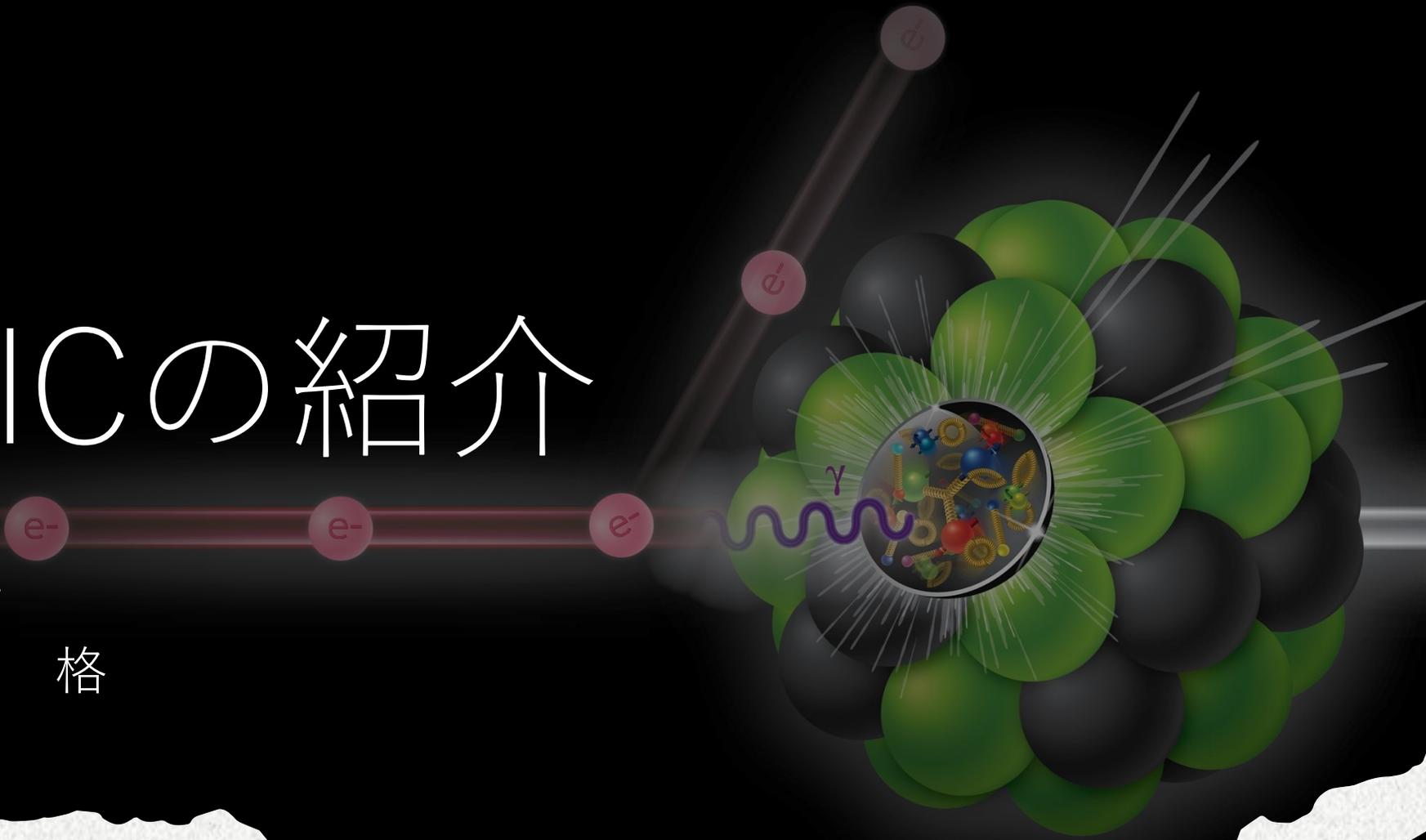


EICの紹介

理研
中川 格





加速器

検出器
(センサー)

原子核

EIC

Electron Ion Collider

電子-イオン衝突型加速器

ええかげんにせえ いっぺん言うたやろ ちゃう言うてるやん

EICってどんだけ金かかるの？



スポーツ界の大型契約

MLB	大谷翔平	ドジャース	1015億円	10年 7億ドル
サッカー	メッシ	バルセロナ	860億円	4年 5億5500万ユーロ
NFL	マホームズ	チーフス	729億円	10年 5億300万ドル
MLB	トラウト	エンゼルス	618億円	12年 4億2650万ドル
NBA	ブラウン	セルティックス	441億円	5年 3億400万ドル

EICの建設費は推定17億〜28億ドル（約2700億〜4400億円）で、日

参加 貢献へ

米国の新型加速器「EIC」

期待される主な成果

- 1兆分の1¹¹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

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。

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1¹¹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

フィギュア引退会見

宇野「未練全くない」

フィギュアスケート男子で冬季五輪2大会連続でメダルを獲得し、今日（9日）に現役引退を表明した宇野昌磨（26歳、トヨタ自動車）が14日、東京都内で記者会見を行い、「すこし道のりを歩いた」と実感している。未練は全くない。よく頑張ったと思う」と競技人生を振り返った。杉本昌大撮影（記事18面）

編集手帳

ああ、あれっ、おやおう、かあー。喜びしみ、驚きを表す言感嘆詞と呼ばれる。の秋、虫の名に感嘆くむ珍しい方言を紹介た◆「わっくさ」。埼玉の地方ではカメムシをこう呼ぶいに出くわしたときの強悪臭が驚きをもって伝わる秋、大量発生したカメムシ時分になって大量に出現するという。多くの県が注意出し、果樹栽培の農家にネ掛けなどの対策を呼びかけ

米国の新型加速器「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1¹¹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〉

米国の新型加速器「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1¹¹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〉

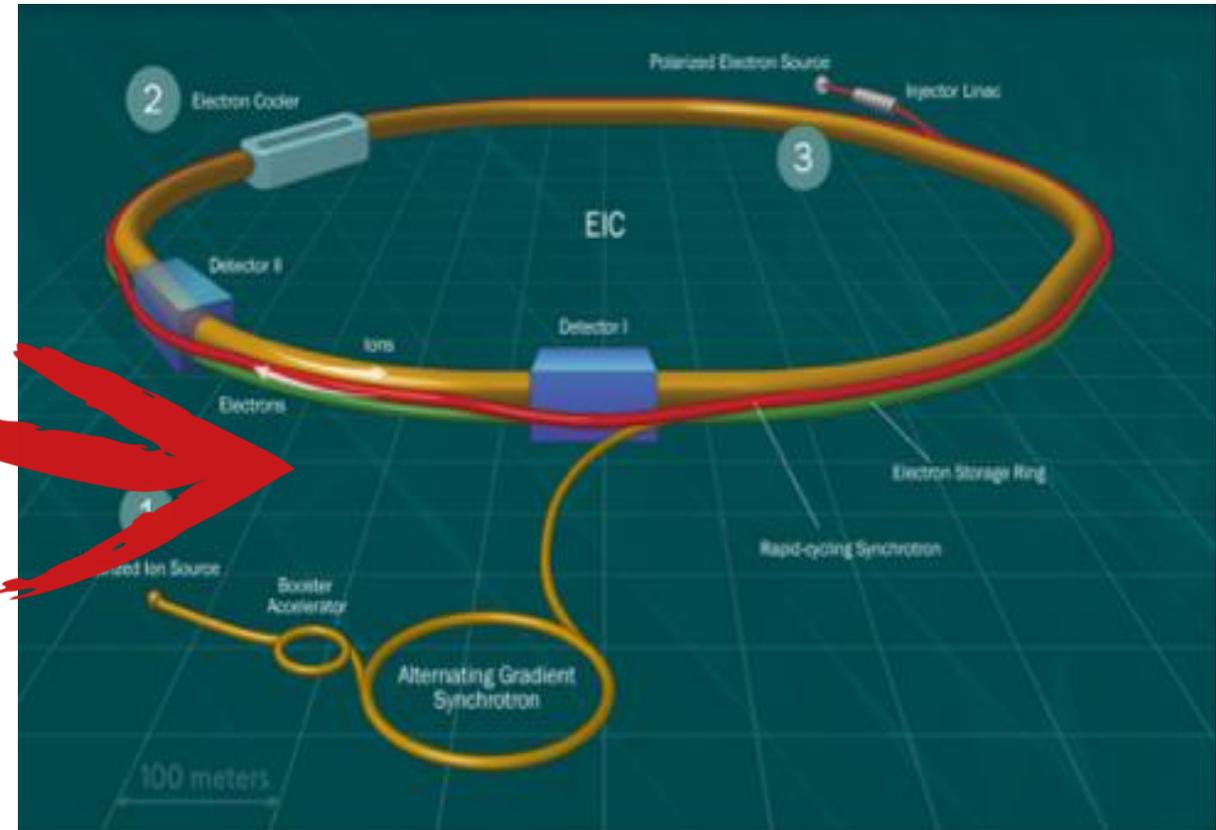
米国の新型加速器「EIC」は、電子と原子核を高速で衝突させる。それにより、原子核内部の陽子が複数の粒子に分解する様子を観察。1兆分の1¹¹しかない極微の世界の挙動を超高精度な顕微鏡のように分析できる。粒子の振る舞いから物質とエネルギーの関係性も把握できる。

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〉

RHICからEICへ

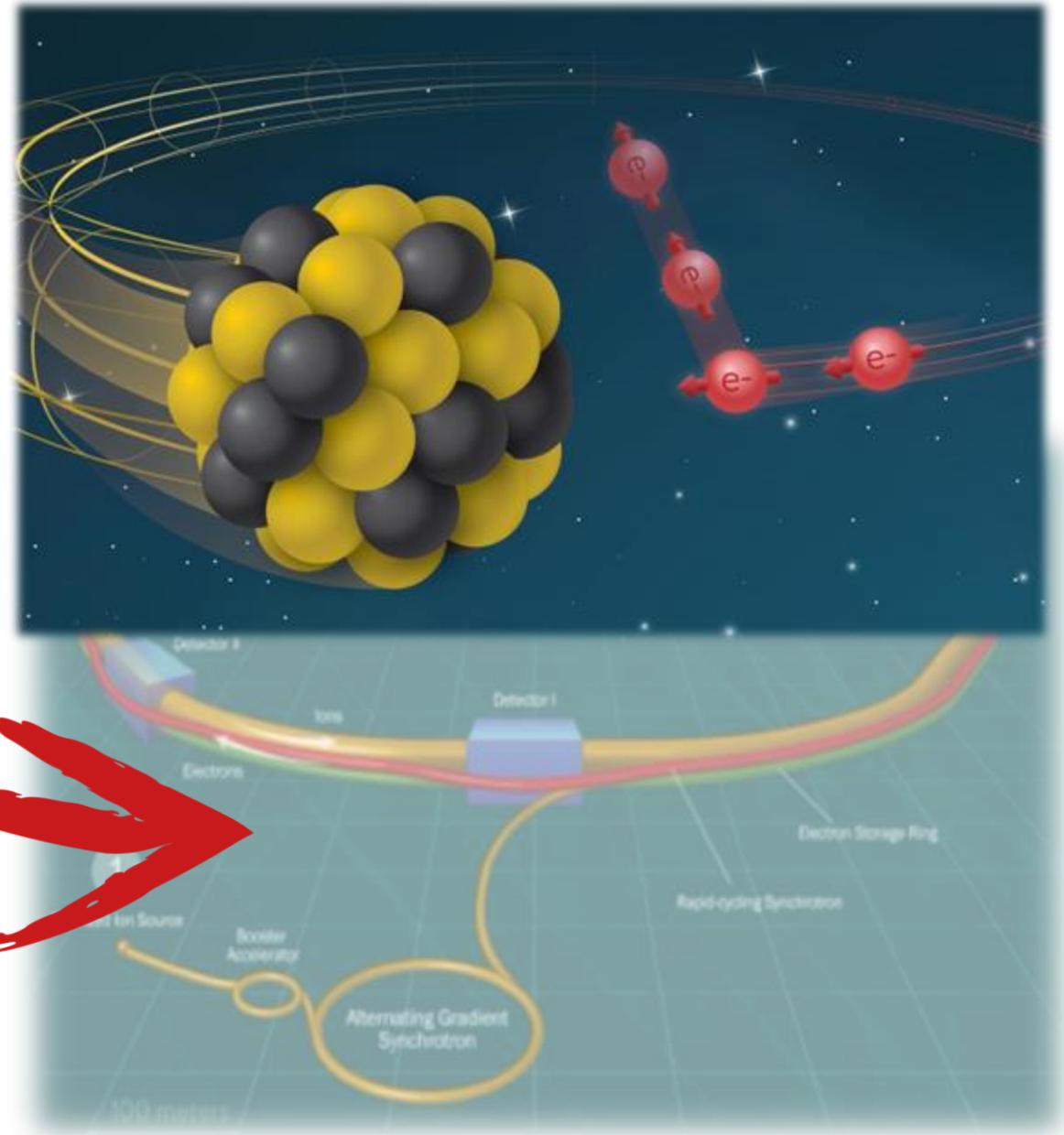
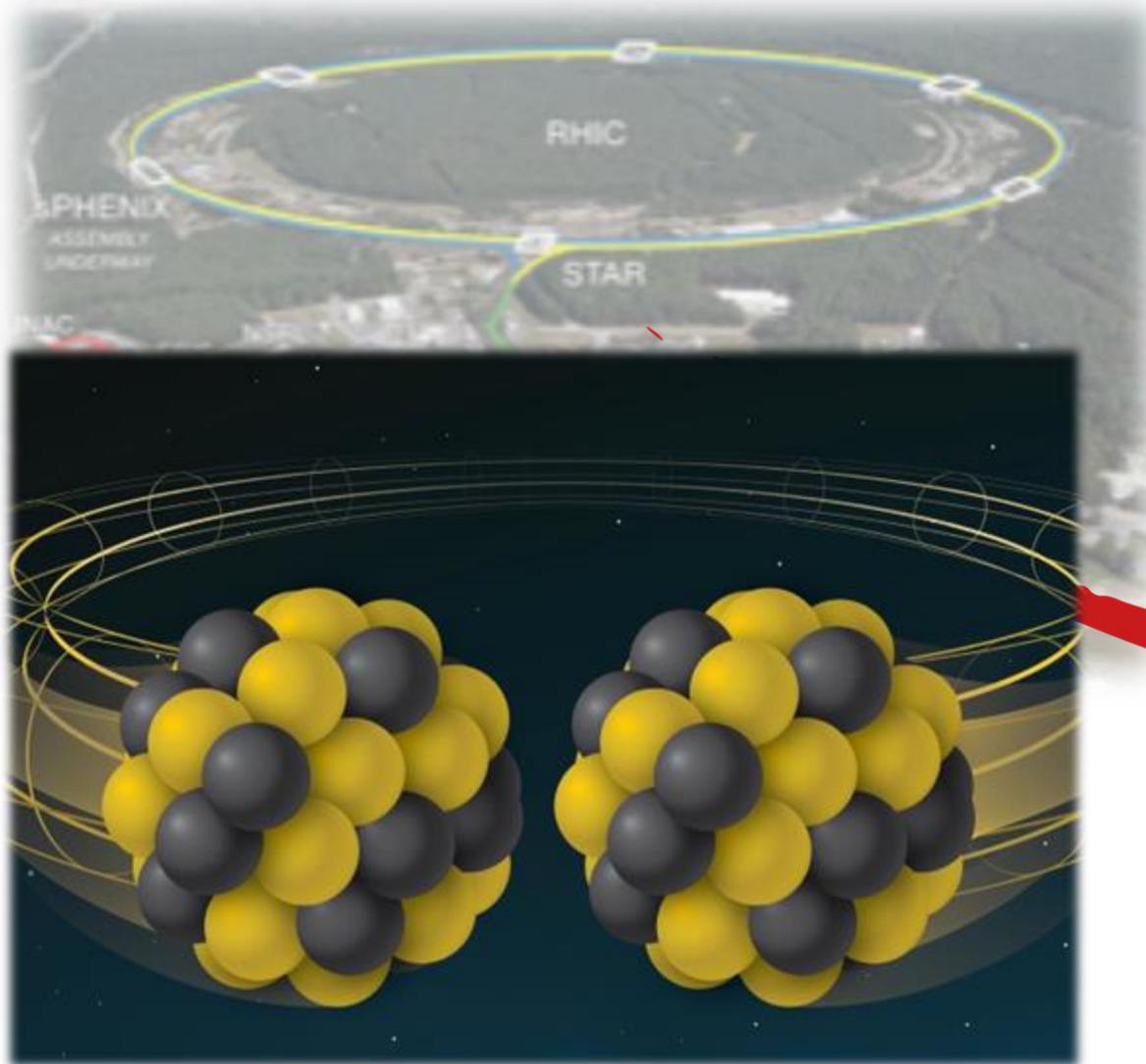


2025年



2035年

RHICからEICへ



2035年

EICの何が新しいの？



私のお金返してよー

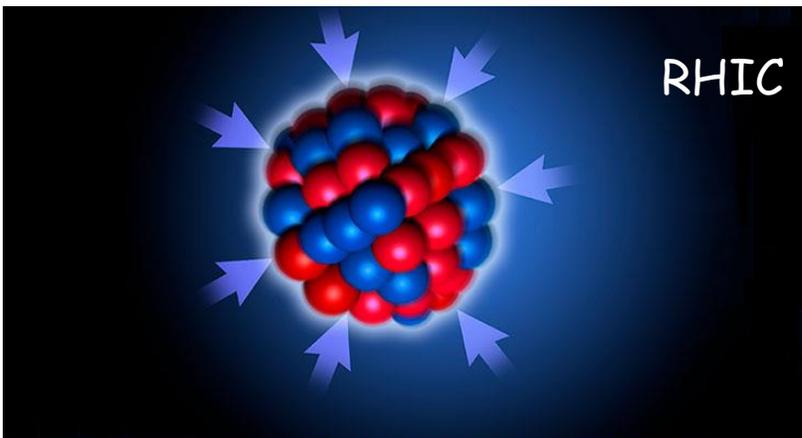
税金知らずせー

税金知らずせー

自然界に存在する4つの力

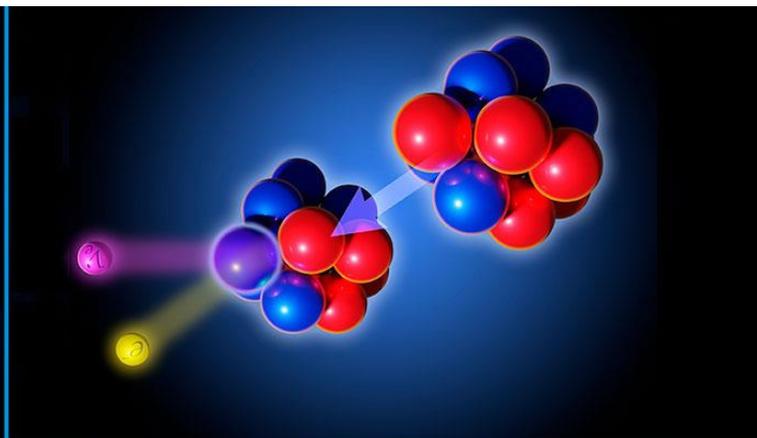
強い力

陽子と中性子が互いに
引きつけあう力



弱い力

物質に変化を引き起こす力

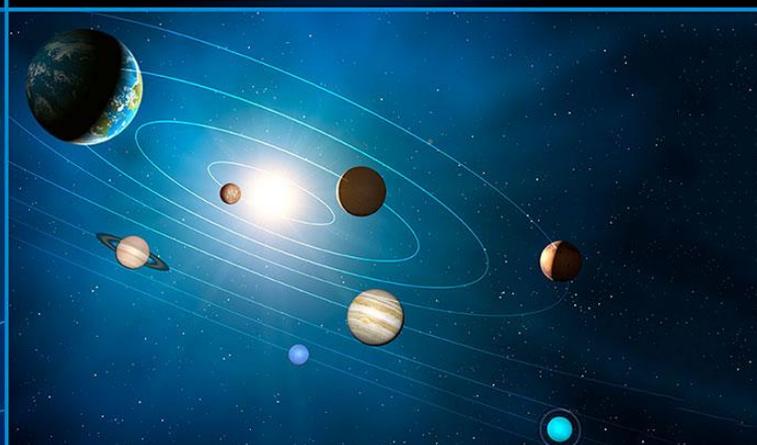
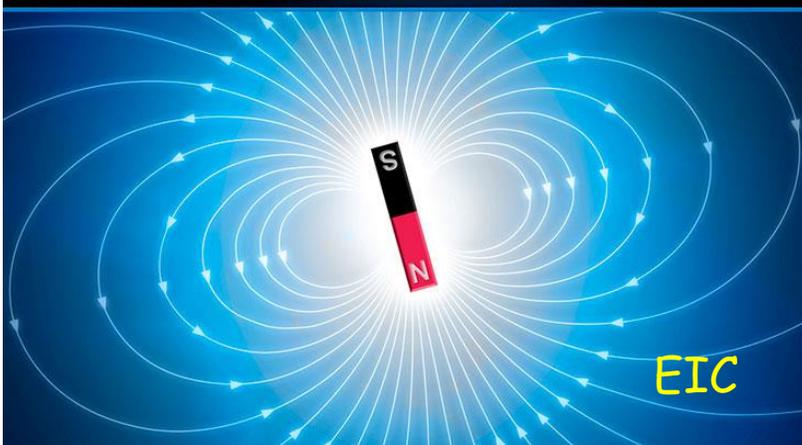
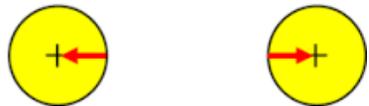


電磁力

引力



斥力



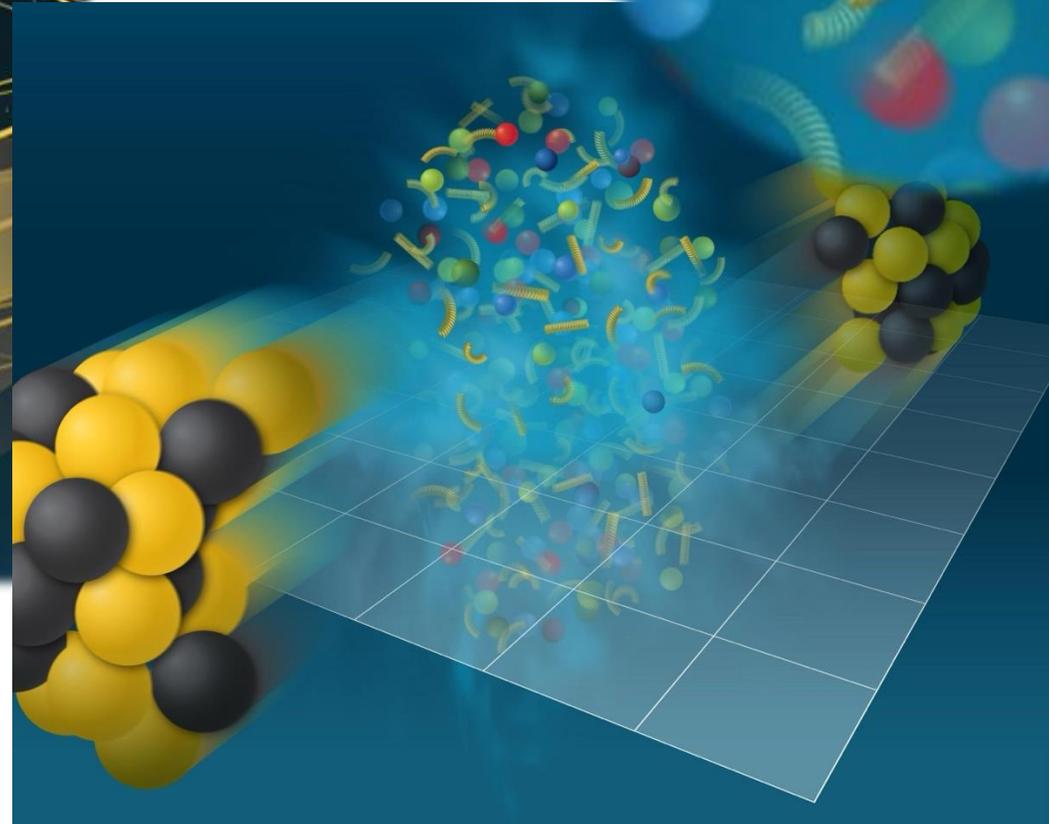
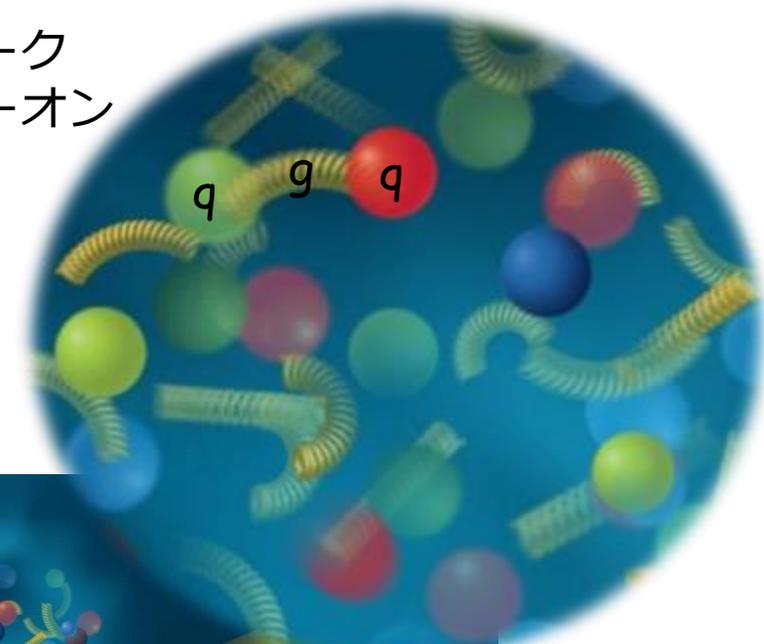
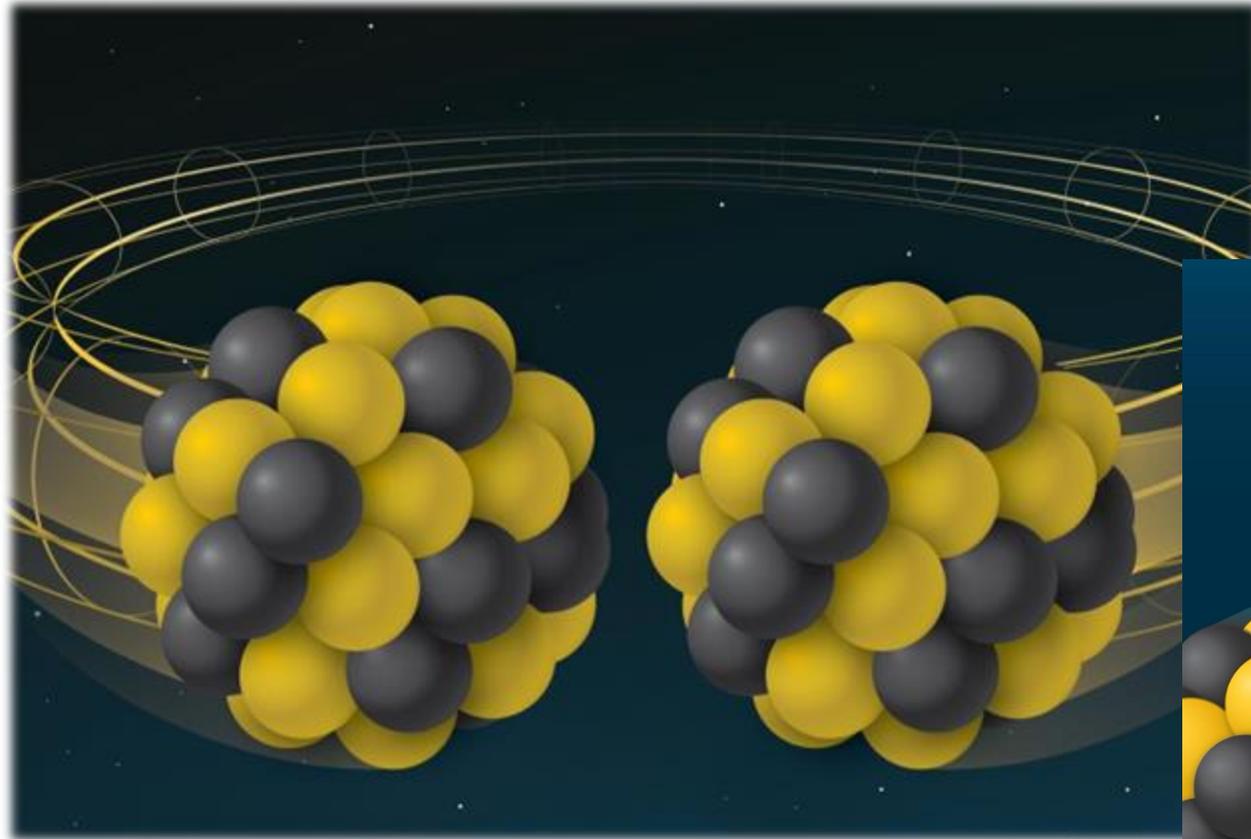
重力

A man wearing a black cap and sunglasses is shown from the chest up. He has his hands raised in a gesture, palms facing each other, with a stream of glowing purple particles falling from his hands. The background consists of concentric, glowing blue and purple circles, creating a hypnotic or magical atmosphere. A white banner with black text is positioned across the lower middle of the image.

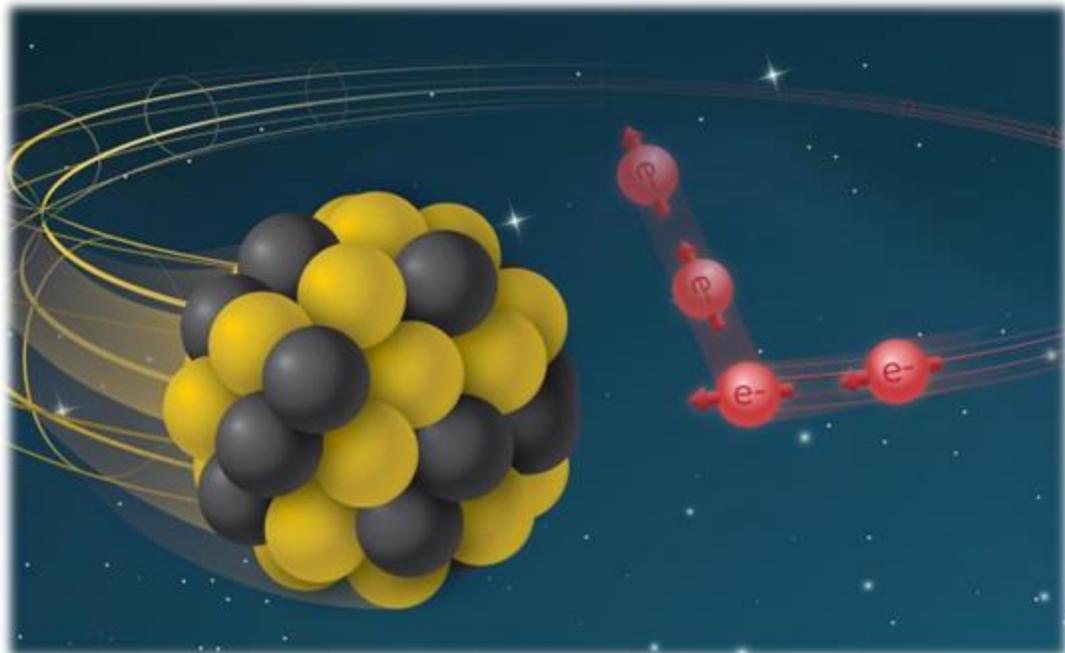
第5の力 ～念力～

強い力の原子核反応

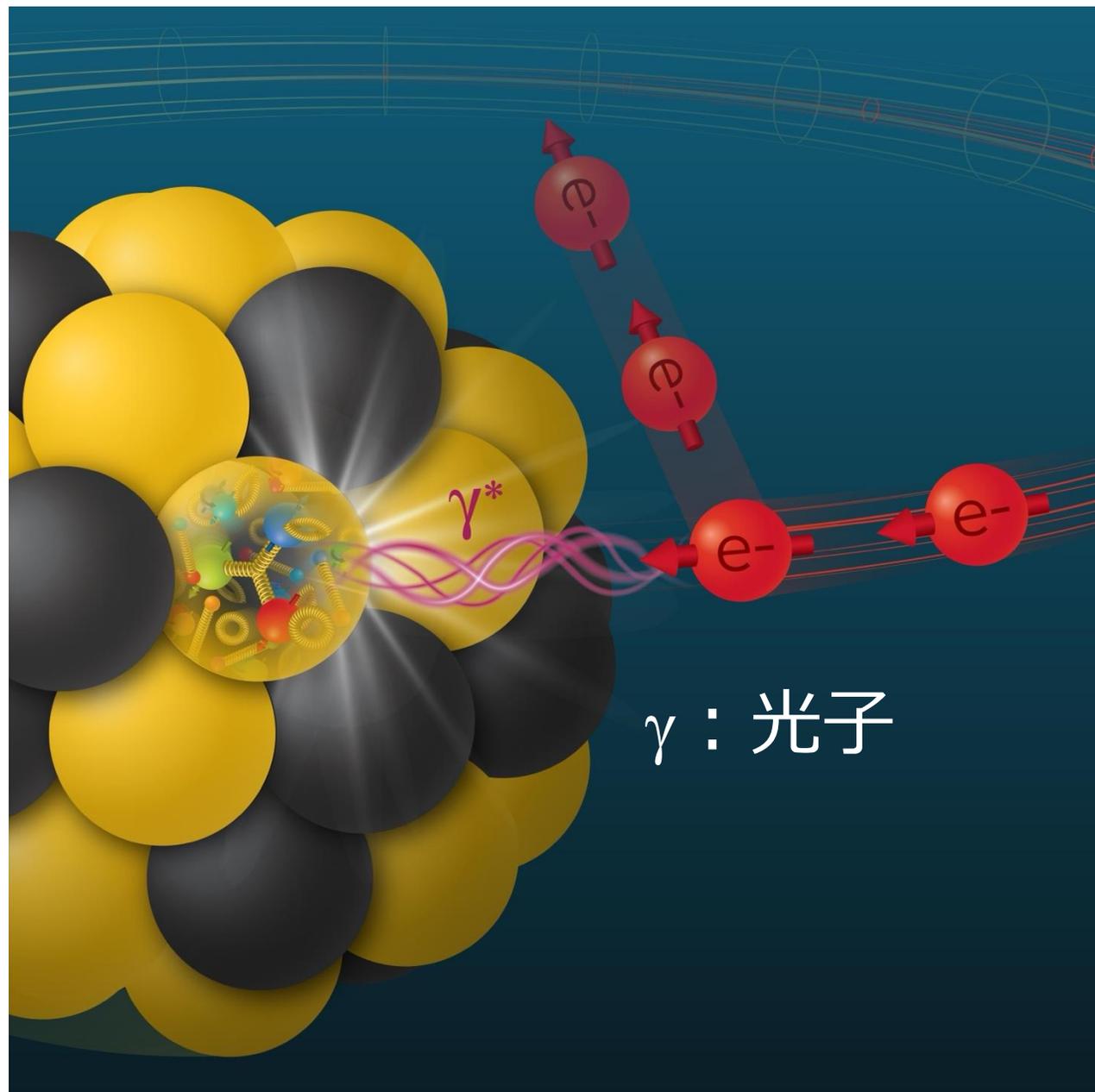
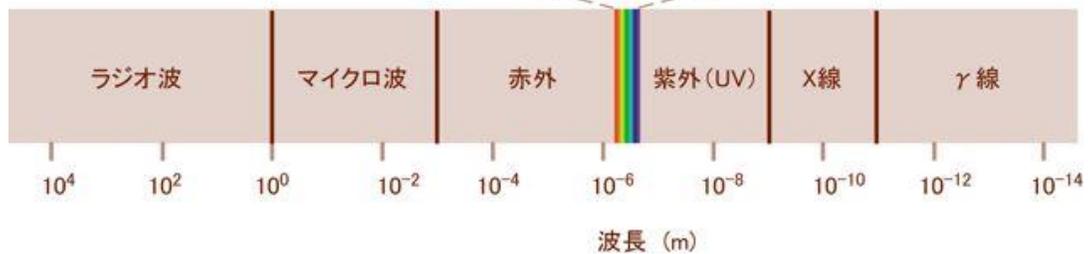
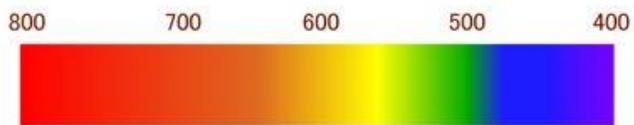
q : クォーク
g : グルーオン



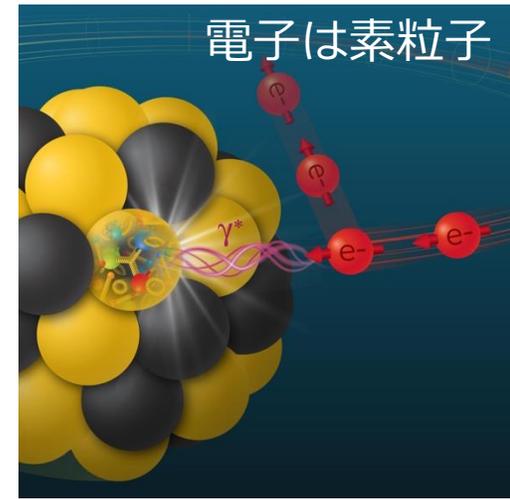
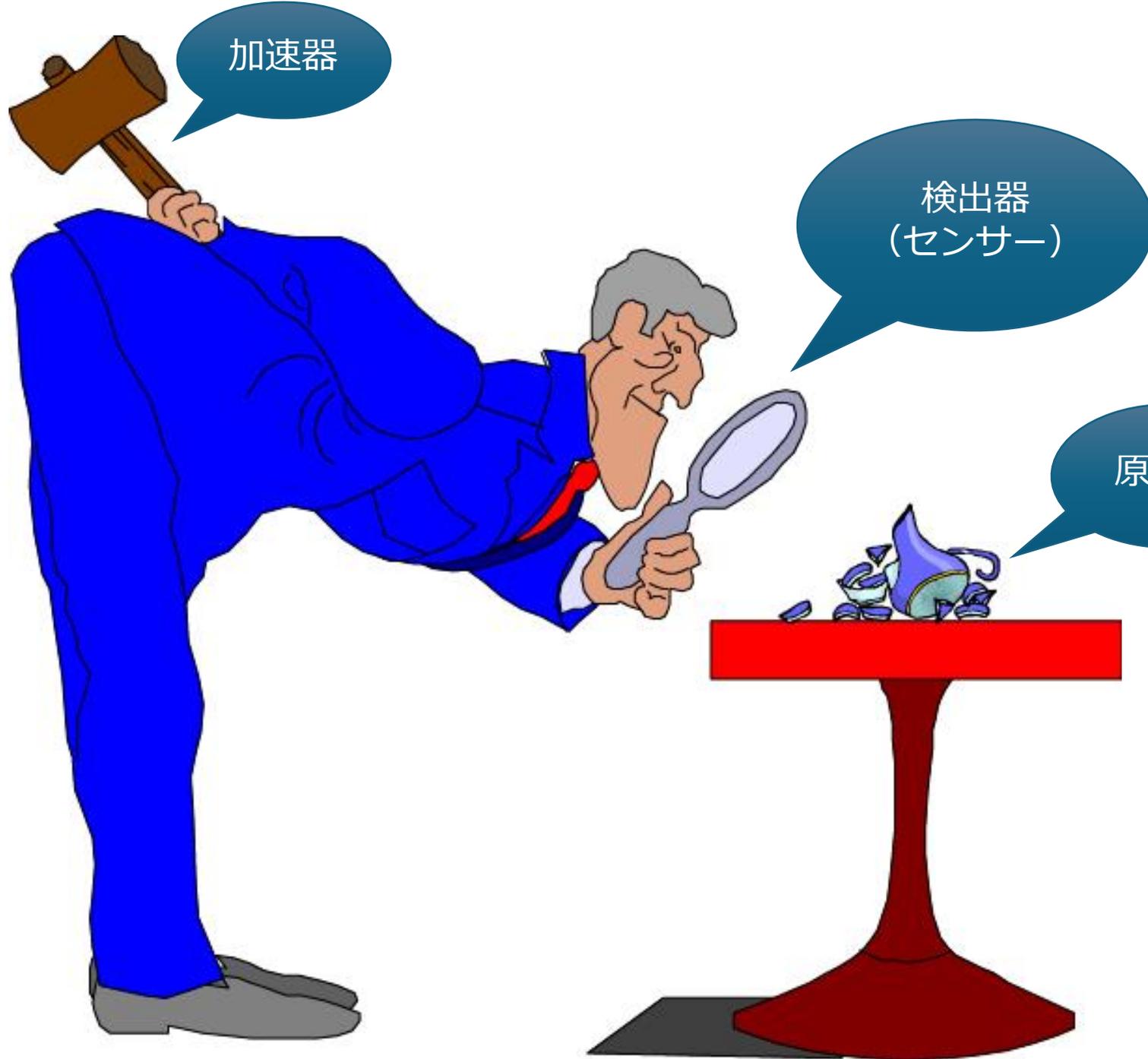
電磁相互作用の反応



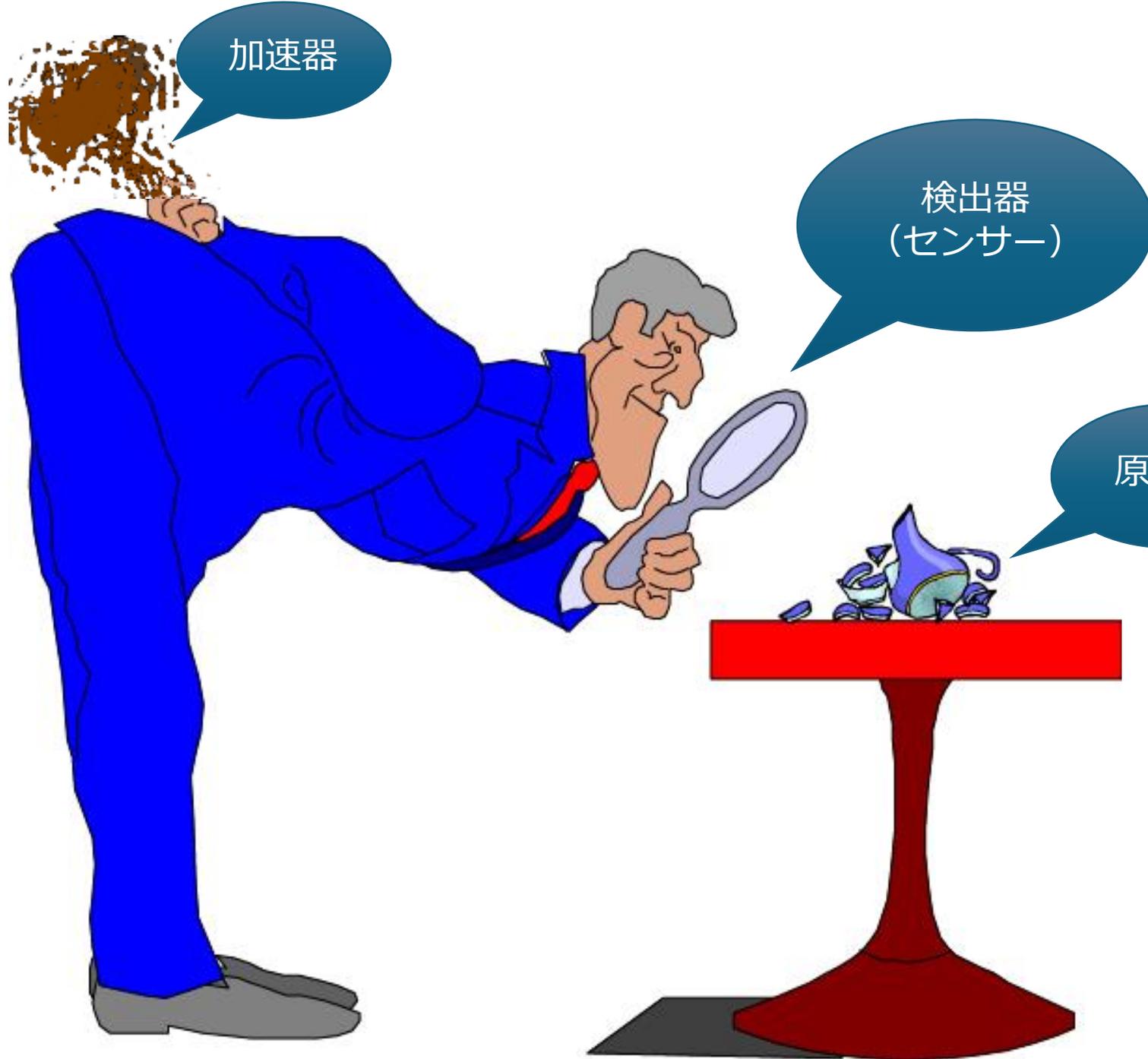
可視光線の波長 (nm)



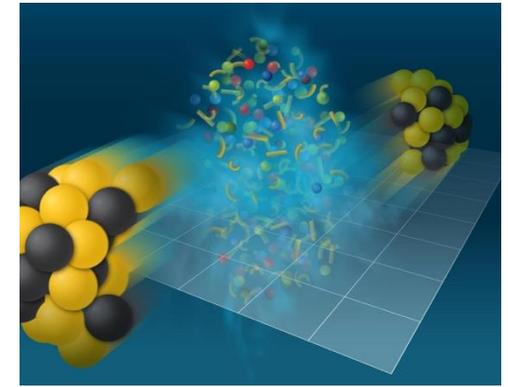
γ : 光子



素粒子とは
「これ以上壊れない粒子」



陽子や原子核は壊れる



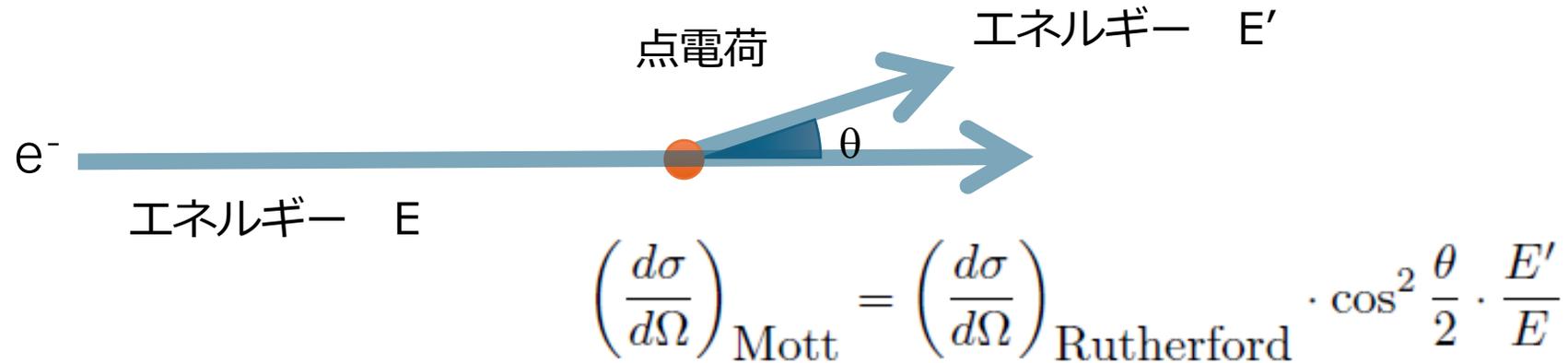
RHIC

どっちも壊れちゃうと
原子核の中身が
よくわからないぞ

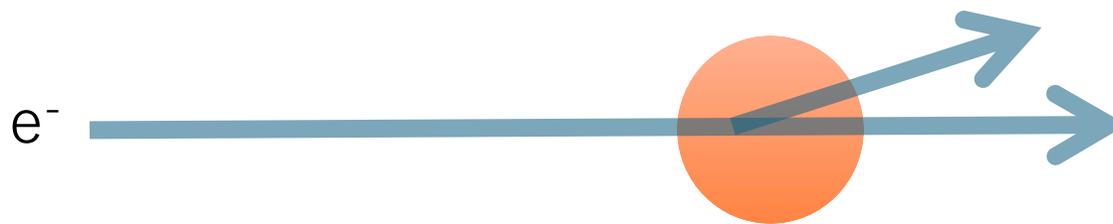
散乱実験のいろは



電子の弾性散乱

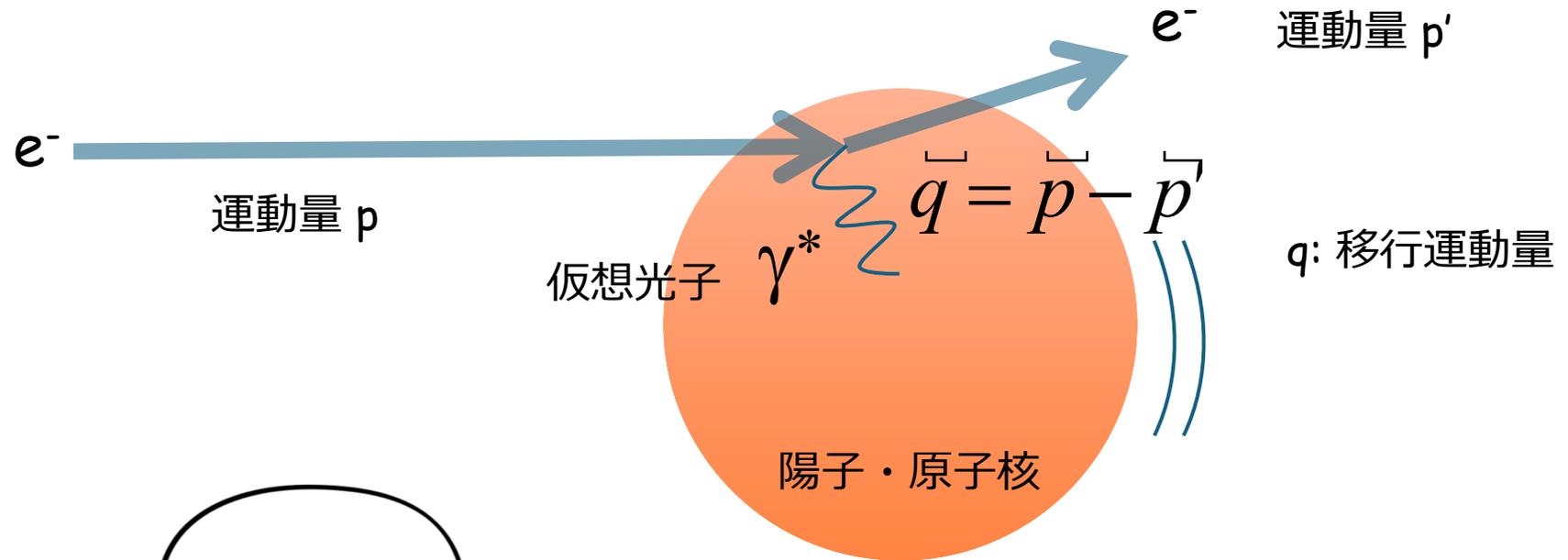


原子核が広がりを持つ場合



$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{\text{exp}} \neq \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{\text{Mott}}$$

電子散乱のイロハ



反応の起こりやすさ

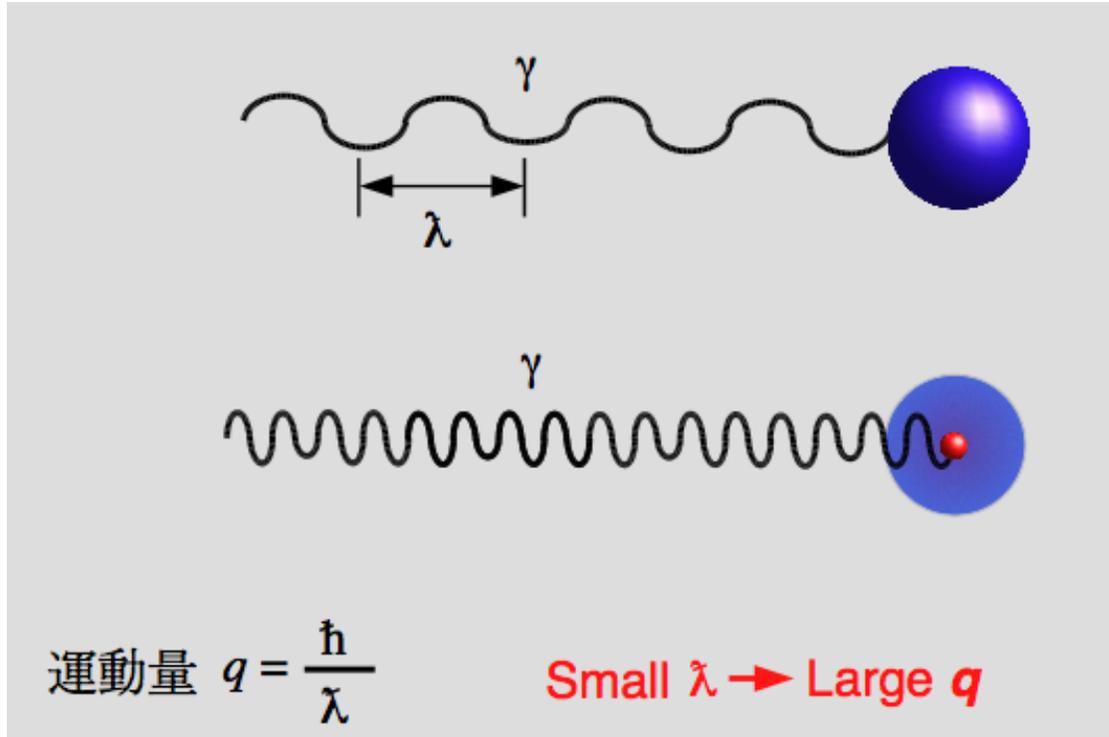
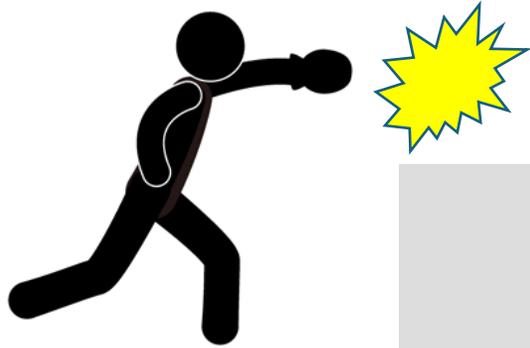
確率のかけ算

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{\text{exp}} = \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{\text{Mott}} \cdot |F(q^2)|^2$$

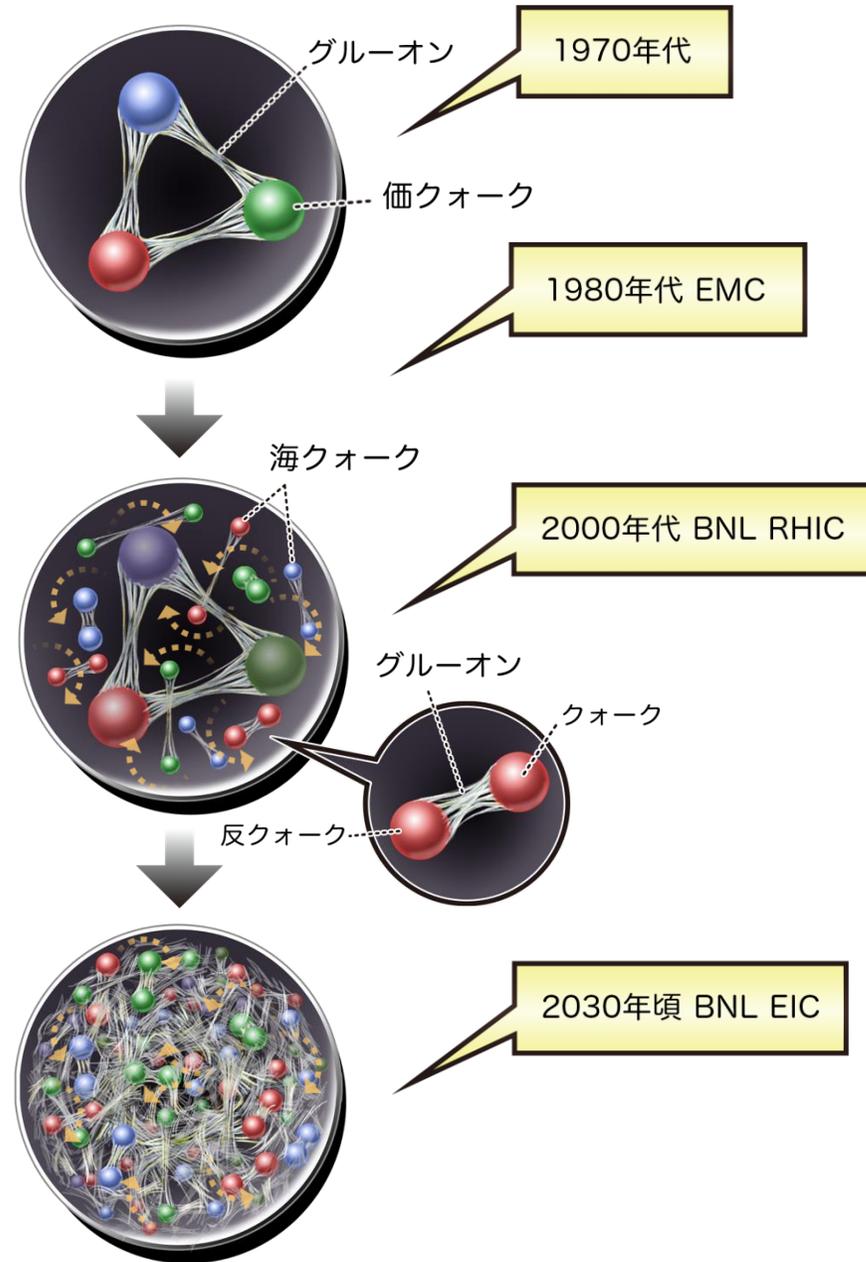
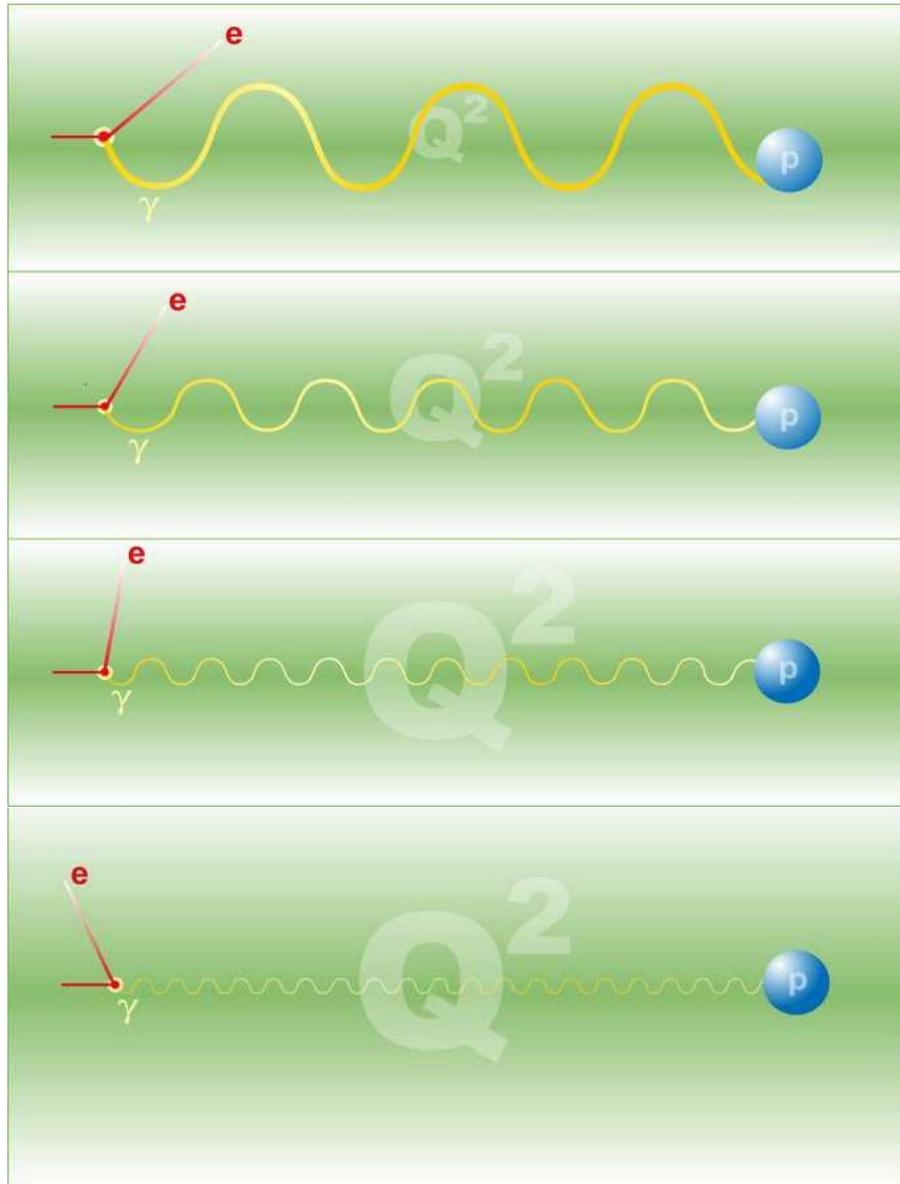
電荷形状因子 (原子核の情報)

移行運動量～分解能

移行運動量が大きい
= 衝撃が大きい

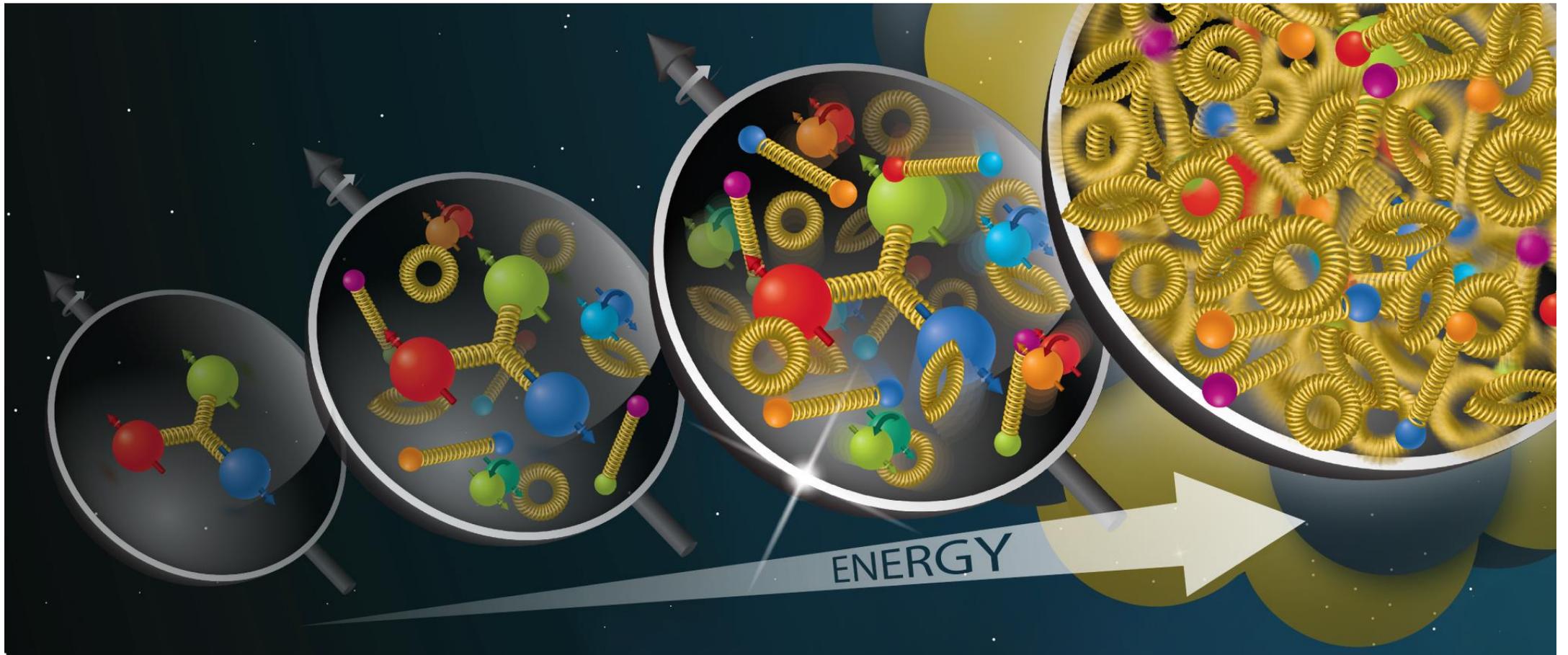


陽子の中身と分解能



長〜い歴史を経て少しずつ陽子や原子核の中身が詳しく見えてきた

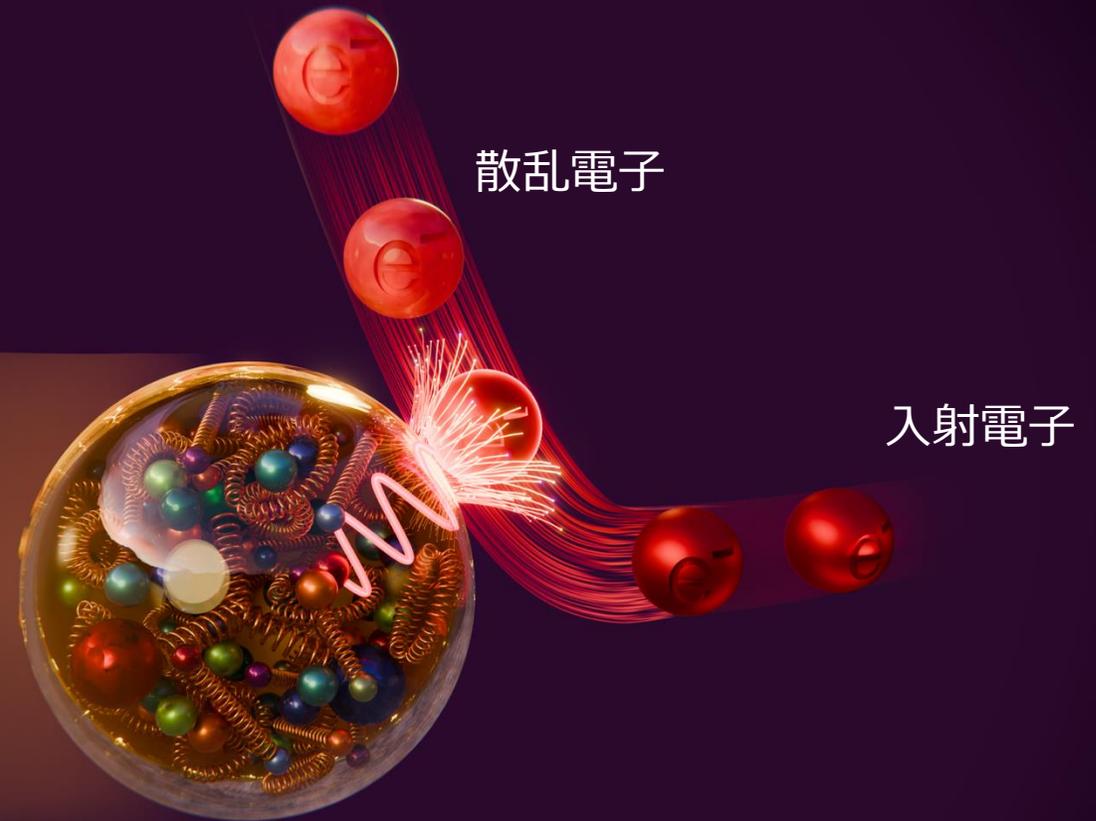
EICで観ようとするもの



陽子や原子核の中身(特にグルーオン) をより高分解能で観察する

電子散乱

DIS



波長の短い電子散乱

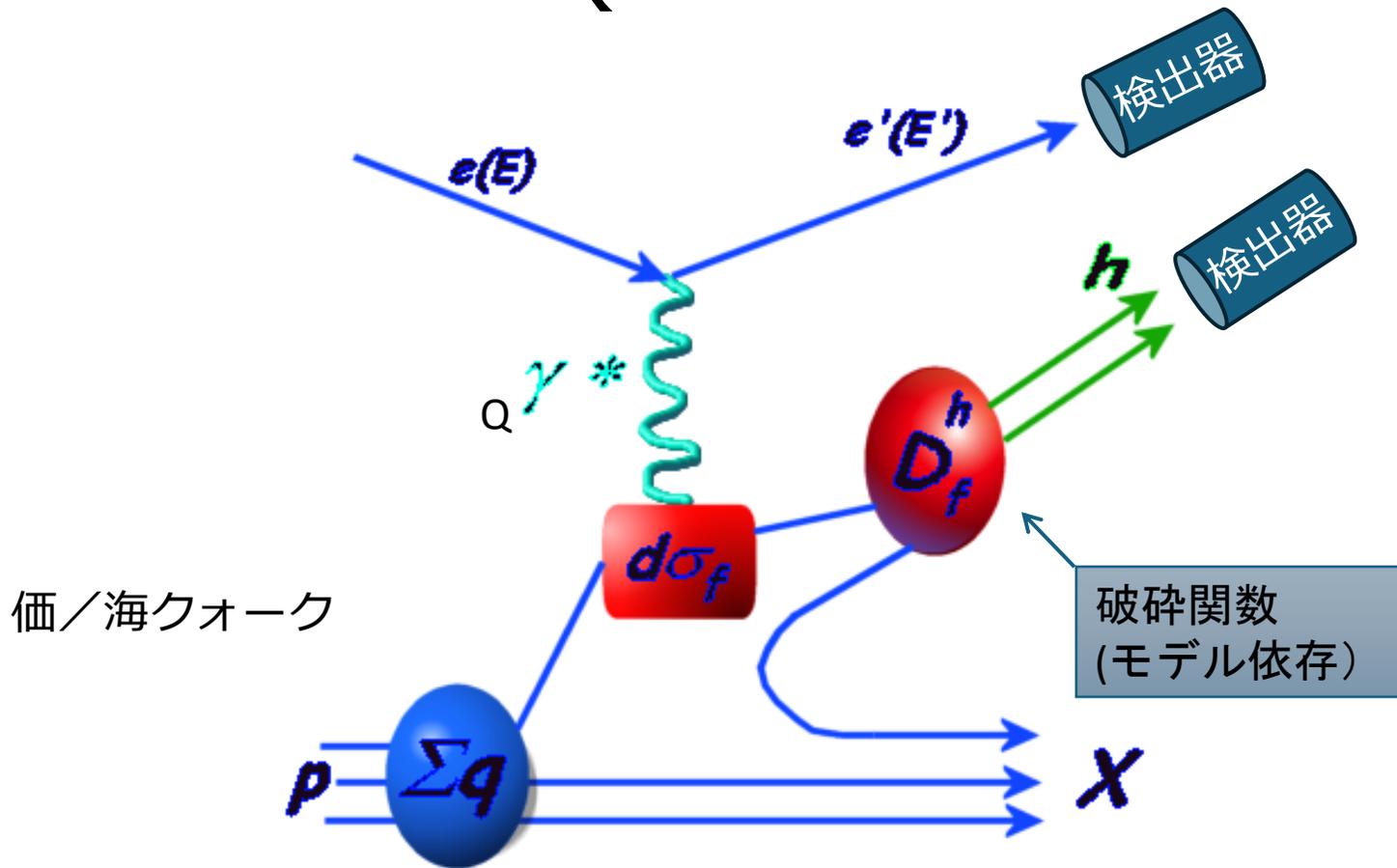
DIS

Deep Inelastic Scattering

深非弾性散乱

どうでもええわ いまさら 知らんけど

準非弾性散乱 (Semi-Inclusive DIS)



Flavor Tagging

$$u\bar{d} \rightarrow \pi^+$$

$$\bar{u}d \rightarrow \pi^-$$

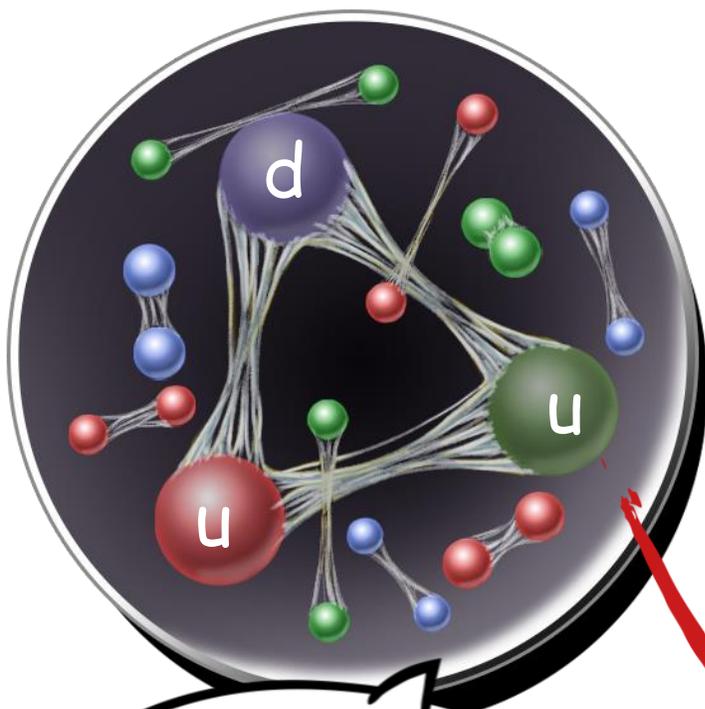
$$u\bar{s} \rightarrow K^+$$

$$\bar{u}s \rightarrow K^-$$

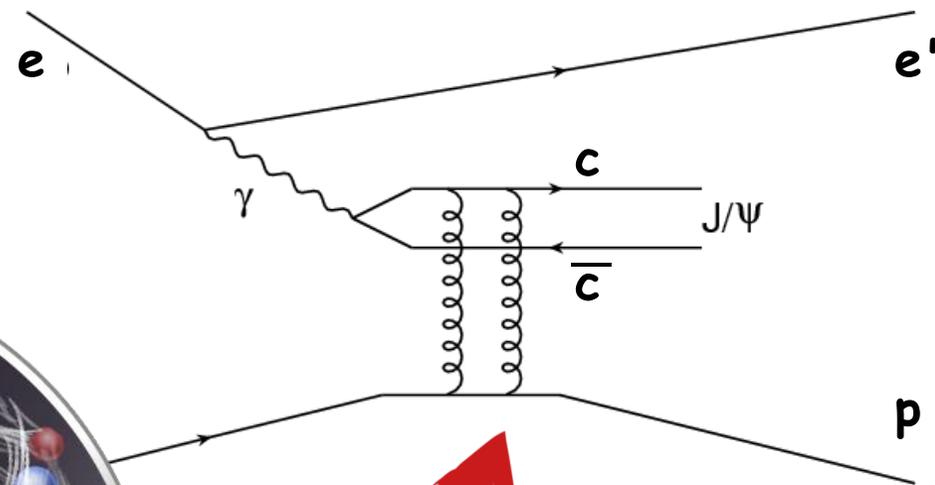
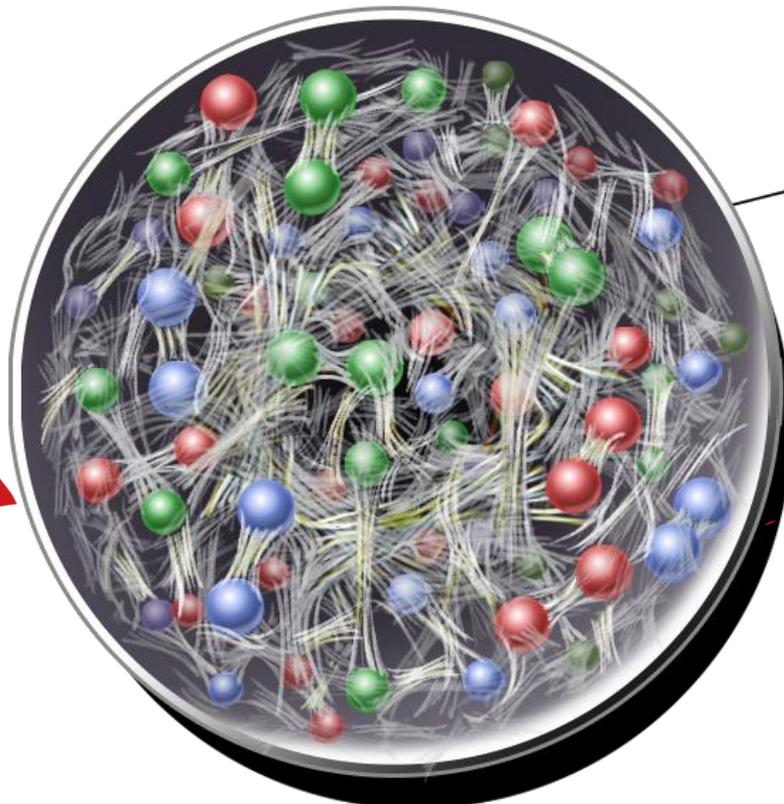
$$c\bar{c} \rightarrow J/\psi$$

$$\frac{d^3\sigma^{\uparrow\downarrow}(pp^{\uparrow} \rightarrow \pi^+ X)}{dx_1 dx_2 dz} \propto \underbrace{q_i^{\uparrow}(x_1) \cdot q_j^{\downarrow}(x_2)}_{\text{陽子の構造}} \times \underbrace{\frac{d^3\hat{\sigma}^{\uparrow\downarrow}(q_i q_j \rightarrow q_k q_l)}{dx_1 dx_2}}_{\text{摂動論的量子色力学(pQCD)}} \times \underbrace{FF_{q_{k,l}}(z, k_T)}_{e^+e^-}$$

原子核の中のグルーオンを観るツール



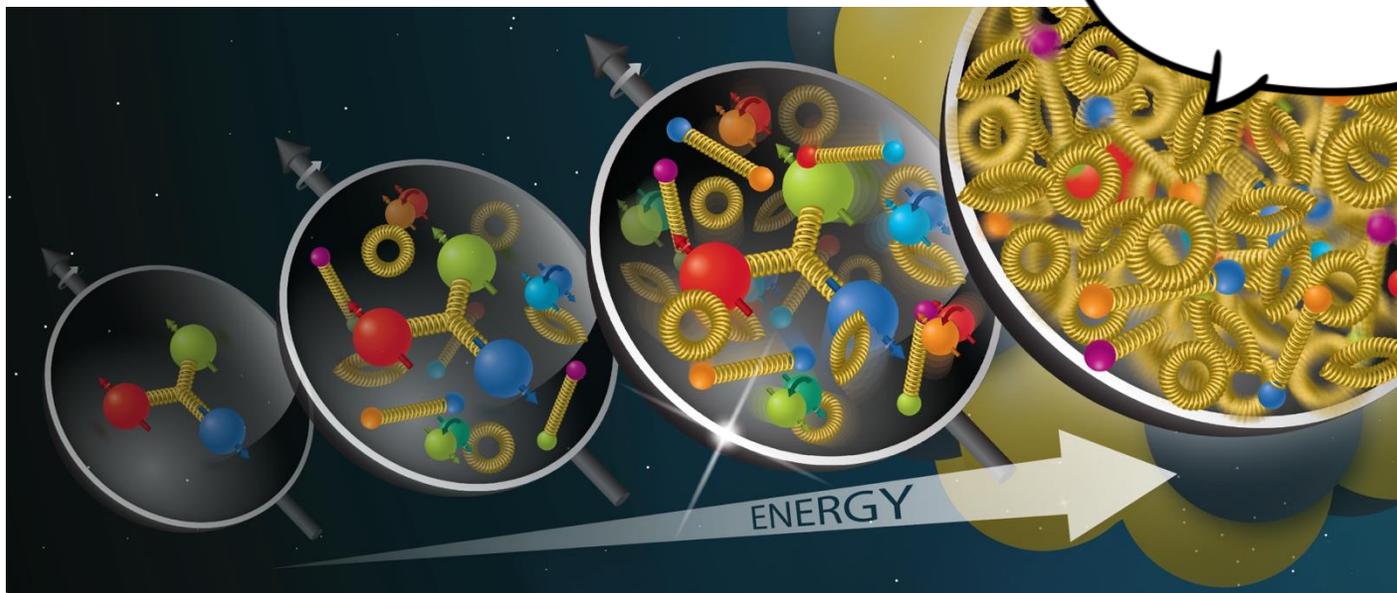
EIC



陽子はuudクォークで
できていると習ったん
だけど？

グルーオンの数

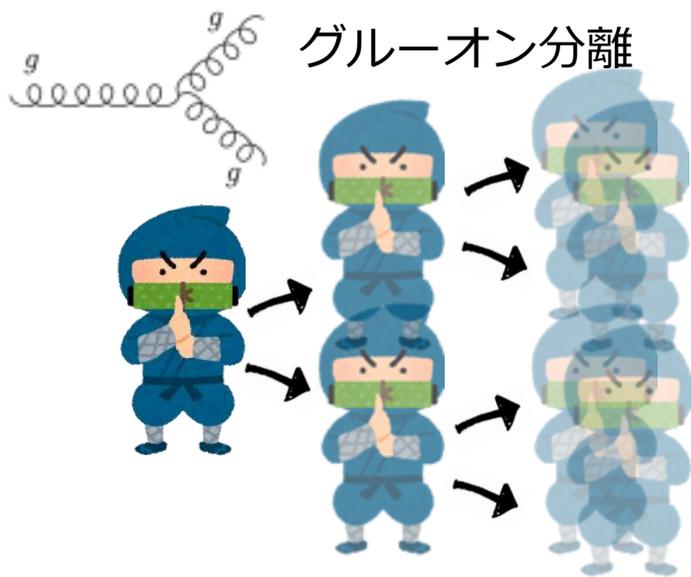
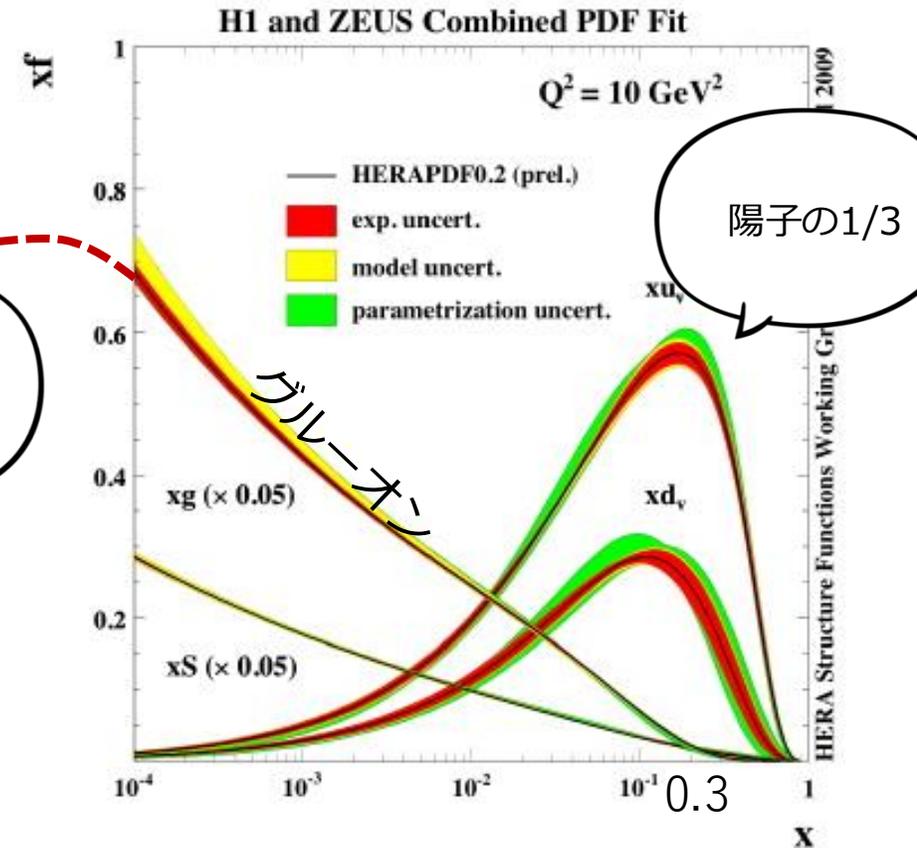
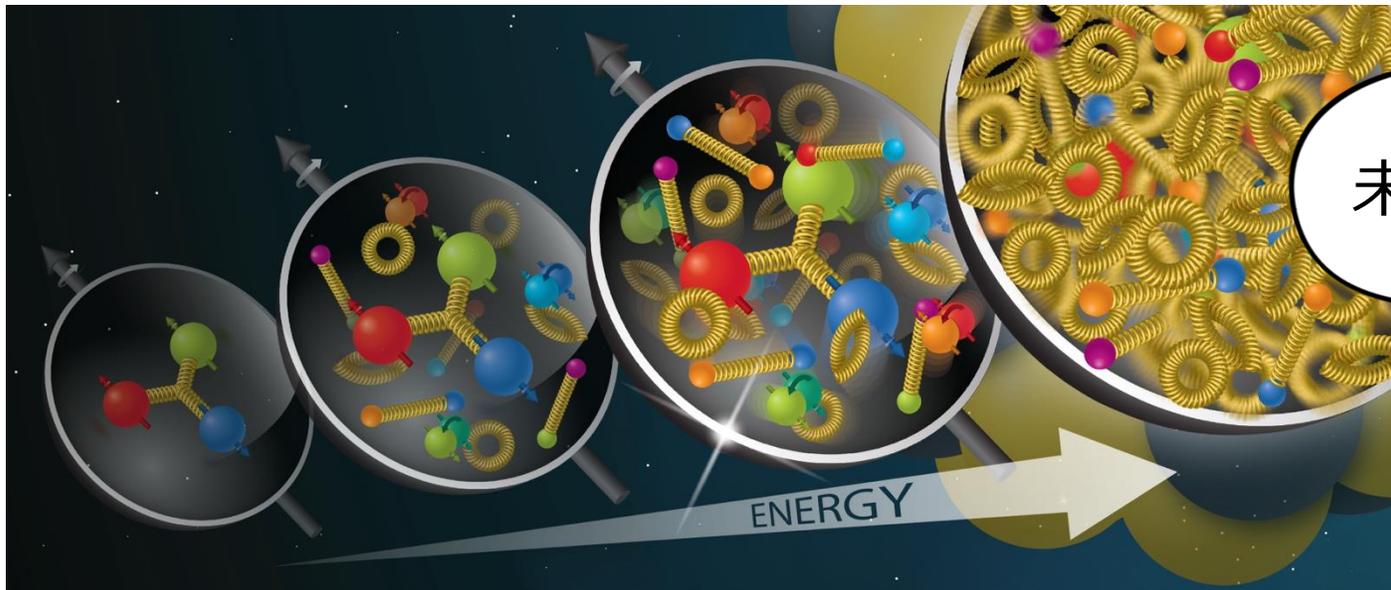
グルーオンは無限に
増えるのか？



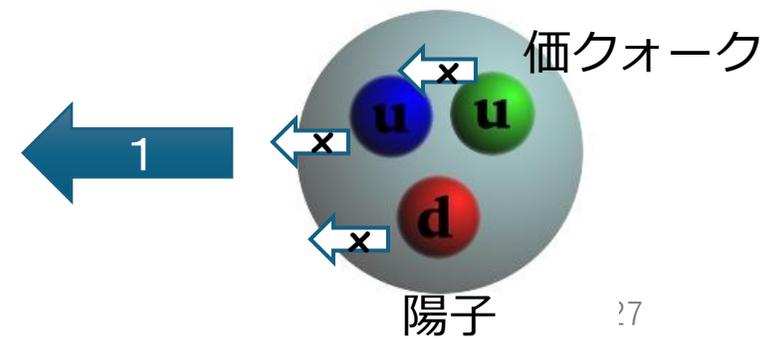
流石にもうムリ！



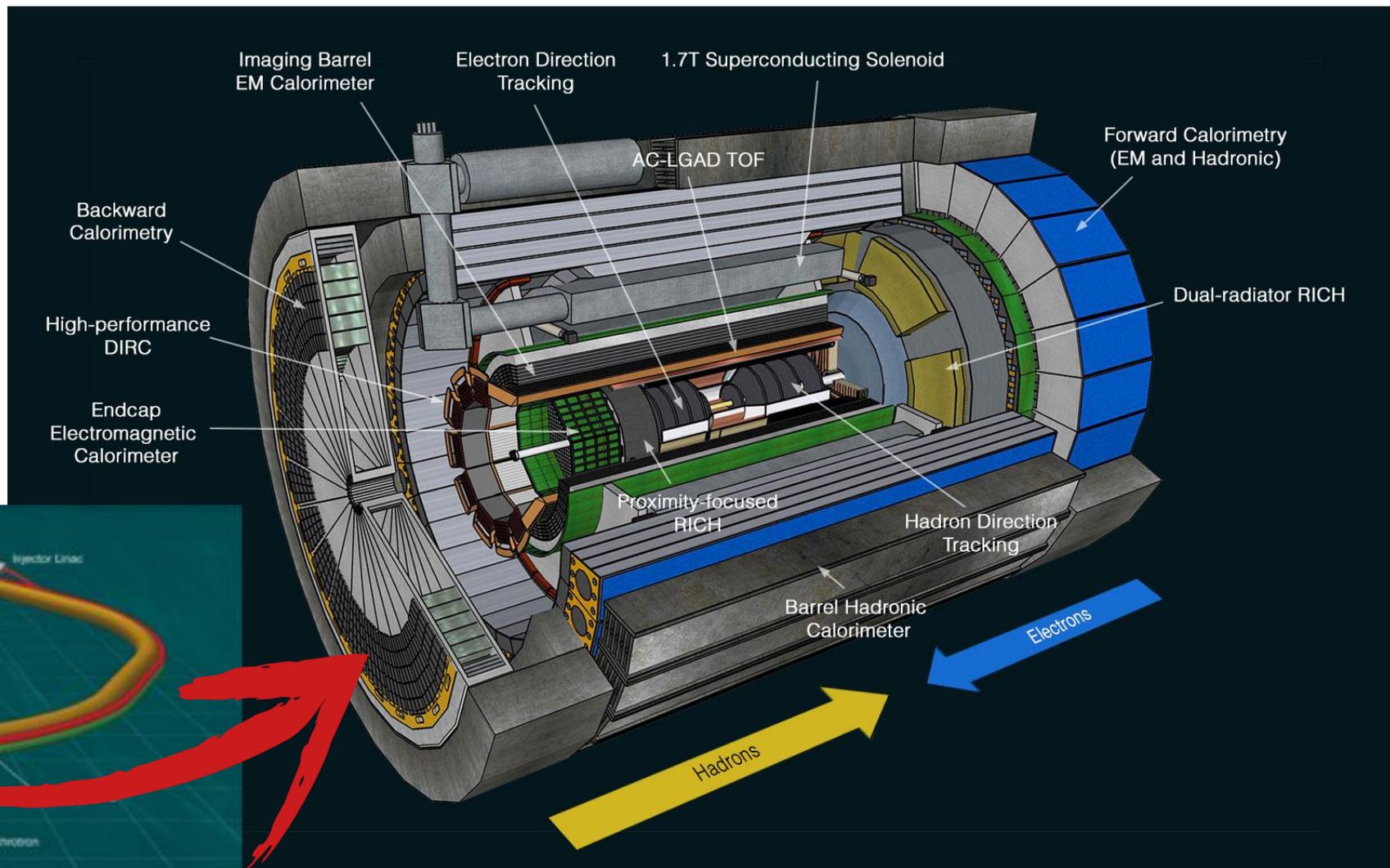
グルーオン抑制



陽子の運動量とした時のクォーク・グルーオンの運動量割合



ePIC検出器



ePIC experiment

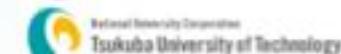
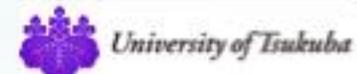
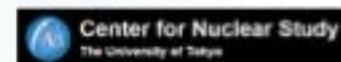
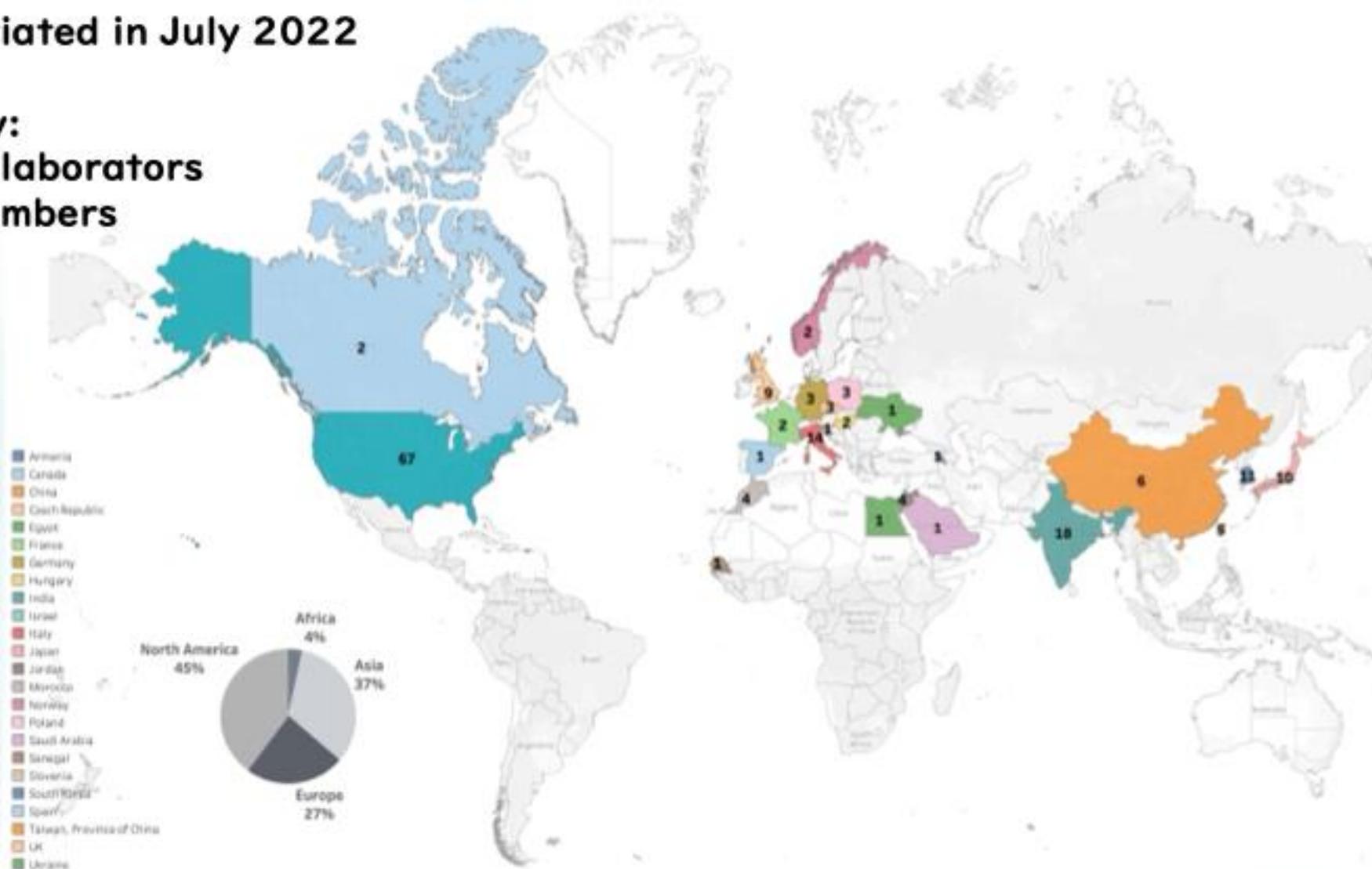
ePIC Institutions
173

ePIC Countries
25

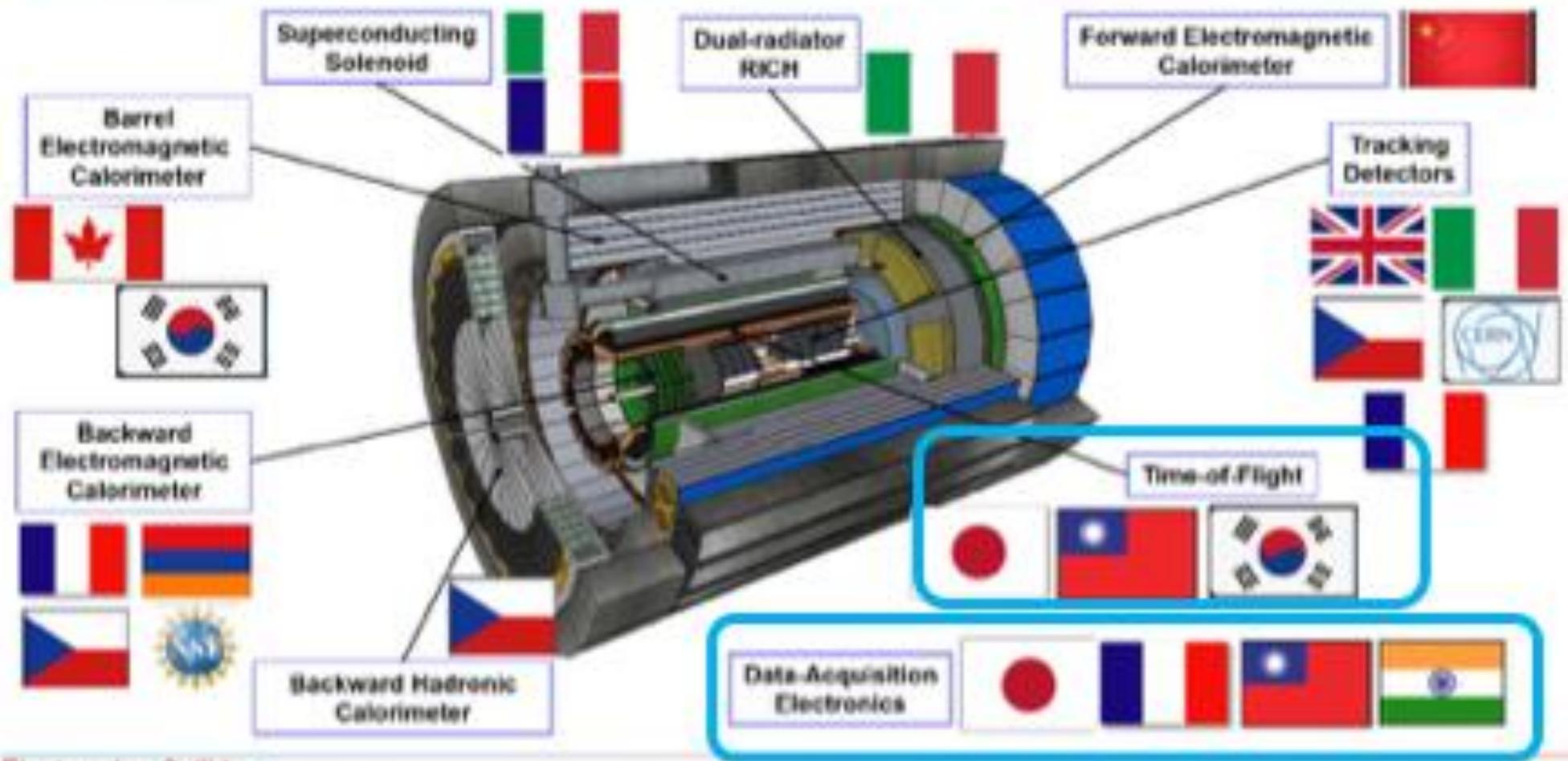
ePIC World Region
4

ePIC Initiated in July 2022

Currently:
>850 collaborators
>650 members



Central Detector Non-DOE Interest & In-Kind



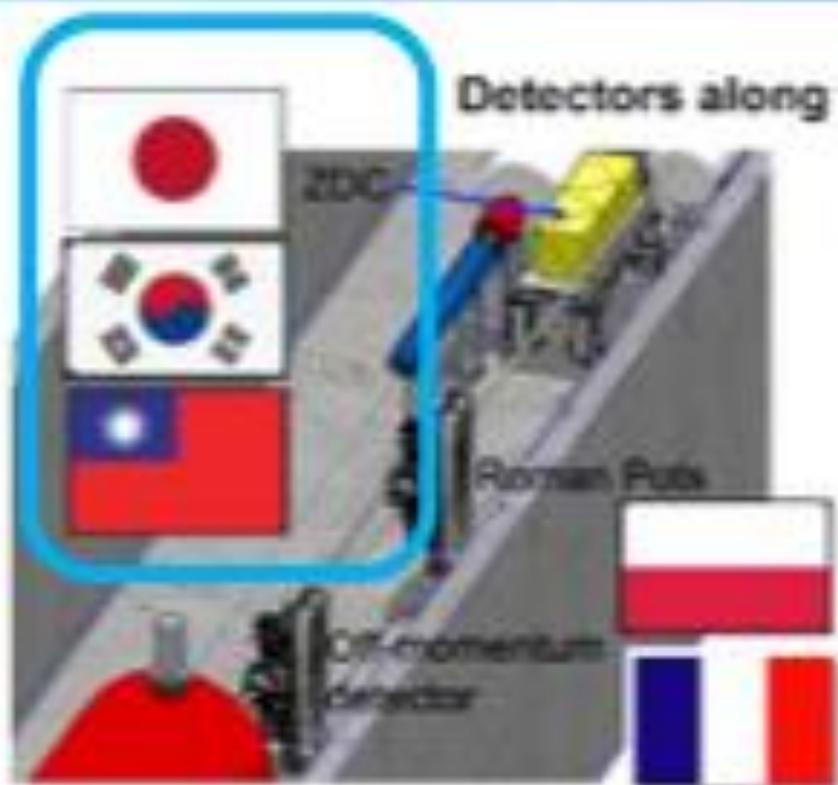
Electron-Ion Collider

EO RFD Meeting, December 1st & 2nd, 2021

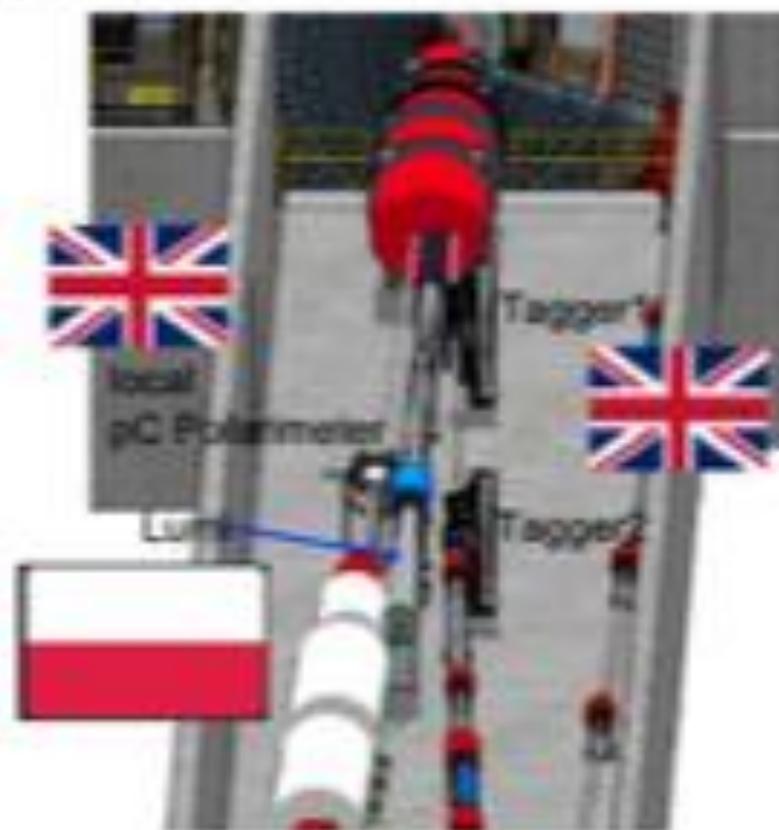
E.C. Aschauer

18

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

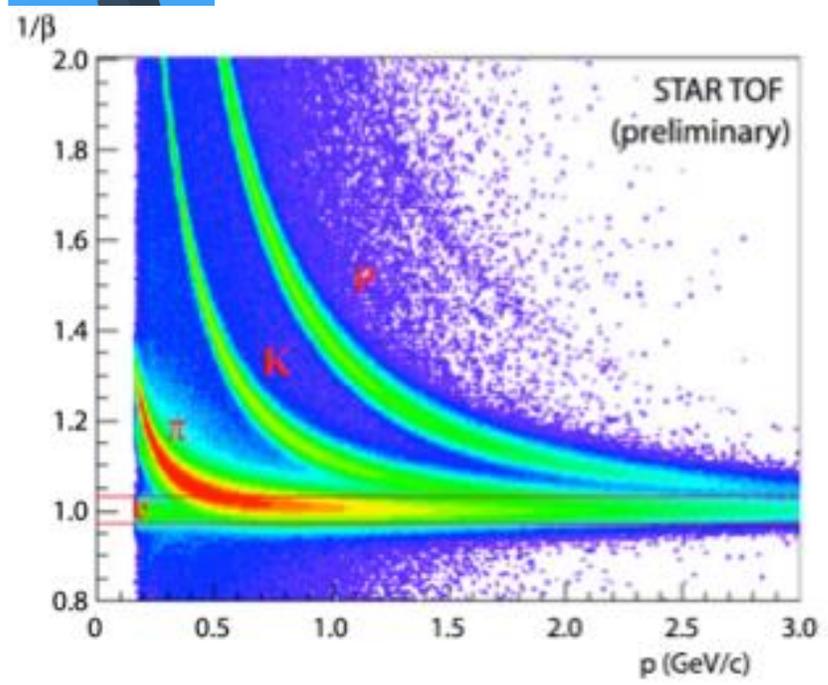
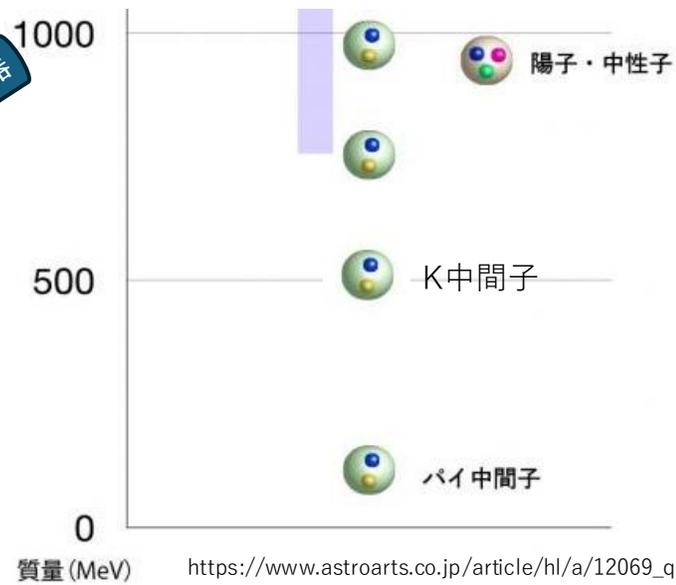
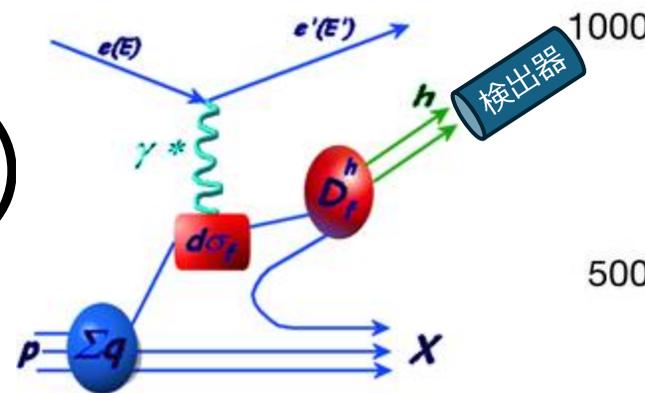
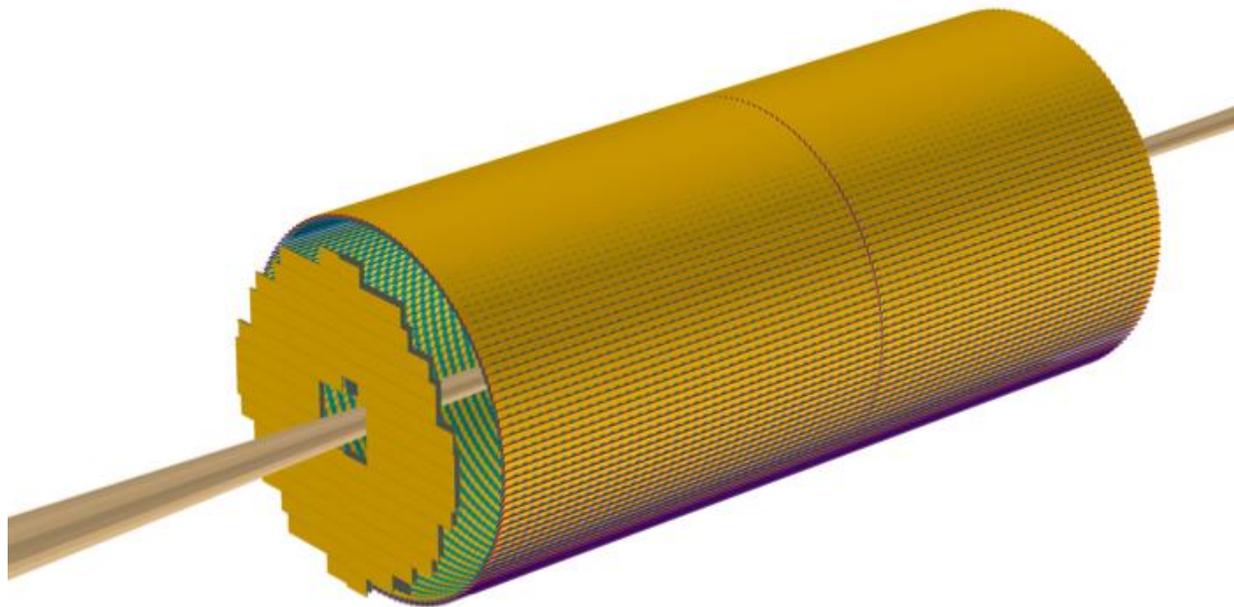


B0-Tracker & Electromagnetic Calorimeter



日本グループの貢献(1)

bTOF : 円筒型Time-of-Flight(TOF)
粒子識別



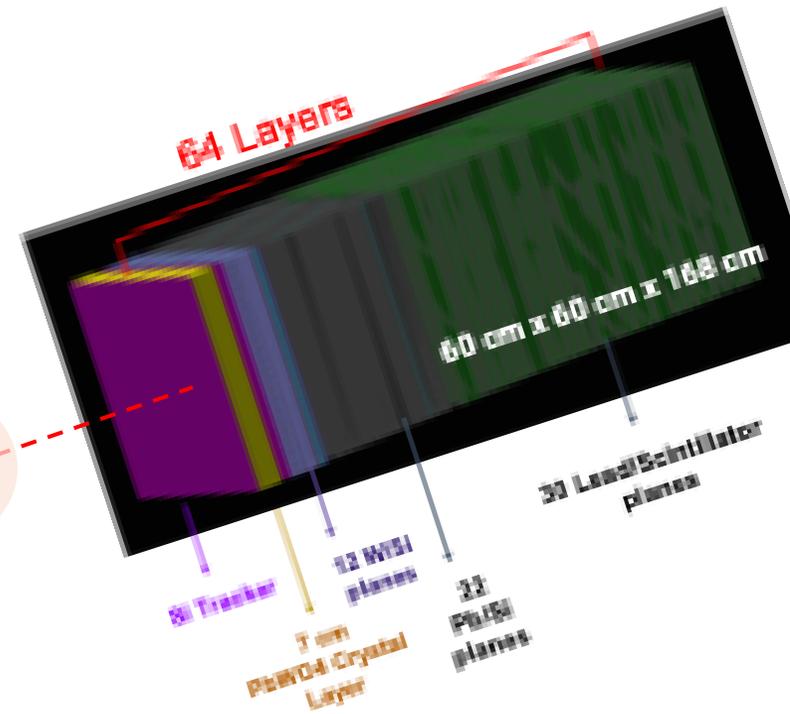
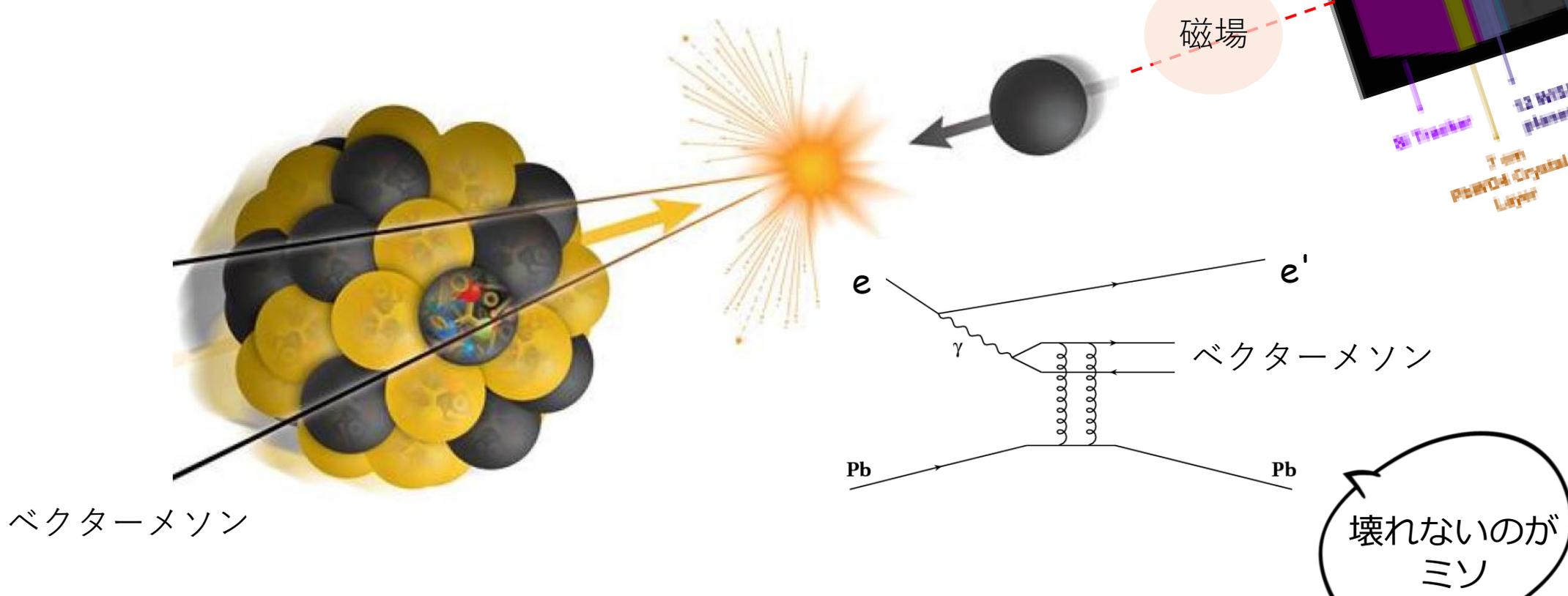
AC-LGADシリコンセンサー：高時間分解能
広島大、奈良女大、理研、信州大、東北大…

https://indico.physics.lbl.gov/event/1470/contributions/5524/attachments/2674/3516/290e_TOF_Detectors.pdf

日本グループの貢献(2)

ZDC : Zero Degree Calorimeter
非荷電粒子検出器

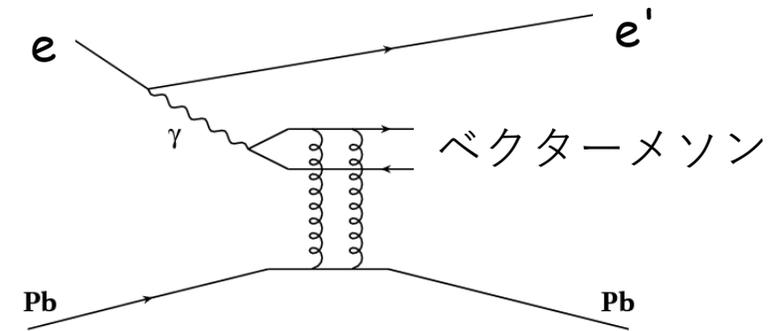
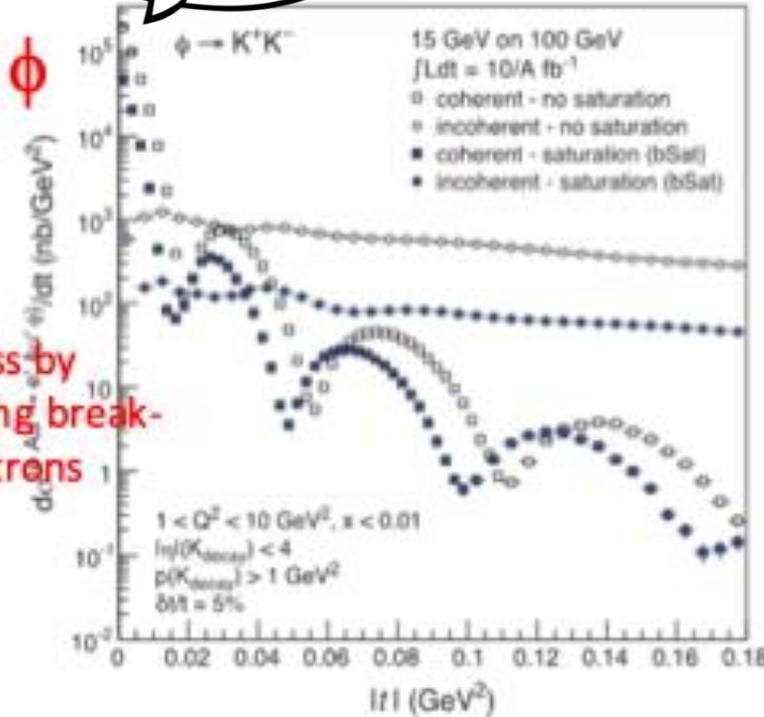
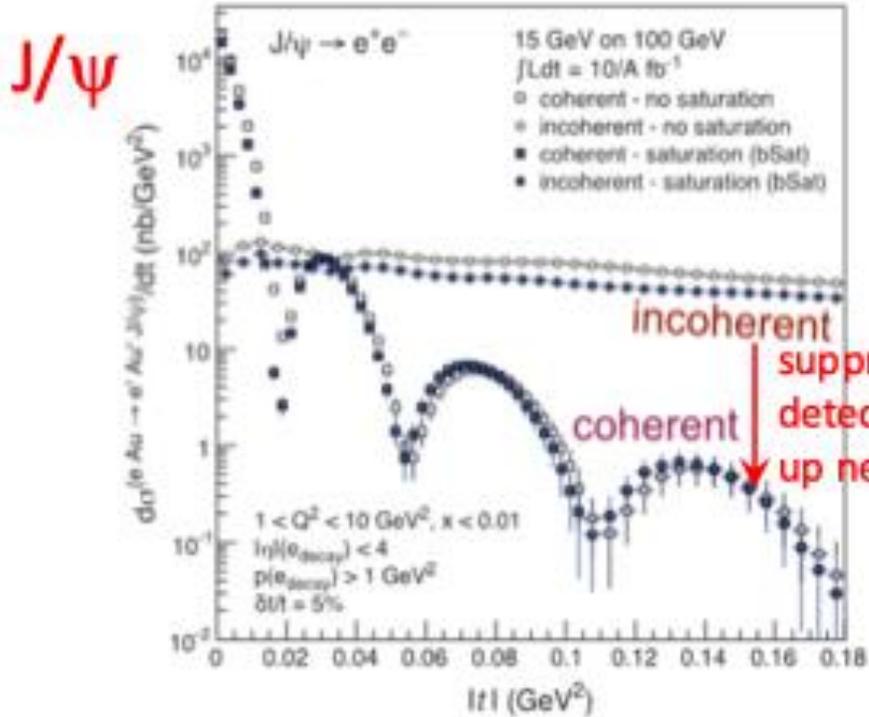
理研・奈良女・神戸大….



日本グループの貢献(2)

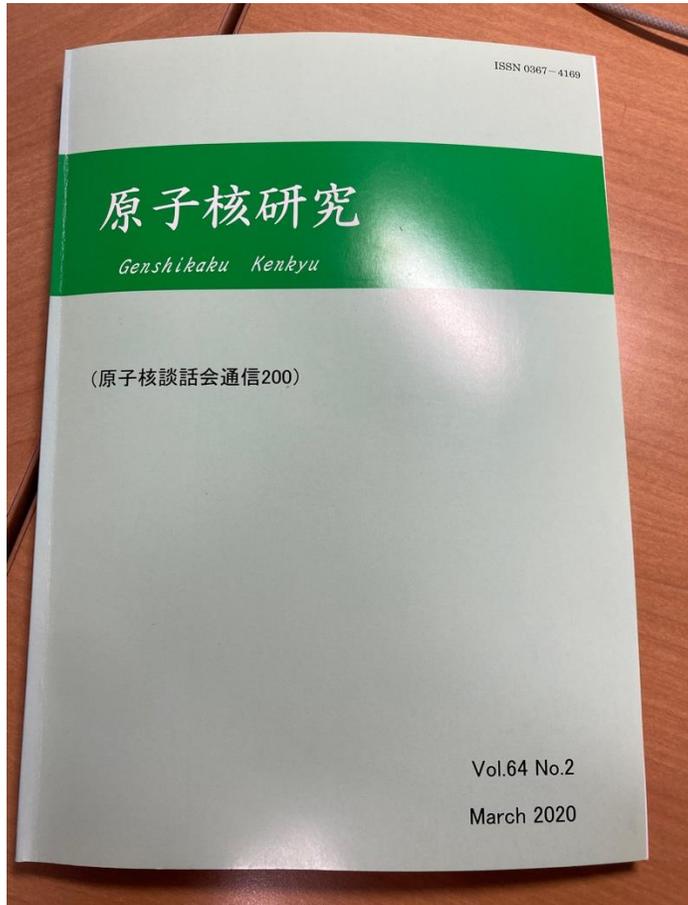
ZDC : Zero Degree Calorimeter
非荷電粒子検出器

壊れない



ベクターメソン生成断面積

日本語の参考文献



日本物理学会原子核部門の会誌



64巻第2号 (2020年)

<http://www.genshikaku.jp/index.php>



69巻第2号 (2025年) 35

日本語の文献

DIS, Semi-Inclusive DIS
柴田利明, 日本物理学会誌**67**, 738 (2012)

解説

高エネルギー偏極陽子-陽子衝突で探る陽子のスピンの構造



後藤 謙二
東京大学
高エネルギー物理学センター
gkato@hep.t.u-tokyo.ac.jp



Ralf Seidl
東京大学
高エネルギー物理学センター
seidl@hep.t.u-tokyo.ac.jp



中川 暢
東京大学
高エネルギー物理学センター
nkuroki@hep.t.u-tokyo.ac.jp

陽子は高エネルギーにおいて陽子のクォークとグルーオンから構成されると認識されているが、陽子のスピン構造はこれをその構成要素から説明することは長年の課題である。陽子のもう一つの量子数である電荷+1は3つのクォーク電荷の和でうまく説明できるため、陽子のスピンの向軸にクォークのスピンが関与していると期待された。

実際に高エネルギー偏極レプトン衝突実験でクォーク・スピンの向きを測定して来たところ、結果までにその向きはせいぜい30%程度であることが判明している。これは「陽子スピンのパズル」(図1)と呼ばれ、高エネルギー-qq'衝突における未解決の課題の一つである。

では残りの70%はどこから来ているのだろうか。ここで覚えておきたいのが、グルーオンはスピン0である。陽子はクォークとグルーオンで構成されているから、クォーク・スピンの説明がつかないのはグルーオン・スピンの向きで補われるのだろうかという予想された。

クォーク・スピンの向きを特定に難かしい問題を解決してきた高エネルギー偏極レプトン衝突実験だが、レプトンが散乱される際に伝達される仮想光子は、陽子内のグルーオンと直接相互作用をしないため、レプトン衝突実験ではグルーオンに対する感度は非常に低い。そこで米国ブルックヘブン国立研究所(BNL)では、世界で唯一の高エネルギー偏極陽子-陽子衝突型加速器を用いてグルーオン・スピンの向きを測定しようとした。

2001年から14年以上に及ぶ実験で、ようやくグルーオン・スピンの向きはゼロではなく、おおよそクォーク・スピンの向き

くらいである結果を得た。まだその精度は十分とまでは言えないが、クォークとグルーオンのスピンの向きを差し合わせても、陽子のスピンを全てを説明することはできない可能性が出てきた。陽子の構成要素はクォークとグルーオン以外にないのだから、それらのスピンの向きを差し合わせればスピンの向きに足りない何かはないか? 何か残るとは思えないか?

クォークとグルーオンは陽子という閉じられた空間内で運動をしているので、それらの軌道角運動量は陽子スピンの向きである。つまり陽子スピンの向きは、クォークとグルーオンのスピンの向きとそれらの軌道角運動量の和で与えられる「スピン和」が成り立つ。軌道角運動量の測定を目的とした実験も数多く存在するが、測定した軌道角運動量と軌道角運動量を関連付けるのは非常に難しい。現時点では軌道角運動量の向きはあまりよくわかっていない。しかし近年実験手法により改善され、理論の発展も進み、軌道角運動量を特定する土台が徐々に整備されつつある。

陽子スピンの構成要素から説明する研究は、陽子スピンの向きをそれぞれ構成要素の一つついで測定し、最終的にスピンの説明が済むことを確かめるのがゴールである。そのためにはクォークとグルーオンのスピンの向きと軌道角運動量の向きをそれぞれ精密に測定しなければならぬ。スピンのパズルは偏極陽子-陽子衝突実験で解決まであと一歩のところまで迫りつつある。この過去の14年は、2014年頃に30%で実験結果が測定されている世界の電子-陽子衝突型加速器に引き継がれる。



図1: 陽子のスピン構造。陽子のスピンはクォークとグルーオンのスピンの向きとそれらの軌道角運動量の和で与えられる。

図2: 陽子標的の場合を示すが、陽子の中の荷電粒子であるクォークと反応する。この仮想光子は空間的な領域の光子なので、その不変質量の自乗 Q^2 は負の量である。 $Q^2 = -q^2$ と定義して、以下では Q^2 を用いる。

$x = Q^2/2Mv$ をブヨルケン x と呼ぶ。 M は陽子の質量、 v はレプトンからのエネルギー移行である。 x は非弾性の程度を表す量であり、0から1の間の値をとる。弾性散乱の場合には $x=1$ である。図2のように、標的が高速で動いている座標系で考えると、陽子全体の運動量に対し、反応するクォークが担っている運動量の割合が x である。終状態のハドロン全体の不変質量を W と書くと、核子の共鳴状態を超える W の値を選び $W > 4 \text{ GeV}$ 、 $Q^2 > 1 \text{ GeV}^2$ を満たす運動学的領域の散乱を深非弾性散乱と呼んでいる。

まとめ

- 2035年頃、RHICを改造したEIC実験がNYで始まる。
- RHICは「強い力」を使って、「強い力」で支配されている陽子や原子核の中身を覗いている。
- EICは「電磁相互作用」を使って、「強い力」で支配されている陽子や原子核の中身を精密に測定する。
- 「強い力」の鍵を握るグルーオンの実態を暴くのがEICのミッション
- 日本グループはePIC検出器の主要な検出器の一部を開発・建設する。

Backup Slides

関西弁でEICの頭文字になる定型句を教えてください

関西弁で「EIC」の頭文字になる定型句（ことわざ風、キャッチコピー風など）を作ると、こんな感じはいかがでしょうか：

EIC：

1. E：ええかげんにせえ

（→ 注意・叱責の意味。「いい加減にしる」の関西弁）

2. I：いっぺん言うたやろ

（→ 「一度言ったでしょ」の意味で、説教や注意によく使われる）

3. C：ちゃう言うてるやん

（→ 「違うって言ってるやん！」という否定・訂正）

この三つを並べると、怒り気味のやりとりを連想させる定型句になります：

「ええかげんにせえ！いっぺん言うたやろ！ちゃう言うてるやん！」

ちょっとコメディ調にも使えますし、関西らしいノリが出ます。

真面目な路線や別パターンも欲しいですか？



質問してみましょう



検索



推論



Deep Research



画像を作成する



☰ 真面目・応援系（モチベアップ・励まし風）

3. E：ええことあるで
→（いいことあるよ）

I：いつでも本気や
→（常に本気）

C：変われるんやで（Changeできる）
→（「Change」のCを意識、前向きな変化）

4. E：エネルギー満タンや！
→（やる気全開！）

I：今やらんでいつやるん？
→（「今でしょ」風）

C：チャレンジせな始まらん
→（挑戦しないと始まらない）

☰ シニカル・皮肉系（ちょっと大人向け）

5. E：ええカッコしいやな
→（見栄っ張りやな）

I：言い訳ばっかやん
→（言い訳が多い）



質問してみましょう



教育系ではどんなのがありますか？

教育系で「EIC」の頭文字を使い、関西弁で親しみやすく、かつ前向き・励まし系の定型句になるように考えました。先生が生徒に声をかけるような場面や、学習塾、キャッチコピー的な使い方も意識しています。

🎓 教育系「EIC」フレーズ案（関西弁）

1. E：ええねん、間違えても

→（間違っても大丈夫＝失敗を恐れない姿勢を伝える）

2. I：今がチャンスや

→（「今こそやるとき」＝今この瞬間を大切に）

3. C：ちゃんと見てるで

→（見守ってるよ、頑張りを認めてる）

別バージョン：

1. E：ええベースやで

→（いい調子や、褒め言葉）

2. I：いつでも聞いてええで

→（質問・相談OKの安心感）

3. C：考えるクセつけよな

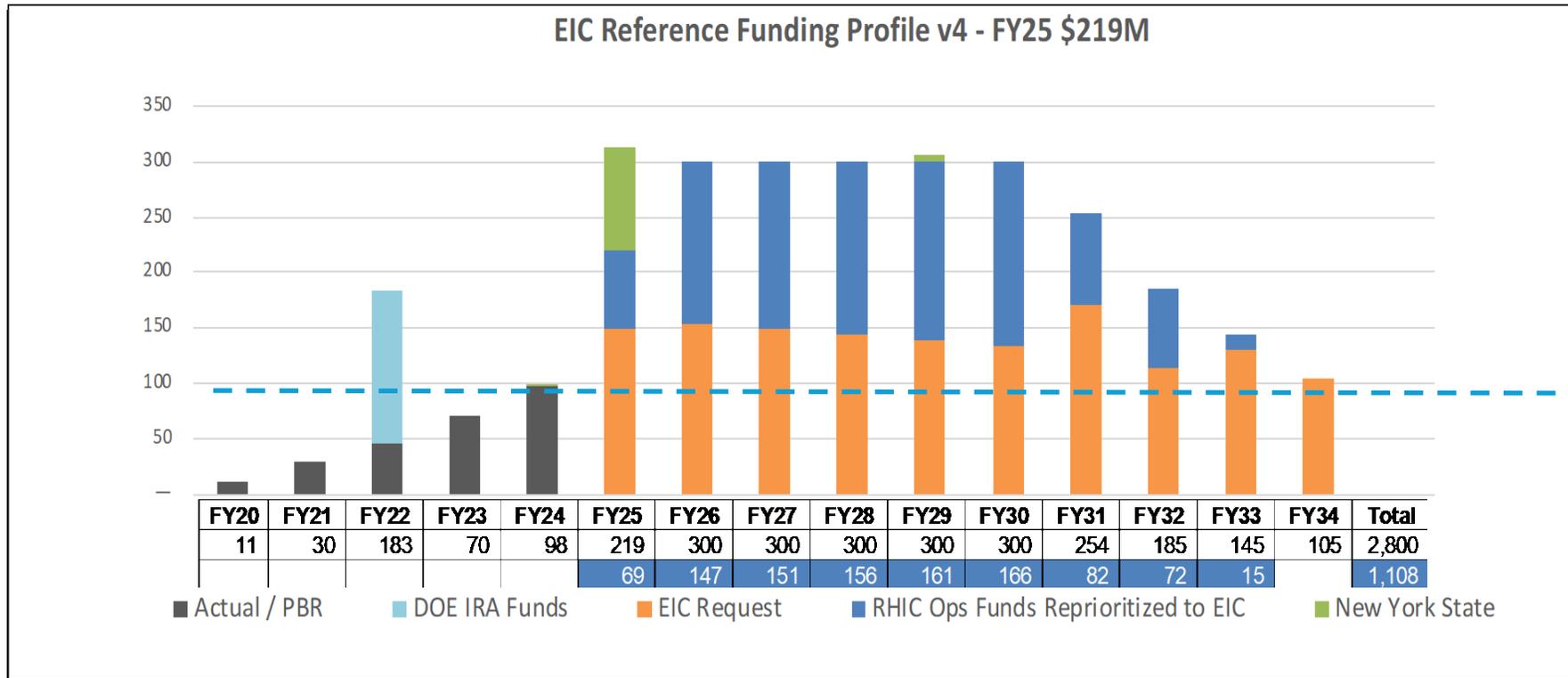


質問してみましょう

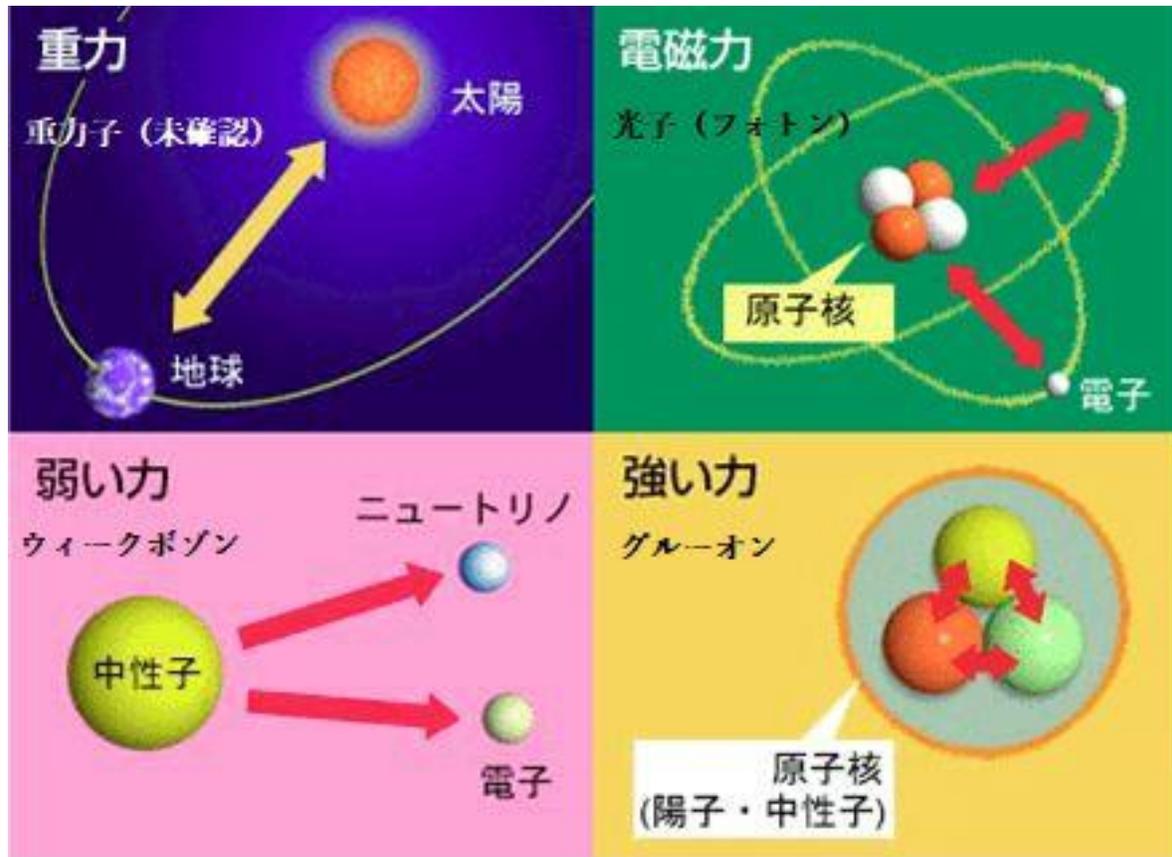


EICの状況（資金）

- 2023年度までのDOE資金\$294.2M（IRA資金\$138Mを含む）
- 2024年度大統領予算要求\$98.5M
- 保留中のNY州コミットメント\$100M
- RHICの運転資金の大部分は2025年度からEIC建設に優先され、年間\$150Mに達すると予想
- 2025年度の資金は未定、RHICの運転計画にもよる



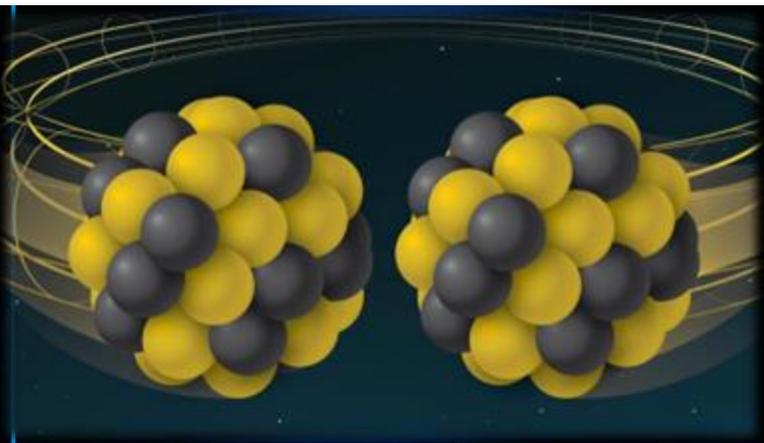
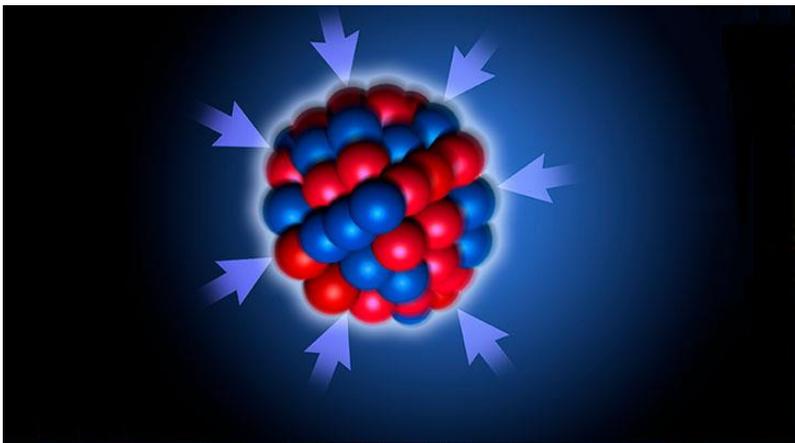
自然界に存在する4つの力



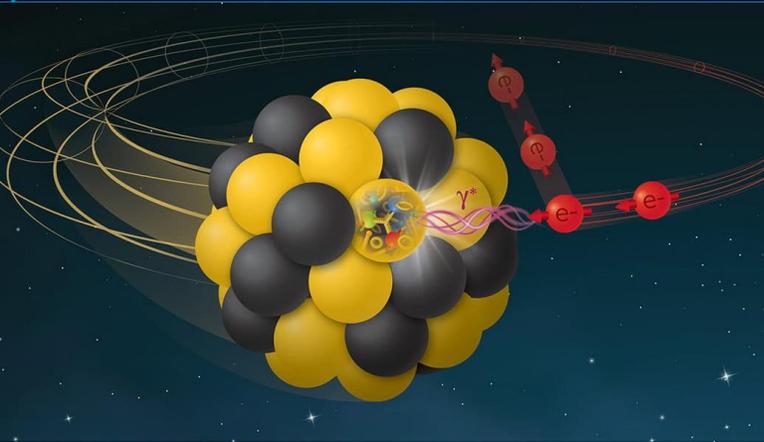
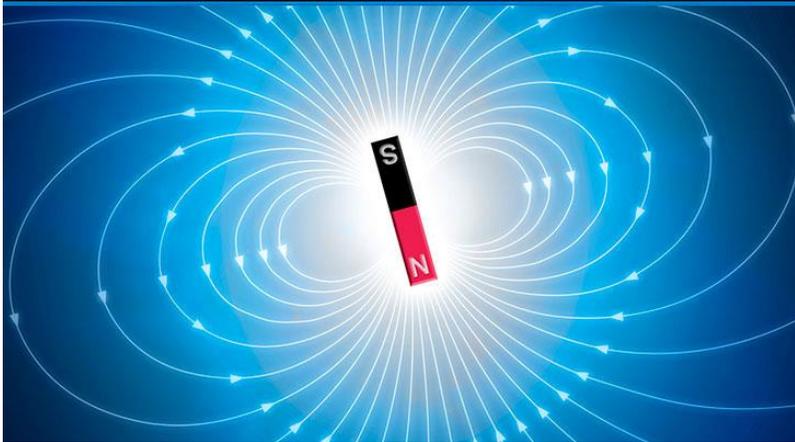
- **電磁力** : 電気や磁気を持った物質が、相手を引きつける力
(磁石のS極とN極や原子核と電子を引きつける)
- **強い力** : 原子核の中の陽子と中性子が互いに引きつけあう力
(陽子・中性子を構成するクォークを結びつける)
- **弱い力** : 物質に変化を引き起こす力
(中性子がひとりでに陽子に変わる: ベータ崩壊)
- **重力** : 質量をもつ物質が、相手を引きつける力
(物が落ちる。太陽が地球を引きつける)

強い力

陽子と中性子が互いに
引きつけあう力



電磁力

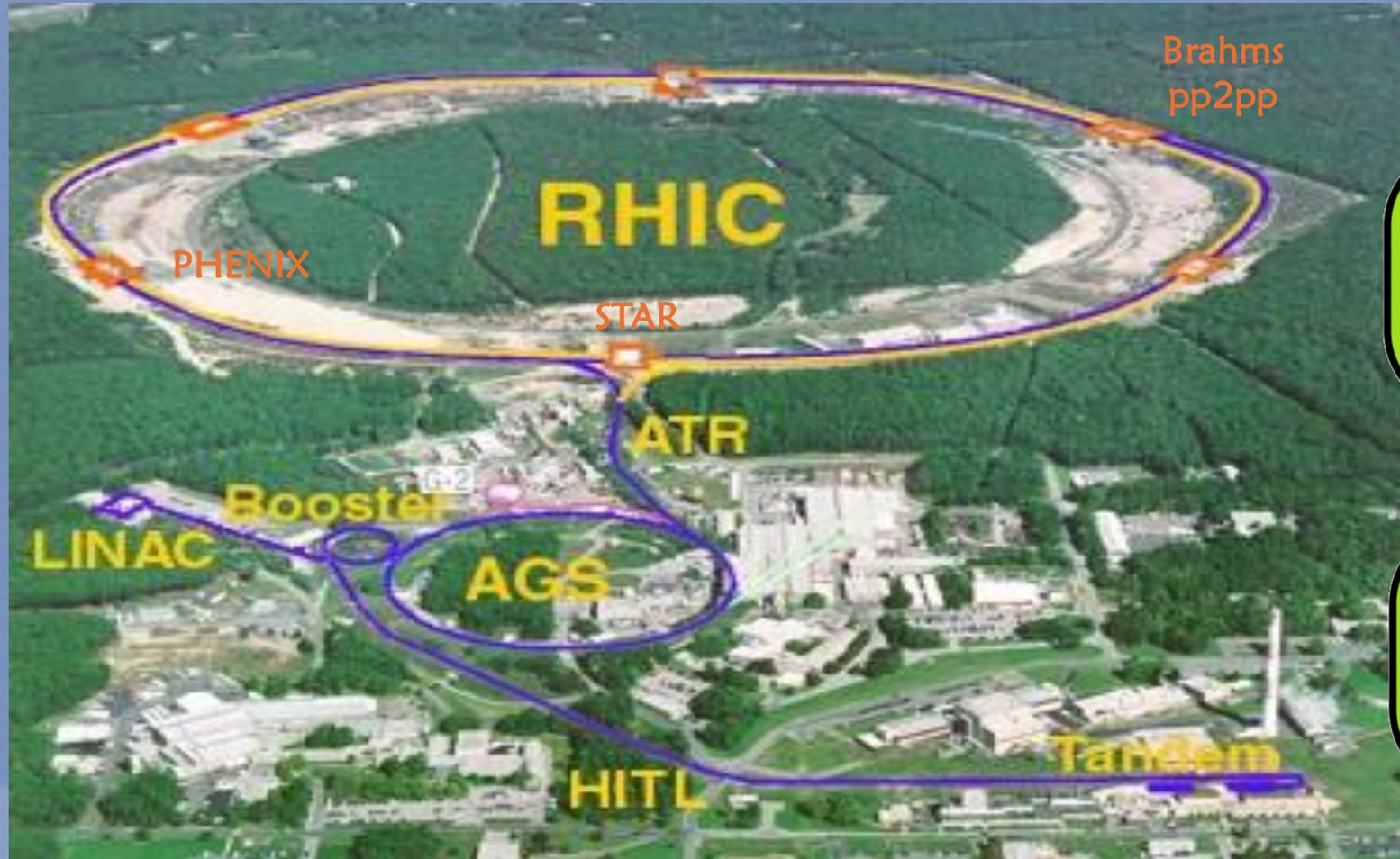


EIC

The **R**elativistic **H**eavy **I**on **C**ollider

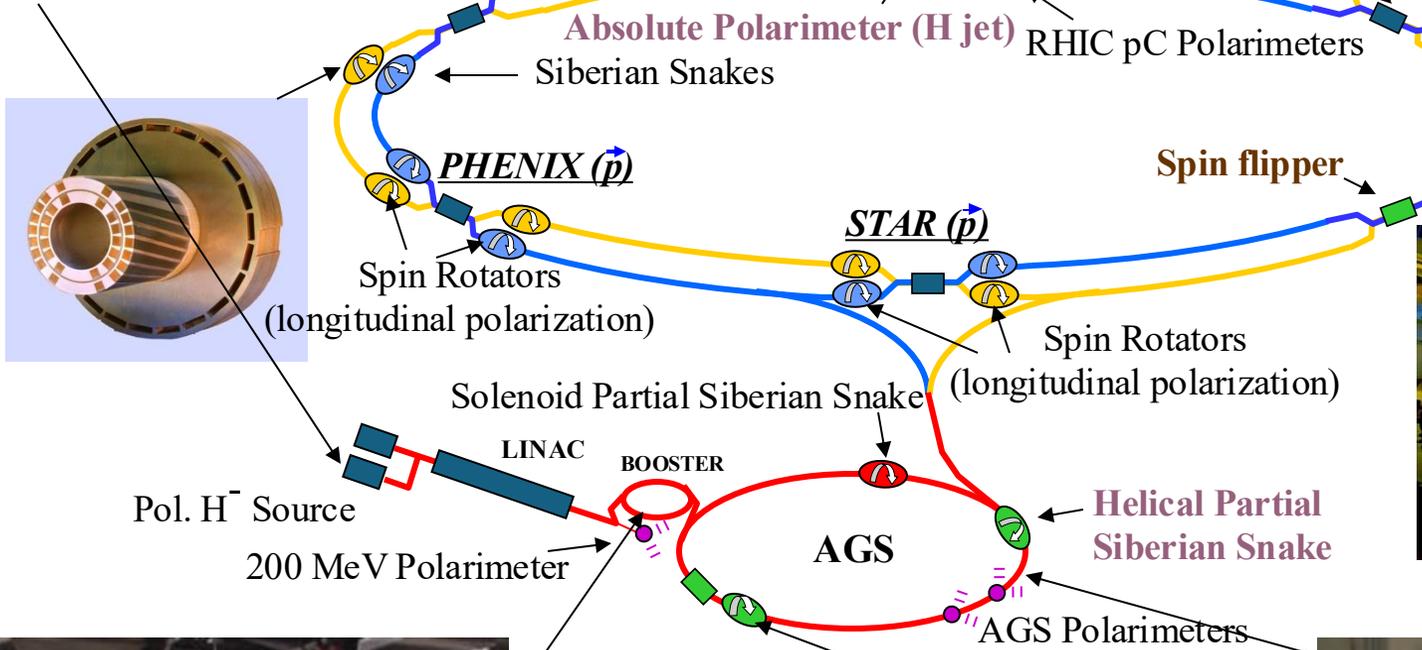
相対論的重イオン衝突型加速器

ブルックヘブン国立研究所

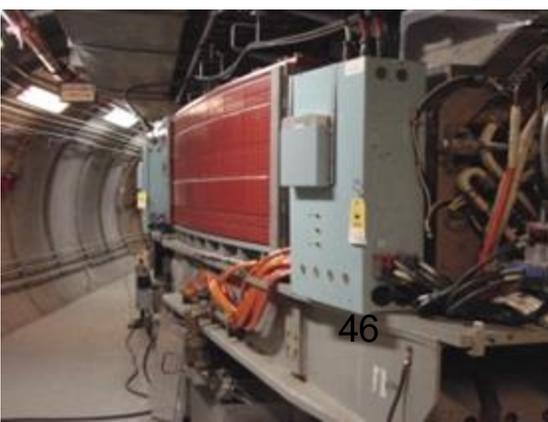
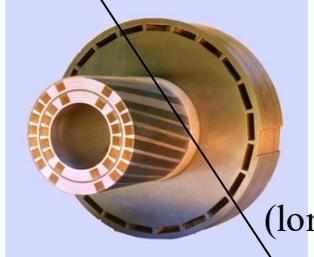


…か～ら～の～

偏極陽子。



衝突エネルギー: 62 ~ 510 GeV
 陽子偏極度: 50 - 60 %
 ルミノシティ: 10 pb⁻¹/week



46

SpinFest, August 7, 2008