

به نام خدا

QCD phase diagram

محمد رضا محمدی مظفر

90/09/06

فهرست

- اهمیت نظری
- ویژگی های کرومودینامیک کوانتومی
- آزادی مجانبی
- محبوس شدگی
- تقارن کایرال
- نمودار فاز
- نتایج

اهمیت نظری

- توصیف نیروی قوی به عنوان یک نیروی بنیادی
- مطالعه ی قسمتی از سیر تحول جهان اولیه
- توضیح ویژگی های هادرون ها (باریون و مزون)
- توجیه رفتار پلاسمای کوارک - گلوئون
- درک منشا نیروی هسته ای و تشکیل ساختار هسته
- بررسی برخی ساختارهای سماوی مانند ستاره نوترونی

Quantum Chromodynamics

✓ نظریه ی پیمانه ای با گروه تقارن $SU(3)$ رنگ

موجودات:

q	فرمیون دیراک (کوارک)
g	بوزون پیمانه ای (گلوئون)

✓ گلوئون باردار ← معادلات دیفرانسیل غیرخطی ← عدم وجود اصل برهم نهی

ویژگی های مهم:

- ۱- آزادی جانبی
- ۲- محبوس شدگی
- ۳- شکست تقارن کایرال

Asymptotic freedom

آزادی مجانبی

$$\beta(g) = M \frac{\partial g}{\partial M}$$

تابع بتا

$$\beta(g) = -\frac{g^3}{(4\pi)^2} \left[\frac{11}{3} N - \frac{2}{3} n_f \right]$$

تابع بتا در QCD

$N = 3$ & n_f depends on energy scale

$$\beta_{QCD}(g) \Big|_{n_f=6} = -\frac{7g^3}{(4\pi)^2} < 0$$

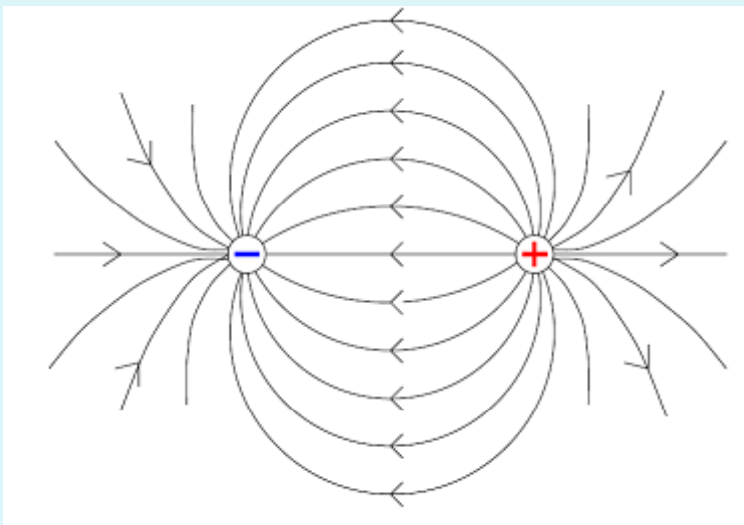
جفت شدگی نیروی قوی در فواصل کم یا انرژی زیاد کوچک خواهد شد.

Confinement

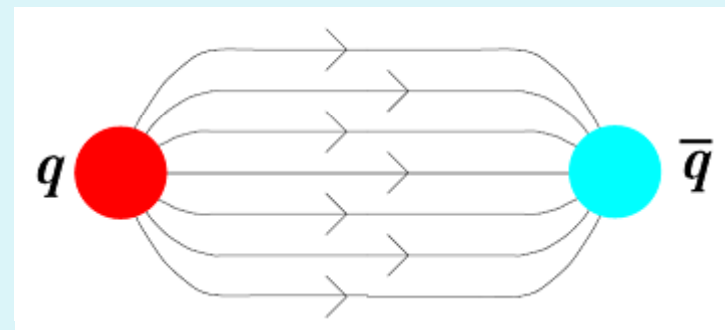
محبوس شدگی

$Hadron \begin{cases} baryon & qqq \\ meson & q\bar{q} \end{cases}$

موجود رنگی آزاد وجود ندارد.



QED



QCD

arXiv : physics / 0105022 – Simon Hands

وجود رنگ آزاد ← پلاسمای کوارک - گلوئون QGP

Chiral symmetry

تقارن کایرال

$$L = \bar{\psi} i \partial \psi - m \bar{\psi} \psi$$

لاگرانژی دیراک

$$L = \bar{\psi} i \partial \psi$$

لاگرانژی دیراک بدون جرم

$$\psi = \begin{pmatrix} \psi_L \\ \psi_R \end{pmatrix}, \quad \begin{cases} \gamma^5 \psi_R = \psi_R \\ \gamma^5 \psi_L = -\psi_L \end{cases}$$

ظهور تقارن کایرال

$$i \bar{\sigma} \cdot \partial \psi_L = 0; \quad i \sigma \cdot \partial \psi_R = 0$$

معادلات مولفه های چپ و راست مستقل از یکدیگرند ← پایسته بودن کایرالیته

Chiral symmetry breaking

شکست تقارن کایرال

Explicit χ_{SB}

شکست تقارن در لاگرانژی

$$m\bar{\psi}\psi = m(\bar{\psi}_L\psi_R + \bar{\psi}_R\psi_L)$$

جمله جرمی

آمیختگی چپ و راست به دلیل وجود جرم ← شکست دقیق تقارن

Spontaneous χ_{SB}

شکست تقارن در خلاء

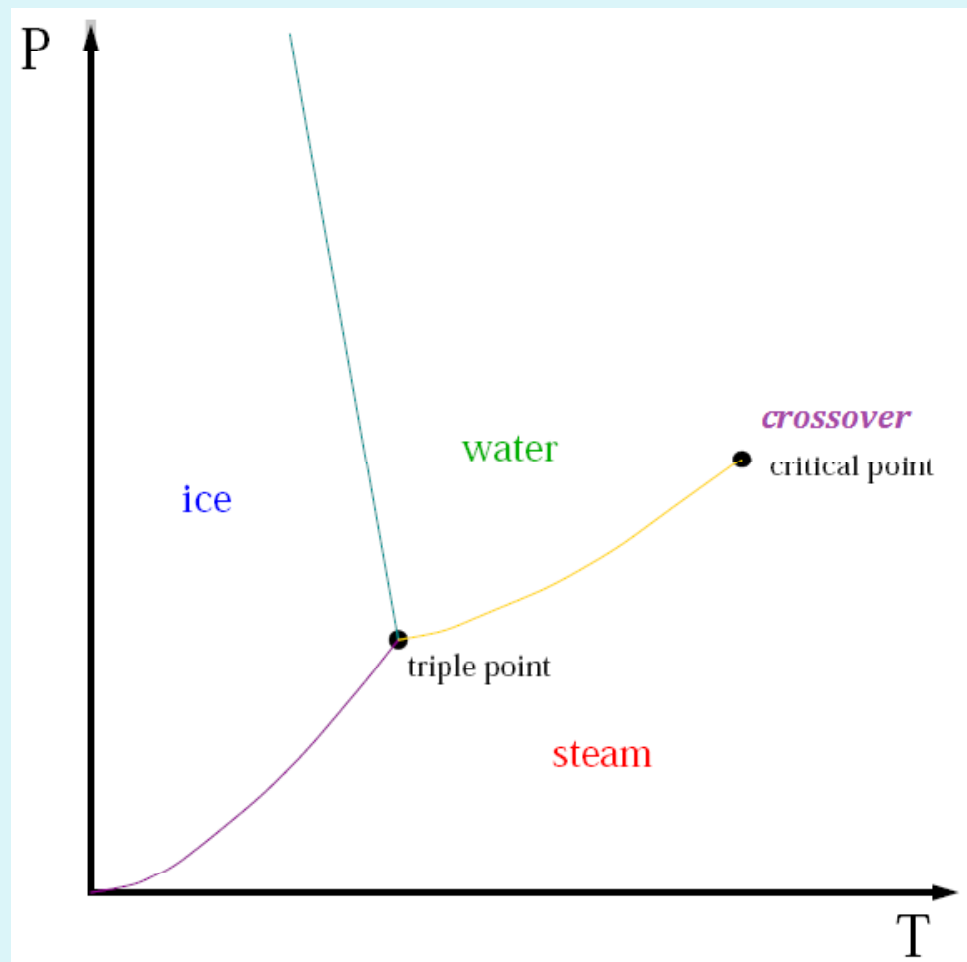
$$\langle\bar{\psi}\psi\rangle \equiv \langle 0|\bar{\psi}\psi|0\rangle \neq 0$$

چگالش مزونی

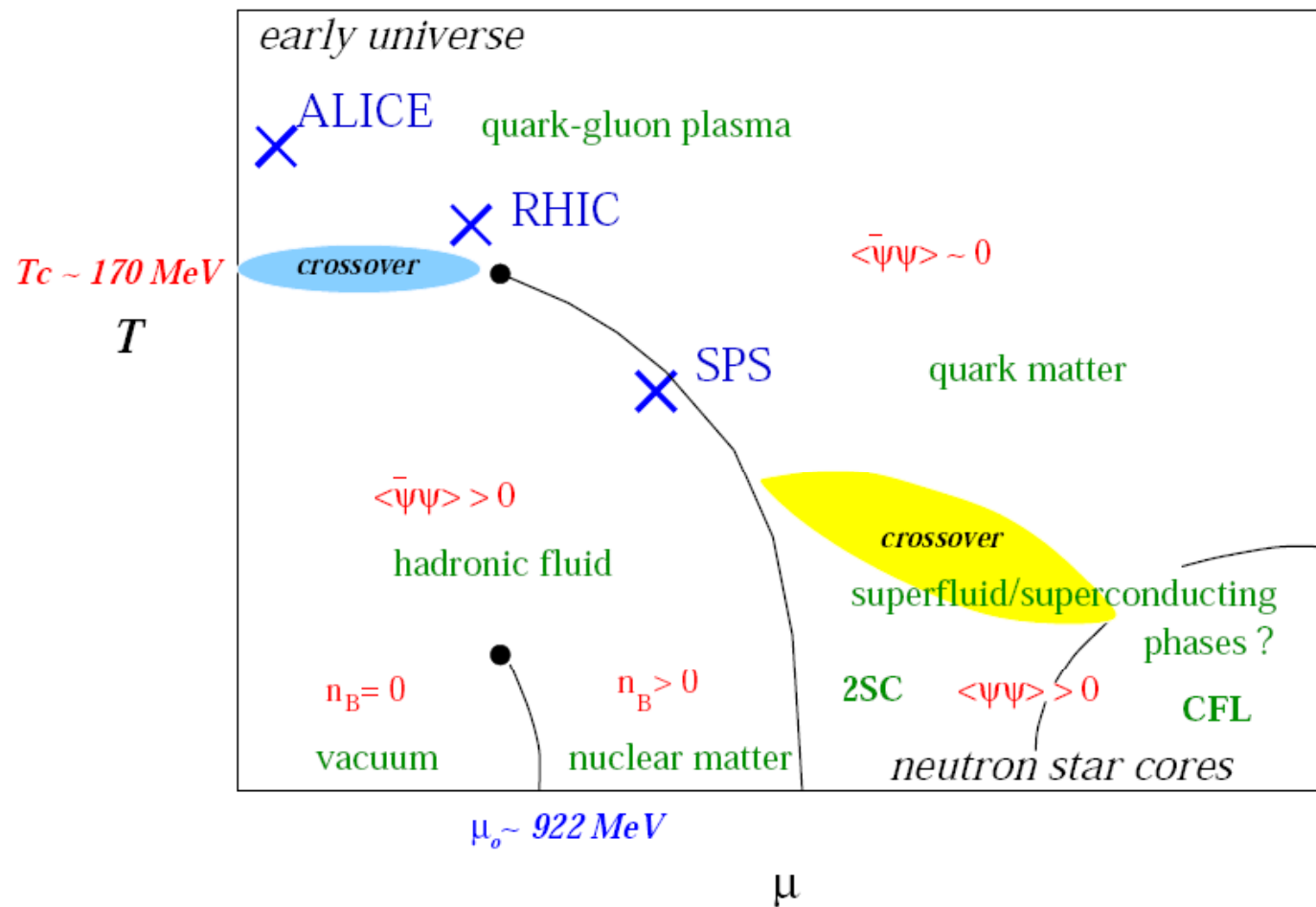
آمیختگی چپ و راست به دلیل چگالش در خلاء ← شکست خود به خود تقارن

A simple example

H_2O Phase Diagram



QCD phase diagram



روش های
کشف:

آزمایش های
انرژی بالا

فیزیک هسته ای

محاسبات عددی

LGT

نتایج

✓ نظریه QCD چارچوب توصیف اندرکنش قوی با گروه تقارنی غیرآبلی است.

✓ شکست تقارن کایرال، آزادی جانبی و محبوس شدگی از ویژگیهای مهم این نظریه اند.

✓ شکست تقارن کایرال هم به دلیل جرم کوچک کوارک ها و هم به دلیل چگالش خلاء است.

✓ نواحی مختلف سیمای فاز به وسیله ی آزمایش های انرژی بالا، فیزیک هسته ای، محاسبات عددی و دوگانی AdS/ QCD ارزیابی می شوند.

