera protoner från 200 till 500 MeV över fyra minuter och därmed studera hur fragmentering förändrades med excitationensenergin.



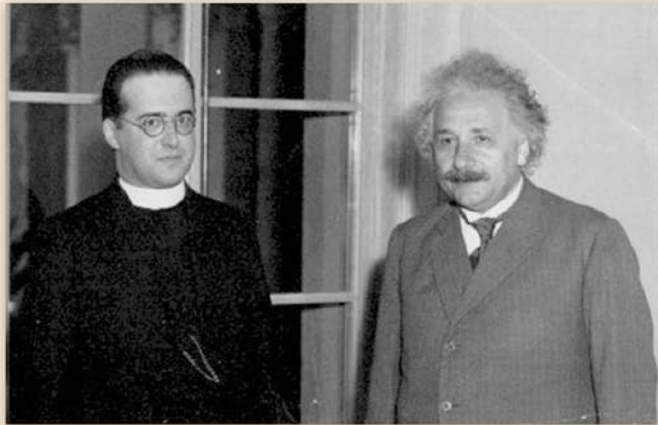
Teoretiskt beräknad kurva som ger medeltemperaturen i förhållande till excitationensenergin enligt modellen över multifragmentering enligt Köpenhamnsskolan för en  $A=100$  sönderfallande kärna.



Uppmätt experimentell kurva visande samma relation som till vänster för  $p + Xe$  kollisioner vid lagringsringen CELSIUS i Uppsala i *slow ramping mode* drift.



# Kosmologi



Georges Lemaitre (1894 - 1966) och Albert Einstein (1879 - 1955).

Albert Einstein försökte teoretiskt skapa ett statiskt universum. För att förhindra en kollaps på grund av gravitationen införde han den kosmologiska konstanten  $\Lambda$ .

George Lemaitre från Belgien var präst i Vatikanen men även professor i fysik och astronomi. Han föreslog teoretiskt ett expanderande universum.

Den kosmologiska principen säger att universum är isotropiskt och homogent på stora avståndsskalor som miljontals ljusår. Principen grundar sig på Albert Einsteins allmänna relativitetsteori, Georges Lemaitres beräkningar och Hubbles observation att universum expanderar.

Enligt Big Bang-teorin befann sig materien i universums början i ett plasmstillstånd av kvarkar och gluoner så kallade quark-gluonplasma (QGP). Av okända skäl fanns det lite fler partiklar än anti-partiklar. När universum var  $10^{-5}$  sek gammalt bildades ur plasmata de protoner och neutroner som vi idag finner i våra atomkärnor.

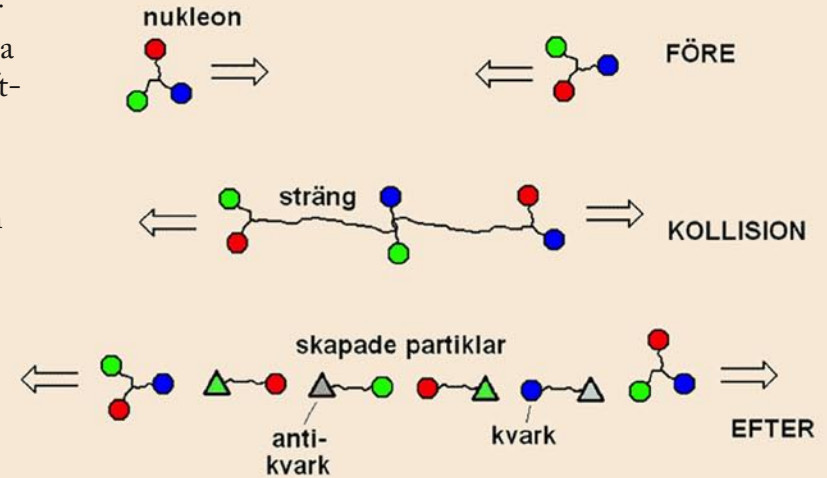


## Lundamodellen

Fysikerna har kommit allt närmare de temperaturer som kännetecknar QGP-fasen. Detta sker när tunga atomkärnor kolliderar med varandra i världens kraftfullaste accelerater.

Fysiker från Lund har deltagit i forskningen med att uppnå allt högre temperaturer i kärnmateria och sökandet efter nya fasövergångar. Man observerar vad som sker när högenergetiska tunga atomkärnor kolliderar med varandra.

Lundateoretikerna och experimentalisterna utvecklade *Lundamodellen* där gluon-strängar sträcks ut mellan kvarkarna. När strängarna brister skapas ett stort antal observerbara partiklar, huvudsakligen mesoner. Modellen nådde världsrykte.



Schematisk bild av fragmentation av gluonsträngar.



# Tungjonskollisioner

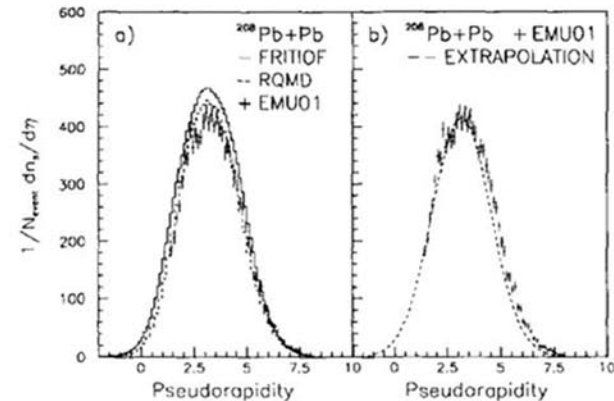
Lundaexperimenten med högenergetiska tungjonkollisioner leddes av Ingvar Otterlund och skedde vid ISR-ringen vid CERN där a-a-kollisioner studerades. Sedan fortsatte man studierna av quark-gluon plasma vid CERNs SPS-ring (Super Proton Synkrotron) och nådde ännu högre energier genom bly-bly-kollisioner.



Ingvar Otterlund,  
professor emeritus  
i partikelfysik.



Evert Stenlund,  
professor i partikelfysik.



Experimentella och simulerade Pb-Pb data.

## Specifikt detektorsystem



Partikelfysikern och professorn Hans-Åke Gustafsson (1945-2010) spelade under tre decennier en grundläggande roll när det gällde att forma detta forskningsområde inom fysiken.

På 90-talet var lundagruppen aktiv i byggandet av PHENIX-experimentet vid Heavy Ion Collidern i Brookhaven National Laboratory. Gruppens huvuduppgift var att utveckla ett specifikt detektorsystem, så kallade padkamrarna. Dessa detektorer bestod av gasfyllda kammare som registrerade passagen av laddade partiklar med hög effektivitet och precision.

På 2010-talet är gruppen åter i CERN för att utnyttja den för närvarande kraftfullaste acceleratoren i världen, LHC-acceleratoren (Large Hadron Collider). Gruppen arbetar inom ALICE-experimentet med nya detektorsystem – Time Projection Chamber.

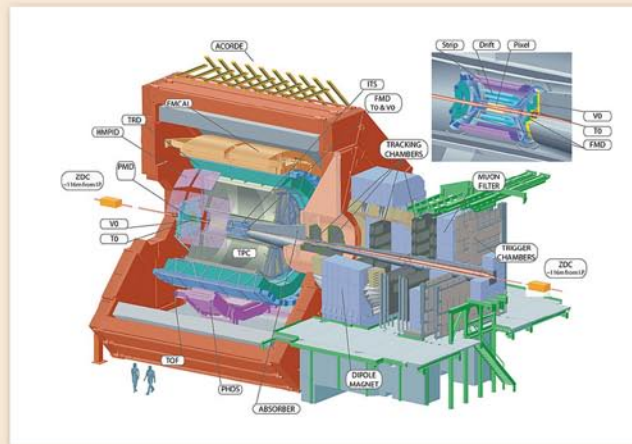


## Världsrekord

Med ALICE-systemet har man slagit världsrekord och kunnat mäta den högsta temperatur som åstadkommits av människan svarande mot  $5 \times 10^{12} \text{ }^\circ\text{C}$ . Därmed har man passerat in i QGP plasmat och är energimässigt tillbaka till universums situation en miliondels sekund från Big Bang.

Så här lät det i Sveriges Radio den 16:e augusti 2012:

*Fem tusen miljarder grader. Det är numera den högsta temperatur som människan skapat. Det är forskare vid CERN i Schweiz som slagit rekord vid experiment i partikelacceleratorn LHC. Forskarna åstadkom den varmaste materien någonsin genom att låta blykärnor kollidera med hög energi i acceleratoren.*



Alice



# När universum var ungt

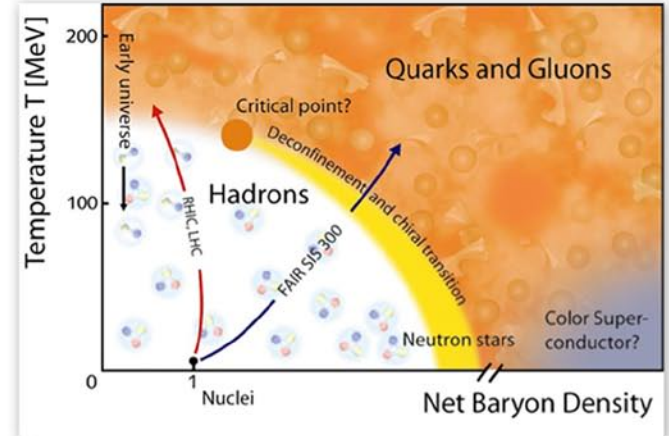
Anders Oskarsson,  
professor i partikelfysik.



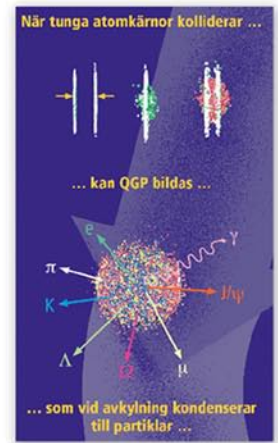
Därefter intervjuades Anders Oskarsson:

*Det har tagit två år att bestämma hur hög temperaturen var under experimentet. Det beror på att analyserna tar tid. Liksom vid annan upphettning ändrar materien tillstånd, som när vatten kokar och går till ånga. Temperaturen i vattnet ökar inte när man tillför energi, vattnet förångas i stället. På analogt sätt har vi studerat processen när protoner och neutroner delas upp i kvarkar. Det är på den sidan av den så kallade fasövergången, som vi mätt temperaturen.*

Det nya rekordet är omkring 40 procent högre än det tidigare värmerikdet, vilket gruppen i Lund också var med och satte.



Ett fasdiagram där vanlig materia övergår i ett tillstånd med fria kvarkar och gluoner.



Fasövergången sker genom att upphetta och förtäta materien. Detta sker vid tungjonkollisioner. Vid avkylning och expansion går processen baklänges och liknar den process som ägde rum, när universum var ungt.