

RHIC加速器で探る 宇宙創世期の物理

理化学研究所 秋葉康之

LINAC

BOOSTER

G-2

AGS

TANDEM

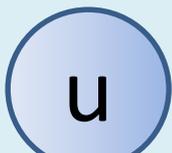


素粒子

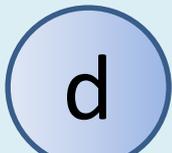
物質を作る粒子

力を伝える粒子

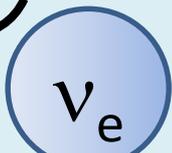
クォーク



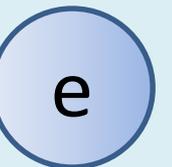
アップ



ダウン



ニュートリノ

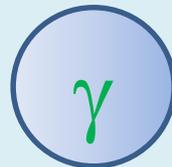


電子

陽子や中性子は
アップクォークと
ダウンクォークから
できている。

ほとんど反応しない「幽霊粒子」
小柴博士が2002年にノーベル賞
梶田博士が2015年にノーベル賞

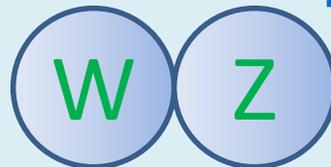
原子核の外を回っている
原子・分子の構造や化学
反応は電子と光子の間の
力できまる。



光子



グルーオン



W粒子 Z粒子

電磁相互作用

電場や磁場
光、電波
電子機器
化学反応

「強い」相互作用

原子核より小さい範囲
でのみ有効。
電磁相互作用より強い
クォークを結びつけて
陽子や中性子をつくる

「弱い」相互作用

電磁相互作用よりはるかに弱い
ベータ崩壊などを起こす。

日常世界の物質はすべてu,dクォークと電子からできている。

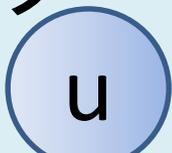
日常世界でみえる力のすべては重力と電磁相互作用で説明できる

素粒子のすべて(標準モデル)

物質を作る粒子

力を伝える粒子

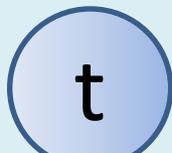
クォーク



アップ



チャーム



トップ



ダウン

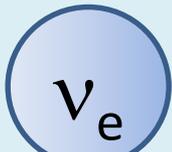


ストレンジ

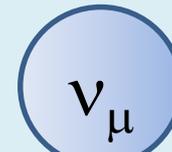


ボトム

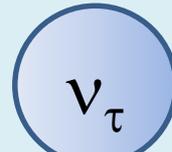
レプトン



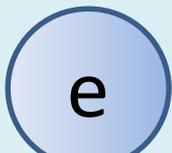
eニュートリノ



μニュートリノ



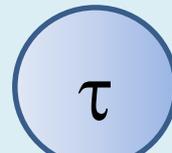
τニュートリノ



電子



ミュー粒子



タウ粒子



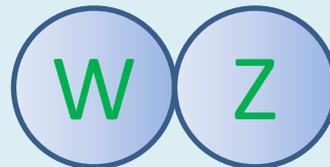
光子

電磁相互作用



グルーオン

強い相互作用



W粒子 Z粒子

弱い相互作用



ヒッグス粒子

2012年7月に
セルンで発見

この粒子を予言
したヒッグス氏が
2013年度の
ノーベル賞受賞

世界の衝突型加速器

ヨーロッパ：LHC



周長27km 陽子+陽子衝突型加速器



周長3.8km 重イオン衝突型加速器

日本 KEKB (筑波)



周長3km 電子+陽電子衝突型加速器

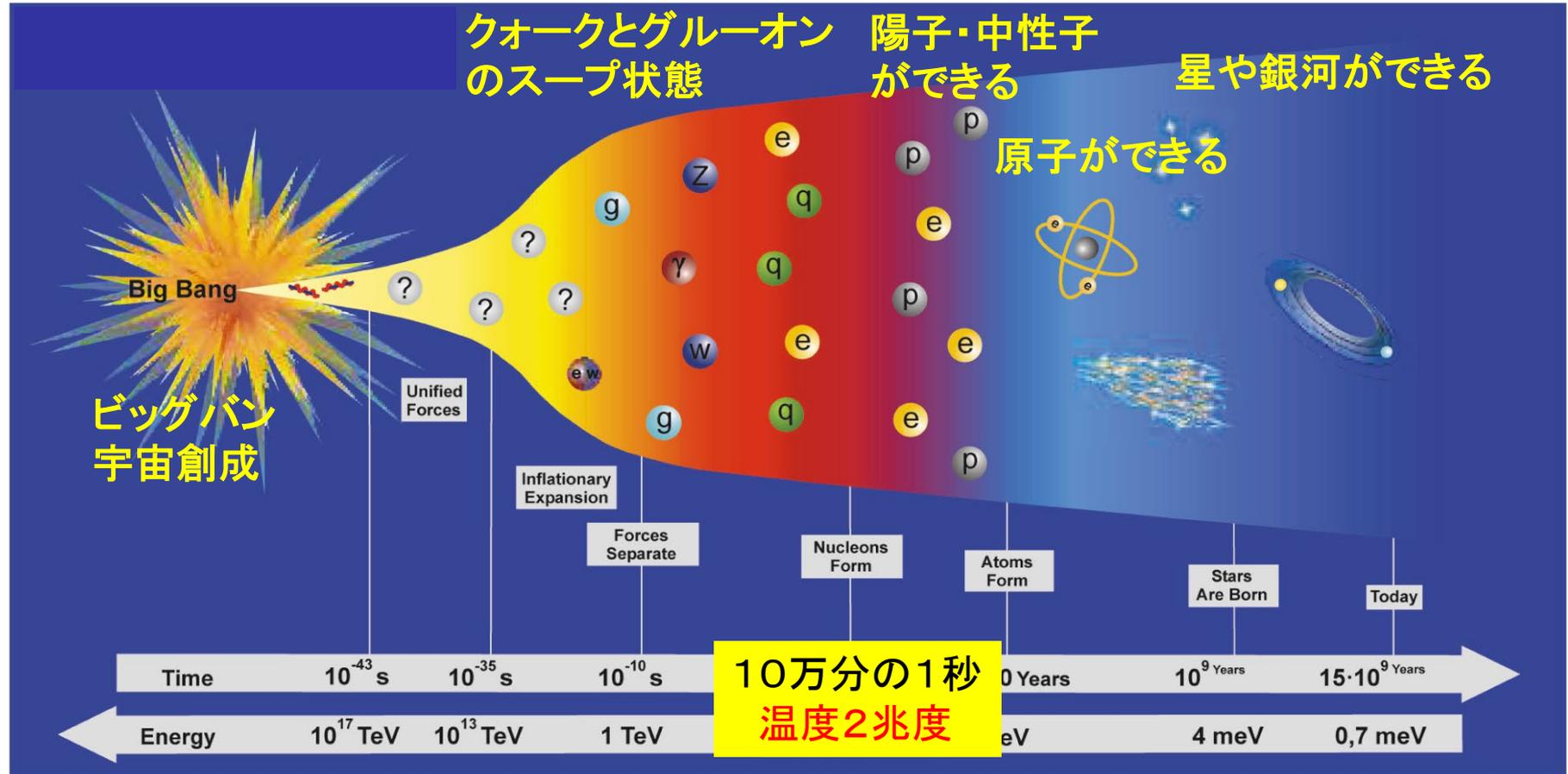
RHICはクォーク・グルーオン・プラズマを発見

KEKBはB粒子の性質を研究

小林・益川博士の2008年ノーベル賞受賞に貢献

LHCは世界最大の加速器
2012年 ヒッグス粒子を発見
2013年 ヒッグス粒子の存在を予言したヒッグス博士らがノーベル賞を受賞

宇宙の進化



今から138億年前に宇宙はつくられた。

宇宙初期はクォークとグルーオンからなる超高温のスープ（クォーク・グルーオン・プラズマ）で満たされていた。

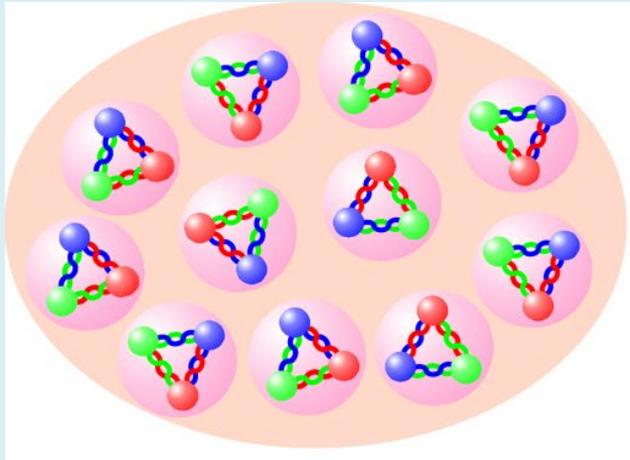
宇宙創成10万分の1秒後に、このスープが冷えて凍って、陽子や中性子ができる。最近になって、このクォーク・グルーオン・プラズマを実験室で作れるようになった。

宇宙初期の超高温状態を再現する

ビッグバン直後10万分の1秒くらいまでの初期宇宙はクォークとグルーオンからなる超高温のスープ、クォーク・グルーオン・プラズマだった。

BNLのRHIC加速器では、重い原子核同士を超高エネルギーで衝突させることで、宇宙初期と同じ温度2兆度以上の超高温状態クォーク・グルーオン・プラズマをつくり、その性質を研究しています。

通常物質



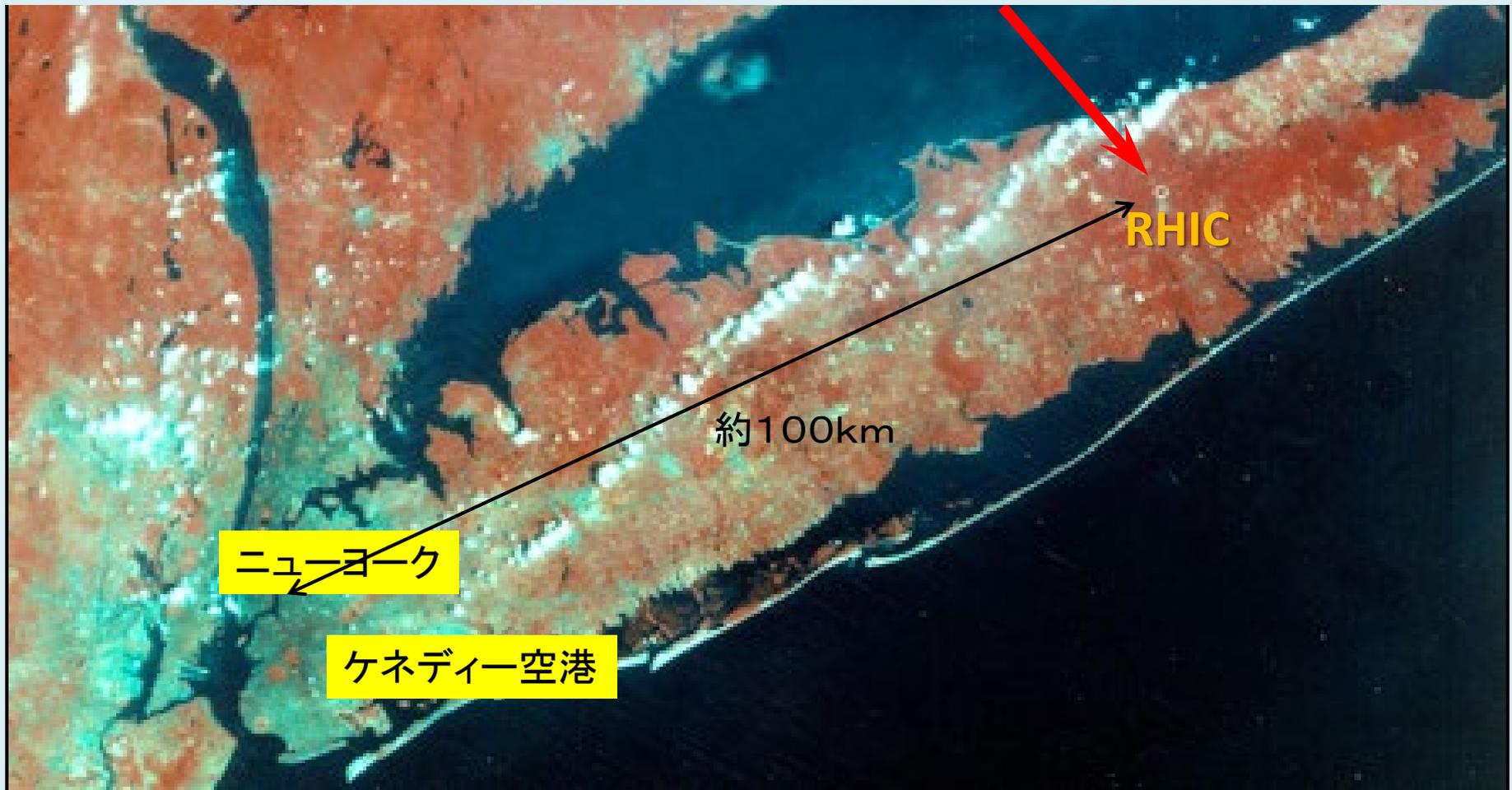
通常物質状態では、クォークやグルーオンは、陽子や中性子という、「氷粒」の中に閉じ込められている。

2兆度以上の高温状態では、陽子や中性子という「氷粒」が溶けて、クォークとグルーオンからなるスープになる

氷粒が溶けて水になるように、陽子・中性子が溶けてクォークスープになる

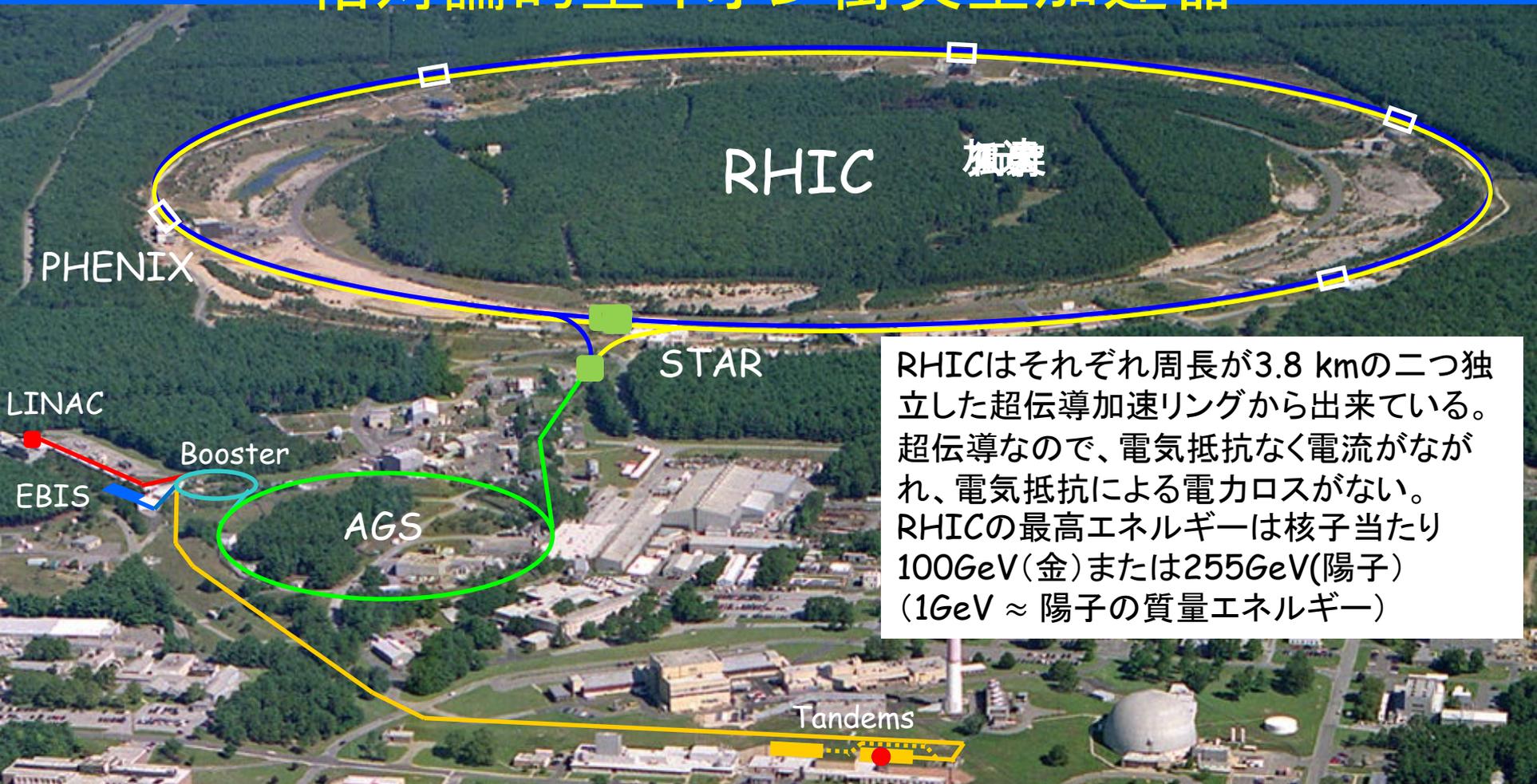
クォークグルーオンプラズマ(QGP)

RHIC



Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC)

相対論的重イオン衝突型加速器



RHICはそれぞれ周長が3.8 kmの二つ独立した超伝導加速リングから出来ている。超伝導なので、電気抵抗なく電流がながれ、電気抵抗による電力ロスがない。RHICの最高エネルギーは核子当たり100GeV(金)または255GeV(陽子)(1GeV ≈ 陽子の質量エネルギー)

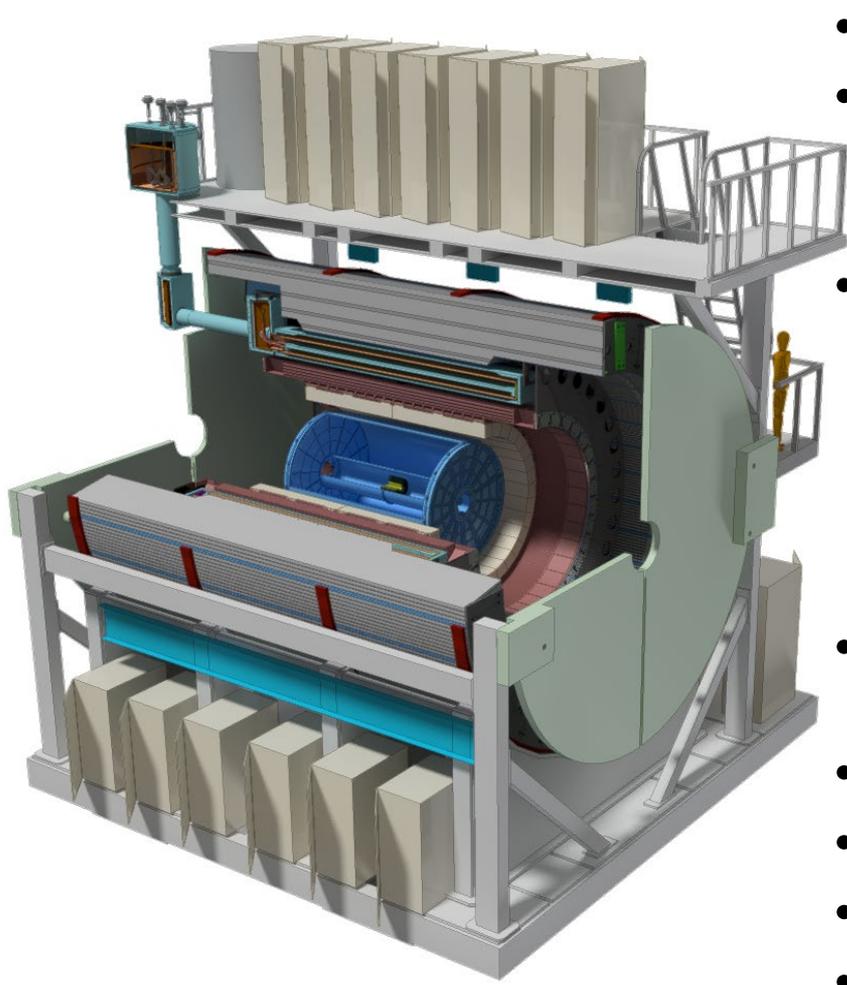
RHIC ビーム: 110のバンチがある。各バンチは10億個の金イオンまたは1000億個の陽子

RHICのバンチは約1750個の超伝導電磁石で制御される

RHICのバンチはとてもちいさい。衝突点での半径は約0.1mm

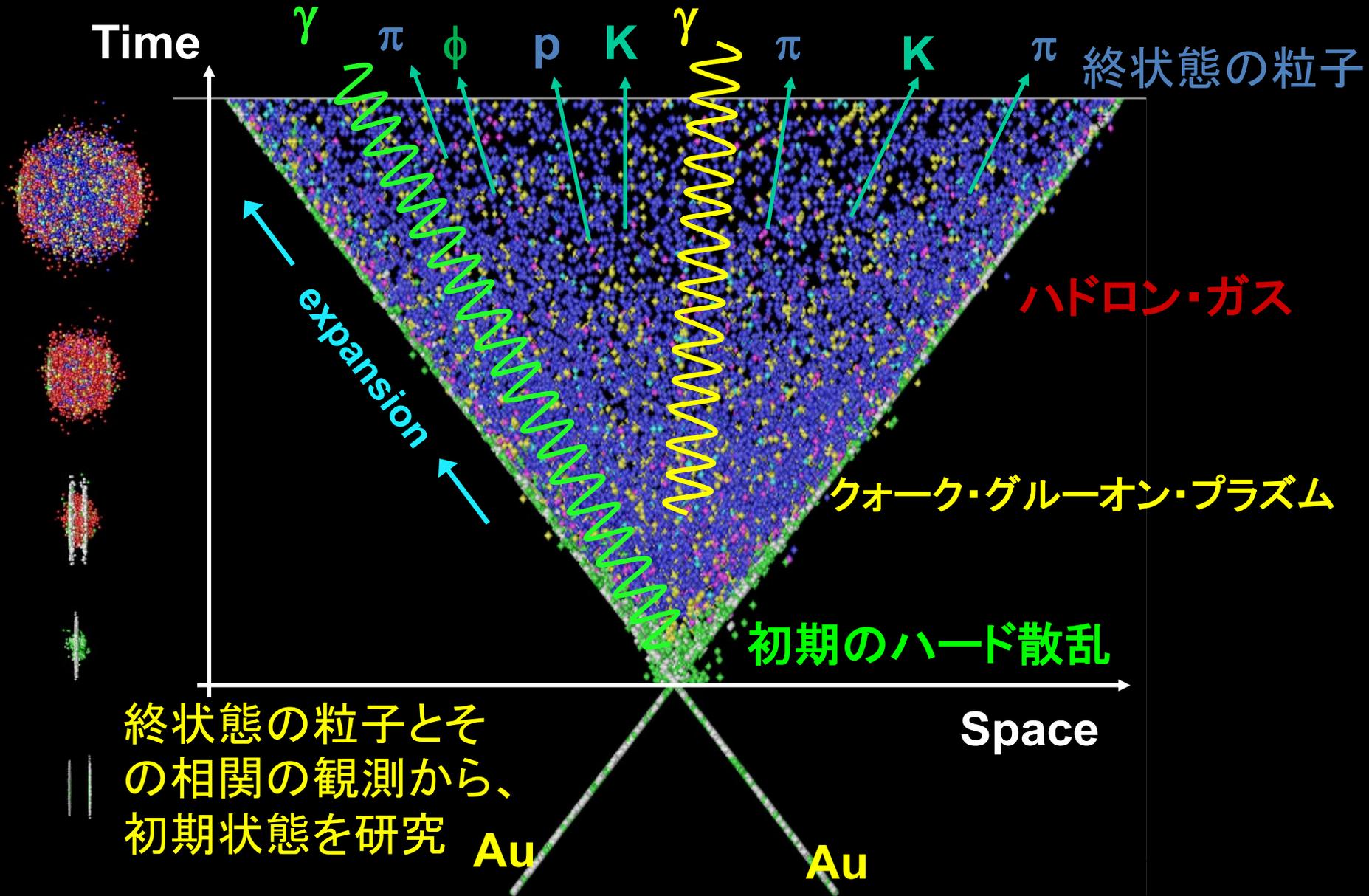
RHICの各バンチは、リングを毎秒約80000回周回している。

sPHENIX実験



- PHENIX実験のアップグレード
- RHICでのQGP研究を完遂する
- 大立体角($\Delta\phi = 2\pi, \Delta\eta = 2$)高速データ収集(15kHz)
 - PHENIXの約100倍のデータを収集
- 主要目的
 - ハドロン・ジェット測定による、QGP内エネルギー損失の直接的測定
 - ウプシロン粒子($\Upsilon(1S), \Upsilon(2S), \Upsilon(3S)$)の測定
 - bクォークジェットの測定
- 2015 NSAC Long Range Planでその必要性が承認された
- 2016年CD0(物理の承認)
- 2018年CD1/CD3A(一部建設開始)
- 2019年PD2/3(建設開始)
- 2023年初めデータ収集開始

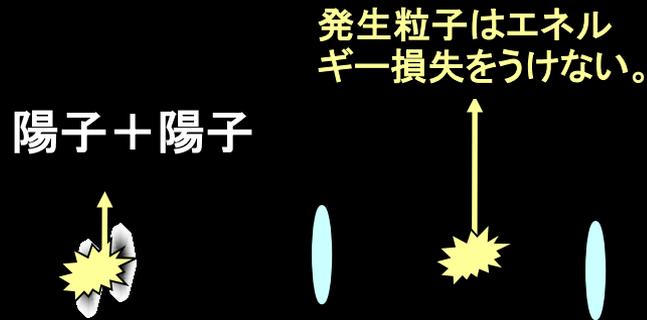
原子核衝突反応の時間発展



何が分かったか

- RHICの高エネルギー原子核衝突で、高エネルギー密度の物質がつくられている。
- QGPは粘性がほとんどゼロの「完全流体」
- 反応初期は超高温で、約4兆度

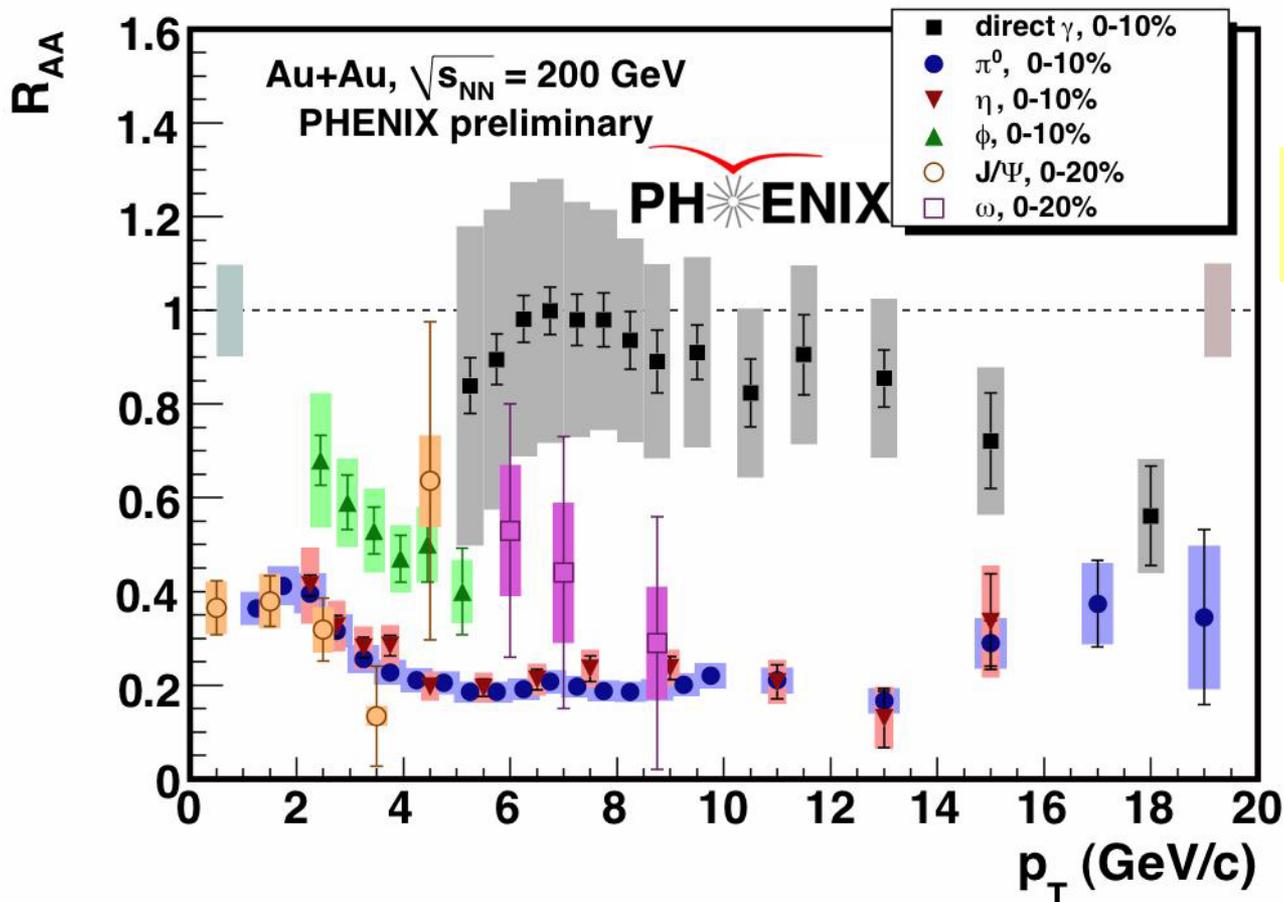
高密度の物質が出来ている



時間経過

金一金衝突では高エネルギー粒子の発生量が著しく少なくなっている。これから、金+金衝突では、高エネルギー密度のクォーク・グルーオン・プラズマが出来ていると分かる。

色々な粒子の R_{AA} (QGPによる生成抑制度)

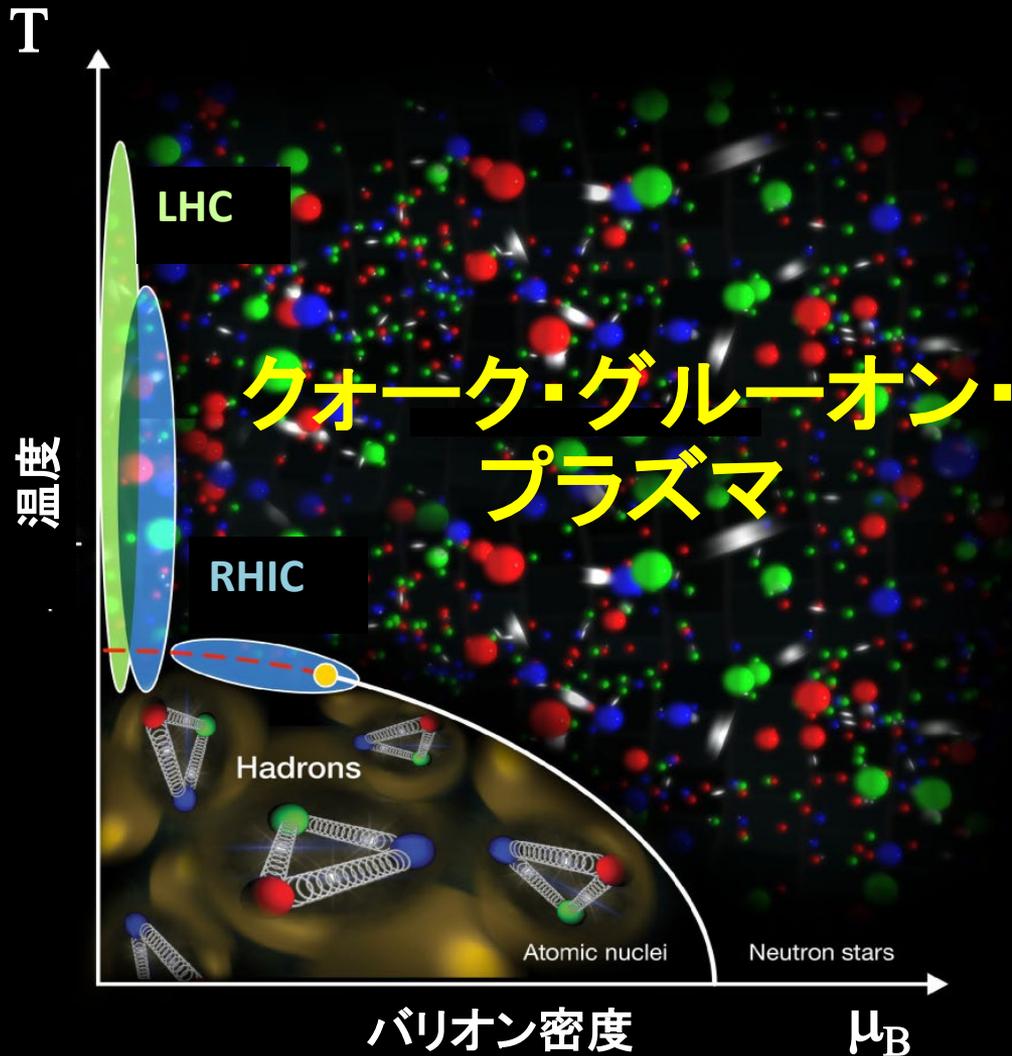


$$R_{AA} = \frac{\text{Yield}_{\text{AuAu}} / \langle N_{\text{binary}} \rangle_{\text{AuAu}}}{\text{Yield}_{\text{pp}}}$$

陽子+陽子の場合に比べての抑制度

- π^0 は ~ 20 GeV/cまで $R_{AA} \sim 1/5$ と強く抑制されている。
- π^0 と η の R_{AA} は同じ \rightarrow クォーク・グルーオンのレベルでエネルギー損失
- direct γ は抑制されていない。 \rightarrow 抑制の原因はQGP 媒体効果

まとめ



- RHICの原子核衝突で、クォーク・グルーオンプラズマが再現された
 - Jet Quenching
 - 強い楕円フロー
 - 熱光子
- LHCの原子核衝突で、QGPの生成が確認された
- RHICとLHCで、QGPの物性研究が進行中

より詳しくは



カスタマーレビュー

★★★★★ (1)

5つ星のうち 5.0

星5つ	1	あなたのご意見やご感想を教えてください
星4つ	0	
星3つ	0	
星2つ	0	
星1つ	0	

[カスタマーレビューを書く >](#)

[カスタマーレビューを表示 >](#)

最も参考になったカスタマーレビュー

3人中、3人の方が、「このレビューが参考になった」と投票しています。

★★★★★ 初心者向け

By 八野哲 on 2014/5/20

まったくQGPを学んだことの無い学生向けです。

博士課程の学生には少し物足りないと感じるかもしれません。

高エネルギー原子核衝突実験の分野に少しでも興味を持ったなら、この本を読んでみてください。