

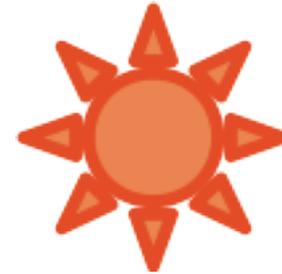


クォークとグルーオンで探る 高エネルギー原子核物理



福嶋健二（物理学専攻）

ものを見る?



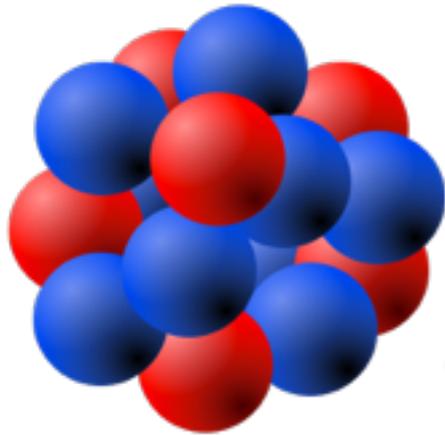
光の散乱を検出する



光の波長が短いほど
微細構造が見える

目が良いほど
微細構造が見える

原子核を見る

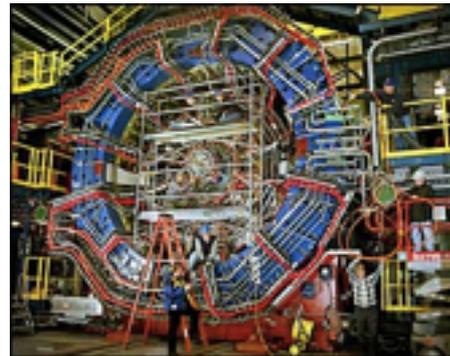


粒子を加速(加速器)



エネルギーが高いほど
小さな構造が見える

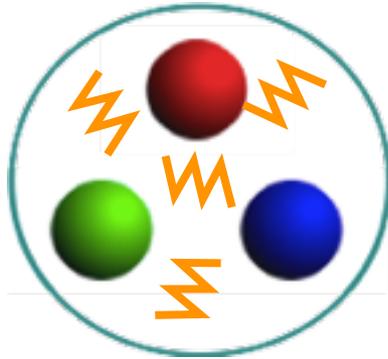
(例) ラザフォード散乱



(検出器)

(RHIC-STAR)

クォーク・グルーオンを見る



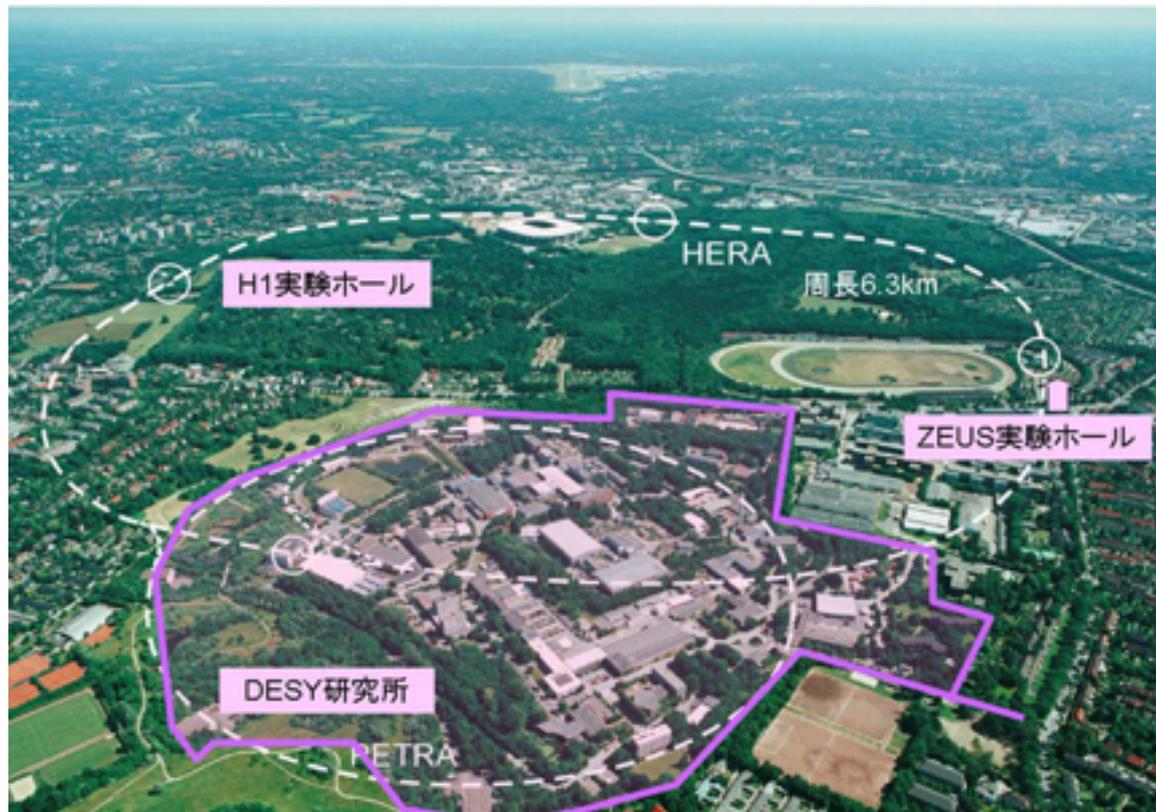
電子を高エネルギーに加速

エネルギーが高いほど
小さな構造が見える

バラバラに壊れる
カラー閉じ込めされた
クォーク・グルーオンは検出不可
ほとんどは π 中間子

Hadron-Electron Ring Accelerator

(HERA:1992-2007) 将来計画でより高エネルギー実験

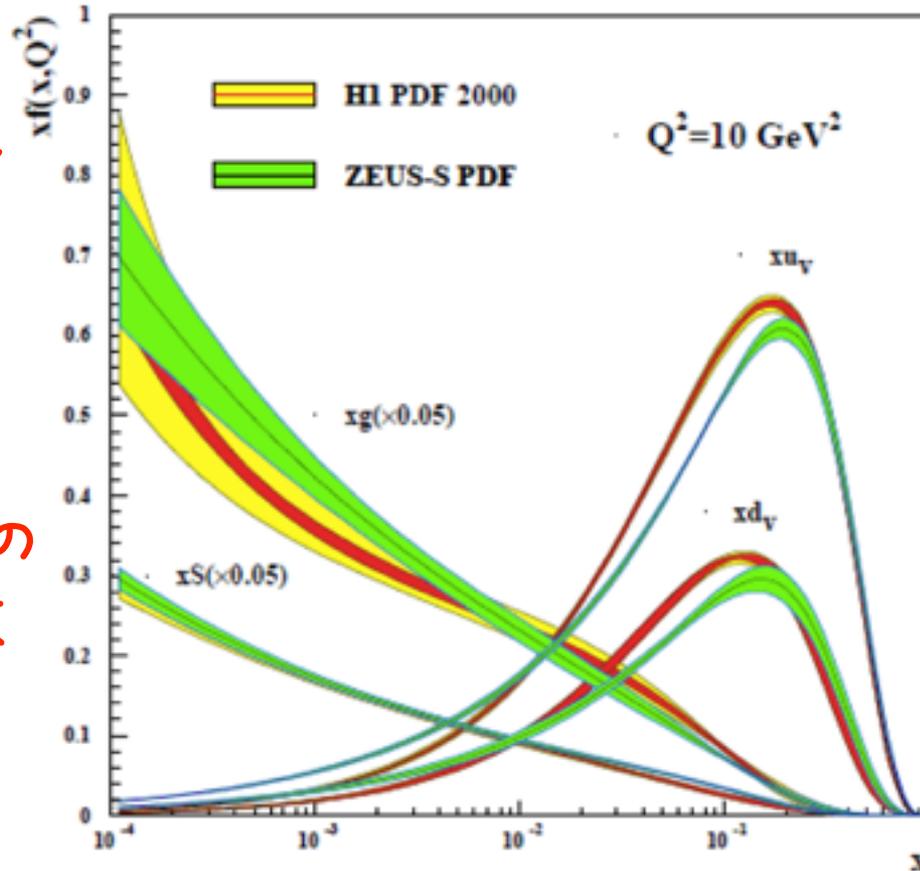


パートン分布関数



グルーオンの数

量子揺らぎの
クォークの数

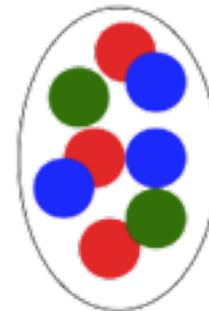
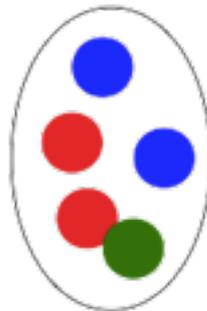
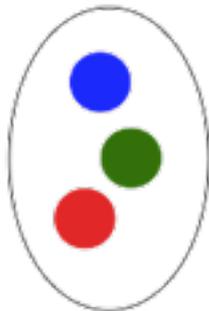
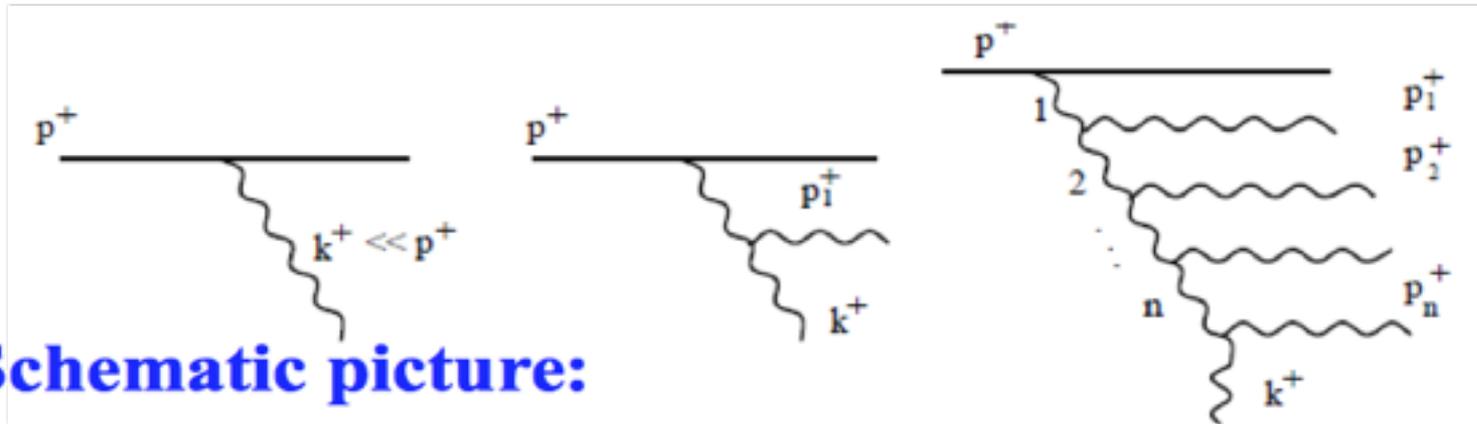


クォークの数

(より高エネルギー)運動量の割合(より低エネルギー)

Parton Saturation

Glun increases with fixed transverse area:



small- x \rightarrow Dense Glun Matter

Color Glass Condensate

量子補正 → 高密度状態(飽和)

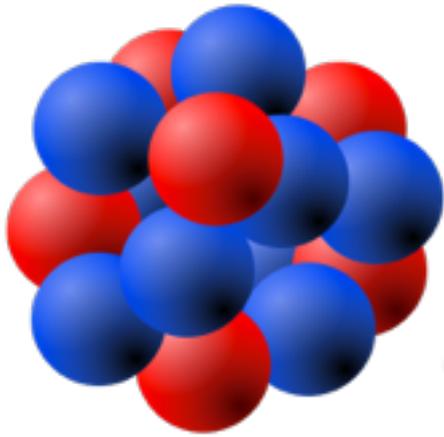


スケーリング則 ← 古典近似

高エネルギーでは量子揺らぎが実粒子とみなせる
(時間の遅れで揺らぎの寿命がのびる)

量子効果の結果として古典場の発現

クォーク・グルーオン飽和を見る



電子を高エネルギーに加速

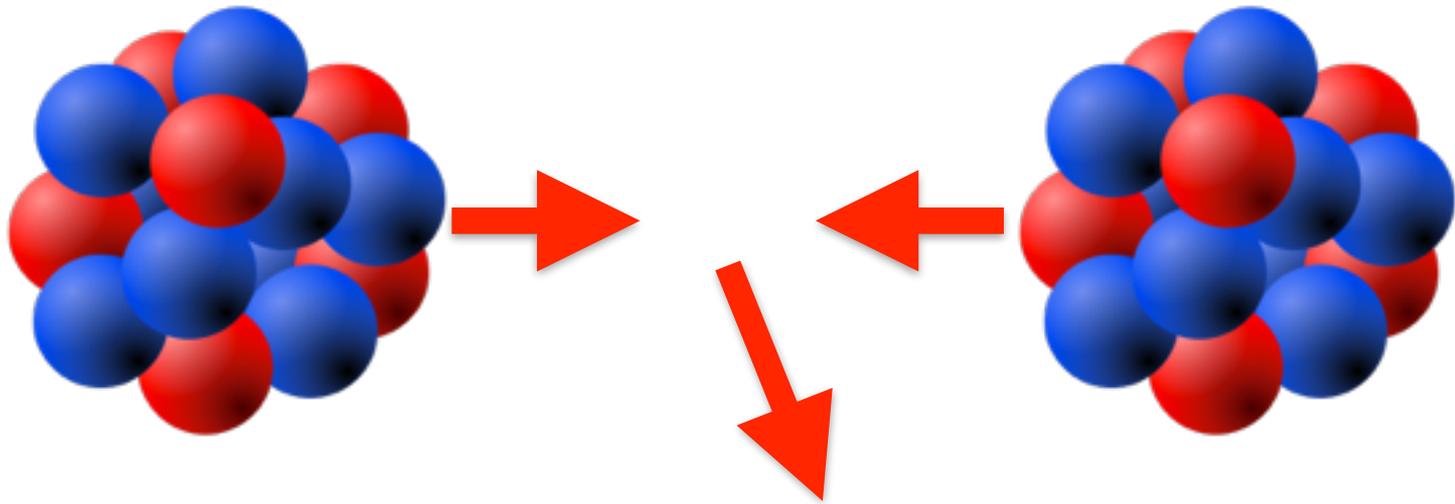


核子数だけ飽和に近い

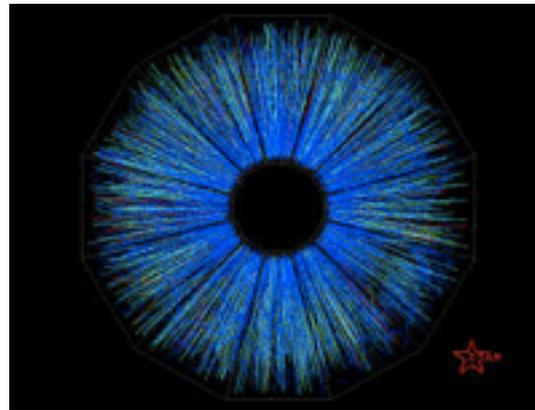
飽和したグルーオンの
スケーリング則が見える

まだ実現していない将来計画

新しい状態を見る



1回の衝突で1-2k粒子
Mイベントの平均をとる



(RHIC-STAR)

Relativistic Heavy-Ion Collider

(RHIC: 2000-) 将来計画でEICへと拡張(?)



新しい状態

HIGHEST MAN-MADE TEMPERATURE



A Guinness World Records advertisement featuring a collage of various records. The central focus is the record for the highest man-made temperature, achieved at Brookhaven National Laboratory's Relativistic Heavy Ion Collider in the United States on January 1, 2010. The Guinness logo is prominently displayed in the center of the collage.

FOR THE RECORD
WHO: BROOKHAVEN NATIONAL LABORATORY'S RELATIVISTIC HEAVY ION COLLIDER
WHAT: HIGHEST MAN-MADE TEMPERATURE
WHERE: UNITED STATES
WHEN: 01 JAN 2010

In February 2010, scientists at Brookhaven National Laboratory's Relativistic Heavy Ion Collider on Long Island, New York, USA, announced that they had smashed together gold ions at nearly the speed of light, briefly forming an exotic state of matter known as a quark-gluon plasma. This substance is believed to have filled the universe just a few microseconds after the Big Bang. During the experiment the plasma reached temperatures of around 4 trillion°C, some 250,000 times hotter than the centre of the Sun.



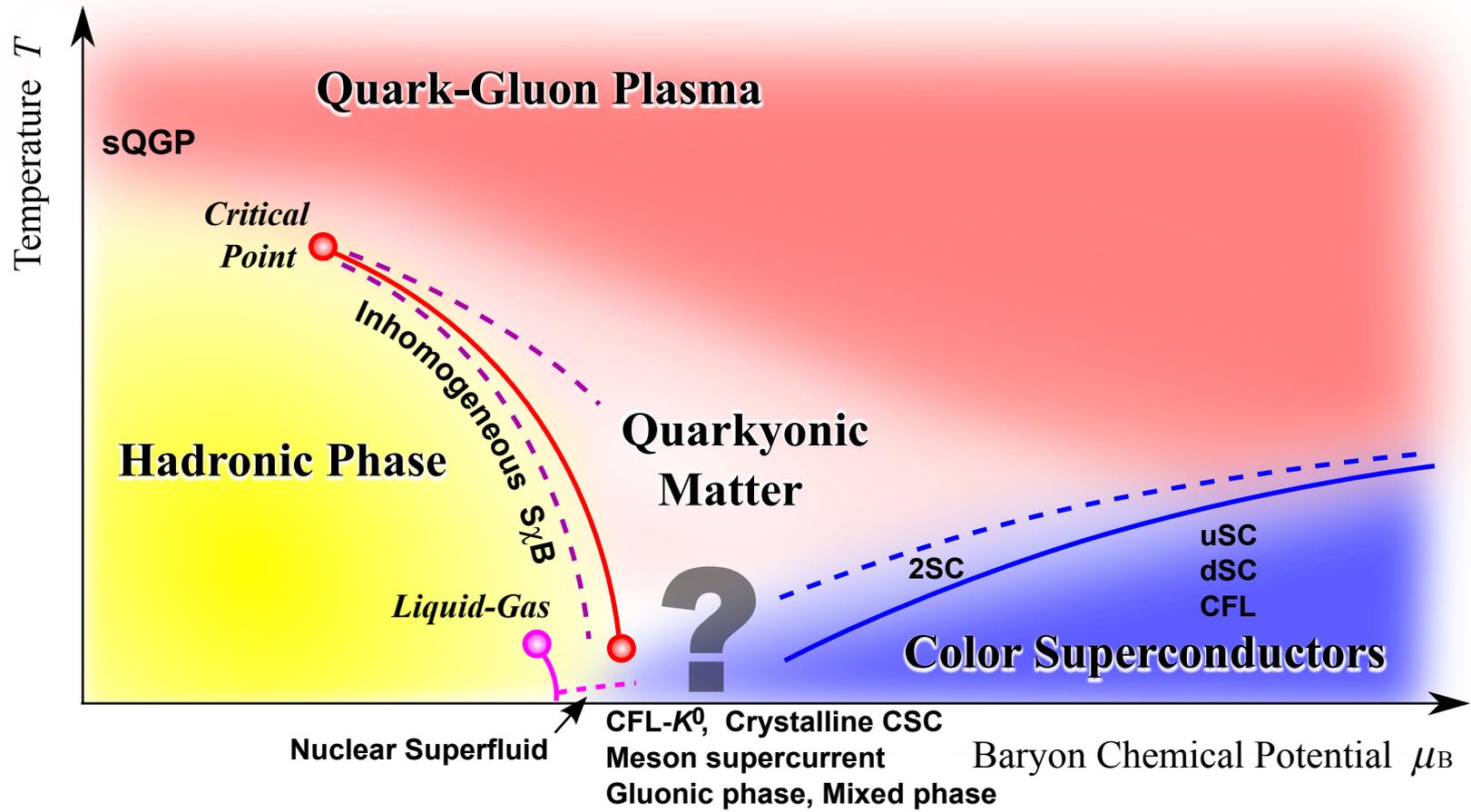
理論(格子QCD計算)から
相転移温度は1.5兆K

4兆K
粘性が小さい
(強相関)

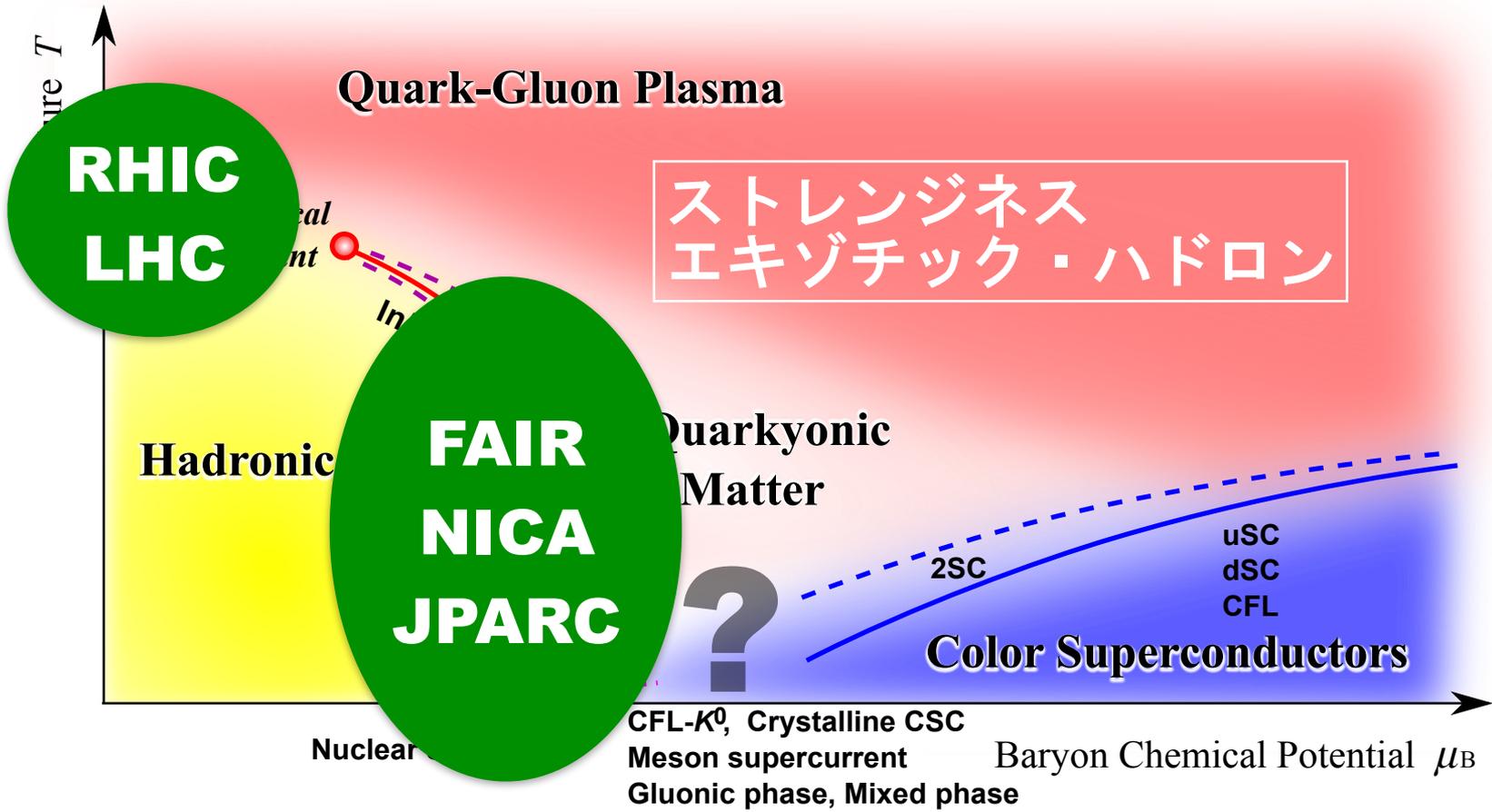
クォーク?
グルーオン?

実験では
ハドロンだけ

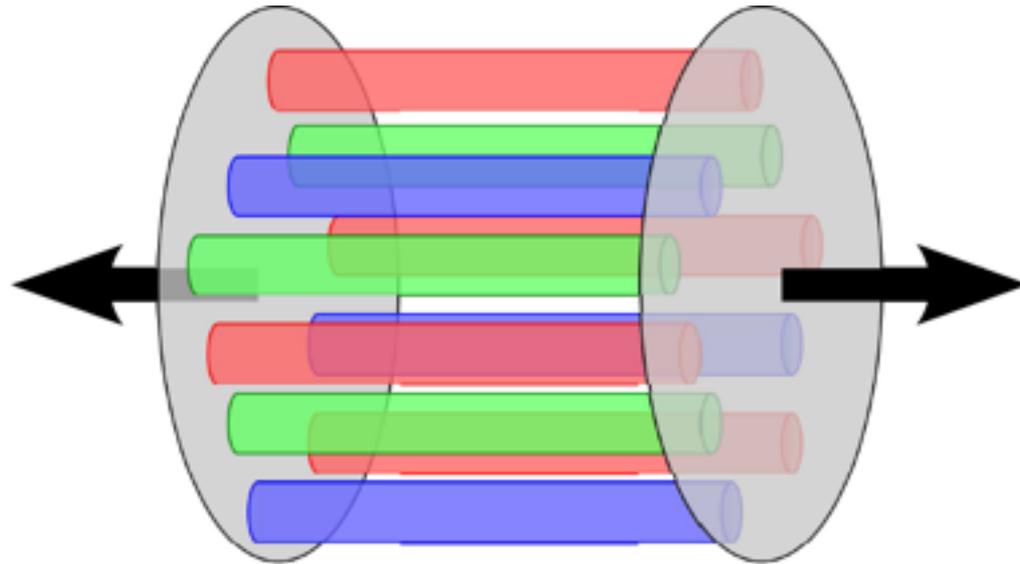
理論予想



将来計画

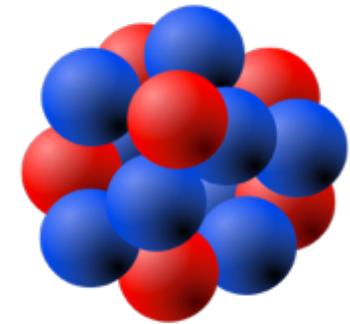
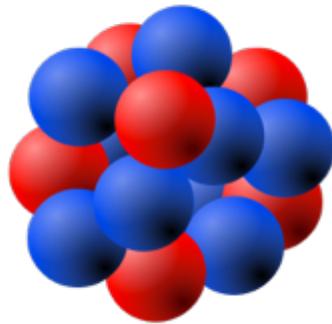


未解決問題

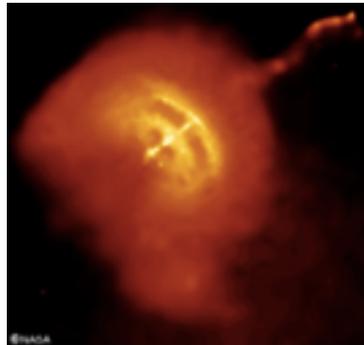


コヒーレントなグルーオン場がどうやって
量子揺らぎによって熱化するか?
(古典論のままだと熱化しない)

新しい原子核の探索



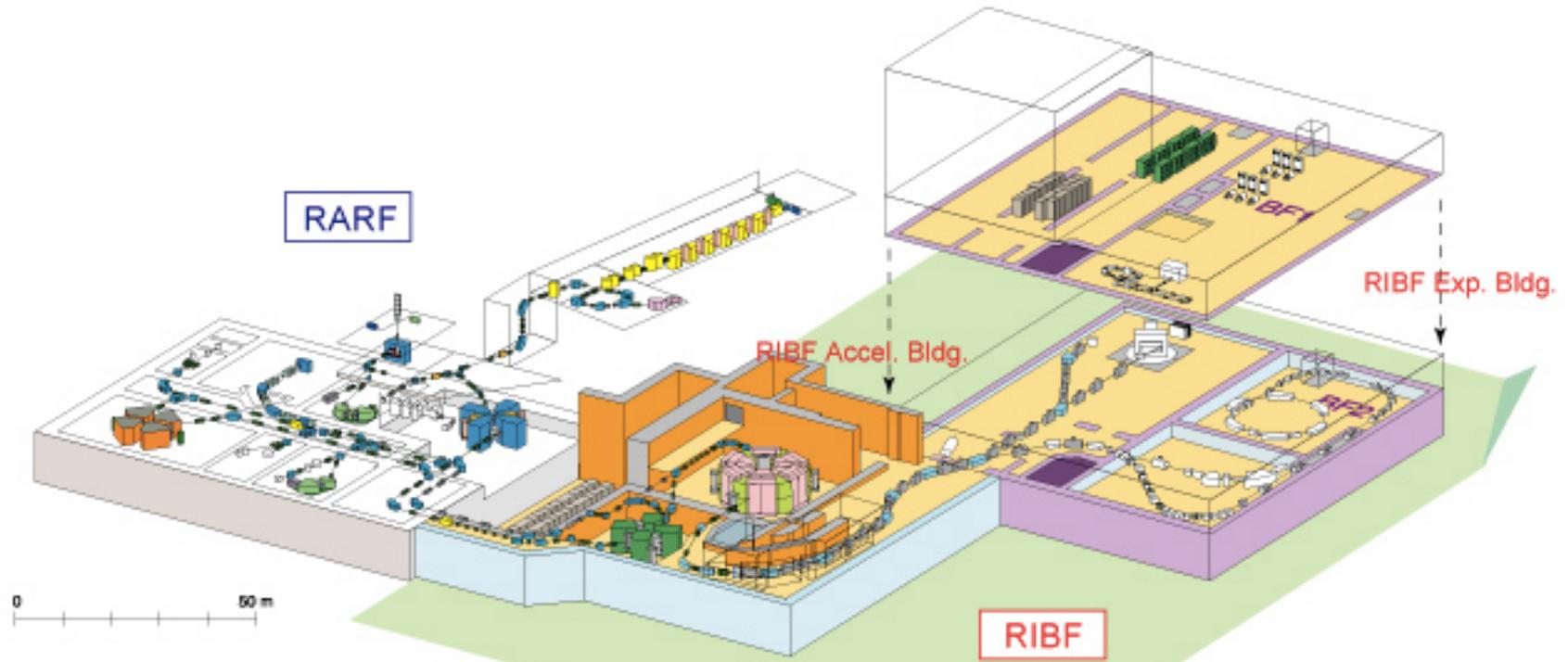
中性子星
(重力で束縛)



中性子が過剰な
不安定な原子核

ハロー構造
新しい魔法数

RIB Beam Factory (RIBF)



RIBF RI beam generator featuring superconducting ring cyclotron (SRC) and projectile fragment separator (BigRIPS) will be commissioned late in 2006.

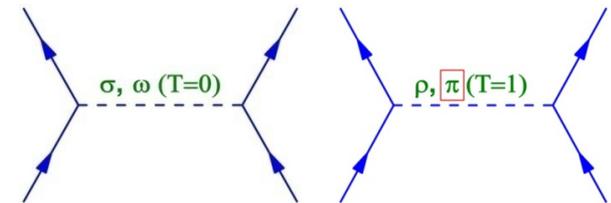
RIBF RI beam experiments will be started in 2007, with colored experimental installations.

Theoretical studies on nuclear structure

Nuclear density functional theory (DFT)

- Fundamental: **Kohn-Sham** Density Functional Theory
- Scheme: **Yukawa** meson-exchange nuclear interactions

$$\begin{aligned} \mathcal{L} = & \bar{\psi} \left[i\gamma^\mu \partial_\mu - M - g_\sigma \sigma - \gamma^\mu \left(g_\omega \omega_\mu + g_\rho \vec{\tau} \cdot \vec{\rho}_\mu + e \frac{1 - \tau_3}{2} A_\mu \right) - \frac{f_\pi}{m_\pi} \gamma_5 \gamma^\mu \partial_\mu \vec{\pi} \cdot \vec{\tau} \right] \psi \\ & + \frac{1}{2} \partial^\mu \sigma \partial_\mu \sigma - \frac{1}{2} m_\sigma^2 \sigma^2 - \frac{1}{4} \Omega^{\mu\nu} \Omega_{\mu\nu} + \frac{1}{2} m_\omega^2 \omega_\mu \omega^\mu - \frac{1}{4} \vec{R}_{\mu\nu} \cdot \vec{R}^{\mu\nu} + \frac{1}{2} m_\rho^2 \vec{\rho}^\mu \cdot \vec{\rho}_\mu \\ & + \frac{1}{2} \partial_\mu \vec{\pi} \cdot \partial^\mu \vec{\pi} - \frac{1}{2} m_\pi^2 \vec{\pi} \cdot \vec{\pi} - \frac{1}{4} F^{\mu\nu} F_{\mu\nu} \end{aligned}$$



Haozhao LIANG

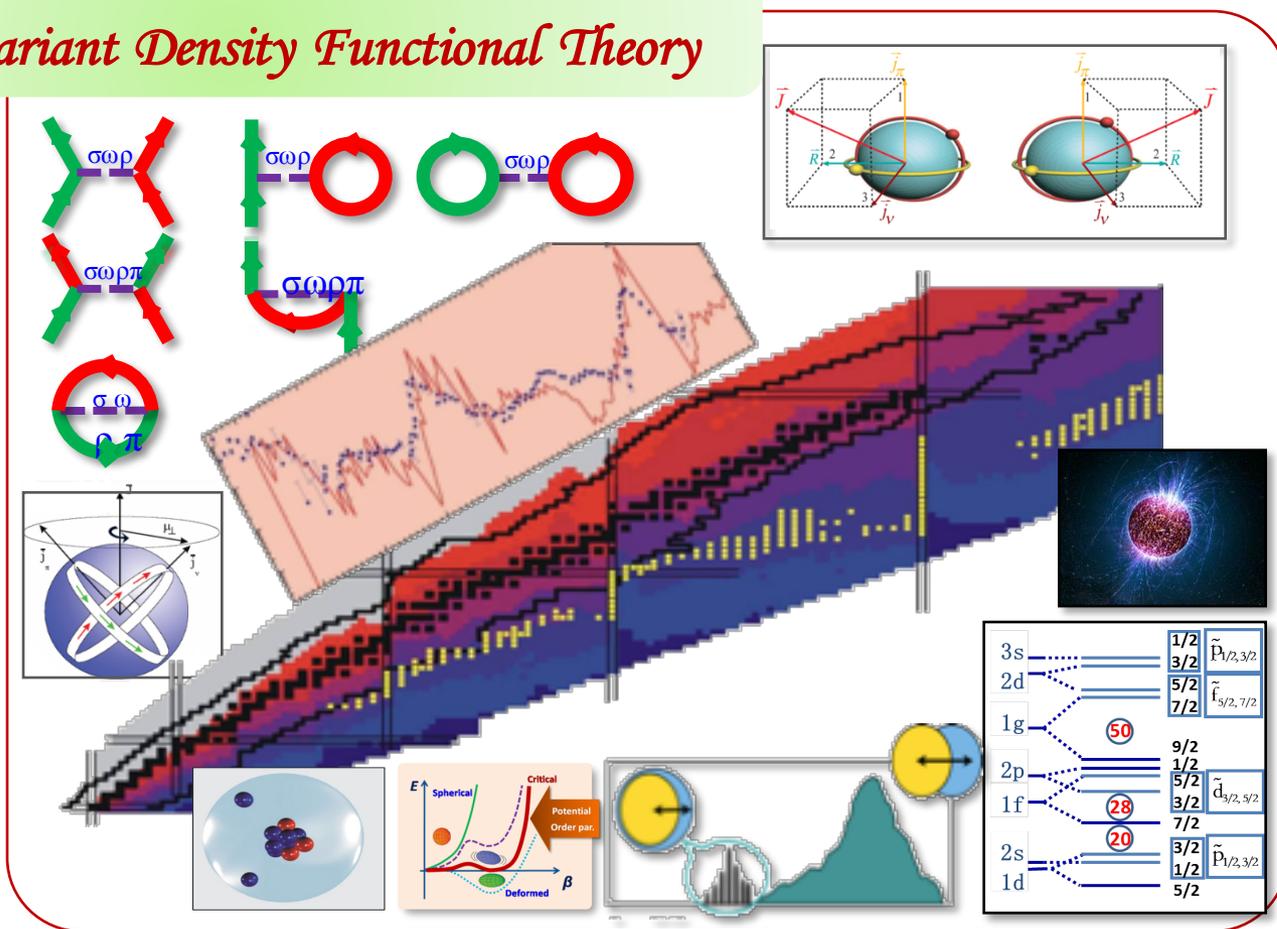
理研 研究員

東大 客員准教授

- **Liang's Group:** aims at understanding both ground-state and excited-state properties of thousands of nuclei in a consistent and predictive way with nuclear DFT.

Key research topics

Nuclear Covariant Density Functional Theory



Key research topics:

- structure of exotic nuclei; nuclear collective excitations
- nuclear weak-interaction processes and r -process nucleosynthesis ...

新時代の原子核研究の挑戦

理論が確立しているからこそその理論研究の醍醐味

実験でまだ検証されていない理論の予言

実験をまだ説明できない理論計算の困難

理論計算も実験もまだ十分ではない難問

- ・南部・ゴールドストーン定理の拡張
- ・量子揺らぎと熱化過程
- ・曲がった時空の強相関物性系
- ・クォーク模型で説明できないハドロン

基礎物理学の本質的な課題に幅広く挑戦