研究会「EICで展開する新たな原子核・素粒子物理」

28–30 May 2024
University of Tokyo
Asia/Tokyo timezone

初めに
EICおよびePIC実験の現状

TAKU GUNJI
CENTER FOR NUCLEAR STUDY
THE UNIVERSITY OF TOKYO

東京大学 大学院
理学系研究科・理学部
SCHOOL OF SCIENCE, THE UNIVERSITY OF TOKYO

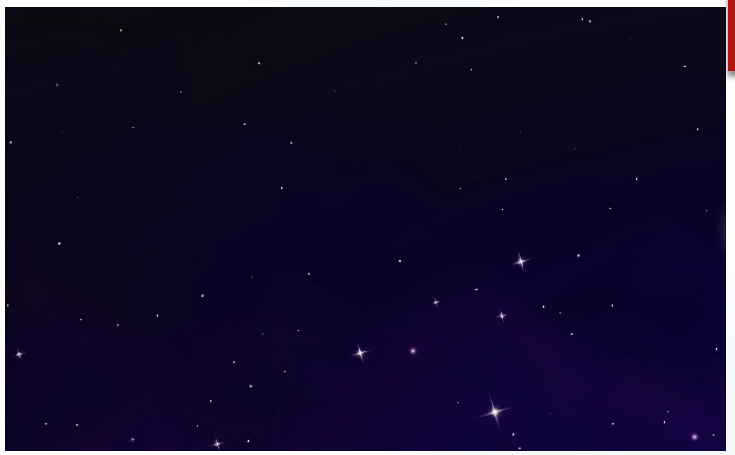
研究会の趣旨

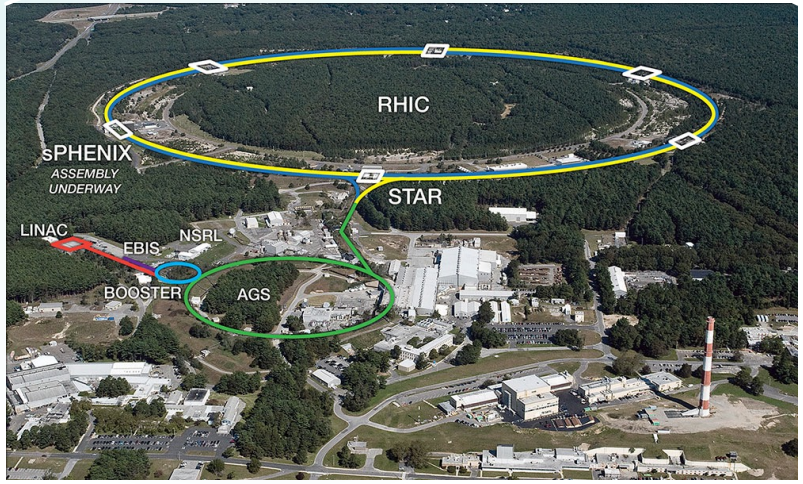
2020年に行われたKEK研究会「素粒子・原子核コライダー物理の交点」を受けて、今回は、米国の次期大型計画EIC（Electron-Ion Collier）に焦点を置き、EICが今後の素粒子物理学と原子核物理学にどのような新しい展開をもたらすかを議論したいと思います。

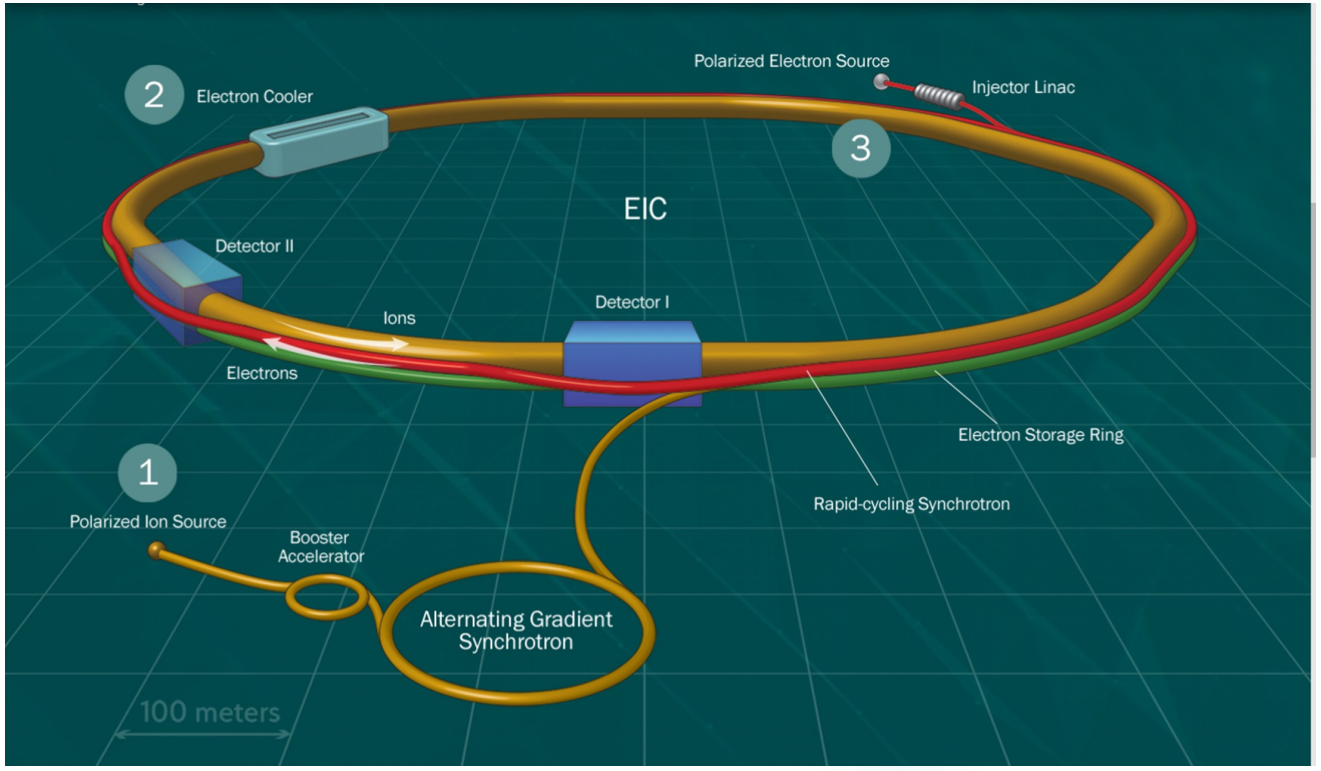
EICはアメリカ原子核物理の最優先計画であり、ブルックヘブン国立研究所に建設される世界初の偏極電子＋偏極陽子及び原子核衝突型加速器です。EIC計画は現在アメリカエネルギー省から計画実行段階への権限を与えられ、次の施設建設段階へ、そして2032年頃の建設完了に向けて、順調に進んでいます。
EICは今後10年程度で実現する新たなコライダーとしては唯一のものとなる可能性もあり、原子核物理分野と素粒子物理分野が協力して推進することを目指したいと思います。

What is EIC?

Electron-Ion Collider (EIC):
A new particle accelerator that collides electrons with protons and nuclei to produce snapshots of those particles' internal structure
unlock the secrets of the strongest force in Nature

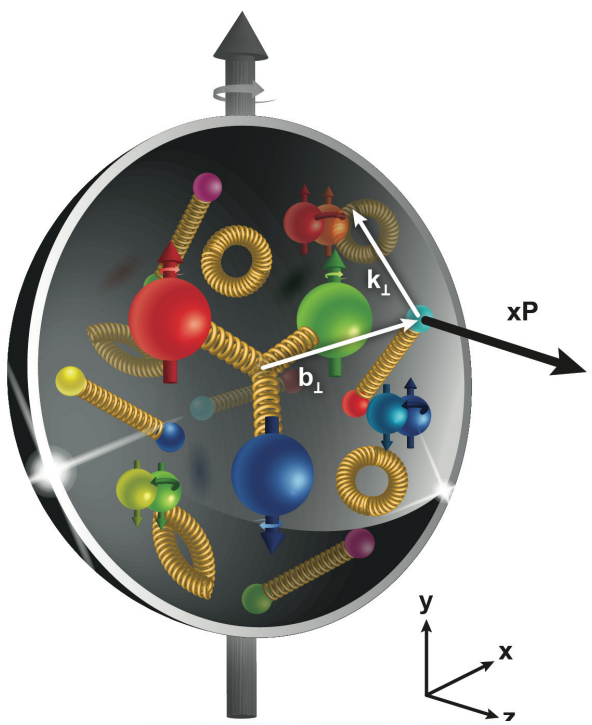


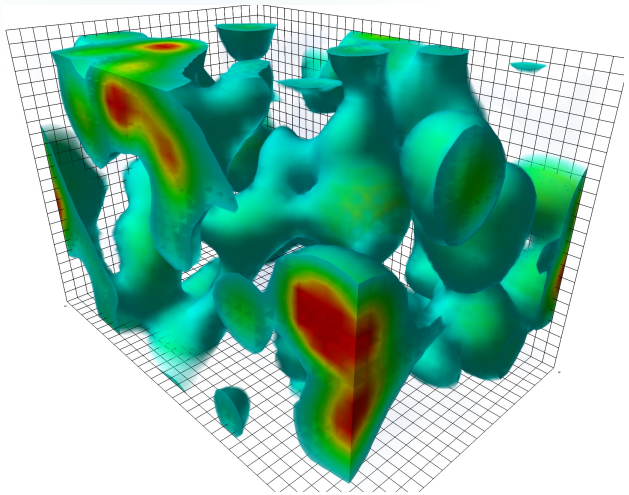




Uniqueness of EIC Science

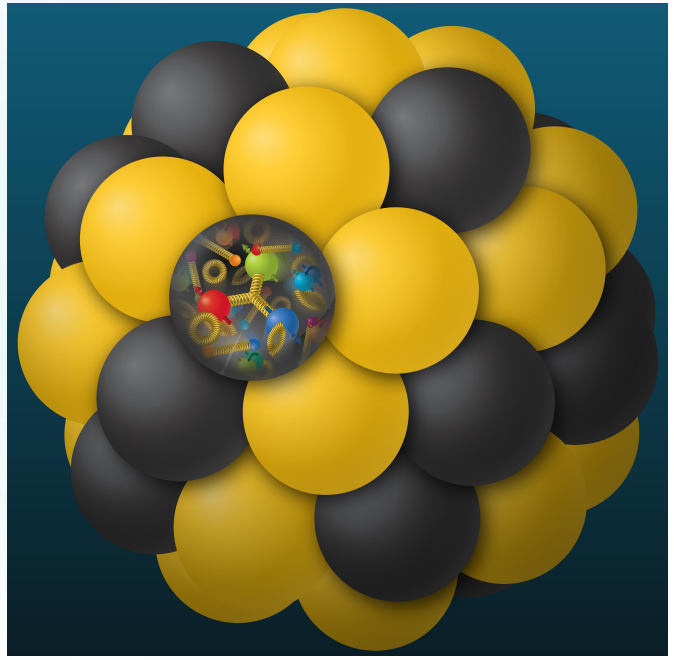
- 3D tomography of proton, deuteron and ^{3}He (light nuclei)
  - How do the nucleon properties emerge from quarks, gluons, and their interactions?
  - Probing q-g structure of NN and NNN interaction in light nuclei

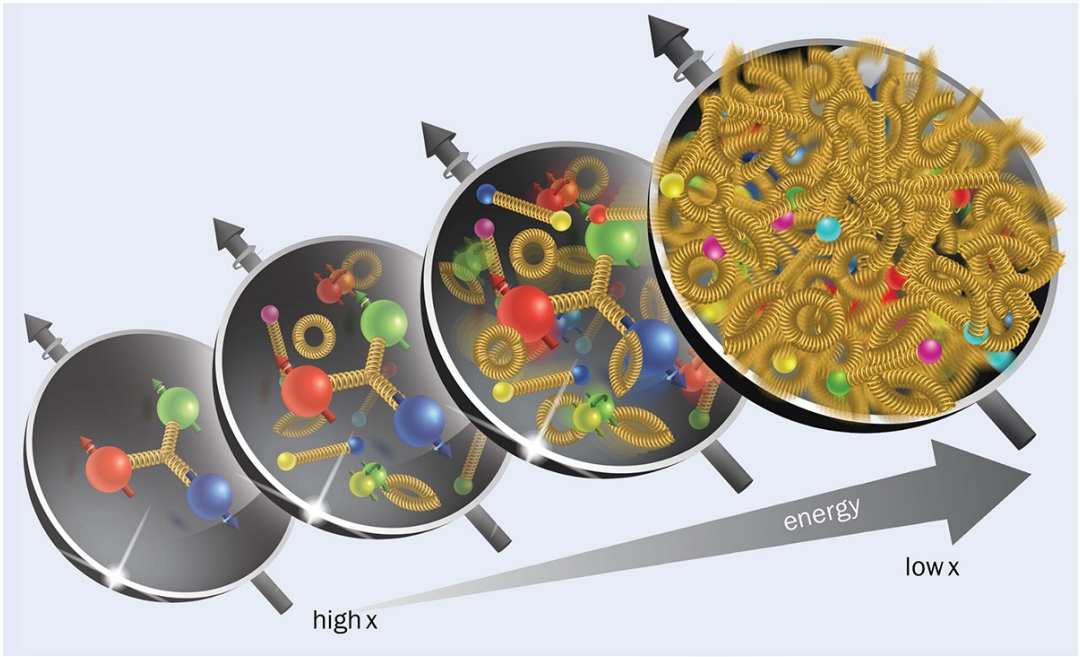




Uniqueness of EIC Science

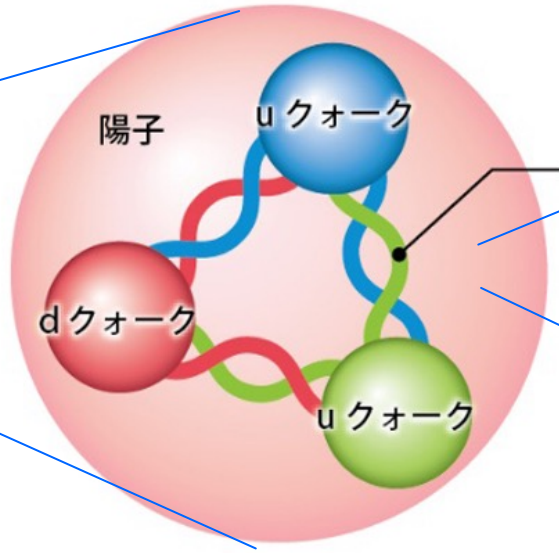
- Evolution of partonic structure from nucleons to nuclei
  - How does a dense nuclear environment affect the quarks and gluons, their correlations, and their interactions?
  - How do the quark-gluon interactions create nuclear binding?
  - Properties of gluon saturation at high-energy



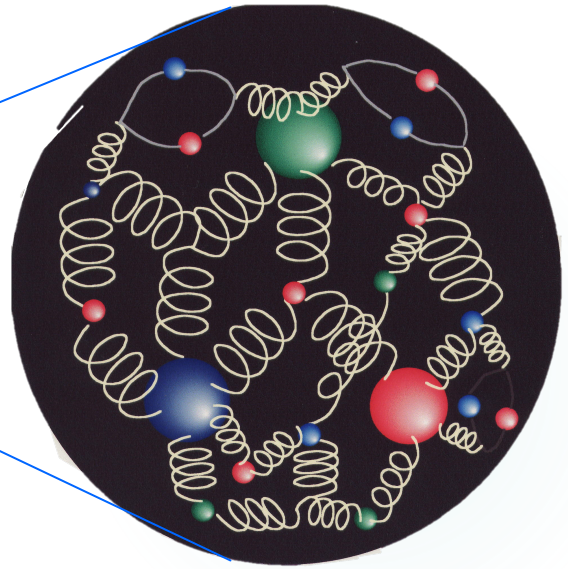


Hierarchical structure of matter

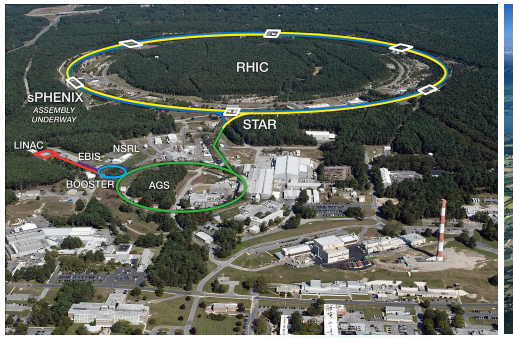
Nucleus
(MeV)



Hadron
Constituent quarks (GeV)

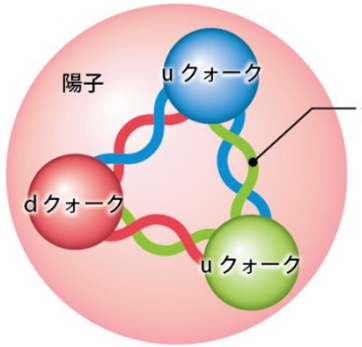


Quarks and Gluons
(TeV)

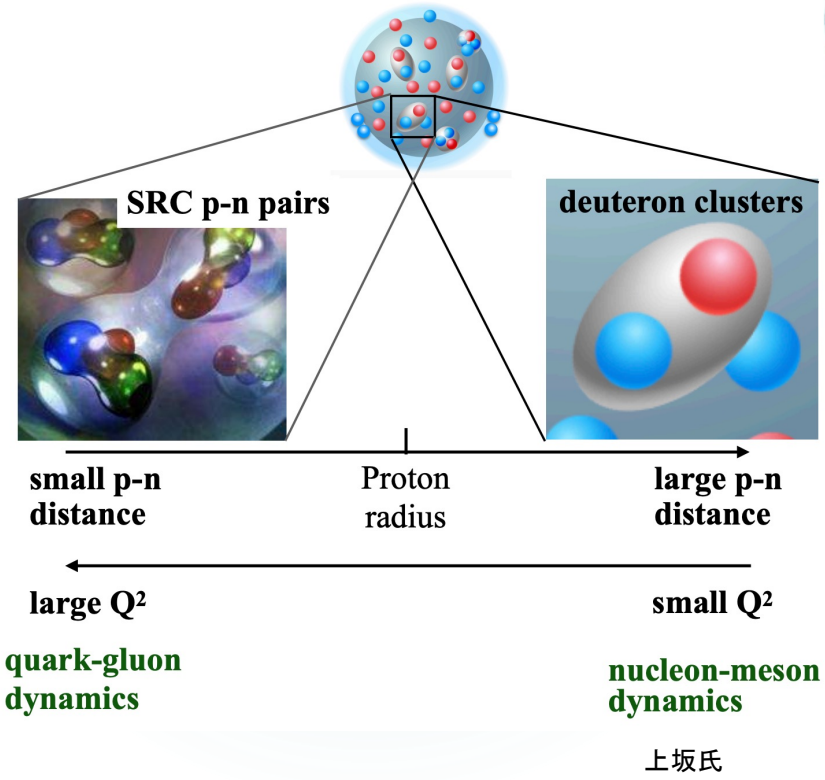


Collaborative creation examples

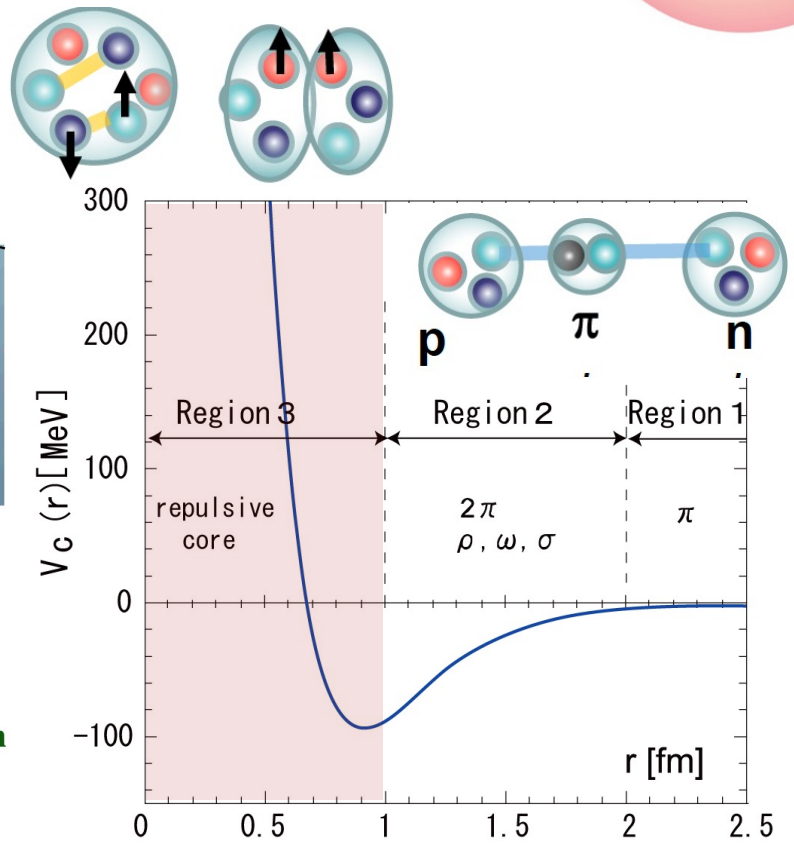
Nucleus (MeV)

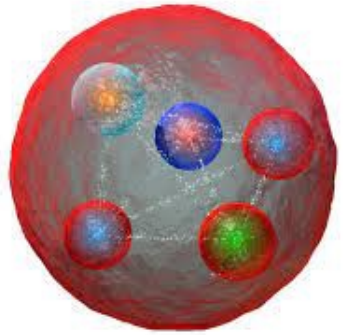


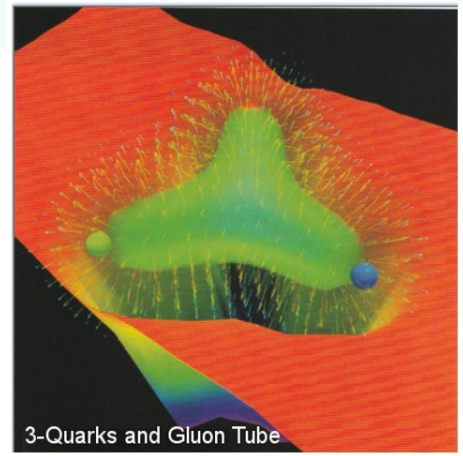
Hadron Constituent quarks (GeV)

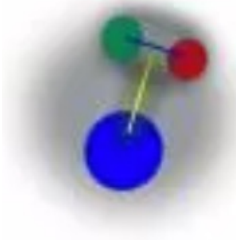


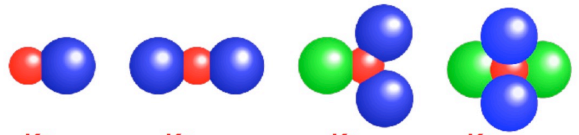
上坂氏



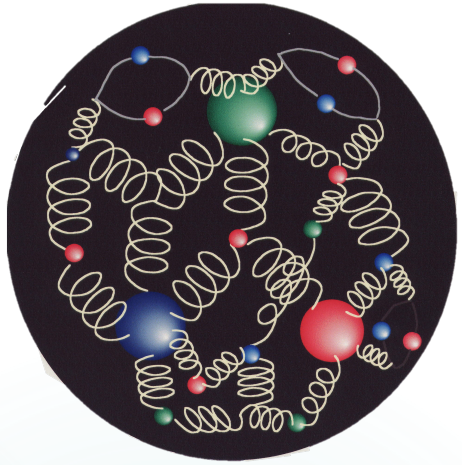


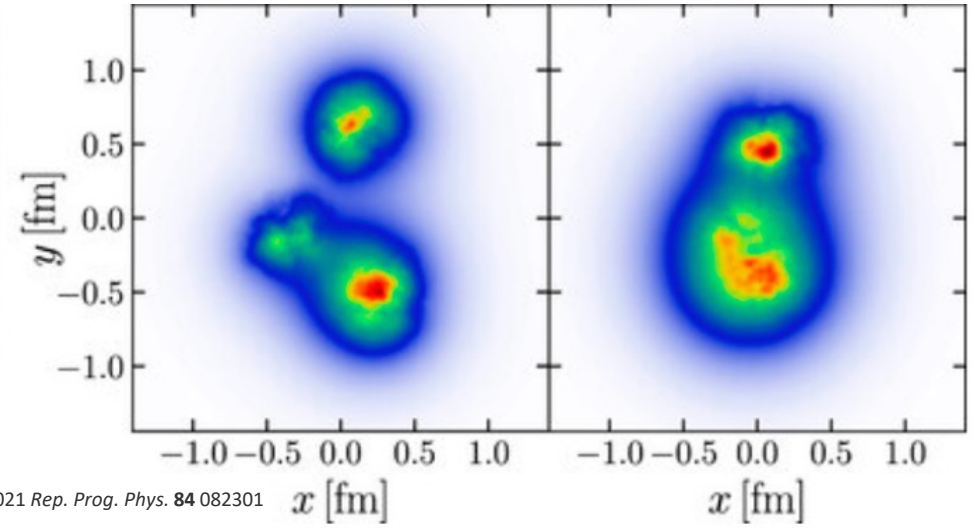






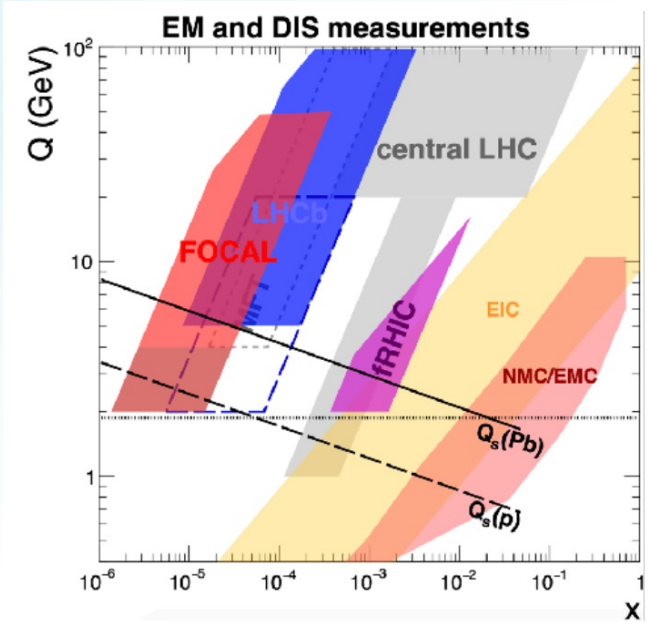
Collaborative creation examples

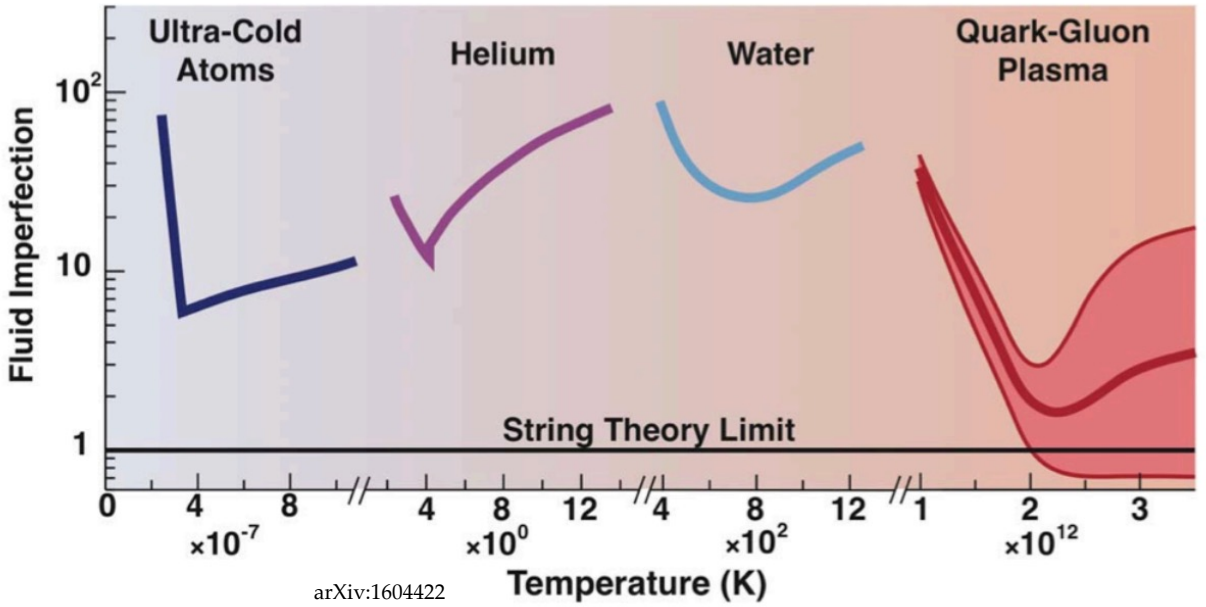




Björn Schenke 2021 *Rep. Prog. Phys.* **84** 082301

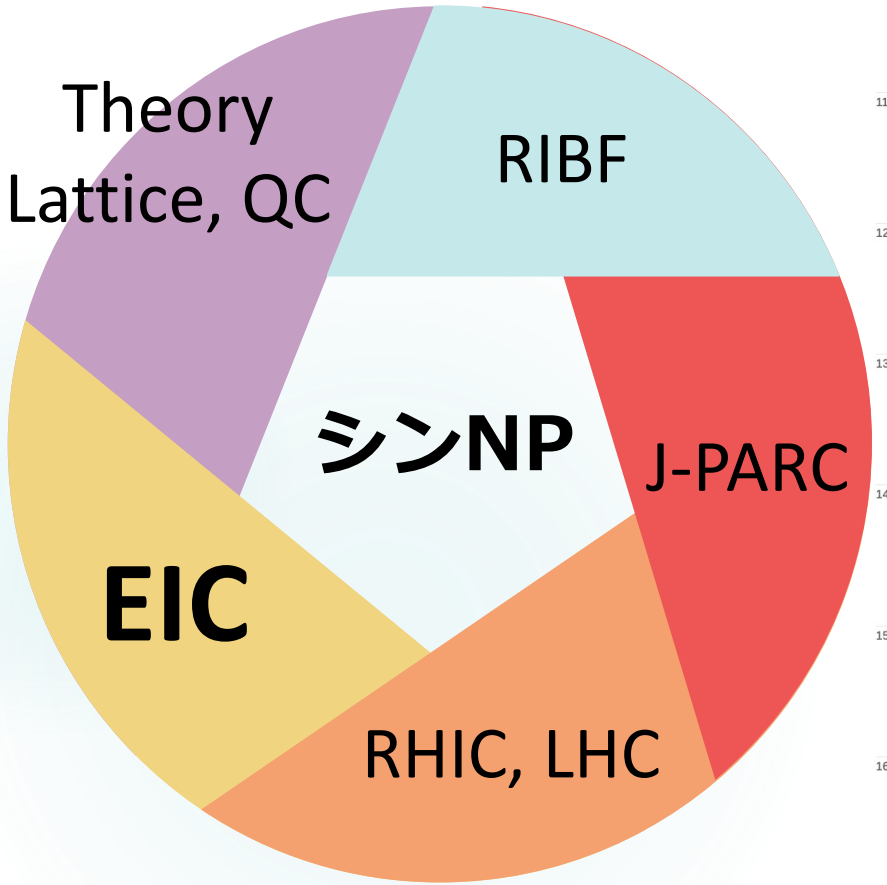
Quarks and Gluons (TeV)





arXiv:1604422

Develop collaborative creation



10:00
- 基調講演：The Electron-Ion Collider: the ultimate electron microscope — Prof. Gordon Baym — Koshiba-hall, University of Tokyo — 09:45 - 10:35
- coffee break — Koshiba-hall, University of Tokyo — 10:35 - 10:55

11:00
- RHICスピン物理の発展 — Yuji Goto — Koshiba-hall, University of Tokyo
- ePIC Experiment Overview — Koshiba-hall, University of Tokyo
- Lunch — Koshiba-hall, University of Tokyo — 11:45 - 13:15

12:00

13:00
- Studies of exotic-hadron candidates in high-energy reactions — Shunzo Kumano — Koshiba-hall, University of Tokyo
- Study of internal structure of baryons using hadron beam — Koshiba-hall, University of Tokyo

14:00
- Searching for Lepton Flavor Violation at EIC — Kaori Fuyuto — Koshiba-hall, University of Tokyo — 14:05 - 14:35
- Workshop photo // coffee break — Koshiba-hall, University of Tokyo — 14:35 - 14:55

15:00
- Recent trend of timing silicon detectors and development plan for future colliders — Koji Nakamura — Koshiba-hall, University of Tokyo — 14:55 - 15:20
- MAPS (TBD) — Koshiba-hall, University of Tokyo — 15:45
- Streaming readout DAQ development and standardization by SPADI Alliance — Prof. Shinsuke OTA — Koshiba-hall, University of Tokyo — 15:45 - 16:10

16:00
- coffee break — Koshiba-hall, University of Tokyo — 16:10 - 16:30
- 基調講演： Status of Collinear PDFs and the impact of the EIC data — Enrico Tassi — Koshiba-hall, University of Tokyo — 16:30 - 17:20

17:00
- Measurement of Hadron Mass in nuclei — Megumi Naruki — Koshiba-hall, University of Tokyo — 17:20 - 17:45
- ハドロンの重力形状因子と質量分解 — Kazuhiro Tanaka — Koshiba-hall, University of Tokyo — 17:45 - 18:10

18:00

Spin

technologies

Hadron structure

BSM

technologies

PDF

mass

09:00
- The color entanglement in TMD-factorization breaking (TBD) — Koshiba-hall, University of Tokyo
- EIC Physics from Lattice QCD: The Nucleon Mass and Spin Decomposition (zoom) — Raza Sufian — Koshiba-hall, University of Tokyo — 09:25 - 09:50

10:00
- 格子QCDの量子計算に向けて — Arata Yamamoto — Koshiba-hall, University of Tokyo — 09:50 - 10:15
- coffee break — Koshiba-hall, University of Tokyo — 10:15 - 10:35
- Introduction to TMD and higher twist frameworks and their expected role in EIC — Shinsuke Yoshida — Koshiba-hall, University of Tokyo — 10:35 - 11:00

11:00
- Fragmentation functions for nucleon structure measurements — Ralf Seidl — Koshiba-hall, University of Tokyo — 11:00 - 11:25
- Initial and final state effects on QGP in relativistic heavy-ion collisions — Shingo Sakai — Koshiba-hall, University of Tokyo — 11:25 - 11:50
- Lunch — Koshiba-hall, University of Tokyo — 11:50 - 13:00

12:00
- cluster and SRC を含む原子核物理の最近のトピック（TBD） — Koshiba-hall, University of Tokyo
- hadron spectroscopy from Belle to EIC — Koshiba-hall, University of Tokyo

14:00
- Hadron structure studies with antiproton beam at J-PA — Koshiba-hall, University of Tokyo — 14:05 - 14:30
- coffee break — Koshiba-hall, University of Tokyo
- kaon-nucleus bound systems — Koshiba-hall, University of Tokyo

15:00
- cSeaQuest実験・COMPASS実験で何が分かったのか？～陽子のフレーバー＆スピン構造～ — Yoshiyuki Miyachi — Koshiba-hall, University of Tokyo — 15:15 - 15:40
- Measurements of Generalized Parton Distribution fu — Natsuki Tomida — Koshiba-hall, University of Tokyo — 15:40 - 16:05

16:00
- coffee break — Koshiba-hall, University of Tokyo — 16:05 - 16:25
- 議論 — Koshiba-hall, University of Tokyo — 16:25 - 17:05

17:00
- Closing — Yuji Goto — Koshiba-hall, University of Tokyo — 17:05 - 17:15

entanglement

Lattice, QC

TMD

QGP

Hadron structure

Nuclear cluster

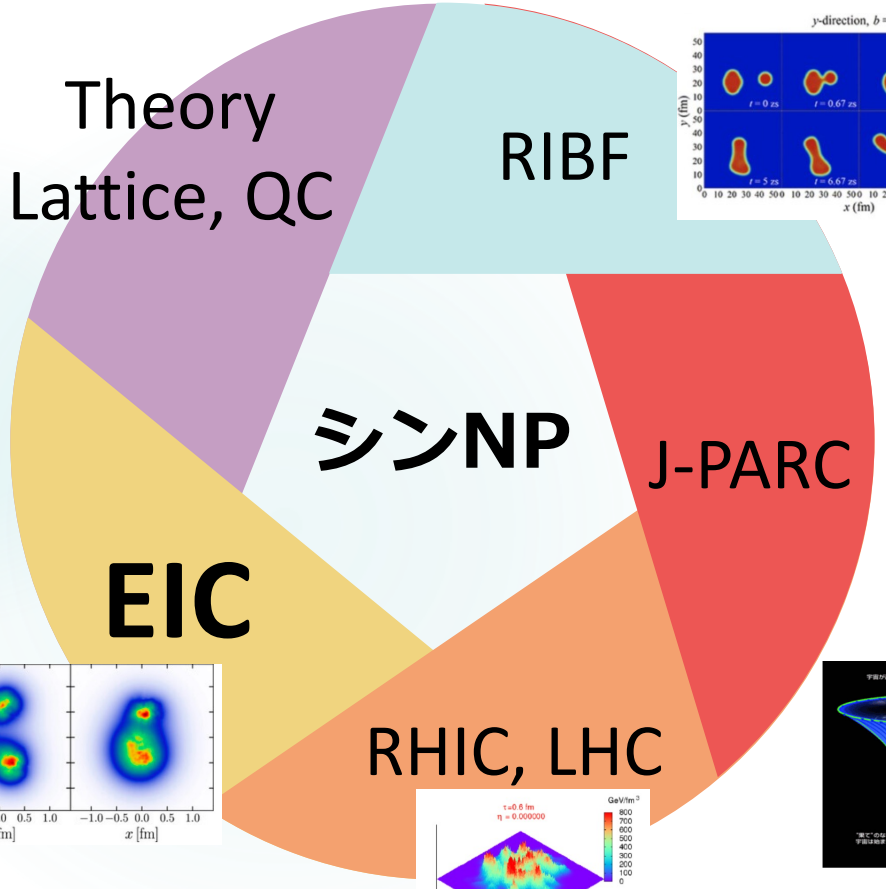
Hadron structure

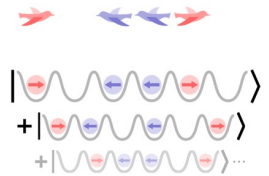
Hadron cluster

Spin, GPD

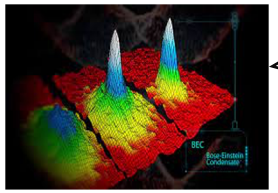
Develop collaborative more!

New insights in non-equilibrium quantum physics and its universality from quarks to the universe and life science



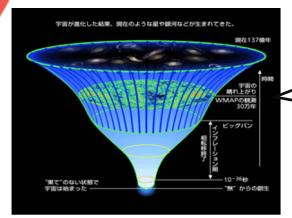


Biology（active matter、Activity-induced ferromagnetism ）



Condensed matter: new emergent properties under non-equilibrium transition (ex, photoinduced phase transition)

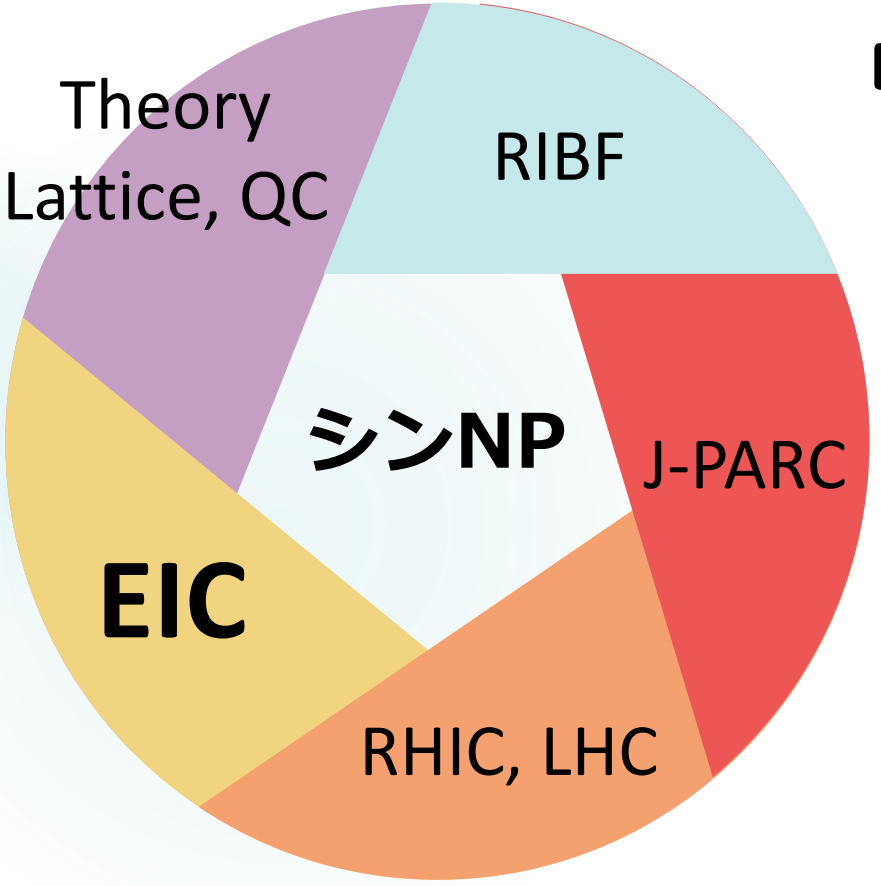
mechanism of supernova explosion and its subsequent evolution



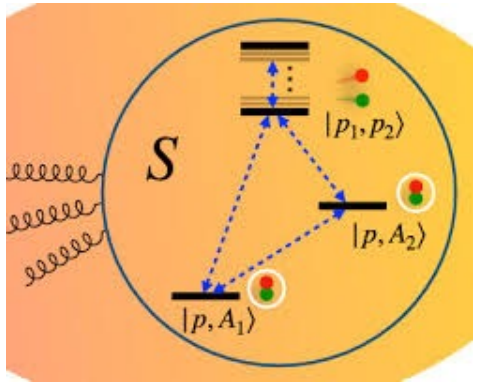
Thermalization of early universe, creation of DM and CP violation

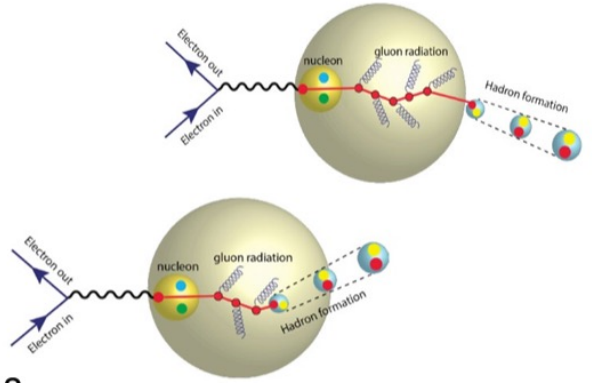
Develop collaborative more!

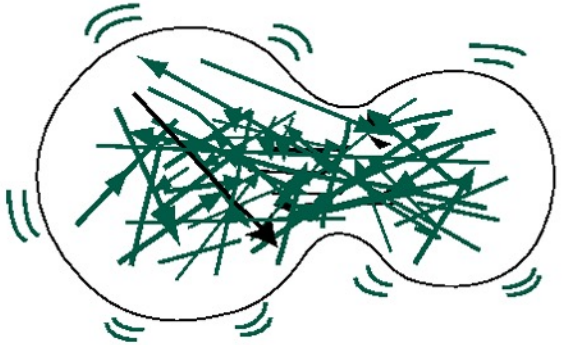
New insights in non-equilibrium quantum physics and its universality from quarks to the universe and life science

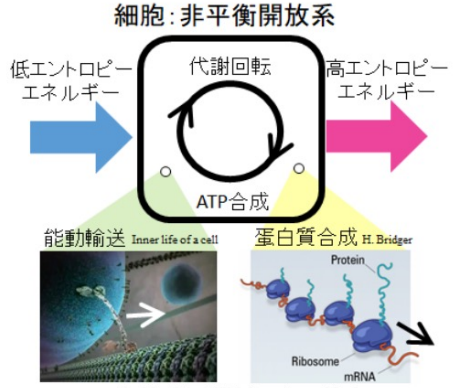


Ex, non-equilibirium open quantum system





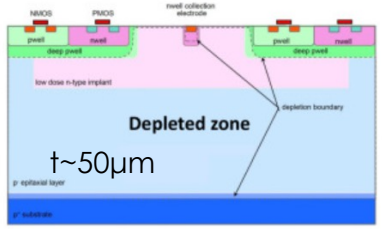


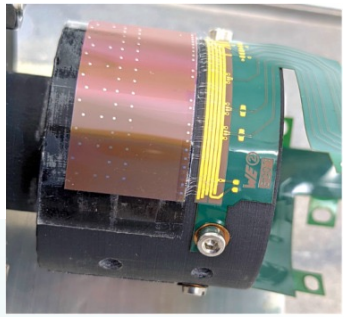


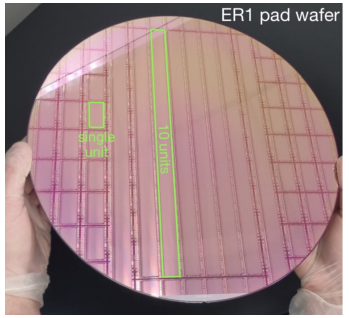
Technologies

CMOS sensor (σ~1μm) (TPSCo, 10μm□)

65nm process, wafer-sized sensor

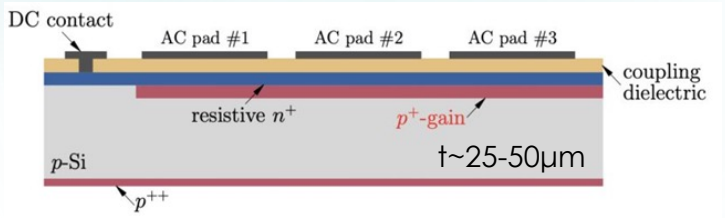




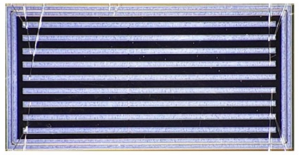


AC-LGAD Si sensor (σ~20ps) (Hamamatsu)

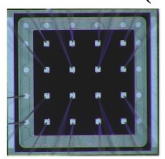
Low Gain Avalanche Detector (LGAD)

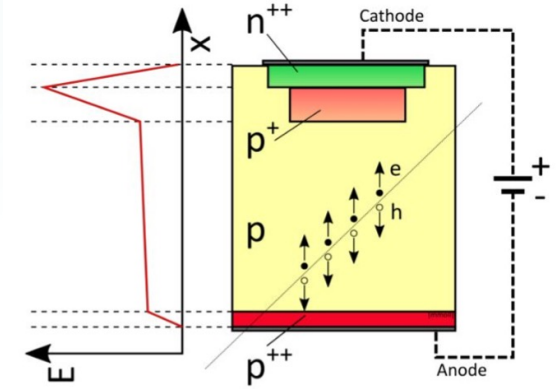


HPK Strip Sensor (4.5x10 mm²)

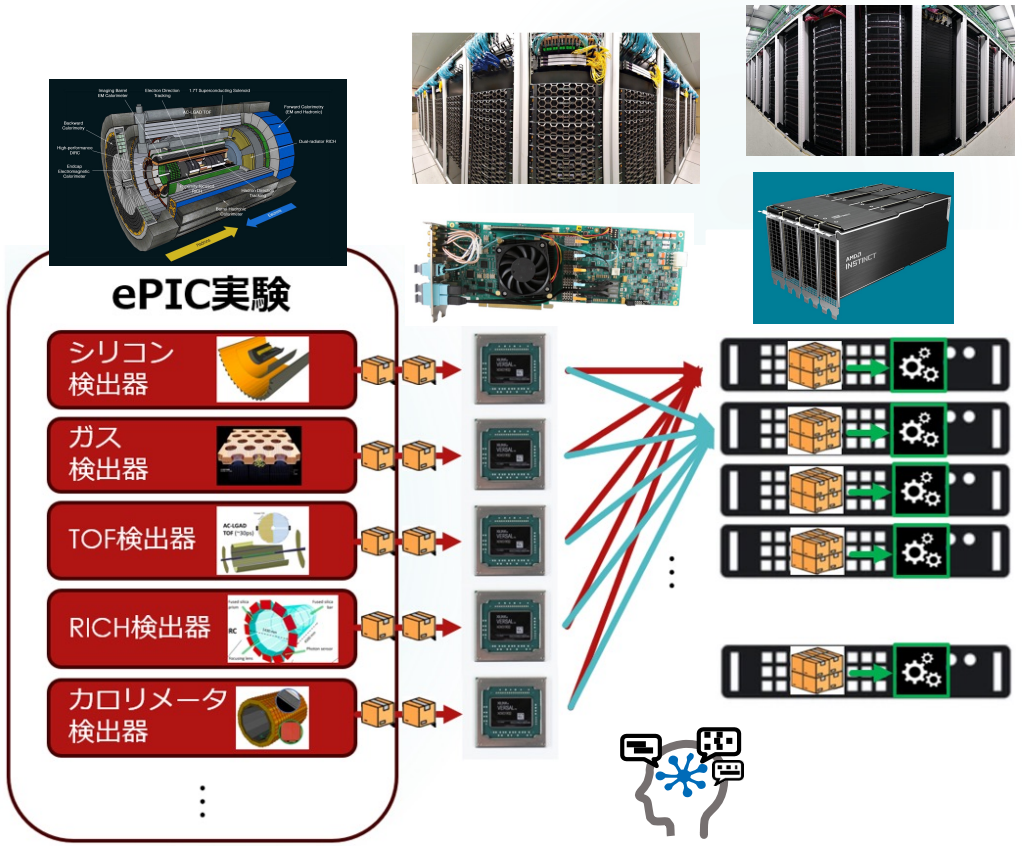


HPK Pixel Sensor (2x2 mm²)





AI implemented Streaming heterogeneous Computing



100~400Tbps

FPGA process

GPU process

Goal of this workshop

- EIC will delve deep into the building blocks of our visible Universe and revolutionize our understanding of the nucleon, nuclei and the strong interaction.
- EIC will be the place to develop the technology frontiers.

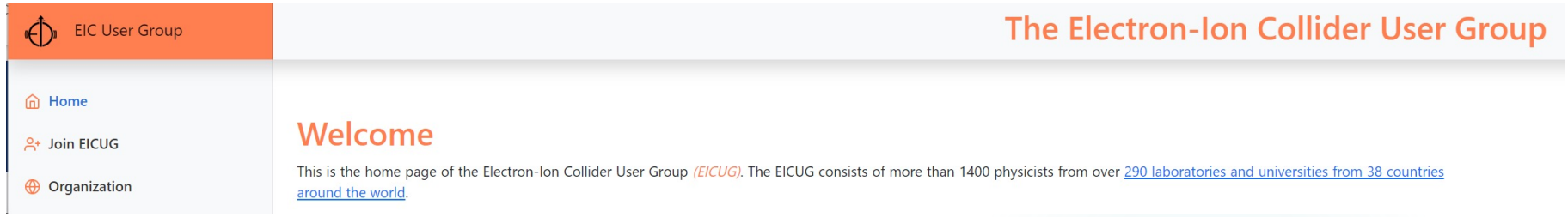
- EIC will be the project for entire nuclear physics community and particle physics community.
  - What are the synergies between EIC and other facilities (RIBF, J-PARC, LHC)?

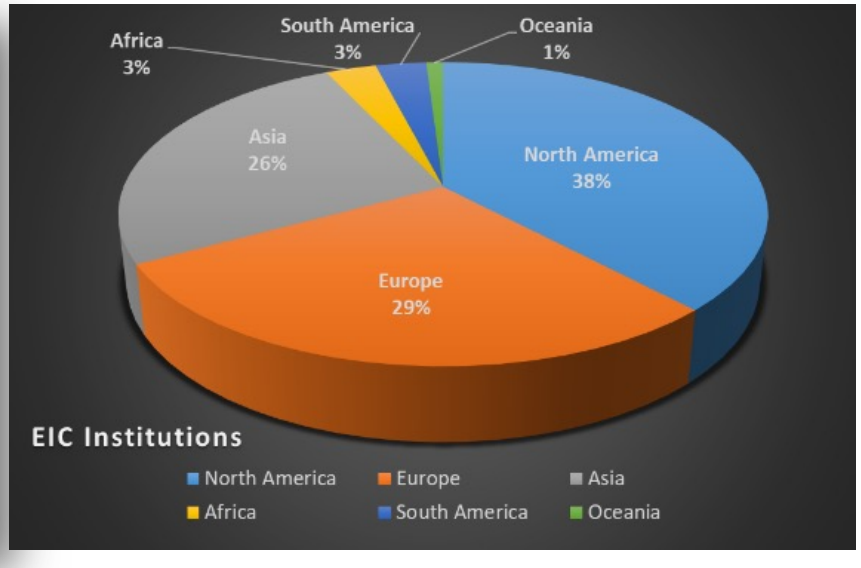
- How we can benefit from EIC and can develop nuclear physics and particle physics using EIC? Which kinds of new academic/science domains we can make?

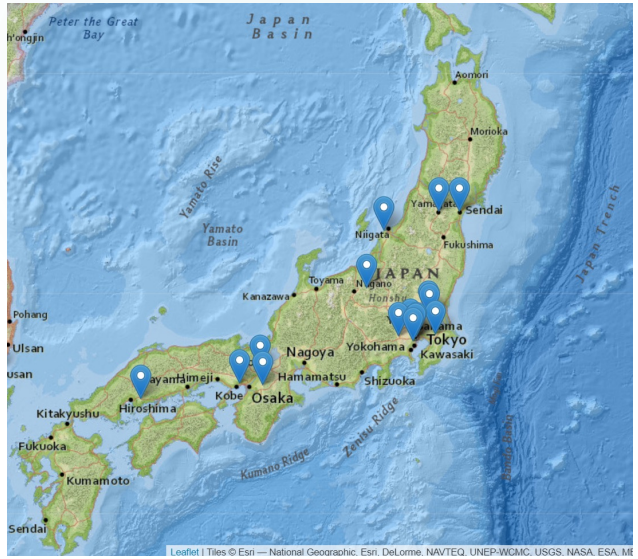
- How we can establish the collaboration across the different facilities?

EIC Users Group

https://www.eicug.org/







- Currently, 291 institutions from 40 countries participate in the EIC User Group.
- The EIC scientific community is rapidly growing with more than 1,454 members.
- Japanese participation : 15 institutes

ePIC experiment

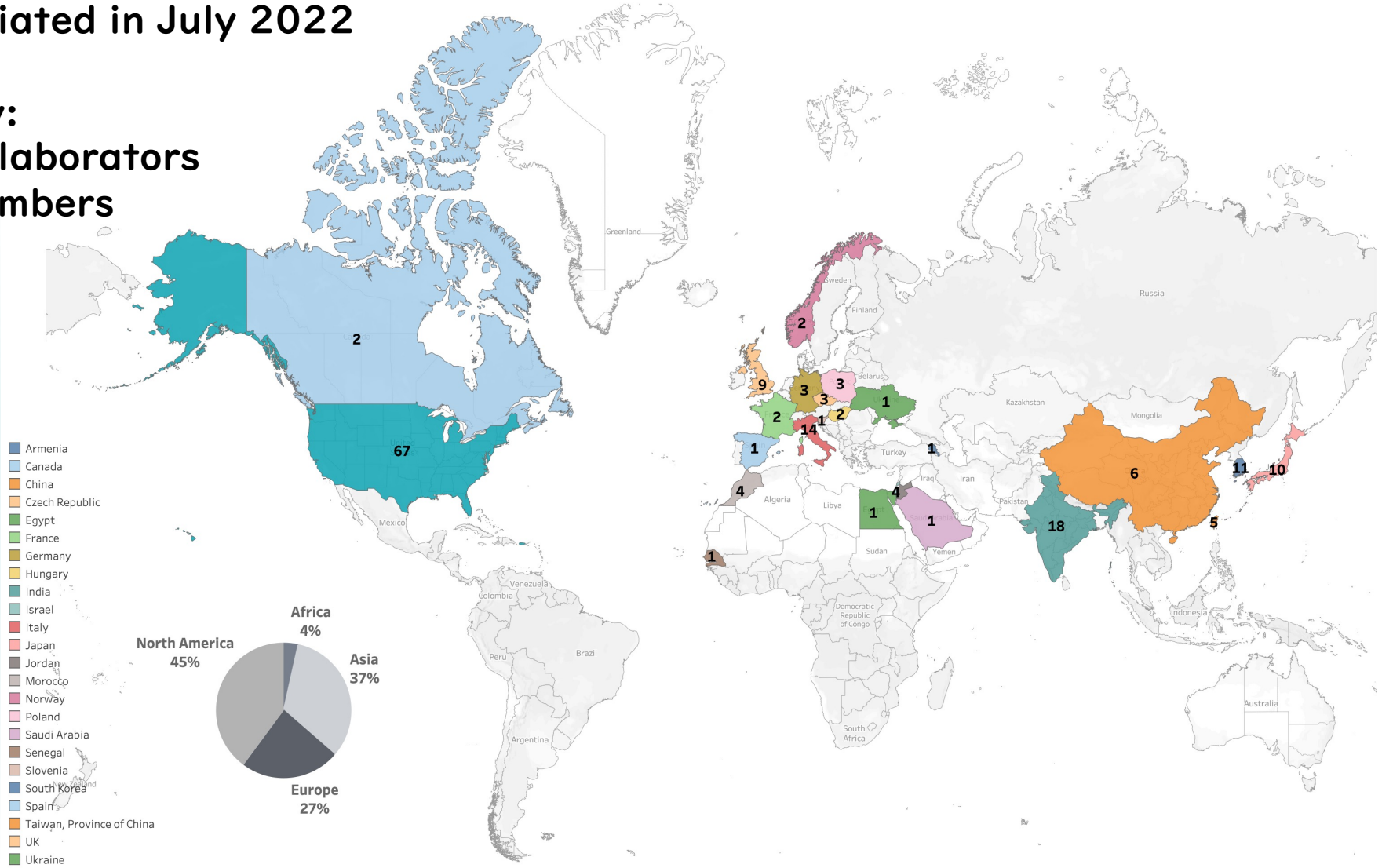
ePIC Institutions
173

ePIC Countries
25

ePIC World Region
4

ePIC Initiated in July 2022

Currently:
>850 collaborators
>650 members



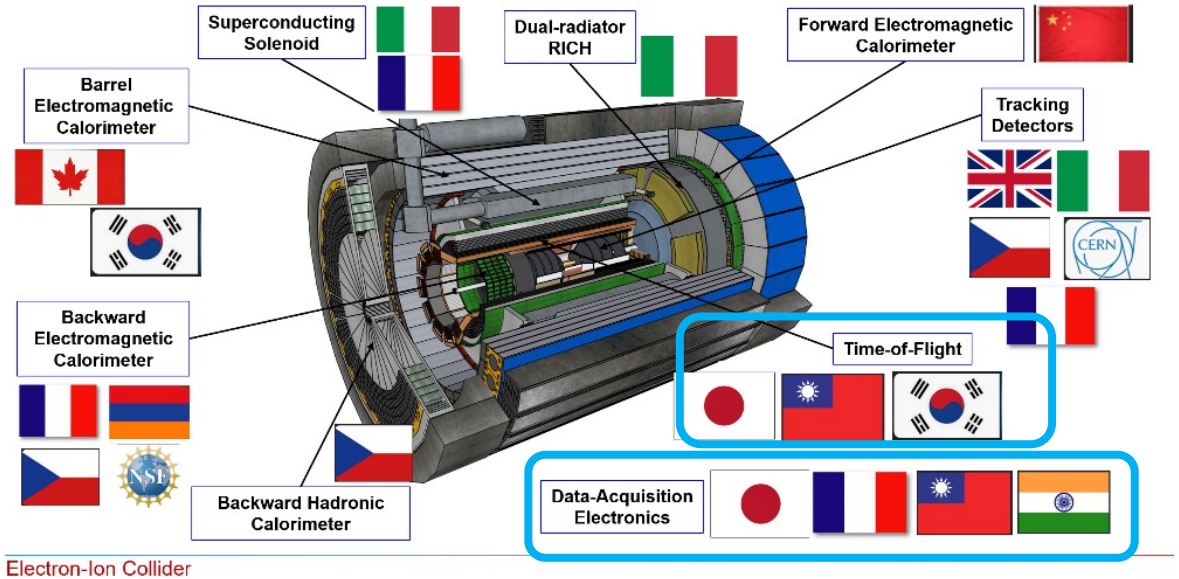
山形大学 YAMAGATA UNIVERSITY
RIKEN NISHINA CENTER RIKEN Nishina Center for Accelerator-Based Science
NIHON UNIVERSITY

Center for Nuclear Study The University of Tokyo
University of Tsukuba
National University Corporation Tsukuba University of Technology
国立大学法人 奈良女子大学 Nara Women's University
HIROSHIMA UNIVERSITY

SHINSHU UNIVERSITY
KOBE UNIVERSITY

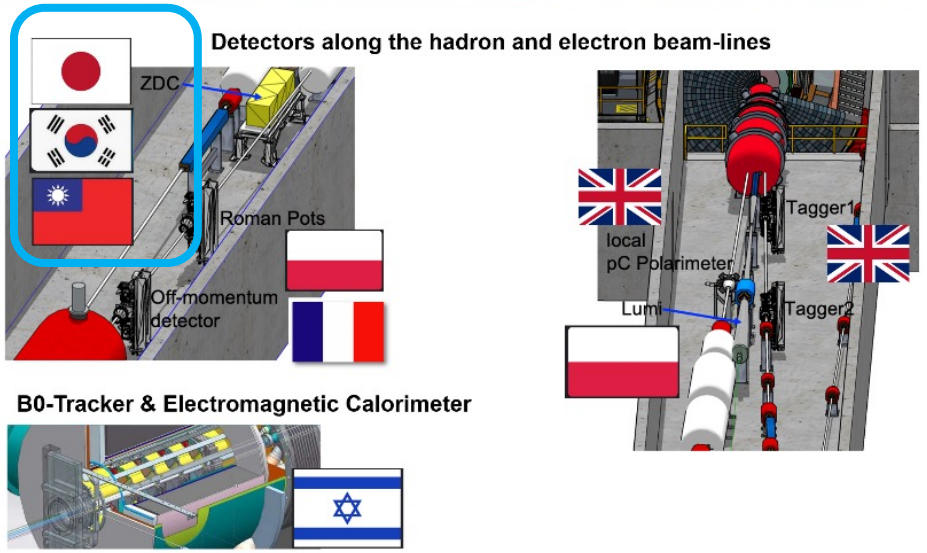
ePIC-Japan strategy

Central Detector Non-DOE Interest & In-Kind



Electron-Ion Collider
EIC RRB Meeting, December 7th & 8th, 2023 E.C. Aschenauer 20

Far-Forward/Far-Backward Detectors Non-DOE Interest & In-Kind



Electron-Ion Collider
EIC RRB Meeting, December 7th & 8th, 2023 E.C. Aschenauer 21

①Time-of-Flight based on AC-LGAD system (30 ps)
②Zero Degree Calorimeter : ALICE FoCAL technology
③DAQ : AI implemented Streaming DAQ/Computing
(④ MAPS: for ePIC Upgrae)

SPADI Alliance
Signal processing and data acquisition infrastructure alliance

Major Posts in ePIC

Executive Board

At-Large Members: Barbara Jacak <bvjacak@lbl.gov>, Taku Gunji <gunji@cns.s.u-tokyo.ac.jp>, Paul Newman <paul.newman@cern.ch>

DEI Member: Megan Connors <meganconnors@gmail.com>

Early-Career Member: Fernando Flor <fernando.flor@yale.edu>

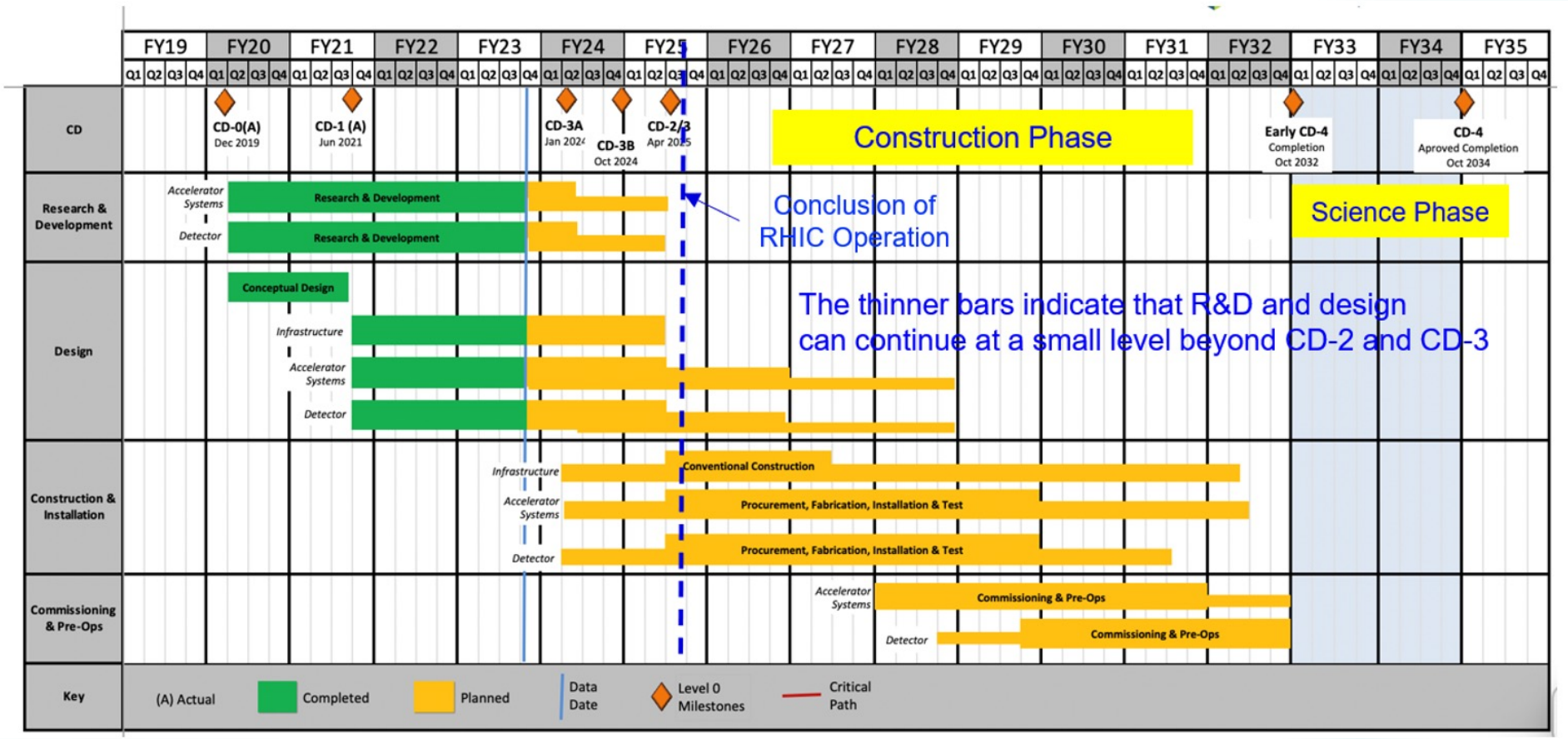
Coordinators: Markus Diefenthaler<mdiefent@jlab.org>, Salvatore Fazio <salvatore.fazio@unical.it>, Rosi Reed <rosijreed@gmail.com>

FAR FORWARD
DSL: Alex Jentsch (BNL)
DSTC (B0): Zvi Citron (Ben-Gurion)
DSTC (Roman Pots/OMD): Alex Jentsch (BNL)
Co-DSTC (ZDC): Yuji Goto (RIKEN)
Co-DSTC (ZDC): Miguel Arratia (UCR)

AC-LGAD TOF
DSL: Zhangbu Xu (Kent State)
Dep. DSL: Satoshi Yano (Hiroshima)
DSTC's: Mathieu Benoit (ORNL), Matthew Gignac (Santa Cruz)

Timeline

2026 CD-3 Start of Construction
2033 CD-4 Start of Operations (Early Finish)
2035 CD-4 Start of Operations



Recent news

朝日新聞（5/21，火曜日）

令和6年 5月15日(水) 読売 1面

米大型加速器 日本参加

26年着工 先端技術実用化 貢献へ

1兆分の1ミリレベルの世界を観察できる米国の大型加速器の建設計画に、日本が参加することがわかった。極微の世界を支配する物理法則を解明し、量子コンピューターなどの先端技術の実用化にも貢献する。2032年の稼働を目標に、文部科学省が近く、計画に参加する方針を表明する。

最新鋭の加速器「EIC」は円形（全周約3・8キロ・メートル）の実験装置で、ニューヨーク州にある米エネルギー省傘下のブルックヘブン国立研究所（BNL）が新設する。研究所地下にある既存の加速器を入れ替え、26年の着工、32年の稼働を目指す。

米国の新型加速器「EIC」

期待される主な成果

- 1兆分の1ミリレベルの極微の世界を分析
- 物質の起源解明
- 量子コンピューターや核融合エネルギーなど先端技術の実用化

EICは、電子と原子核を高速で衝突させる。それにより、原子核内部の陽子が複数の粒子に分解する様子を観察。1兆分の1ミリしかない極微の世界の挙動を超高精度な顕微鏡のように分析できる。粒子の振る舞いから物質とエネルギーの関係性も把握できる。

EICがあれば、いかに宇宙で物質が誕生したのかの解明など、基礎科学の飛躍的な発展につながる可能性がある。極微の世界を支配する物理法則「量子力学」の研究が深まれば、量子コンピューターの開発や、核融合エネルギーを生む仕組みの解明なども進み、先端技術の実用化に貢献できる。

理化学研究所は1997年からBNLに研究拠点を設けるなど、長年の協力関係にある。米エネルギー省は今年2月、日本側に協力を要請した。文科省は、15日の有識者会議で、計画に参加する方針を表明する見通しだ。

EICの建設費は推定17億～28億ドル（約2700億～4400億円）で、日本は実験データの測定に使う検出器などの開発を担当。関係者によると、開発費は少なくとも45億円程度かかる見込みだ。文科省はまず、来年度当初予算の概算要求に数億円を計上する。

〈解説▶27面〉

加速器 物質を構成する陽子や電子などの粒子を電気の力で加速する装置。高速の粒子同士を衝突させることで、物質の起源解明や宇宙誕生初期の高エネルギー状態を再現する実験などに活用できる。農作物の品種改良や文化財の年代測定などにも使われている。

令和6年 5月15日(水) 読売 27面

国内技術継承 大きな意義

米加速器参加 1面

日本が米国の新型加速器「EIC」の建設計画に参加することは、これまで蓄積した加速器の技術を更に高め、将来の研究人材を育成できる点で意義が大きい。極微の世界を捉える加速器の建設には1ミリ単位の精度が要求され、「総合科学技術の結晶」とも呼ばれる。

日本は実験成果をノーベル物理学賞の受賞につなげるなど、高い技術力を持つ。

だが、研究者らは「技術の継承が途絶えるかもしれない」と危機感を強めている。国内には現在、科学研究を目的にした大型加速器の具体的な建設計画はない。全長20キロ・メートルの大型直線加速器「国際リニアコライダー（ILC）」の日本誘致を推進する動きもあるが、総額約8000億円に上る巨額の建設費が必要で、日本政府や他国も慎重な立場だ。

加速器は高エネルギーを使ったがん患者の放射線治療など、幅広い用途がある。日本は、理化学研究所の放射光施設「スプリングエイト」（兵庫県）など複数の大型加速器を運用し、その成果を社会にも還元してきた。

EIC建設も安くはないが、米国の計画に相乗りすれば、少ない負担で最新鋭の加速器を利用できる。低迷傾向にある研究力の強化につなげるなど、日米連携の効果を最大化したい。

（科学部 中根圭一）

米加速器実験に日本参画へ

米国の大型加速器研究施設のプロジェクトに、東京大などの研究チームが参画する見通しになった。物質の成り立ちを知る原子核物理学の新発見のほか、量子コンピューターや核融合の実現にも貢献する可能性があるという。

新たな施設は、ニューヨーク州に建設される「EIC（電子・イオン衝突型加速器）」。全周3.8キロ・メートルの既存の円形加速器を改修し、2032年の稼働をめざす。

日本のチームを率いる郡司卓・東京大准教授によると、加速した高エネルギーの電子を原子核などに衝突させる世界初の実験装置となる。衝突によって飛び出すπ中間子などの粒子を検出することで、陽子や原子核の詳しい構造や、質量が生じる仕組みを明らかにすることをめざす。核融合によるエネルギー生成の仕組みの解明や、安定的に稼働する量子コンピューターの技術にもいかせる可能性があるという。

日本が担う検出器や解析システムの開発・研究費などに計約90億円かかる見通し。（竹野内崇宏）

文部科学省 MINISTRY OF EDUCATION, CULTURE, SPORTS, SCIENCE AND TECHNOLOGY-JAPAN

会見・報道・お知らせ | 政策・審議会 | 白書・統計・出版物

トップ > 政策・審議会 > 審議会情報 > 調査研究協力者会議等（研究振興） > EIC計画及びこれに関連する原子核物理学の新たな展開に関する有識者会議

EIC計画及びこれに関連する原子核物理学の新たな展開に関する有識者会議

開催状況 名簿

開催状況

第1回【開催日時：令和6年5月15日（水曜日）16時00分～18時00分】

開催案内 配付資料

開催状況一覧を見る

文部科学省 MINISTRY OF EDUCATION, CULTURE, SPORTS, SCIENCE AND TECHNOLOGY-JAPAN

会見・報道・お知らせ | 政策・審議会 | 白書・統

トップ > 政策・審議会 > 審議会情報 > 科学技術・学術審議会 > 基礎研究振興部会 > 基礎研究振興部会（第14回）の開催について

基礎研究振興部会（第14回）の開催について

1. 日時

令和6年5月16日（木曜日）16時00分～18時00分

2. 場所

オンライン開催

3. 議題

1. EIC計画及びこれに関連する原子核物理学の新たな展開に関する有識者会議の設置について
2. AIの研究開発力強化の方向性について

補足資料

EIC Science I

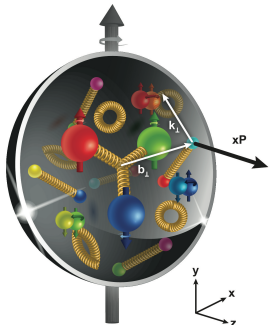
SPIN is one of the fundamental properties of matter.
Spin cannot be explained by a static picture of the proton
It is the interplay between the intrinsic properties and interactions of quarks and gluons

The EIC will unravel the different contribution from the quarks, gluons and orbital angular momentum.

Does the mass of visible matter emerge from quark-gluon interactions?

Atom: Binding/Mass = 0.0000000 I
Nucleus: Binding/Mass = 0.0 I
Proton: Binding/Mass = I 00

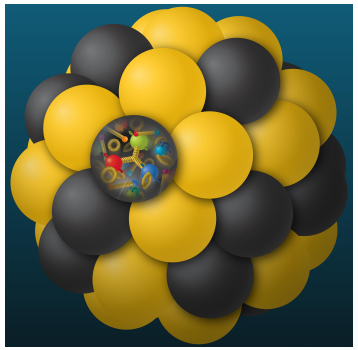
The EIC will determine an important term contributing to the proton mass, the so-called "QCD trace anomaly



How are the quarks and gluon distributed in space and momentum inside the nucleon & nuclei?

How do the nucleon properties emerge from them and their interactions?

What is the relation to confinement?
How do the confined hadronic states emerge from these quarks and gluons?

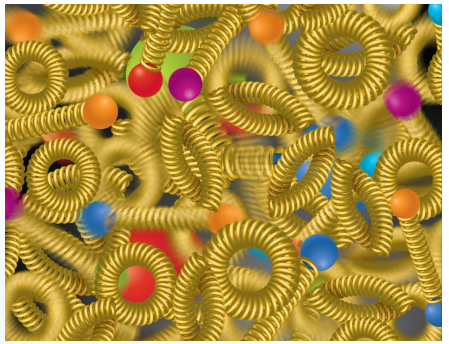


Is the structure of a free and bound nucleon the same?

How the short range correlations or nucleon-clusters are derived from quark and gluon interactions?

How do the quark-gluon interactions create nuclear binding?

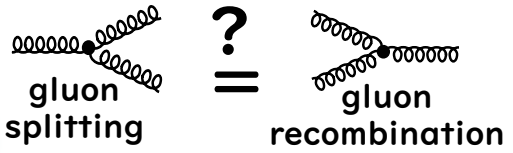
How do quarks and gluons, interact with a nuclear medium?



How many gluons can fit in a proton?

How does a dense nuclear environment affect the quarks and gluons, their correlations, and their interactions?

What happens to the gluon density in nuclei? Does it saturate at high energy?

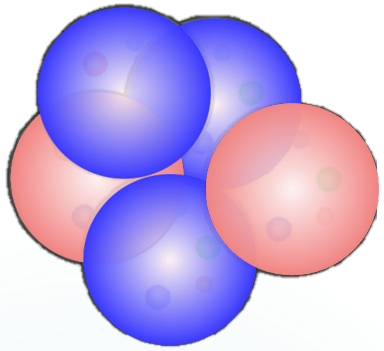


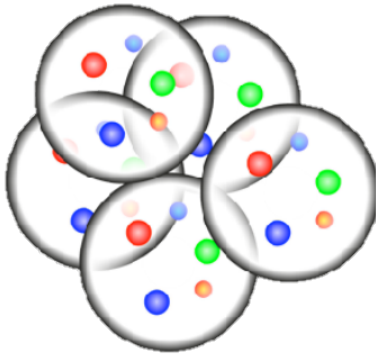
EIC Science II

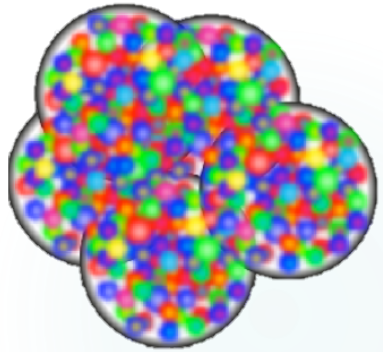
RIBF

J-PARC

RHIC, LHC

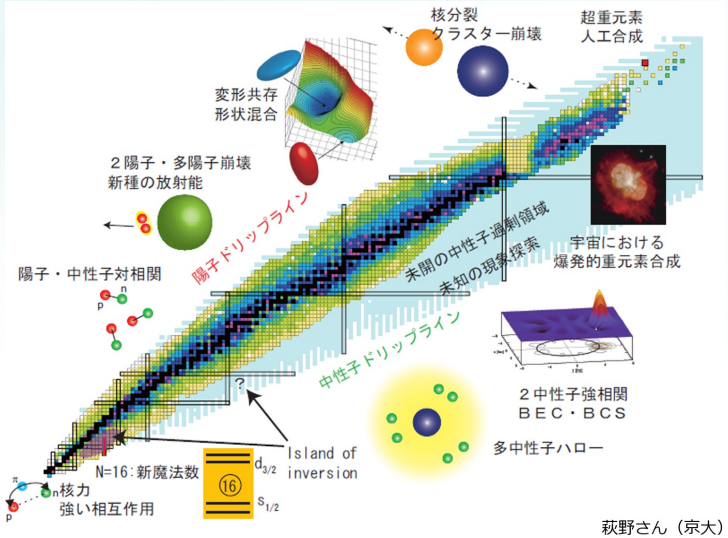




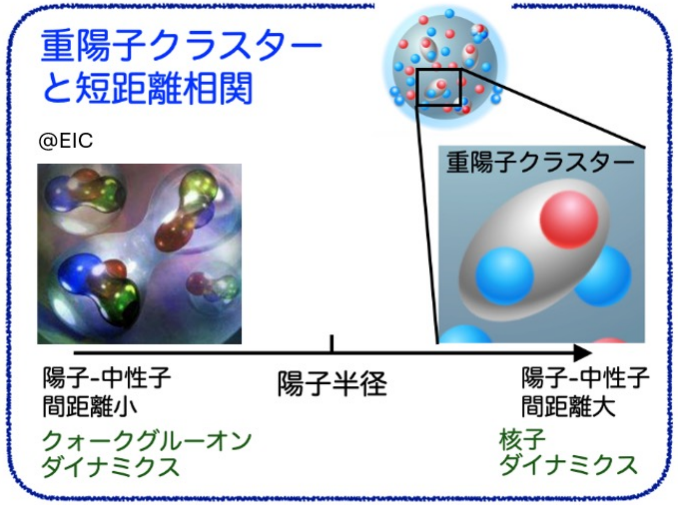


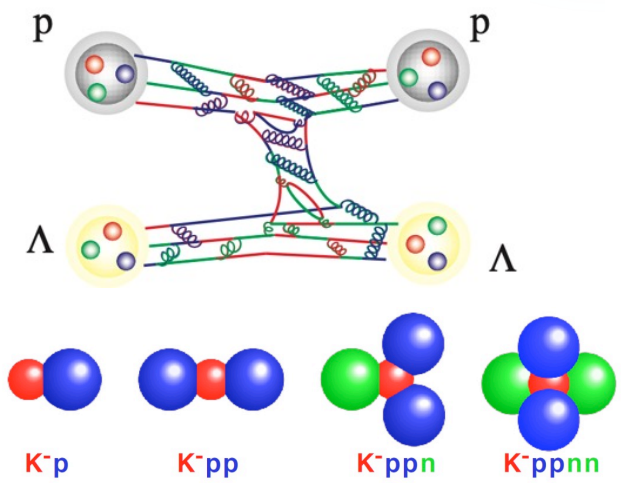
EIC

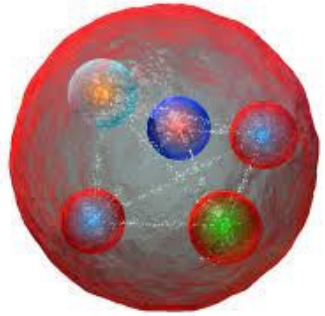
How is the hierarchical structure of materials created and developed?



萩野さん（京大）

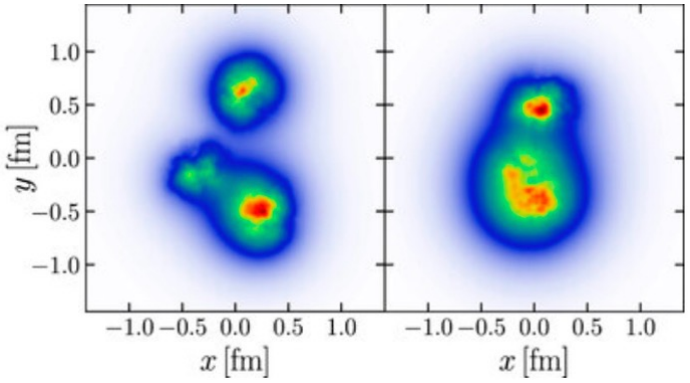


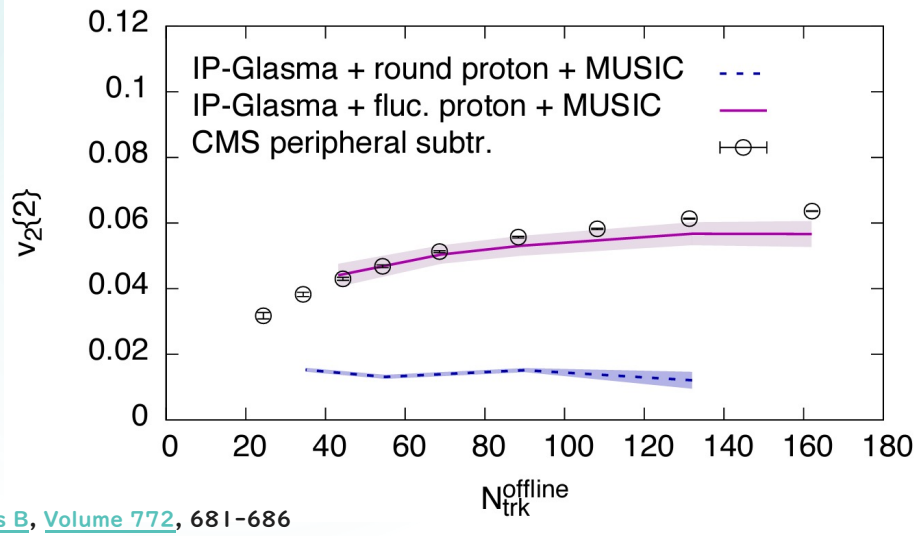




EIC Science III

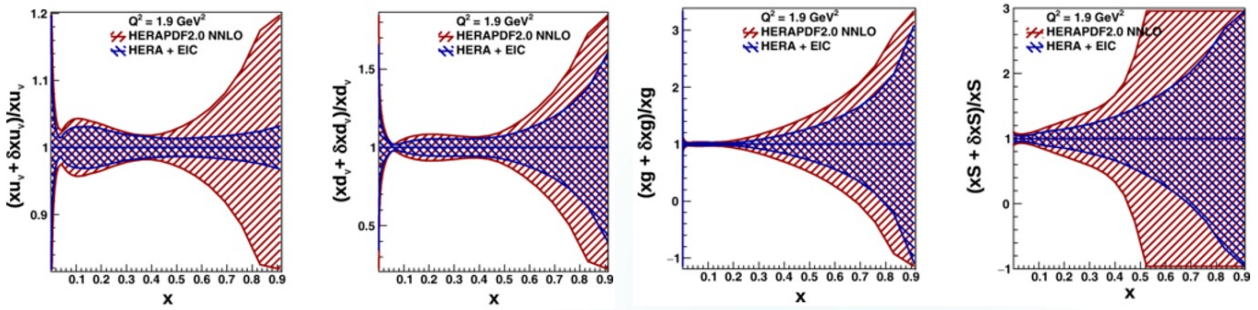
Quantum Fluctuation in proton/nucleus
What is the nature of proton/nucleus at smallest time scales (which we never saw)?



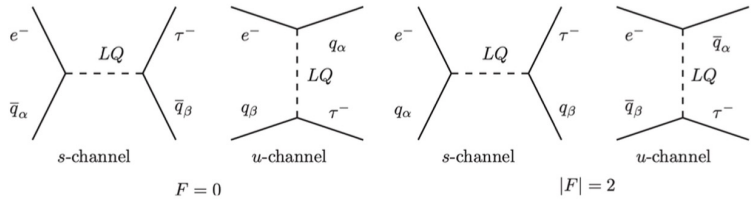


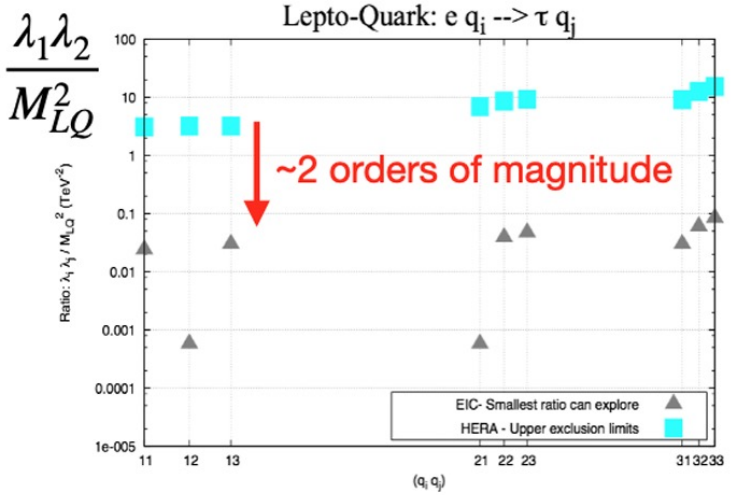
Physics Letters B, Volume 772, 681-686

High-x PDF

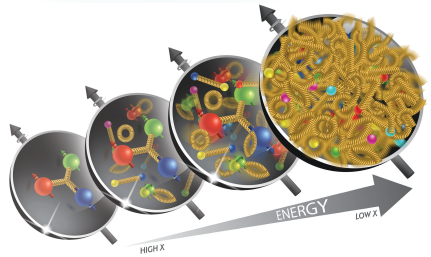


BSM searches
($\sin\theta_w^2$ and CLFV)



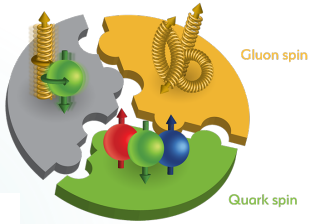


Accelerator Performance



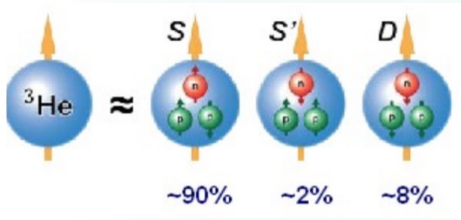
Wide center-of-mass energy $\sqrt{s}$: ~20 – 140 GeV :

- map the out nucleon and nuclei structure from high to low x



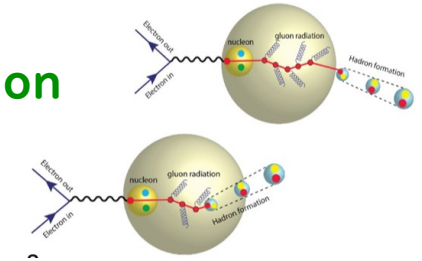
Polarized electron and hadron (p, He-3) beams:

- access the spatial and momentum structure of the nucleon in 3d
- access to spin structure of nucleons and nuclei
- probing q-g structure of NN and NNN interaction in light nuclei



Nuclear beams: d to Pb

- accessing the highest gluon densities → saturation
- quark and gluon interact with a nuclear medium

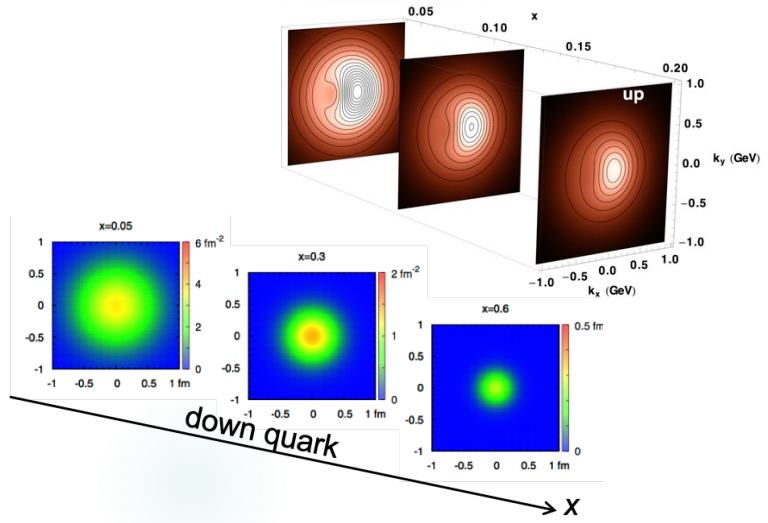


High luminosity 10^{33}–10^{34} $cm^{-2}s^{-1}$:

- mapping the spatial and momentum structure of nucleons and nuclei in 3d

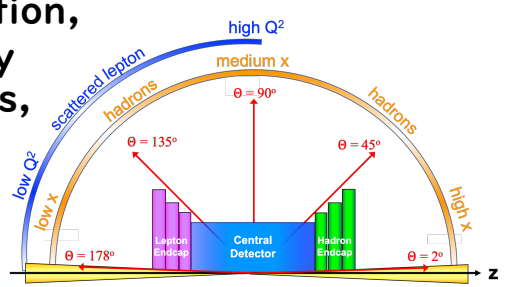
Large acceptance (0.2 – 1.3 GeV) through forward focusing IR magnets

- spatial imaging of nucleons and nuclei



Experimental Equipment Scope

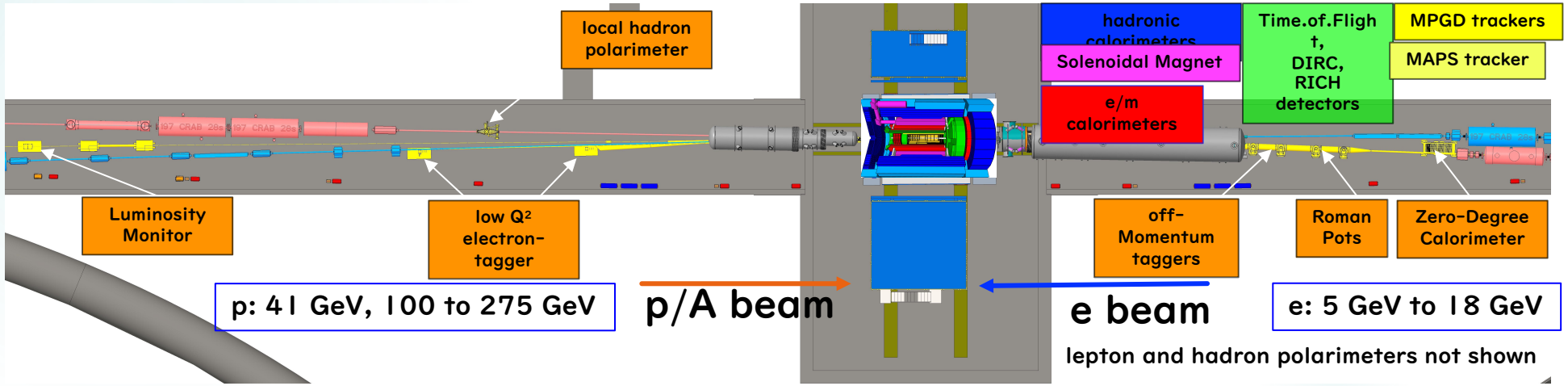
- Asymmetric beam energies
  - requires an asymmetric detector with electron and hadron endcap → 9.5 meter
  - tracking, particle identification, EM and hadronic calorimetry functionality in all directions, covering equal rapidity area: $(-4 < h < 4)$



- Imaging science program with protons and nuclei
  - requires specialized detectors integrated in the IR over 80 m
- Momentum resolution for EIC science
  - requires a large bore (⌀ 2.4 m) 2T magnet
- Highest scientific flexibility
  - requires Streaming Readout electronics model

- Highly Polarized Beams: 70%

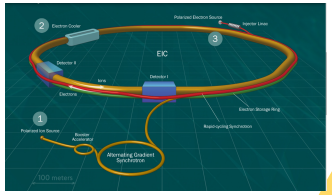
25 Subsystems incl. high-precision Polarimetry

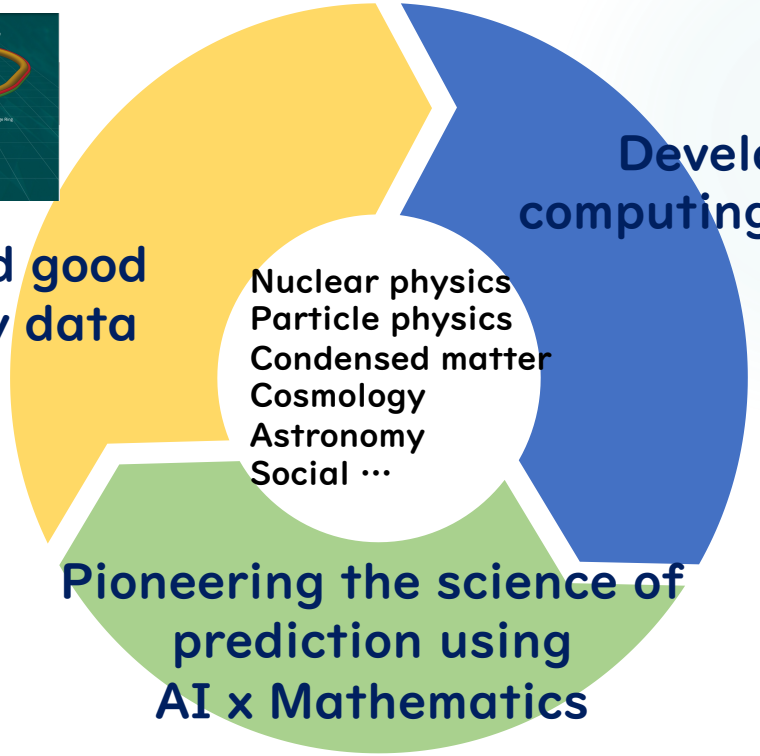


Big data and streaming computing

EIC x AI implemented Streaming DAQ/Computing

- Society 5.0: fusion of physics space and cyber-space
- Accelerate computing technologies and develop quantum computing
- Provide new innovative framework for scientific researches in many fields






量子コンピュータ


スパコン
「富岳」

New discoveries in many fields using big data + streaming computing technologies