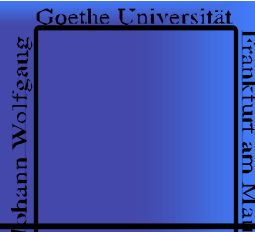


From the Four Greek Elements to Modern Physics
H. Stoecker Goethe University Frankfurt am Main

Questions? Mail to: stoecker@uni-frankfurt.de



600 B.C.	Thales of Milet	Water	One ELEMENT
500 B.C.	Heraklit of Ephesos	Fire	„the one and only“
500 B.C.	Anaximedes	Air	The essence
450 B.C.	Empedokles	Earth Water Air Fire	The 4 Elements

350 B.C. Aristoteles, 1. Physicist: **The Four Transform ->4 Phases**
The 5th element – Quintessence: „The Spirit“

4 elements vs. 4 phases

vs. 4 elementary particles

Fire	Plasma	Neutrino	eNeutrino
Air	Gas	Electron	Electron
Water	Liquid	Proton: u,u,d ~ 1000 MeV	Up- quark ~ 3 MeV ???
Earth	Solid	Neutron udd ~ 1000 MeV	Down quark ~ 7 MeV ???

Origin of proton mass??? Only 5% quarks, 95% glue dressing?!

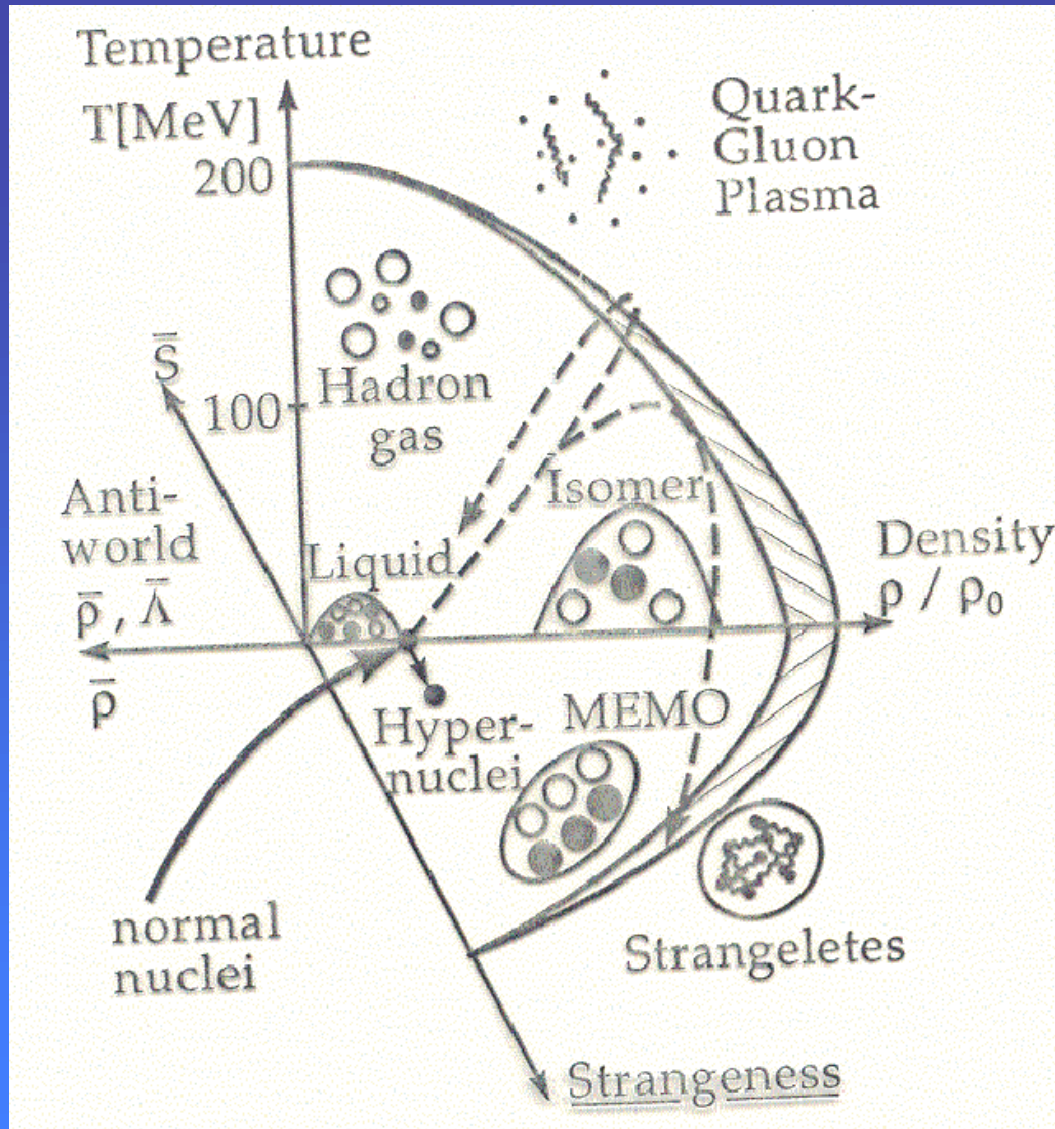
COBE, WMAP: Mass of the Universe only 4% protons and neutrons!
73% 5th element: Quintessence-Dark Energy, 23% Dark Matter

3 Families of elementary particles

leptons	charge: 0	charge: -1	quarks	charge: +2/3	charge: -1/3
Tau-neutrino	1 777	Tauon	Top	175 000	Bottom
Mu-neutrino	105	Muon	Charm	1 500	Strange
e-neutrino	0.5	Electron	Up	3	Down

Masses in MeV (Million electron Volts)

New Phases in Superdense Matter



Phasetransitions?

Liquid-Vapor

Quark Matter

Gluon Plasma

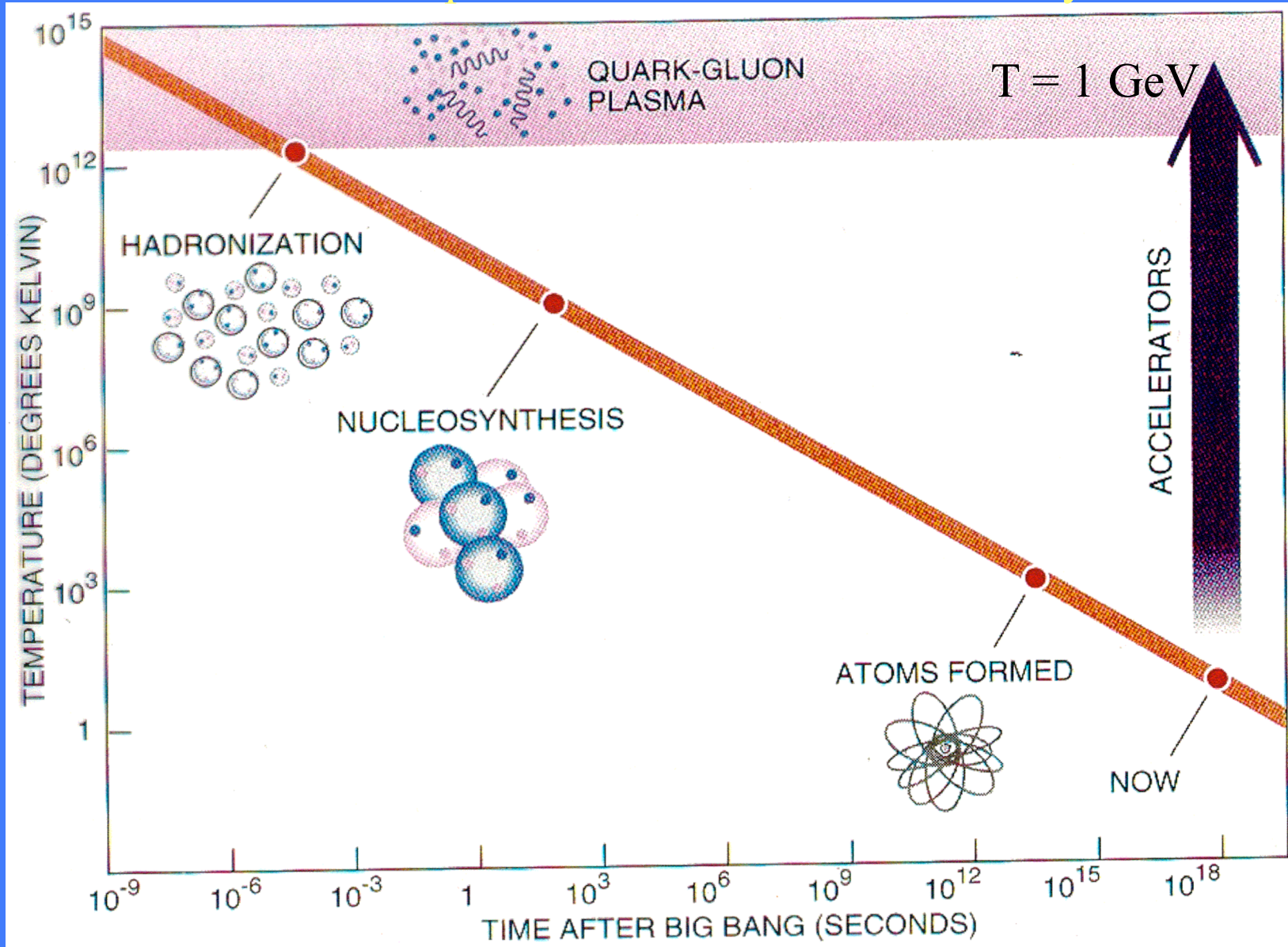
Hypermatter

Strangelets

Antimatter

Analogy: Add Alcohol to Water- get new dimensions/degrees of freedom in phase diagram

How to create hot superdense matter in the laboratory? Smash it!



Big Bang expansion cools matter, particles freeze out and decay
Relativistic Heavy Ion Collisions: quite analogous!

Analogy of signals of hot, superdense matter in Astrophysics & Nuclear Collisions

Big Bang signatures:

- Emission of light:
3-K-mwr and neutrinos
- Hubble- **Flow**
Quintessence/Dark Ener.
- Ashes: **light nuclei**, BH,
Dark matter, galaxies

Supernovae & Neutron Stars

- Emission of light &
neutrinos
- Explosive outwards **Flow**
- Ashes: NS, Black Holes

Relativistic Heavy Ion Collisions

- Emission of light:
gammas, dileptons and jets
- Collective **Flow**
- Ashes: p,pi,K,etc: Hadrons,
Hyper-Nuclei, **Strange
matter**

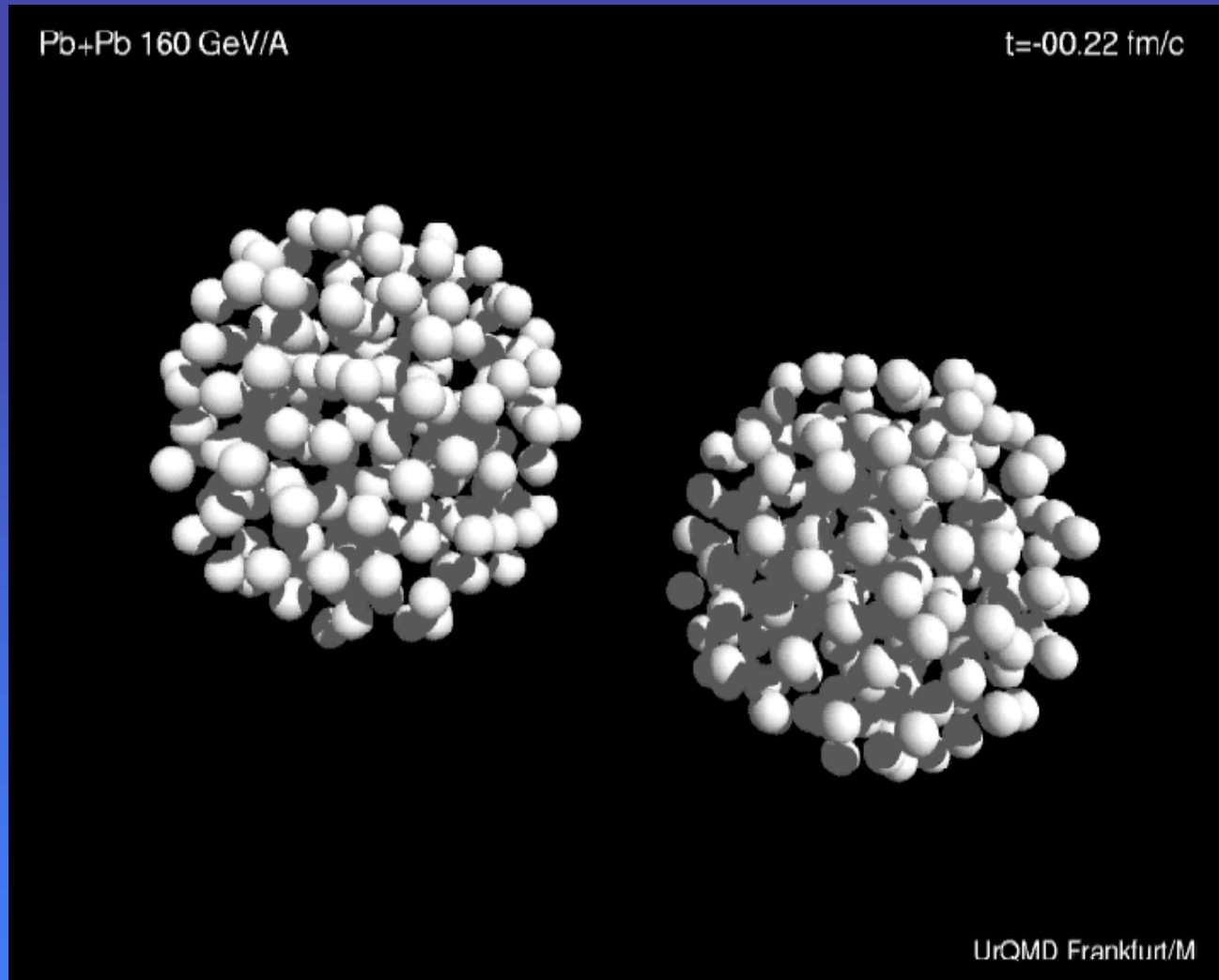
Antinuclei, Pentaquarks

Relativistic Heavy Ion Collisions (RHIC)

major ideas to probe hot dense nuclear matter

- E. Teller, Chapl: Thermal **Delta** Matter @ $T=140\text{MeV}$ • 1973-1978
- W. Greiner: Hydro-**flow** & Shockwaves: 5 x **density**
- T.D. Lee: **massless** particles & **hot vacuum**
- H. Bethe, Siemens: isotropic flow
- HST: Coll. Flow & Squeeze-Out as **Barometers**
- E. Shuryak: **Quark Gluon Plasma**, Dileptons • 1982
- Koch, Rafelski, Müller: Strangeness enhanced • 1986
- C. Greiner, Koch, HST: **Strange Matter**
- Matsui, Satz: **c-cbar J/Psi** Suppression • 1997
- Gyulassy, Wang: **Jet- Supprission**

Pb(158 AGeV)+Pb z-axis stretched



Weber

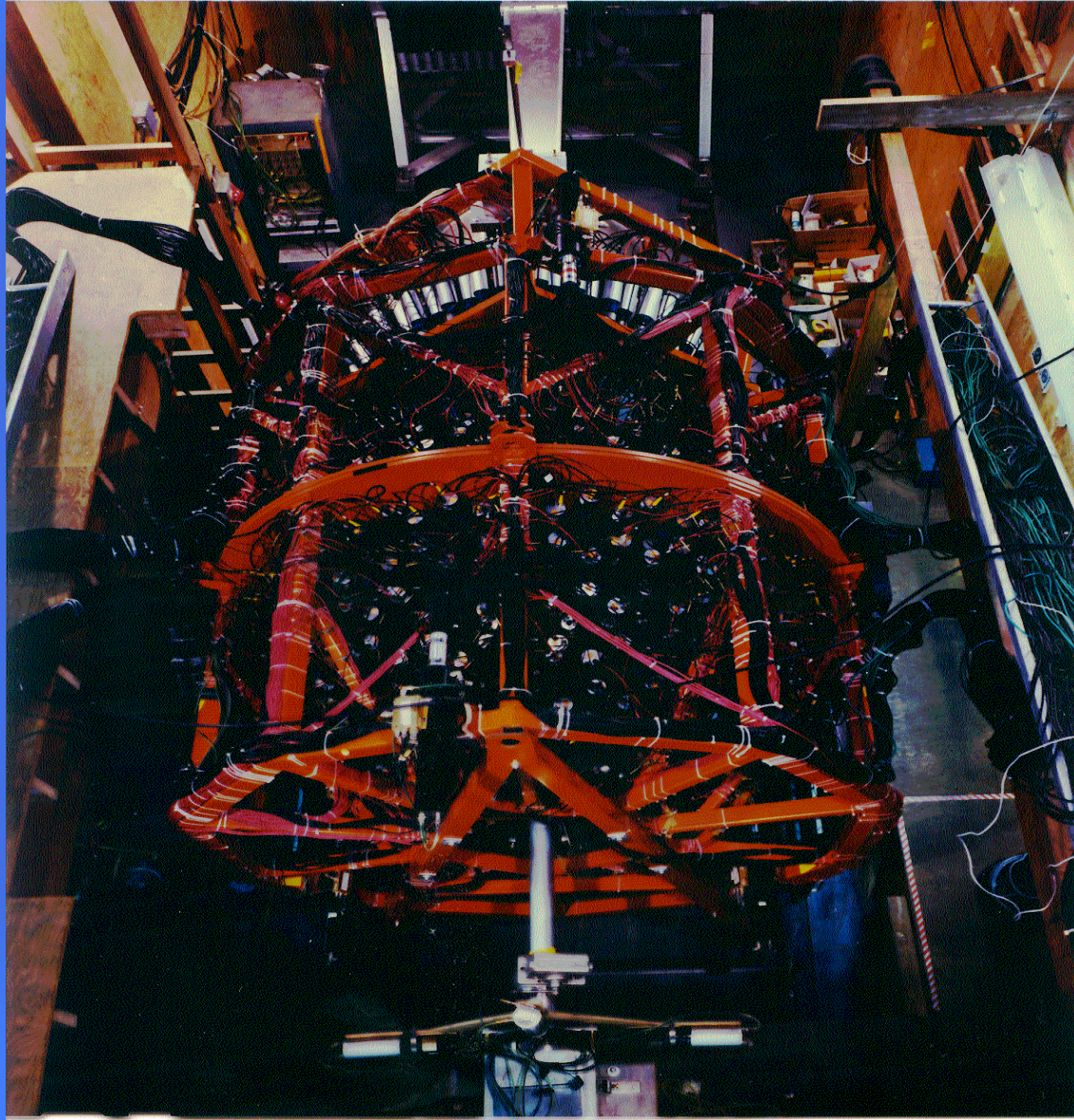
Experimental Relativistic Heavy Ion Collisions

- **Bevalac@LBL** 1974 - 1989 Plastic Ball Flow Discovered & Squeeze-Out
& Streamer 2AGeV
- **SIS@GSI** 1989-2004 2AGeV Liquid Vapour
- **AGS@BNL** 1986-1998 10AGeV Deltamatter & Kaons
- **SpS@Cern** 1987-2004 160AGeV Antihyperons & Flow

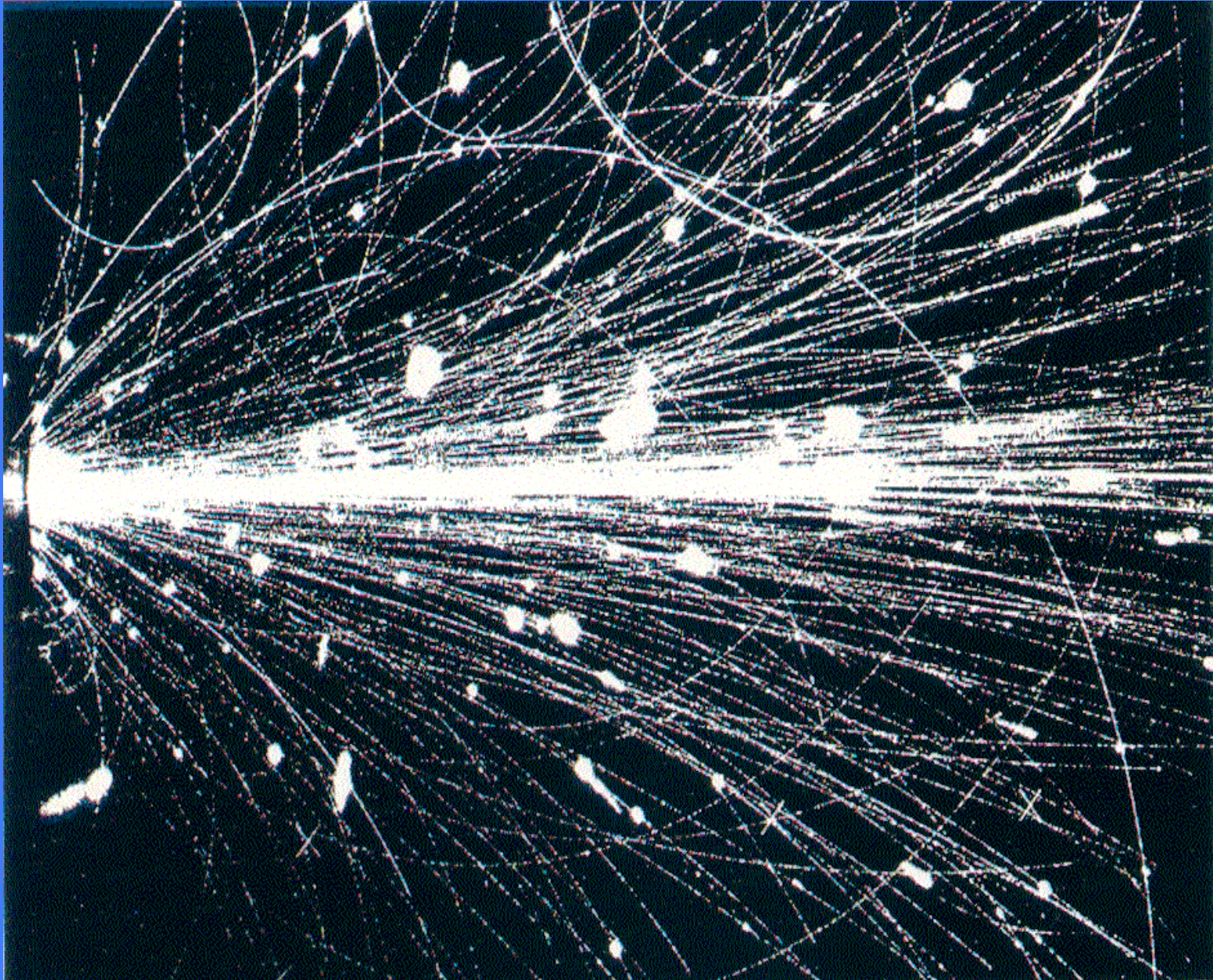
- **RHIC@BNL** 1999- 20000AGeV Jet Suppression
& Flow!

- **LHC@Cern** 2009 3 500 AGeV on 3
500 AGeV

Plastic Ball GSI-LBL 4 Pi Detector @ LBL



NA35 Streamer Chamber at SpS



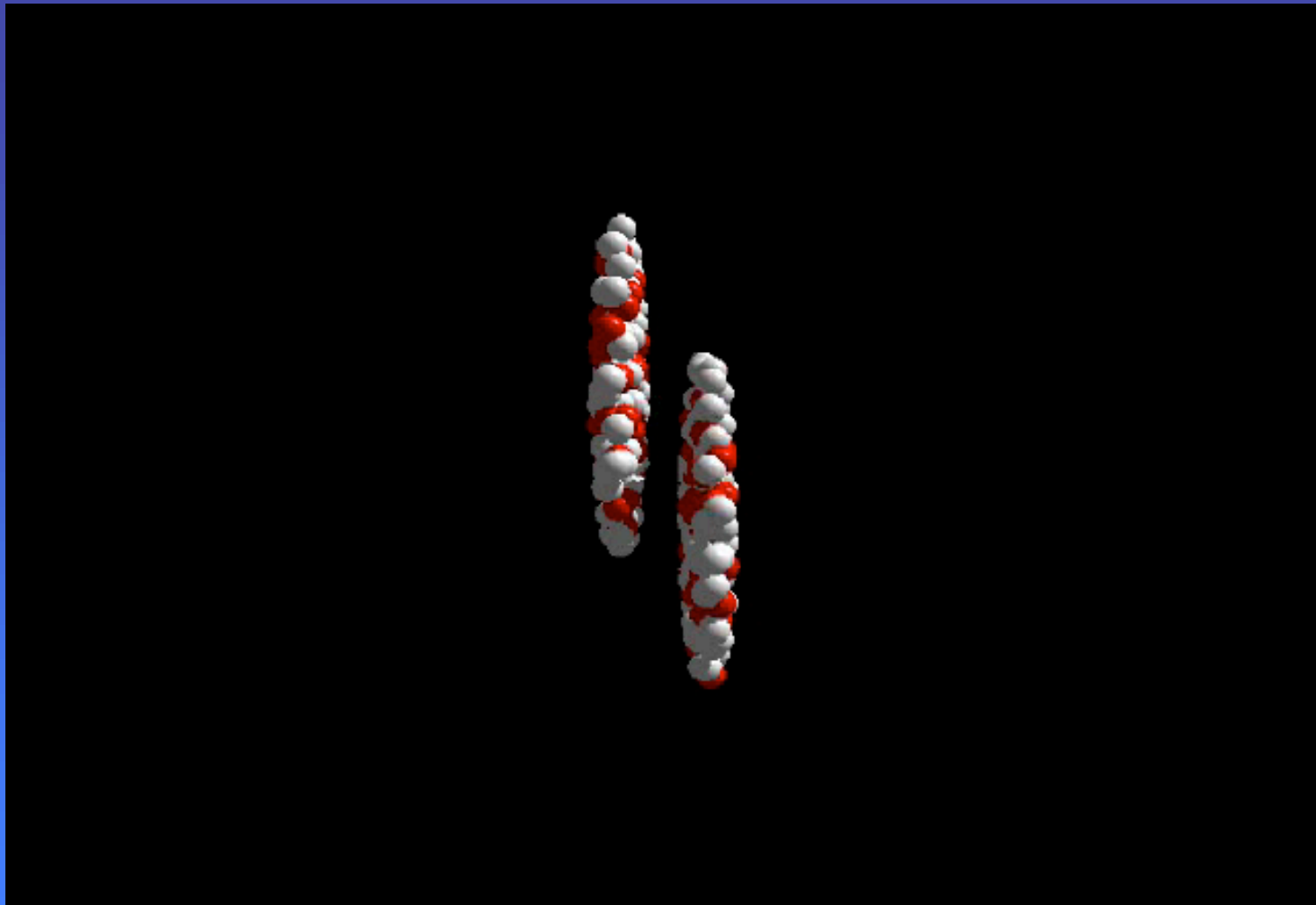


CN11-826-88

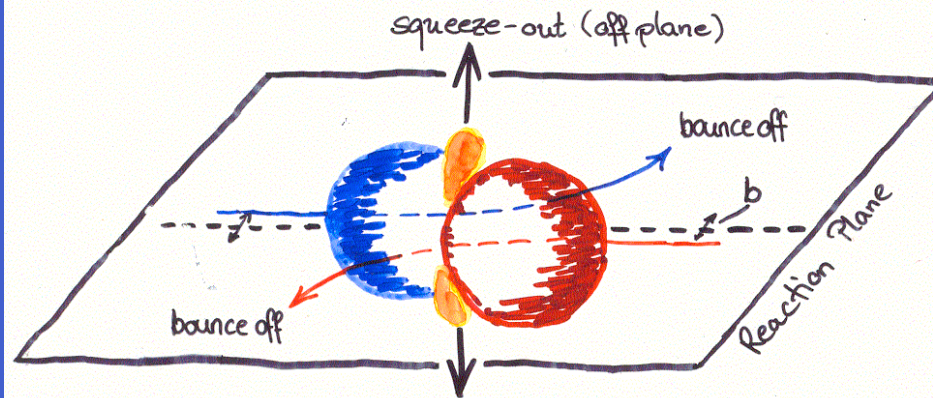
571 K'00AK 571 K'00AK 571 K'00AK 571 K'00AK

Au + Au at 200 GeV

Weber



Directed Flow

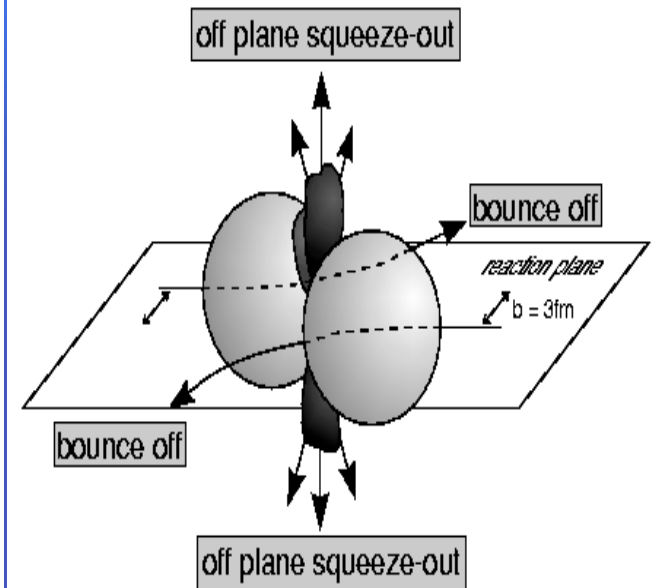
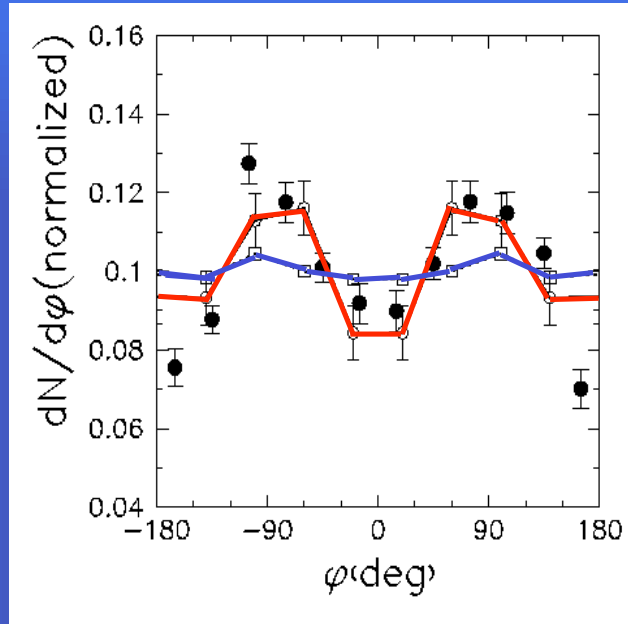
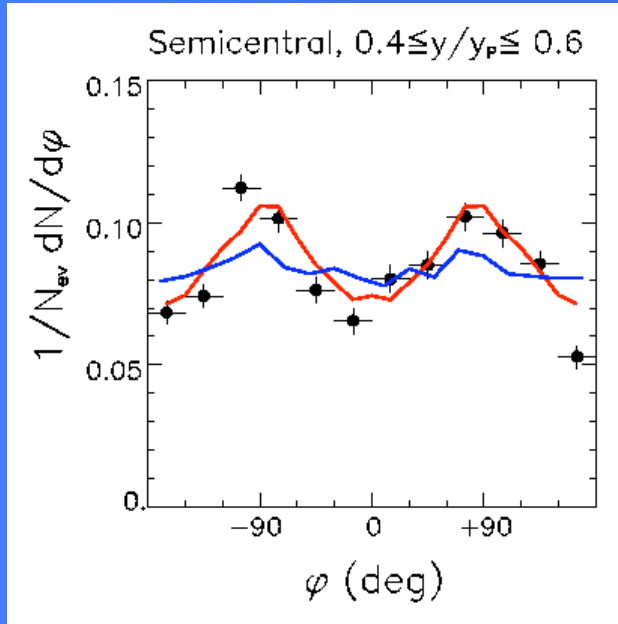


Pressure P can be measured
by the momentum p_x :

$$p_x \sim \int P(e, g) dA dt$$

High Pressure causes Squeeze-Out/v2 for p, pi, kaons, lambdas...

Data: Y. Shin et al., Phys. Rev. Lett. 81 (1998) 1576 **KAOS**



RBUU Stony Brook:
G.Q.Li et al.,
Phys. Lett. B 381 (1996)

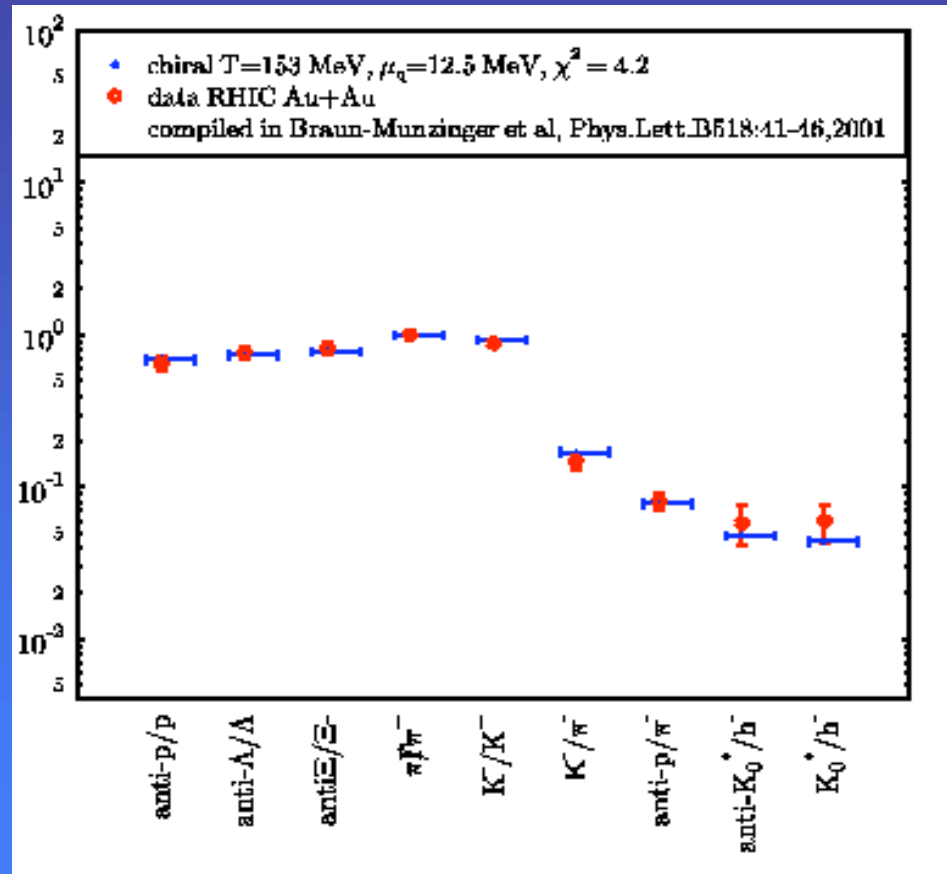
QMD Tübingen:
Z.S. Wang et al.,
Eur. Phys. J. A5 (1999) 275

Transport models:

— with K^+N potential
— no K^+N potential

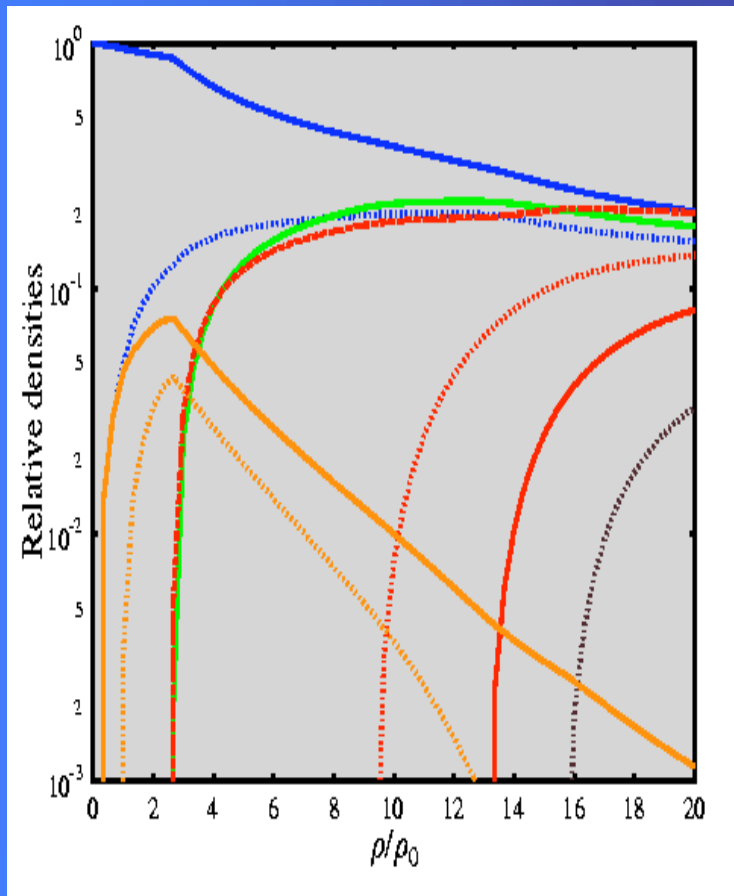
Particle ratios at RHIC-energies

$T(\text{chiral}) \sim 153 \text{ MeV}$



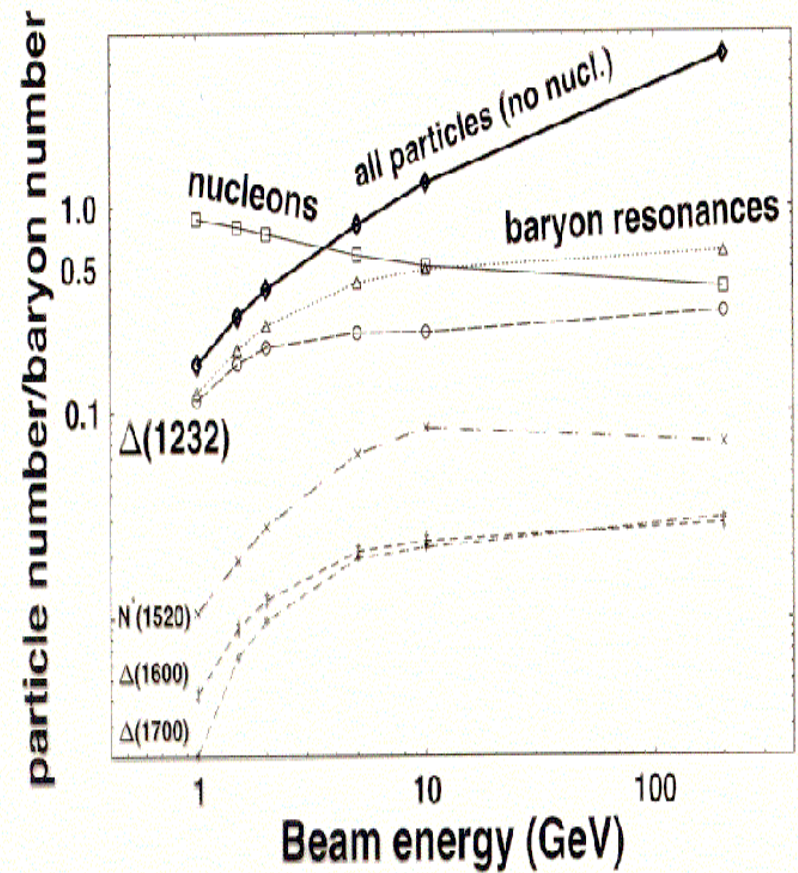
Zschesche

Particle Densities in Neutron Stars

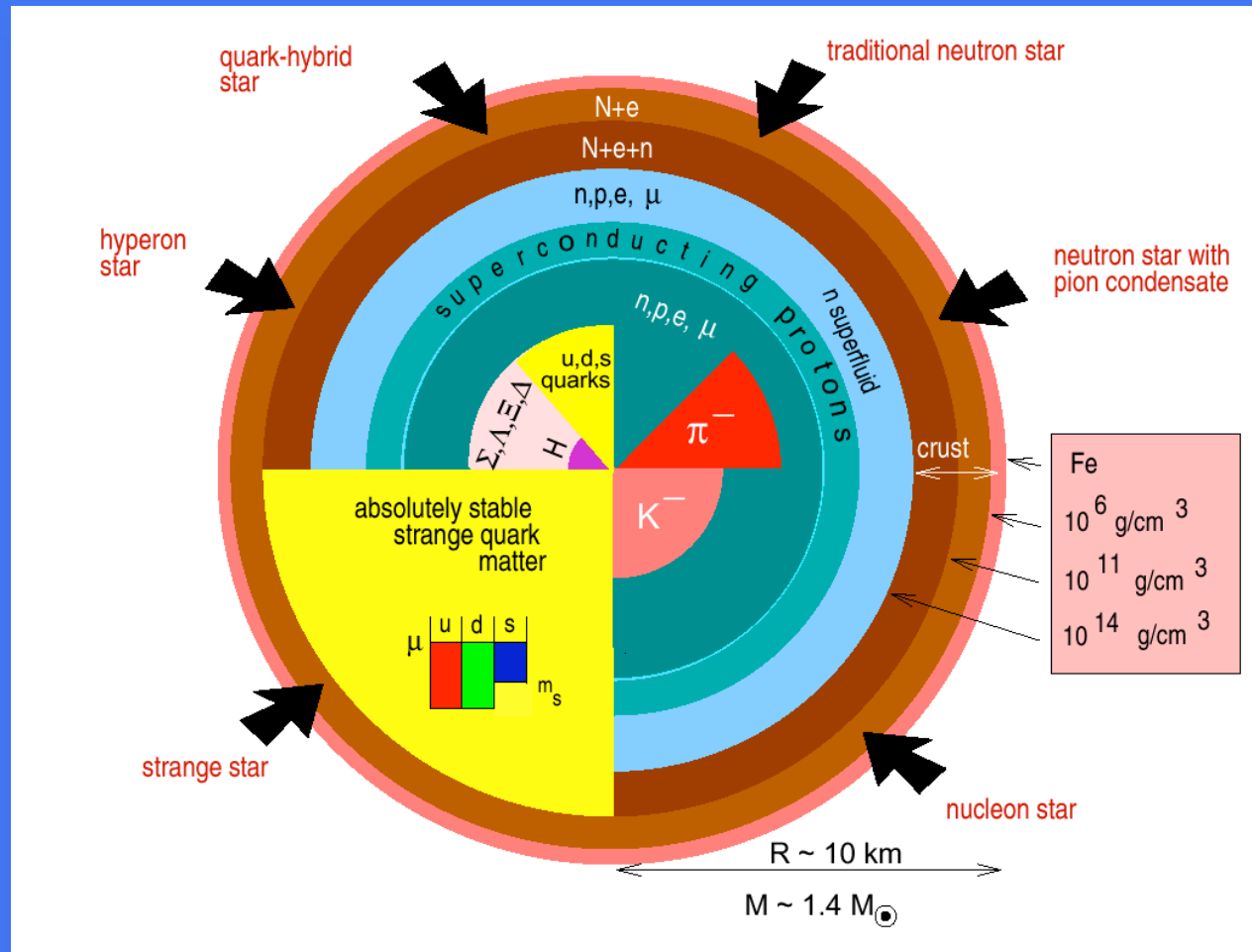


Zschesche Weber

Particles densities in Heavy Ion Collisions

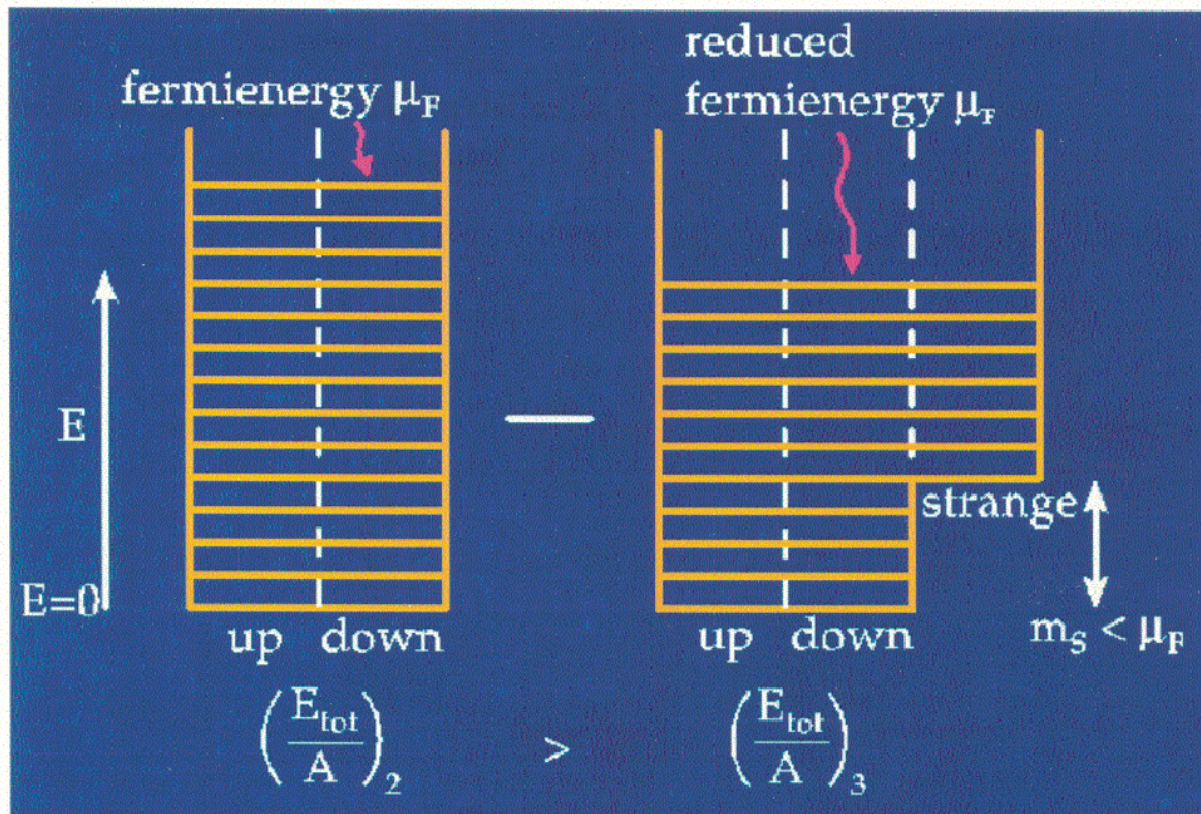


Models of Neutron Stars



"Strangeness" of dense matter ?
 In-medium properties of hadrons ?
 Compressibility of nuclear matter ?
 Deconfinement at high baryon densities ?

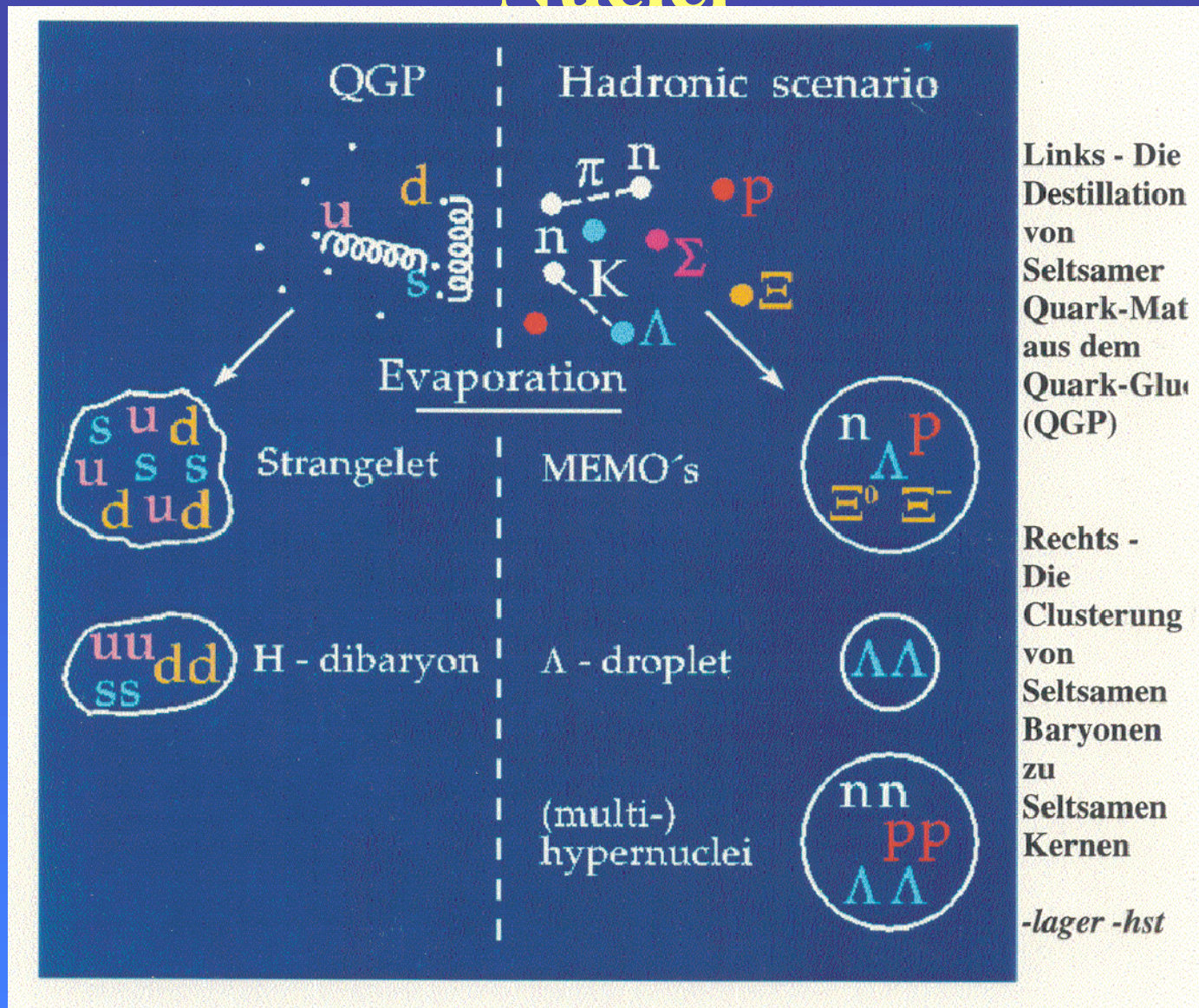
Strange Quark Matter (Strangelets) may also be stable



Ist die Masse des seltsamen Multi-Quark Objekts geringer als die von allen potentiellen Zerfallsprodukten, dann bleibt es stabil.

Die Einführung einer dritten Quarksorte und das Pauli-Prinzip wirken sich auf die Stabilität des *strangelets* günstig aus.

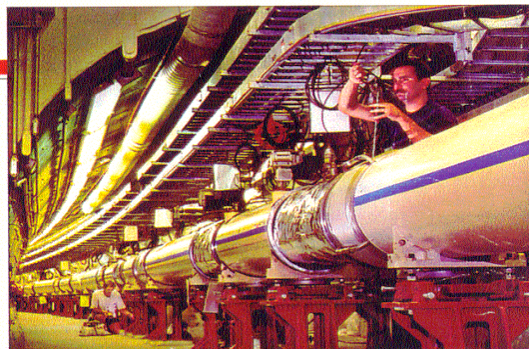
Formation of Strangelets and Strange Nuclei



TEILCHENPHYSIK

Angst vor dem großen Knall

Physiker wollen bei New York den Anfang des Universums erforschen und lösen Endzeitstimmung aus



VOR DEM ERSTEN STOSS Seit Juli flitzen Goldatome durch den unterirdischen Ringtunnel. Ab Herbst gehen sie auf Kollisionskurs

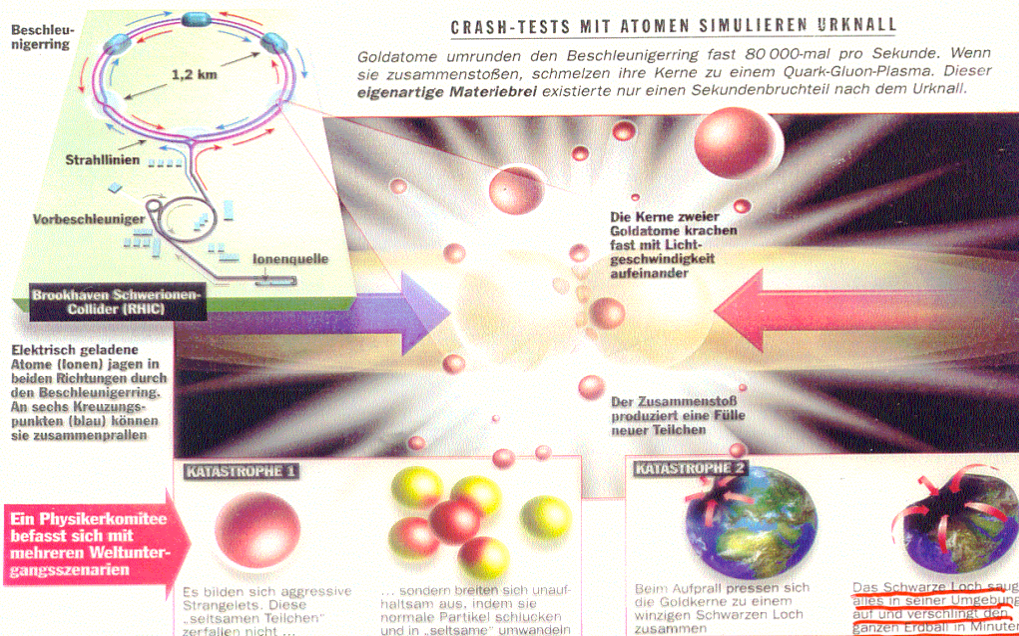
In der „Unendlichen Geschichte“ von Michael Ende breitet sich das Nichts unaufhaltsam aus. Es reißt Tiere und Pflanzen fort, verschlingt Berge und Seen – und lässt von ganz Phantasien nicht mehr als ein Sandkorn übrig. Solch ein Schicksal steht vielleicht der Erde bevor, fürchten jetzt viele Amerikaner, wenn ein neuer Teilchenbeschleuniger bei New York ab Herbst

schwere Atome aufeinander hetzt. Der Relativistische Schwerionen-Collider (RHIC) in Brookhaven lässt die Teilchen so heftig zusammenkrachen, dass sie 10 000-mal heißer als die Sonne werden. Damit wollen die Physiker Bedingungen schaffen, wie sie direkt nach dem Urknall herrschten. „Eine Kettenreaktion könnte den Planeten verschlingen“, warnte im Juli

Walter Wagner, ein weithin unbekannter Physiker auf Hawaii. Die angesehene „Sunday Times“ meldete daraufhin: „Urknall-Maschine könnte Erde zerstören.“ Seitdem versuchen die RHIC-Forscher verzweifelt, besorgte Bürger zu beruhigen. Forschungsleiter John Marburger hat sogar ein Physikerkomitee einberufen, das diesen Monat zu den Katastrophenszenarien Stellung nimmt.

CRASH-TESTS MIT ATOMEN SIMULIEREN URKNALL

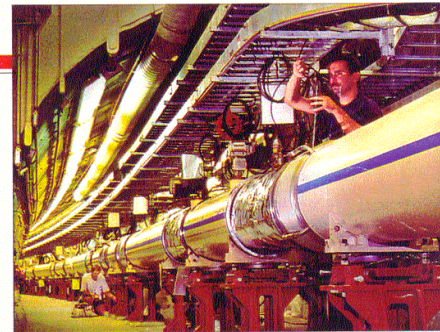
Goldatome umrunden den Beschleunigerring fast 80 000-mal pro Sekunde. Wenn sie zusammenstoßen, schmelzen ihre Kerne zu einem Quark-Gluon-Plasma. Dieser eigenartige Materiebrenn existierte nur einen Sekundenbruchteil nach dem Urknall.



TEILCHENPHYSIK

Angst vor dem großen Knall

Physiker wollen bei New York den Anfang des Universums erforschen und lösen Endzeitstimmung aus



VOR DEM ERSTEN STOSS Seit Juli flitzen Goldatome durch den unterirdischen Ringtunnel. Ab Herbst gehen sie auf Kollisionskurs

In der „Unendlichen Geschichte“ von Michael Ende breitet sich das Nichts unaufhaltsam aus. Es reißt Tiere und Pflanzen fort, verschlingt Berge und Seen – und lässt von ganz Phantasien nicht mehr als ein Sandkorn übrig.

Solch ein Schicksal steht vielleicht der Erde bevor, fürchten jetzt viele Amerikaner, wenn ein neuer Teilchenbeschleuniger bei New York ab Herbst

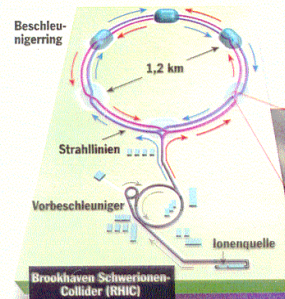
schwere Atome aufeinander hetzt. Der Relativistische Schwerionen-Collider (RHIC) in Brookhaven lässt die Teilchen so heftig zusammenknachen, dass sie 10 000-mal heißer als die Sonne werden. Damit wollen die Physiker Bedingungen schaffen, wie sie direkt nach dem Urknall herrschten.

„Eine Kettenreaktion könnte den Planeten verschlingen“, warnte im Juli

Walter Wagner, ein weithin unbekannter Physiker auf Hawaii. Die angesehene „Sunday Times“ meldete daraufhin: „Urknall-Maschine könnte Erde zerstören.“ Seitdem versuchen die RHIC-Forscher verzweifelt, besorgte Bürger zu beruhigen. Forschungsleiter John Marburger hat sogar ein Physikerkomitee einberufen, das diesen Monat zu den Katastrophenszenarien Stellung nimmt.

CRASH-TESTS MIT ATOMEN SIMULIEREN URKNALL

Goldatome umrunden den Beschleunigerring fast 80 000-mal pro Sekunde. Wenn sie zusammenstoßen, schmelzen ihre Kerne zu einem Quark-Gluon-Plasma. Dieser eigenartige Materiebrei existierte nur einen Sekundenbruchteil nach dem Urknall.



Elektrisch geladene Atome (Ionen) jagen in beiden Richtungen durch den Beschleunigerring. An sechs Kreuzungspunkten (blau) können sie zusammenprallen



Ein Physikerkomitee befasst sich mit mehreren Weltuntergangsszenarien

KATASTROPHE 1

Es bilden sich aggressive Strangelets. Diese „seitsamen Teilchen“ zerfallen nicht ...

... sondern breiten sich unaufhaltsam aus, indem sie normale Partikel schlucken und in „seitsame“ umwandeln

KATASTROPHE 2

Beim Aufprall pressen sich die Goldkerne zu einem winzigen Schwarzen Loch zusammen

Das Schwarze Loch saugt mit in seiner Umgebung auf und verschlingt sich, ganzen Erdball in Minuten

New Dimensions in High Energy Physics

Observables of LXDs

Observables

Observable consequences of Large eXtra Dimensions:

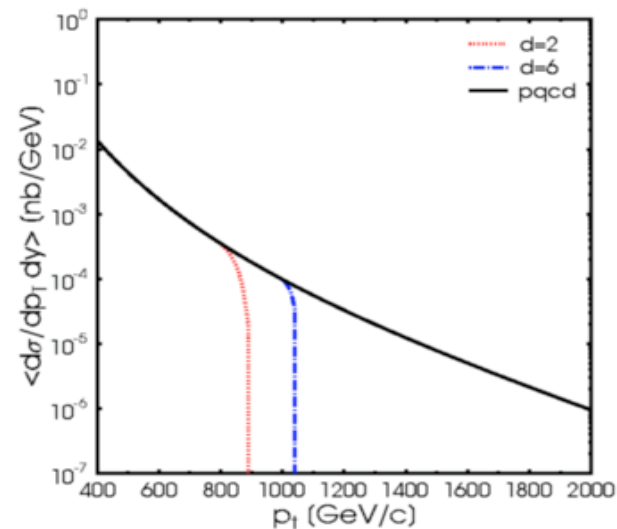
- classical mechanics:
 - Modification of Newtons law
 - cosmology & astrophysics:
 - Early universe
 - Dark matter
 - Supernovae
 - Particle physics
 - real and virtual gravitons
 - Mono-jets, missing energy
 - Modification of SM cross-sections
 - Collaps of matter to black holes
-

New Dimensions in High Energy Physics

Observation of Black Holes

“How can we observe the black holes?”

- Cutoff in jet-spectrum at masses $> M_f$ and Additional jets by emitted particles
- Ionisation by charged black holes
- Missing Energy
- Modification of particle spectra due to evaporation



... Anchoadoqui *et al* ... Giddings ... Landsberg *et al* ...
... Sarcevic *et al* ... Ringwald ... Voloshin ...

lanl.arXiv : 94 total for abs=(tev AND (black AND hole))
