CHARLES UNIVERSITY

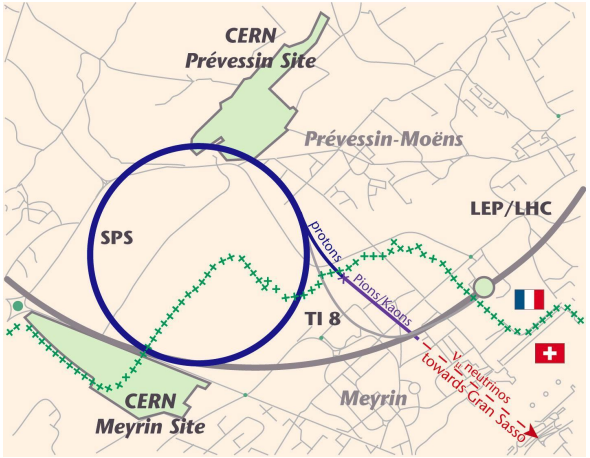
ATLAS EXPERIMENT

Кільце-Володар Прискорених Протонів

Денис Тімошин

CERN

- Centre European Research Nuclear
- Розташоване в прикордонному регіоні між Францією та Швейцарією
- 24 країн учасників. Україна є Асоційованим членом



Багата історія

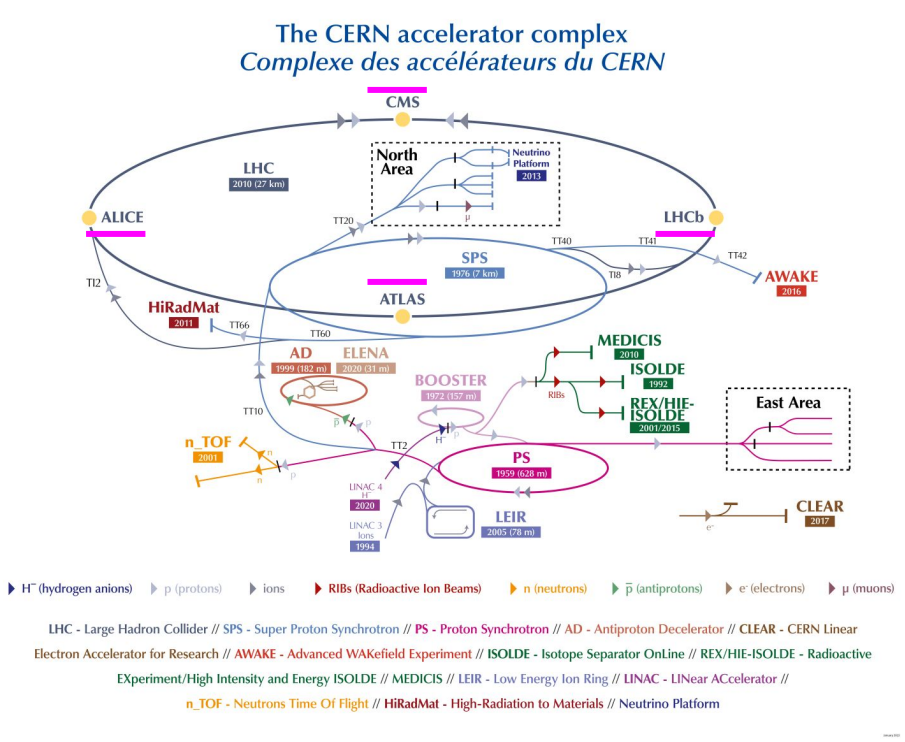
- Гаргамель (бульбашкова камера) - нейтральний струм був відкритий на PS в 1973 році
- UA1 і UA2 (дротова камера) - бозони Z&W були відкриті на SPS у 1983 році
- Всесвітня павутина (www.), заснована в ЦЕРН у 1989 році
- Exabyte - мілльон терабайт данних (1018 bytes)

Gargamelle на території CERN

Дротова Камера UA1 у Музеї Мілана

Large Hadron Collider

- Великий Адронний Колайдер
- Кільце **27 км** в окружності



Історія LHC

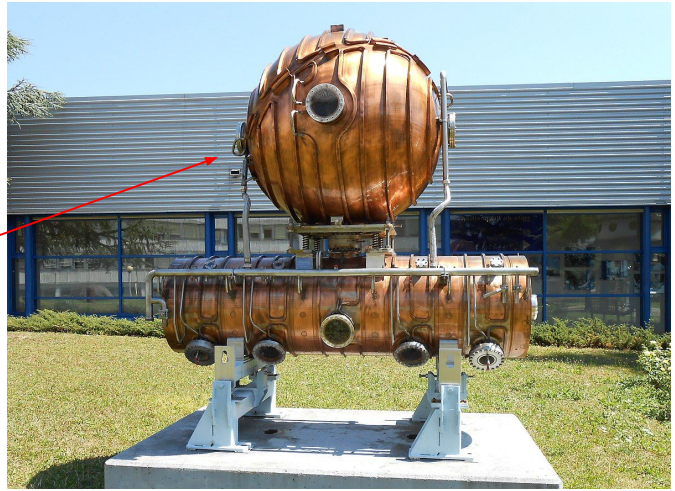
- Концепція LHC заснована початку 1980-х років, коли попередній прискорювач LEP ще не працював
  - Будівництво тунелю 1983–1985
  - LEP оснащення 1983–1988
- Дані зібрані у LEP натякнули, що частинка, схожа на бозон Хіггса, має масу 115 ГеВ
- 2000 році LEP почали демонтувати і тунелі використали для LHC
- Перший тестовий струмінь протонів у 2008
- Пуск 1: 2009–2013 (7/8 TeV)
  - Знайдена частинка, схожа на бозон Хіггса, з масою 125 ГеВ
- Пуск 2: 2015-2018 (13 TeV)
  - Моя дисертація (робота триває)
- Пуск 3: 2022-2026 (13.6 TeV)
  - Робота триває

Мікрочастотний резонатор LEP

Мікрочастотний резонатор LHC

Історія LHC

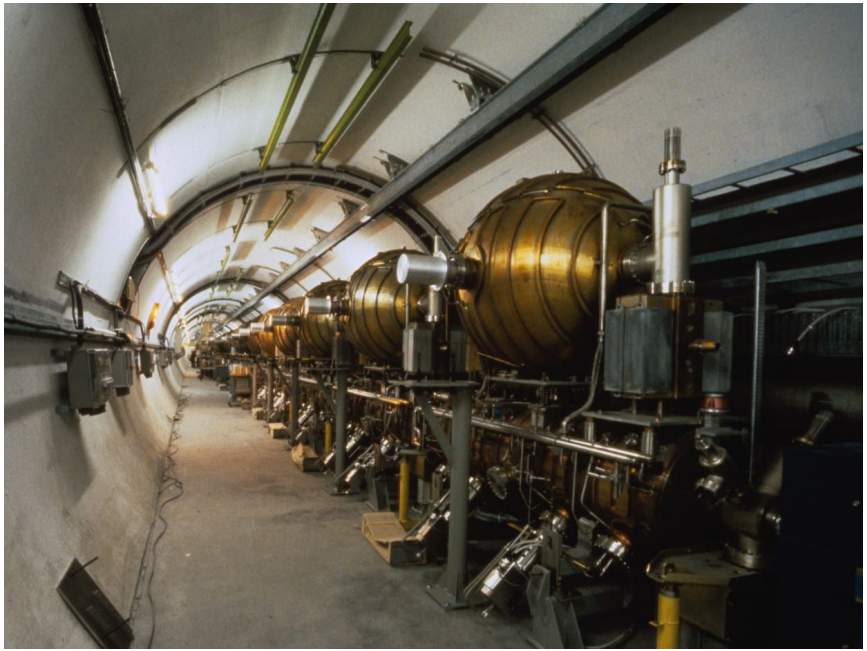
Куля-порожнина для зберігання електроенергії. У нових резонаторах вона відсутня, бо вони працюють у надпровідному стані. Оба резонатори працюють на частотах 350/400 МГц



Мідний Мікрочастотний резонансний прискорювач LEP

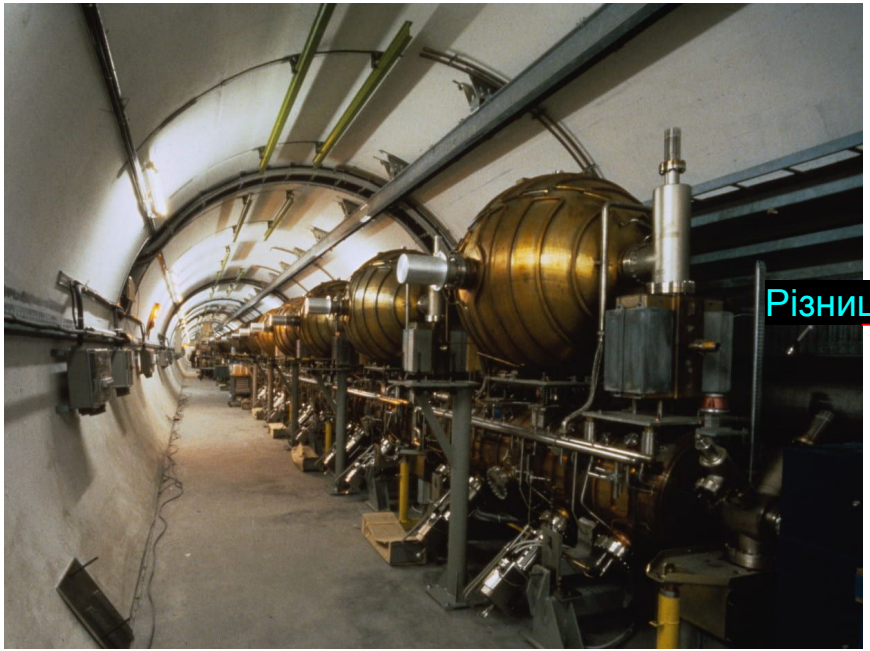
Надпровідний Мікрочастотний резонансний прискорювач LHC

Туннель в LEP і LHC

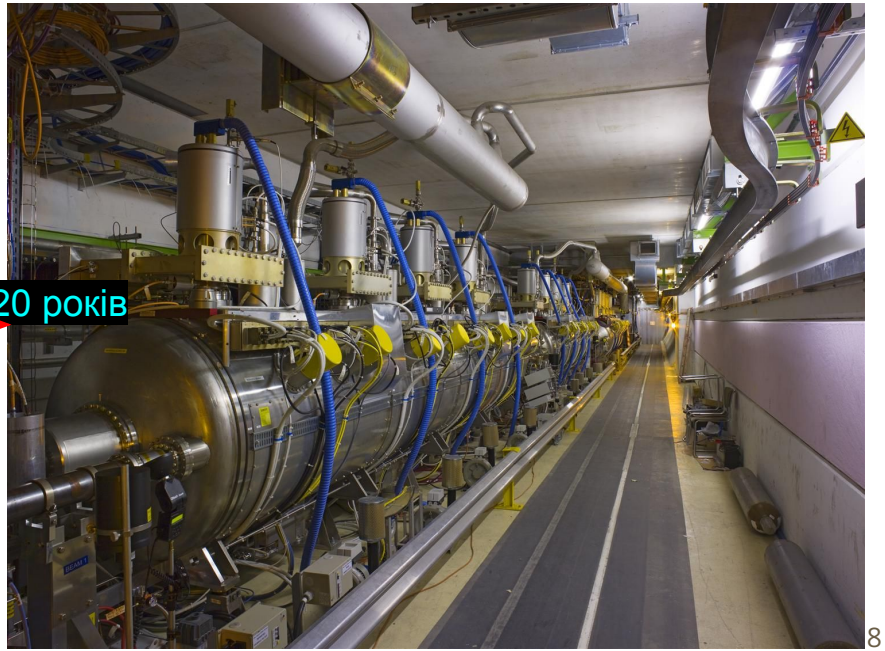


Туннель в LEP і LHC

- Електрони це елементарні частинки, на відміну від протонів, що складаються з кварків і глюонів, тому їх зіштовхнення більш чисті, але протони можна прискорити до більших енергій
- Частинки повині бути заряджені

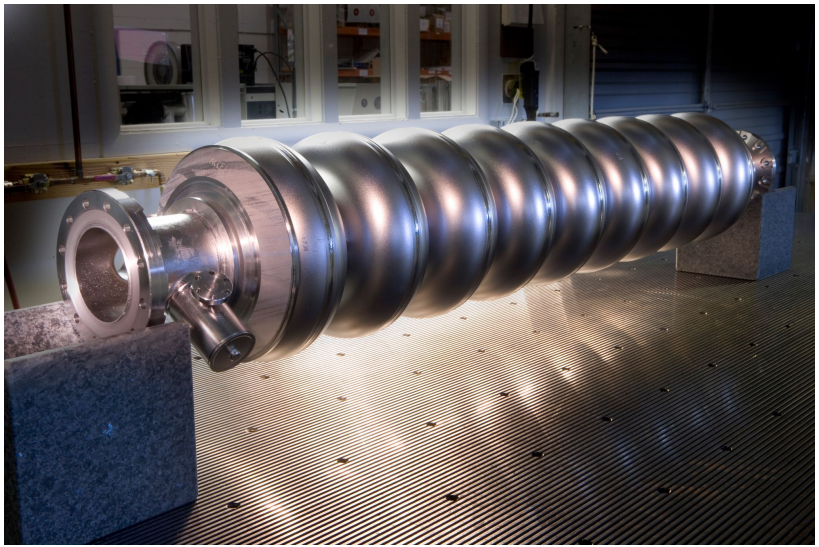


Різниця 20 років



Детальніше про прискорювальну порожнину

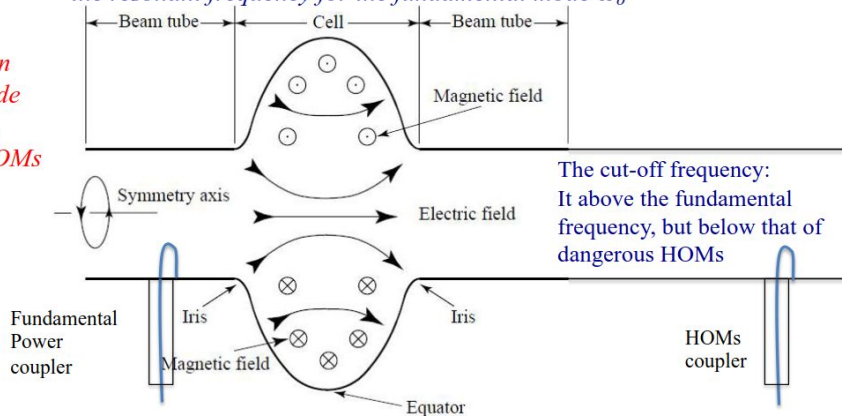
- Виготовлений з Ніобію



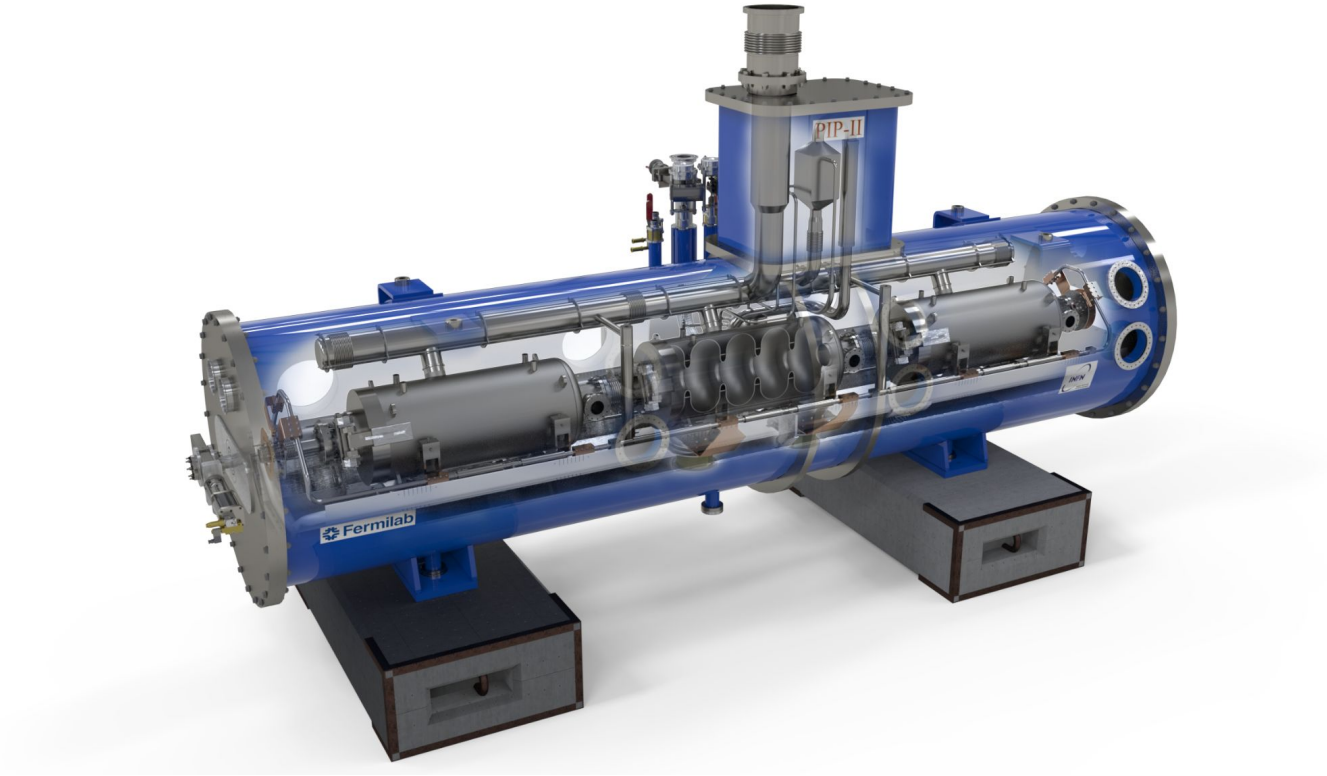
H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	**Nb**	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	**	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og

The shape and the size of the cavity determines the resonant frequency for the fundamental mode ω_o

Modes other than fundamental mode are called high-order modes -HOMs

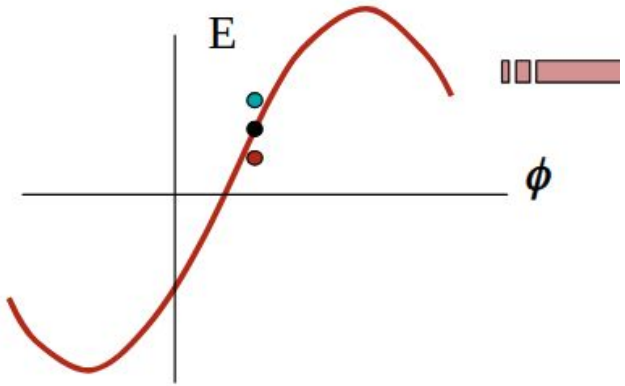


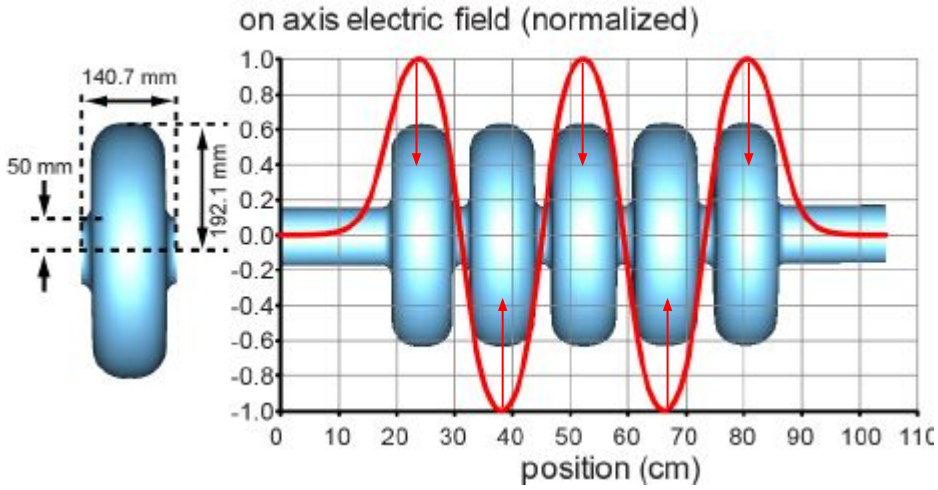
Кріогенна система



Фазова стабільність

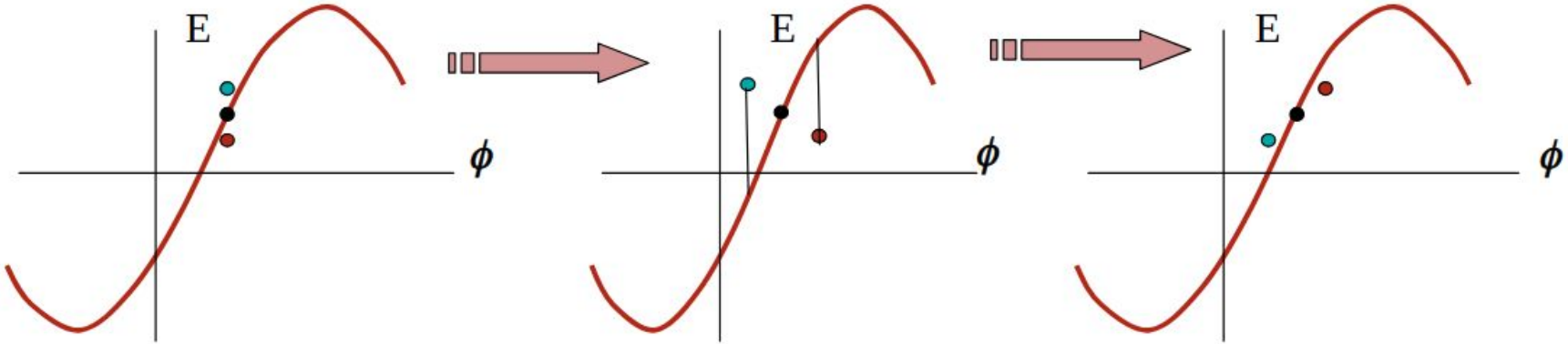
- 25 ns = 40 MHz
  - Частота хвилі в порожнині - 400 MHz
- 2556 пучків у протонному струмені
  - Струмень не бузперервний





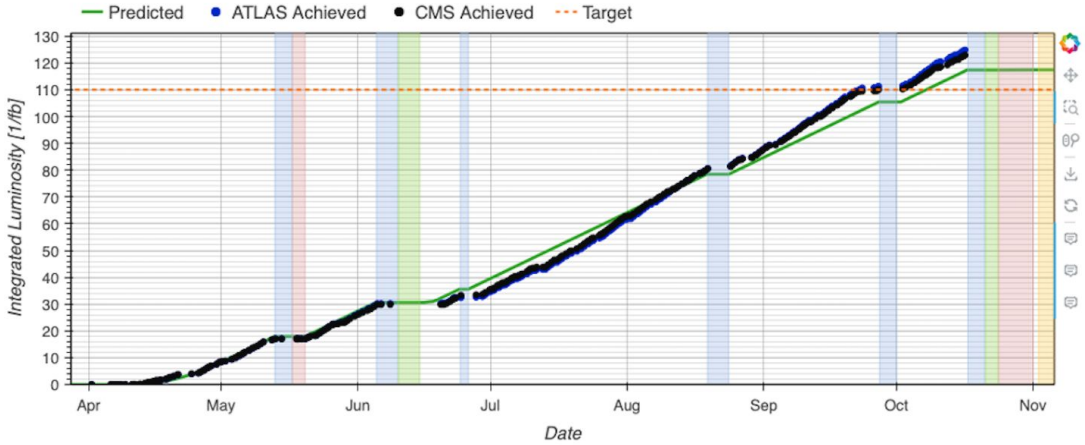
Фазова стабільність

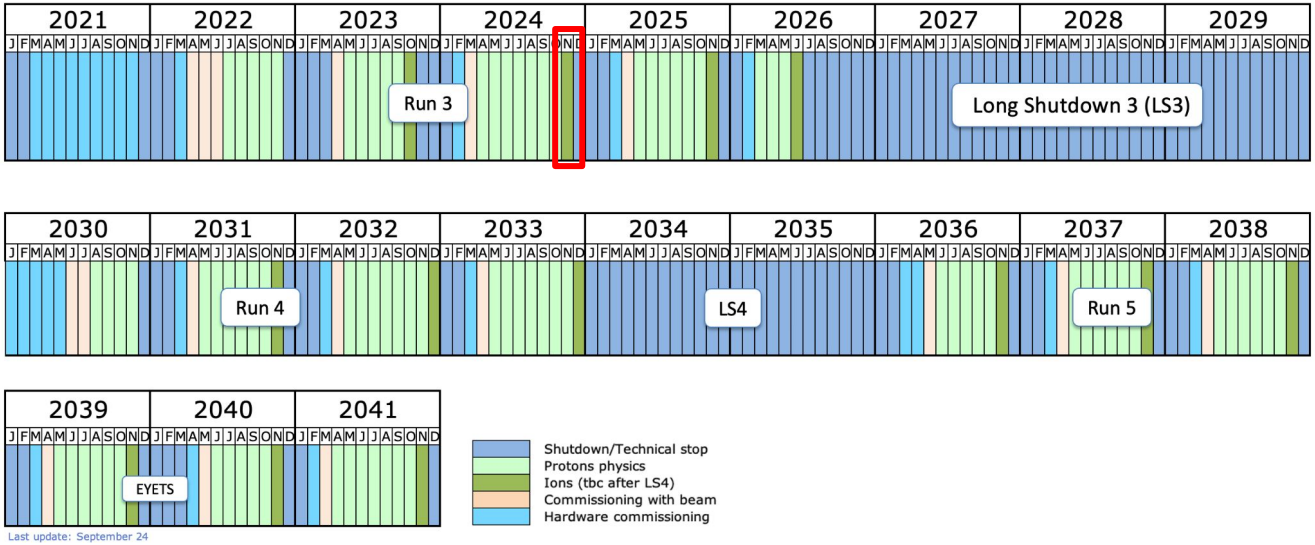
- Усі три частинку на початку порожнин мають однакову фазу, але різні швидкості (перша картинка). Частинка з синьою барвою в пучці швидша за інші, відчуває сильне прискорення, на відміну за інші (друга картинка). Червона частинка, найповільніша, відчуває слабке прискорення (друга картинка). Але через проходження через резонансний прискорювач - всі вони кінцевому підсумку мають однакові швидкості, *і навіть зберігають фазу* - фазова стабільність (третя картинка). Це явище дозволяє використовувати один і той же протонний пучок багато разів з одинавою продуктивністю



Сьогодення на LHC

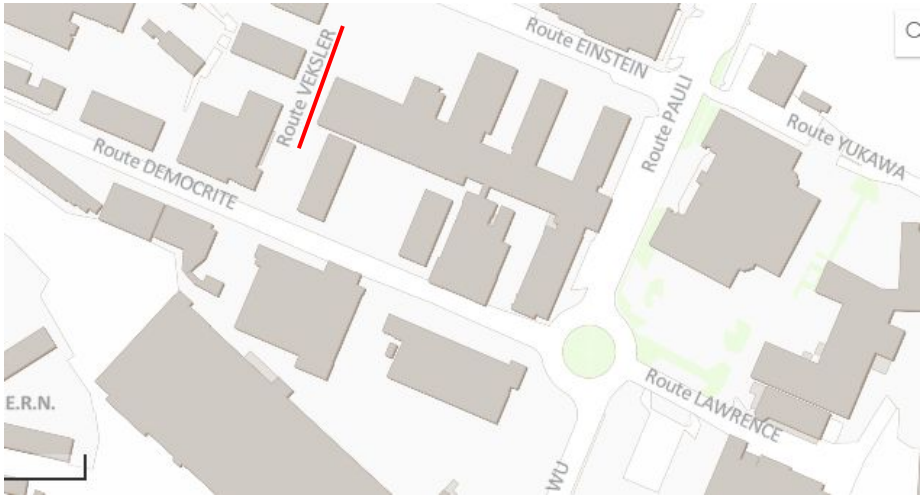
- Листопад - зіштовхнення важких іонів
- Протягом Пуску 3 вже зібрано більше даних ніж під час усього Пуску 2





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

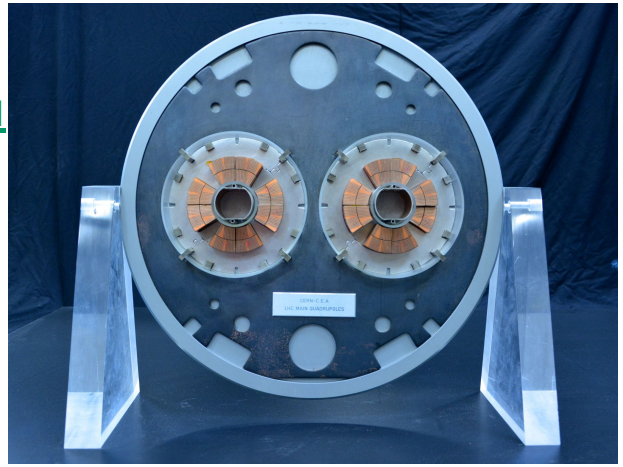


Технології та навички LHC

- Необхідні Навички для функціонування LHC
  - Точна інженерія
  - Електротехніка
  - Управління та адміністрування
    - Техніка
    - Людський ресурс
  - Машинобудування
  - Фізика
    - Оптика
    - Фізика частинок
    - Теоретична
    - Термодинаміка

Позиції у Церні

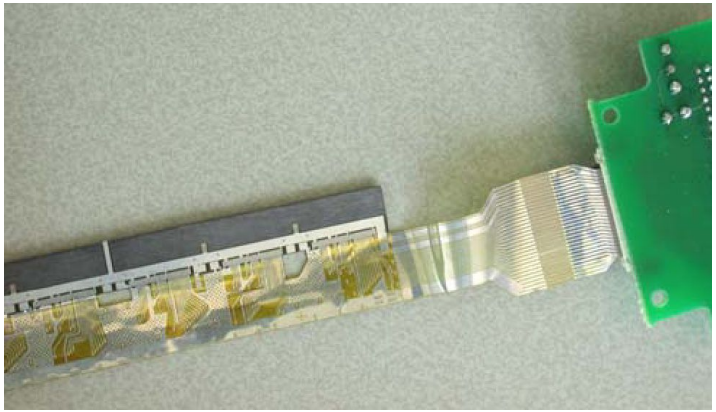
LHC фокусуючий магніт



Калориметри

Труба протонного пучка

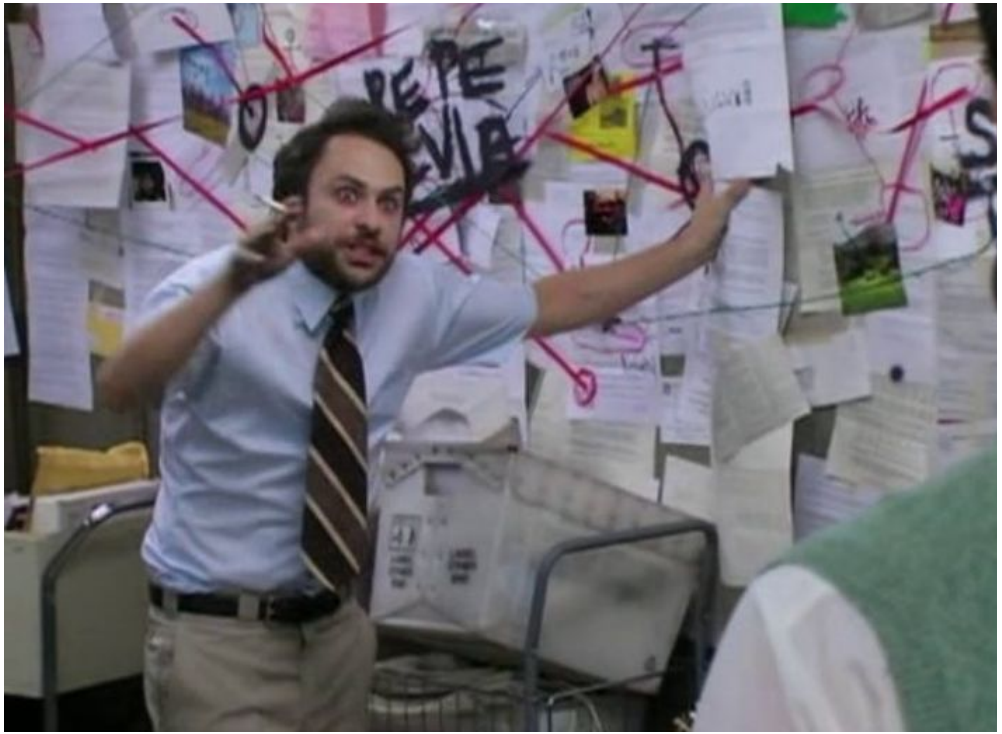
Новітні цифрові рішення



Схов даних

Обчислювальні технології

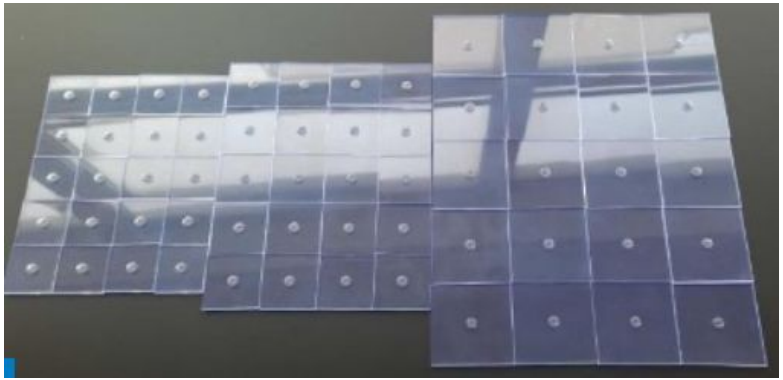
І звичайно: Теорія!



Деякі українські внески

- Кристали вольфрамату свинцю ($PbWO_4$) були виявлені, проаналізовані та розроблені як компоненти для детекторів ALICE та CMS в Інституті монокристалів, Харків
- Пластикові сцинтилятори для тригерних сцинтиляторів з мінімальним зміщенням (MBTS) були досліджені та виготовлені в Інституті сцинтиляційних матеріалів, Харків
- Дослідження та розробки та випробування пучка сцинтиляційного матеріалу для високозернистого калориметра CMS виконано Харківським фізико-технічним інститутом (ХФТІ)

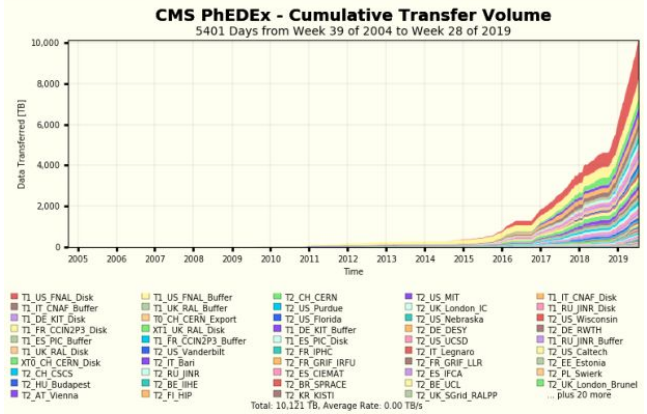
Нагорна Людмила

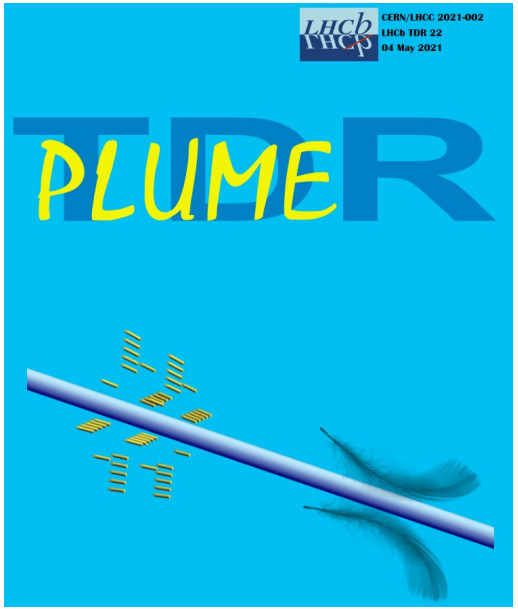


Деякі українські внески

- У ХФТІ розміщено центр Tier-2 обчислювальної GRID-інфраструктури.
- КНУ – ІСМА – ХФТІ зробили внесок у технологію, пропозицію, моделювання та прототипування, тестування променя та інноваційні дослідження старіння для нового люмінометра LHCb

Сервер Tier-2





Probe for **LU**minosity **ME**asurement

Українські студенти

2024

- Francis Roy Beckert, University of Stanford, "Fourier analysis to improve calorimeter fast simulations: The 6 Seasons mo
- Betul Dogrul, University of Bilkent, "RUST bindings for DIM"
- Penelope Hoffmann, University of Heidelberg, "Tracking Studies for the Upgrade II of the LHCb Experiment"
- Jonas Kann, RWTH Aachen University, Aachen, "Untangling the Cables: Streamlining Muon Detector Operation"
- Linnuo Zhang, University of Science and Technology of China, "(Re)discovery of the Doubly Charmed Baryon in LHCb-Ru

From left to right:
Penelope Hoffmann, Jonas Kann, Linnuo Zhang, Betul Dogrul

Honourable mentions

From left to right:
Volodymyr Svintozelskyi, William Rose, Simona Dubs, Emile Caire, Johann Himbert

2019

- Kevin Syc, University College London (UCL), "Development
- Vsevolod Yeroshenko, Taras Shevchenko National Universit
- Nicole Dolot, Babeș-Bolyai University, "Mobile Logbooks -W
- Alessandro Scarabotto, University of Ferrara, "Tracking S

2018

- Lukas Calefice, Technische Universität Dortmund, "Search for the decay D*s(231
- Valeriia Lukashenko, University of Amsterdam, "Results of RICH CLARO calibrati
- Krzysztof Wilczynski, Warsaw University of Technology, "An alternative approach

2015

- Michele Piero Blago, Universität Heidelberg, "Simulation and reconstruction of the RICH upgrade test beam"
- Vitalii Lisovskyi, Kharkiv National University, "Search for B^+ --> \mu$^+$ \nu_mu"
- Cristina Quast, Technische Universität Berlin, "A wireshark-based verification tool for the new LHCb common detector read-out board"

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

[Вівці в Церні]
[Охорона природних ресурсів]

Папа Римський у Церні

15 Червня 1982

Далай-лама у Церні

30 Серпня 1983

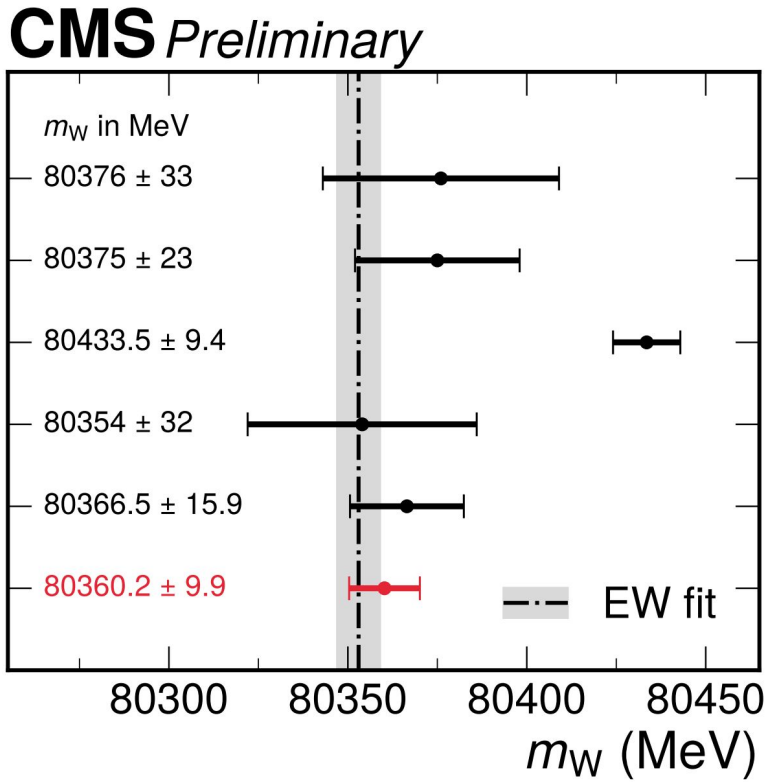
Херві Шопер

- Головний директор Церну, що зумів переконати нації задля будівництва LEP -> LHC

Сучасні вимірювання

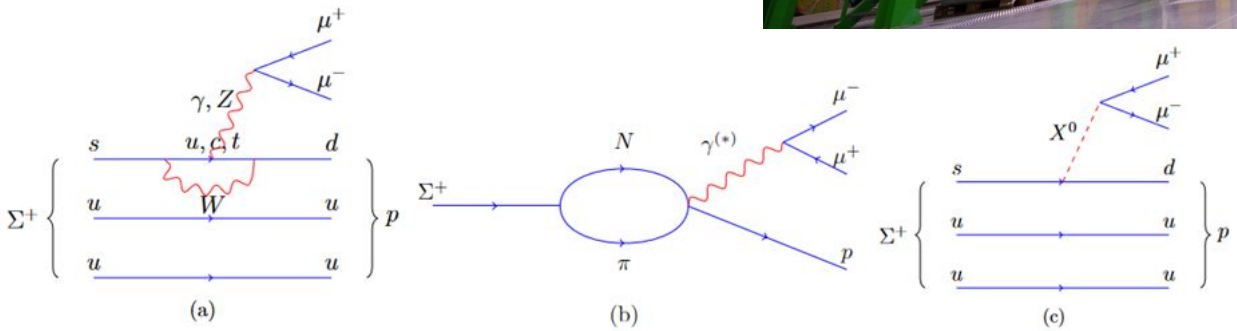
CMS у CERN виміряв масу W-бозона

LEP combination
Phys. Rep. 532 (2013) 119
D0
PRL 108 (2012) 151804
CDF
Science 376 (2022) 6589
LHCb
JHEP 01 (2022) 036
ATLAS
arxiv:2403.15085, subm. to EPJC
CMS
This Work



Сучасні вимірювання

Спостереження Найрідкіснішого Гіперіону в LHCb



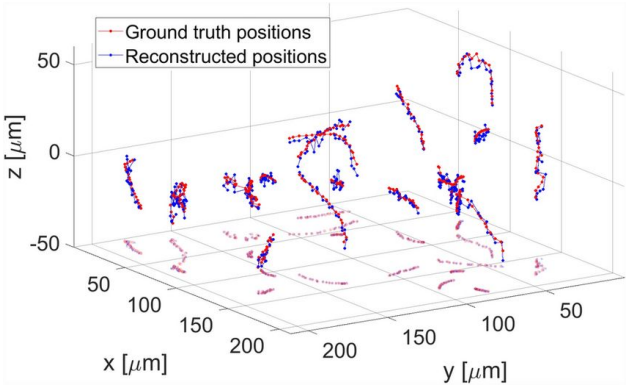
Сучасні вимірювання

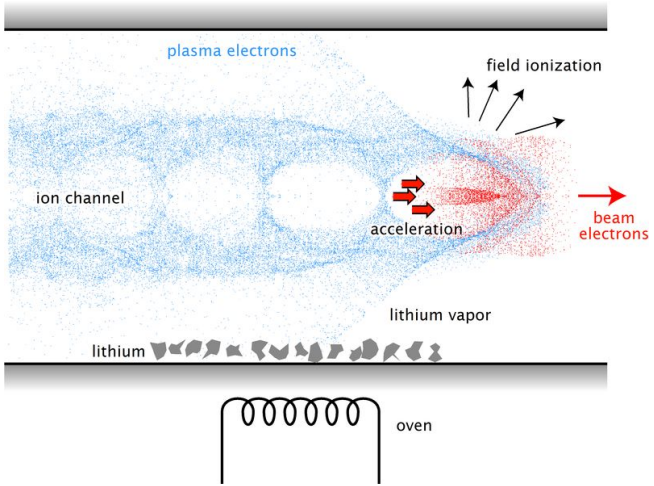
Експерименти LHC у CERN спостерігають квантову заплутаність у високих енергіях

Експеримент ATLAS розкриває утворення пари топ-кварків разом з іншими важкими кварками

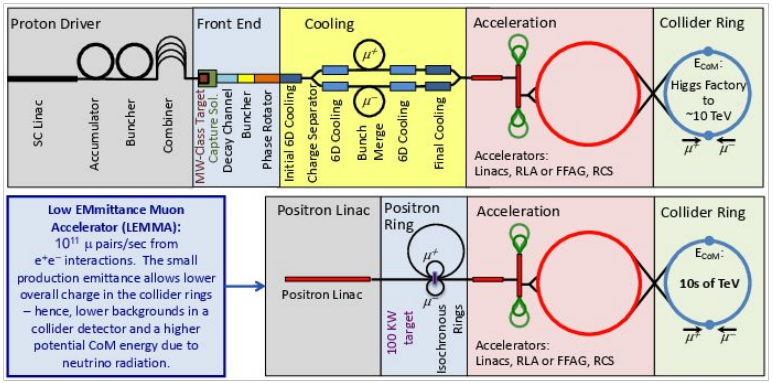
Колайдери майбутнього

4-D тракери



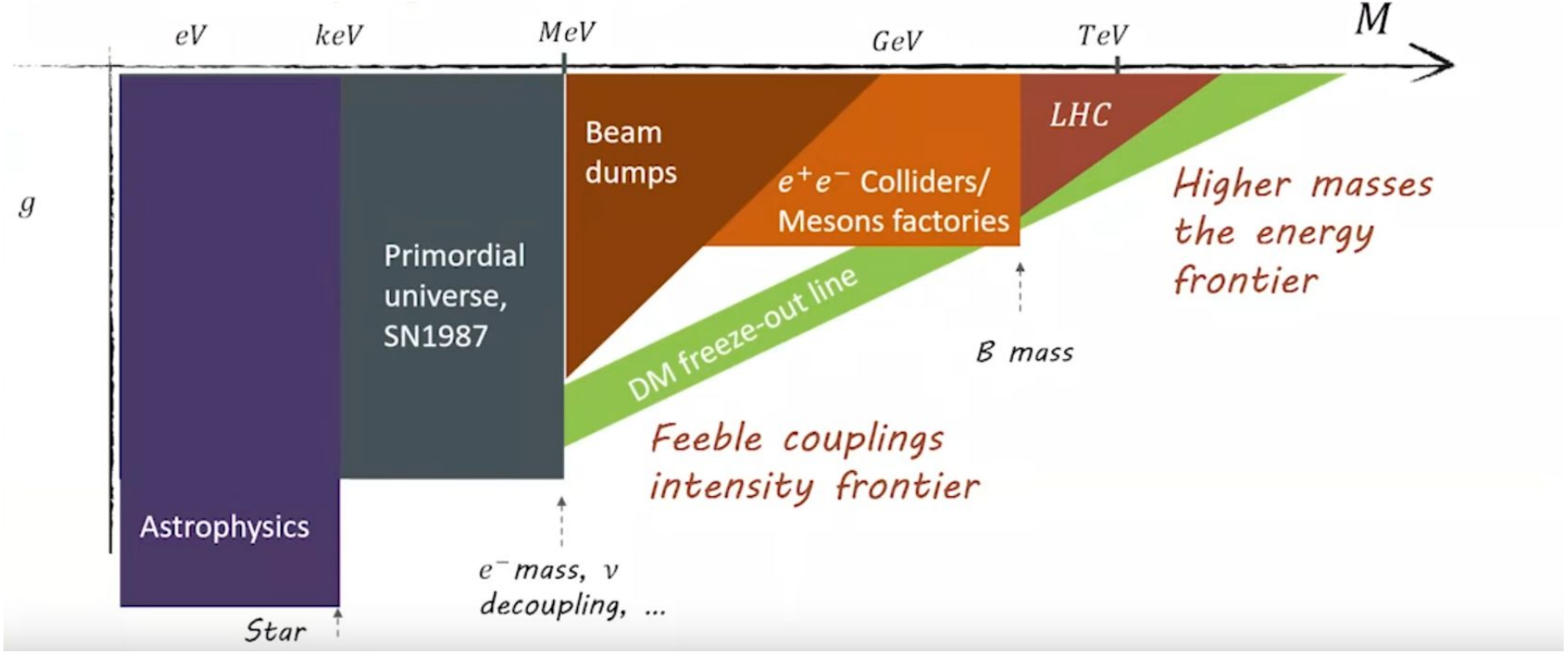


Плазмове прискорення



Мюонний коллайдер

Future


eV
keV
MeV
GeV
TeV
M
g
Beam dumps
e^+e^- Colliders/ Mesons factories
LHC
Higher masses the energy frontier
Primordial universe, SN1987
DM freeze-out line
B mass
Feeble couplings intensity frontier
Astrophysics
e^- mass, ν decoupling, ...
Star

Надпровідні резонансні прискорювачі

https://www.youtube.com/watch?v=pQhbhpU9Wrg

https://home.cern/news/news/accelerators/large-hadron-collider-reaches-its-first-stable-beams-2024

https://cds.cern.ch/record/1401088/files/p277.pdf

https://home.cern/science/engineering/accelerating-radiofrequency-cavities

https://cds.cern.ch/record/1997424?ln=en

https://uspas.fnal.gov/materials/21onlineSBU/Cryo/12%20-%20SRF%20Cavities.pdf

https://www.engr.colostate.edu/ECE581A3/Labs/RF%20Cavities.pdf

https://uspas.fnal.gov/materials/14UNM/RF_Structures.pdf

https://www.youtube.com/watch?v=SmgOw3qYrZc

https://indico.cern.ch/event/792215/contributions/3408423/attachments/1917033/3170174/EasiSchool-2-SRF_accelerator_cavities_E.Cenni_Final.pdf