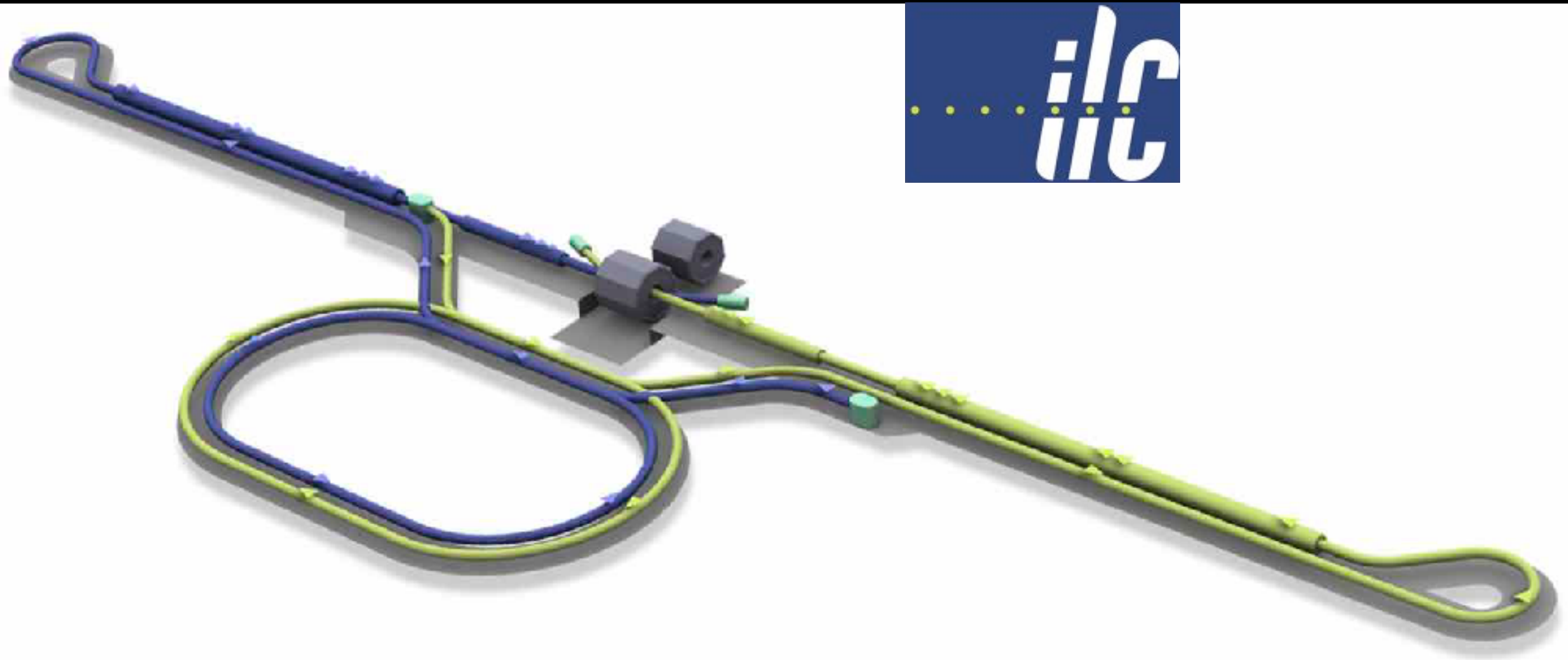


ILC : 宇宙を創るタイムマシン



ILC メディア勉強会 2022/1/12

村山 齊 (ILC 国際推進チーム 物理・検出器研究部会長)

UC Berkeley, Lawrence Berkeley Natl Lab, 東大 Kavli IPMU

HISTORY

宇宙の始まりを明らかに！

138億
年

TODAY

ビッグ
バン

$t = 10^{-36} s$
 $E = 10^{16} GeV$

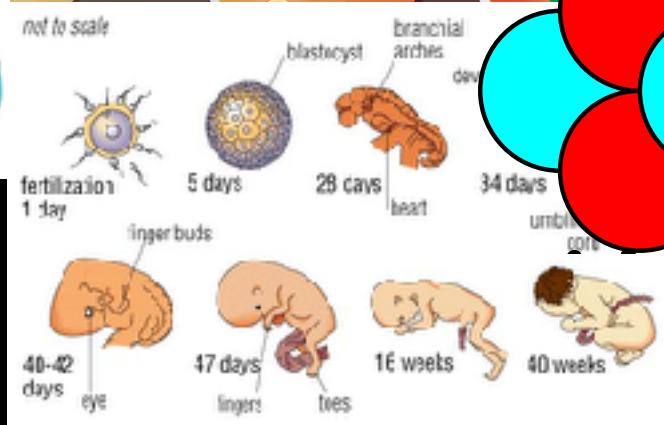
ILC

加速器

3分

37万年

望遠鏡



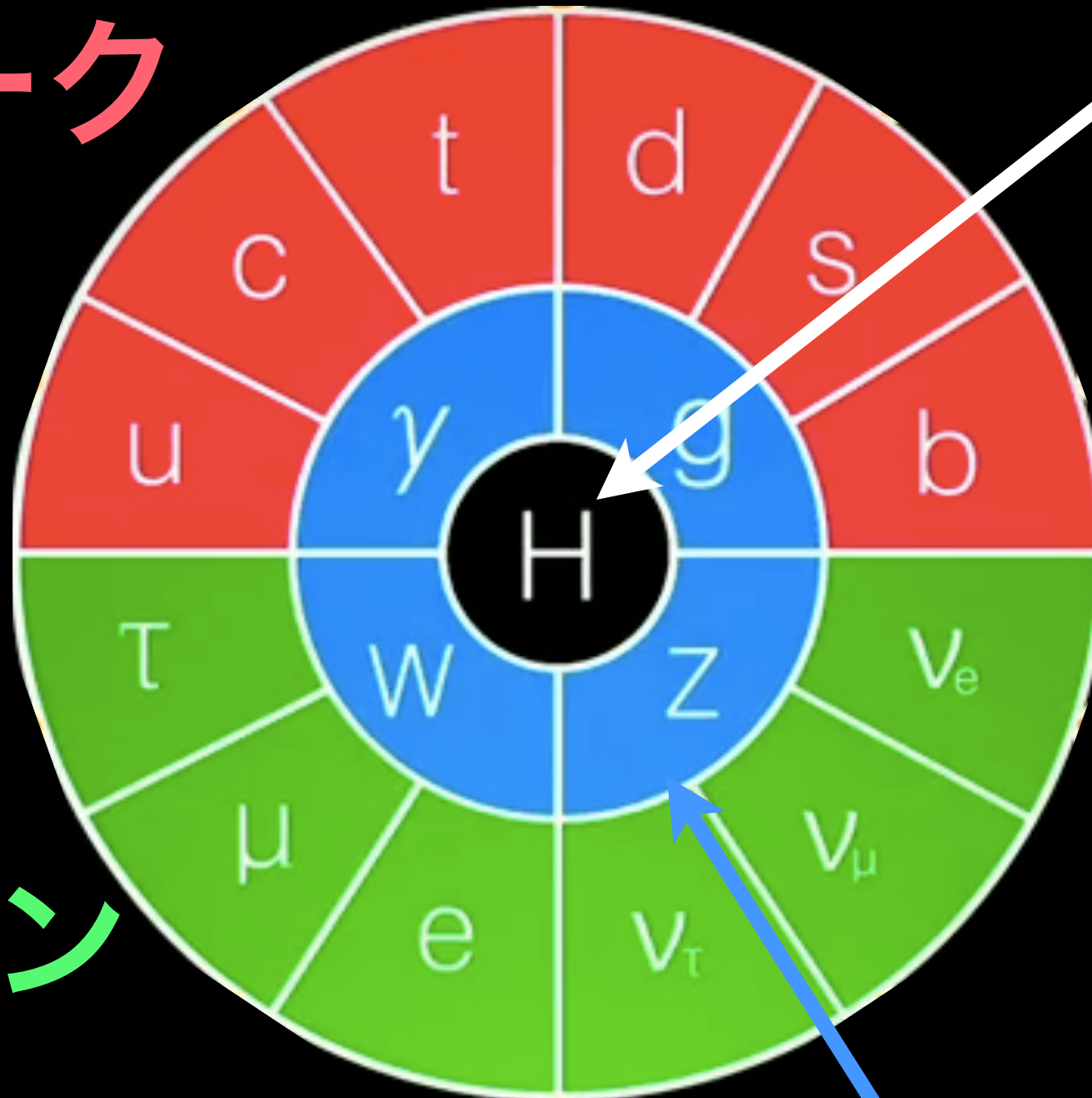
ビッグバンでは H:He ~ 3:1

観測とよく合う！

標準理論

クォーク

ヒッグス



レプトン

力の粒子

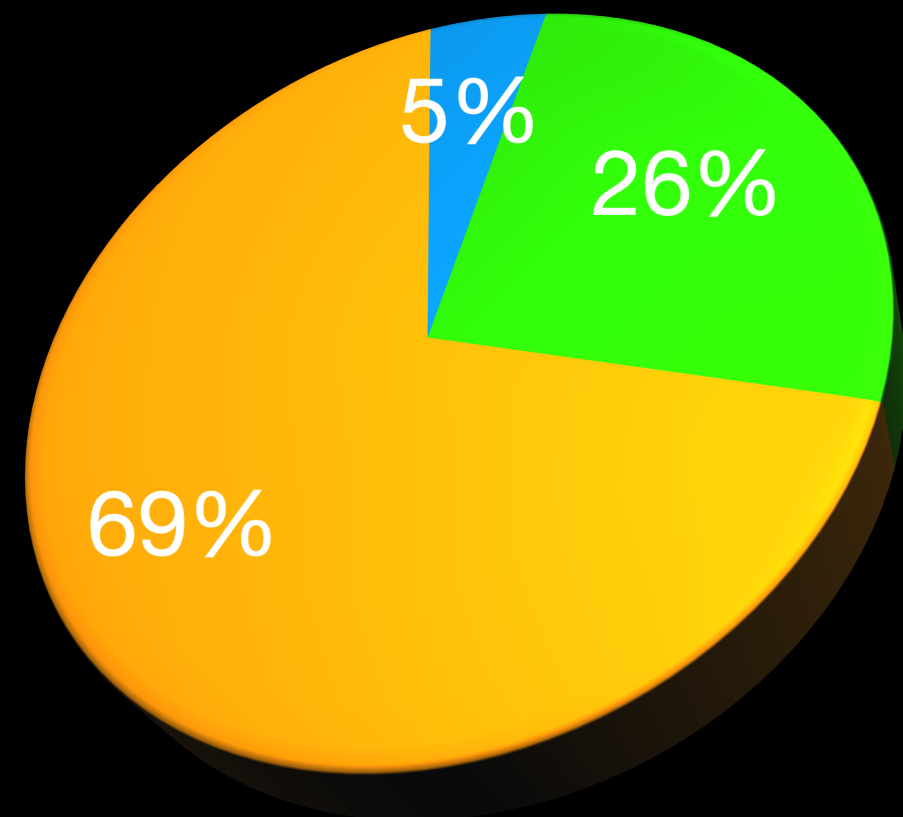
素粒子物理学

- 日本は世界的に大きな貢献
- ノーベル賞
 - 湯川秀樹 (1949) 強い力を伝えるパイ中間子を予言
 - 朝永振一郎 (1965) 量子電気力学のくりこみ理論
 - 小柴昌俊 (2002) ニュートリノの天文学を開拓
 - 南部陽一郎 (2008) 自発的対称性の破れの理論
 - 小林誠、益川敏英 (2008) 物質と反物質の違いの理論
 - 梶田隆章 (2015) ニュートリノの質量の発見
- これからは標準理論を超える時代

なぜ標準理論を超えるか？

- 標準理論では説明できない謎
 - ニュートリノの質量 (1998)
 - ダークマター (2003)
 - ダークエネルギー (1998)
 - インフレーション (2015)
 - 消えた反物質 (2015)
- 理論的な予想
 - ヒッグス粒子が突破口に
 - ダークエネルギーもインフレーションもヒッグスの仲間

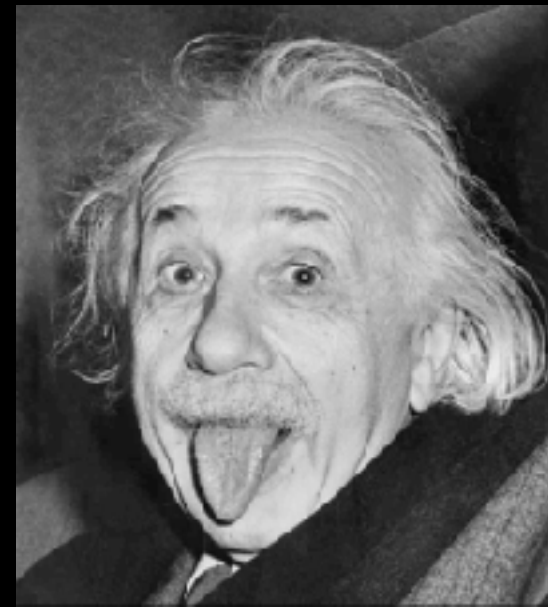
- 原子
- ダークマター
- ダークエネルギー



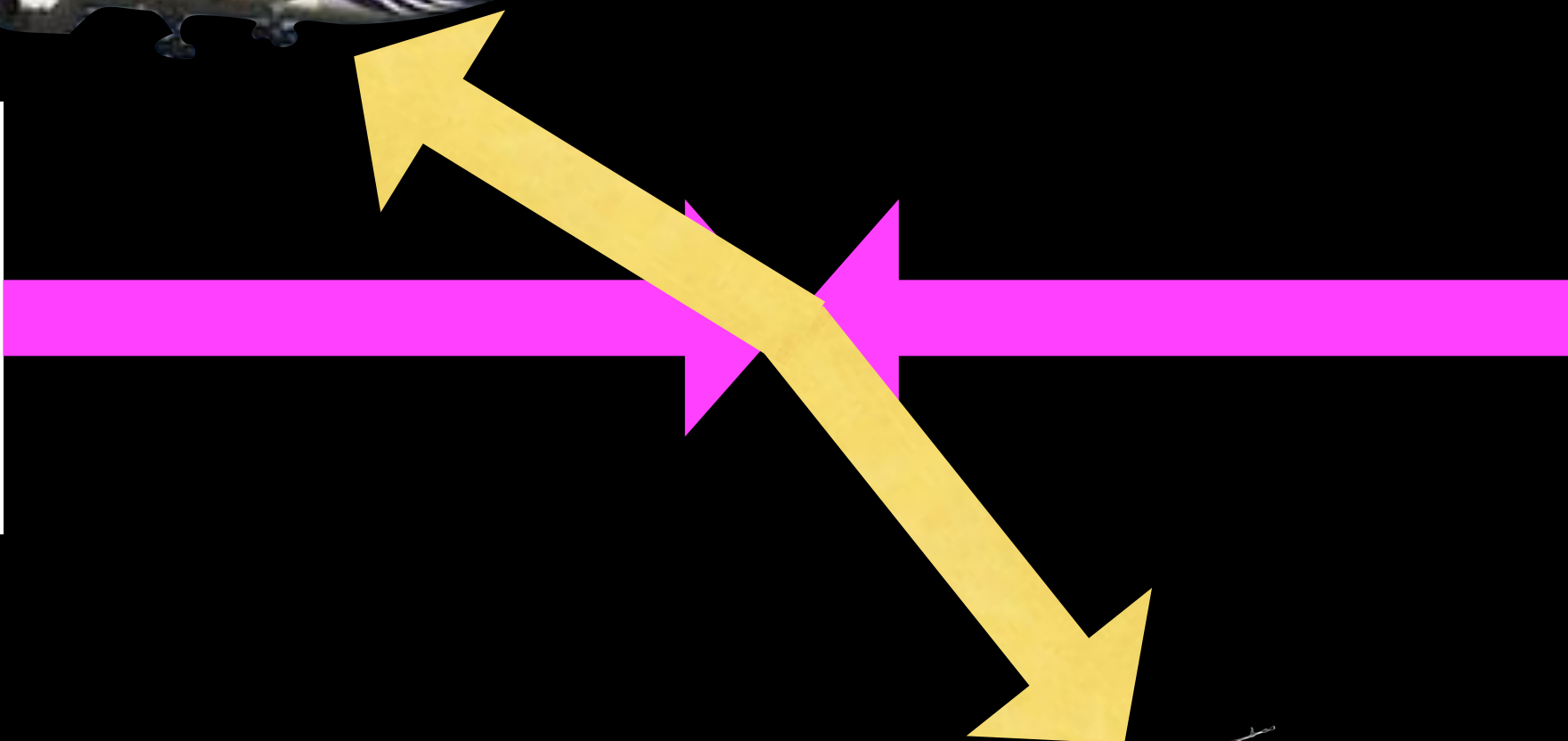
リニアコライダー

- 1960年代から「いずれはリニア」
- 円形だと、加速した高エネルギーの粒子を曲げる必要
 - 曲げるたびに光をだして減速
 - 加速どころか、エネルギーを維持するために電力
- 線形だとエネルギーを失わない「グリーン」な加速器
- 1980年代に超伝導加速器空洞の開発を開発
 - 以来10倍以上のコストダウン
 - 技術はやっと約10年前に確立
- 当初は 1500 GeV がサイエンスに必要と見積もり
- ヒッグスが見つかってエネルギーは 250 GeV に照準
- 技術とサイエンスの目標がそろった！

加速器実験

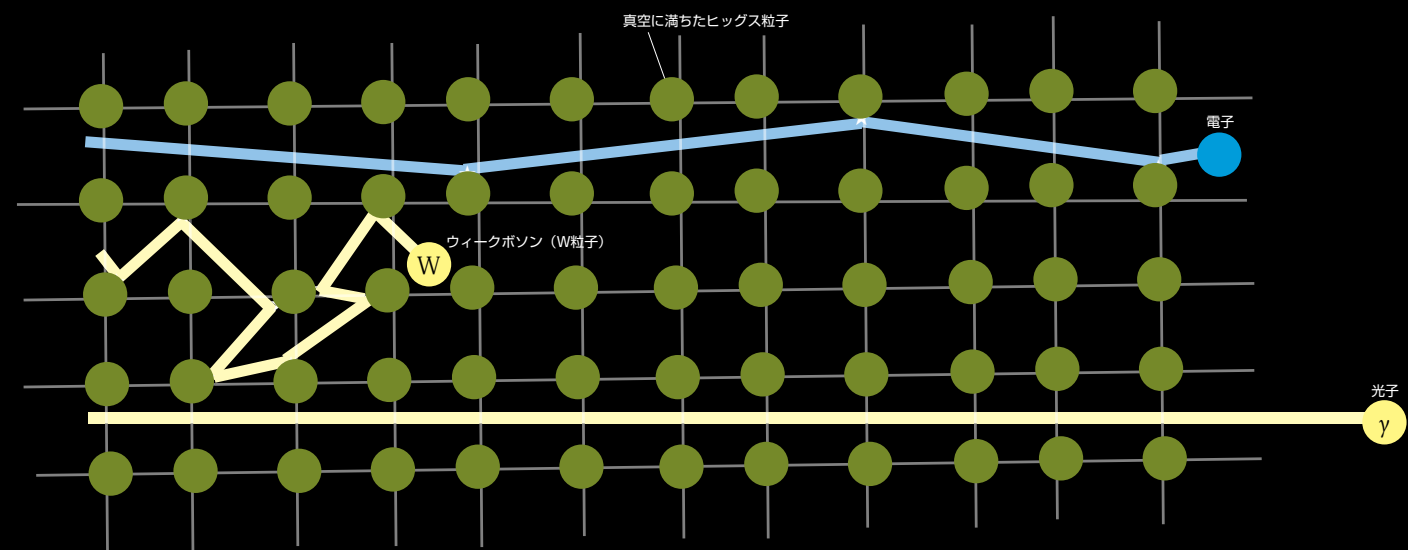
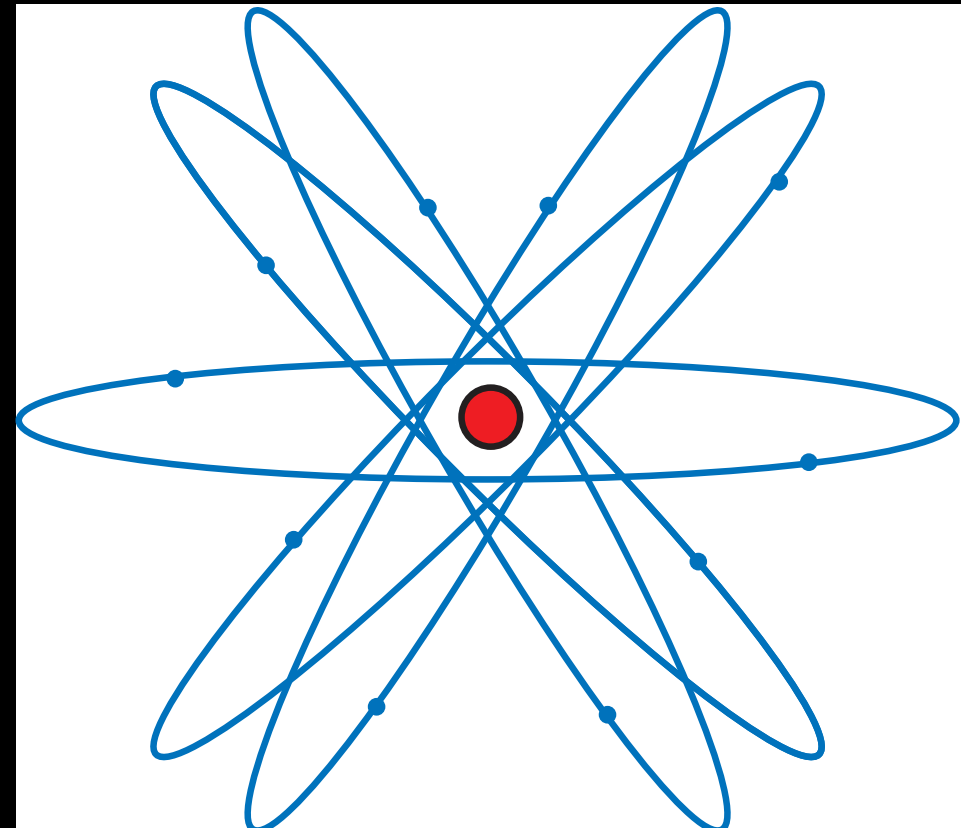


$$E=mc^2$$



宇宙に満ちるヒッグス粒子

- 全ての素粒子を光速から遅らす
- これがないと私達の体は10億分の一秒でバラバラに
- 宇宙に秩序を作った
- 一体なんだ??
まだ調べ始めたばかり



なぜ気付かない？

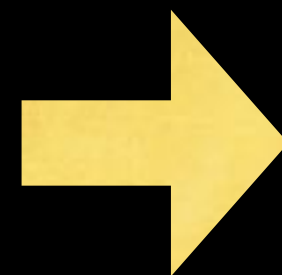
- 空気のような存在
- 昔の人は空気存在を知らなかった
- 動き＝風があると分かる
- しかしぎっちり詰まった
ヒッグスに動きを作るのはムリ
- ごつんと叩き出す

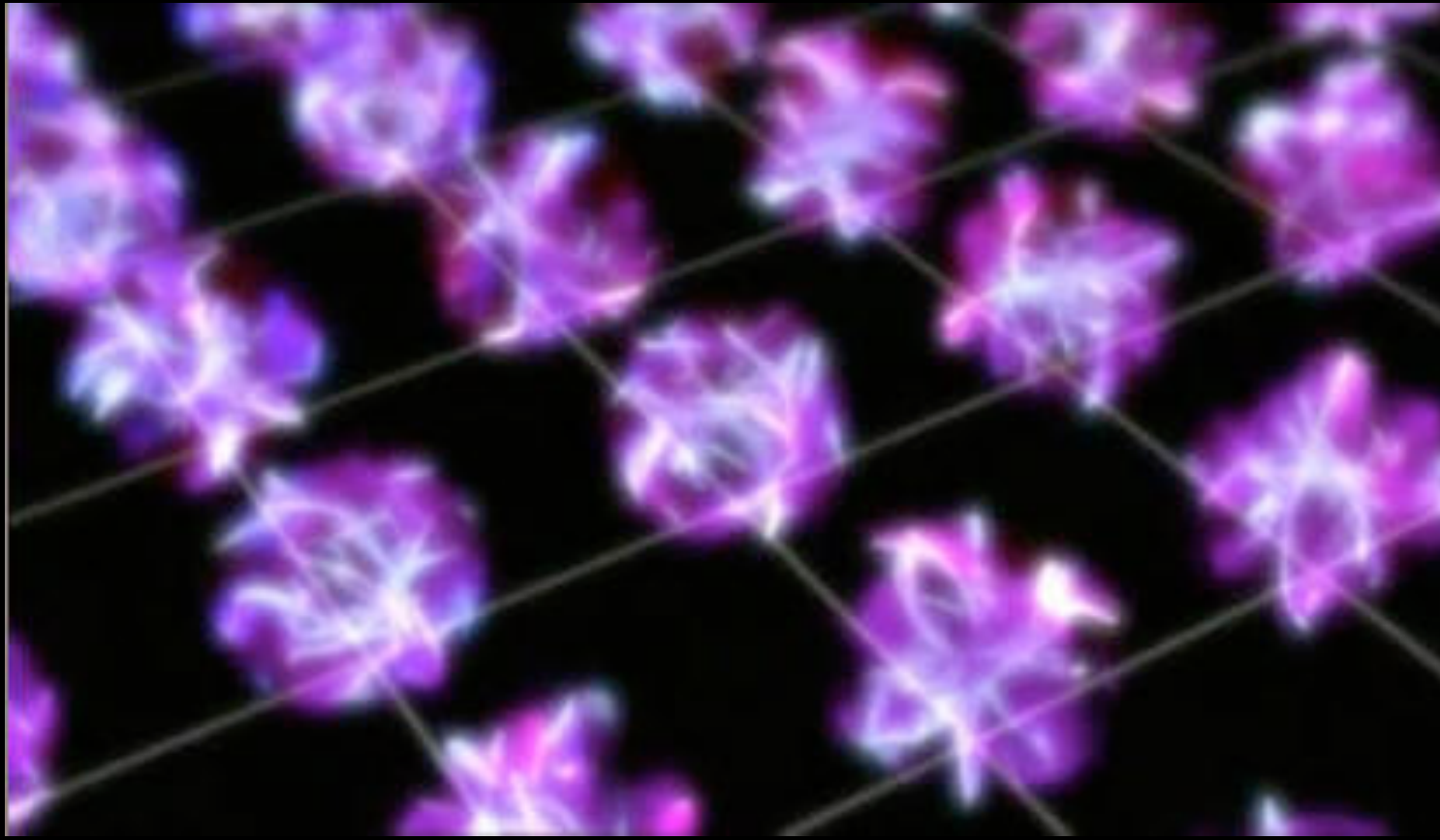




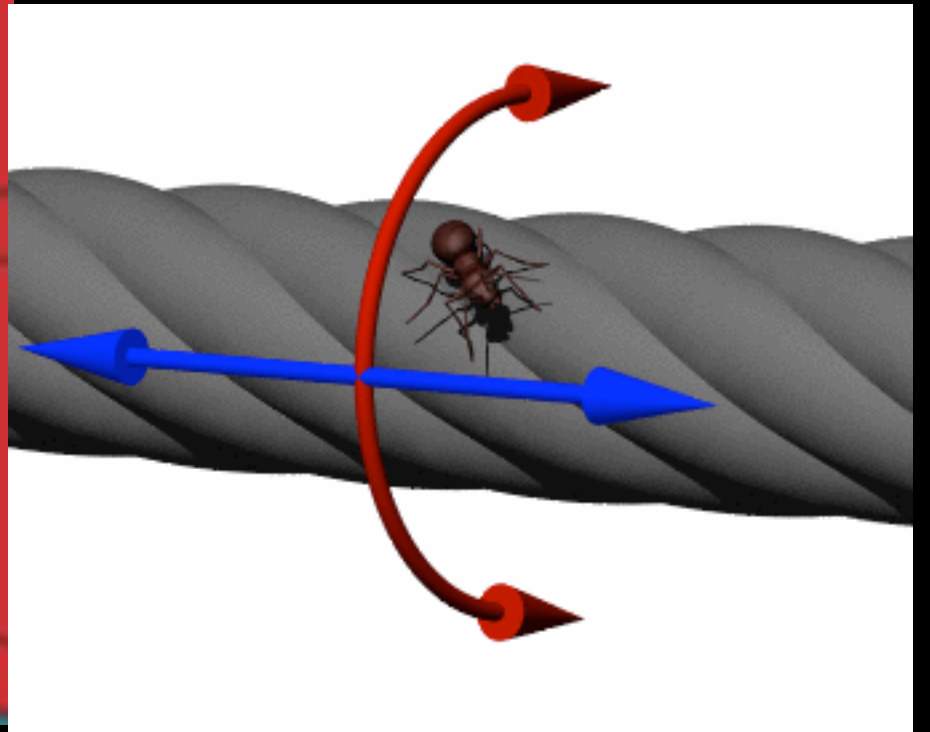
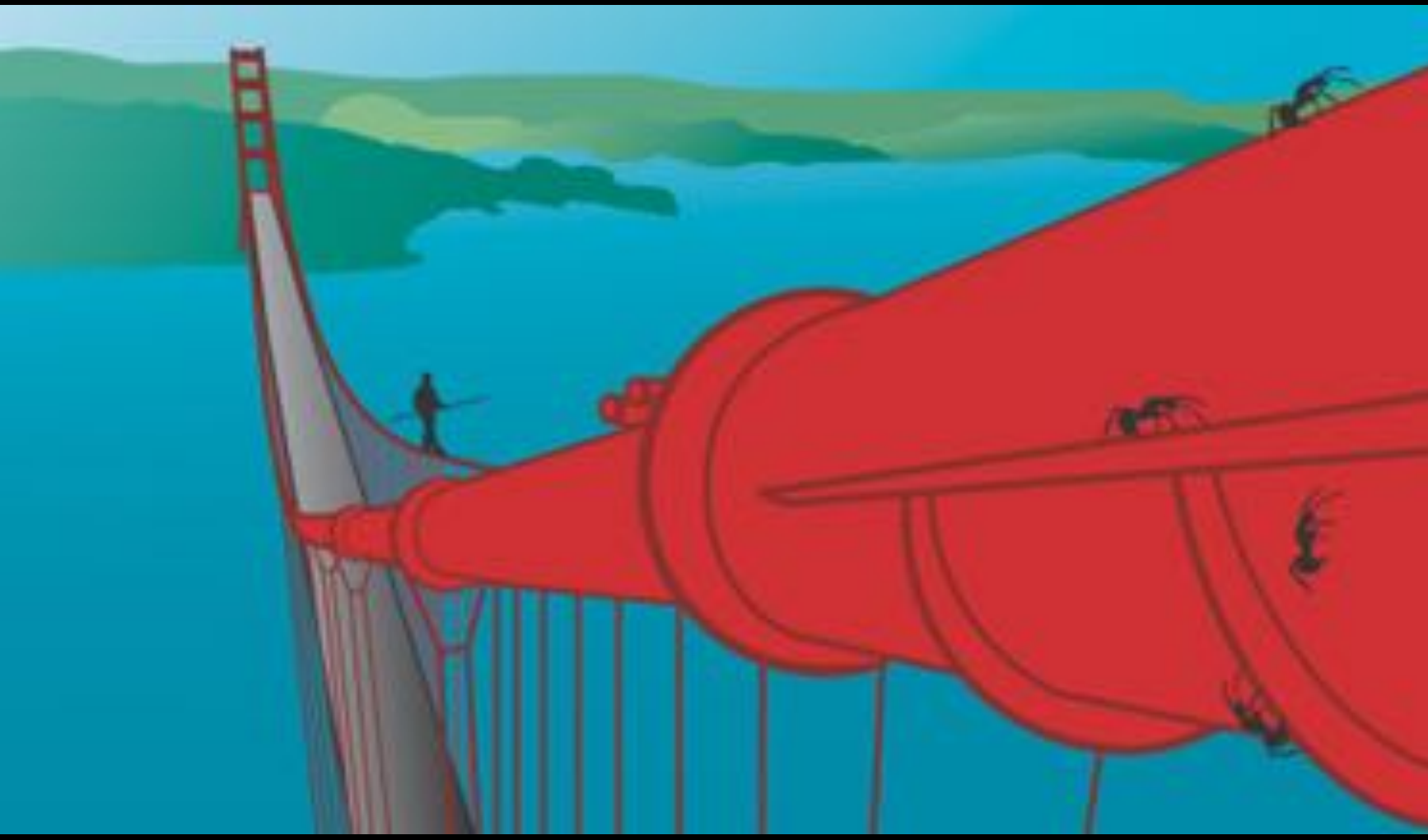
スピン

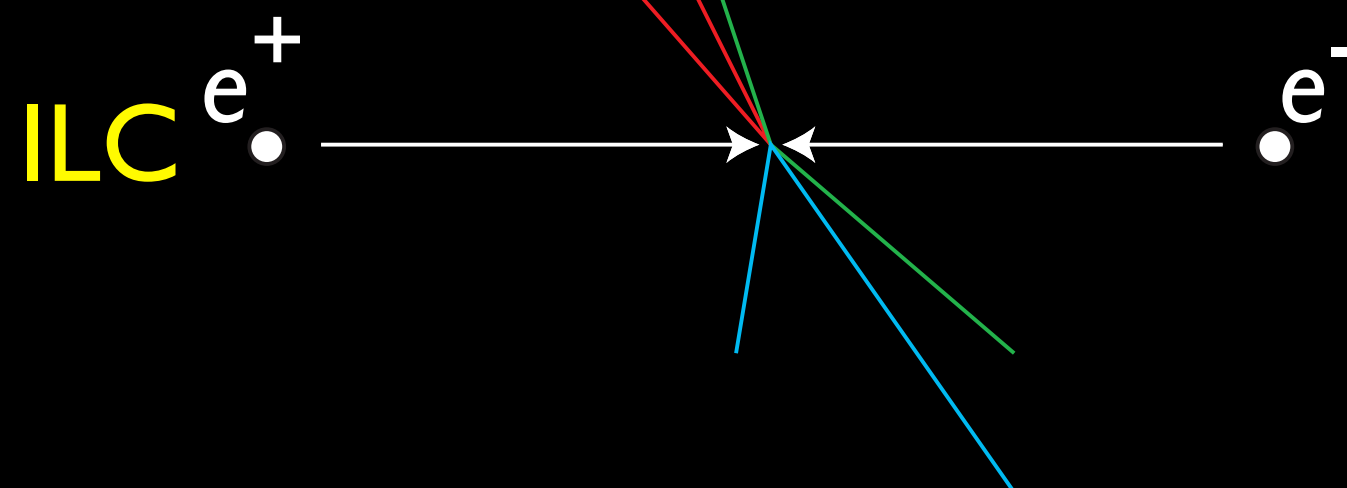
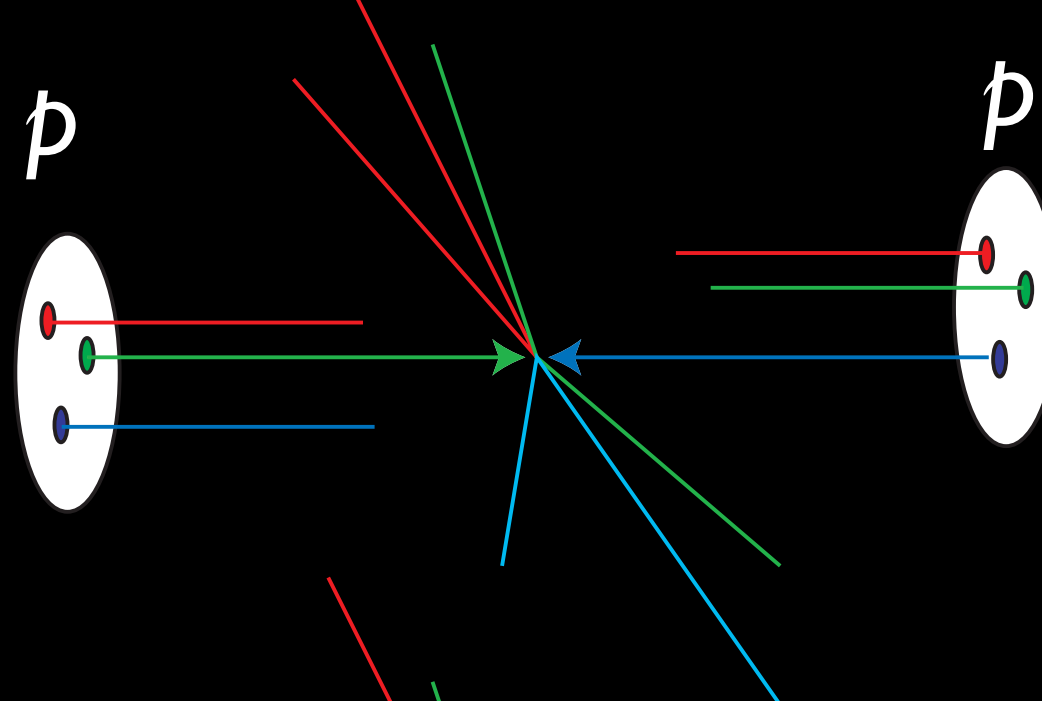
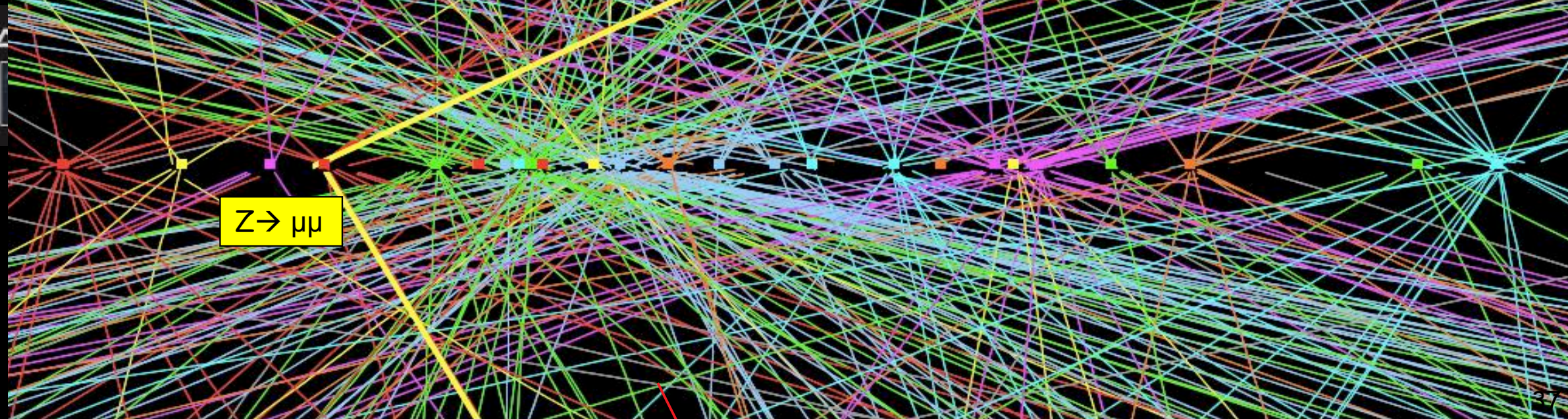
- 素粒子は永遠に回るこま
- 電子、光子、クォーク、...
- 今まで見つかった素粒子は全て回る
- ヒッグスだけがスピンがない
- のっぺらぼう！
- 村山：「ヒッグスレス理論」
- これだけか？兄弟・親戚がいるのか？
- もしかして異次元を回っているのか？
- 素粒子ではなく複合粒子か？
- そもそもなぜ宇宙に凍り付いた？





ヒッグス粒子は
異次元を回る？





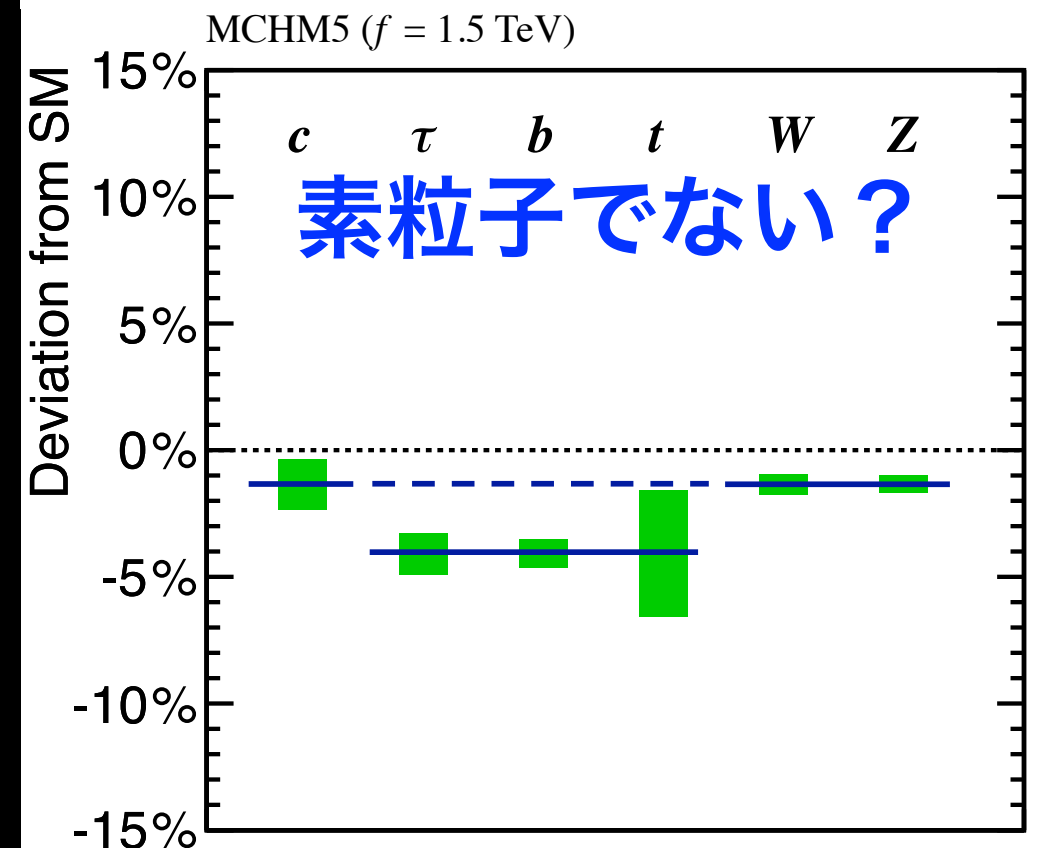
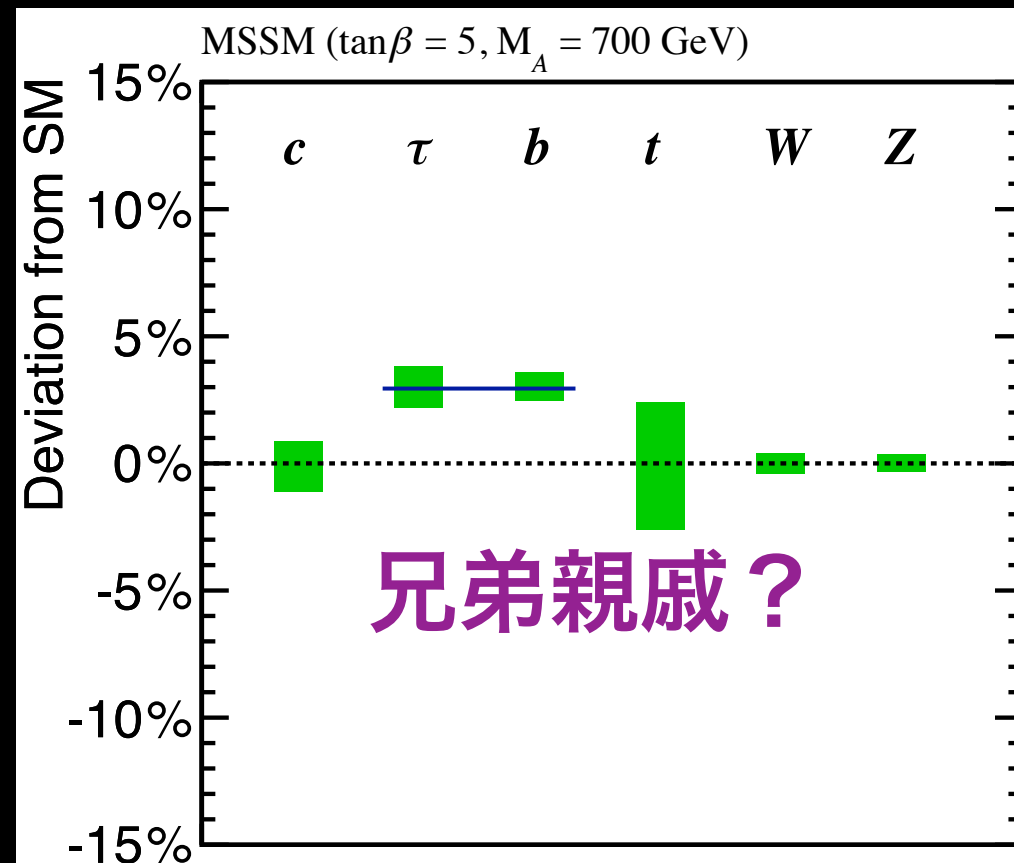
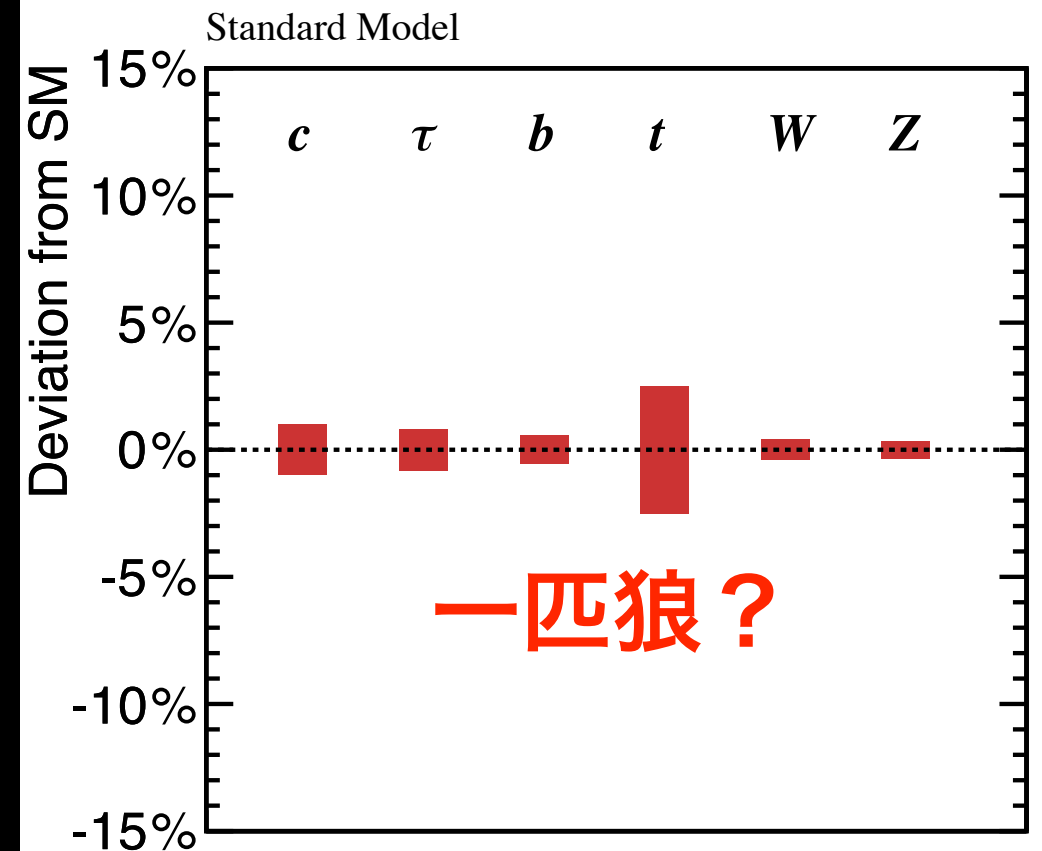
ヒッグスの正体は？

一匹狼？ (標準理論)

兄弟親戚？ (超対称性)

素粒子でない？ (複合理論)

Lumi 1920 fb-1, sqrt(s) = 250 GeV
Lumi 2670 fb-1, sqrt(s) = 500 GeV



窓

暗黒
世界

$H'^{\dagger} H' H^{\dagger} H$

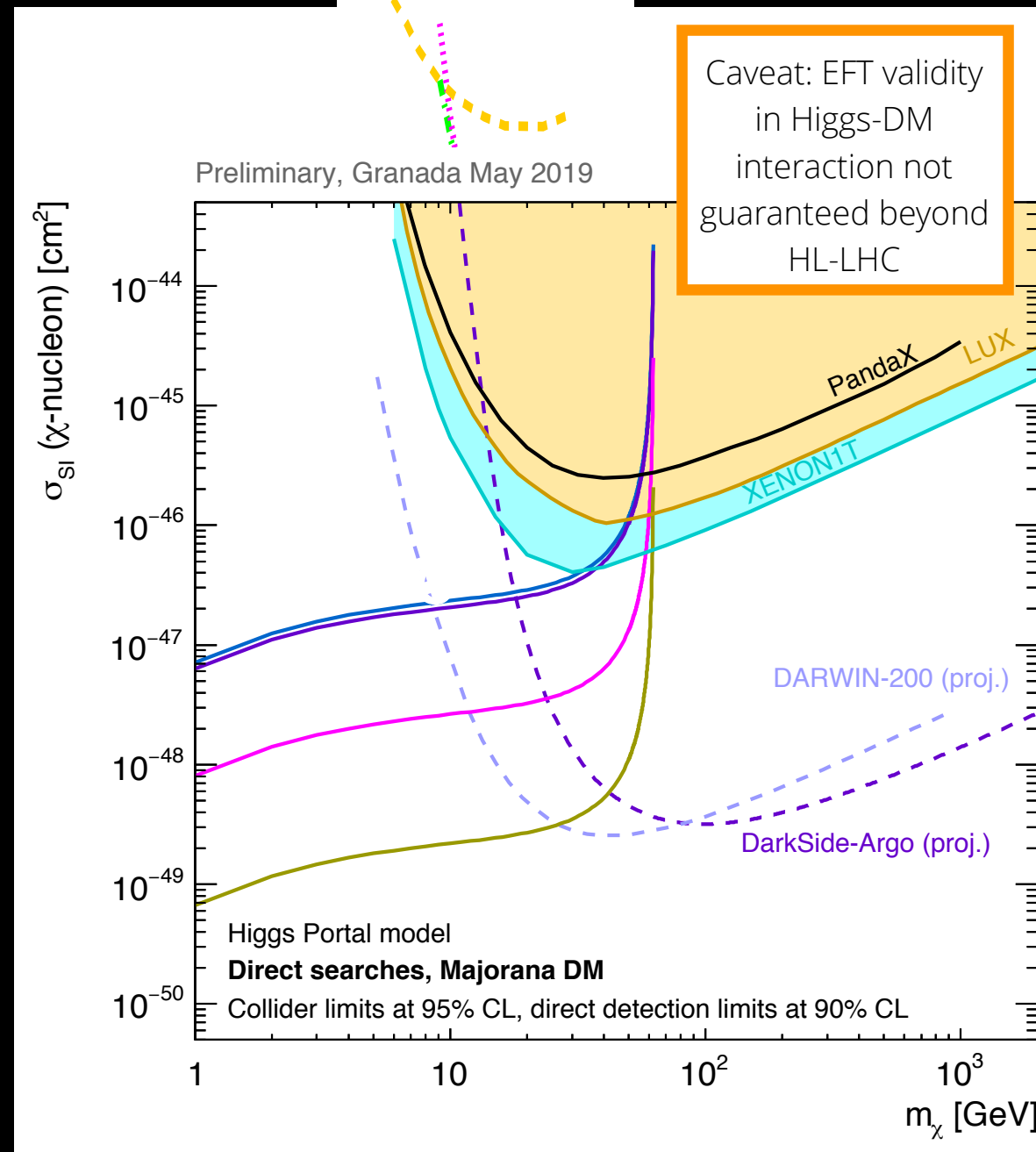
標準理論

ヒッグス

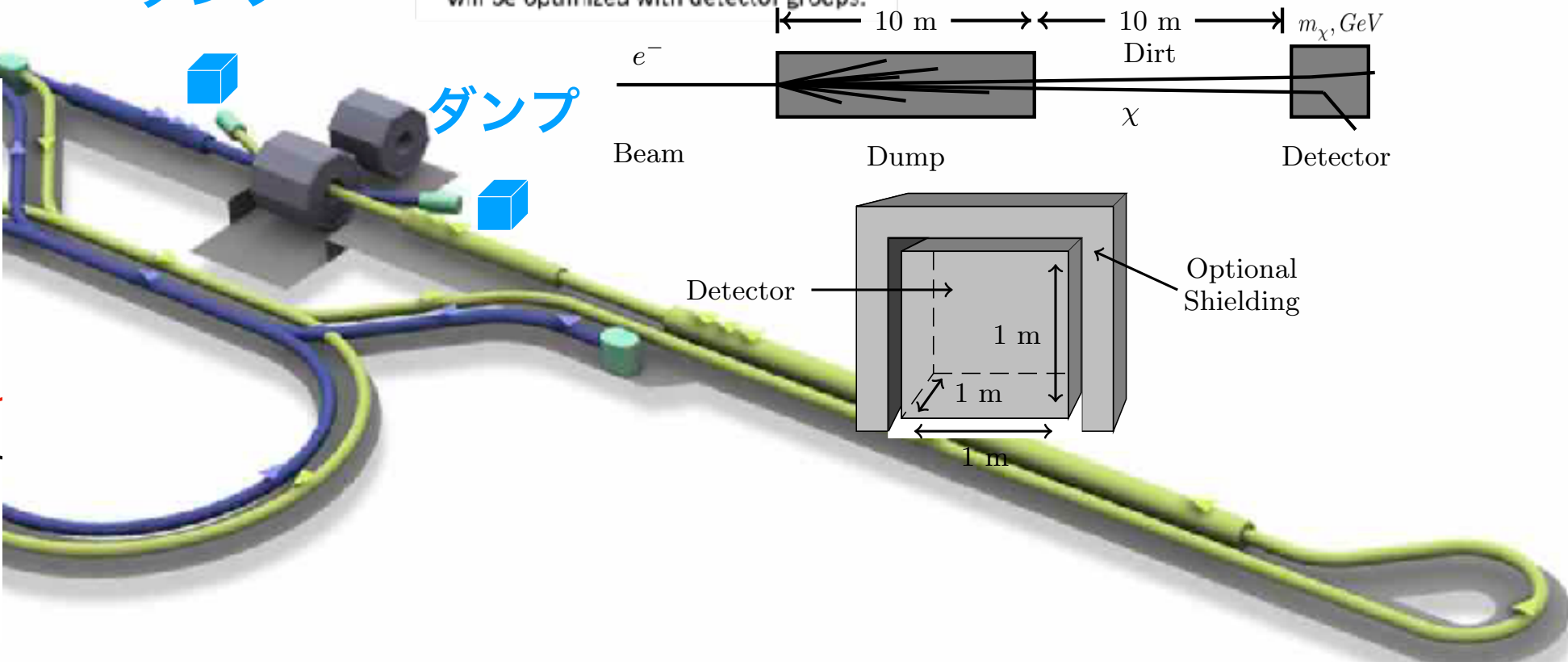
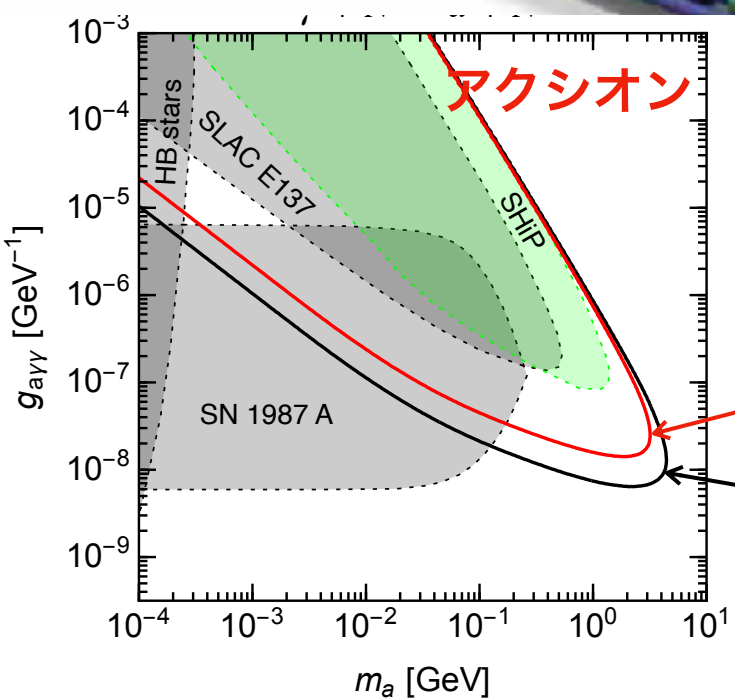
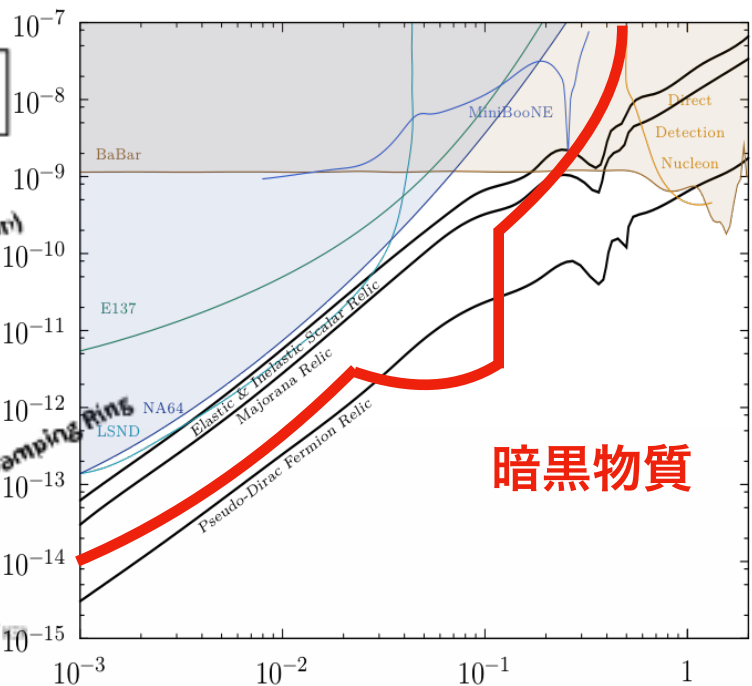
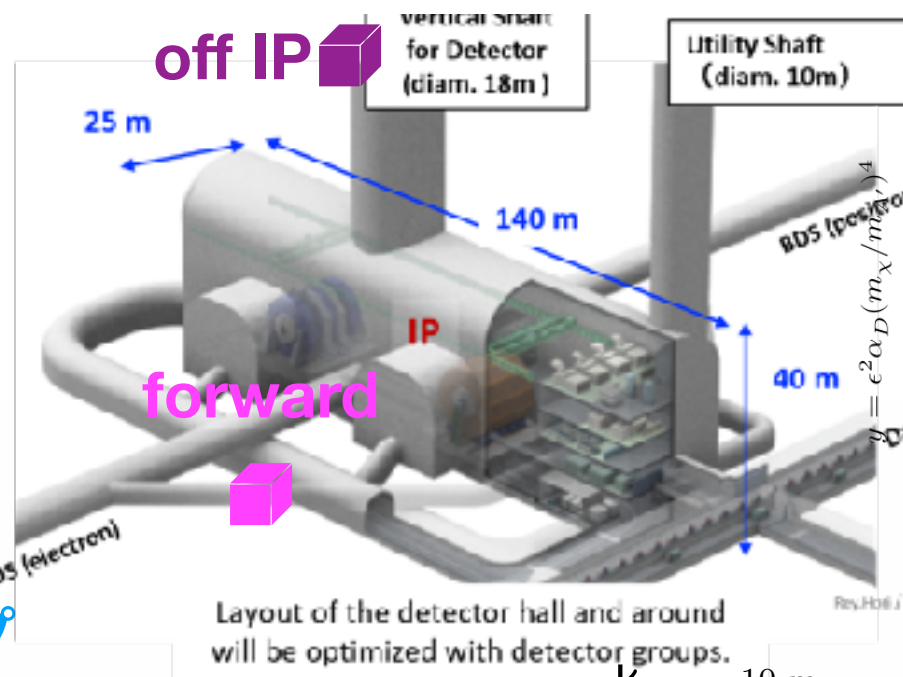
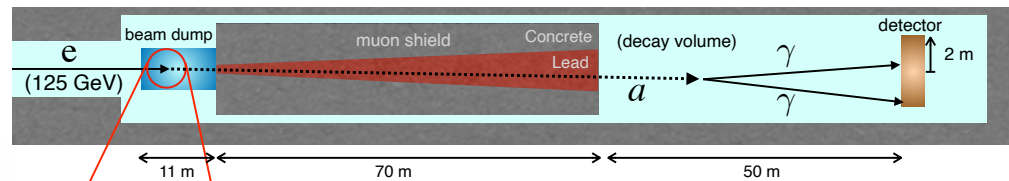
物質粒子

ヒッグス粒子が 暗黒物質への窓？

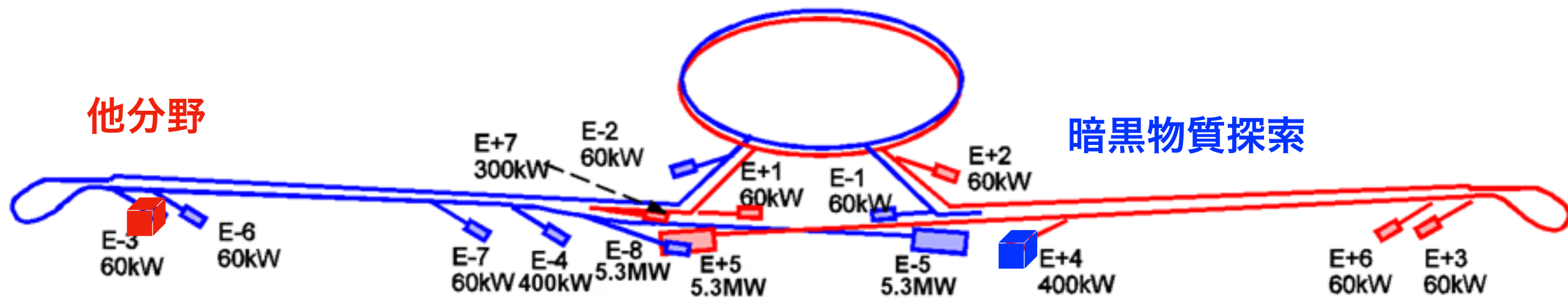
地下実験の制限



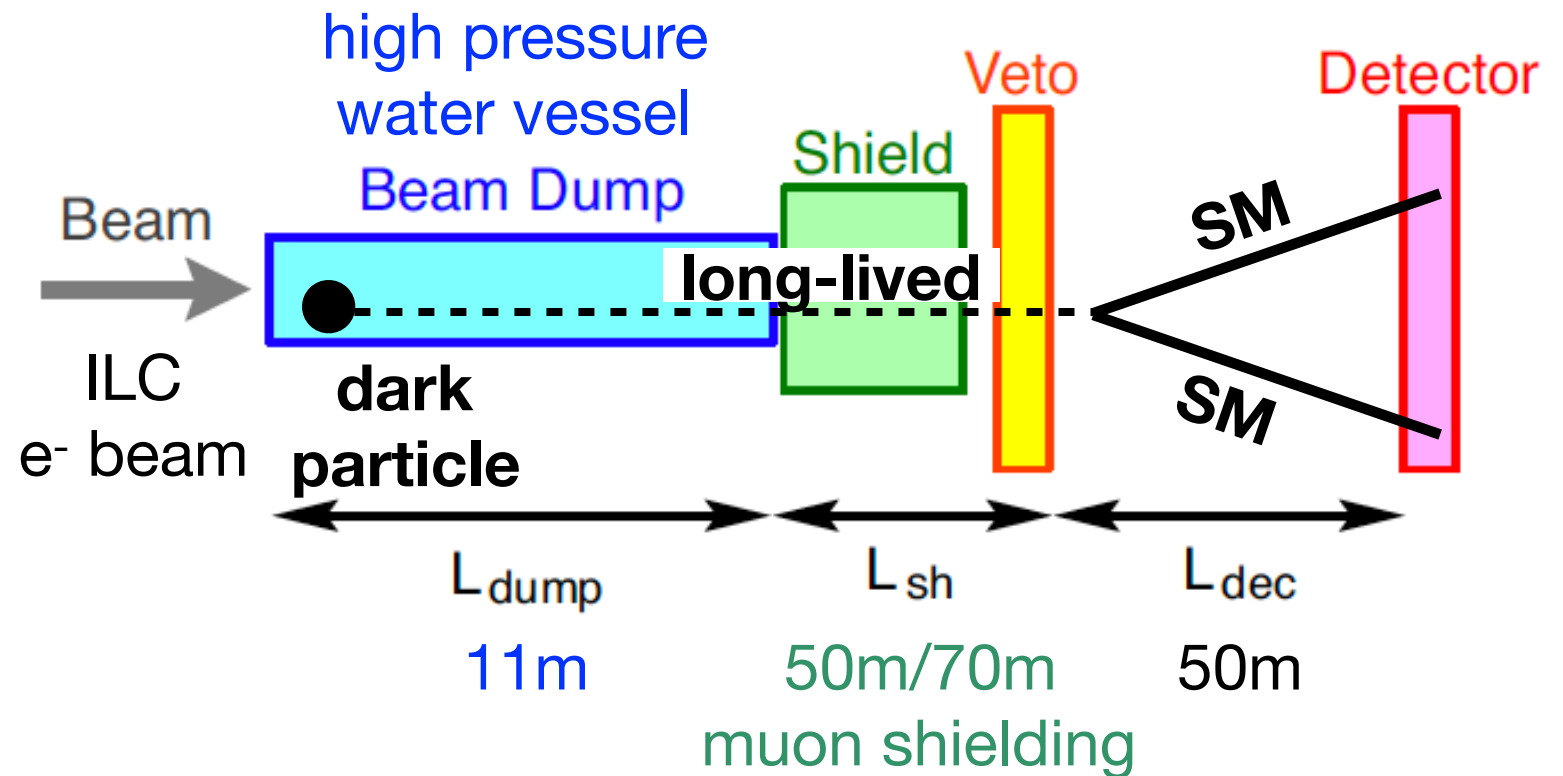
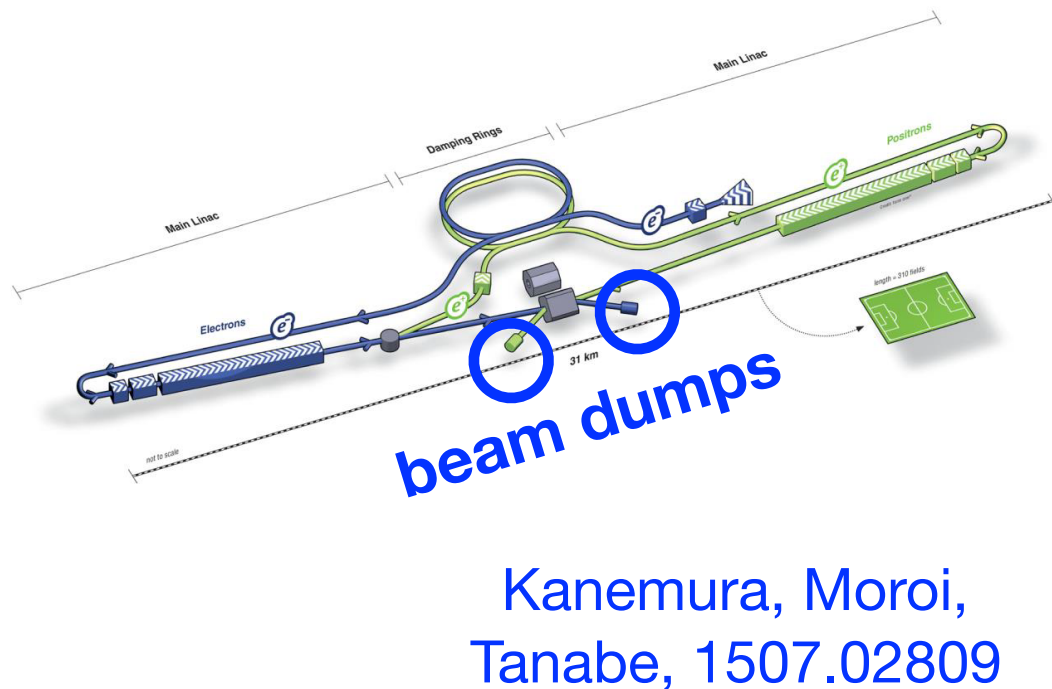
HL-LHCの10倍の感度



他分野



ILC beam-dump setup



* **Much larger energy:** 125 GeV, 250 GeV, 500 GeV, 1.5 TeV electron beams compared to past/present e⁻ beam dump experiments:

- E137 @ SLAC: ~20 GeV electron beam (past)
- HPS @ JLAB: ~ (1-6) GeV electron beam (present)

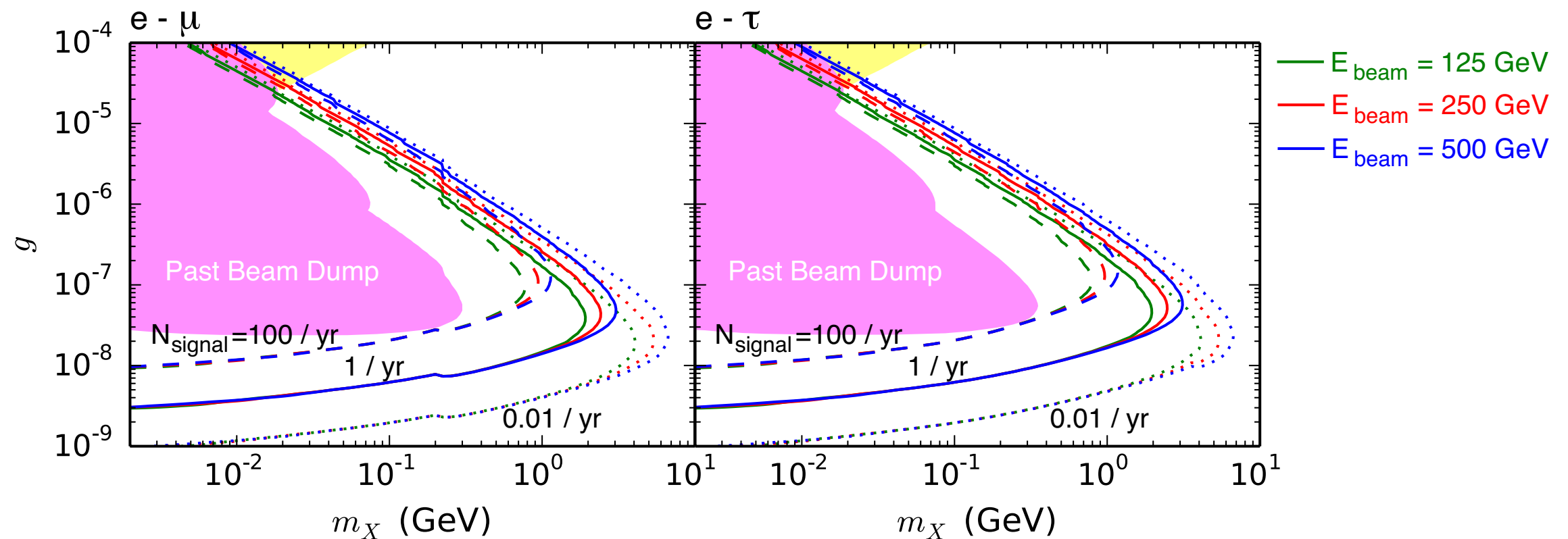
* **Very high luminosities:** $\sim 4 \cdot 10^{21}$ electrons on target (EOT)/year compared to

- E137 @ SLAC: $\sim 2 \cdot 10^{20}$ EOT
- HPS @ JLAB: $\sim 10^{18}$ EOT

大統一理論などで現れる新しい力

Cases with $U(1)_{e-\mu}$ and $U(1)_{e-\tau}$

[Asai, TM & Niki ('21)]



- ILC-BD can access parameter regions which have not been explored yet
- After the discovery, we may distinguish models if a good particle identification is possible (see the next slide)

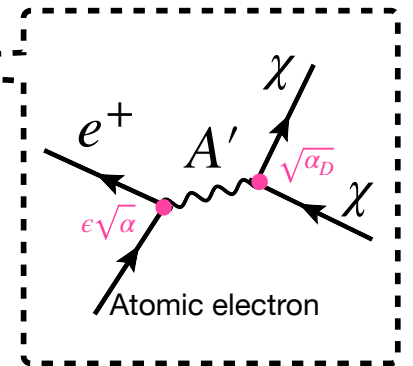
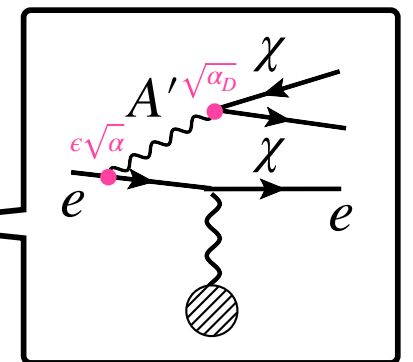
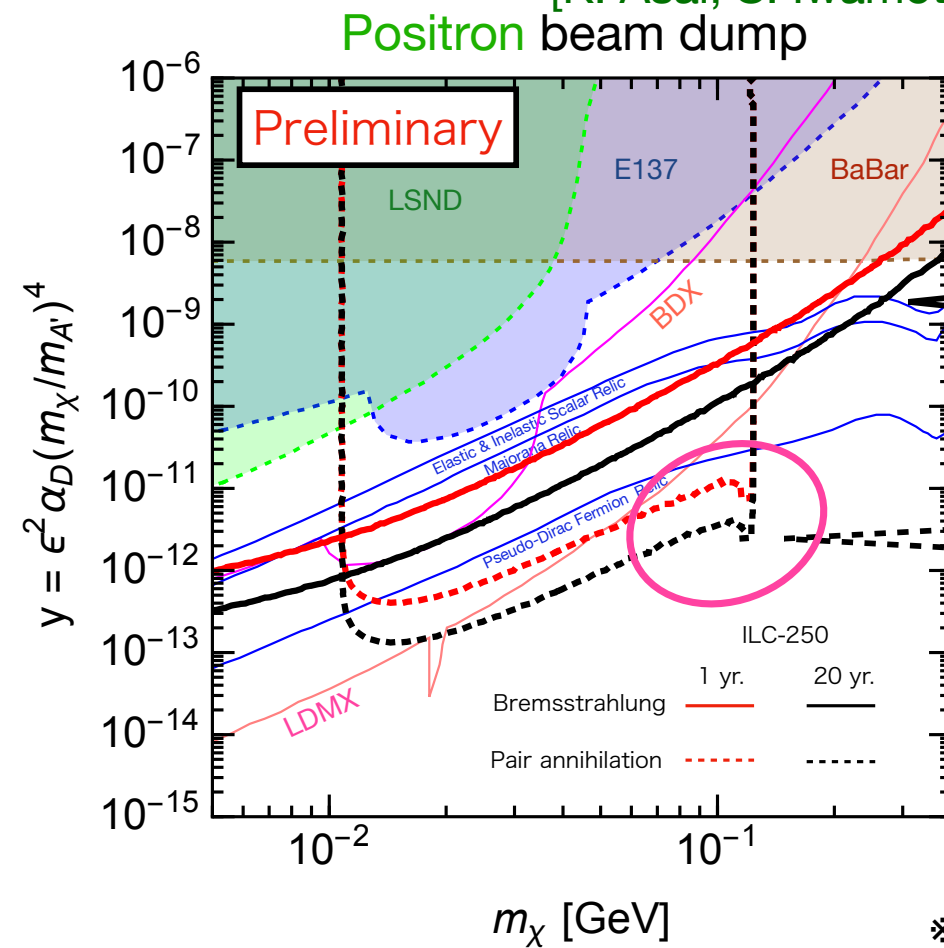
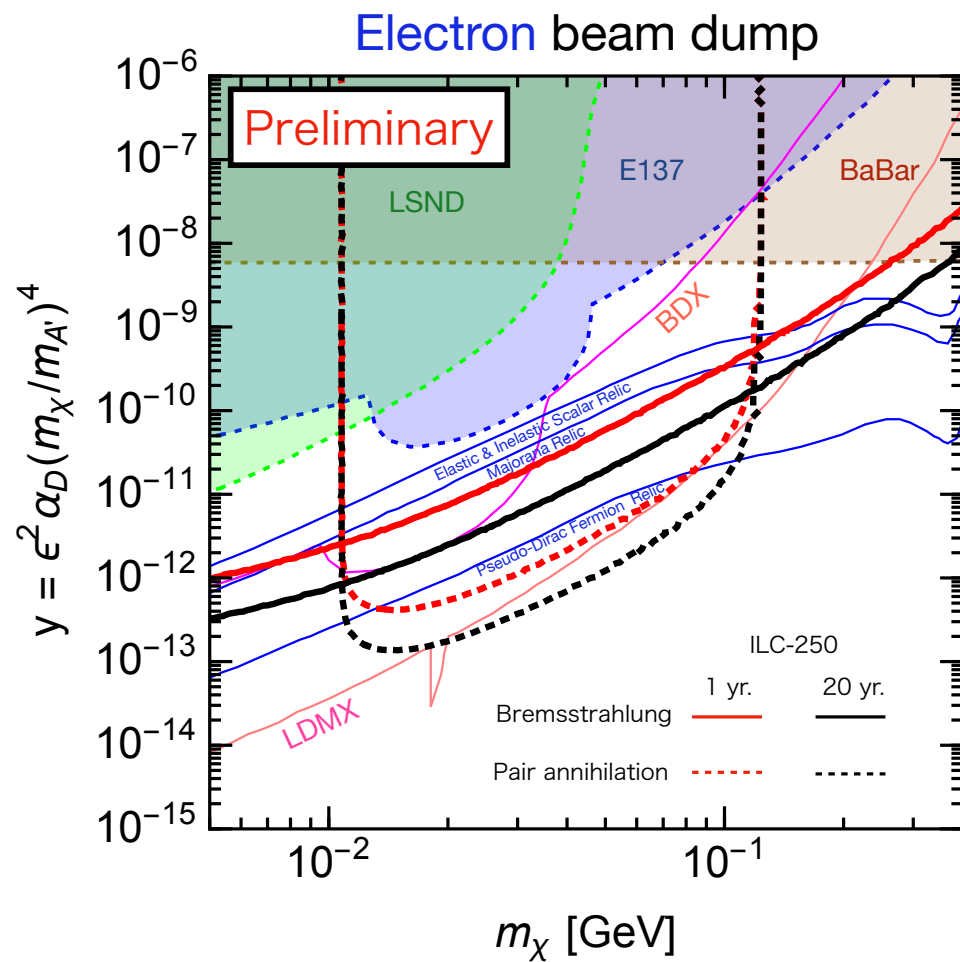
ダークフォトン

[Talk by D. Ueda, O-1]

Results of invisible decay search

Sensitivity comparison of positron and electron beam dump experiment

[K. Asai, S. Iwamoto, M. Perelstein, Y. Sakaki, DU.]



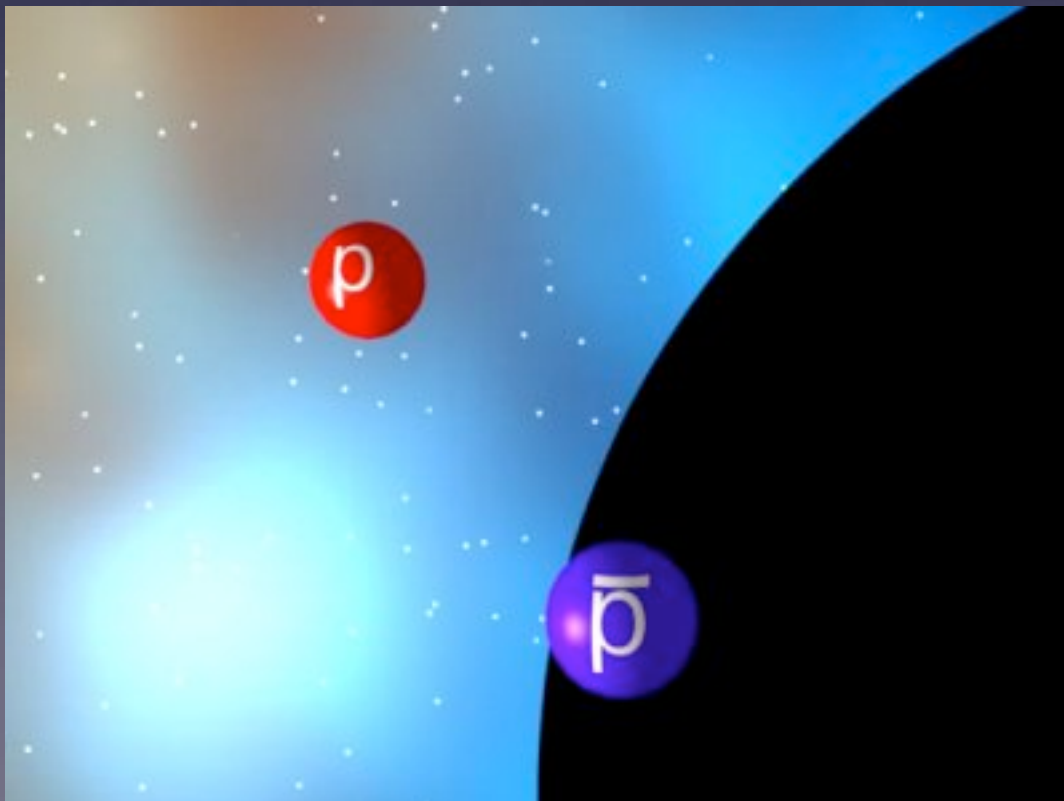
* $\alpha_D \equiv g_D^2/4\pi = 0.5$, $m_{A'} = 3m_\chi$

A benchmark Model: $-\frac{1}{4}F_{\mu\nu}^{A'}F_{\mu\nu}^{A'} - \frac{\epsilon}{2}F_{\mu\nu}F_{\mu\nu}^{A'} + \frac{m_{A'}^2}{2}A_{\mu}^{A'}A_{\mu}^{A'} + \bar{\chi}(iD_{\mu}\gamma^{\mu} - m_{\chi})\chi$, $D_{\mu} = \partial_{\mu} + ig_D A'_{\mu}$

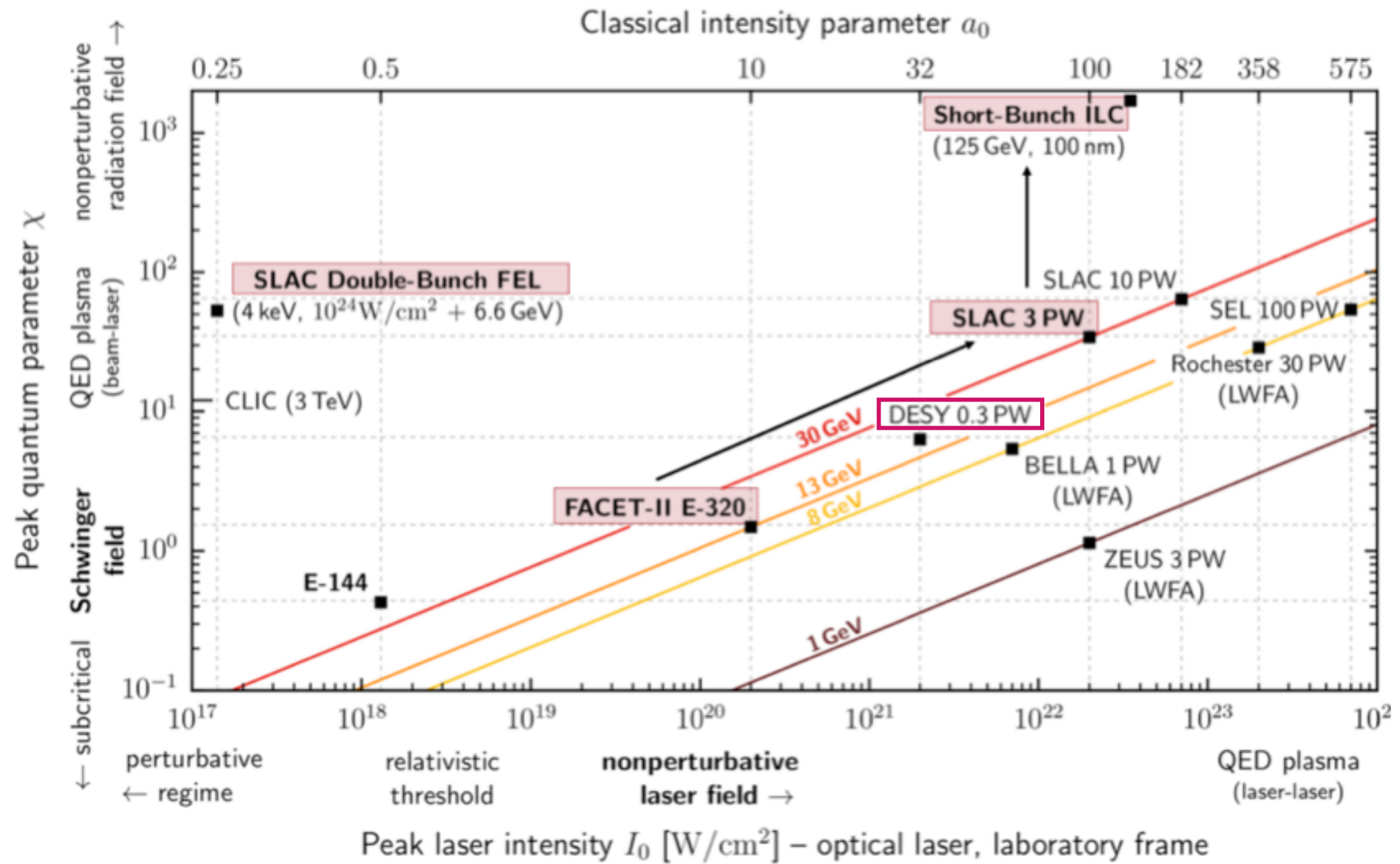
ブラックホール



A Cartoon of Hawking Radiation
From a Black Hole



ILCでホーキング輻射をシミュレーション



15

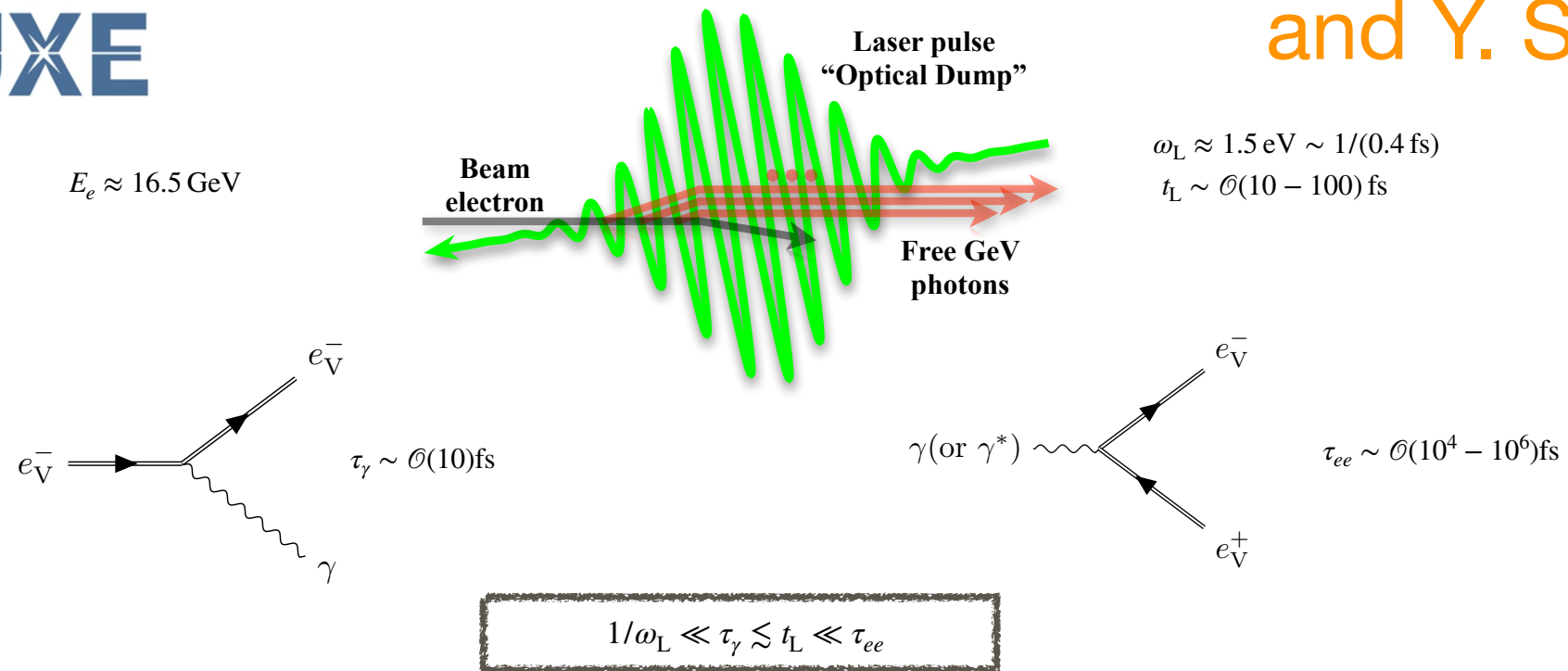
Meuren

強烈な放射光

the LUXE setup

[Talks by G. Perez
and Y. Soreq, O-1]

LUXE

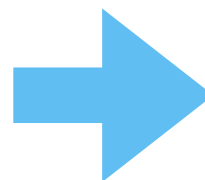


electrons dump their energy

photons are free streaming

$$N_\gamma \sim \mathcal{O}(\omega_L \tau_\gamma)$$

emitted photons per pulse per e^-



excellent source of
GeV scale photons

Ritus, 1985
LUXE, 1909.00860, 2102.02032

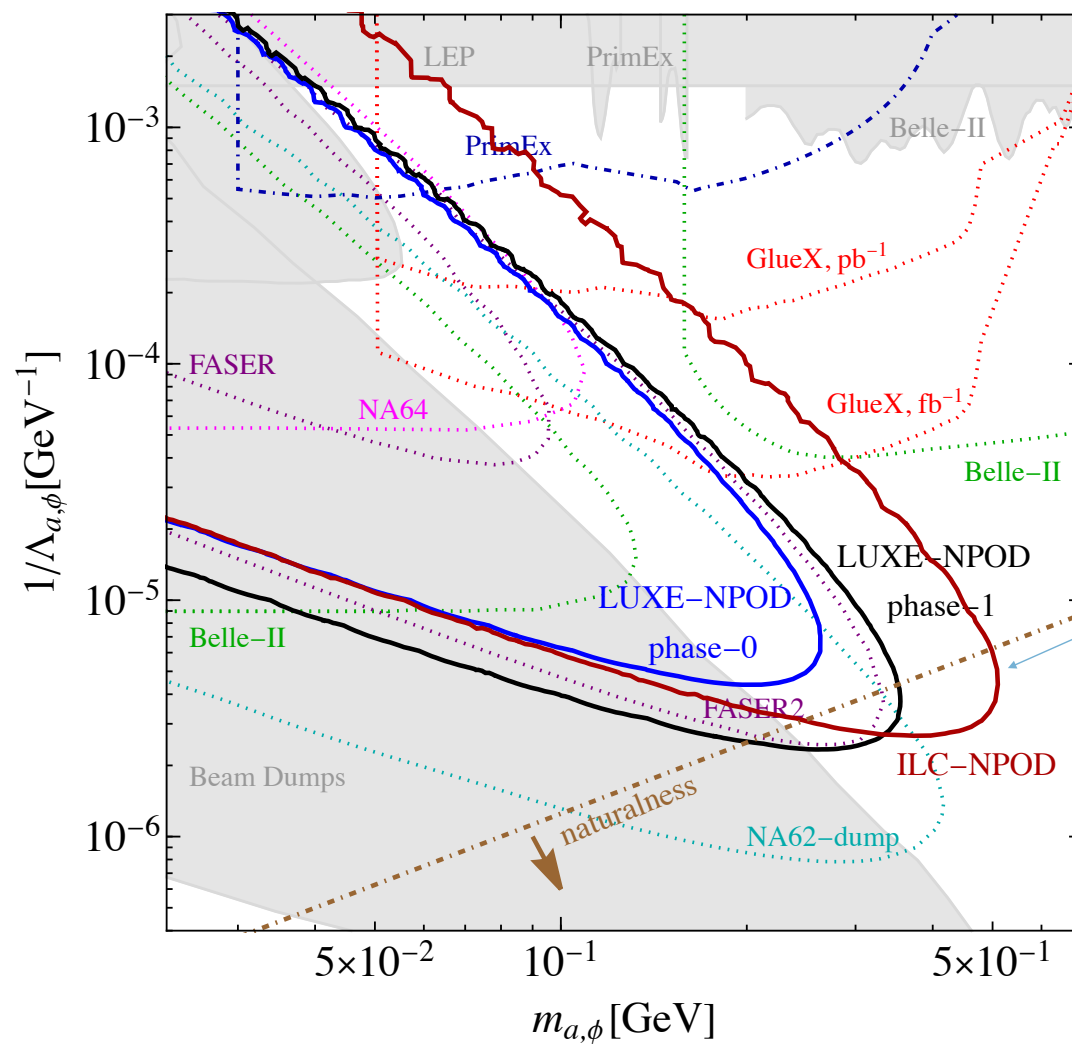
強烈な放射光

Probing new Spin-0 at LUXE-NPOD & ILCX-NPOD (prelim) new physics searches with optical dumps

Bai, Blackburn, Borysov, Davidi, Hartin, Heinemann, Ma, Perez, Santra, Soreq, Hod (21)

$$E_e = 16.5 \text{ GeV} \quad N_e = 1.5 \times 10^9 \quad N_{\text{BX}} = 10^7 \quad L_D = 1.0 \text{ m} \quad L_V = 2.5 \text{ m} \quad R_D = 1.0 \text{ m} \quad E_{\gamma, \text{min}} = 0.5 \text{ GeV}$$

$$E_e = 125 \text{ GeV} \quad N_e = 1.5 \times 10^9 \quad N_{\text{BX}} = 10^7 \quad L_D = 2.0 \text{ m} \quad L_V = 22.0 \text{ m} \quad R_D = 2.0 \text{ m} \quad E_{\gamma, \text{min}} = 0.5 \text{ GeV}$$



assuming background free

[1] phase-0 (1) = 40 (350) TW, 1 yr]

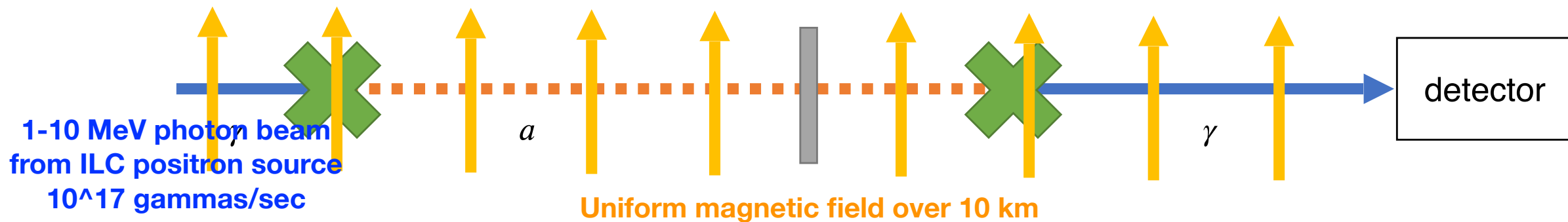
Summary/Outlook

- LUXE: allow us to study for 1st time the non-perturbative region of QED directly
- Open a possibility of LUXE-NPOD -> clean source of UV-photons -> 1-day of running <=> uncharted territory
- So far only looked at coupling to photons
- Expand to other couplings, especially as at ILCX could prob the coupling to gluons below and above Λ_{QCD}

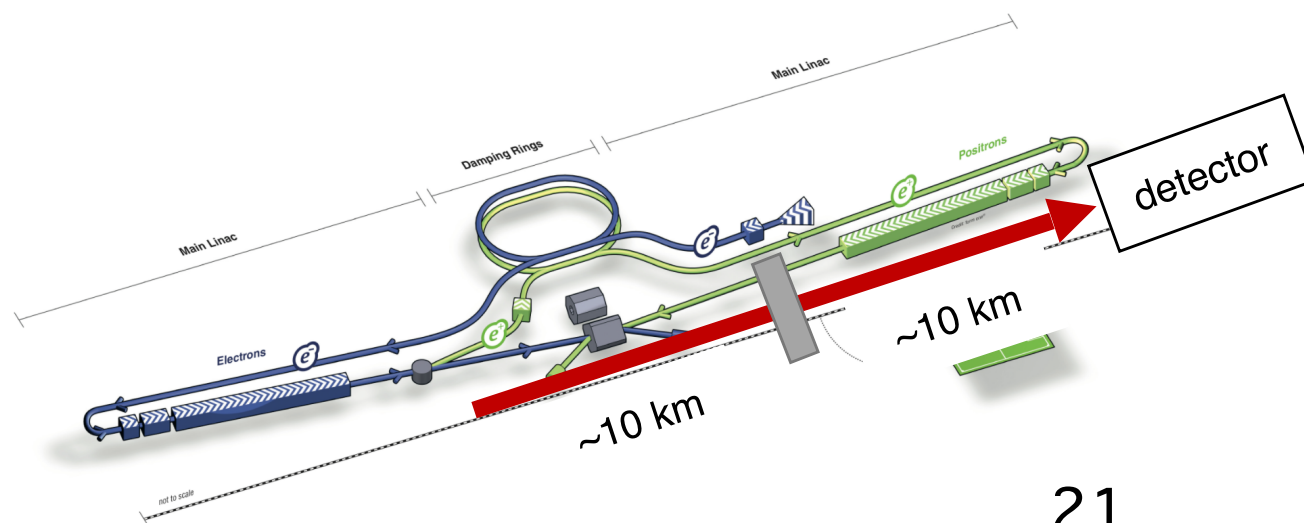
強烈な放射光

Experimental setup

- Magnetic fields are imposed on the entire path



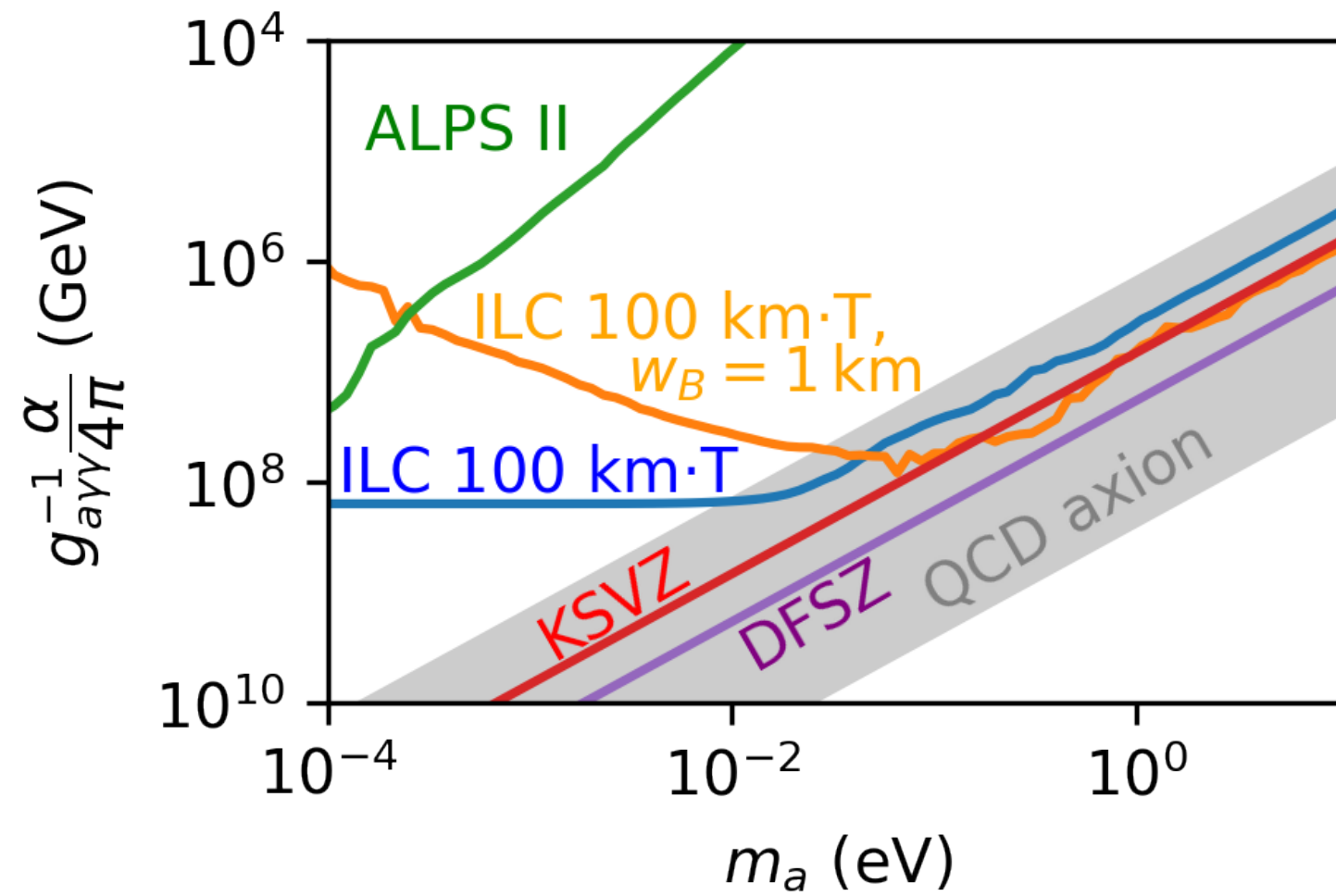
- We assume the path is of the similar length as the ILC itself



The photon beam is very collimated; the experimental facility may be not under but on the ground.

アクシオン探索

Result (1-year)



22

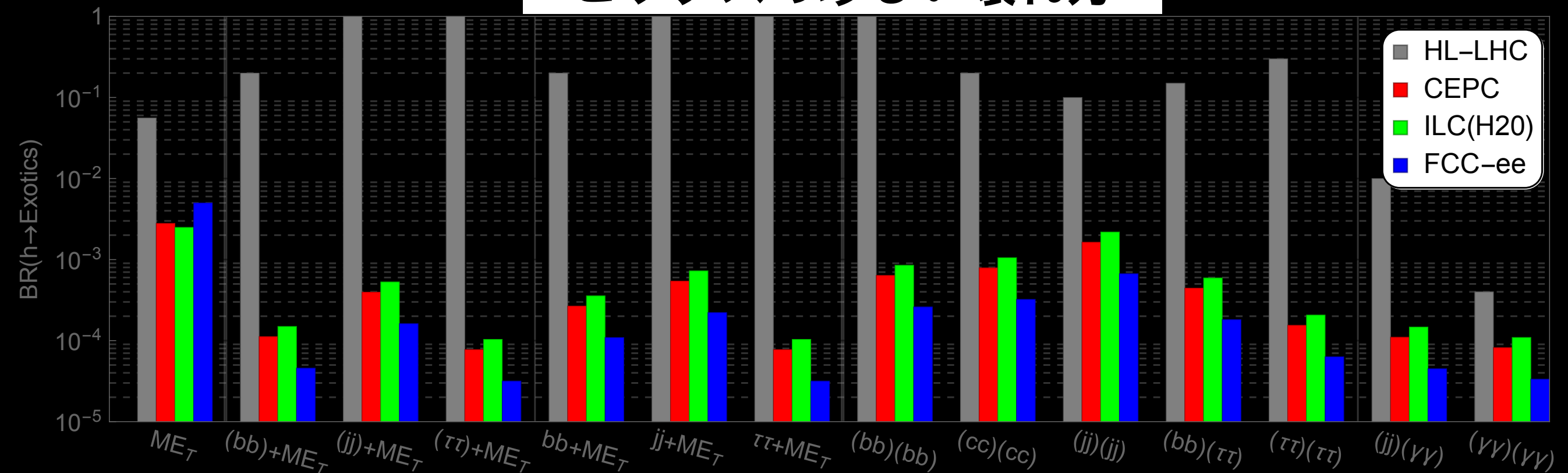
25

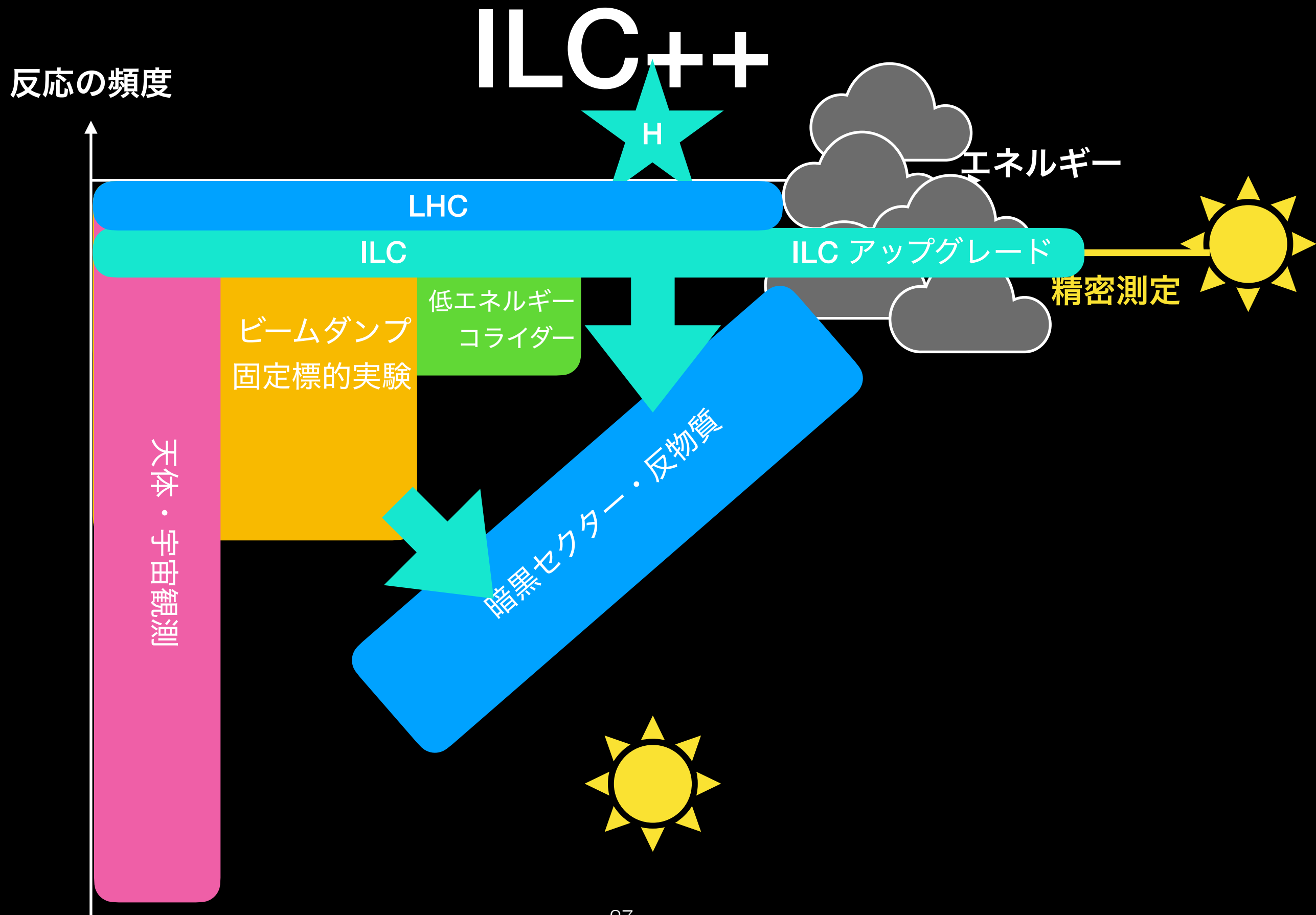
完全消滅の運命から救われた

ヒッグス → 暗黒セクター → 標準理論

ヒッグスの珍しい壊れ方

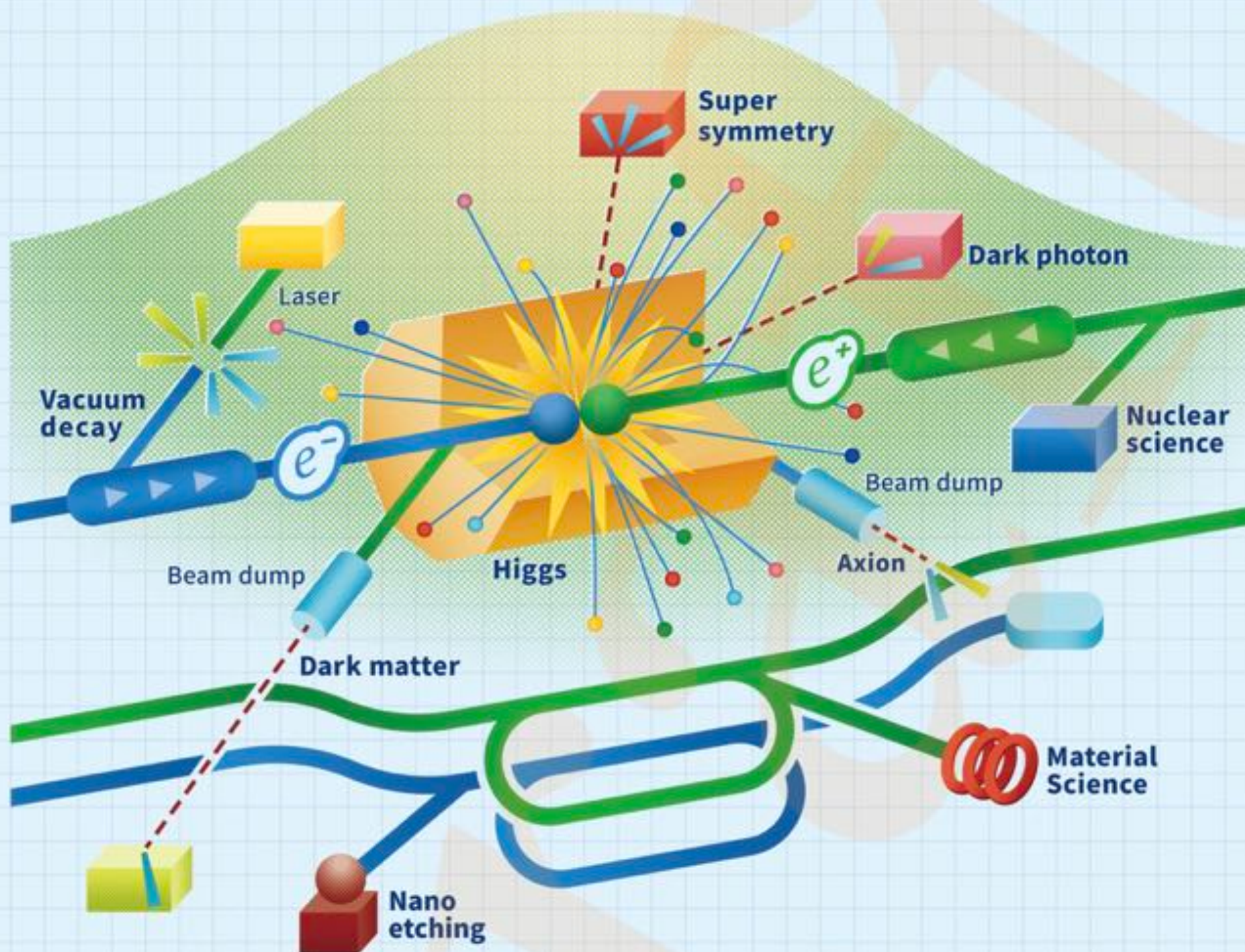
HL-LHCの1000–10000倍





ILCX2021

ILC Workshop on Potential Experiments



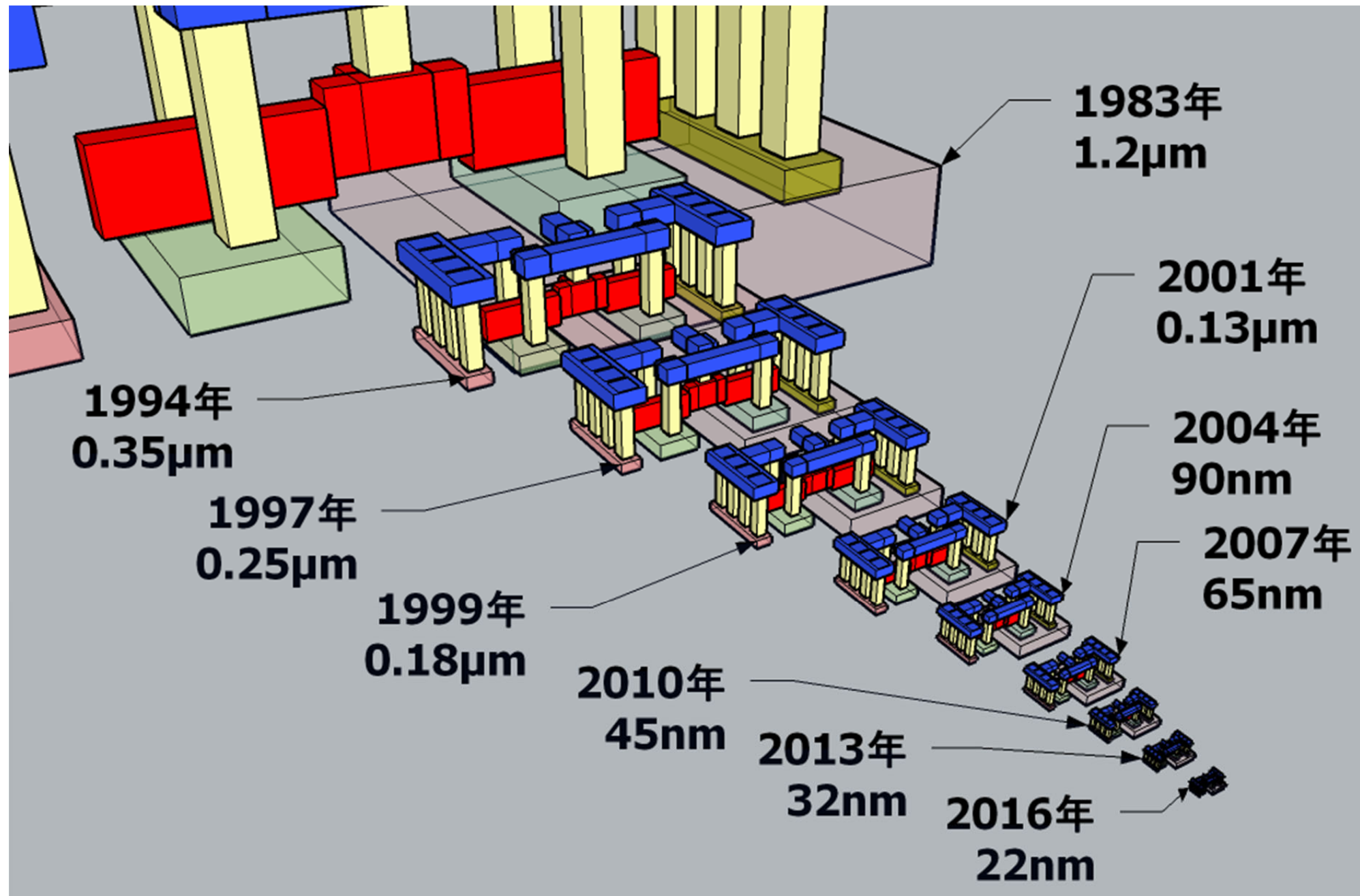
600人以上登録
150以上の講演
ILCの応用：
放射光施設
ソフトウェア
原子核物理
ブラックホール

26-29 October 2021, Tsukuba, Japan

Neutrons and muons are falling into VLSI chips



Transistor scaling

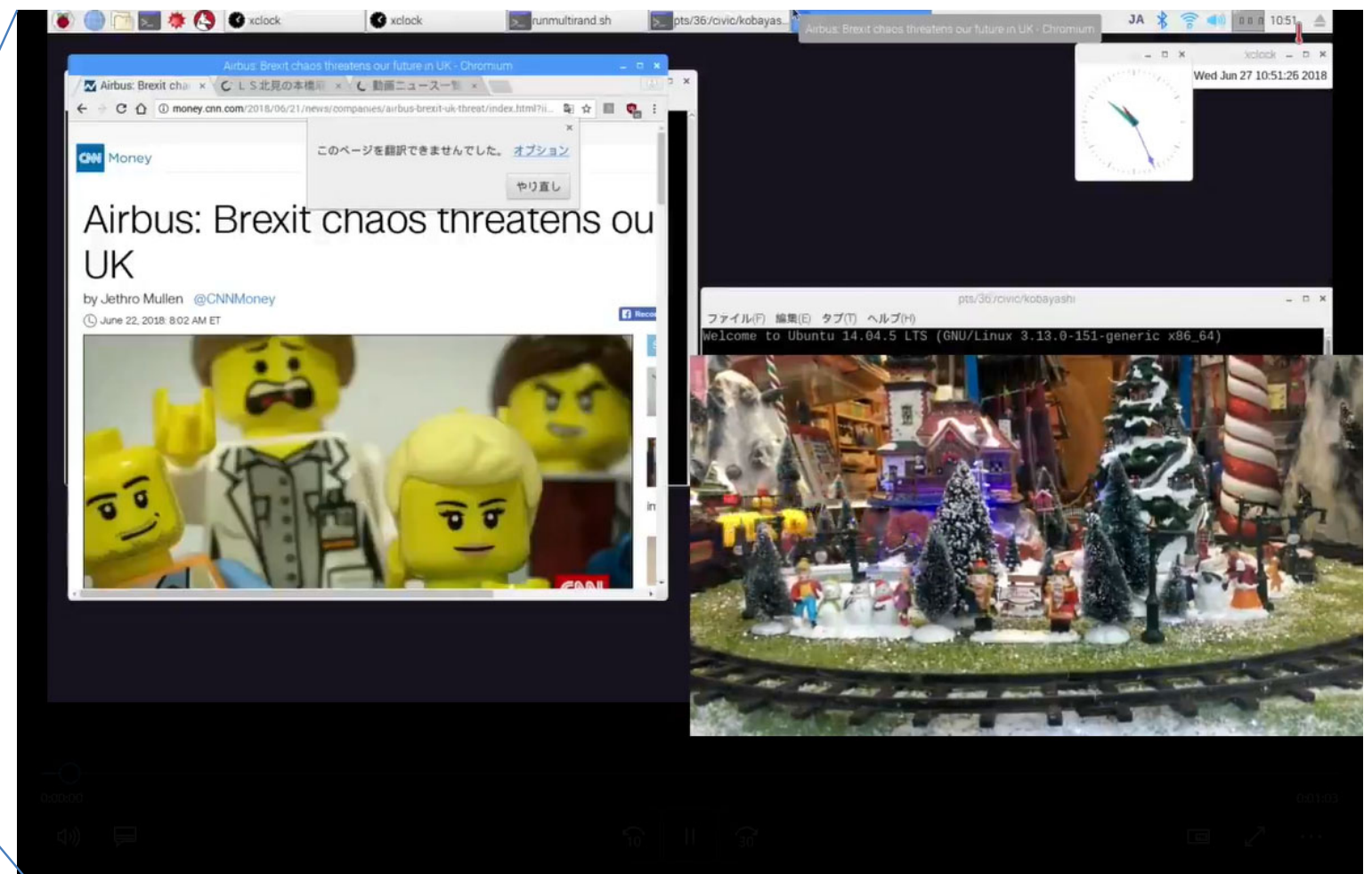
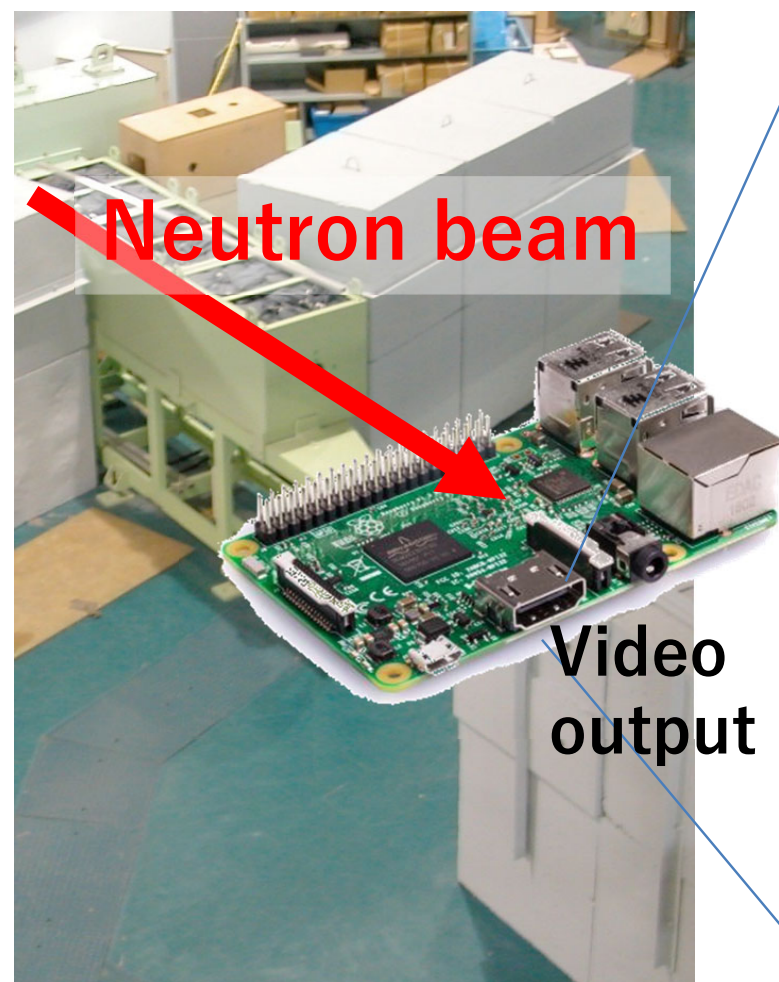


Courtesy to Prof. Tsuchiya, University of Shiga Prefecture.

Demonstration

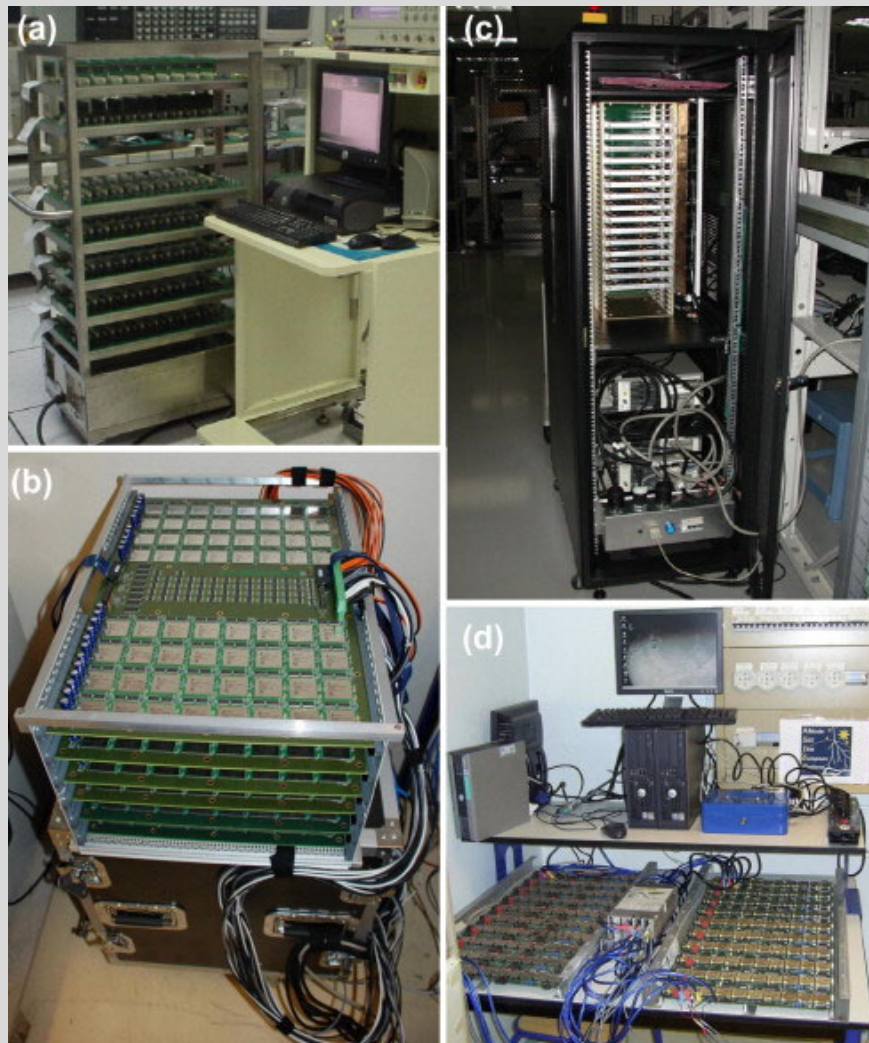
Linux is running on Raspberry Pi

Courtesy to Prof. Kobayashi, Kyoto Institute of Technology.



Real-time & accelerated test

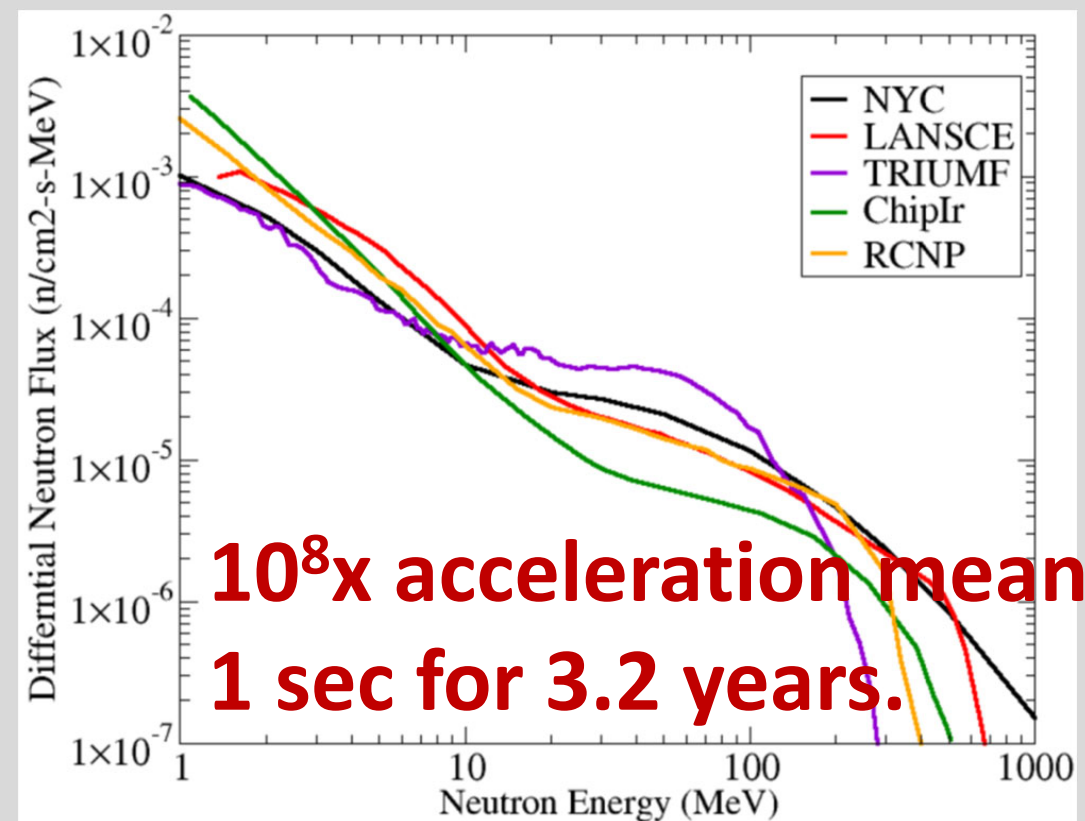
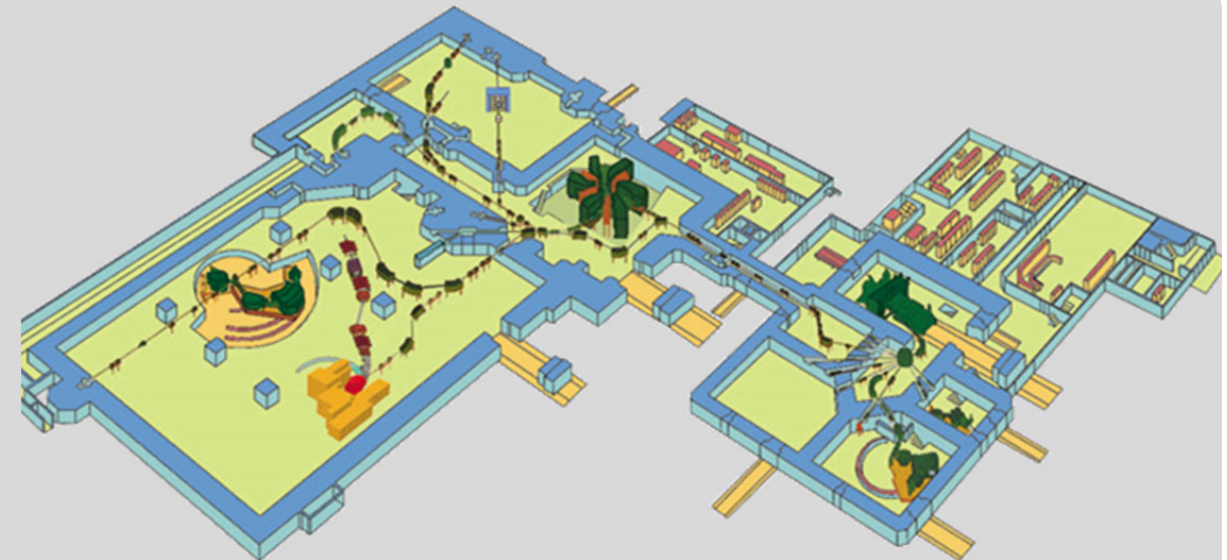
12



Many devices are operated

- Months to years are necessary to get enough # of errors

<https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0026271414000882-gr3.jpg>



さらに高いエネルギーへ

- リニアなので伸ばすとエネルギーをあげられる

- 350GeV: トップクォーク

- 550GeV: ヒッグスとトップ

- 1TeV: ヒッグスがなぜ宇宙に凍りついたか

- 数TeV: 異次元、新しい力、新しい対称性

ILC Nb	35-50MV/m	0.5–1.5TeV
ILC Nb ₃ Sn	120MV/m	4TeV
CLIC	100MV/m	3TeV
PWFA DLA	1GV/m	30TeV

ビッグサイエンス

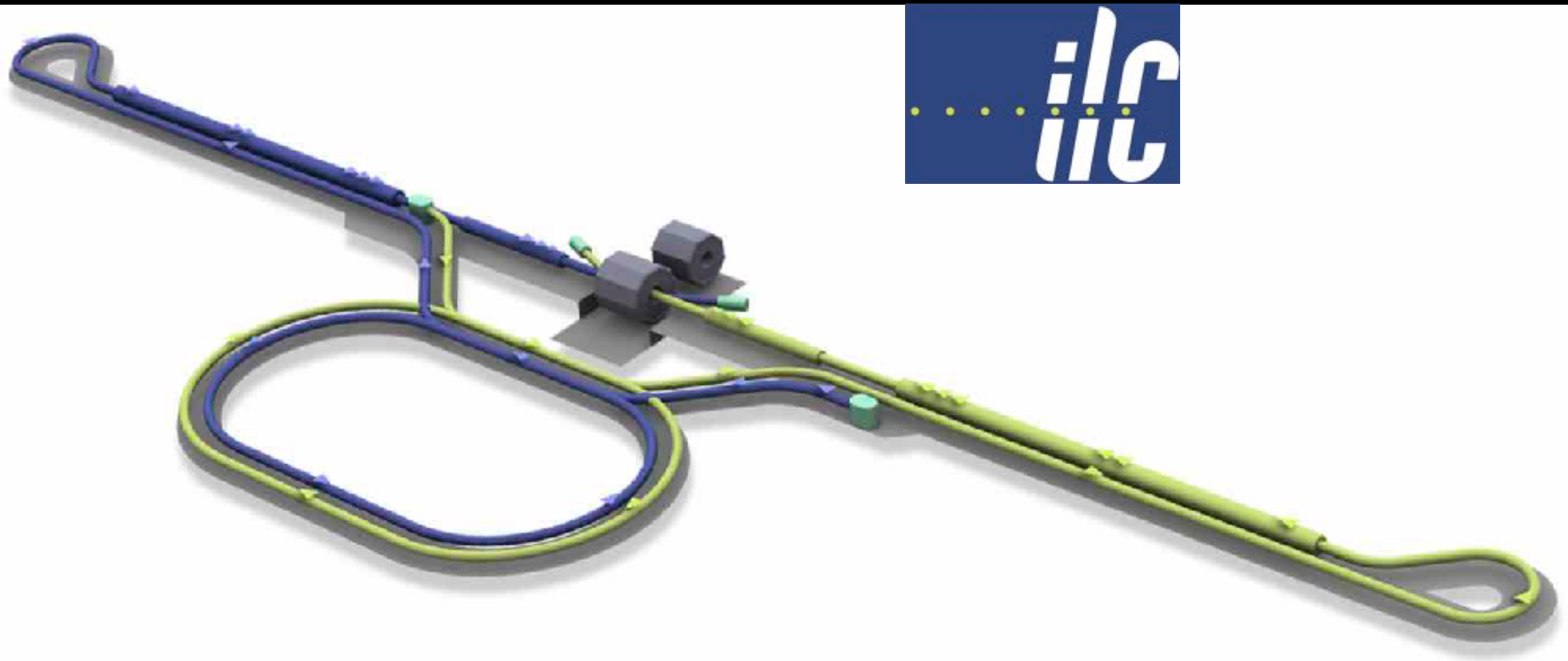
- 日本国内プロジェクト
 - スーパーカミオカンデ 100億
 - ハイパーカミオカンデ 600億
 - KEK-B 350億
 - J-PARC 1500億
- 国際プロジェクト
 - DUNE 2600億
 - LHC 9000億
 - ILC 5000億+人件費
- 地上望遠鏡
 - すばる 300億
 - ELT 1600億
 - TMT 2400億
- 宇宙望遠鏡
 - ハッブル 1兆
 - JWST 1兆
 - Roman 4000億

比較： ITER 3兆

国際スペースステーション >15兆

source: wikipedia

ILC : 21世紀の物理学



標準理論を超える第一歩に！

新しい時空・真空の概念、物理学の革命