

A nem-gyorsító (avagy nem-LHC/FCC) fizika kilátásai

Veres Gábor (ELTE)

(Plenary European Committee for Future Accelerators delegált)

Európai részecskefizikai stratégia frissítése

2024. december 16.

Budapest, ELTE TTK Északi Tömb [0.100C]

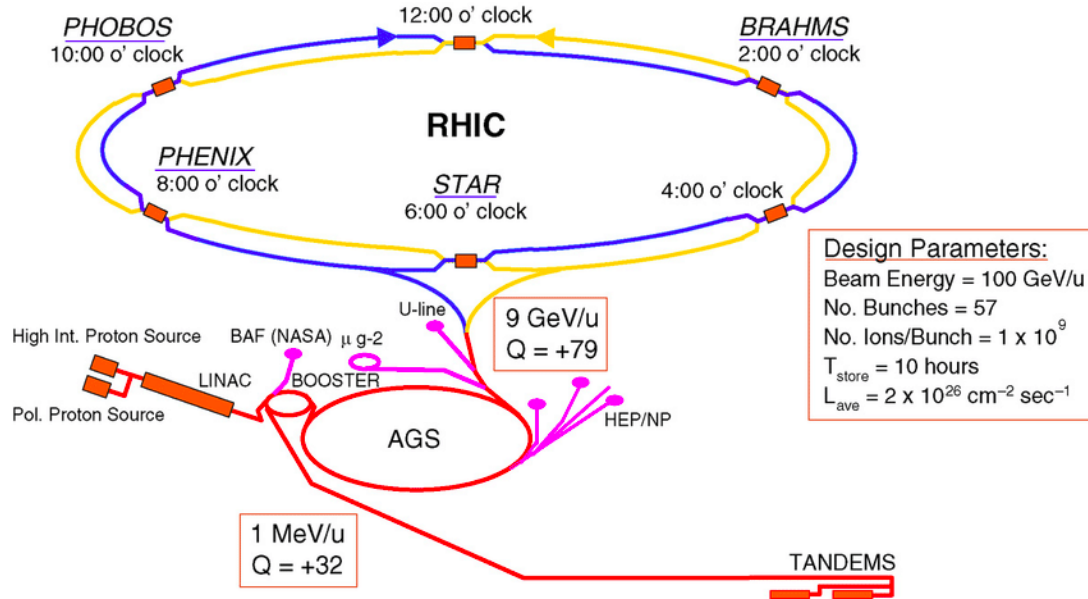


Tartalom

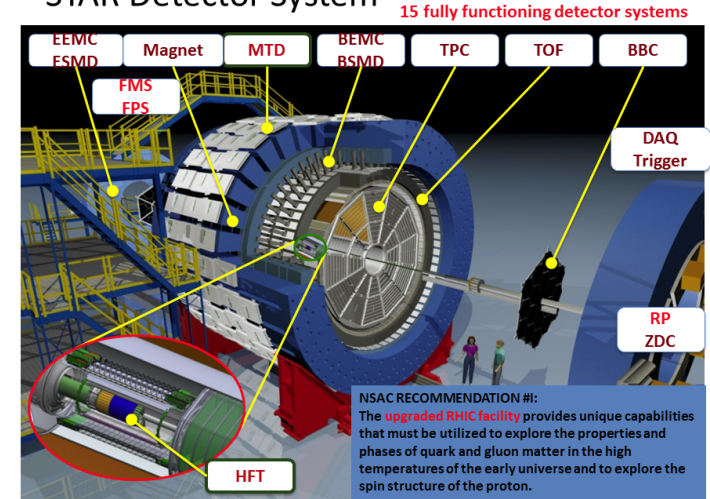
- Gyorsítók – a tervezett “szupergyorsítókon” kívül
- Lassítók és antianyag
- Nehézionok és íz-fizika
- Neutrínók – gyorsítókkal és nélkülük
- Kozmikus sugárzás
- Axionok, sötét anyag detektorok
- Gravitációs hullámok
- Űreszközök
- Klímakutatás



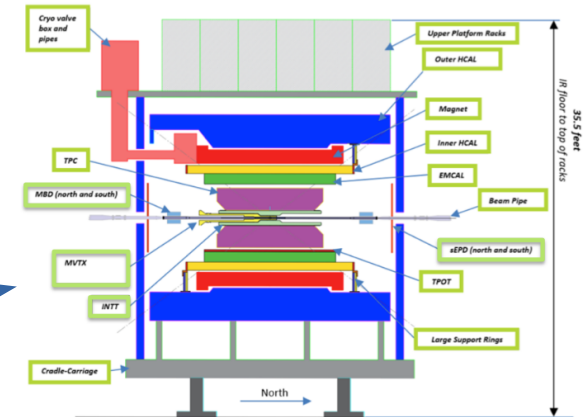
Relativistic Heavy Ion Collider



STAR Detector System



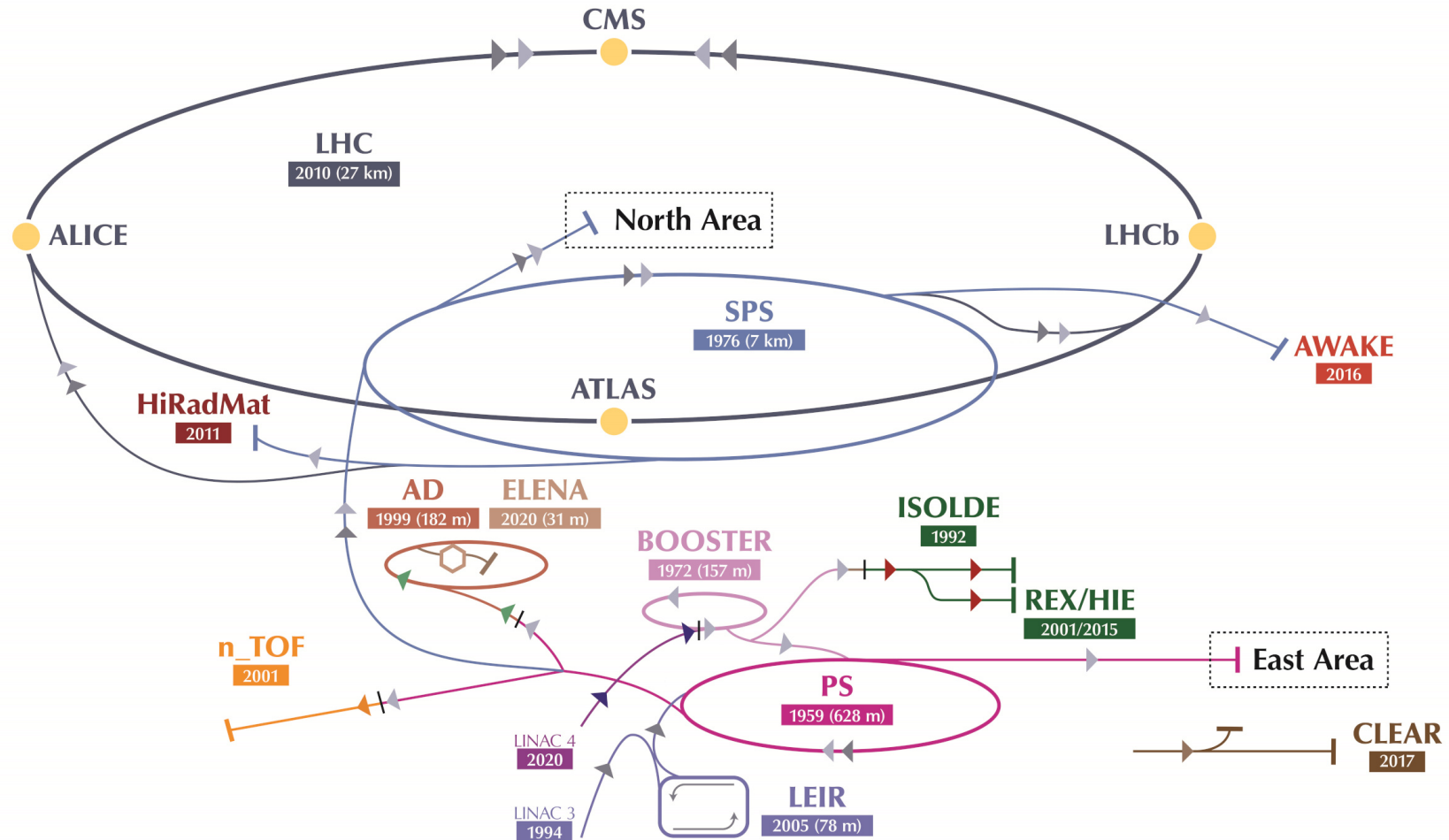
$\times 10^3$ increases in DAQ rate since 2000, most precise Silicon Detector (HFT)



STAR: TPC, hadronok, szolenoid, upgrade (2022), forward detektorok

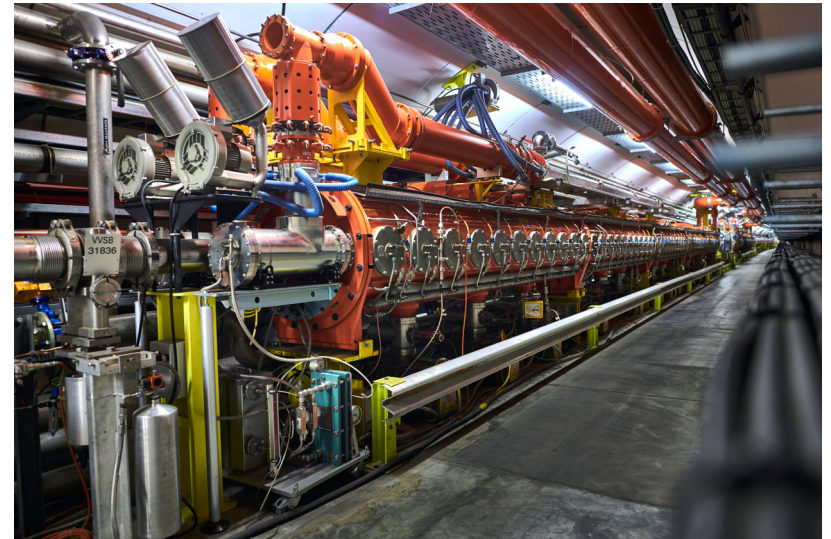
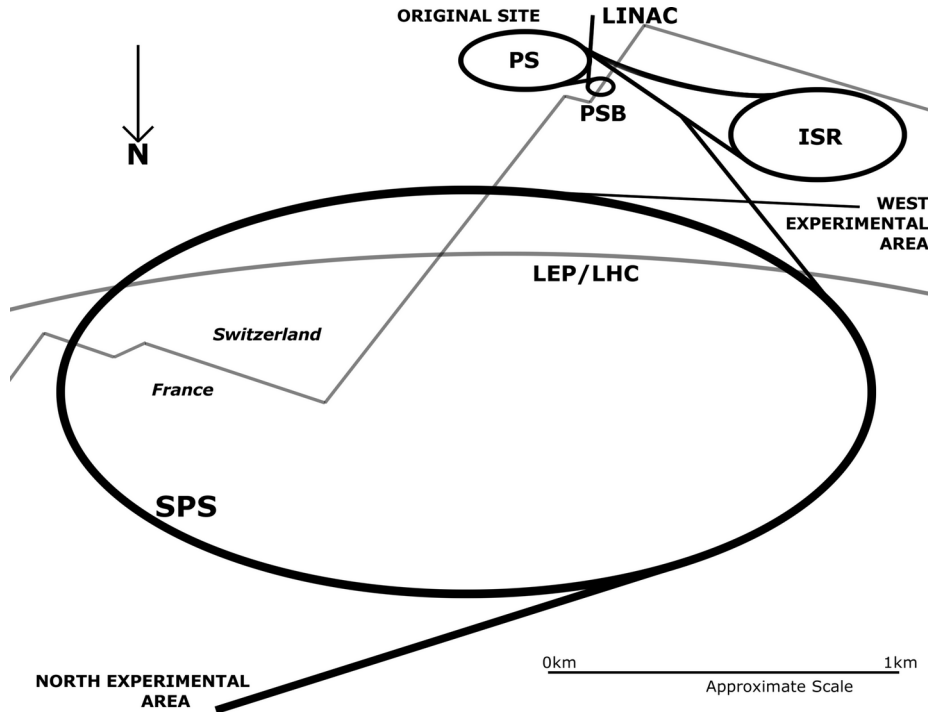
sPHENIX: szupravezető mágnes, EM részecskék, 2023-tól, NSAC long range plan 2023.

CERN – sokféle kísérlet az LHC-n kívül



Super Proton Synchrotron, CERN

7 km, 1976, 450 GeV

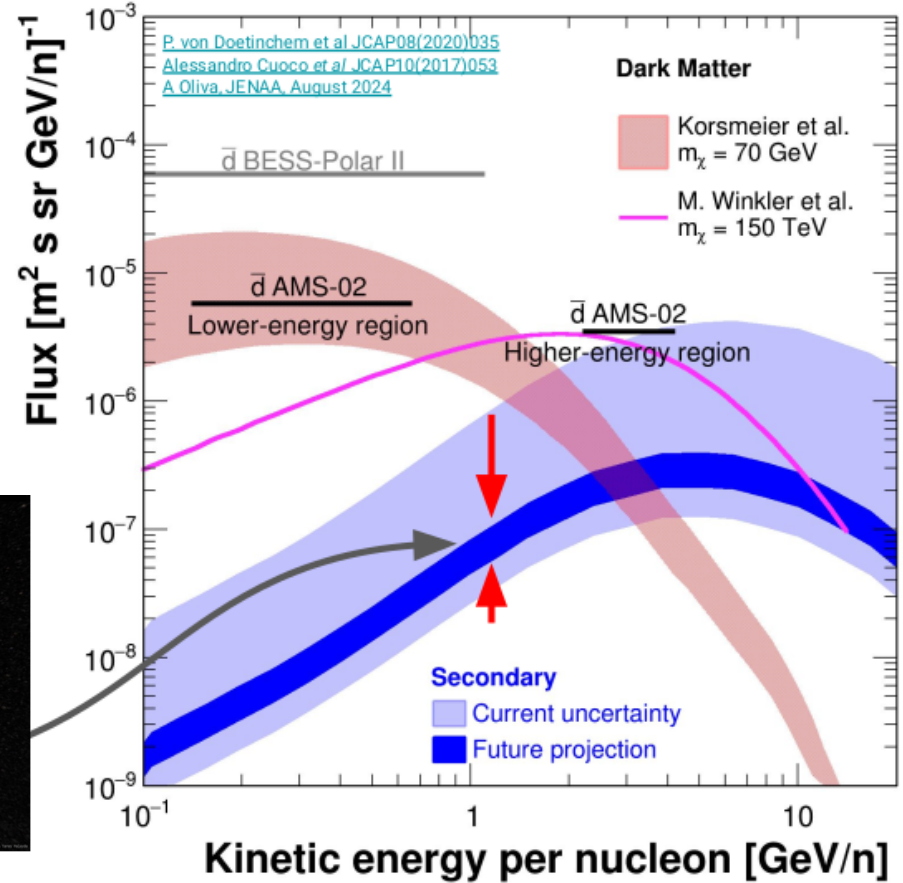
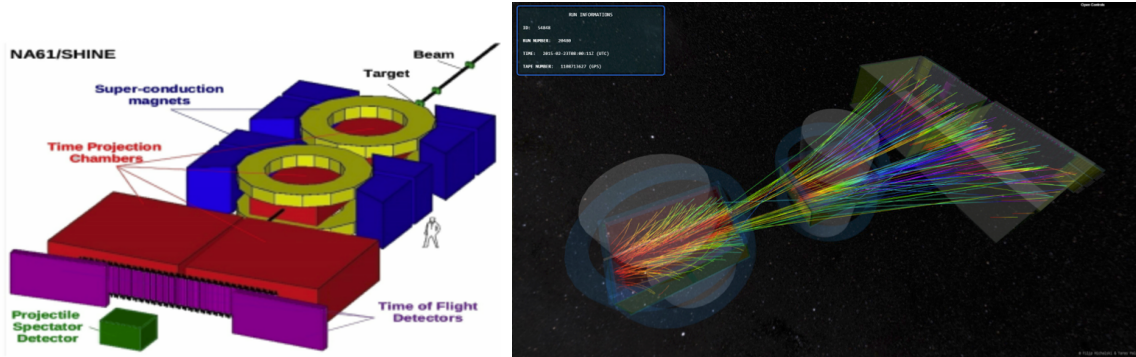


NA61

Nehéion-program, kozmikus sugárzás, neutrínók

Példa: $p+p \rightarrow \bar{d}+X$ hatáskeresztmetszet

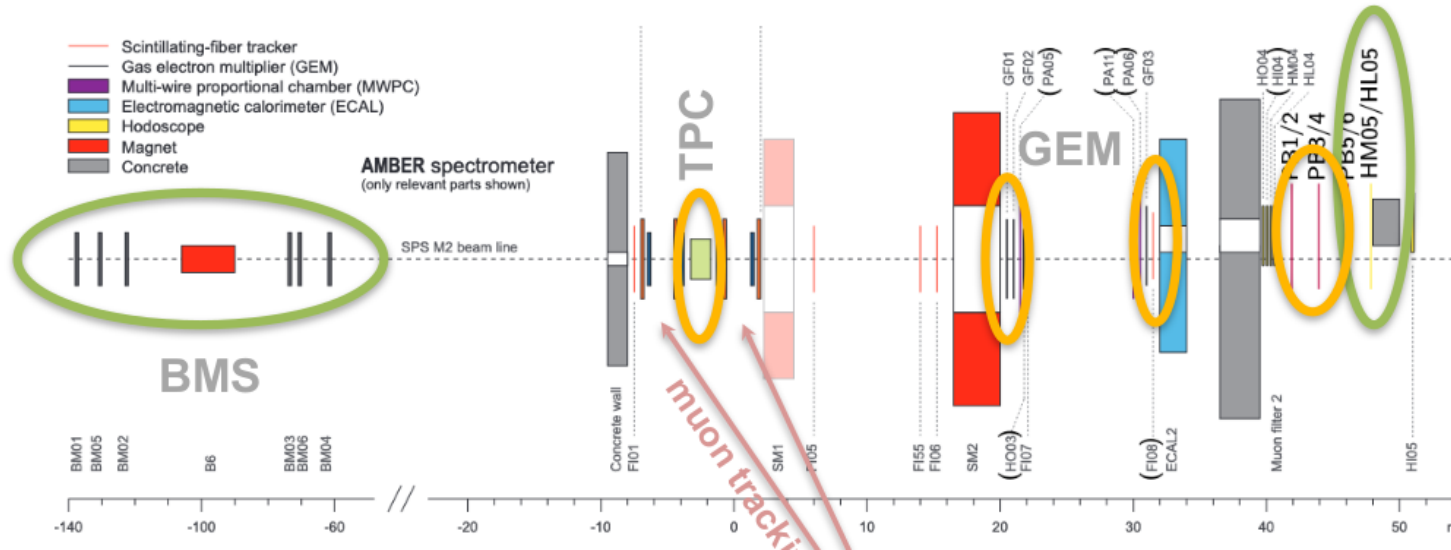
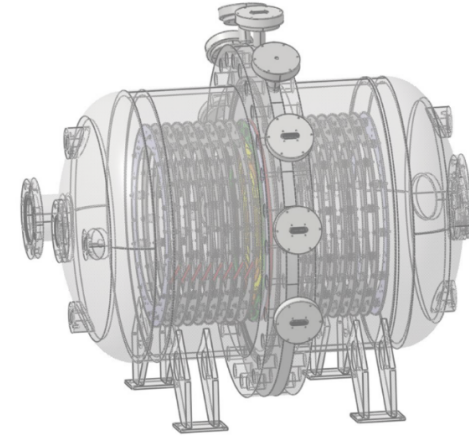
“Természetes” keletkezés a kozmikus protonok és a csillagközi anyag ütközéseiben vagy DM?



AMBER

Antiproton keltési hatáskeresztmetszet
Proton sugarának pontos mérése
Mezon-struktúra, Drell-Yan

Nagy nyomású TPC, hidrogén céltárgy



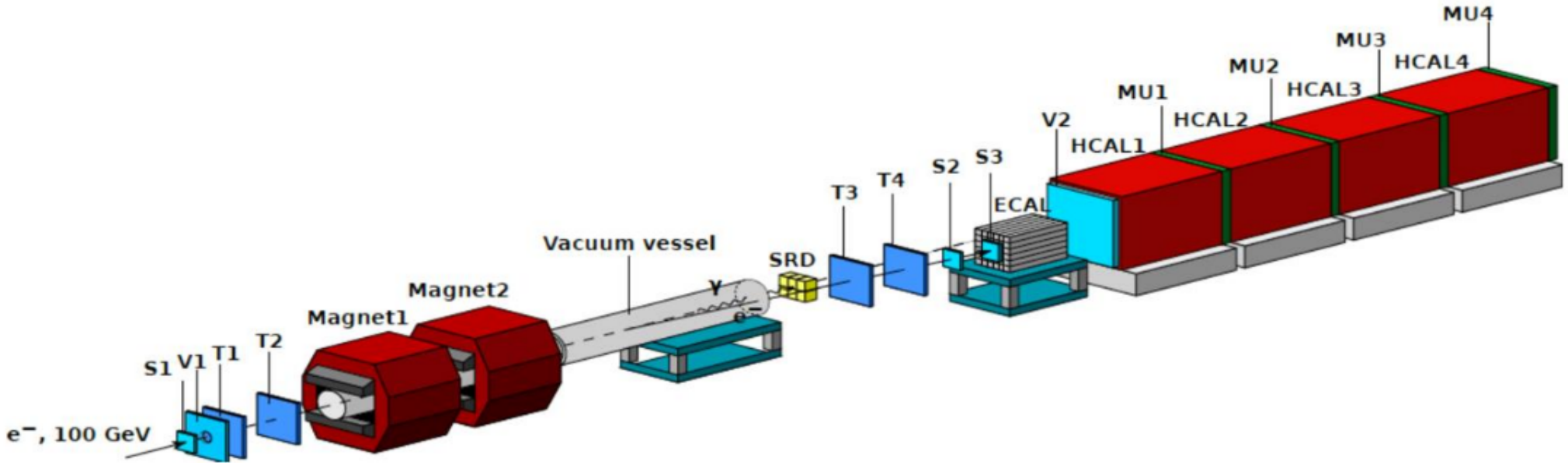
NA64

Sötét szektor, elektron, pozitron, müon, K, p nyalábok

Sub-GeV DM

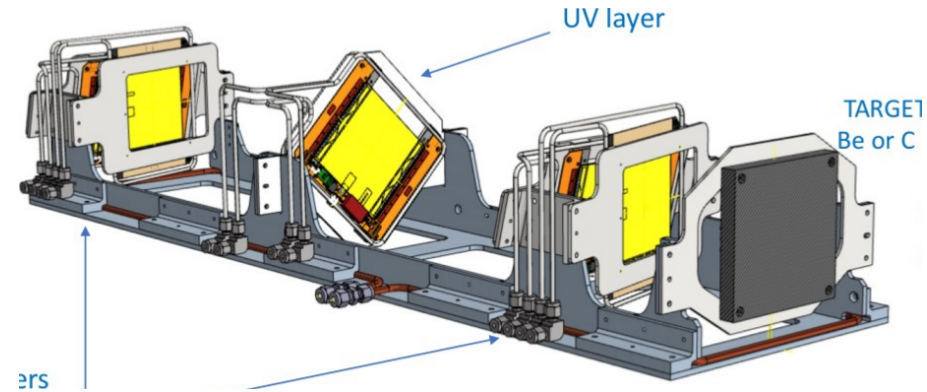
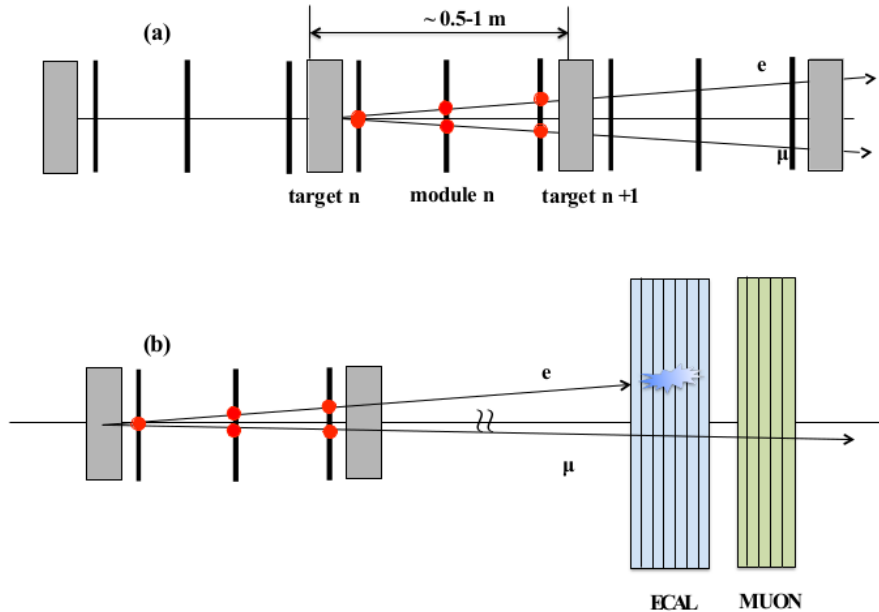
Feebly Interacting Particles

Láthatatlan bomlások



MuonE

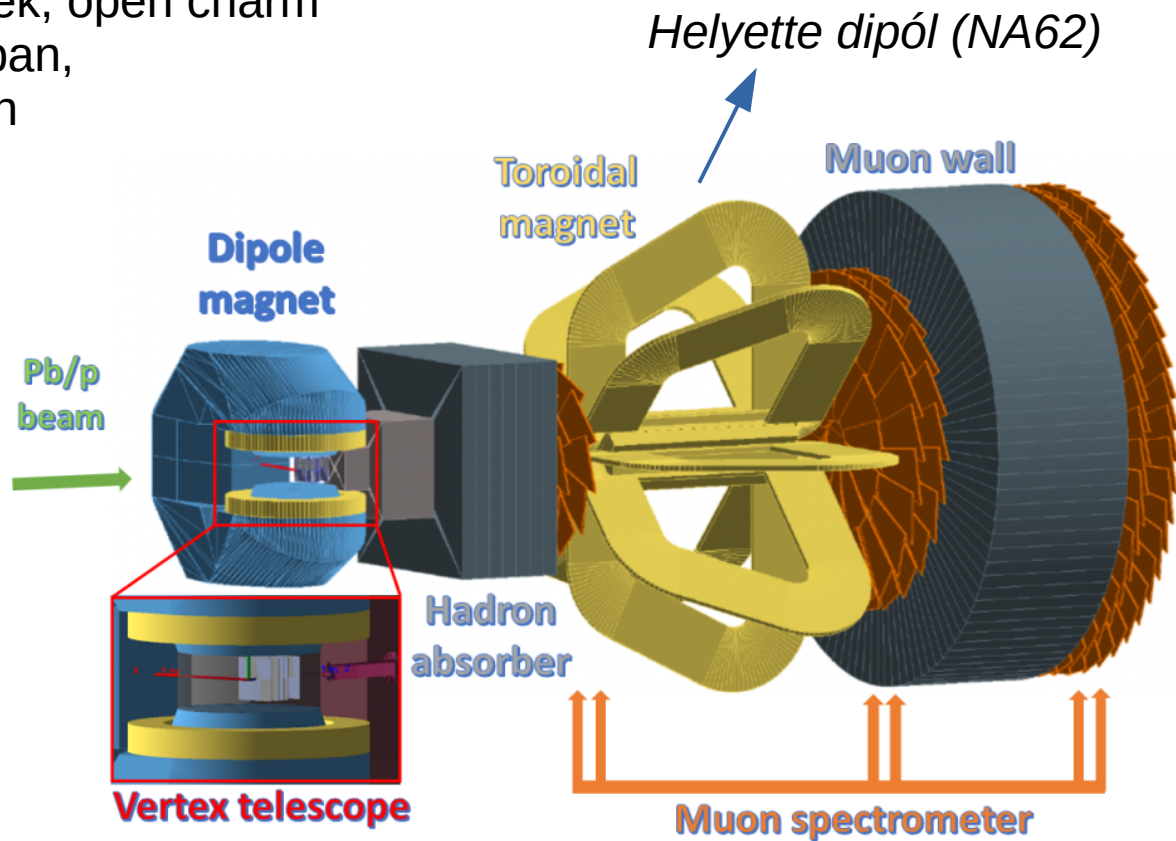
Javaslat, első kisebb méretű kísérlet 2025-re
A müon g-2 hadronikus LO korrekcióinak pontosítására
Müon-elektron rugalmas szórásból



NA60+

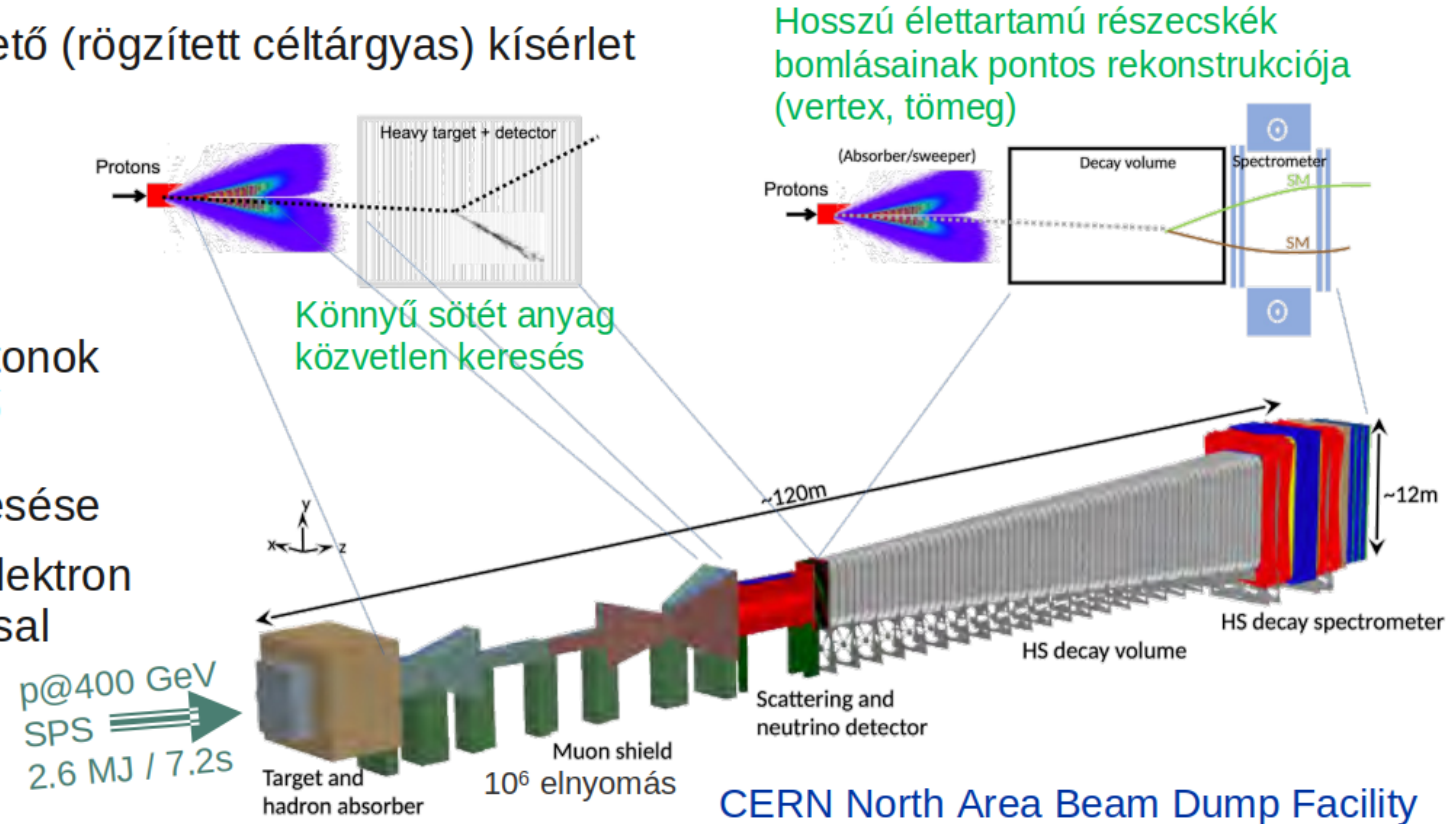
Készülőben lévő kísérlet

Nehézionok, elektromágneses részecskék, open charm
néhány MeV felbontás a $\omega \rightarrow \mu\mu$ bomlásban,
és néhány 10 MeV a $J/\psi \rightarrow \mu\mu$ bomlásban



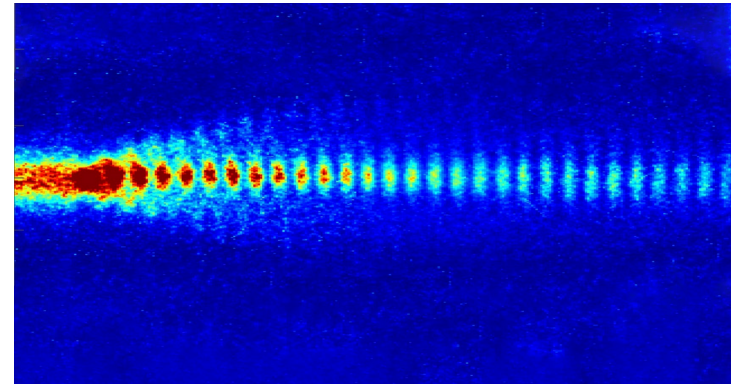
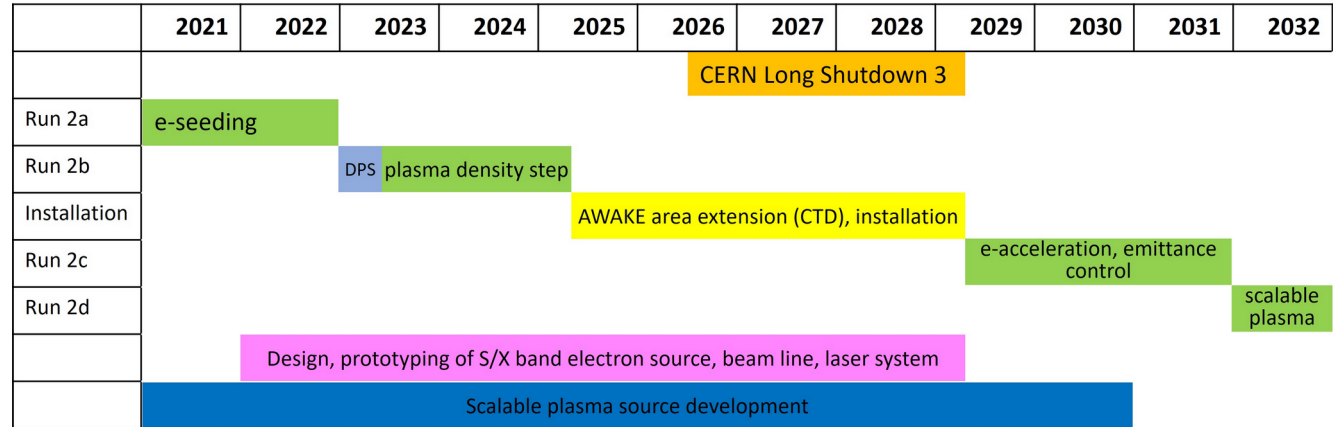
SHiP (NA67) kísérlet: következő 25 év

- Most jóváhagyott nyalábtemető (rögzített céltárgyas) kísérlet
- $6 \cdot 10^{20}$ p / 15 év, 2031-től
- Kiegészíti az LHC melletti nagy energiás és precíziós ízfizikai méréseket
- Hadronok bomlásában és fotonok kölcsönhatásaiban keletkező egzotikus nagyon erőteljes kölcsönható részecskék keresése
- Könnyű DM észlelés atomi elektron vagy atommag visszaszórással
- Szupergyenge csatolások vizsgálata MeV - 10 GeV tömegtartományban



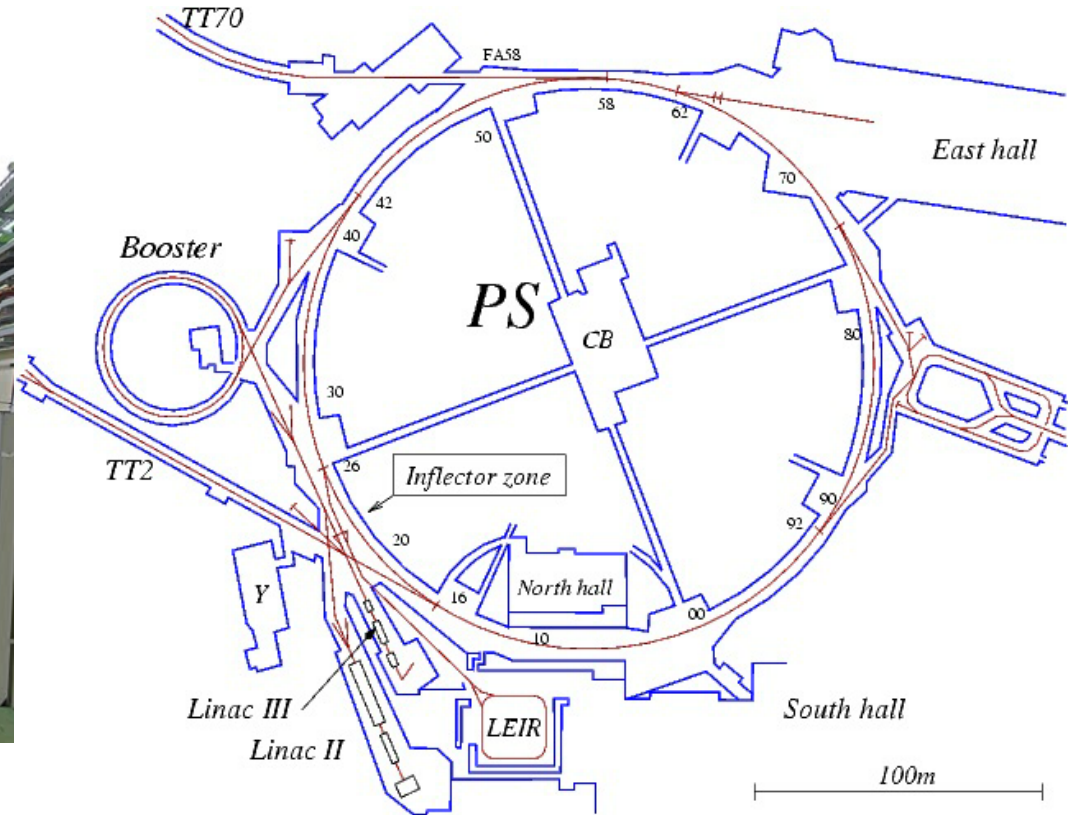
AWAKE

Plasma wakefield acceleration
Proton driver (SPS)



Proton Synchrotron

1959
25 GeV
AD, teszt nyalábok



Antiproton Lassító + ELENA

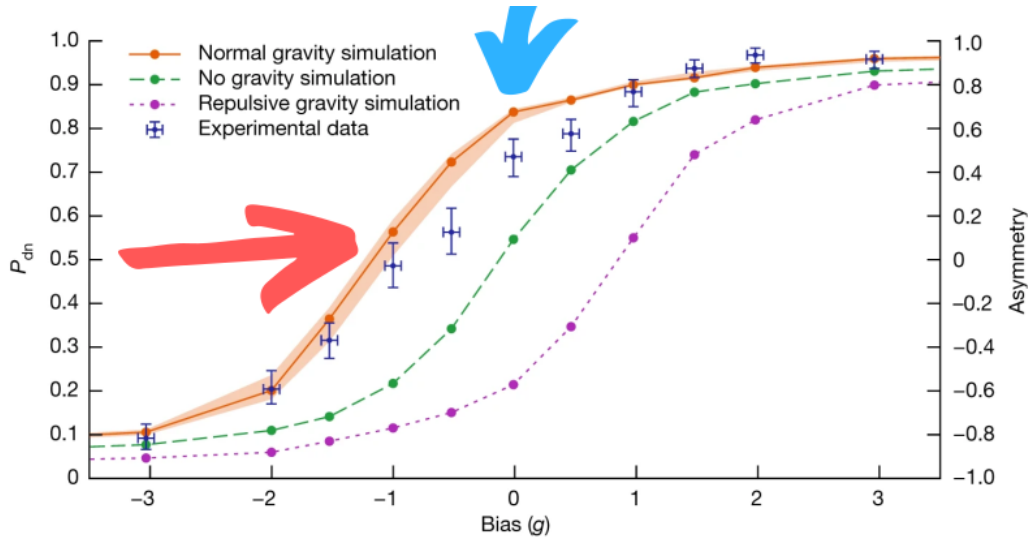
- AD és ELENA: 100 keV-es \bar{p}
- Anti-H spektroszkópia
- Antigravitáció
- Antiproton
 - tömege,
 - töltése,
 - mágneses momentuma

Call for proposals (*now*):
2032-ig,
kitekintéssel 2038-ig.



Antiproton Lassító, ALPHA-g kísérlet

Antihidrogén lefelé zuhan (2023)

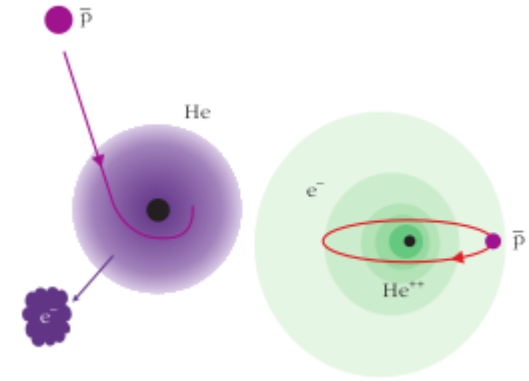


Továbbá: \bar{H} mágneses momentuma, töltése, 2S-1S átmenet energiája

Antiproton Lassító

ASACUSA

$\bar{\text{H}}$ és antiprotonos He
 $\bar{\text{p}}$ tömegmérés



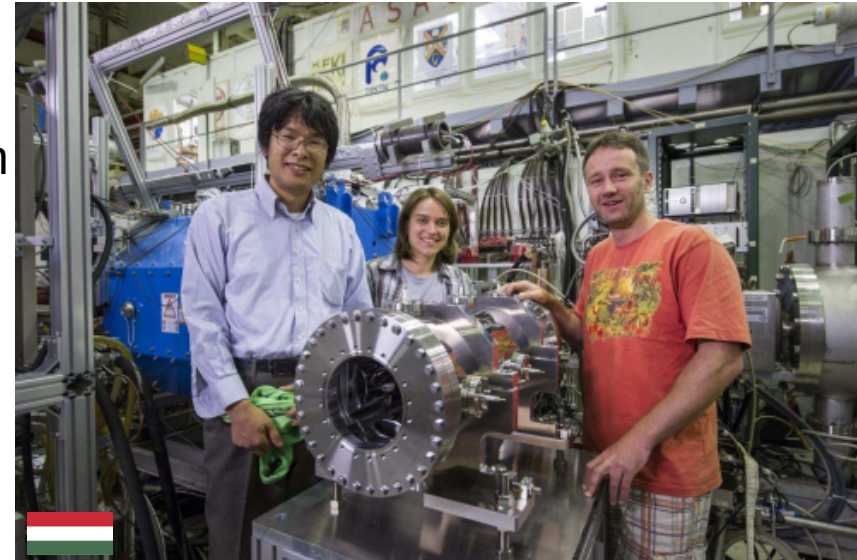
További kísérletek:

GBAR: gravitáció hatása $\bar{\text{H}}$ -re

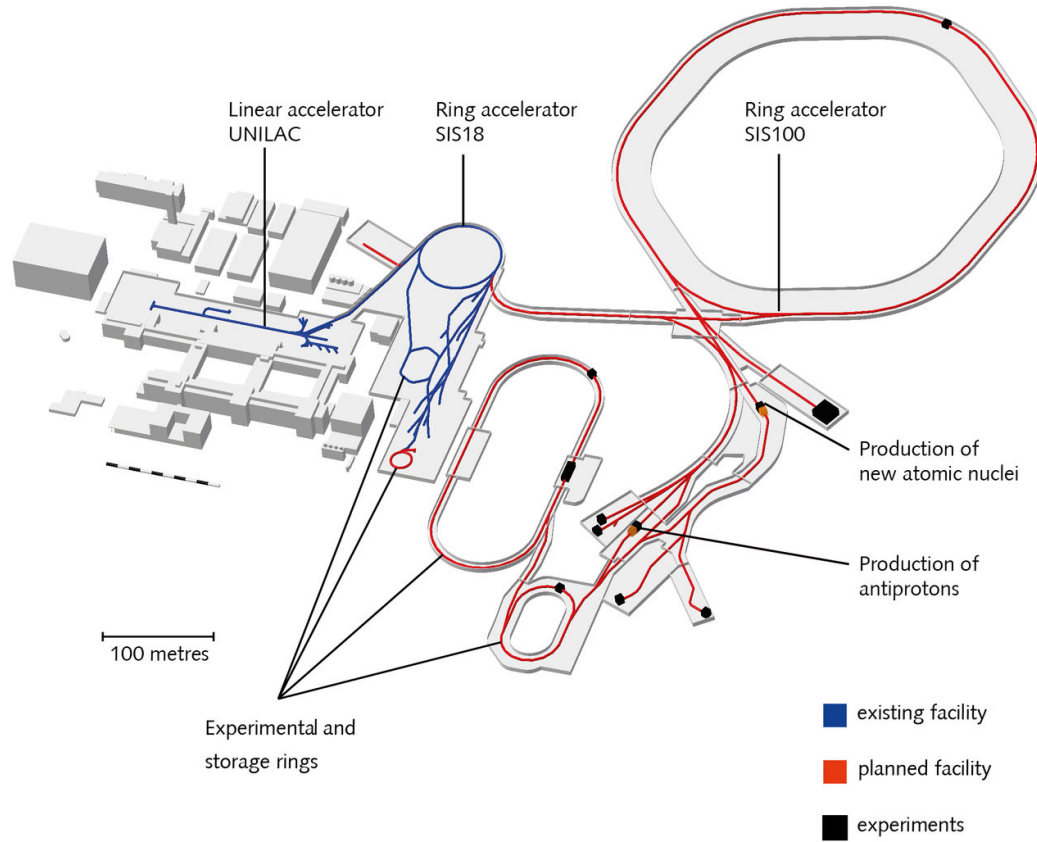
AEgIS: $\bar{\text{H}}$ gravitáció, interferometria, spektroszkópia

BASE: hordozható $\bar{\text{H}}$, $\bar{\text{p}}$ mágneses momentum (ppb), q/m

PUMA: $\bar{\text{p}}$ és egzotikus atommagok annihilációja az ISOLDE-hoz szállítva! (neutron bőr)



GSI, FAIR



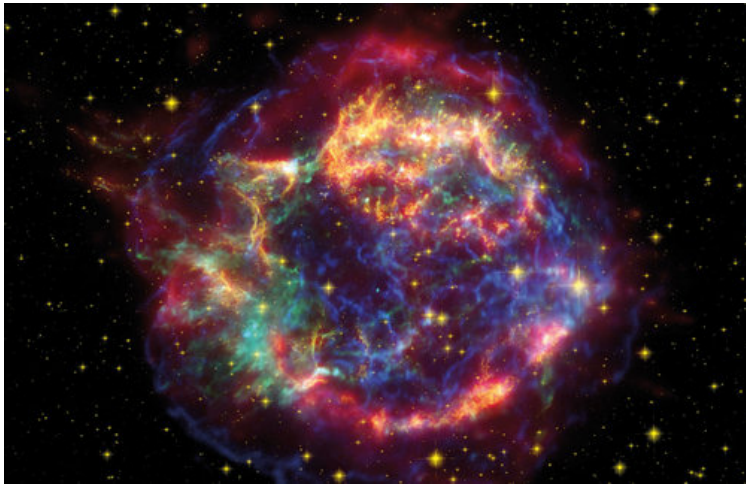
Nagy intenzitású nyalábok, ionok
rögzített céltárgy

NUSTAR

Csillagok belsejében lezajló folyamatok magfizikai megértése

Ritka atommagok előállítása

In-ring kísérletek (élettartam, alak, stb.)



Compressed Baryonic Matter

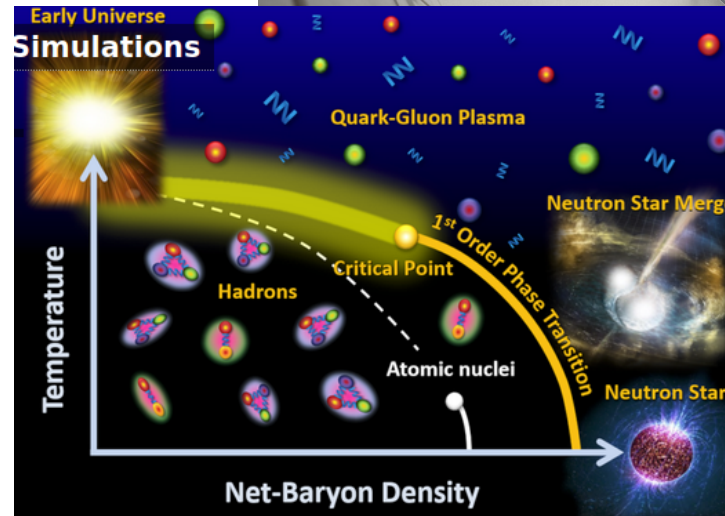
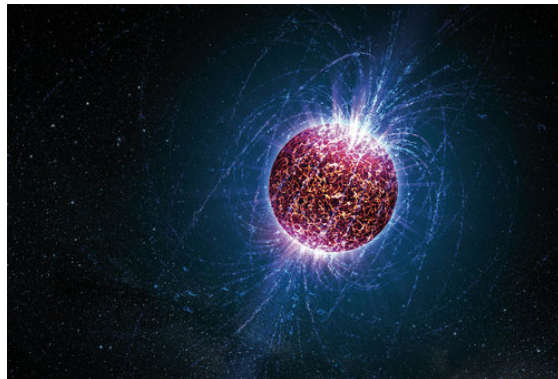
Neutroncsillagok

Nehézion ütközések,
nagy sűrűség, elektronpár és
müonpár végállapotok

QCD fázisdiagram

EoS

Ritkaság atommagokban



PANDA

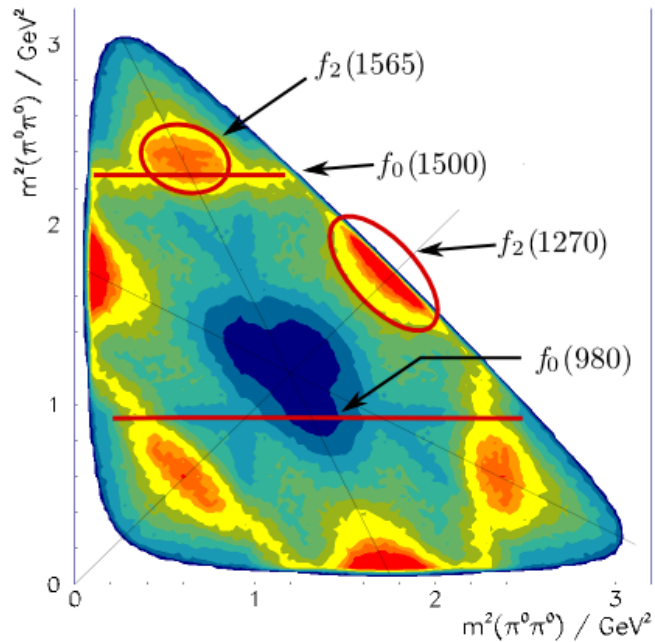
$p\bar{p}$ annihilációban keletkező
részecskék vizsgálata

Gluonlabdák

D mezon és barion spektroszkópia

Proton tömeg és QCD, GPDs

Hiper-atommagok (s)



Belle II – Super B Factory, Japán

Elektron-positron ütköztető

B mezonok vizsgálata

Bájos mezonok

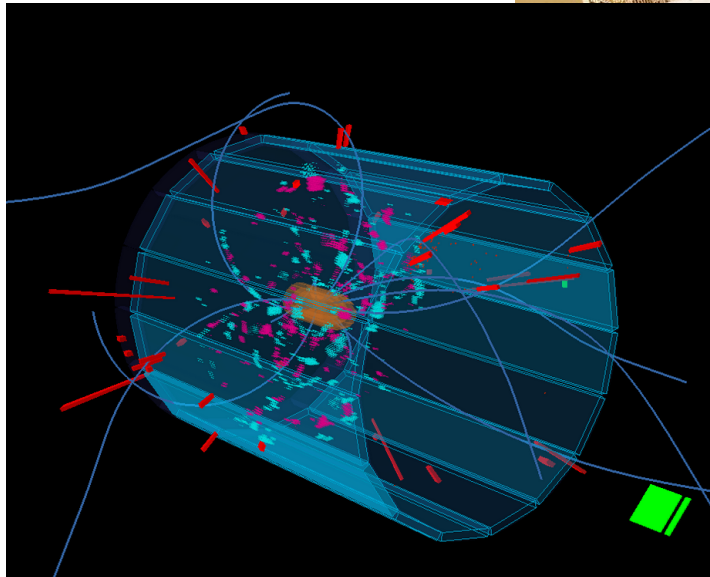
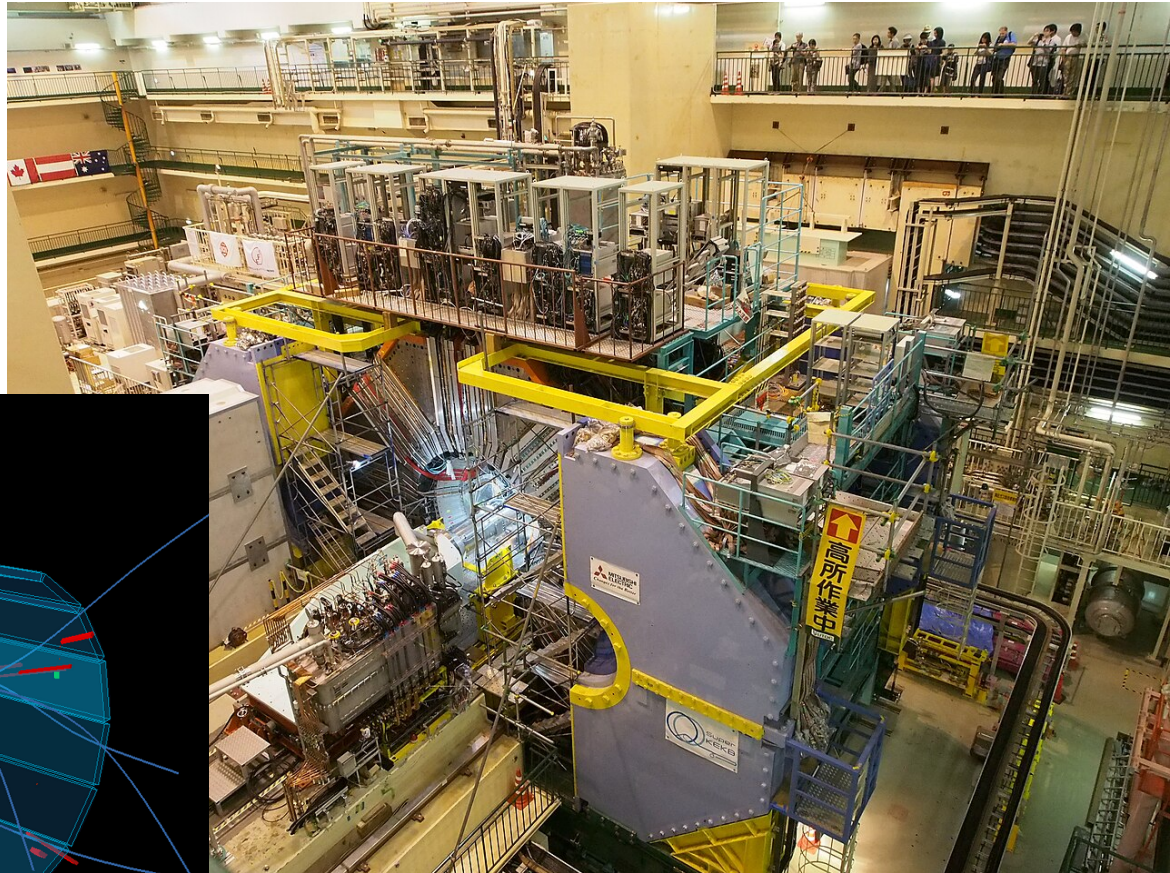
Bottomonium

Charmonium

Tau

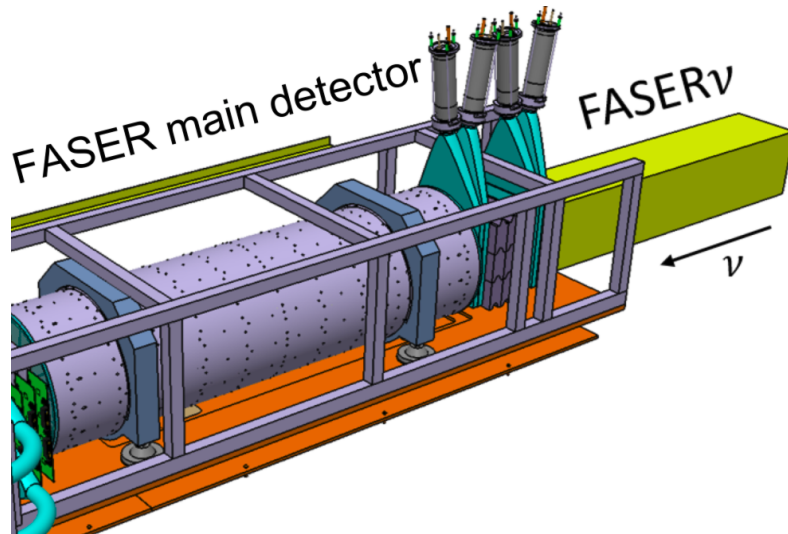
Sötét szektor

2018-

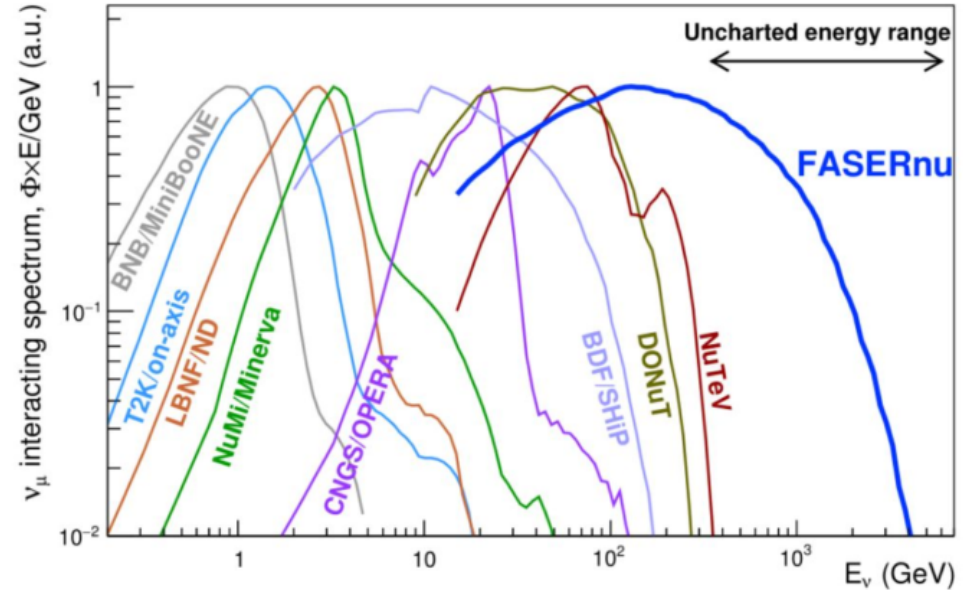


Neutrínók – FASER ν

- FASER ν : ütköztetőben keletkezett neutrínók első detektálása (ATLAS mellett)
- Flavor universality



Új energiataromány



Neutrínó platform (CERN)

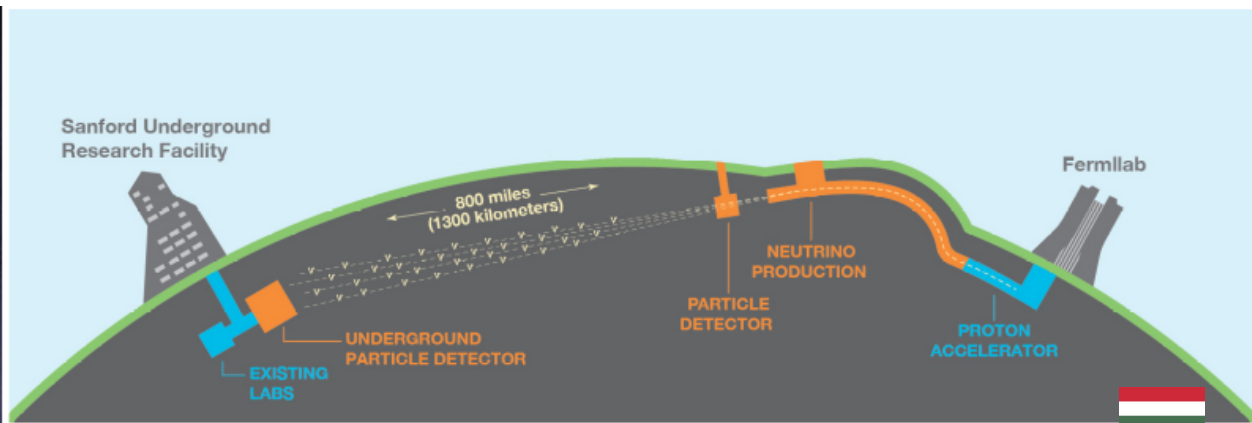
→ Icarus, Baby MIND, T2K, ProtoDUNE



Neutrínók – DUNE

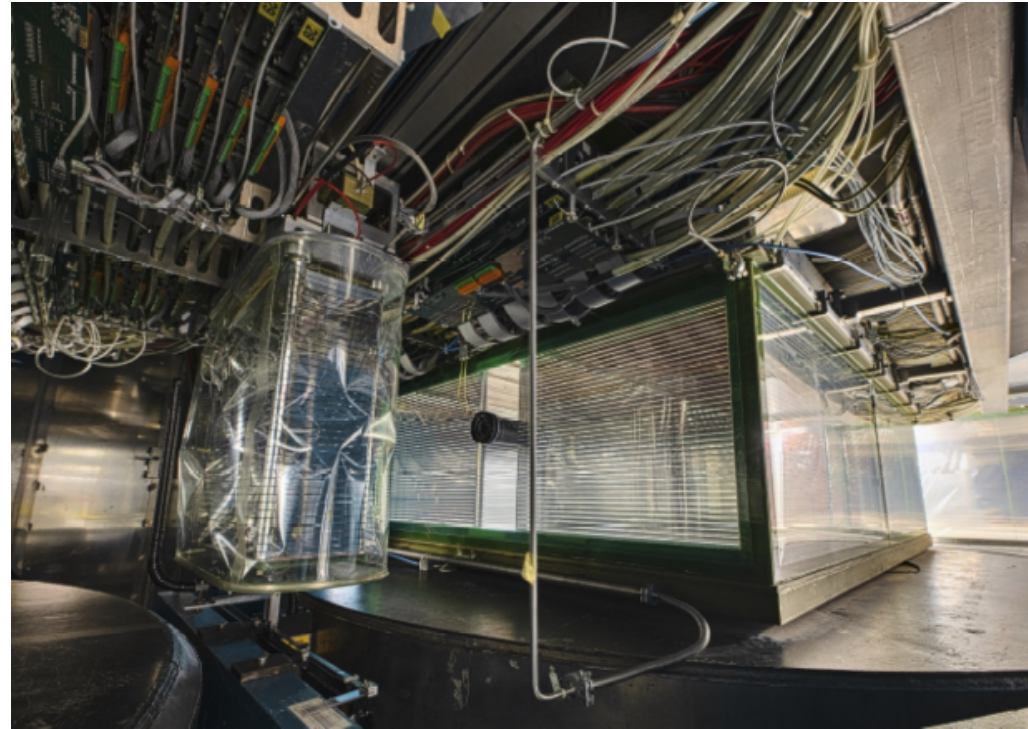
Föld alatti kísérlet
Gyorsítóból az 1300 km-re lévő detektorba
Kezdés: kb. 2030.

Kölcsönhatások egyesítése? (proton bomlás)
Fekete lyukak kialakulása? (neutrínók szupernova-összeomlásból)



Neutrínók – NA61

- Hadronok előállítási folyamatainak vizsgálata
- Lehetővé teszi neutrínó nyaláb pontos tervezését sok más kísérletben (T2K, NuMI/NOvA és LBNF/DUNE)



Detector Design



1 gigaton of instrumented ice



5,160 light sensors, or digital optical modules (DOMs), digitize and time-stamp signals



1 square kilometer surface array, IceTop, with 324 DOMs



2 nanosecond time resolution



IceCube Lab (ICL) houses data processing and storage and sends 100 GB of data north by satellite daily

IceCube

Déli sark

1 gigatonna (jég)

0.3 GUSD

2011 – ?

Gen-2: minimális költséggel



Neutrino Astronomy and Multimessenger Astrophysics



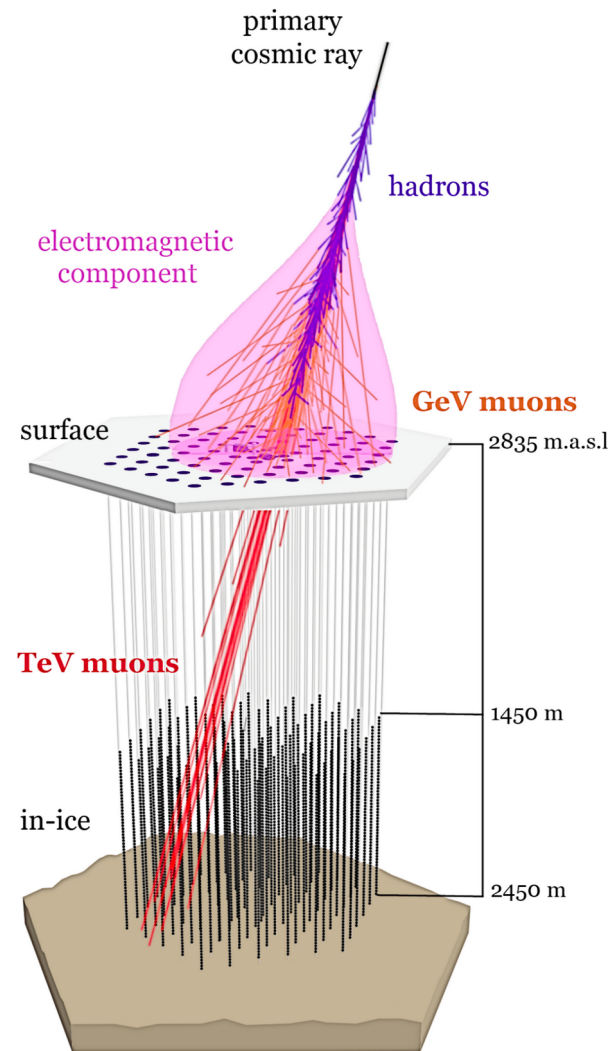
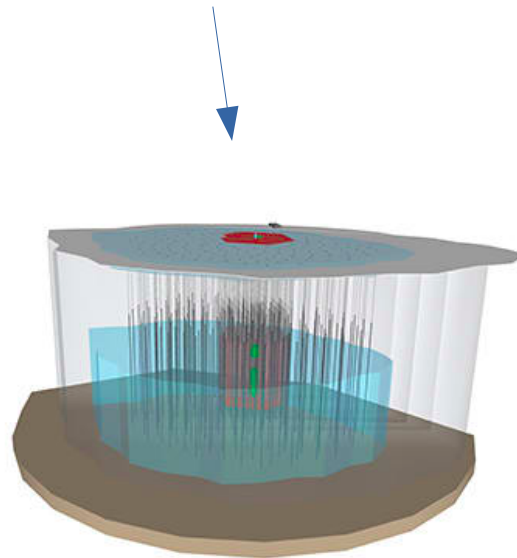
Cosmic Ray Physics



Neutrino Physics

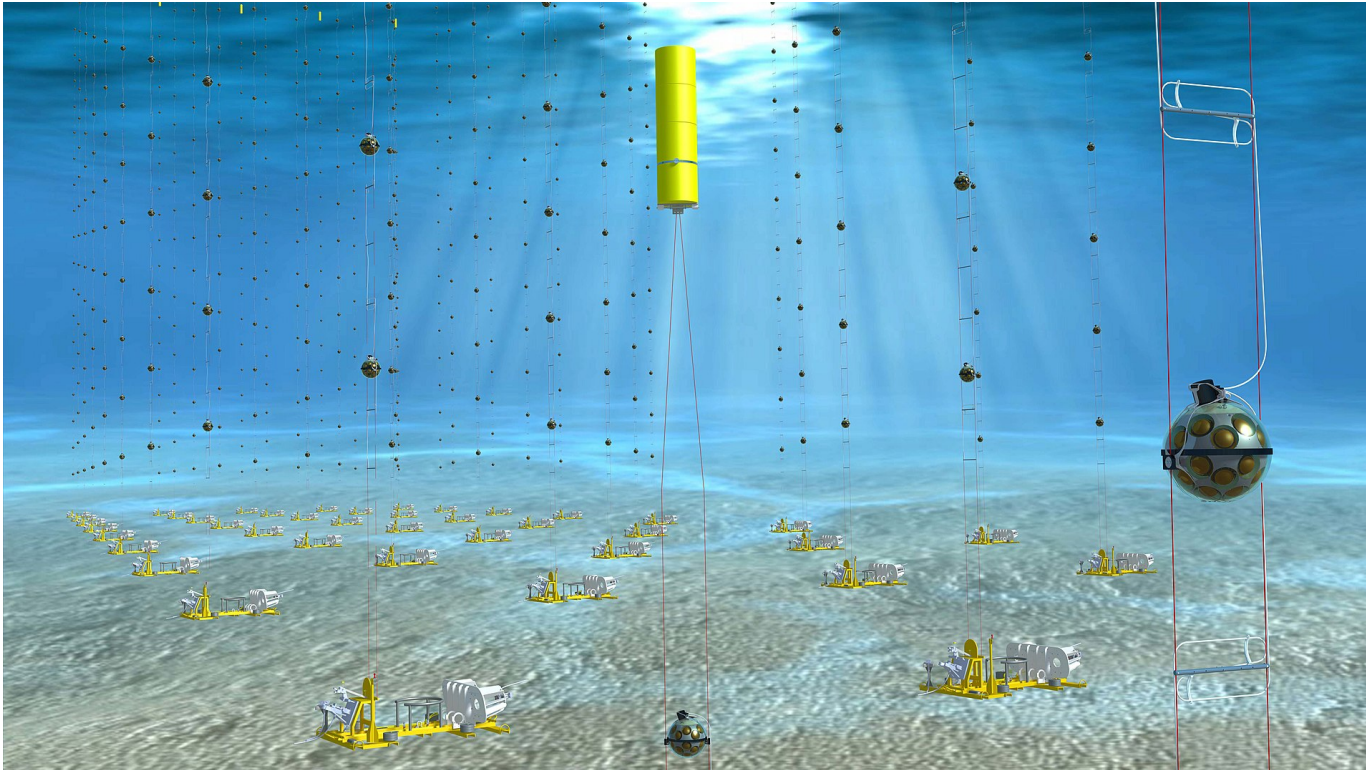


Dark Matter



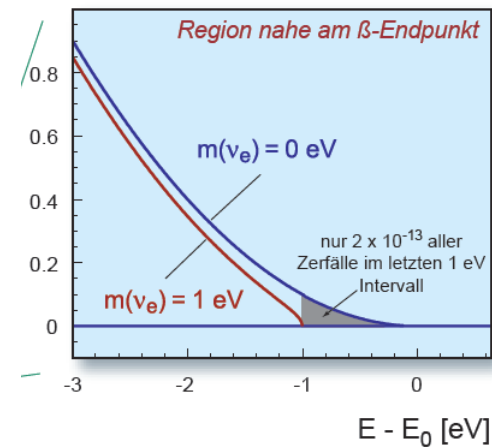
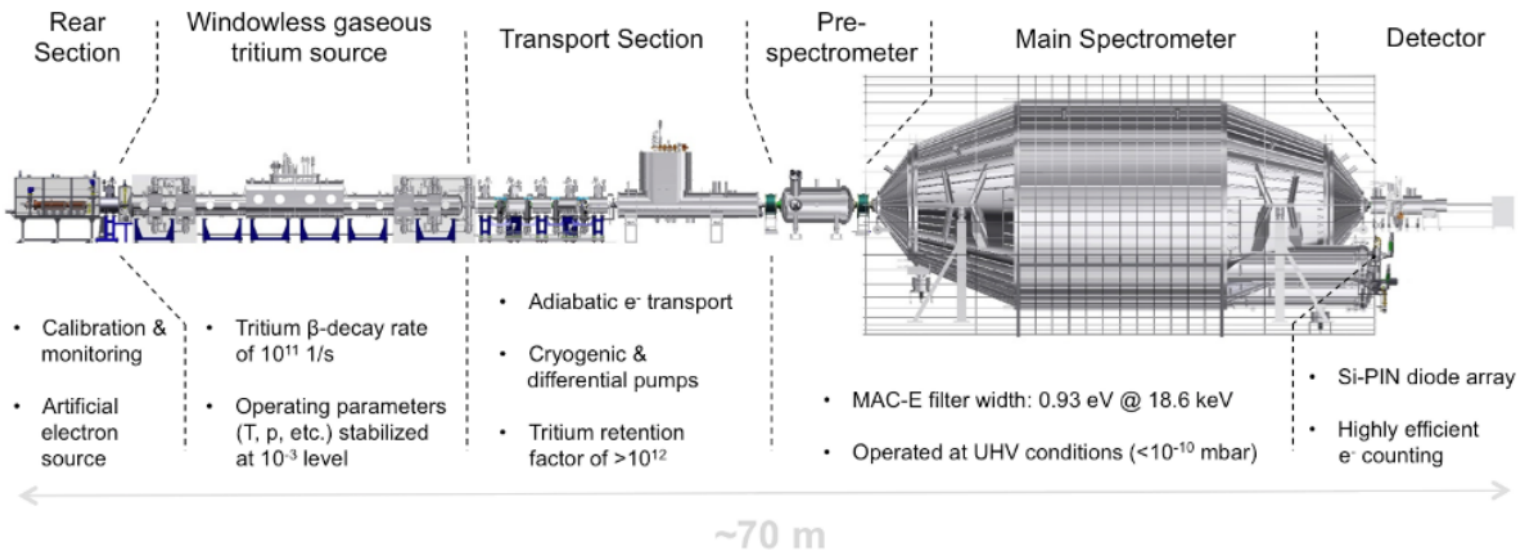
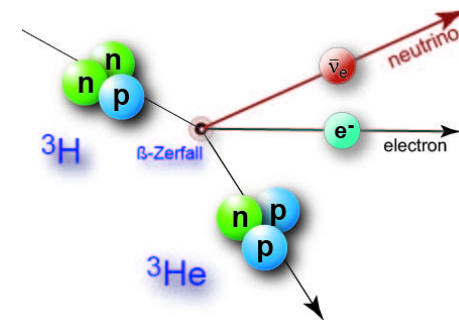
KM3NeT

Földközi-tenger alján
km³ (gigatonna), víz
2026-ra kell elkészülnie

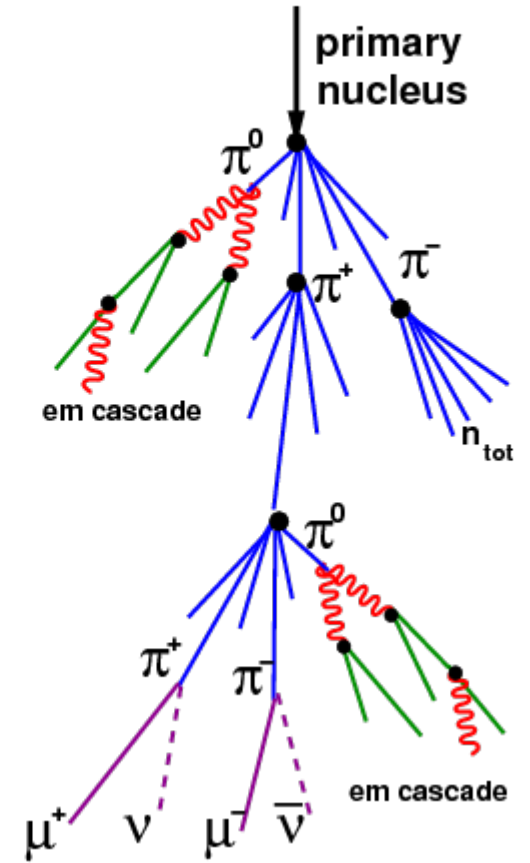
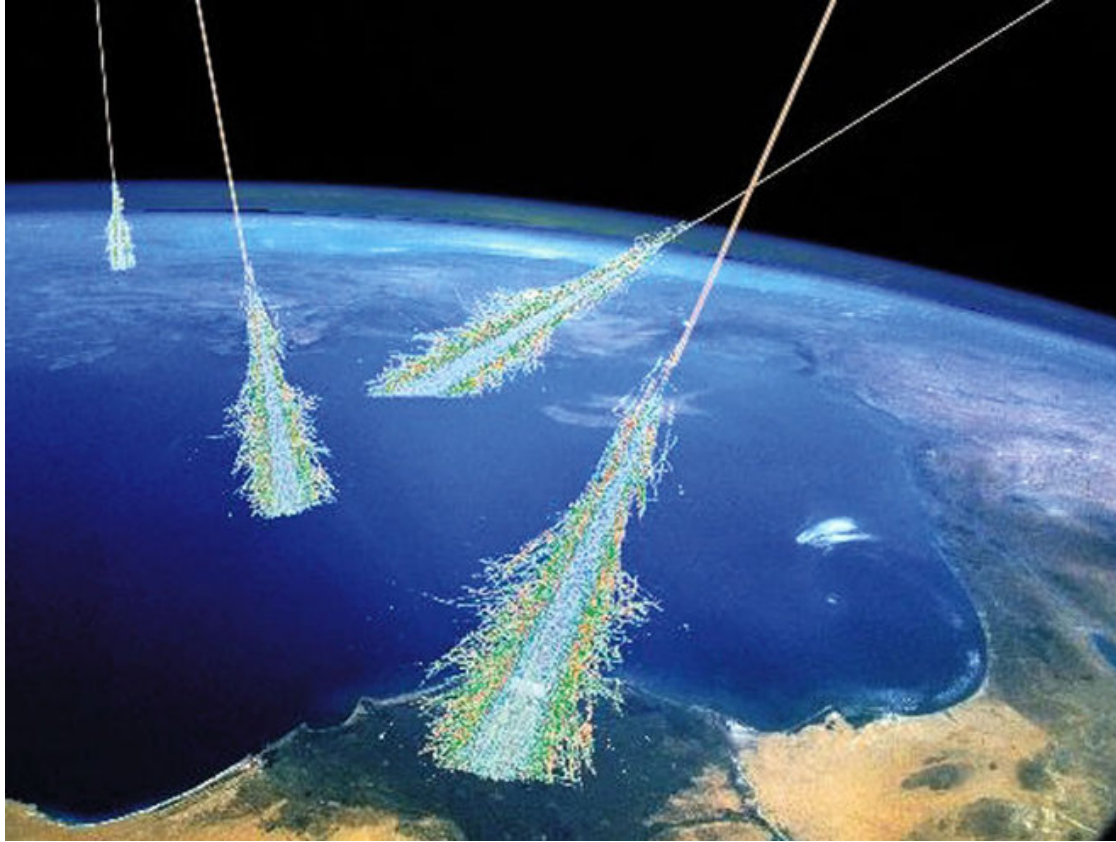


KATRIN (KIT)

- Elektron antineutrínó tömeg mérése
- Trícium bomlások, 100 GBq, 2019-
- Limit 2.3 eV \rightarrow 0.2 eV



Kozmikus sugárzás



Kozmikus sugárzás, Földi kísérletek

ALBORZ Observatory

ERGO

CHICOS

GAMMA

KASCADE-(Grande) – Karlsruhe Shower Core and Array DETector

Large High Altitude Air Shower Observatory

LOPES – the LOFAR PrototypE Station is the radio extension of KASCADE.

TAIGA – Tunka Advanced Instrument for cosmic ray physics and Gamma Astronomy

HAWC High Altitude Water Cherenkov

High Energy Stereoscopic System

High Resolution Fly's Eye Cosmic Ray Detector

MAGIC (telescope)

MARIACHI

Pierre Auger Observatory (Argentína)

Project GRAND

Southern Wide-field Gamma-ray Observatory

Telescope Array Project

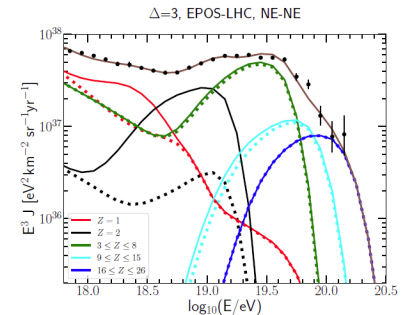
WALTA (Washington Large Area Time Coincidence Array)

IceTop

TACTIC

VERITAS

Major Atmospheric Cerenkov Experiment Telescope (MACE)



Sötét Anyag közvetlen detektálása

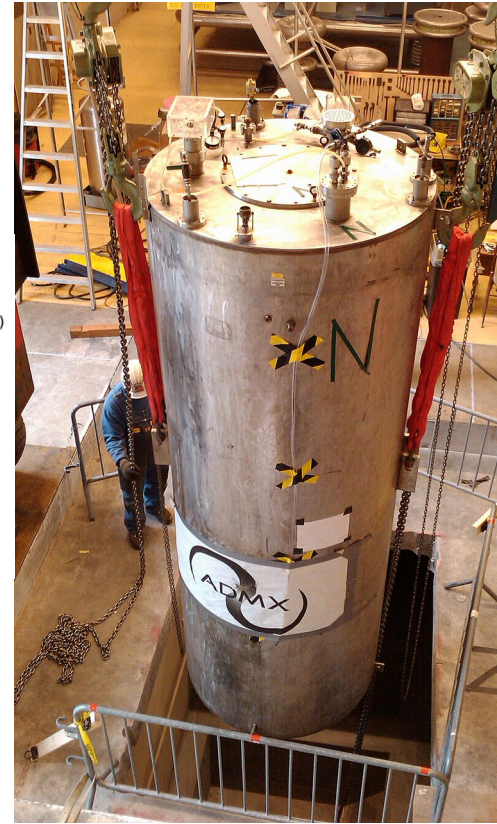
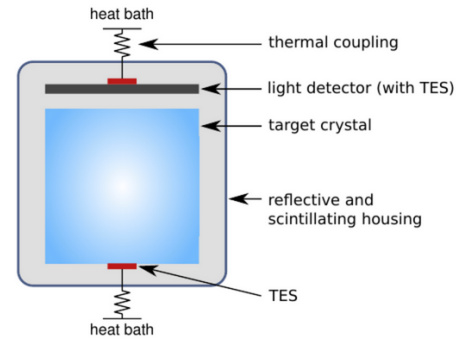
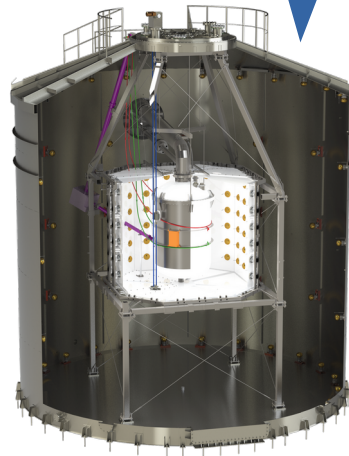
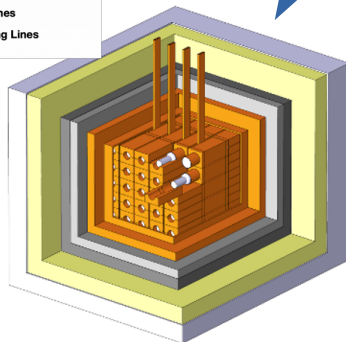
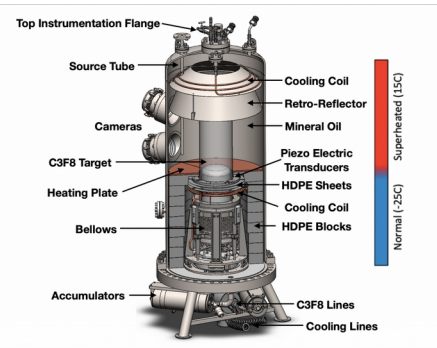
ADMX: DM → foton konverzió mágneses térben

CRESST (Gran Sasso): CaWO_4 szcintillátor, cryo

XENONnT (8 tonna Lxe szcintillátor), WIMP (v!), 10^{-48} cm^2

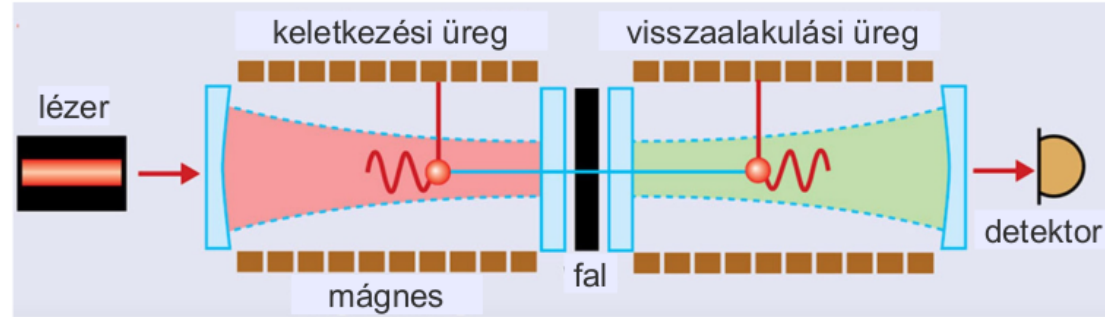
DAMA/LIBRA, SABRE: éves DM ingadozás

PICO (Kanada), buborékkamra

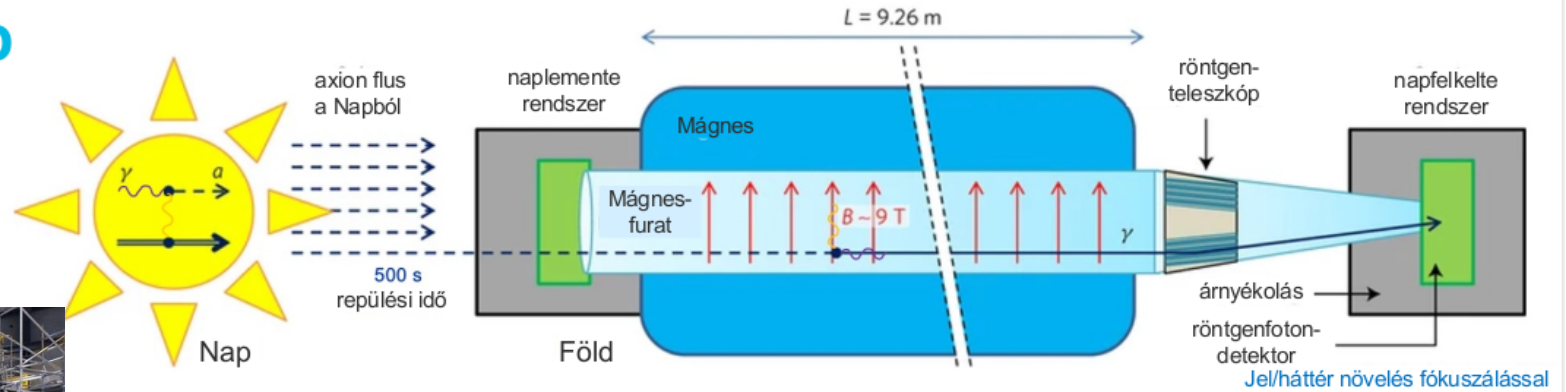


Axionok keresése

Fény a falon át

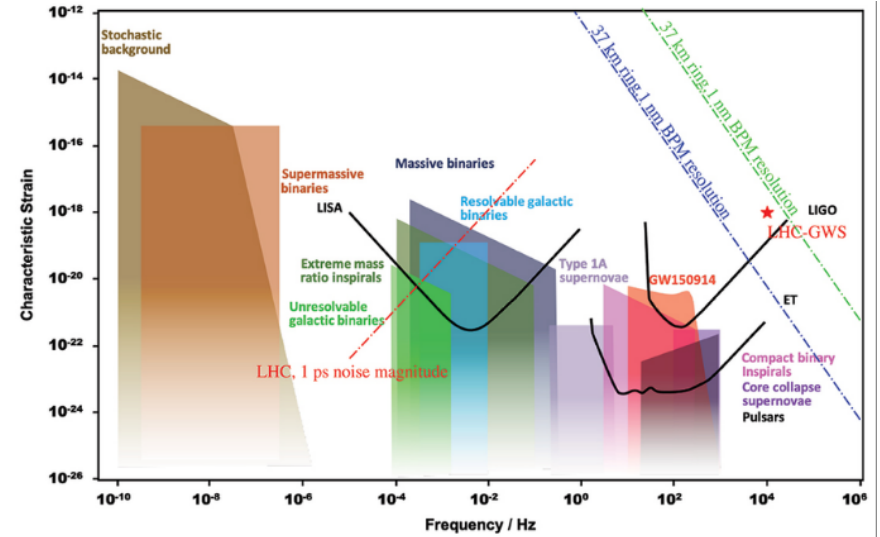
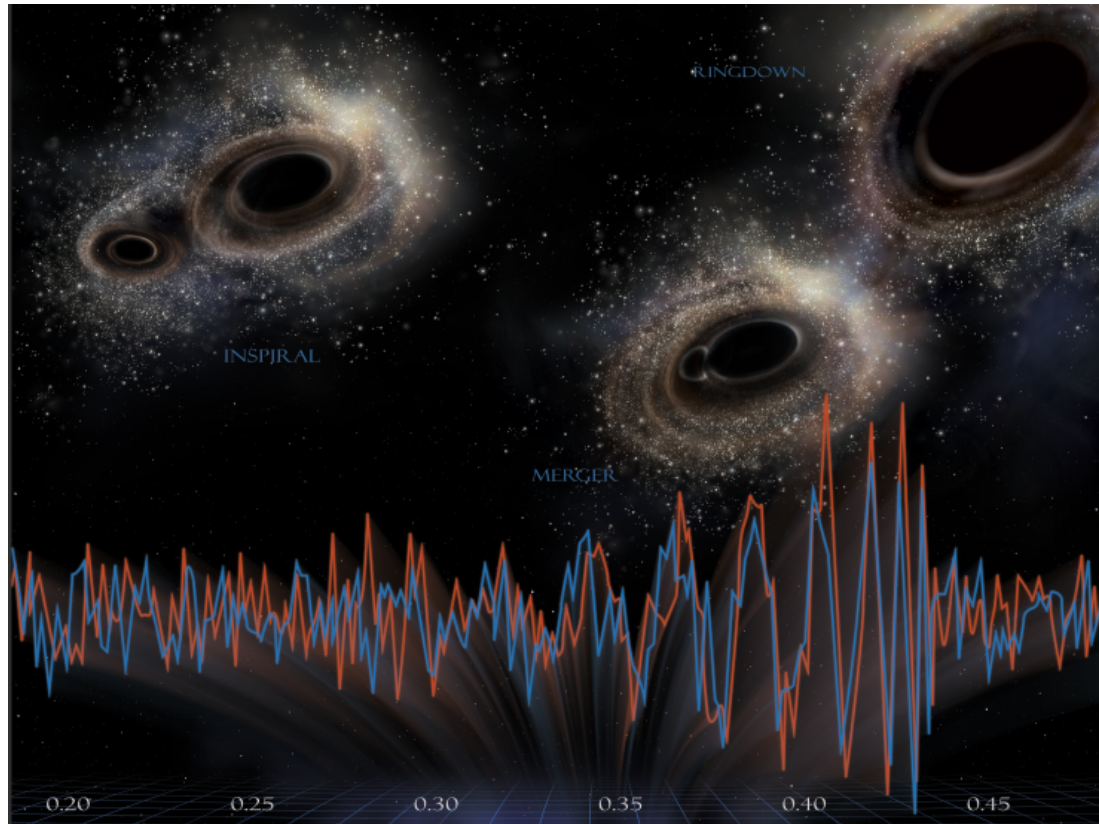


Helioszkóp



CAST (CERN)

Gravitációs hullámok – LHC

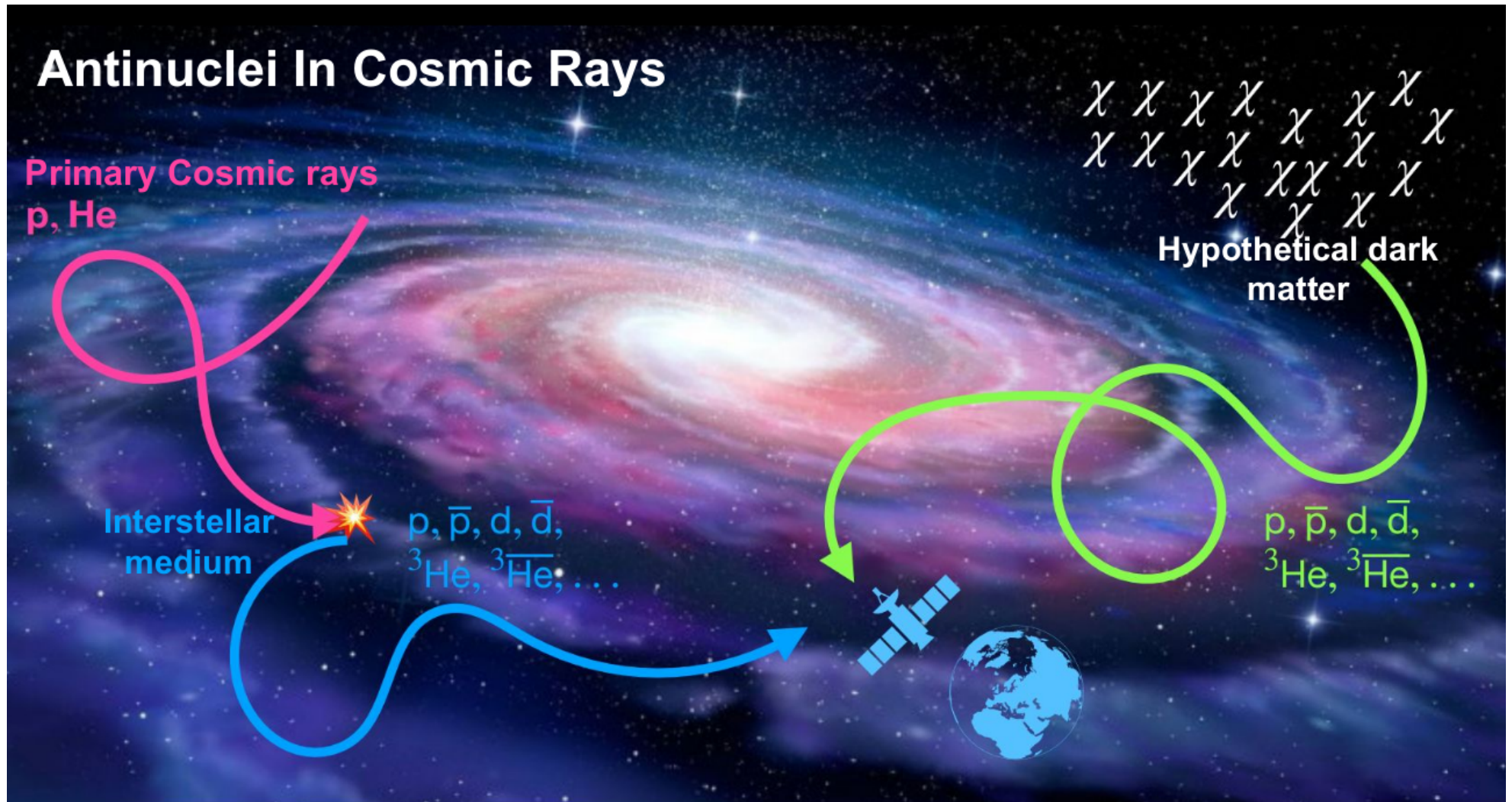


Alpha Magnetic Spectrometer



Nemzetközi Űrállomás, 2011 – 2035?

Alpha Magnetic Spectrometer



Kozmikus sugárzás, ballonos és űrkísérletek

Műholdas berendezések:

PAMELA (2006-, sötét anyag annihilációk, pozitron többlet) →

Alpha Magnetic Spectrometer

Spaceship Earth

ACE (Advanced Composition Explorer)

Voyager 1 and Voyager 2

Cassini-Huygens

HEAO 1, Einstein Observatory (HEAO2), HEAO 3

ISS-CREAM



Ballonos berendezések:

BESS (Balloon-borne Experiment with Superconducting Spectrometer): kis E \bar{p} , $\overline{\text{He}}$

ATIC (Advanced Thin Ionization Calorimeter)

TRACER (cosmic ray detector)

BOOMERanG experiment

Cosmic Ray Energetics and Mass (CREAM)

AESOP (Anti-Electron Sub-Orbital Payload), NASA legnagyobb ballonja, 2024, e^\pm →

General antiparticle spectrometer (GAPS)

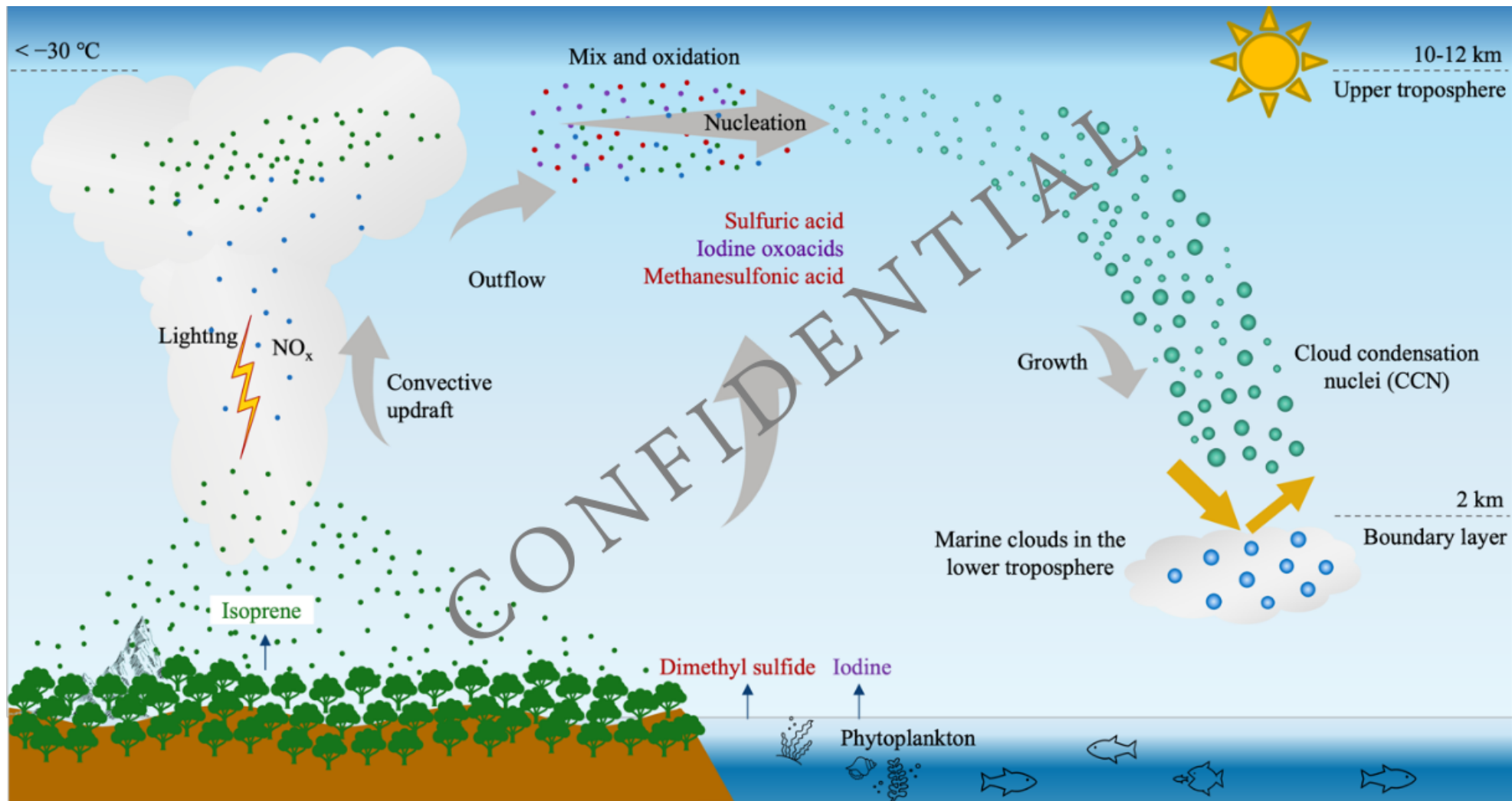


Klímakutatás - CLOUD

- Felhőképződés vizsgálata kozmikus sugárzás hatására
- A Nap szerepe a klíma változásaiban az ipari forradalom előtt
- Kis mennyiségű, különleges vegyületek, **aeroszolok** szerepe a felhőképződésben
- Klímamodellek jelentős bizonytalanságainak pontosítása



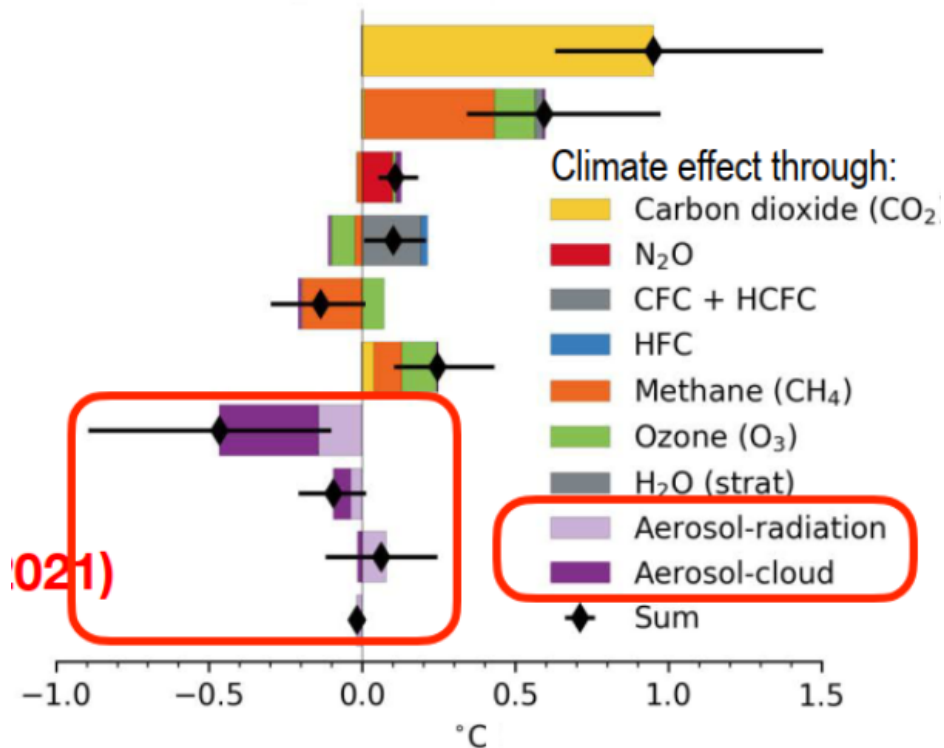
Klímakutatás - CLOUD



Klímakutatás - CLOUD

- Melyik gáz vagy aeroszol mennyivel változtatta meg a Föld hőmérsékletét 270 év alatt?
- A klíma modellek legkevésbé ismert paramétere

(b) Change in global surface temperature
1750 to 2019



Összegzés

- A legkülönbözőbb fontos fizikai célok irányába haladó kísérletek óriási választéka Európában és azon túl
- Vannak meglévő hazai kapcsolatok
- Kisebb/meglévő gyorsítók, nem-gyorsítós kísérletek
- Kisebb csoportok, nagy felelősség, limitált scope

Köszönöm a figyelmet!

