

Mecânica Estadística

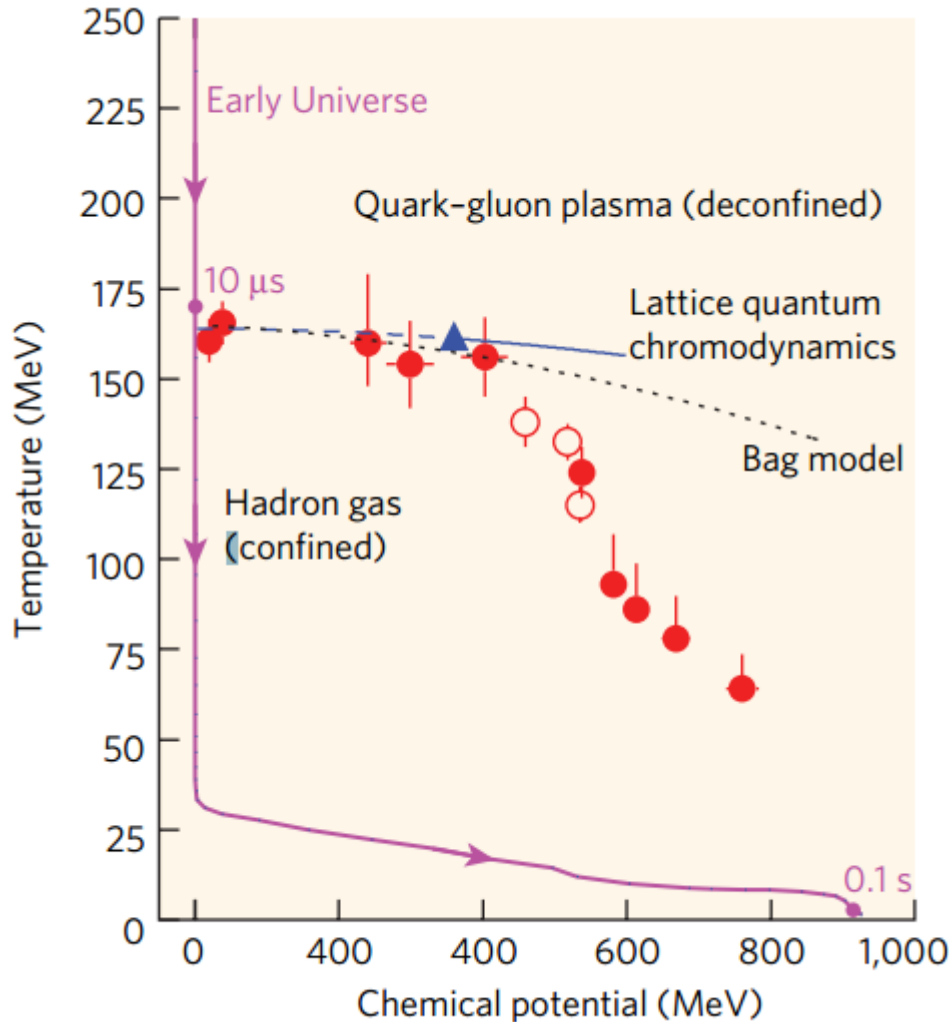
2015

Charla 3: sopa

Sopa de quarks y gluones



Sopa de quarks y gluones



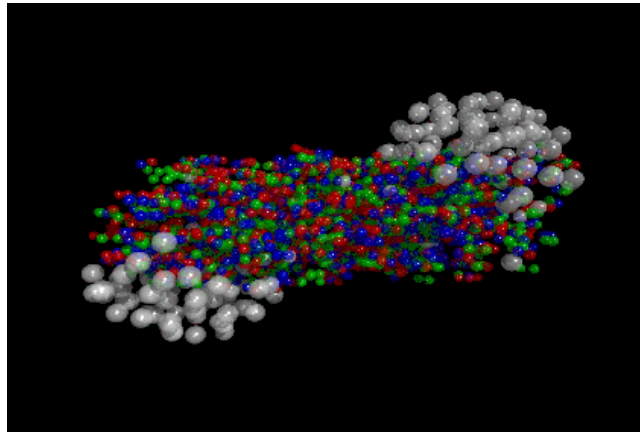
$$100 \text{ MeV} = 116 \times 10^{10} \text{ K}$$

$$T_{\text{centro del sol}} = 11 \times 10^6 \text{ K}$$



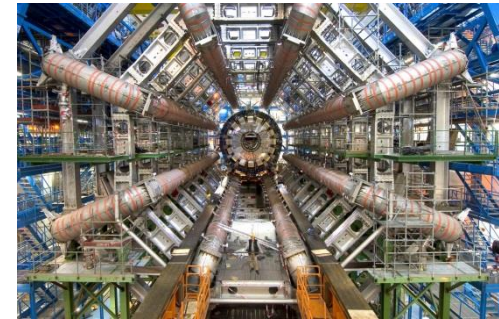
Sopa de quarks y gluones

- ➔ 2000. La combinación de siete experimentos del Programa de Iones Pesados del CERN que se inició en 1994.
- ➔ Los iones pesados son acelerados por el colisionador SPS (Super Proton Synchrotron) hasta una energía de 160 GeV por nucleón, lo que para un ión de plomo totaliza 33 TeV. Las colisiones plomo contra plomo y entre otros iones fueron estudiadas por 7 detectores llamados NA44, NA45/CERES, NA49, NA50, NA52/NEWMASS, WA97/NA57 y WA98.



Sopa de quarks y gluones

➔ El plasma de quarks y gluones fue redescubierto en 2004 usando colisiones de iones de oro a 200 GeV, tanto oro contra oro (Au+Au) como deuterio contra oro (D+Au), en el **RHIC** (Colisionador Relativista de Iones Pesados) del Laboratorio Nacional de Brookhaven, en Estados Unidos, y también en 2011 en el **LHC** (Gran Colisionador de Hadrones) del CERN, gracias a las colisiones de iones de plomo, tanto plomo contra plomo (Pb+Pb) como protones contra plomo (p+Pb), utilizando el detector específico llamado ALICE y los dos grandes detectores CMS y ATLAS. En las colisiones del LHC se ha llegado a alcanzar una temperatura de 5,5 billones de grados centígrados, la temperatura más alta lograda en un laboratorio de manera controlada (esto es más de 100 mil veces la temperatura que existe en el centro del Sol). Estas temperaturas son similares a las del universo cuando tenía una décima de microsegundo.



➔ A. Adare et al. (PHENIX Collaboration). Enhanced Production of Direct Photons in Au+Au Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV and Implications for the Initial Temperature

Phys. Rev. Lett. 104, 132301 (2010)



Sopa de quarks y gluones

gas ultrarelativista (fermiones-bosones)

$$P = \frac{1}{3} \frac{E}{V} \approx \frac{1 \text{ GeV}}{f \text{ m}^3} \approx 0,52 \times 10^{30} \text{ bar}$$

$$P \approx 0,52 \times 10^{30} \text{ bar} = 0,52 \times 10^{35} \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$P = 0,52 \times 10^{35} \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \rho g h \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \frac{\text{m}}{\text{seg}^2} \text{ m}$$

$$\rho_{\text{agua}} = \frac{10^3 \text{ kg}}{\text{m}^3}$$



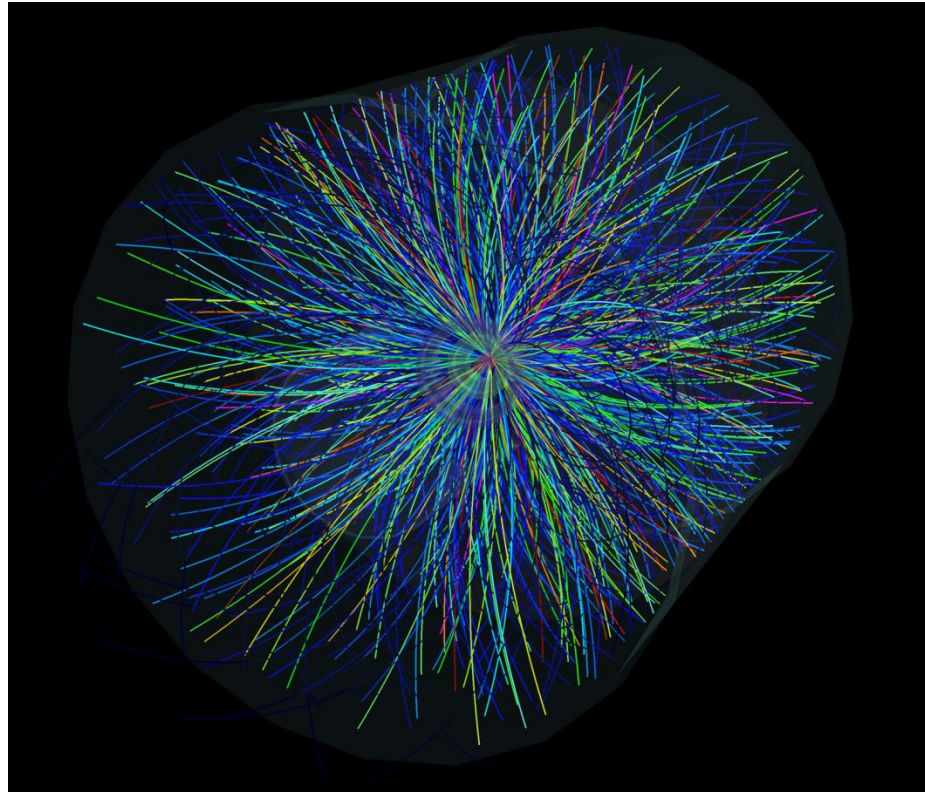
$$h \approx 10^{31} \text{ m} \approx 10^{28} \text{ km}$$

$$g = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}$$

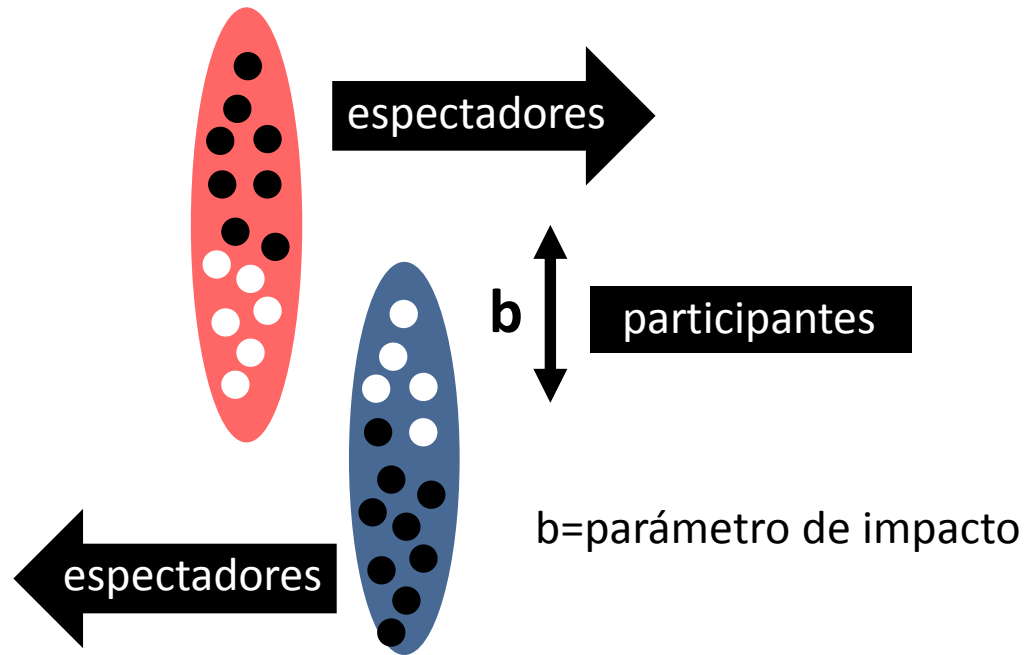
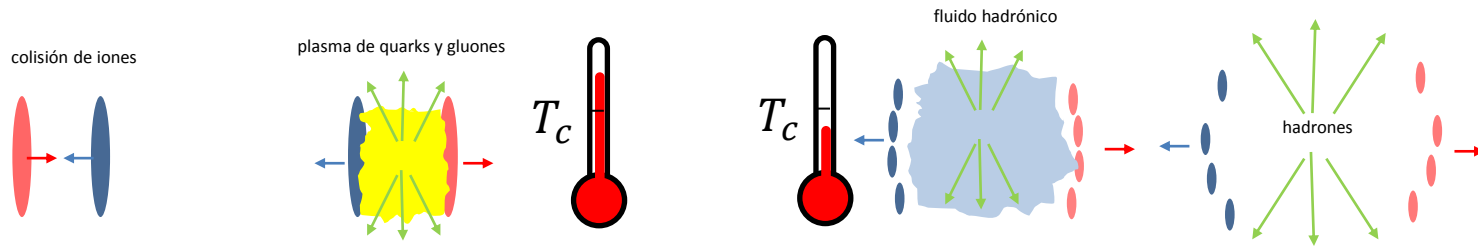
$$\text{sistema solar} \approx 150 \times 10^6 \text{ km}$$

Sopa de quarks y gluones

$$\tau \approx \frac{2R}{c} \approx \frac{2 \times 10^{-15} \text{ m}}{3 \times 10^8 \text{ m/seg}} \approx 10^{-23} \text{ seg}$$

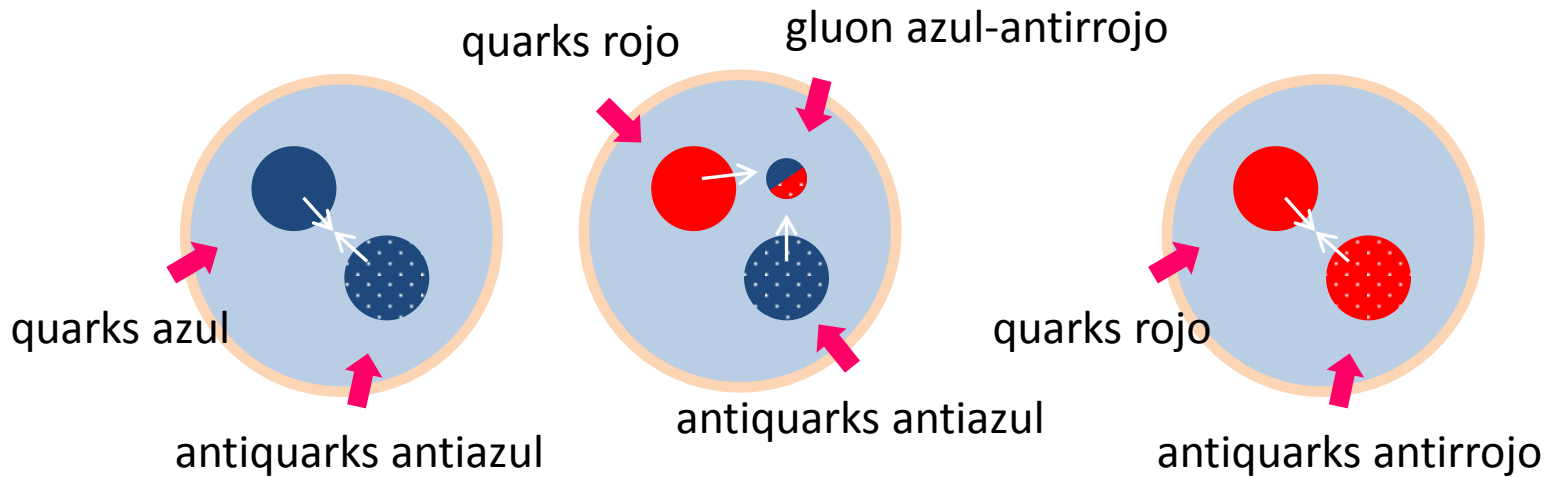


Sopa de quarks y gluones



Quarks y gluones-libertad asintótica

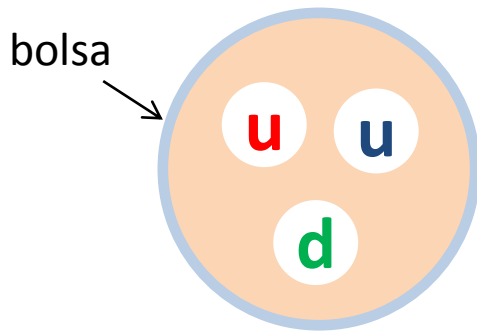
→ meson



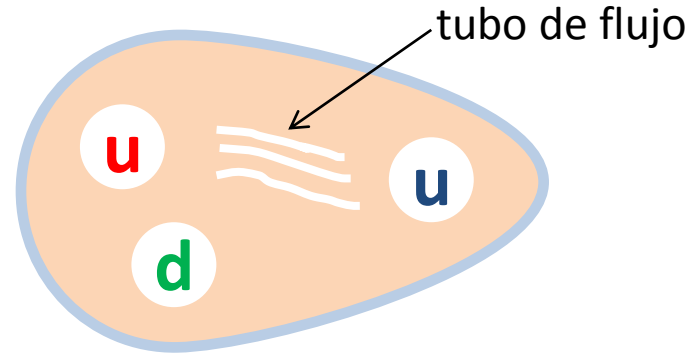
Superposición de 3 estados cuánticos
azul-antiazul, verde-antiverde, rojo antirrojo



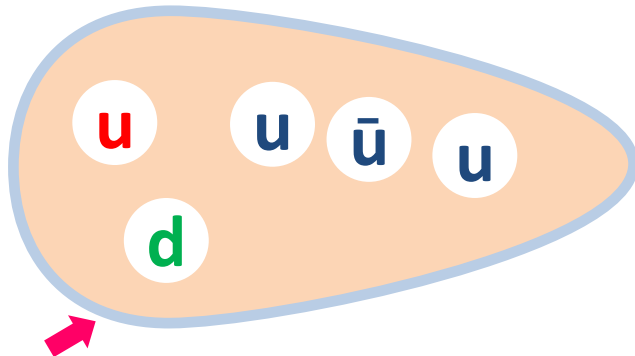
Confinamiento de quarks-modelo de bolsa



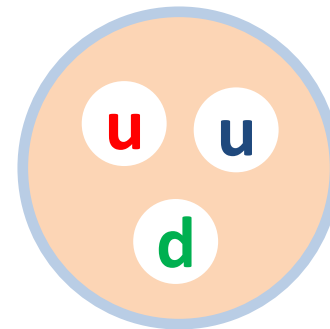
los quarks pueden moverse libremente dentro de los protones



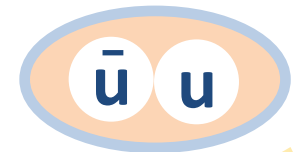
Si uno intenta tirar de un quark hacia afuera «estira la bolsa»



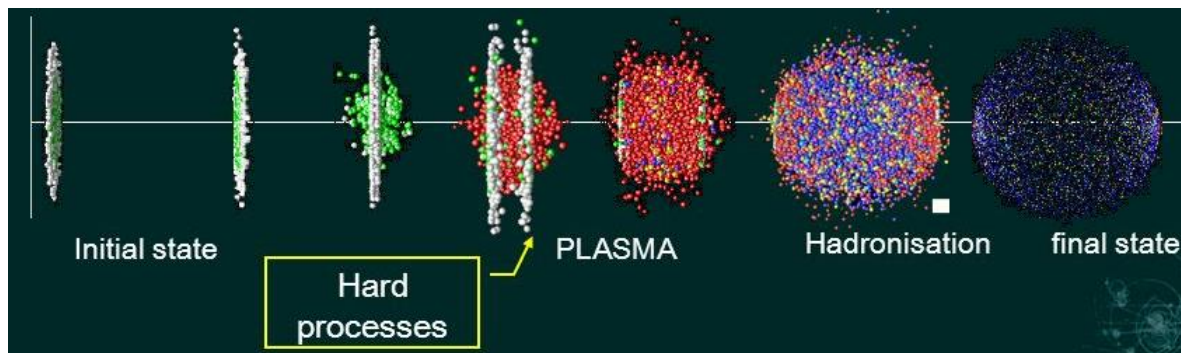
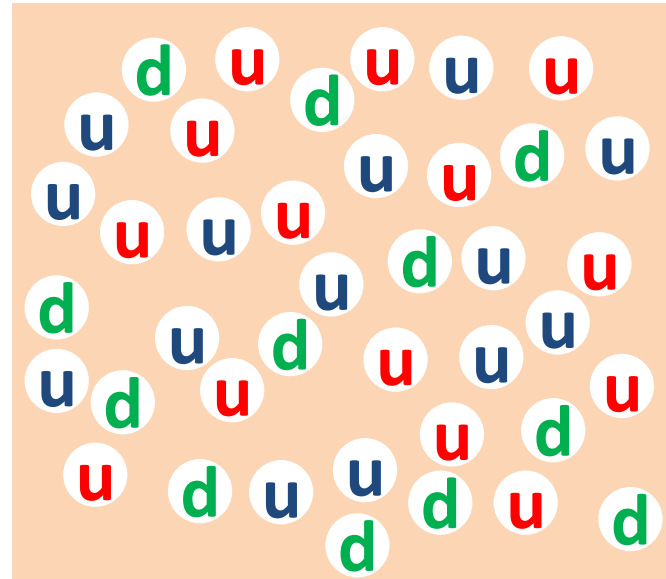
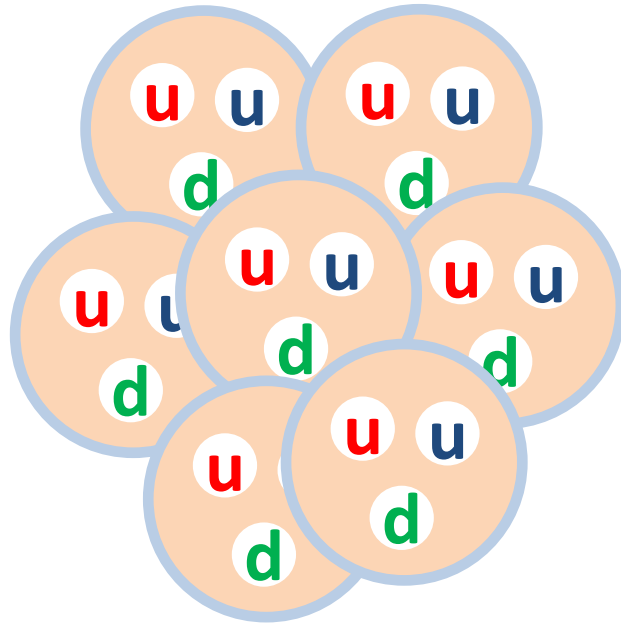
si la energía necesaria para producir una separación excede en mucho a la energía de producción de un par quark-antiquark



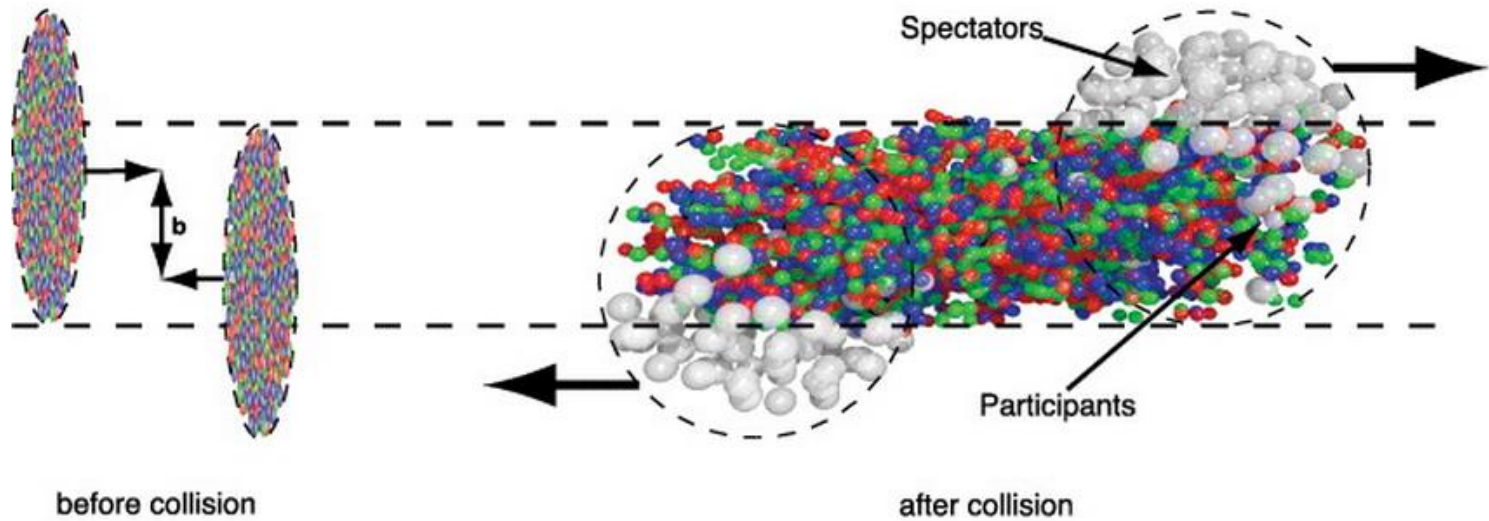
chorro de mesones



Sopa de quarks y gluones



Sopa de quarks y gluones



Quarks y gluones

$$(r\bar{b} + b\bar{r})/\sqrt{2}$$

$$(r\bar{g} + g\bar{r})/\sqrt{2}$$

$$(b\bar{g} + g\bar{b})/\sqrt{2}$$

$$(r\bar{r} + b\bar{b})/\sqrt{2}$$

$$-i(r\bar{b} - b\bar{r})/\sqrt{2}$$

$$-i(r\bar{g} - g\bar{r})/\sqrt{2}$$

$$-i(b\bar{g} - g\bar{b})/\sqrt{2}$$

$$(r\bar{r} + b\bar{b} - 2g\bar{g})/\sqrt{6}$$

octeto de color

$$(r\bar{r} + b\bar{b} + g\bar{g})/\sqrt{3}$$

estado singlete

$$g_G = 2 \times 8 = 16$$

polarización combinaciones

$$p \uparrow \rangle = \sqrt{\frac{1}{18}} [u \uparrow u \downarrow d \uparrow \rangle + u \downarrow u \uparrow d \uparrow \rangle - 2u \uparrow u \uparrow d \downarrow \rangle + u \uparrow d \uparrow u \downarrow \rangle + u \downarrow d \uparrow u \uparrow \rangle - 2u \uparrow d \downarrow u \uparrow \rangle + d \uparrow u \uparrow u \downarrow \rangle + d \uparrow u \downarrow d \uparrow \rangle - 2u \uparrow u \uparrow d \downarrow \rangle \times \text{color}]$$

$$g_Q = 2 \times 3 \times 2 = 12$$

spin color sabor (u,d)

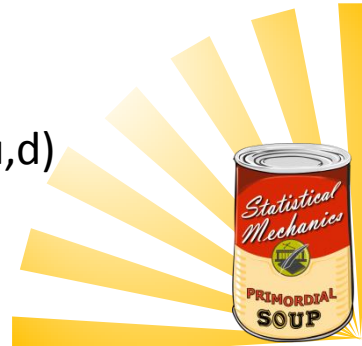


Diagrama de fase

(unidades naturales)

$$p_G = \frac{1}{3} \frac{U}{V} = g_G \frac{\pi^2}{90} T^4 \quad \text{gas ultrarelativista (bosones-fotones)}$$

$$g_G = 2 \times 8 = 16$$

$$p_Q = \frac{1}{3} \frac{U}{V} = g_Q \frac{1}{3} T^4 \left[\frac{7\pi^2}{120} + \frac{1}{4} \left(\frac{\mu}{T} \right)^2 + \frac{1}{8\pi^2} \left(\frac{\mu}{T} \right)^4 \right] \quad \text{gas ultrarelativista (fermiones)}$$

$$g_Q = 2 \times 3 \times 2 = 12$$

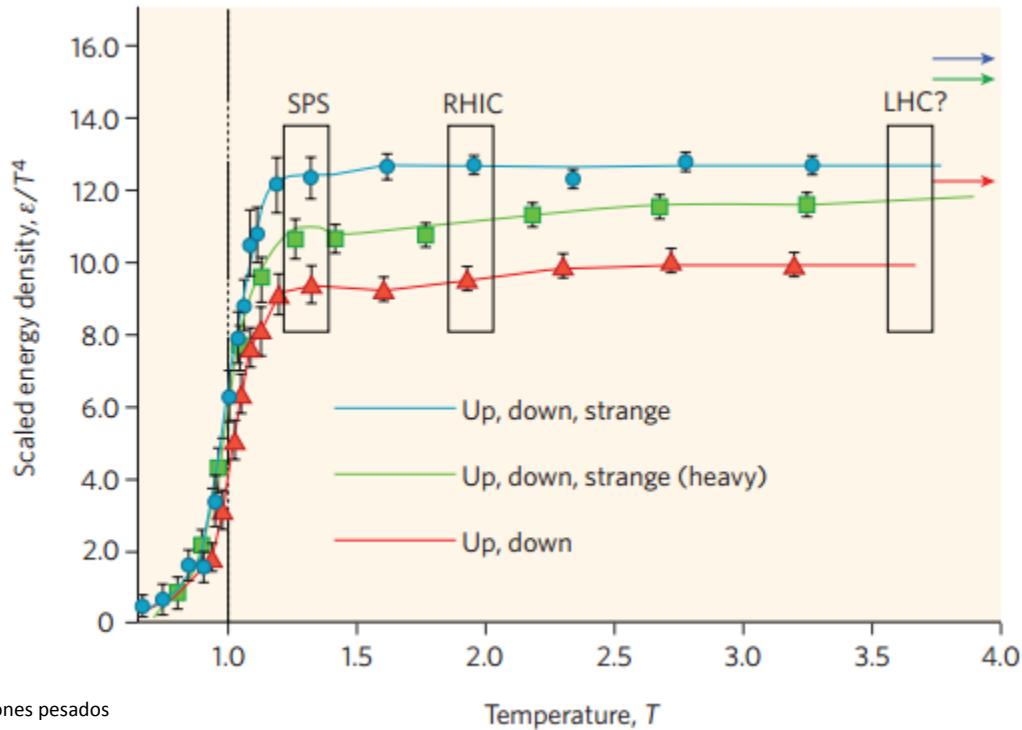
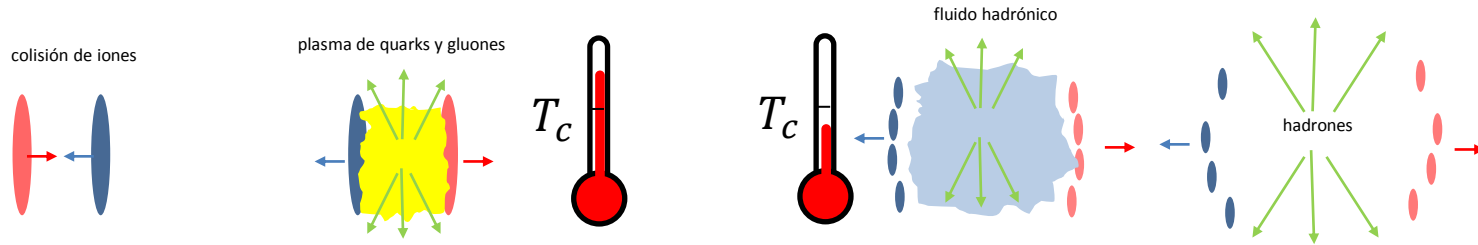
para obtener el potencial químico de los quarks usamos

$$n = \frac{N}{V} = \frac{g_Q}{6} T^3 \left[\frac{\mu}{T} + \frac{1}{\pi^2} \left(\frac{\mu}{T} \right)^3 \right]$$

$$n_{nuc} = \frac{1}{3} n$$



Plasma de quarks-gluones



SPS=super sincrotrón de protones
 RHIC=colisionador relativista de iones pesados
 LHC= gran colisionador de hadrones

Diagrama de fase

para obtener el potencial químico de los bariones (núcleos)

$$n = \frac{N}{V} = \frac{g_Q}{6} T^3 \left[\frac{\mu}{T} + \frac{1}{\pi^2} \left(\frac{\mu}{T} \right)^3 \right]$$

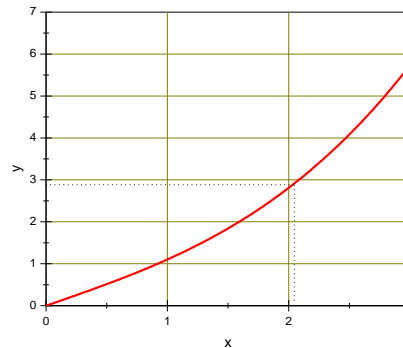
$$n_{nuc} = \frac{1}{3} n$$

hacemos el siguiente cambio de variables

$$x = \mu/T \quad y = \frac{18 n_{nuc}}{g_Q T^3}$$

con $n_{nuc} = 0,85 fm^{-3}$, $T \approx 150 MeV$

$n_{nuc} \approx 5$ veces la densidad nuclear



$$y \approx 2,9$$

$$x \approx 2,05$$

$$\mu \approx 300 MeV$$

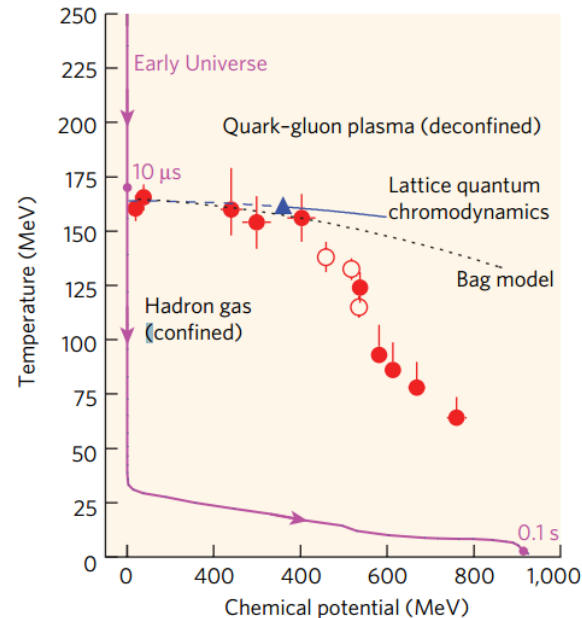


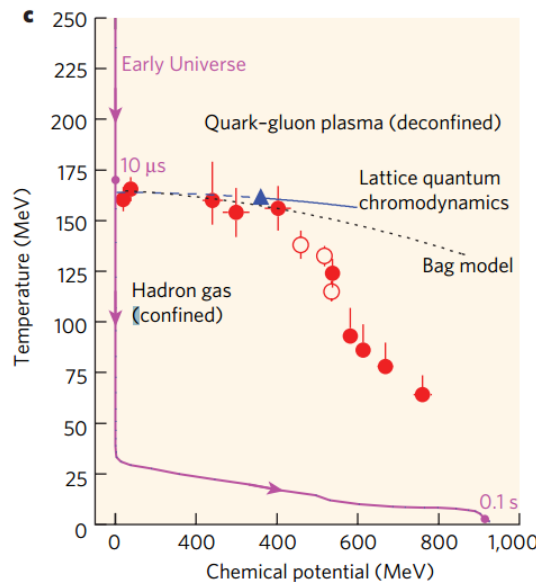
Diagrama de fase

$$p_G = \frac{1}{3} \frac{U}{V} = g_G \frac{\pi^2}{90} T^4 \quad g_G = 2 \times 8 = 16$$

$$p_Q = \frac{1}{3} \frac{U}{V} = g_Q \frac{1}{3} T^4 \left[\frac{7\pi^2}{120} + \frac{1}{4} \left(\frac{\mu}{T} \right)^2 + \frac{1}{8\pi^2} \left(\frac{\mu}{T} \right)^4 \right] \quad g_Q = 2 \times 3 \times 2 = 12$$

$$B = p = p_G + p_Q = T_c^4 \left[\frac{37\pi^2}{90} + \left(\frac{\mu_c}{T_c} \right)^2 + \frac{1}{\pi^2} \left(\frac{\mu_c}{T_c} \right)^4 \right] \quad B^{1/4} \approx 0,2 \text{ GeV}$$

$$T_c \approx 170 \text{ MeV}$$



Fluido perfecto

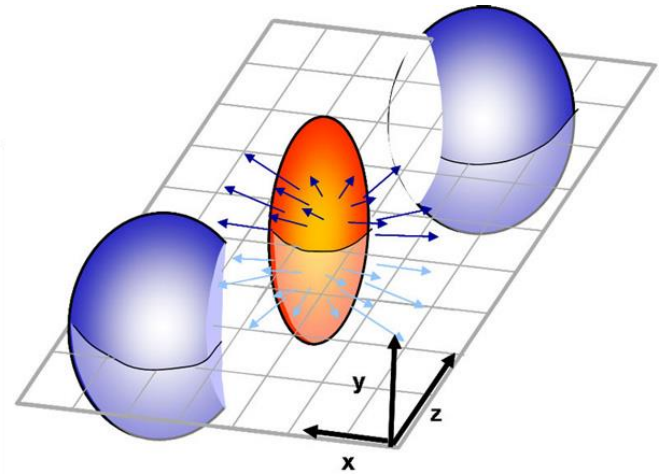
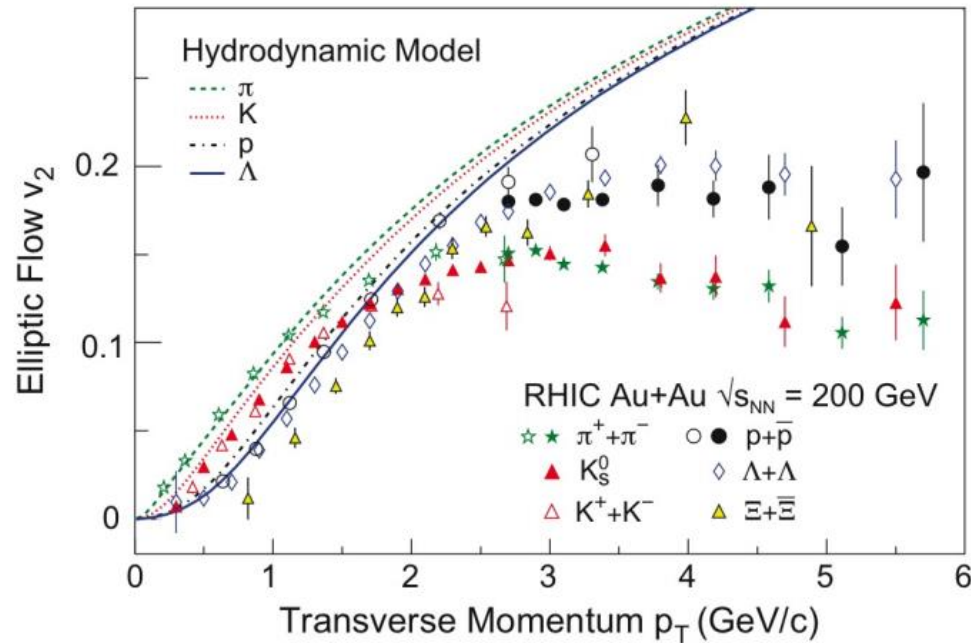


Fig. 6. The momentum dependence of the flow anisotropy v_2 (“elliptic flow”) of hadrons measured in on-central Au+Au collisions at RHIC shows the characteristic dependence on hadron mass predicted by ideal relativistic hydrodynamics.



Gran colisionador de hadrones (LHC)

➔ **1-8-2008.** Inauguración



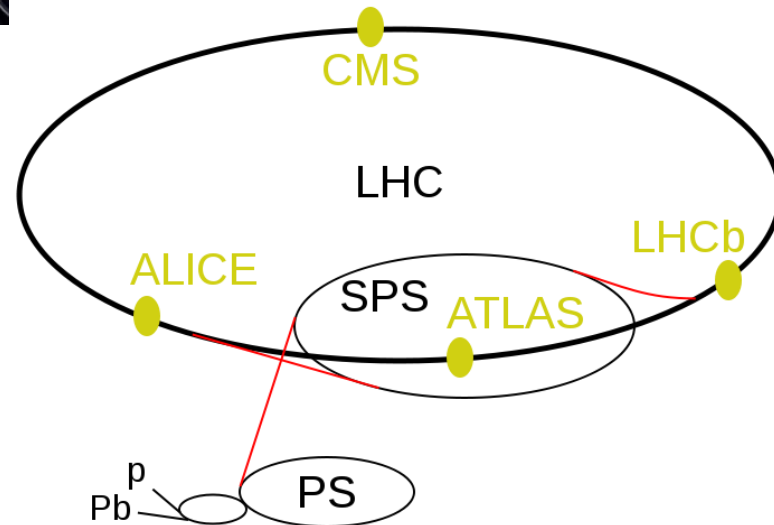
➔ **19-9-2008.** Avería



➔ **2010.** Primeras colisiones a 1,18TeV

➔ **2010.** Colisiones a 7TeV.

➔ **2013.** Acondicionamiento por 20 meses

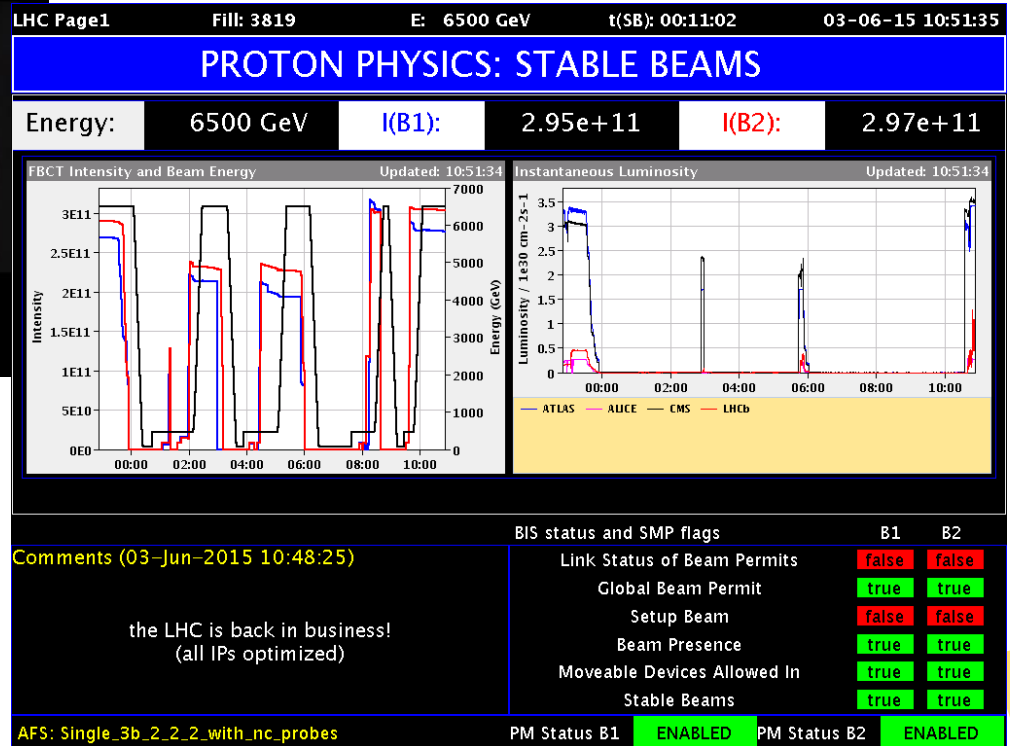


Gran colisionador de hadrones (LHC)

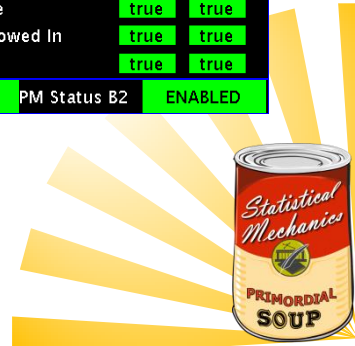
→ 3 de junio 2015



los dos haces de protones a las 09:31 observados gracias a la radiación sincrotrón transversal



→ 14 TeV



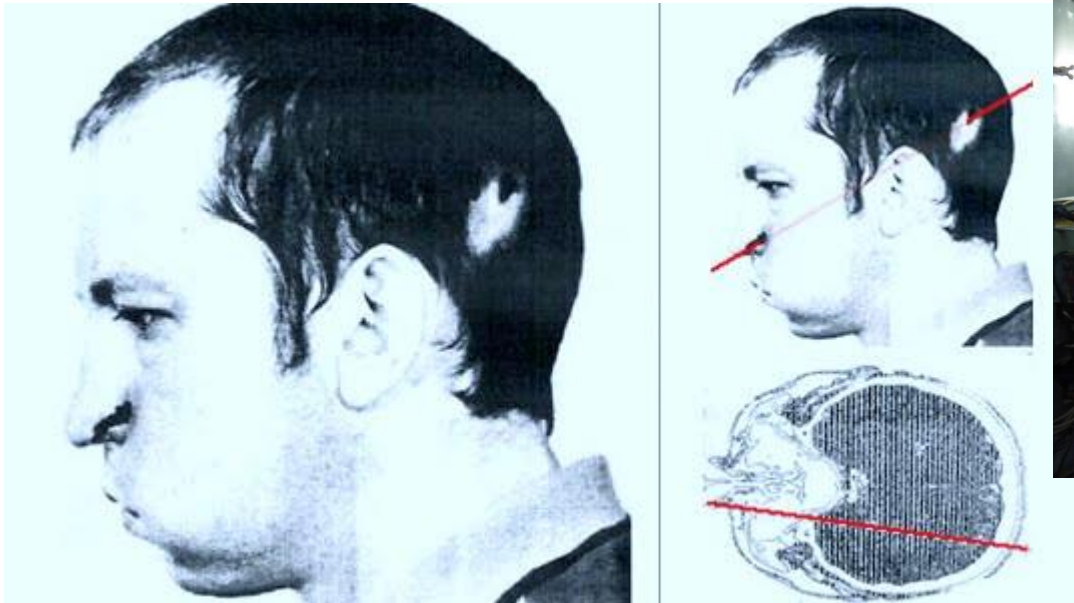
¿Qué pasaría si ...?



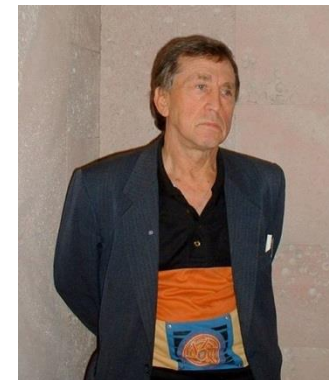
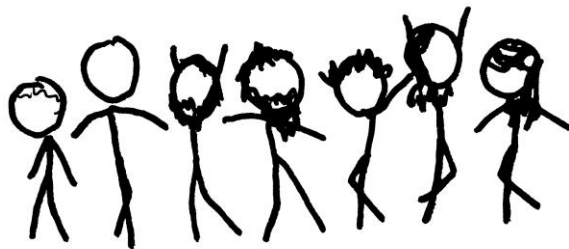
¿Qué pasaría si ...?



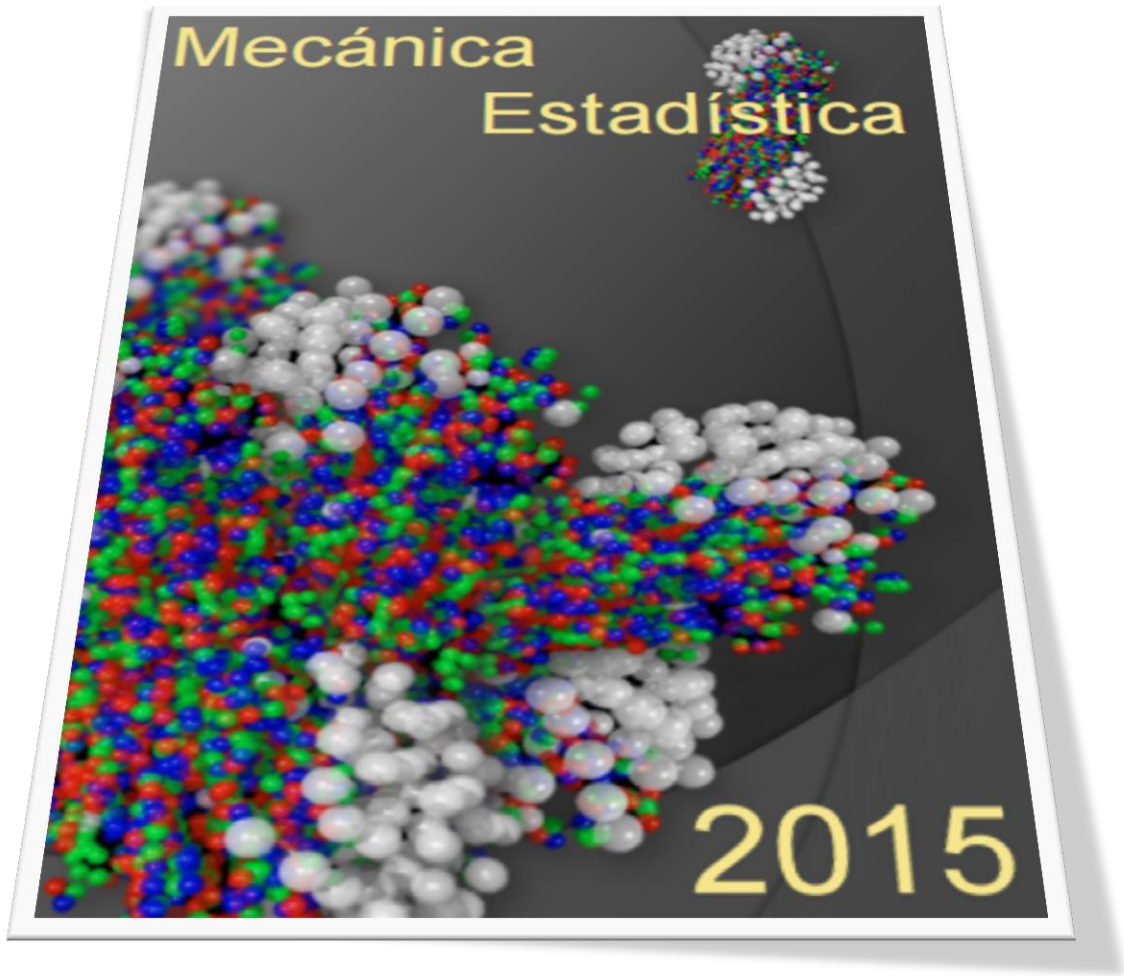
➔ Anatoli Petrovich Bugorski-Rusia-1978



➔ 1000 gray ((5 gray de rayos X son considerados fatales)



LHC aprox. 200 veces más poderoso que el U-70's



GRACIAS