Quark-Gluon Plasma

Nuevo estado de la materia (10^{-6} s tras Big-Bang) en el que quarks y gluones no estan confinados en hadrones, sino que se mueven libremente en una 'sopa' o plasma.

Las condiciones de temperatura y densidad de materia para la existencia de este estado son: T $\sim$ 150-200 MeV (10^5 T_{Sol}), $\epsilon \sim 1$ GeV/fm^3 ($7\epsilon_{had}$).

Programa Experimental en Cern:

1986 ^{16}O a 60 y 200 GeV/c por nucleón

1990 ^{32}S a 200 GeV/c por nucleón

1994 ^{208}Pb a 158 GeV/c por nucleón

2006 Colisiones ^{208}Pb–^{208}Pb a $\sqrt{s}$= 5.5 TeV/nucleón en próximo acelerador, LHC.

Este año comienza programa experimental en RHIC (Relativistic Heavy Ion Collider), Brookhaven.

Colisionará ^{197}Au–^{197}Au a $\sqrt{s}$= 200 GeV/nucleón.

Fotones Directos

- Señal muy limpia de QGP
- Producidos en plasma y se detectan inalterados
- Información sobre T_{inic} (radiación en equilibrio térmico)
- Inconveniente: Gran contaminación de desintegración hadrones (π^0)

QGP

- q-g Compton Scattering
- Aniquilación q-q
- q $\rightarrow \gamma$ q

Interacciones hadrónicas

- Desintegración mesones

Fotones Directos

Mesones Vectoriales

Mesones vectoriales $(\rho, \omega, \eta, \phi)$ interaccionan electromagnéticamente, llevando información directa de primeros estadios de colisión.

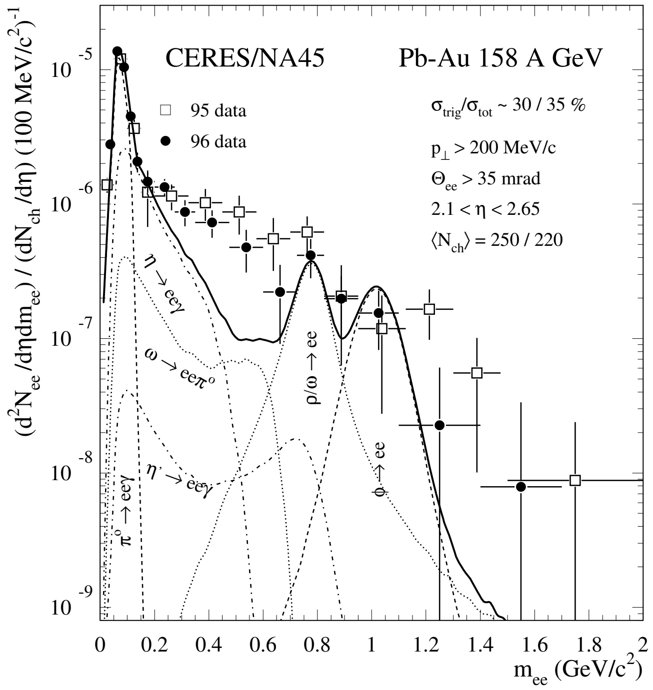
Ventaja sobre fotones directos: mesones (decaen en dileptones) llevan masa invariante $\Rightarrow$ distingue proceso de producción.

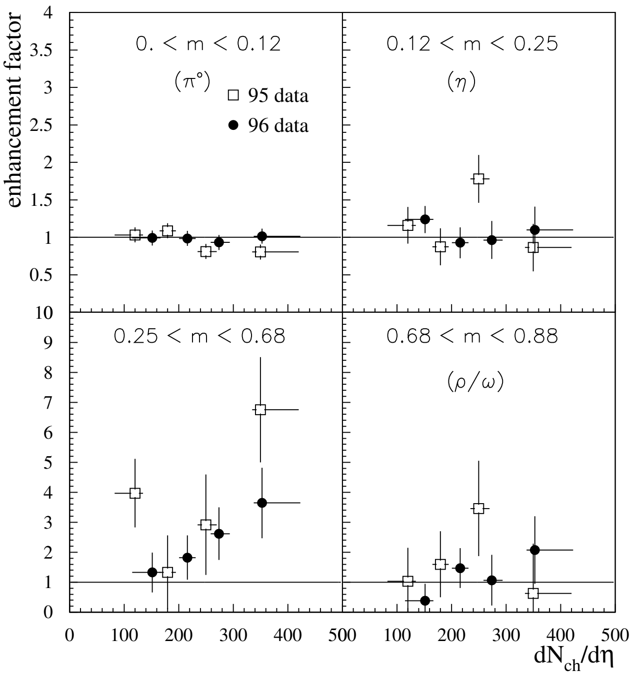
QGP

- Mesones vectoriales se forman al principio de colisión y decaen rápidamente (1-2 fm/c), antes de que bola de plasma comience a hadronizar $\Rightarrow$ la forma de las resonancias se 'diluye'.

Interacciones hadrónicas

- Distribución en masa invariante de dileptones corresponde a la suma de contribuciones de desintegración de hadrones.





Explicación de producción adicional en el marco de interacciones hadrónicas (aniquilaciones π–π en gas hadrónico) no da cuenta de la forma del exceso.

Aumento de Extrañeza

Aumento de producción quarks s frente a u y d, respecto a interacciones hadrónicas.

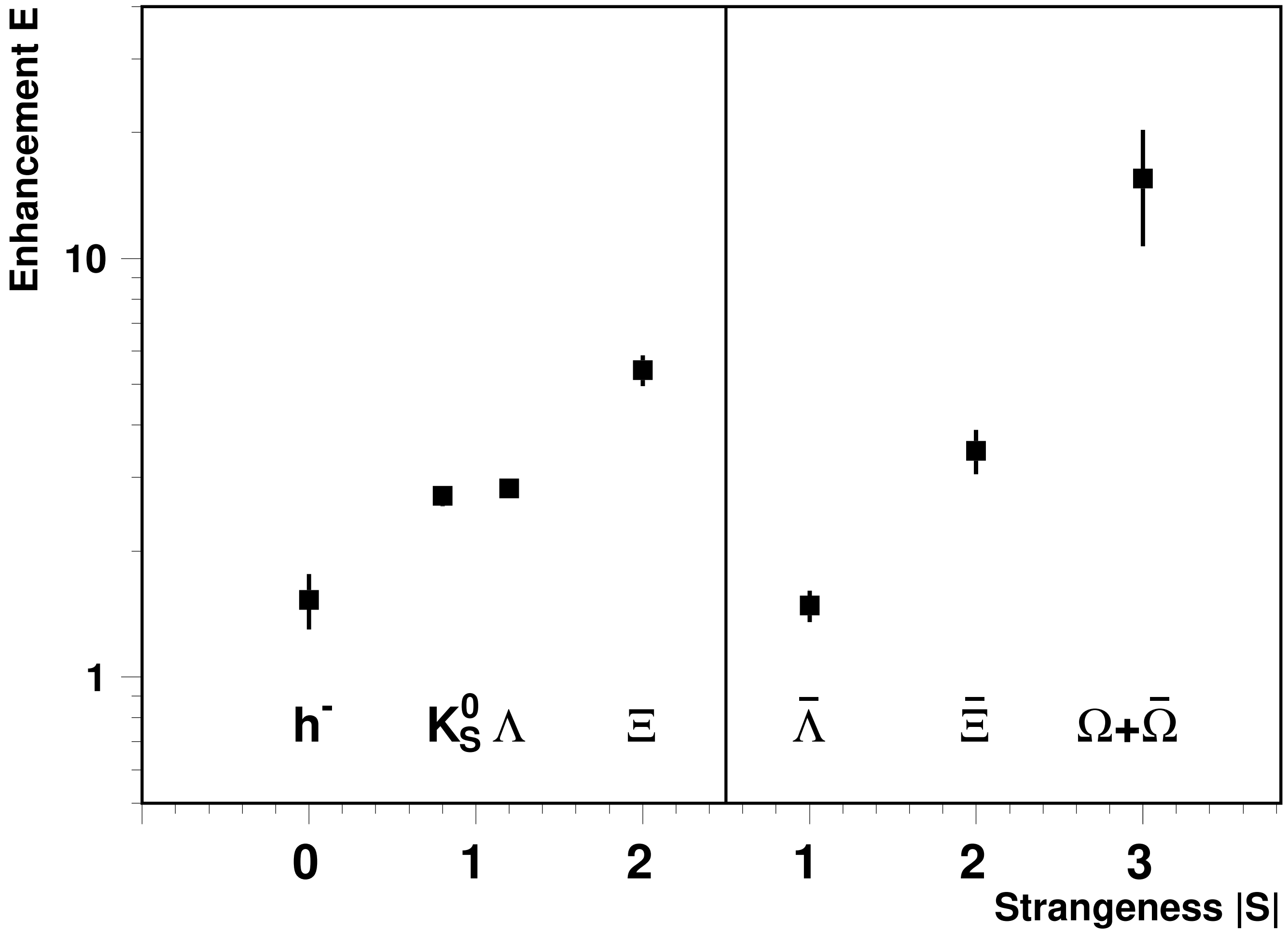
QGP

- Abundancia de gluones: gg $\rightarrow s\bar{s}$
- Pauli blocking de quarks u,d favorece creación $s\bar{s}$ frente a $u\bar{u}$,$d\bar{d}$
- Mayor producción de bariones multiextraños en QGP frente a interacciones hadrónicas.
- Equilibrio químico se alcanza antes en QGP (5-10 fm/c) que en gas hadrónico (100 fm/c) $\rightarrow$ int. hadrónicas demasiado lentas para competir con la rápida expansión de bola de plasma

Interacciones hadrónicas

- Producción de partículas multiextrañas suprimida por altas masas y secciones eficaces pequeñas

Aumento de Extrañeza



Supresión de J/Ψ

Supresión de estados ligados $c\bar{c}$ (J/Ψ, χ_c)

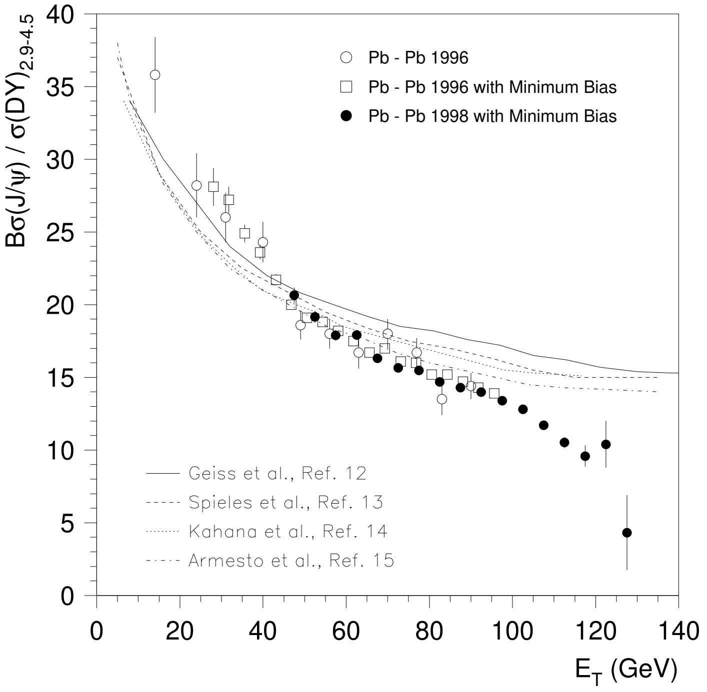
QGP

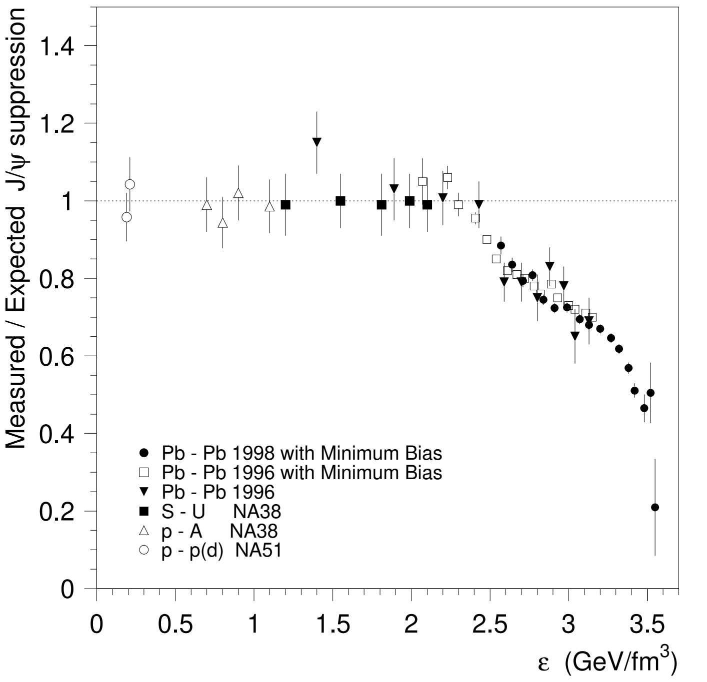
- Creación de quarks $c, \bar{c}$ en los primeros momentos de la colisión (quark c pesado)
- Apantallamiento de color en el plasma de quarks y gluones, que previene formación $c\bar{c}$.

Interacciones hadrónicas

- Supresión de J/Ψ ocurre por interacciones del estado $c\bar{c}$ con hadrones del entorno.

Se estudia su producción a través de J/Ψ $\rightarrow \mu^+\mu^-$





En interacciones centrales ($b \sim 2 - 8$ fm) supresión de J/Ψ respecto al contínuo es 20-25 %.

Correlaciones Bose-Einstein

Basado en interferometría de pares de partículas correlacionadas, se puede medir tamaño de bola de plasma y el tiempo de expansión.

Resultados muestran que en primeros momentos de colisión, sistema, denso y caliente, tiene $\epsilon \sim$ 3-4 GeV/fm^3 y T$\sim$ 240 MeV

Resumen – Conclusiones

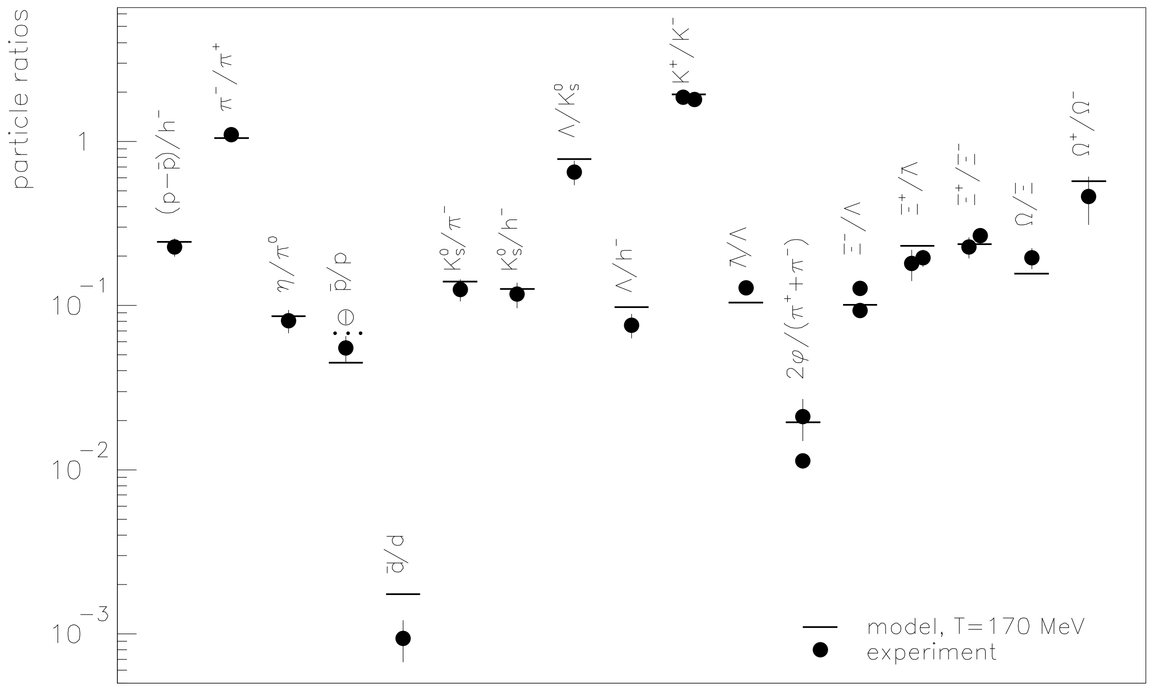
Las propiedades del estado deconfinado (QGP) formado son aún desconocidas.

Su estudio es tarea ahora de colisionadores RHIC y LHC, con Temperaturas y Densidades de Energía muy superiores.

Del QGP a la materia

- Dos núcleos colisionan, su energía se materializa en quarks y gluones libres, que interactúan fuertemente.
- Este estado tiene $\epsilon \sim$ 3-4 GeV/fm^3 y T$\sim$ 240 MeV. Se suprime J/Ψ (prueba deconfinamiento), aumenta extrañeza, se emiten fotones térmicos.
- El plasma se expande, se enfría y se diluye.
- A $\epsilon \sim$ 1 GeV/fm^3, T$\sim$ 170 MeV, quarks y gluones condensan en hadrones. Se establecen abundancias de cada tipo de partículas.
- A $\epsilon \sim$ 50 MeV/fm^3, T$\sim$ 110 MeV, hadrones no interactúan más (v. expansión $\sim$ 0.55c). El sistema se expande hasta que partículas llegan a detectores.

Producción de hadrones



Equilibrio Químico

Producción de hadrones en interacciones centrales Pb + Pb comparados con un sistema descrito estadísticamente por Gran Canónica, con parámetros ajuste T=170 MeV, $\mu_B = 280$ MeV.