



CHARLES  
UNIVERSITY



ATLAS  
EXPERIMENT

08.12.2023

---

---

# Гравітація між частинкам і античастинками. Нейтральні струми

— Тімошин Денис —

---

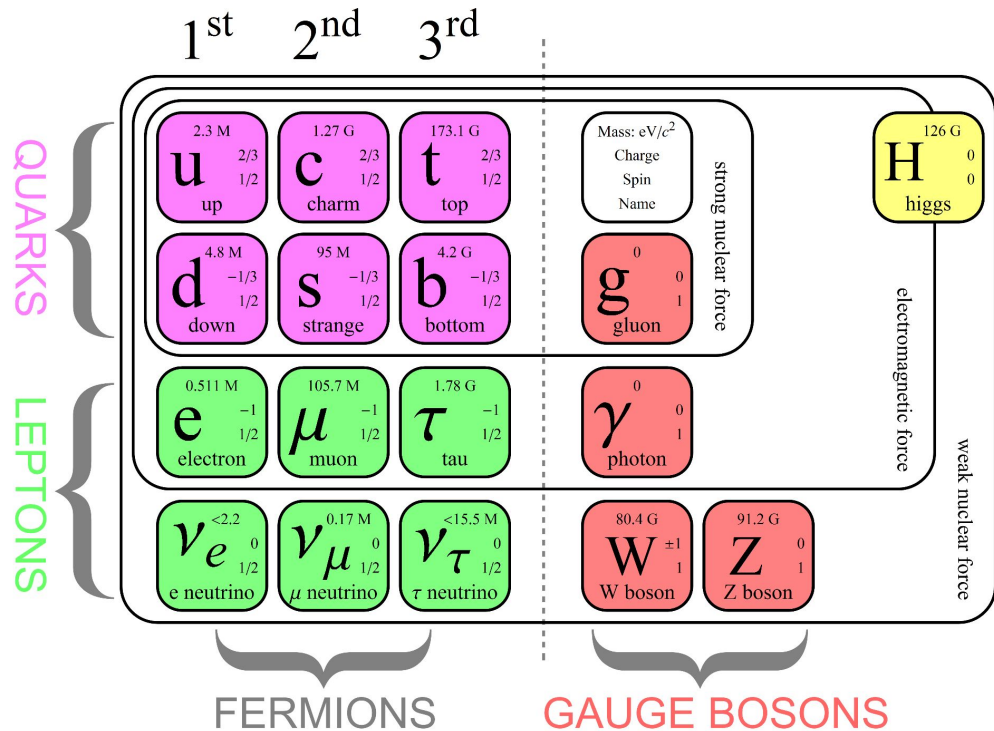
---

# Найважливіше у фізиці

- ❖ По-перше: фізика - це наука про моделі
  - Закони руху Ньютона  $F=m \cdot a$
  - Відсутність тертя об лід
  - Симетрія простору
  - Стандартна модель
- ❖ По-друге: моделі адаптовані до спостережень
  - Не навпаки!

# Стандартна Модель

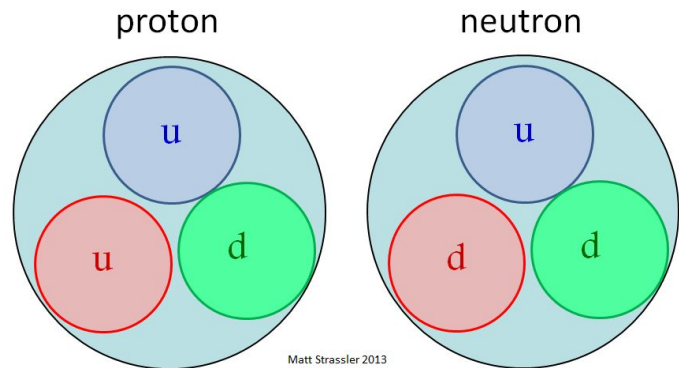
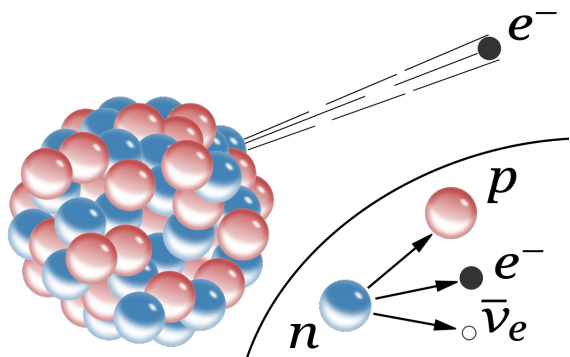
- ❖ У теперішньому часі, теорія у фізиці, що найкраще описує світ частинок та їх взаємодію.
- ❖ Набір відомих елементарних частинок - 61(частинки та анти + внутрішні характеристики)
  - Розрізняють частки та античастинки
  - електрон є одним з них
  - протон - комплексна частинка



# Чотири Фундаментальні Сили

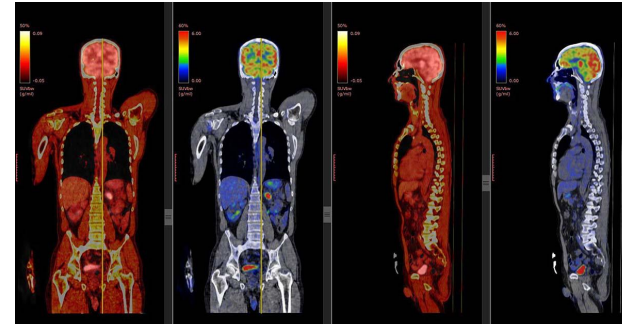
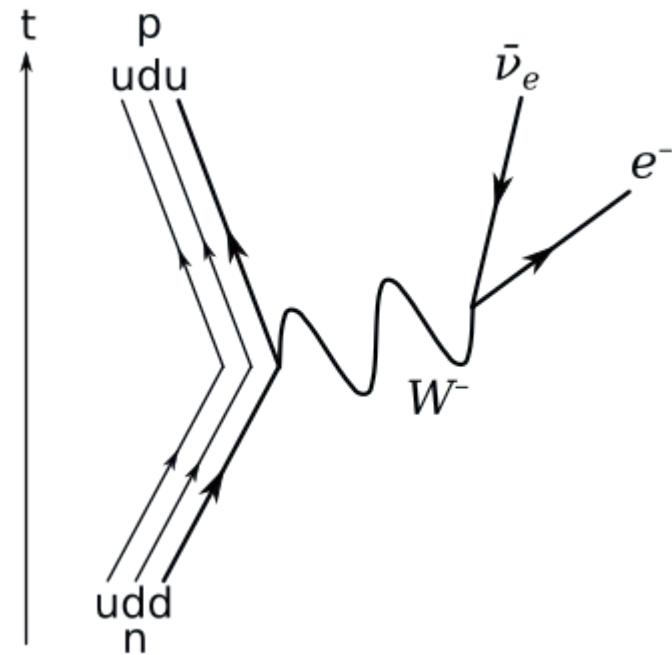
- ❖ Сила тяжіння
  - Гравітон ще не описаний
- ❖ Електрослабкий
  - Слабкий
  - Електромагнітний
- ❖ Сильна сила
- ❖ Частинки здійснюють взаємодію

Чотири елементарні взаємодії відповідають за всі фізичні явища, що спостерігаються у Всесвіті

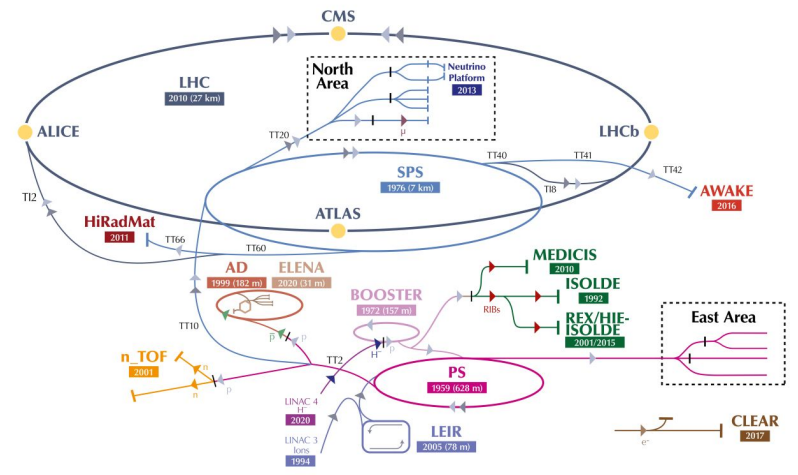


# W і Z бозони. Нейтральні струми

- ❖ Слабка сила є посередником ядерного розпаду. Має дуже короткий радіус дії, але є єдиною силою яка взаємодіє з нейтрино
- ❖ W приймають участь у бета розпаді
  - Має назву - заряджений струм
  - Взаємодії зарядженого струму є класом слабких взаємодій, які найлегше виявляється
- ❖ Навпаки, Z-частинка є електрично нейтральною



- ❖ Великий адронний колайдер
- ❖ Розташоване в прикордонному регіоні між Францією та Швейцарією
- ❖ Кільце 27 км в окружності

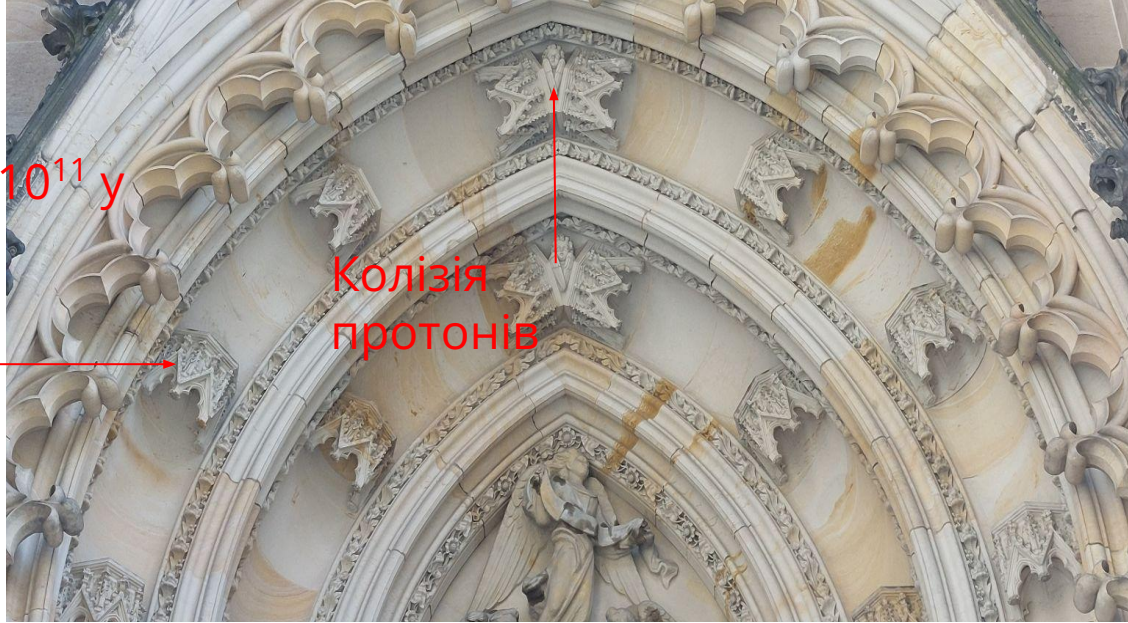


▶ H<sup>-</sup> (hydrogen anions)  
 ▶ p (protons)  
 ▶ ions  
 ▶ RIBs (Radioactive Ion Beams)  
 ▶ n (neutrons)  
 ▶  $\bar{p}$  (antiprotons)  
 ▶ e<sup>-</sup> (electrons)  
 ▶  $\mu$  (muons)

LHC - Large Hadron Collider // SPS - Super Proton Synchrotron // PS - Proton Synchrotron // AD - Antiproton Decelerator // CLEAR - CERN Linear Electron Accelerator for Research // AWAKE - Advanced WAKEfield Experiment // ISOLDE - Isotope Separator OnLine // REX/HIE-ISOLDE - Radioactive Experiment/High Intensity and Energy ISOLDE // MEDICIS // LEIR - Low Energy Ion Ring // LINAC - LINear ACcelerator // n\_TOF - Neutrons Time Of Flight // HiRadMat - High-Radiation to Materials // Neutrino Platform

# Авторське бачення

Протони  $10^{11}$  у  
банчі



Колізія  
протонів

[ЛІНК]

# Векслер Володимир

- ❖ Народився у м. Житомері, 1907
- ❖ Фундатор прискорювальної техніки (фазотрони, синхрофазотрони, синхротрони) у СРСР
  - У 1944 сформулював принцип автофазування, що є ключовим ФВЕ та стало причиною виникнення
  - У 1947 під його керівництвом перший радянський синхрофазотрон
- ❖ Перший директор лабораторії високих енергій ОІЯД (JINR), Дубна
- ❖ У 1963 присудженна премія "[Атом для миру](#)"





# Багата історія

- ❖ Гаргамель (бульбашкова камера) - нейтральний струм був відкритий на PS в 1973 році
- ❖ UA1 і UA2 (дротова камера) - бозони Z&W були відкриті на SPS у 1984 році
- ❖ Всесвітня павутина (www), почата в ЦЕРН у 1989 році
- ❖ Минулого місяця була річниця відкриттю



Гаргамель на території CERN

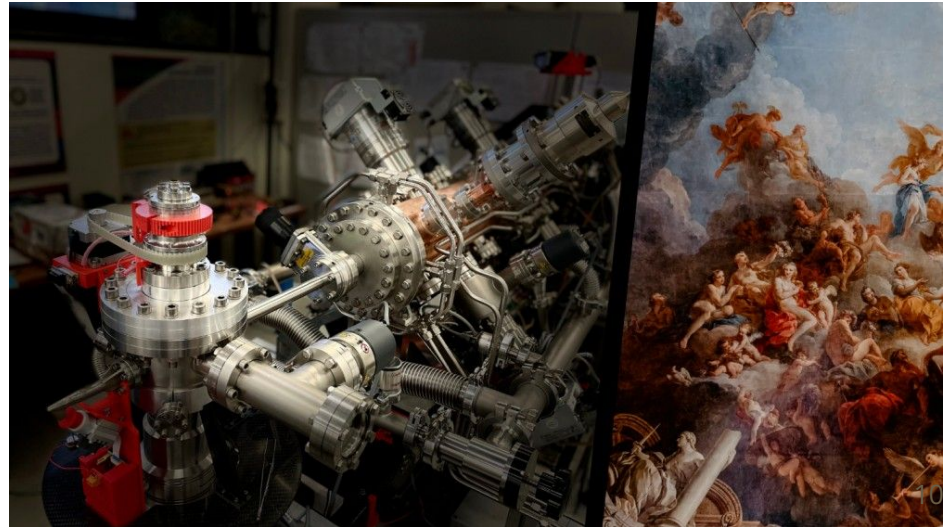


Дротова Камера UA1 у Музеї Мілана

# Відкриття Бозона Хіггсу

- ❖ LHC — перший колайдер частинок, здатний виробляти у значній кількості бозонів Хіггса
- ❖ Це було в ніч на 11 червня 2012 року в Церні, майже через 50 років після першої гіпотези про цю скалярну частинку
- ❖ Ключовий елемент для кращого розуміння фундаментальної структури Всесвіту

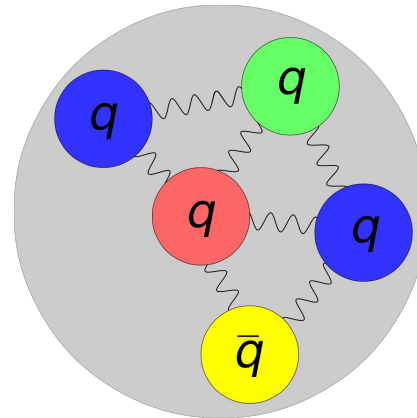
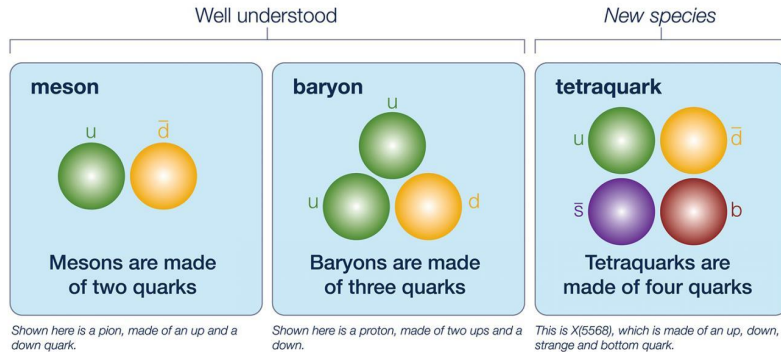
ВАК - витвір мистецтва!



**[Як знайшли бозон Хіггса]**

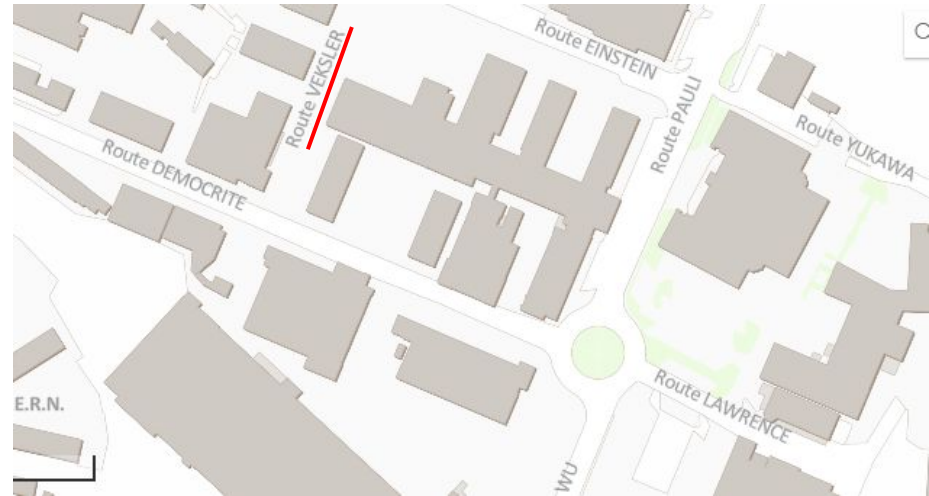
# Сучасні дослідження

- ❖ Тетракварки (4 кварки) - були спостережені
- ❖ Пента кварк (5 кварки) - були спостережені
- ❖ Гравітація між матерією та антиматерією немає відмінностей



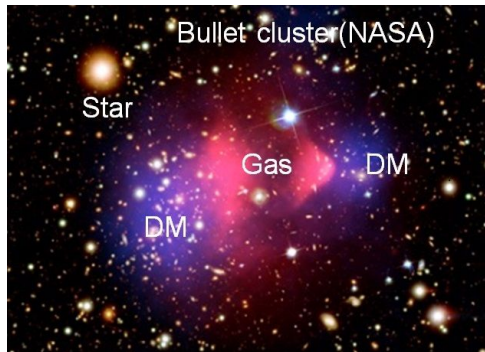
# Інтерлюдія I

- ❖ Усі вулиці CERN названі на честь відомих фізиків [[route Veksler](#)]
- ❖ ЦЕРН є домом для найбільшої популяції диких орхідей в басейні Женевського озера, тут росте 16 видів

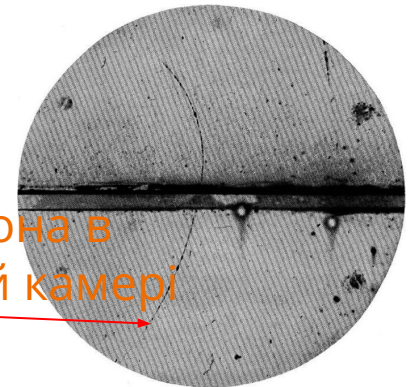


# Гравітація і антиматерія

- ❖ Загальна теорія відносності Ейнштейна з 1915 року залишається найбільш вдалим описом гравітації
  - Концепції темної матерії та темної енергії не розкриті до кінця
  - Гравітаційні сингулярності та відсутність квантової теорії гравітації
  - Модель неповна!
- ❖ Антиматерію передбачив Дірак у 1928 році
  - Позитрон спостерігали в 1932 році
    - “single picture of such clarity and distinctness that it commands acceptance”
  - Яка ж є гравітаційна сила між матерією і антиматерією?



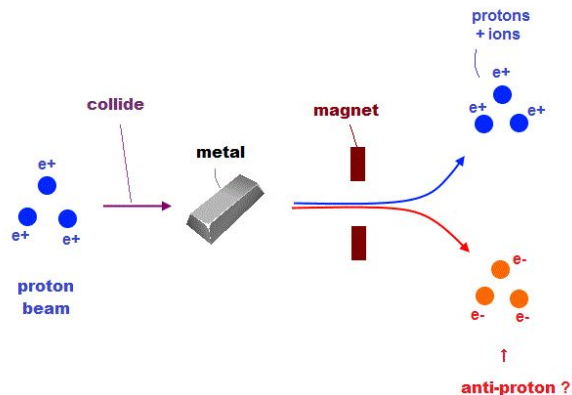
Шлях позитрона в  
бульбашковій камері



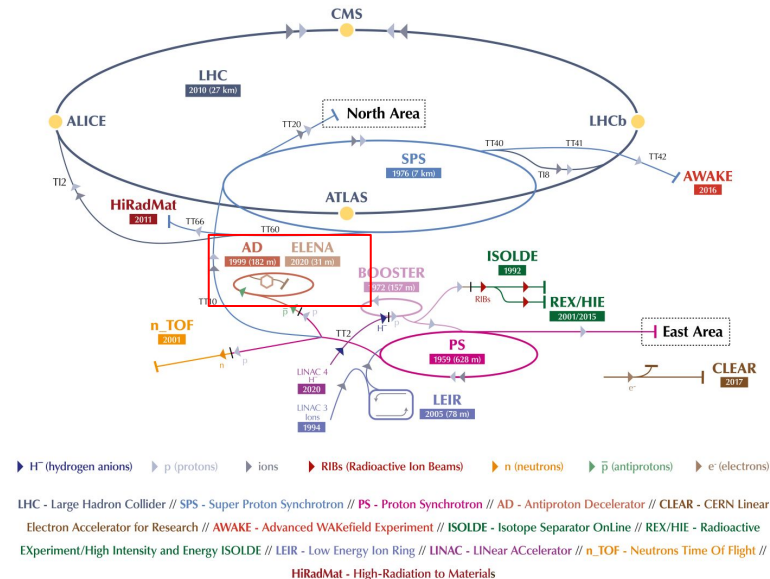
# Комплекс LHC і Alpha експеримент

❖ ELENA і Antiproton Decelerator утворюють ядро антигідрогену - антипротон

- Повільний механізм
- Джерелом антипротонів є реакція  $p+p \rightarrow p+p+p+ap$

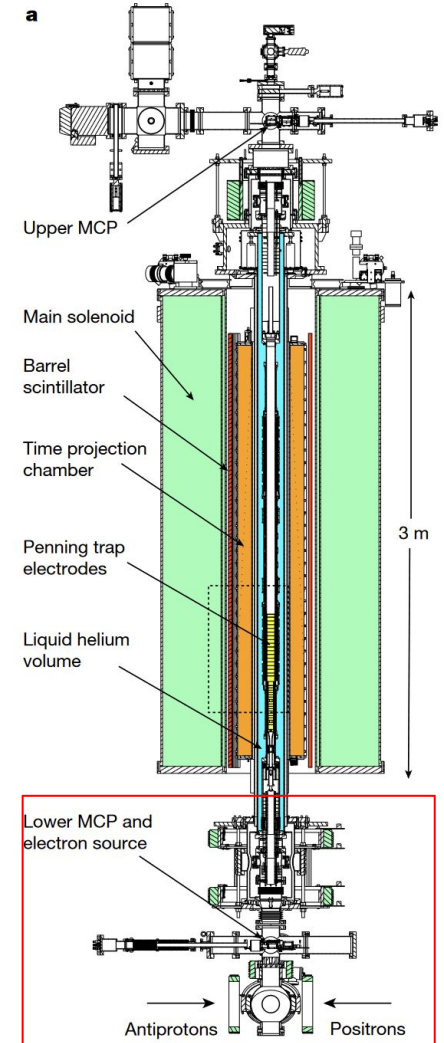


The CERN accelerator complex  
Complexe des accélérateurs du CERN



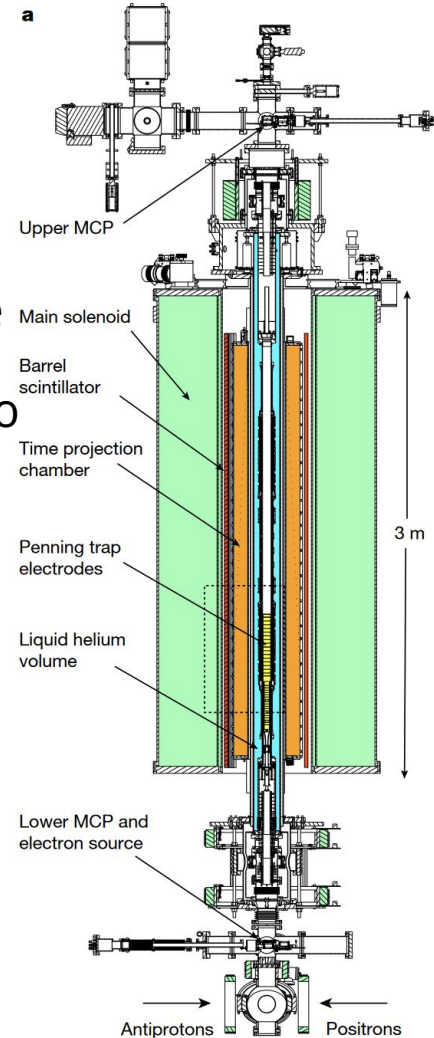
# Alpha-g

- ❖ Атоми антиводню: негативно заряджені антипротони, вироблені та сповільнені на фабриках антиматерії, і зв'язуючи їх із позитивно зарядженими позитронами,
- ❖ Утримують нейтральні, але злегка магнітні атоми антиматерії в магнітній пастці, що запобігає їх контакту з матерією та анігіляції.



# Alpha-g структура

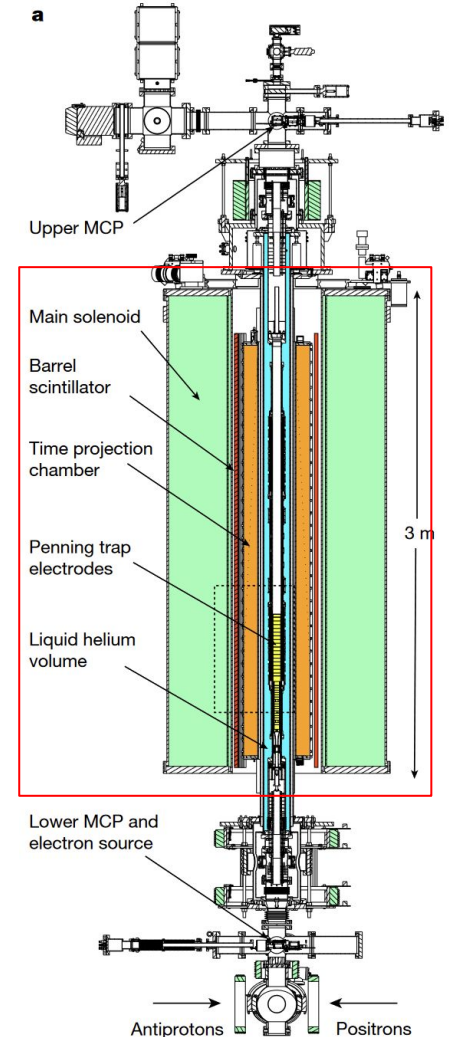
Магнітне поле  
Детекція анігіляції з матерією  
Пастка для накопичення  
Система охолодження  
термального руху  
Пастка для сповільнення





# Alpha-g

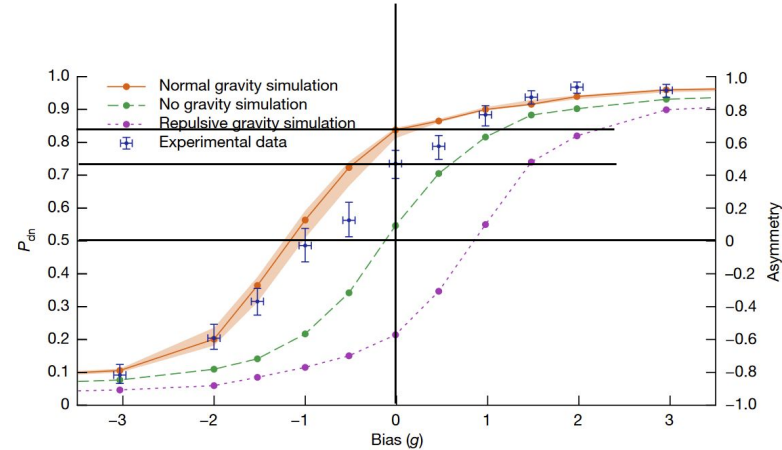
- ❖ Вертикальний апарат ALPHA-g, вимірює вертикальні положення, в яких атоми антиводню аніглюють з речовиною, коли магнітне поле пастки вимикається
- ❖ Прискорення атома антиводню узгоджується зі знайомою силою тяжіння між матерією та Землею (20% of g)



# Alpha-g магнітні поля

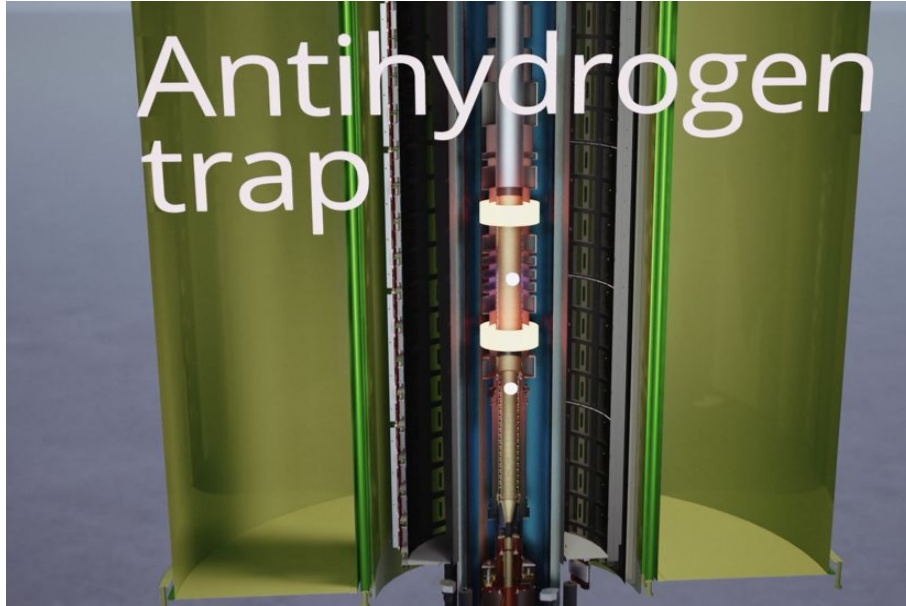
- ❖ bias  $\beta_g = \frac{\mu(B_G - B_A)}{m_H(z_G - z_A)}$ 
  - Імітація додаткової сили гравітації завдяки соленоїду
  - Дає можливість перевірити різні ймовірні типи гравітації та її сили

Nominal bias (g)	Number of trials	$N_{up}$ (events)	$N_{dn}$ (events)	Events during LOc ramp-down
-3.0	7	151.7	16.5	199.2
-2.0	7	128.7	33.5	168.2
-1.5	6	128.9	57.7	192.0
-1.0	7	69.7	62.5	183.2
-0.5	7	55.7	67.5	201.2
0	7	36.7	94.5	144.2
0.5	7	36.7	124.5	177.2
1.0	7	17.7	119.5	185.2
1.5	6	13.9	180.7	234.0
2.0	7	6.7	163.5	228.2
3.0	7	7.7	147.5	199.2
-10.0	6	142.9	0.7	169.0
10.0	6	-0.1	185.7	213.0



2600+ подій

# Ілюстрація



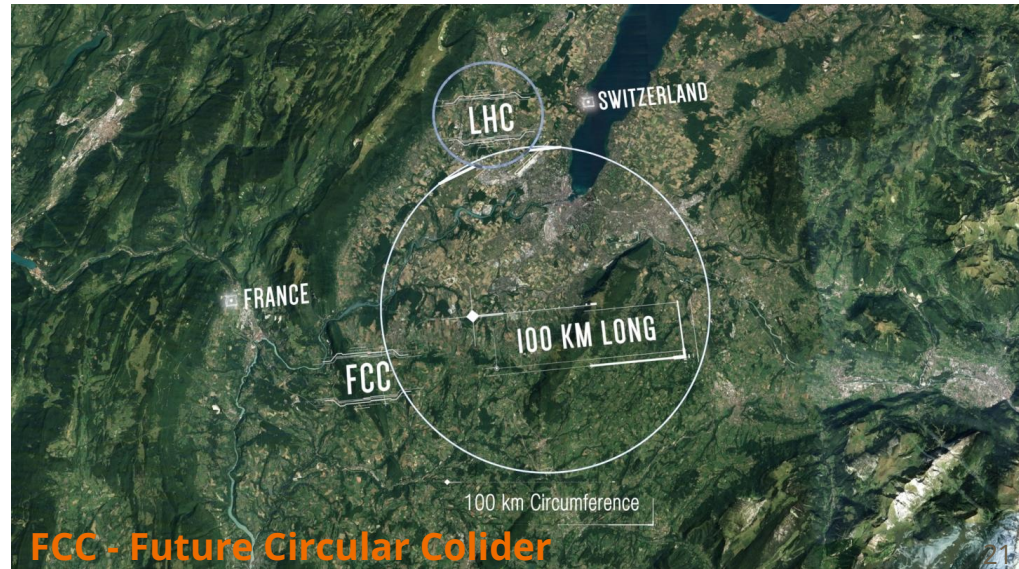
# Інтерлюдія II

- ❖ ЦЕРН використовує овець для підтримання фауни на території ефективна і природна
- ❖ 70 овець і два барани, стадо утримує п'ять гектарів
- ❖ Упродовж понад 45 років



# Бонус - Майбутнє

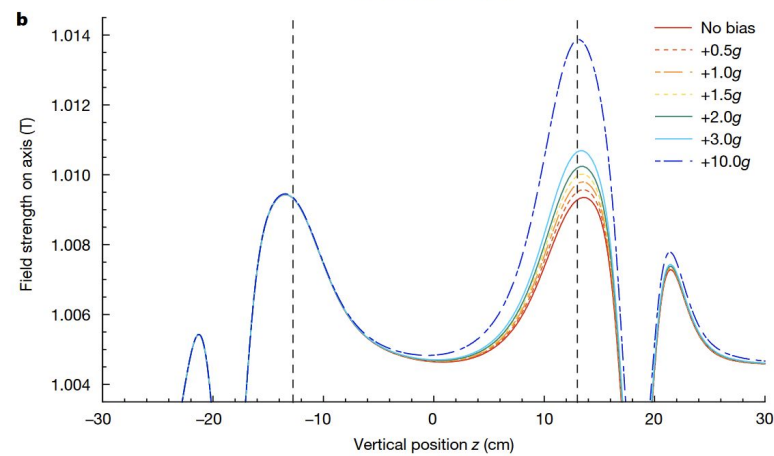
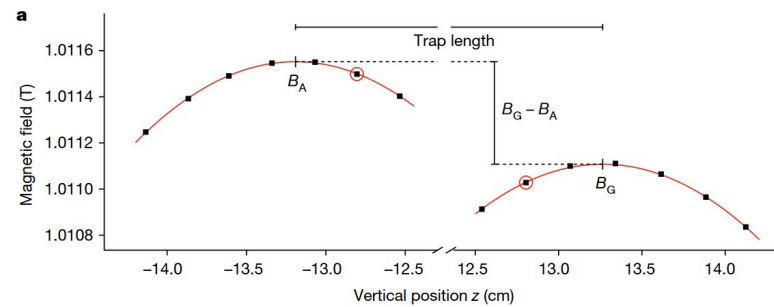
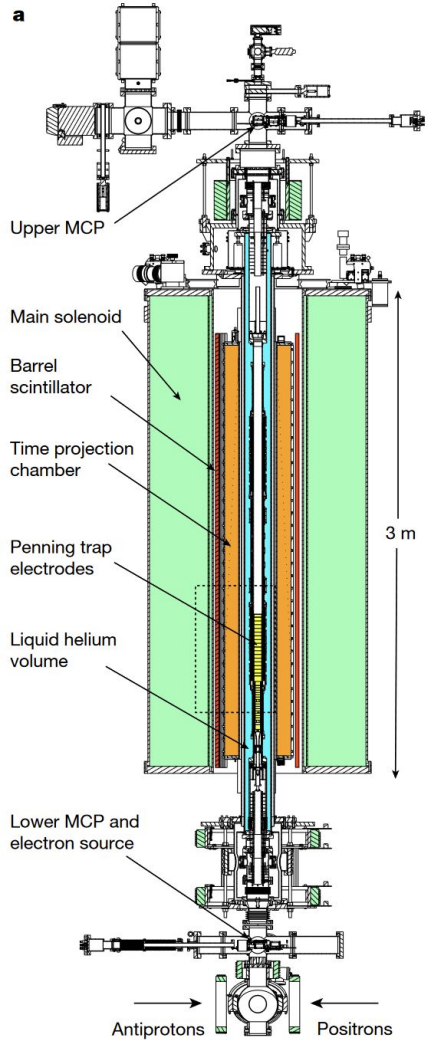
- ❖ Мюонний колайдер на 10 TeV міг би конкурувати з протонним колайдером на 100 TeV.
- ❖ Мюонний колайдер, що працює в діапазоні енергій порядку кількох TeV, був би багатообіцяючим фабрикою і машиною для точний вимірювань



# Програми CERN для українців

- ❖ Ознайомитися з пропозиціями від CERN для українців можна [ТУТ](#)
  - Для школярів і вчителів
- ❖ Будьте сміливими, проявіть свою завзятість у листі до научного керівника у CERNі

# BackUp





# Потенційні Майбутні теми

- ❖ Feynman Diagrams
- ❖ Perturbative QCD
- ❖ MC generators
- ❖ CP violation
- ❖ Vertexing and Tracking
- ❖ h->bbbb

# Деякі не розкриті теми у фізиці частинок

- ❖ Theory of everything
- ❖ Quantum gravity
  - What is time?
- ❖ Non-perturbative QFT
- ❖ Baryon asymmetry
- ❖ Neutrino Oscillation in SM
- ❖ Magnetic monopoles
- ❖ Instantons
- ❖ Supersymmetry
- ❖ Color confinement
- ❖ G-2 - kinda resolved?
- ❖ Lithium abundance
- ❖ Quark-gluon plasma
- ❖ Perturbative QCD