

クォーク・核物質研究部門報告

- 格子QCD 研究
- 宇宙元素合成研究
- QGP/臨界点研究

ALICE/LHC, STAR/RHIC, J-PARC/E16, RIKEN/RIBF,
計算科学研究センター、宇宙史研究センター

クォーク・核物質研究部門 部門長：江角晋一(ap)

構成教員：小澤 顕(p)、三明康郎(p)、中條達也(l)、Norbert Novitzky(a海外unit副PI)、新井田貴文(a)、
金谷和至(p)、山口貴之(apCA:埼玉大)、小沢恭一郎(apCA:KEK)、佐甲博之(pCA:原研)、野中俊宏(a)

Thomas Peitzmann(p海外unitPI: Utrecht大)、Marco van Leeuwen(p海外unitPI: Utrecht大)

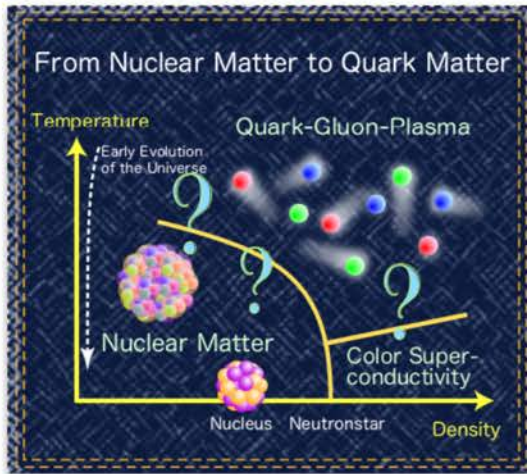
連携教員：藏増嘉伸(p)、谷口裕介(ap)、向井もも(a)、杉立徹(p客員:広大)、笹公和(ap)、森口哲朗(a)

濱垣秀樹(p客員:長崎総合科学大)、秋葉康之(p客員:理研)、若杉昌徳(p客員:京大)、

永宮正治(p:理研)、郡司卓(ap:東大)、志垣賢太(ap:広大)

研究員：高水裕一(CCS)、坂井真吾、Ashutosh Kumar Pandey

格子QCDシミュレーションによるクォーク物質の熱力学特性の研究

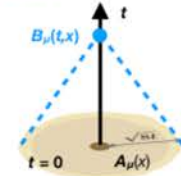


SFtX法 (Small Flow-time Expansion Method):

Gradient Flow を応用して、くりこまれた物理量を
格子上で評価する一般的手法

H. Suzuki (2013)

エネルギー運動量テンソルや位相感受率など、これまで困難だった物理量も計算可能に。



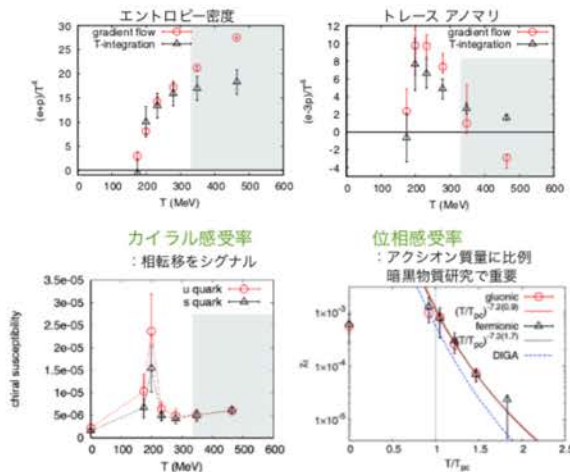
金谷・谷口ら

SFtX法を初めて動的クォークをもつQCDに応用。
クォーク・ハドロン物質の相構造と熱力学的特性を
2+1フレーバーQCDで格子計算。

2017: QCD with heavy u,d quarks

WHOT-QCD, PRD96, 014509 (2017); D95, 054502 (2017)

第1段階: udクォークは重い、sは \approx 現実。
格子は十分細かい。



★熱力学特性の格子計算で、SFtX法が強力。

2018- : Test of lattice spacing-effect, etc.

連続極限外挿にむけ、格子間隔を変えた研究を推進中。

エネルギー運動量テンソルの2点相関から、粘性係数なども評価できる可能性。

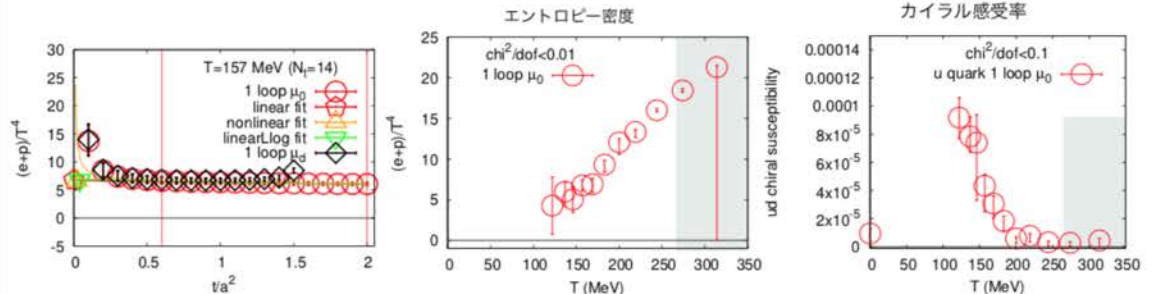
2018- : QCD with physical u,d,s quarks

クォーク質量を物理点に下げた現実的QCD研究を実行中。少し粗い格子。

on-going

2019: SFtX法のくりこみ点として、 μ_0 を新たに採用 => 数値計算を大きく改善

低温領域のシミュレーションを推進。



★ $T_{pc} \approx 122-146\text{MeV} ??$

2019: Test of 2-loop coefficients for SFtX

SFtX matching係数における高次効果を検証。=> 最終結果に影響しないことを確認。

元素合成の研究

— 21世紀に解決すべき科学上の11大問題 —
 3番目：重元素はいかにして造られたのか？

重元素合成仮説(Rプロセス)



検証には、、、

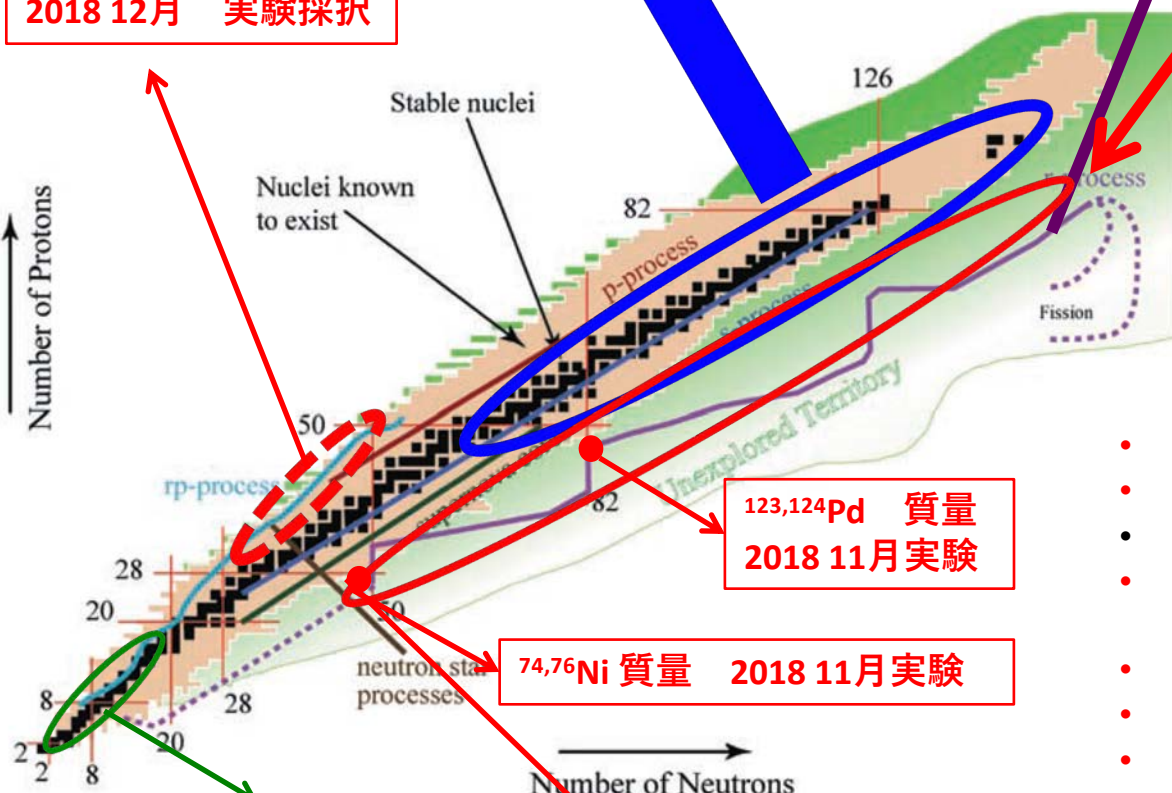
不安定核の質量測定が必須！

^{110}Sn , ^{80}Zr etc. 質量
 2018 12月 実験採択

核図表



稀少RIリング@RIBF



$^{123,124}\text{Pd}$ 質量
 2018 11月実験

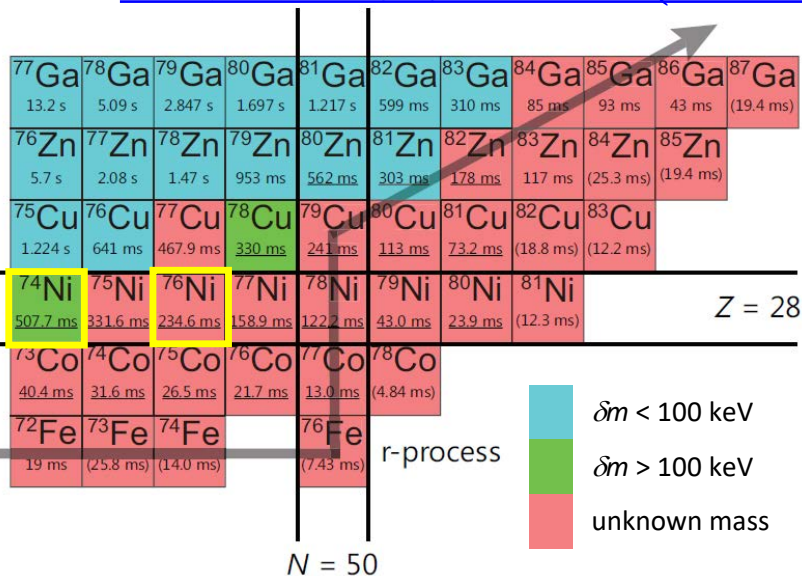
$^{74,76}\text{Ni}$ 質量 2018 11月実験

核半径測定： ^{17}Ne 、 ^{17}F
 核モーメント測定： ^{30}P

Ni領域の寿命
 2019 12月 実験採択

- 日本初の不安定用蓄積リング
- 筑波大中心で約10年かけて製作
- 2015年、3月完成
- 2018年、11月質量測定実験
 (Ni、Sn領域)
- 2018年、12月陽子過剰領域採択
- 2019年、12月寿命測定実験採択
- 2020年、秋、
 Ni、Sn領域の2度目の実験 (予定)

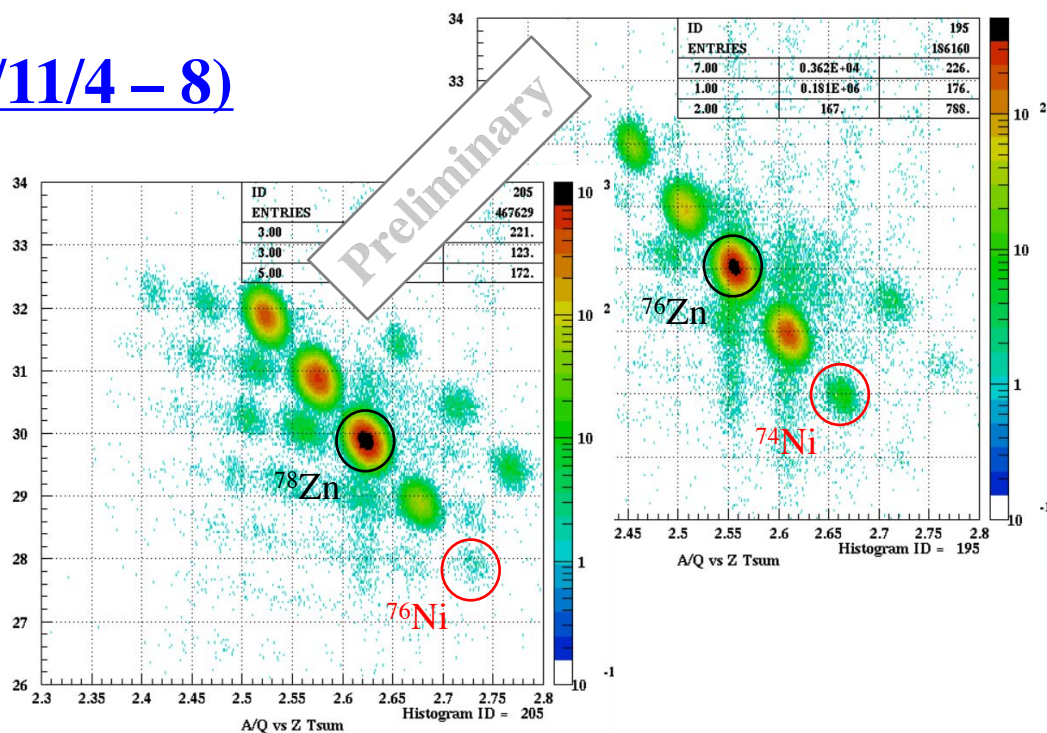
Ni領域の質量測定 (2018/11/4 – 8)



Time resolution for reference nuclei

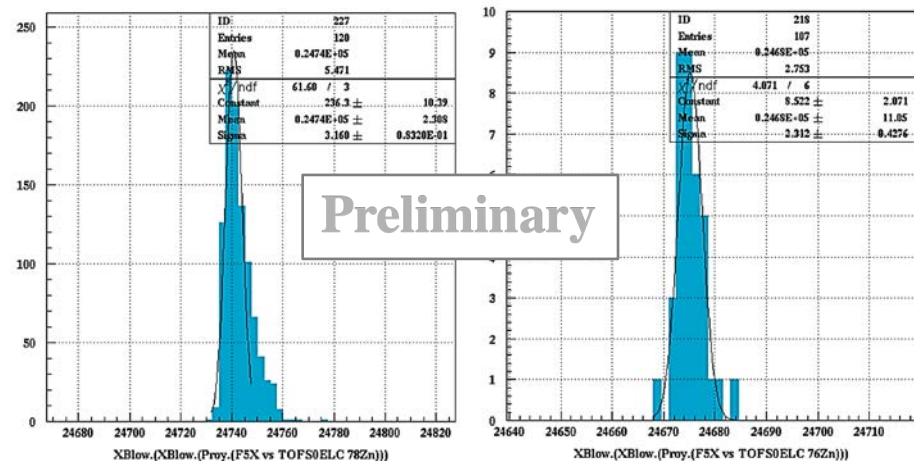
^{78}Zn $dT/T = 4 \times 10^{-6}$

^{76}Zn $dT/T = 3 \times 10^{-6}$

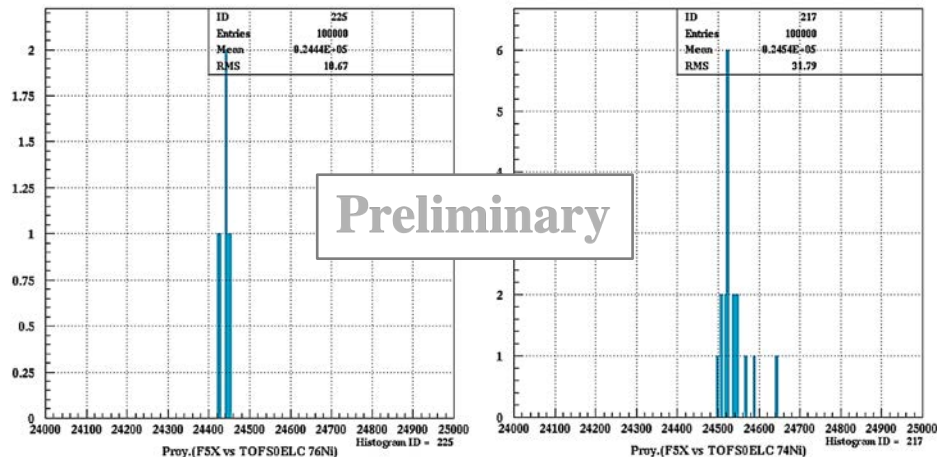


^{76}Ni 6 counts/10h
(Transmission ~ 2.8%)

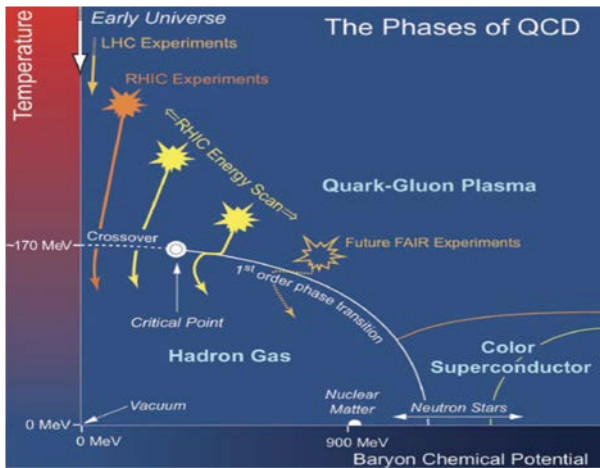
^{74}Ni ~20 counts/5h
(Transmission ~ 0.5%)



Vertical : TOF(S0-ELC) – 700 us



質量は解析中



ALICE Data taken at LHC

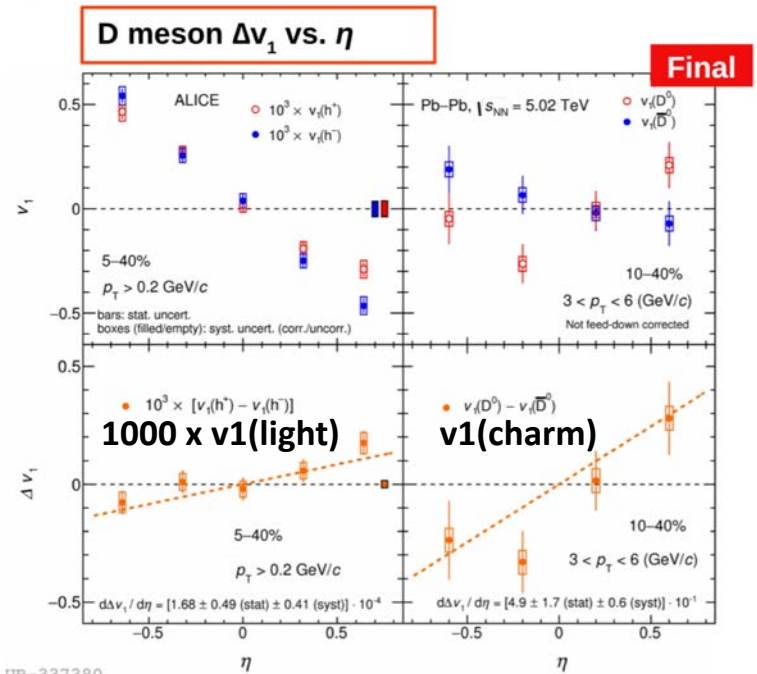
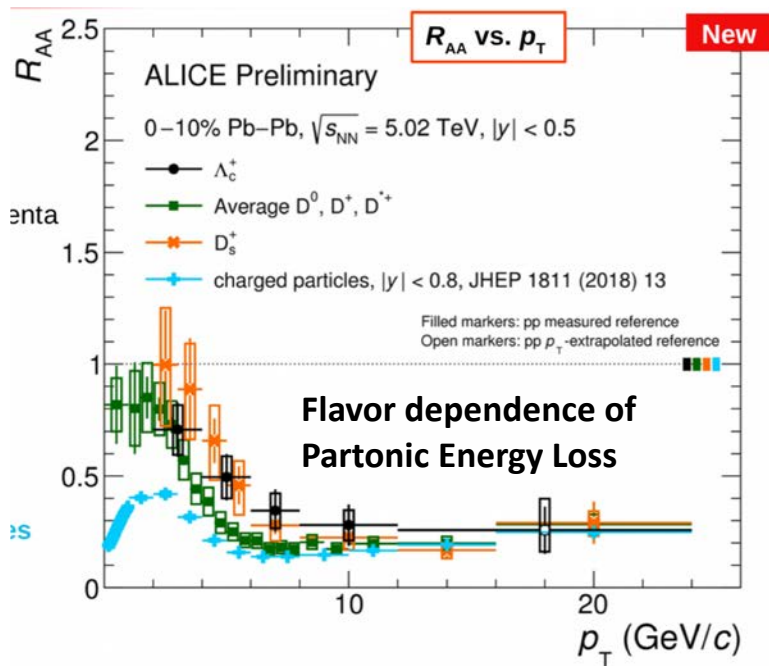
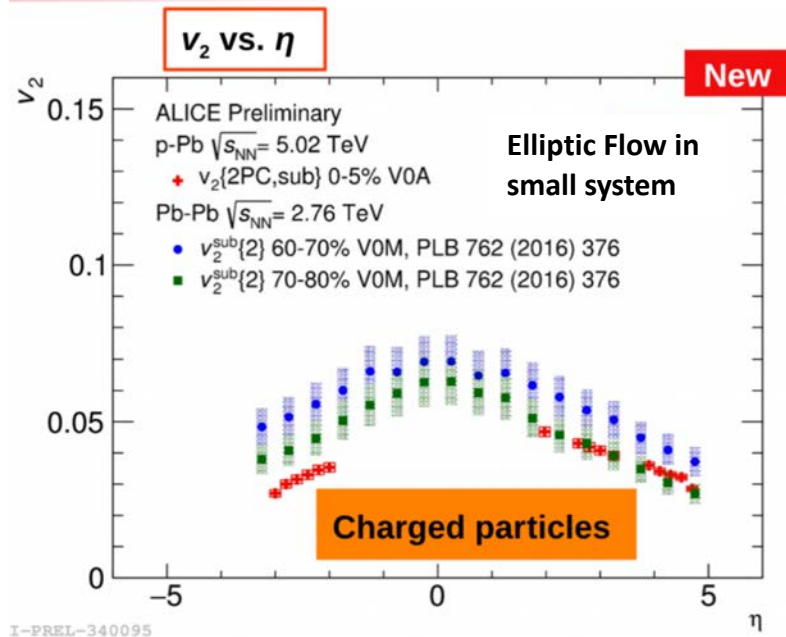
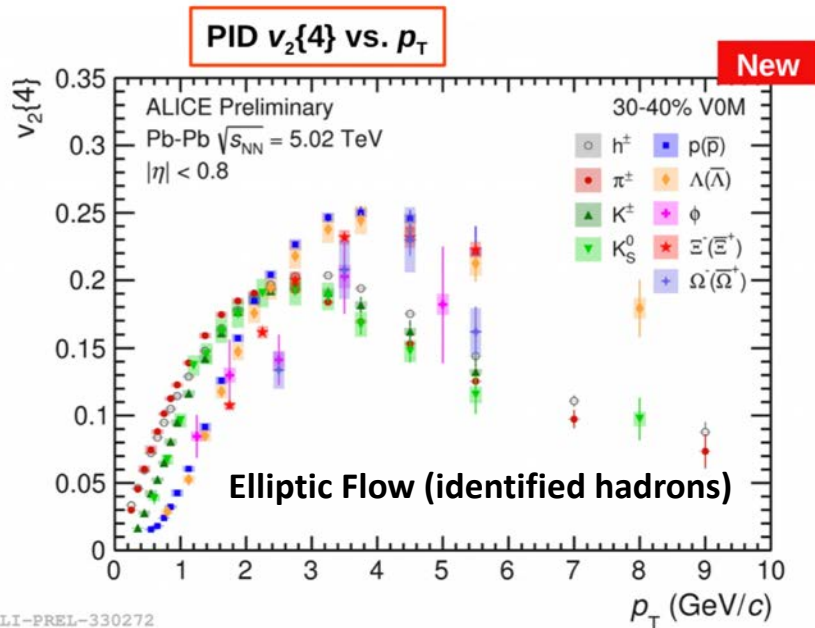
| System | Year(s) | $\sqrt{s_{NN}}$ (TeV) | Recorded L_{int} (for muon triggers) |
|--------|------------|-----------------------|---|
| Pb-Pb | 2010,2011 | 2.76 | $\sim 75 \mu\text{b}^{-1}$ |
| | 2015 | 5.02 | $\sim 0.25 \text{nb}^{-1}$ |
| | 2018 | 5.02 | $\sim 0.55 \text{nb}^{-1}$ |
| Xe-Xe | 2017 | 5.44 | $\sim 0.3 \mu\text{b}^{-1}$ |
| p-Pb | 2013 | 5.02 | $\sim 15 \text{nb}^{-1}$ |
| | 2016 | 5.02, 8.16 | $\sim 3 \text{nb}^{-1}; \sim 25 \text{nb}^{-1}$ |
| PP | 2009-2013 | 0.9, 2.76, 7, 8 | $\sim 200 \mu\text{b}^{-1}; \sim 100 \text{nb}^{-1};$ $\sim 1.5 \text{pb}^{-1}; \sim 2.5 \text{pb}^{-1}$ |
| | 2015, 2017 | 5.02 | $\sim 1.3 \text{pb}^{-1}$ |
| | 2015-2018 | 13 | $\sim 36 \text{pb}^{-1}$ |

STAR Beam Use Request for Run20

| | Beam Energy (GeV/nucleon) | $\sqrt{s_{NN}}$ (GeV) | μ_B (MeV) | Run Time | Number Events requested / collected |
|-------|------------------------------|-----------------------|---------------|-----------|--|
| | 9.8 | 19.6 | 205 | 4.5 weeks | 400M 582M |
| | 7.3 | 14.5 | 260 | 5.5 weeks | 300M 324M |
| Run20 | 5.75 | 11.5 | 315 | 9.5 weeks | 230M |
| | 4.55 | 9.1 | 370 | 9.5 weeks | 160M |
| | 3.85 | 7.7 | 420 | 12 weeks | 100M |
| | 31.2 | 7.7 (FXT) | 420 | 2 days | 100M 51M |
| Run20 | 19.5 | 6.2 (FXT) | 487 | 2 days | 100M |
| | 13.5 | 5.2 (FXT) | 541 | 2 days | 100M |
| | 9.8 | 4.5 (FXT) | 589 | 2 days | 100M |
| | 7.3 | 3.9 (FXT) | 633 | 2 days | 100M 53M |
| | 5.75 | 3.5 (FXT) | 666 | 2 days | 100M |
| | 4.55 | 3.2 (FXT) | 699 | 2 days | 100M 201M |
| | 3.85 | 3.0 (FXT) | 721 | 2 days | 100M 3.7M+300M (run18) |

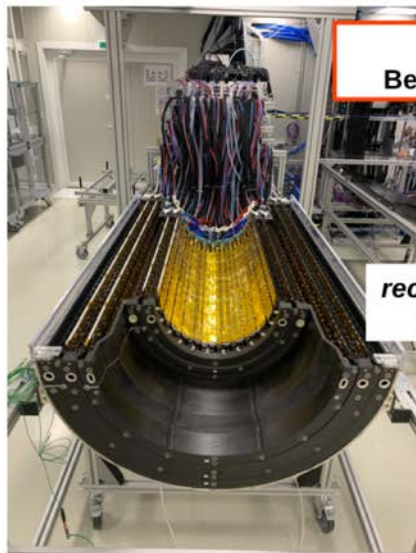
Brief Summary of the 2020 Run

| Energy | Start | Finish | First Run | Last Run | HLTgood | Target |
|----------|----------------------|----------------------|-----------|----------|----------------|--------|
| 11.5 GeV | Dec 10 th | Feb 24 th | 20056032 | 21055017 | 235 M | 230 M |
| 31.2 FXT | Jan 28 th | Jan 29 th | 21028011 | 21029037 | 112.5 M | 100 M |
| 9.8 FXT | Jan 29 th | Feb 1 st | 21029051 | 21032016 | 108 M | 100 M |
| 19.5 FXT | Feb 1 st | Feb 2 nd | 21032049 | 21033017 | 118 M | 100 M |
| 13.5 FXT | Feb 2 nd | Feb 3 rd | 21033026 | 21034013 | 103 M | 100 M |
| 7.3 FXT | Feb 4 th | Feb 5 th | 21035003 | 21036013 | 117 M | 100 M |
| 5.75 FXT | Feb 13 th | Feb 14 th | 21044023 | 21045011 | 115.6 M | 100 M |
| 9.2 GeV | Feb 24 th | TBD | 21055032 | 21000000 | 32 M | 160 M |
| 7.7 GeV | TBD | TBD | 21000000 | 21000000 | 0 M | none |



ALICE upgrade
with better ITS2
and fast TPC
(LHC/RUN3)

ITS3/Focal
(LHC/RUN4)



**New ITS:
Better vertexing**

**Faster TPC:
MWPC → GEMs**

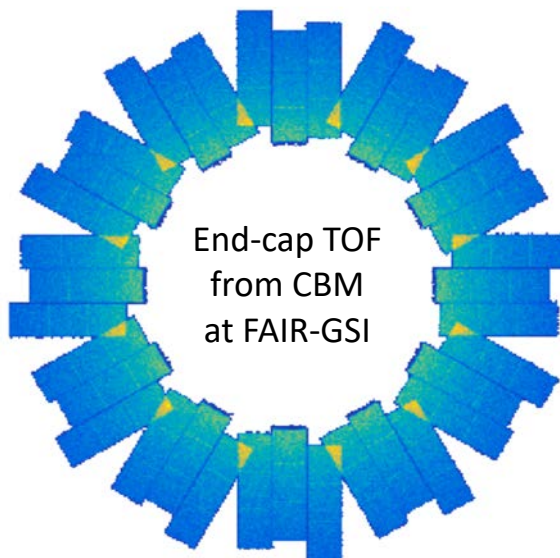
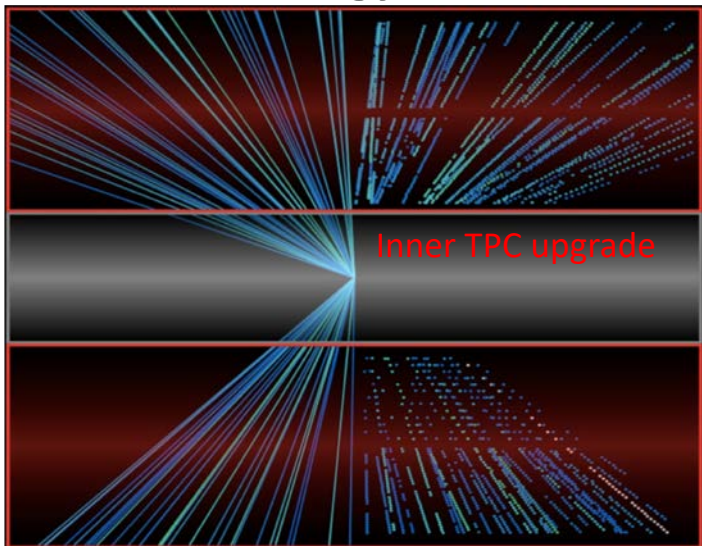
And many more detector
upgrades and detectors
(MFT, FIT, ...)

record minimum-bias Pb-Pb data
at 50 kHz (currently <1 kHz)

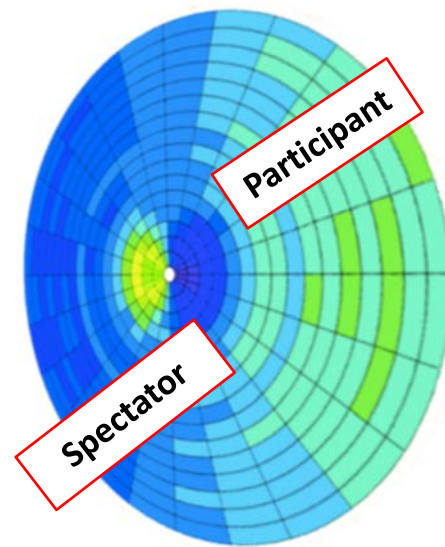
"triggerless operation"
requiring data center for
processing at Point-2



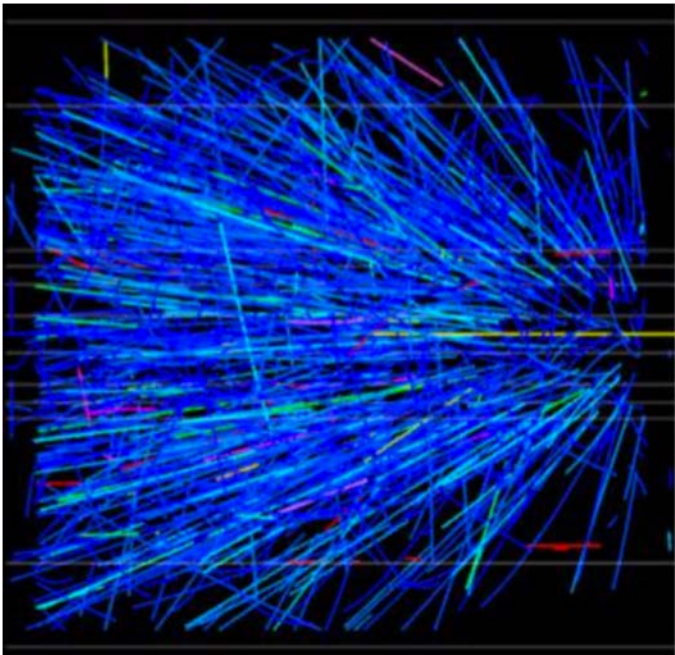
STAR upgrade
for beam-energy scan



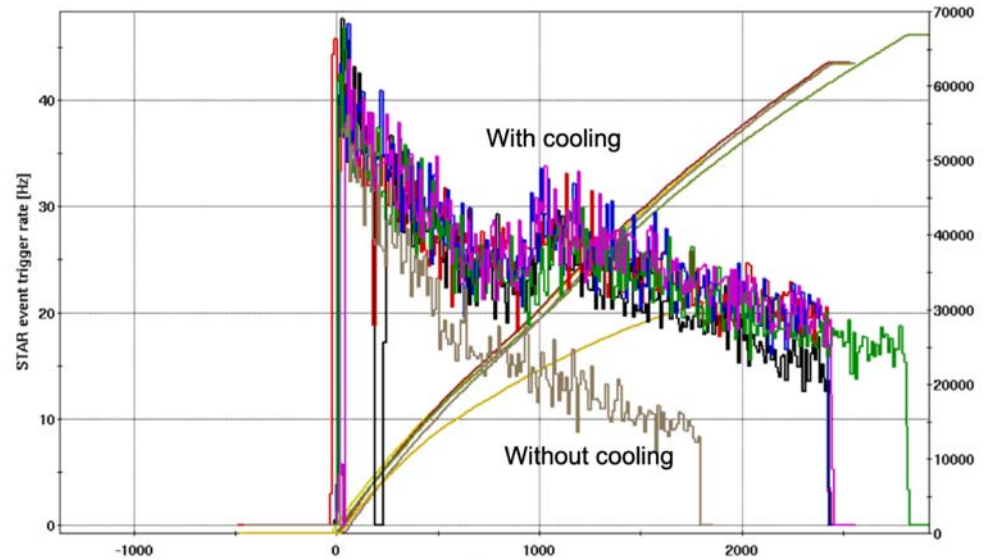
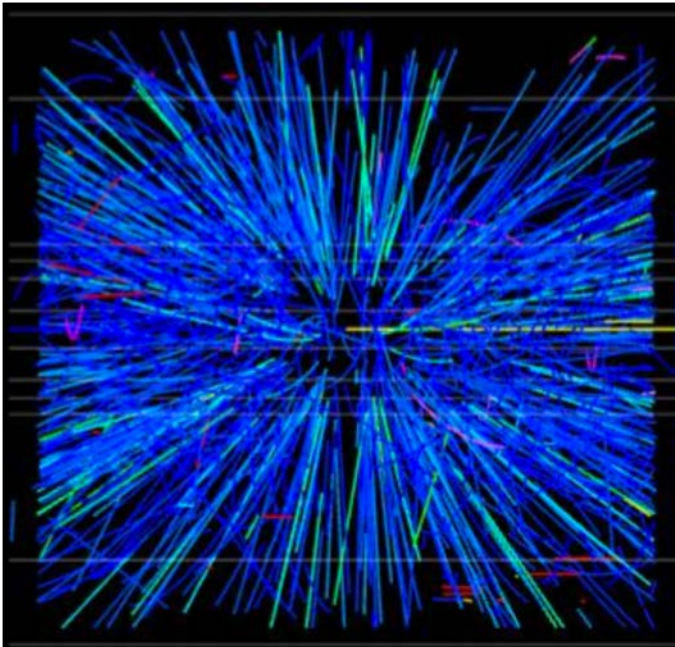
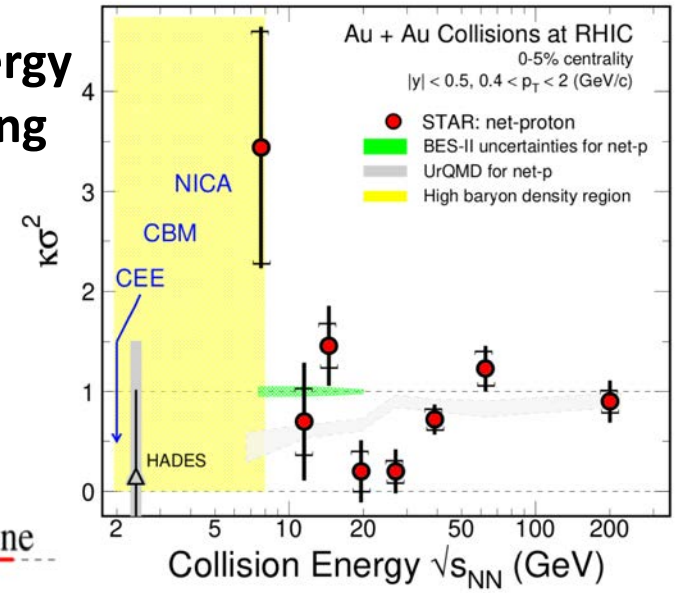
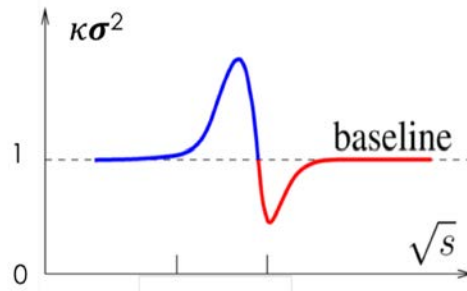
End-cap TOF
from CBM
at FAIR-GSI



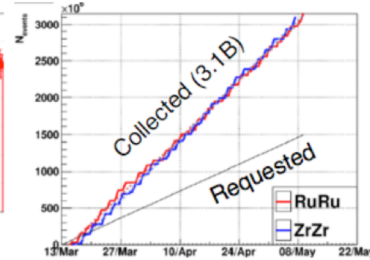
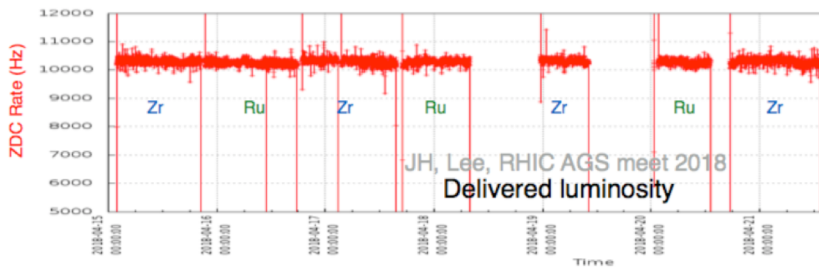
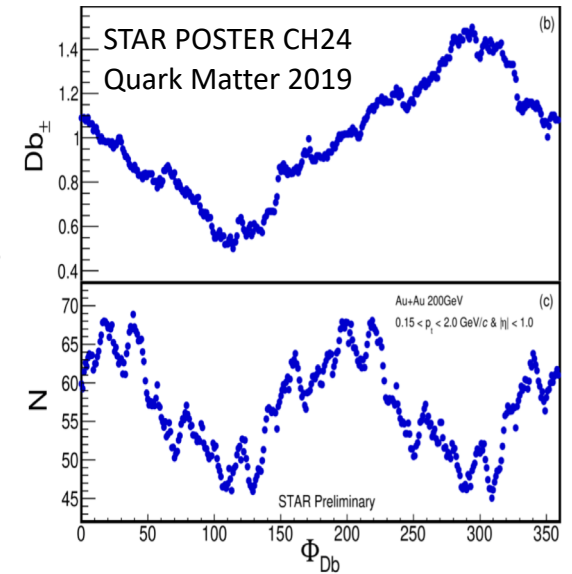
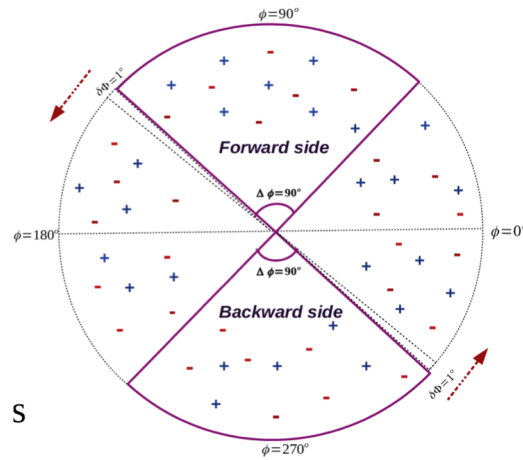
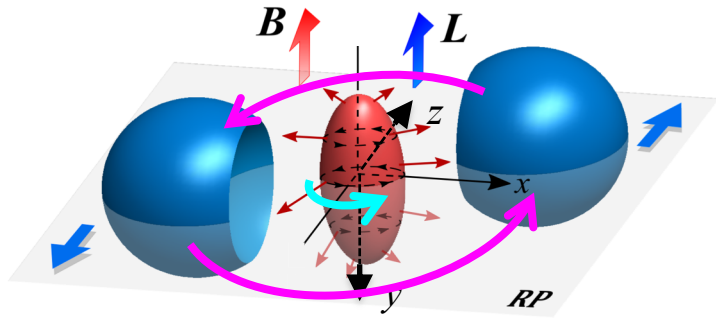
Event-Plane Detector (EPD)
At 27 GeV



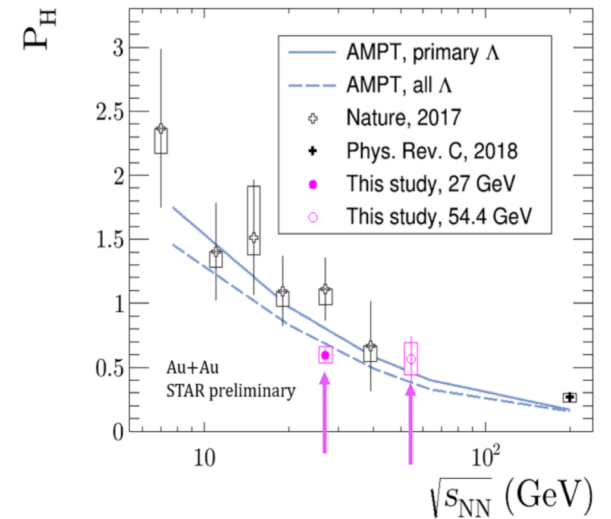
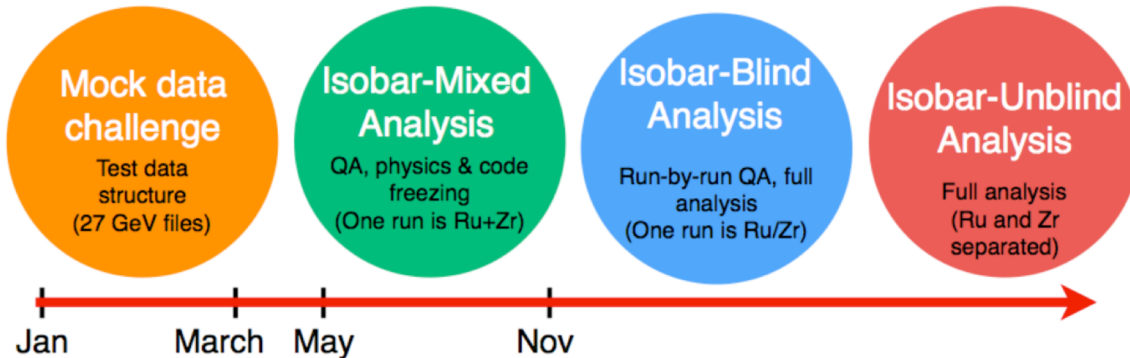
towards Lower Energy
with electron cooling
and fixed target



Initial strong magnetic field and vortical fluid



3.1B events for both Ru+Ru, Zr+Zr collected over 8 weeks
Plans for blind analyses of the data was laid down from the beginning



クォーク・核物質研究部門報告まとめ

- 格子QCD 研究
クォーク物質の熱力学的特性
- 宇宙元素合成研究
不安定核用蓄積リング
Ni,Sn領域質量測定、寿命測定、陽子過剰領域実験
- QGP/臨界点研究
LHC-ALICE実験、RHIC-STAR実験、J-PARC-E18実験
ビームエネルギー走査実験の遂行

Di-Jet識別装置を用いたグルオン衝撃波の探索

三明康郎 2017-04 -- 2020-03

日本学術振興会/基盤研究 (B) 11,960,000円

原子核衝突ビームエネルギー走査による高密度クォーク核物質の研究

江角晋一 2017-10 -- 2022-09

伊藤科学振興会/平成29年度物理学分野研究助成金 1,000,000円

高次ゆらぎと粒子相関による高密度クォーク核物質の1次相転移と臨界点観測への挑戦

江角晋一 2019-04 -- 2024-03

日本学術振興会/基盤研究 (S) 83,490,000円

ALICE 実験 ジェットと前方光子で探る高温クォーク物質生成の起源

中條 達也 2017 -- 2020

日本学術振興会/基盤研究 (A) 43,680,000円

蓄積リングでの質量測定によるハロー原子核の探索

小沢 顕 2018 -- 2020

日本学術振興会/基盤研究 (A) 45,760,000円

第14回 (2020年) 日本物理学会若手奨励賞 (実験核物理領域)

第26回 令和元年 原子核談話会 新人賞

野中 俊宏 (華中師範大学 粒子物理学研究所、筑波大卒、現筑波大助教)