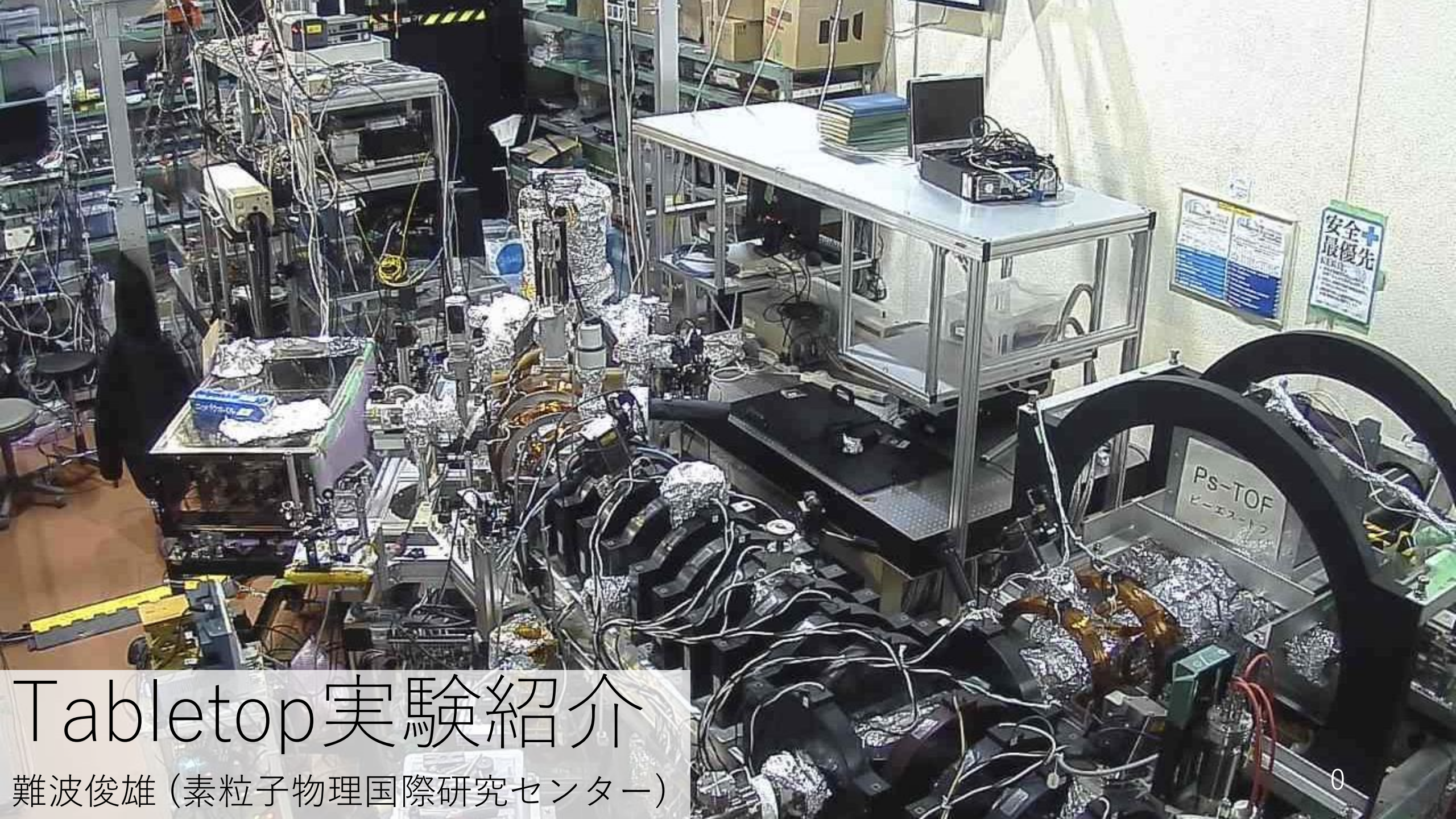




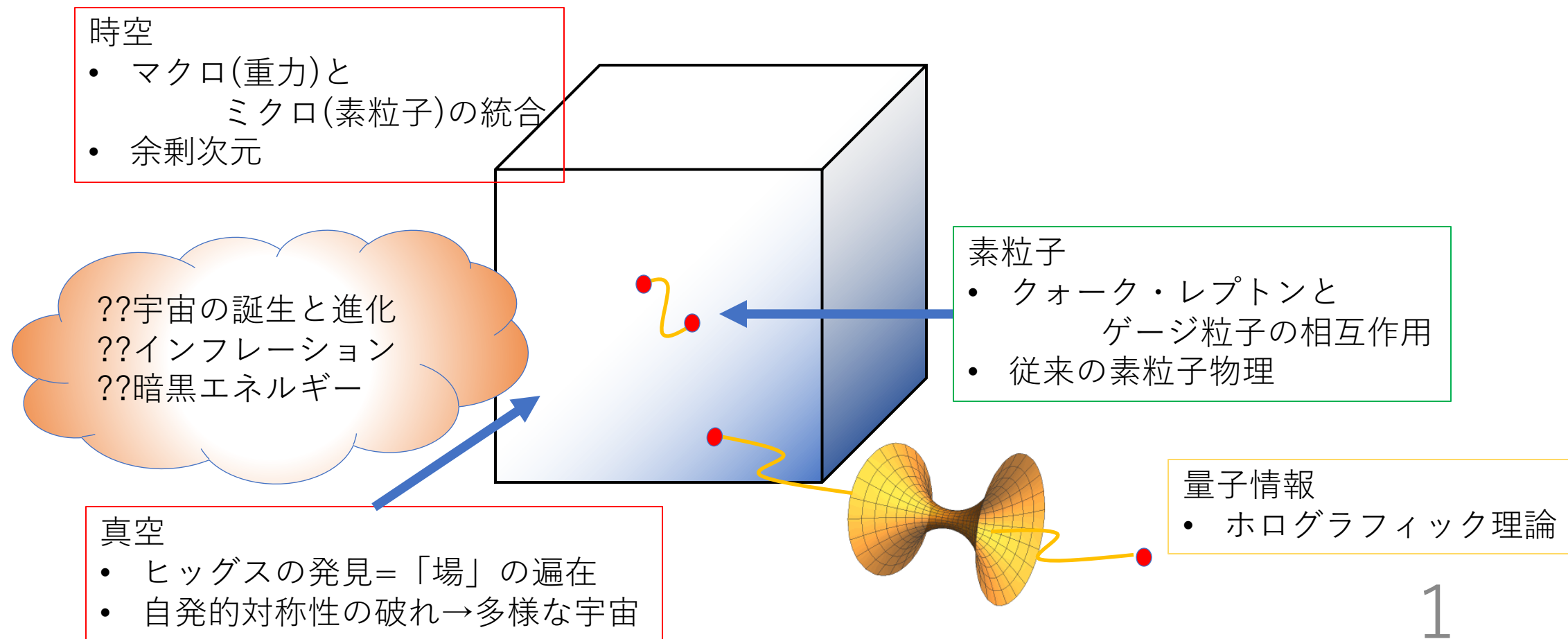
Tabletop実験紹介

難波俊雄（素粒子物理国際研究センター）

Tabletop 実験とは?

- 素粒子物理学の実験対象の拡大

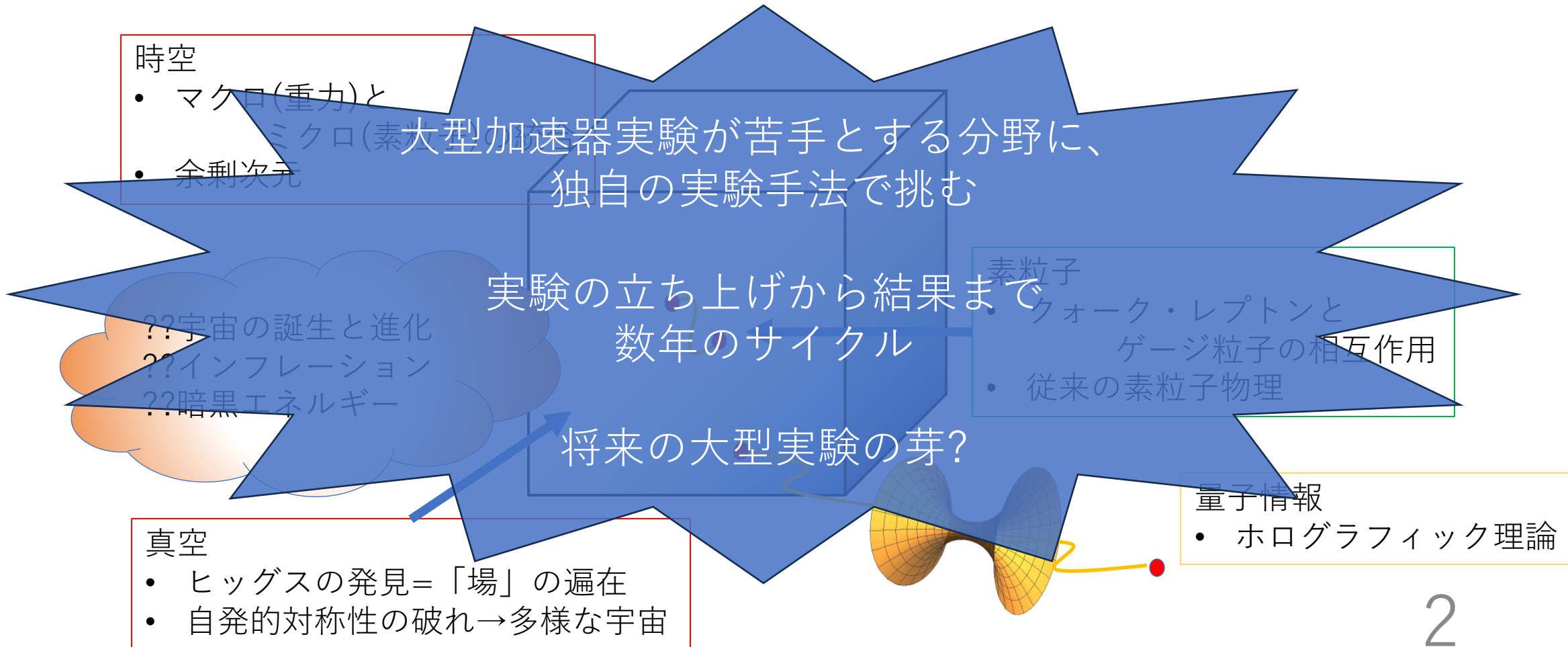
素粒子とその相互作用 → 時空や真空、情報も対象に



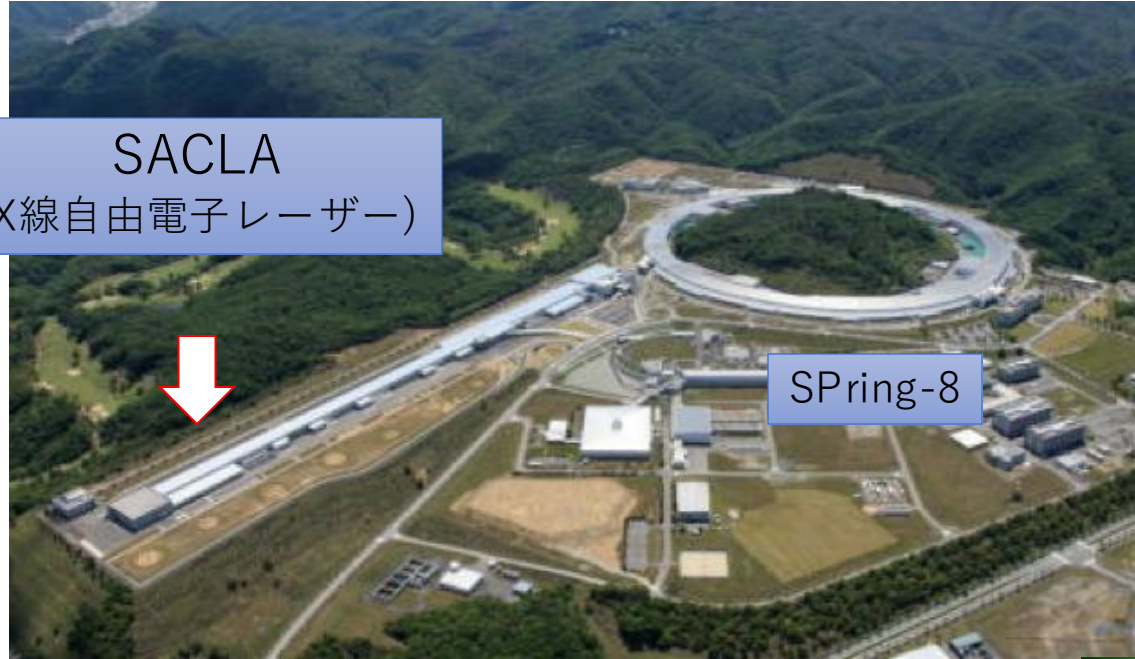
Tabletop 実験とは?

- 素粒子物理学の実験対象の拡大

素粒子とその相互作用 → 時空や真空、情報も対象に



Tabletop実験で使う武器(1) いろんな光



SACLA
(X線自由電子レーザー)

SPring-8

強力なX線やX線自由電子レーザー



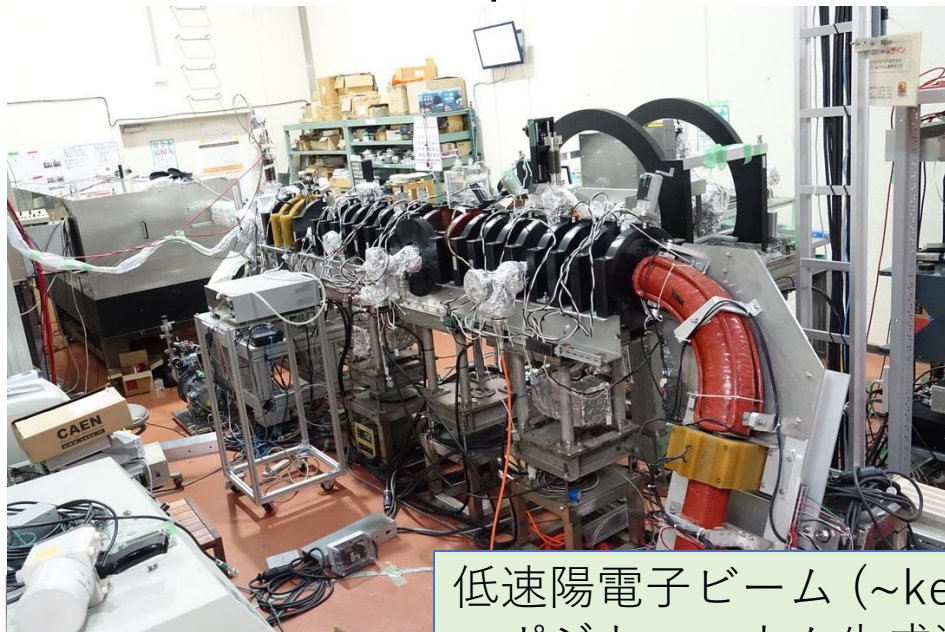
レーザー(赤外～紫外)
エネルギーや時間を自在に
(工学部・吉岡研)



強力なミリ波
(ジャイロトロン)

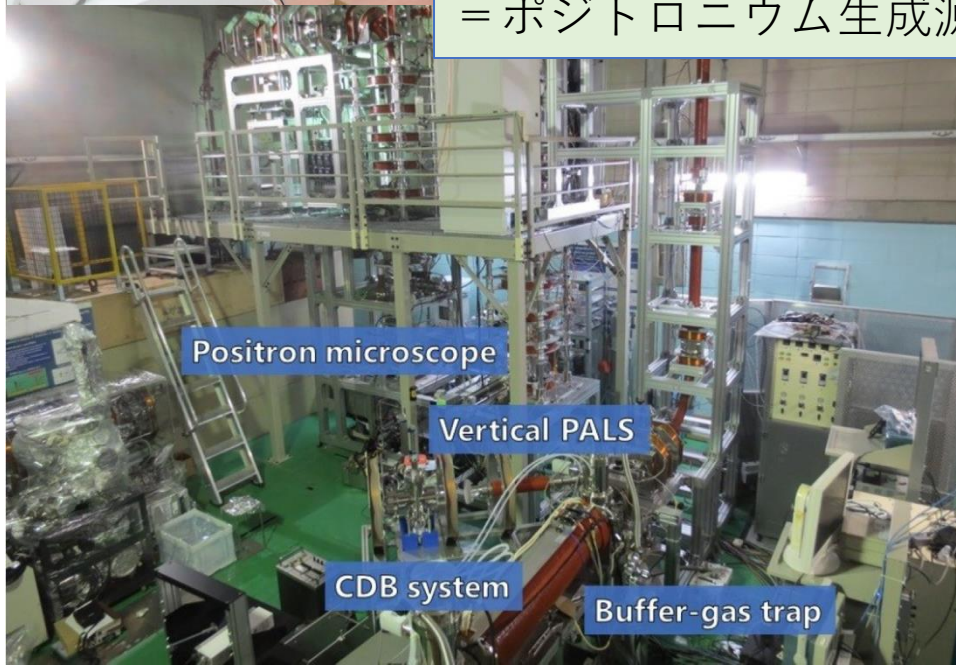


Tabletop実験で使う武器(2) 粒子ビーム



@KEK

低速陽電子ビーム ($\sim \text{keV}$)
= ポジトロニウム生成源



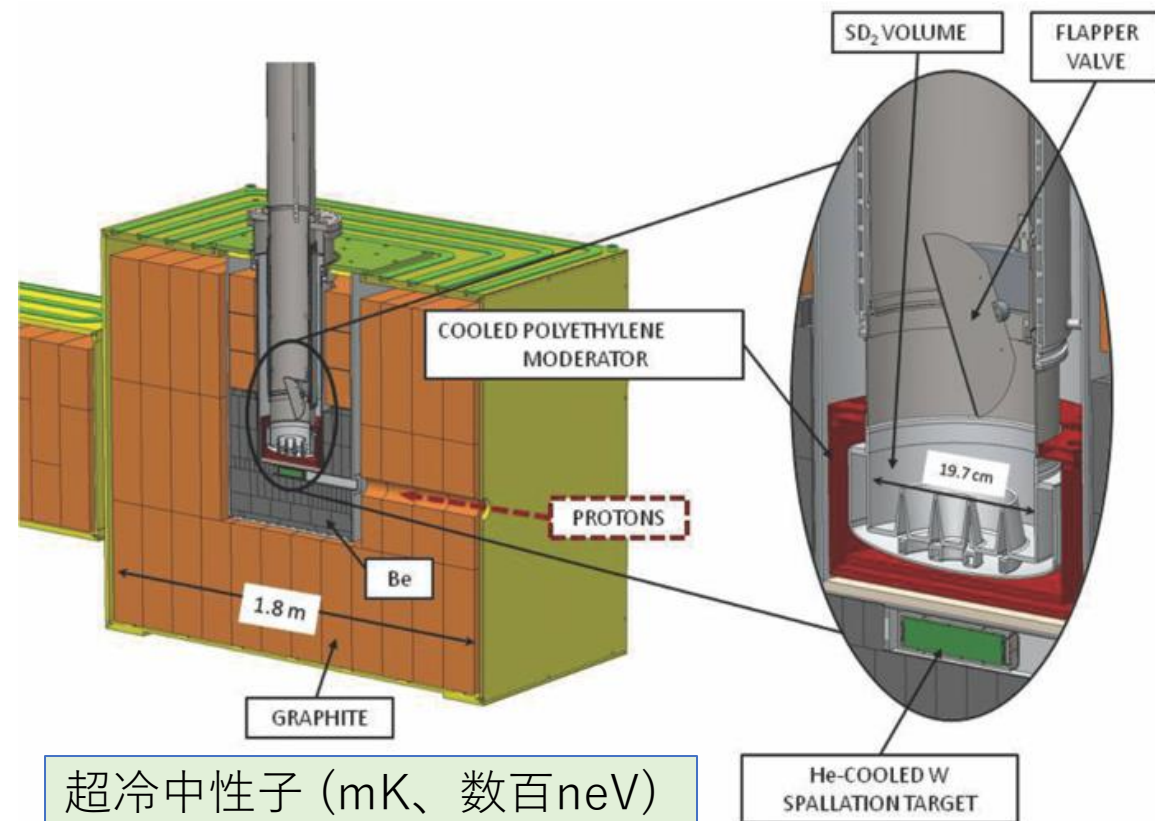
Positron microscope

Vertical PALS

CDB system

Buffer-gas trap

@AIST



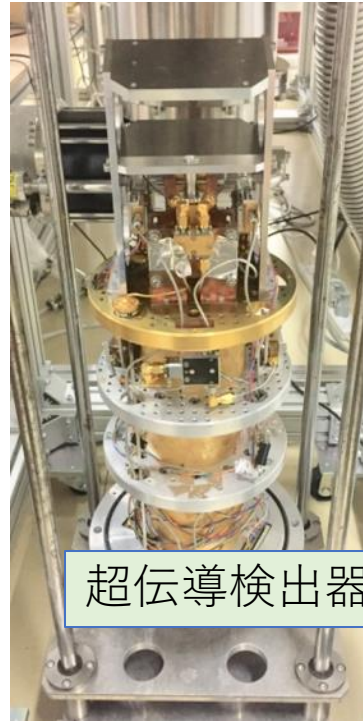
超冷中性子 (mK、数百neV)
重力にも感度

@Los Alamos

Tabletop実験で使う武器(3) 高感度検出器



一般的な粒子検出器
半導体検出器
シンチレーター



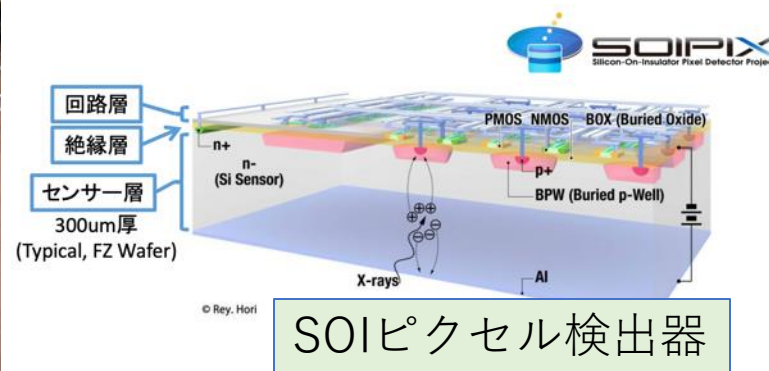
超伝導検出器



量子コンピュータ
(の技術)



電波天文台

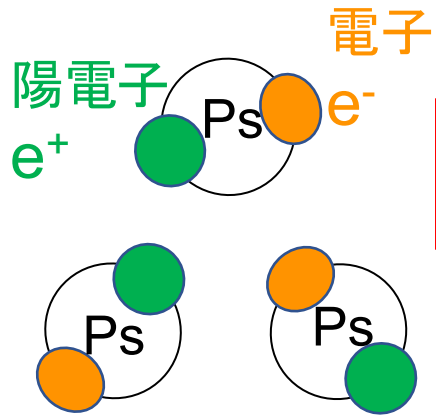


SOIピクセル検出器

実験の例: ポジトロニウムのボース・アインシュタイン凝縮 (Ps-BEC)

反物質の新量子多体系である低温量子凝縮相 = 反物質レーザー

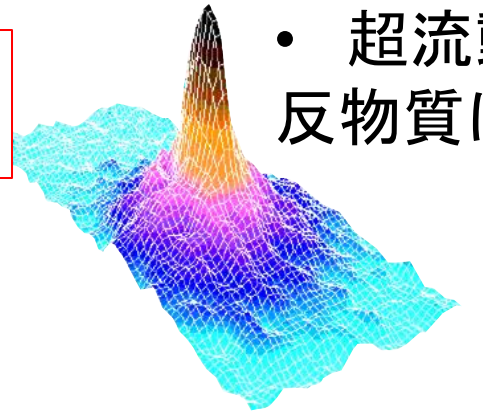
相転移



150 K
 10^{15} cm^{-3}

Ps の寿命 142 ns 程度で
熱化 & 高速レーザー冷却
+ 超高密度化

10 K
 10^{18} cm^{-3}



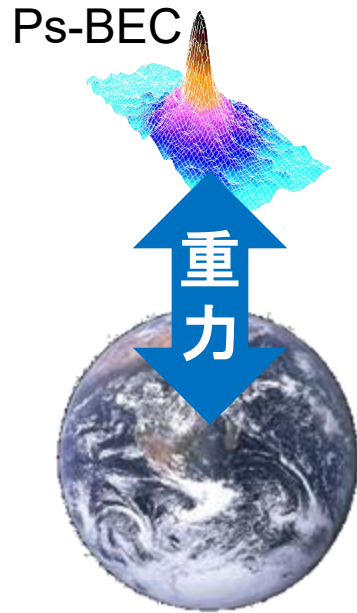
通常の物質 :
• 超伝導
• 超流動
反物質は？

反物質
ポジトロニウム(Ps)
(古典極限系)

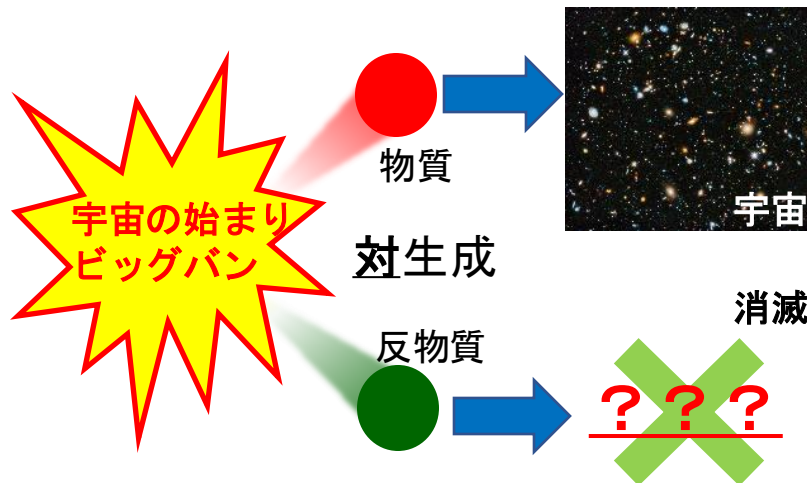
反物質
新量子多体系
Psのボース・アインシュタイン
凝縮 (BEC)
➤ 集団中のほぼすべての
原子が単一の量子状態

基礎科学研究や次世代光源への応用

1. 反物質に働く重力を 原子干渉計を用いて測定

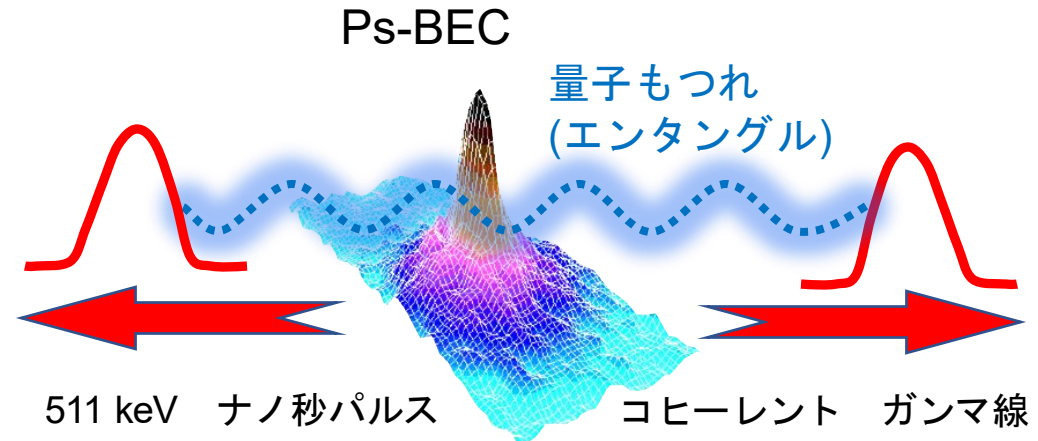


⇒ **重力**という**実験的に未探索**の切り口で物質・反物質の未知の非対称性を探り、**「なぜ、宇宙に物質のみ残ったのか」という究極の問い**に答える

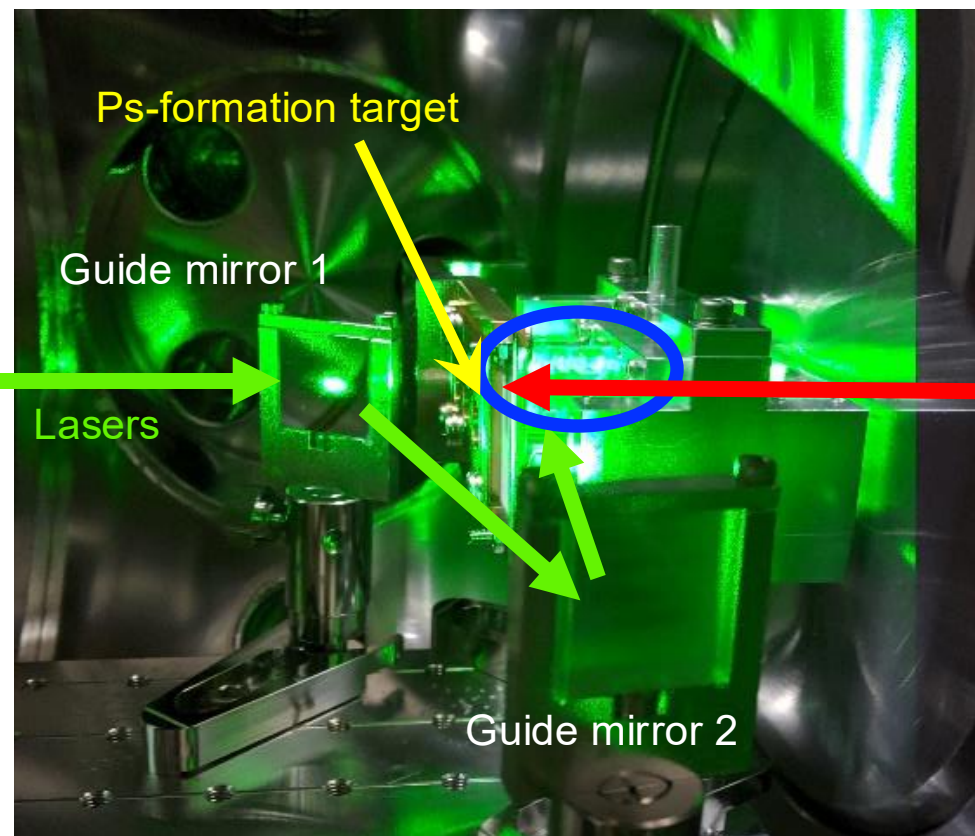


2. 511 keV ガンマ線レーザー

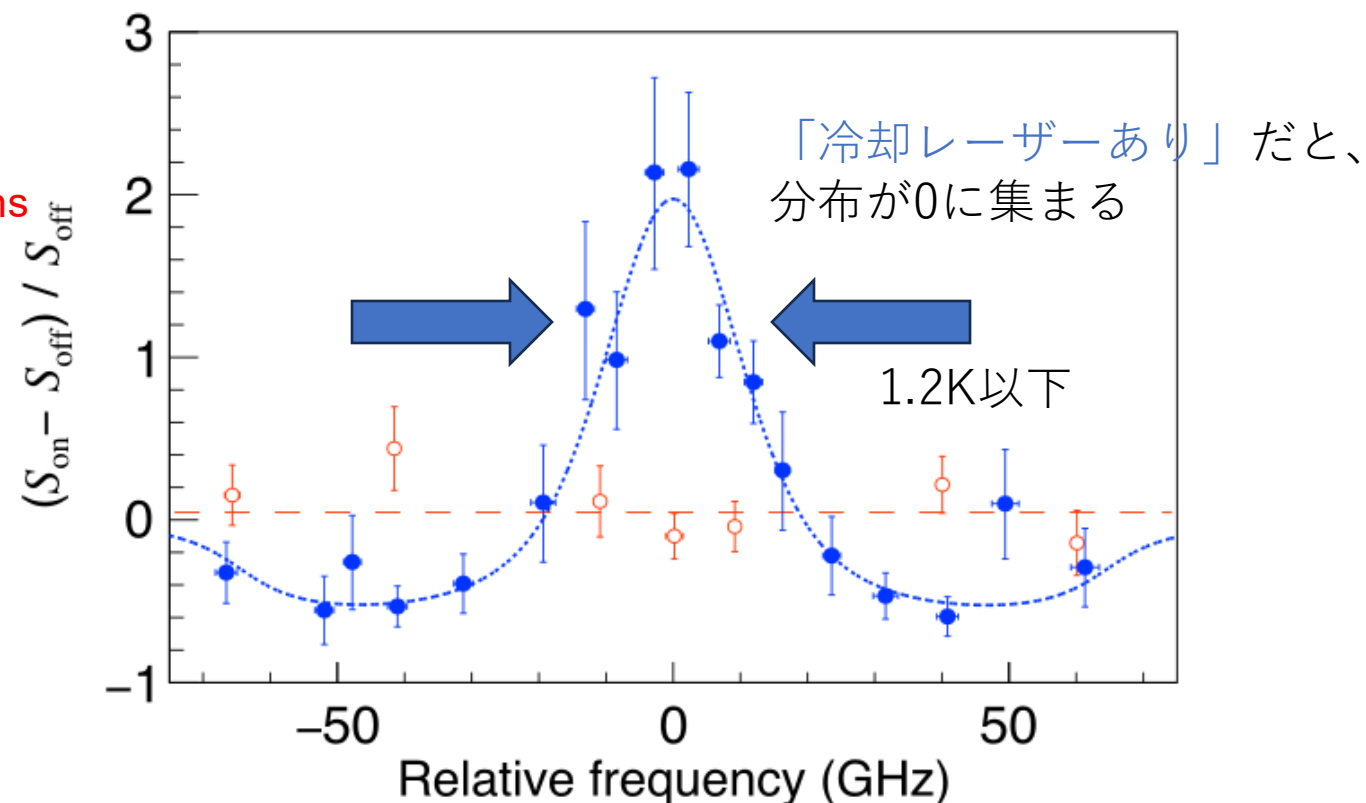
Ps-BEC をナノ秒以下で自己消滅させ、出てくるガンマ線を光源に用いて **ガンマ線レーザー** を実現。



⇒ ガンマ線・ガンマ線散乱実験、
新たなエネルギー領域の量子光学研究、
高分解能撮像による産業・医療応用



世界初、ポジトロニウムのレーザー冷却に成功
Nature 633(2024)793



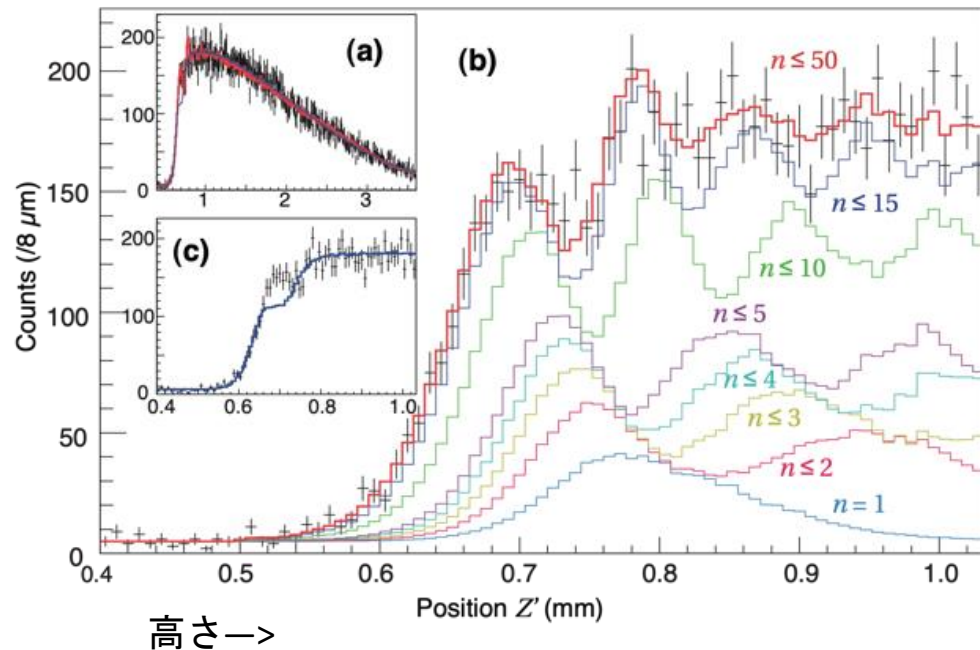
ポジトロニウムの速度分布的なもの

BECに向けて次のステップへ

- Ps生成材の開発 (Psとじこめ)
- 冷凍機との組み合わせ

実験の例: 超冷中性子を使った弱い等価原理の検証 (神谷さん)

超冷中性子を使えば、重力による量子化準位が見える!



超冷中性子を利用して、量子論の範疇で、
弱い等価原理(慣性質量=重力質量)を検証できないか?

系のスケール:

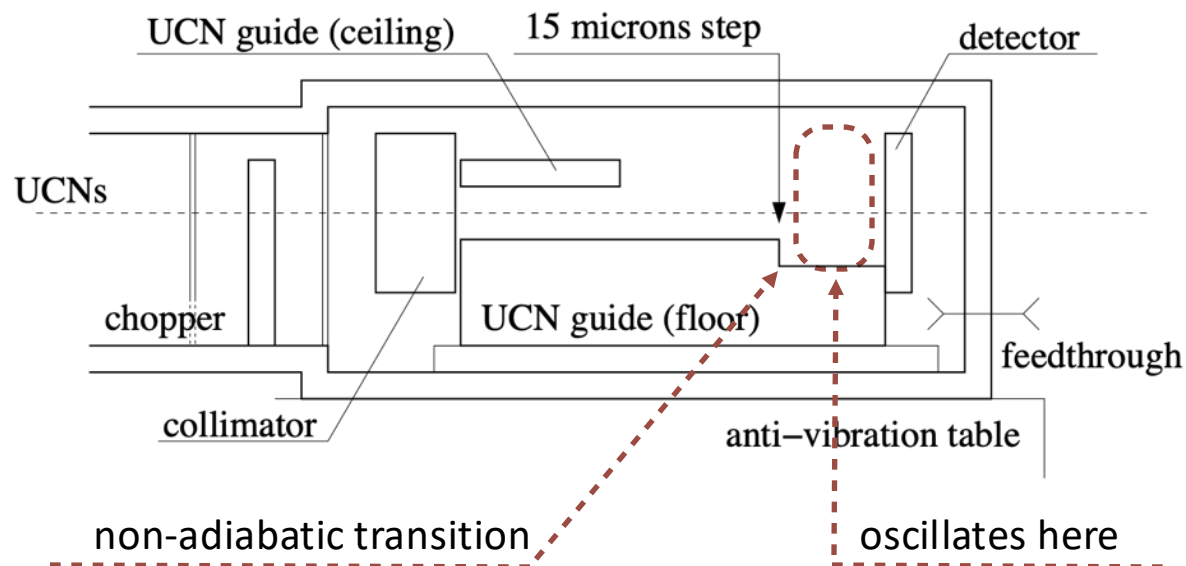
m_g : gravitational mass

m_i : inertial mass

$$z_0 = \left(\frac{\hbar^2}{2m_i m_g g} \right)^{1/3} \sim 6 \mu\text{m}$$

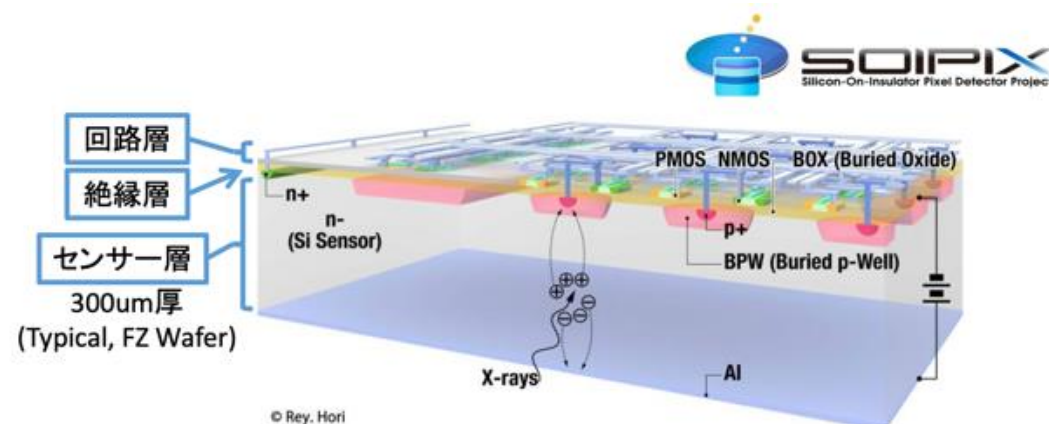
$$E_0 = \left(\frac{m_g^2 g^2 \hbar^2}{2m_i} \right)^{1/3} \sim 0.6 \text{ peV}$$

超冷中性子を「自由落下」させて、量子力学的時間発展を追えば、弱い透過原理を検証できる



: 時間情報の取れる

中性子イメージングセンサー



時間発展 :

$$\psi(z, t=0) = a_1 \phi_1(z) + a_2 \phi_2(z)$$

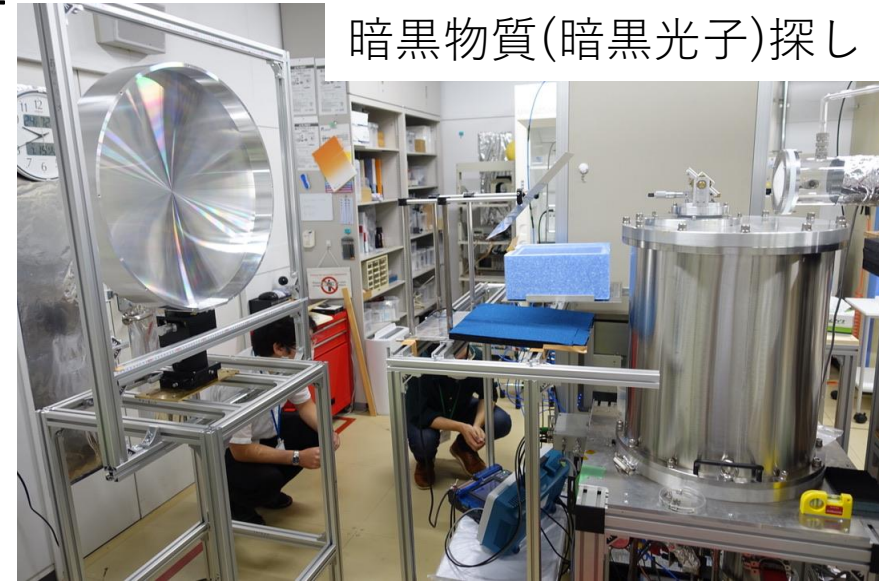
$$|\psi(z, t)|^2 = |\psi(z, t=0)|^2 - \underbrace{4a_1 a_2 \phi_1(z) \phi_2(z) \sin^2 \frac{(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)}{2} t}_{\text{oscillating term}}$$

energy scale

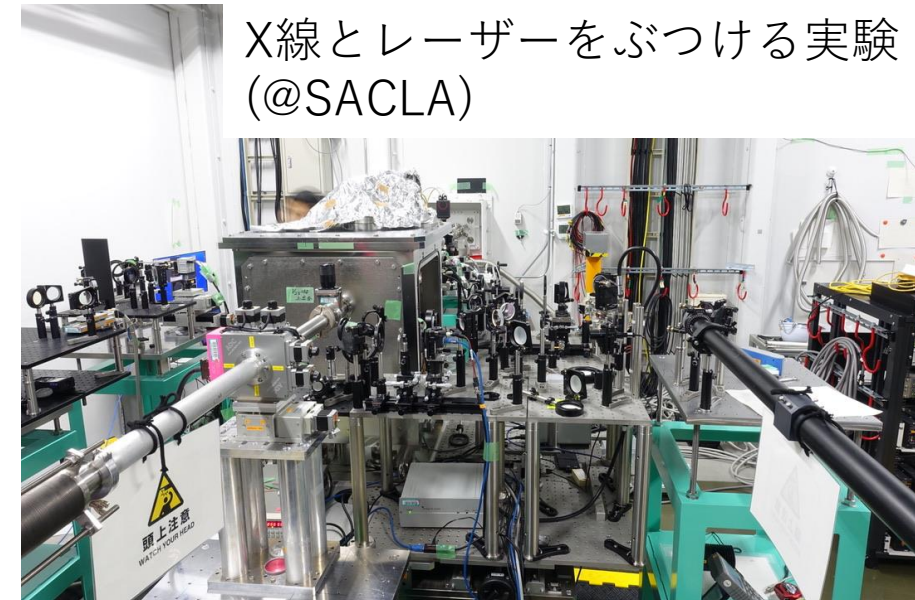
マイクロメートルの分解能
ミリ秒の読み出し時間

他の実験もいろいろやっています

- やってる/やってきた実験テーマ
 - ポジトロニウム関係の実験いっぱい
(ポジトロニウムのエキスパート)
 - 暗黒物質/未知粒子探し
(アクシオンやパラフォトンなど)
 - 強い光(X線、レーザー)や強磁場を使った真空の構造の検証
 - 超伝導を利用した高感度検出器の開発
- もちこみのアイデアも歓迎
- 自分に合った実験を探していきましょう
- 大型実験との掛け持ちも可
- 希望する人は、**(A2)素粒子センターの教員**を志望して、面接で小実験を希望して下さい



暗黒物質(暗黒光子)探し



X線とレーザーをぶつける実験
(@SACLA)