

На лов за неутрино

Симона Илиева

ЦЕРН и Софийски университет „Св. Климент Охридски”

Катедра „Атомна физика” на 80 години

17 април 2026, София



Група по физика на неутриното

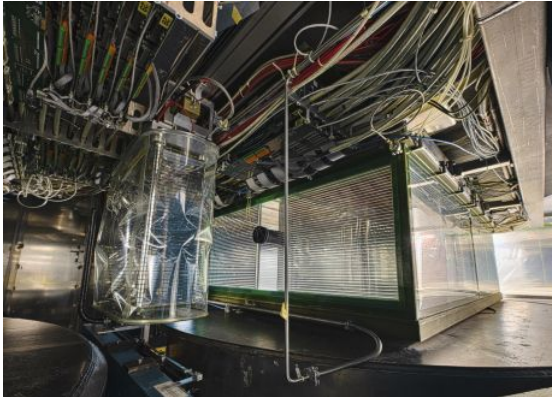
Личен състав:

- проф. Румен Ценов (emeritus)
- доц. д-р. Димитър Колев (emeritus)
- доц. д-р Мариян Богомилов
- гл. ас. д-р Галина Ванкова-Кирилова
- д-р Георги Петков (постдокторант)
- д-р Симона Илиева (физик, в отпуск)
- Васил Вергилов (физик)
- Ивайло Дионисов (доторант)
- Георги Златинов (доторант)
- Георги Василев (доторант)
- Борис Хайдуков (доторант)

Настоящи и бъдещи експерименти



NA61/SHINE

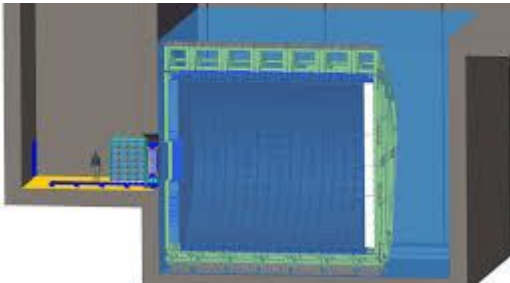


Scattering and Neutrino Detector
at the LHC

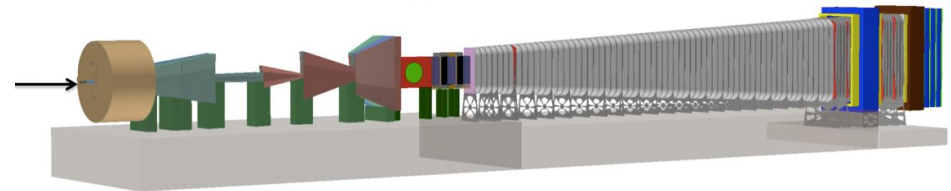
SND@LHC



ESSnuSB

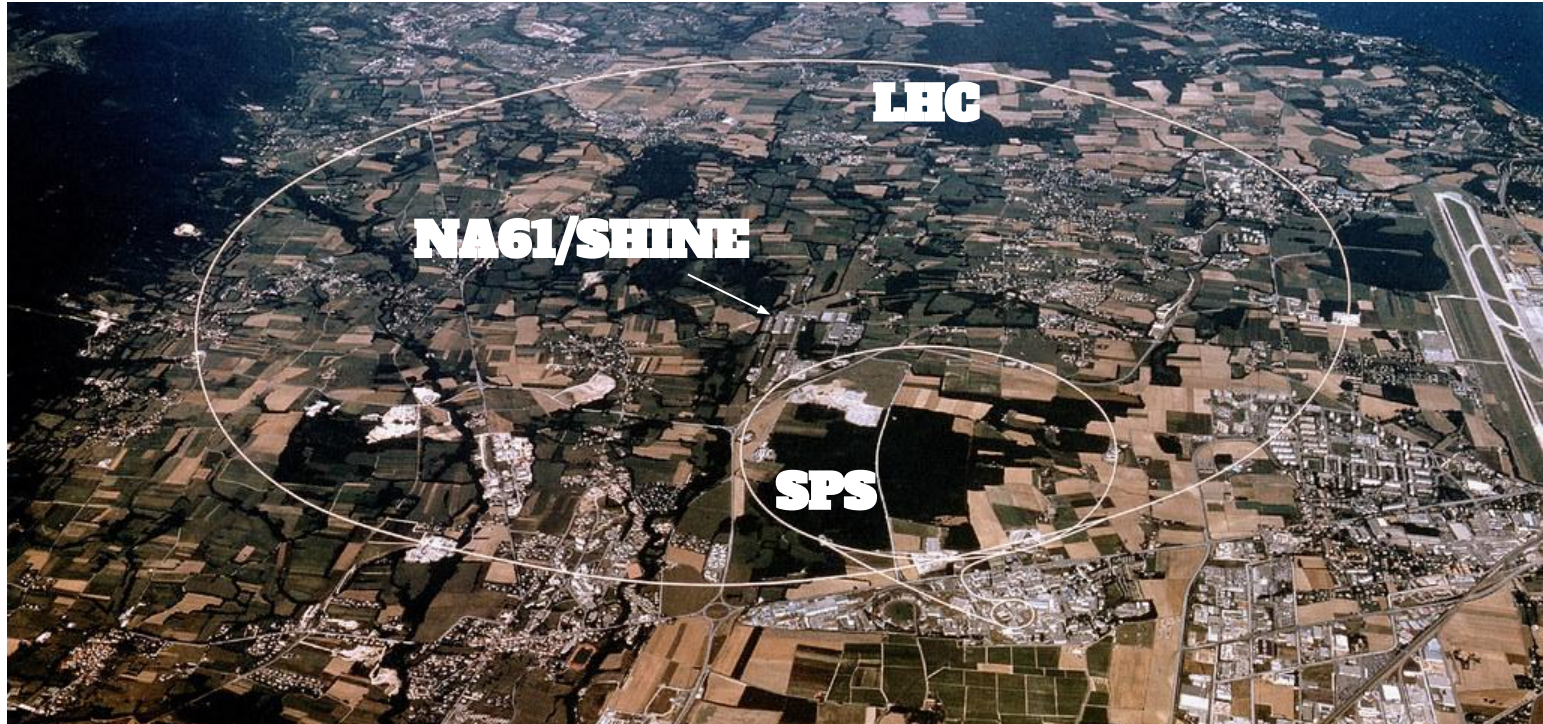


SHiP

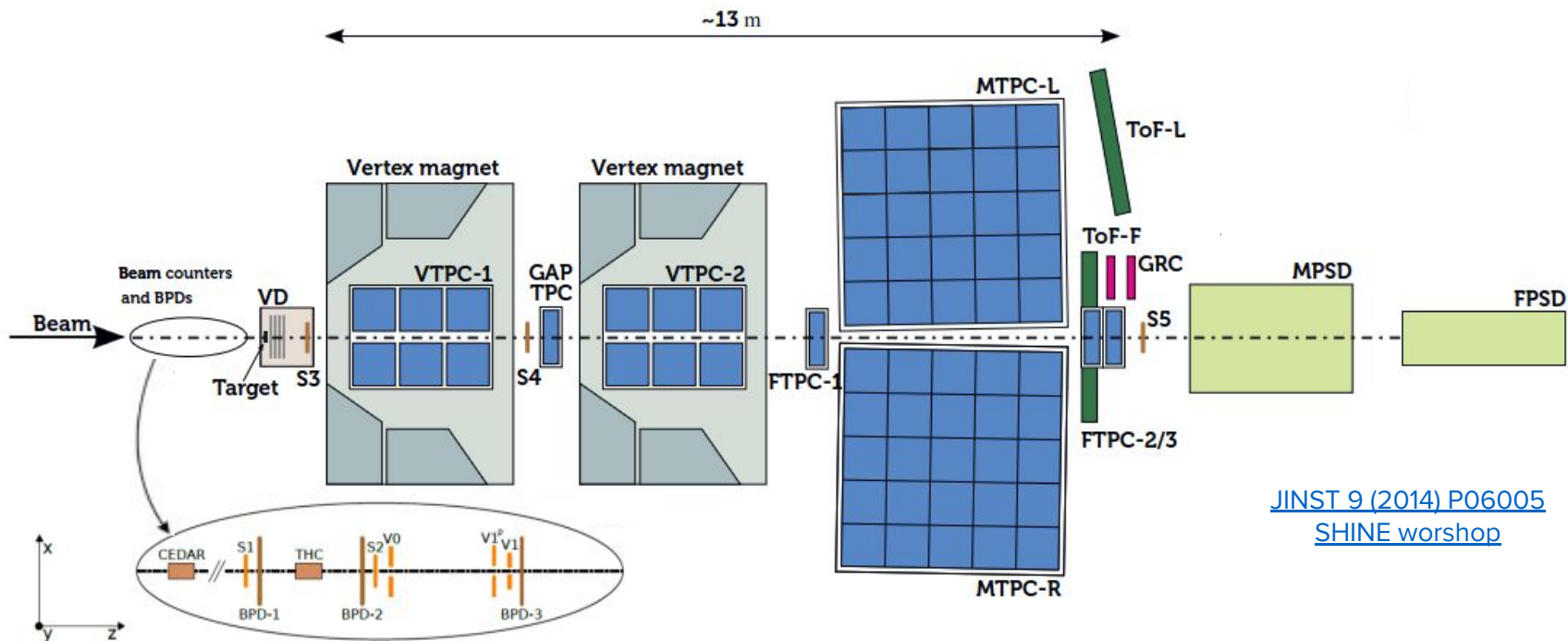


NA61/SHINE: местоположение

SPS Heavy Ion and Neutrino Experiment



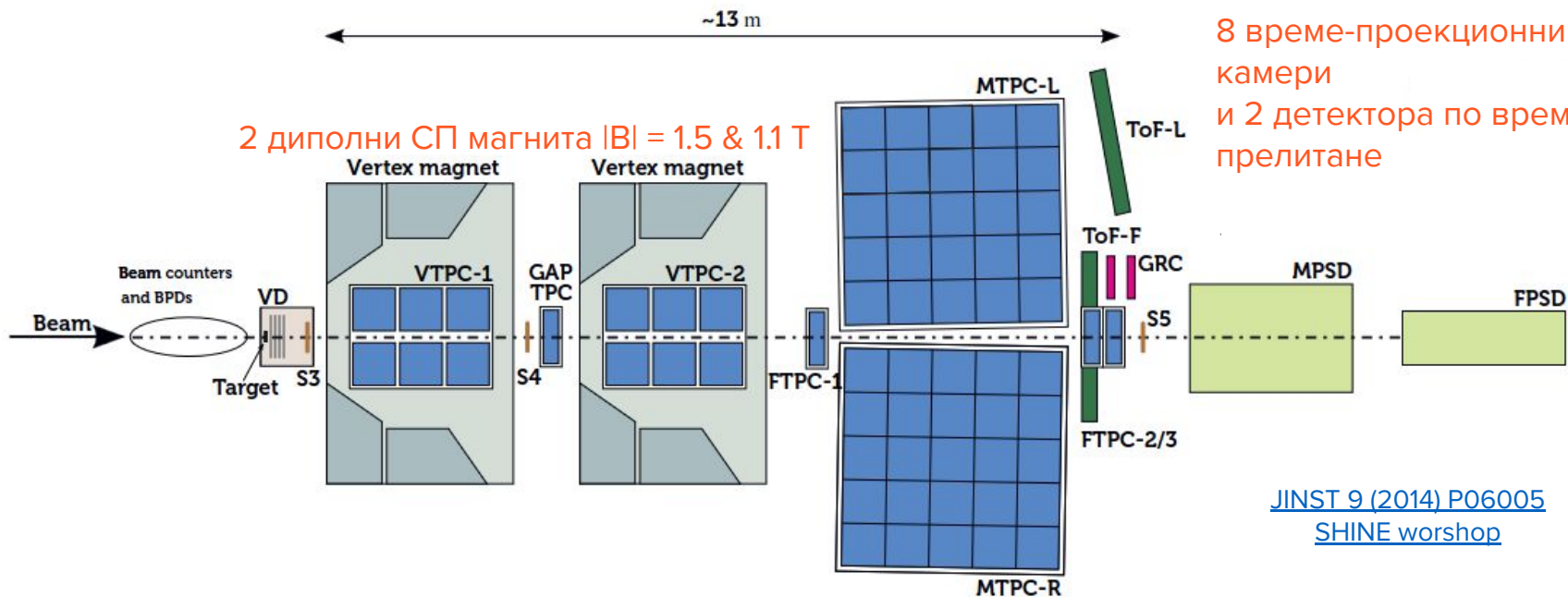
NA61/SHINE: детектор



[JINST 9 \(2014\) P06005](#)
[SHINE workshop](#)

детектори на началния сноп: позиция, тип частици
beam position & Cherenkov/Scintillation/Veto trigger detectors

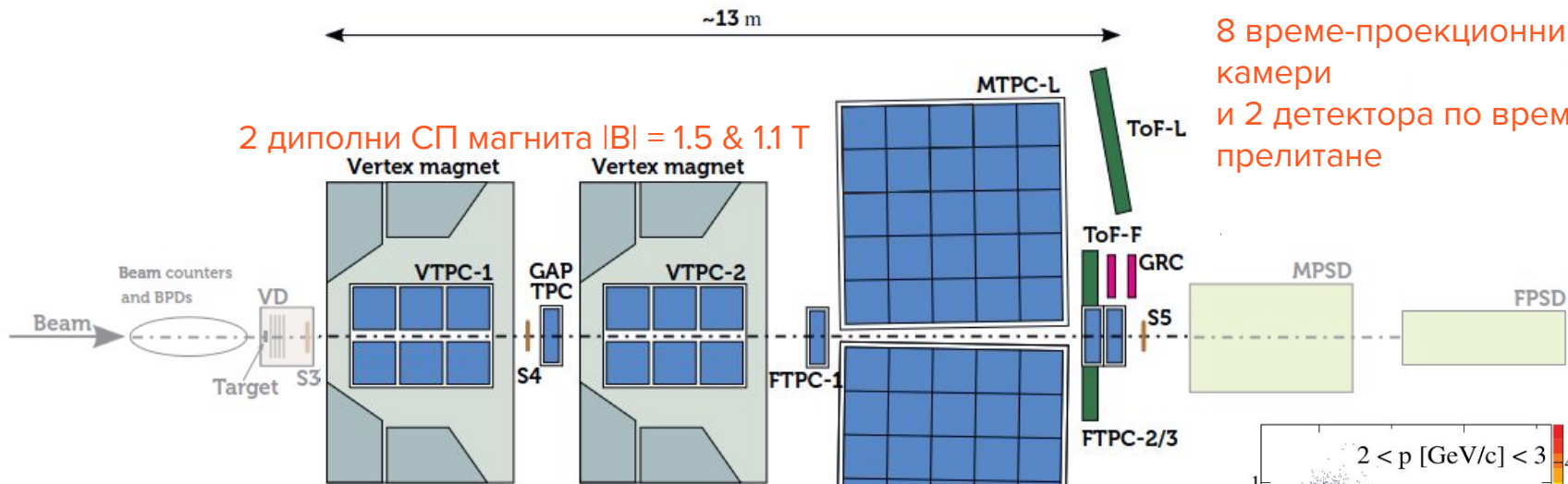
NA61/SHINE: детектор



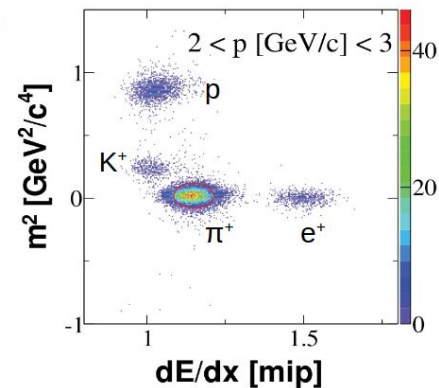
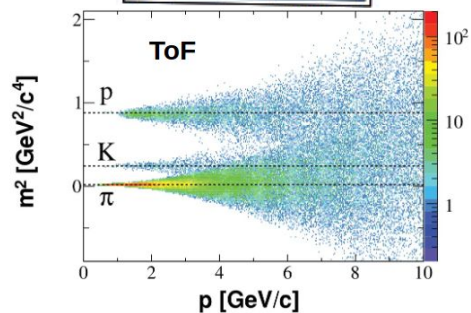
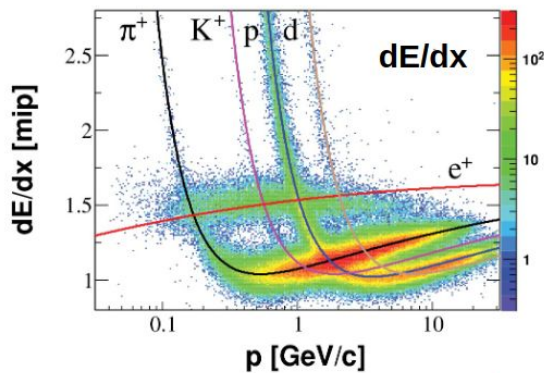
8 време-проекционни
камери
и 2 детектора по време на
прелитане

[JINST 9 \(2014\) P06005](#)
[SHINE workshop](#)

NA61/SHINE: детектор

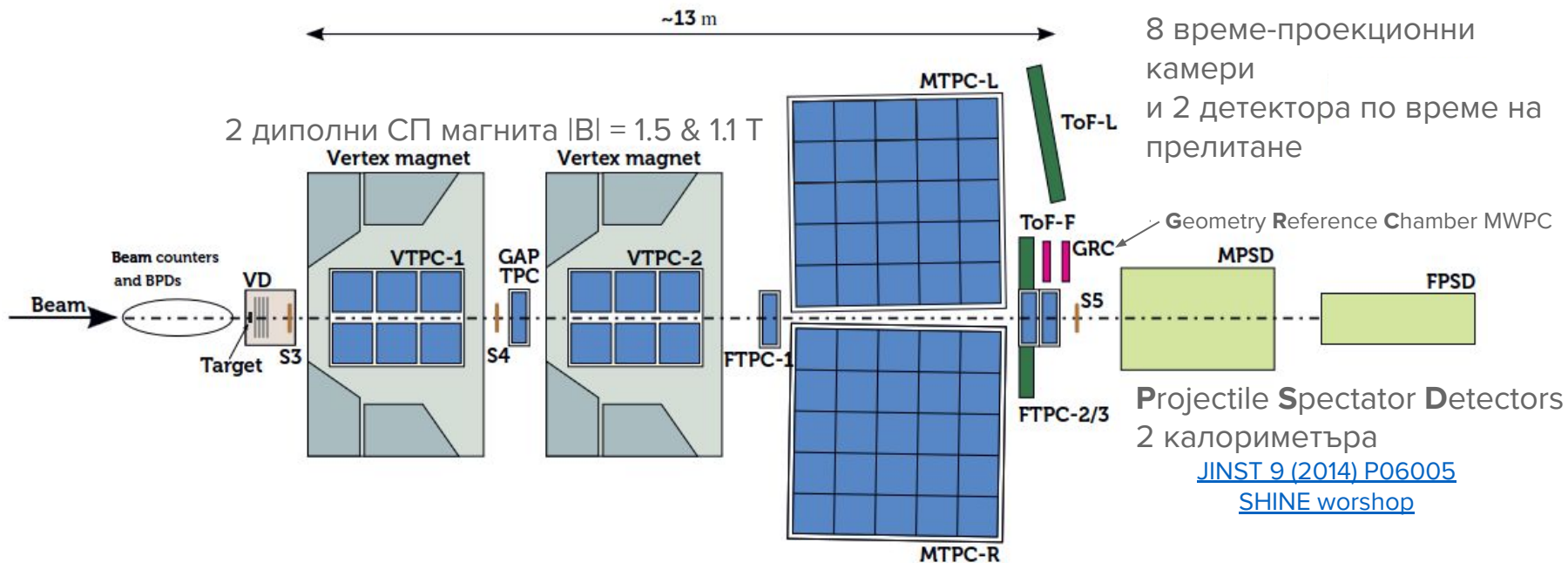


8 време-проекционни камери
и 2 детектора по време на прелитане



[Phys. Rev. C 84, 034604 \(2011\)](https://arxiv.org/abs/1007.4632)

NA61/SHINE: детектор и физични цели



NA61 е наследник на NA49; Начало на набиране на данни в SHINE: 2007

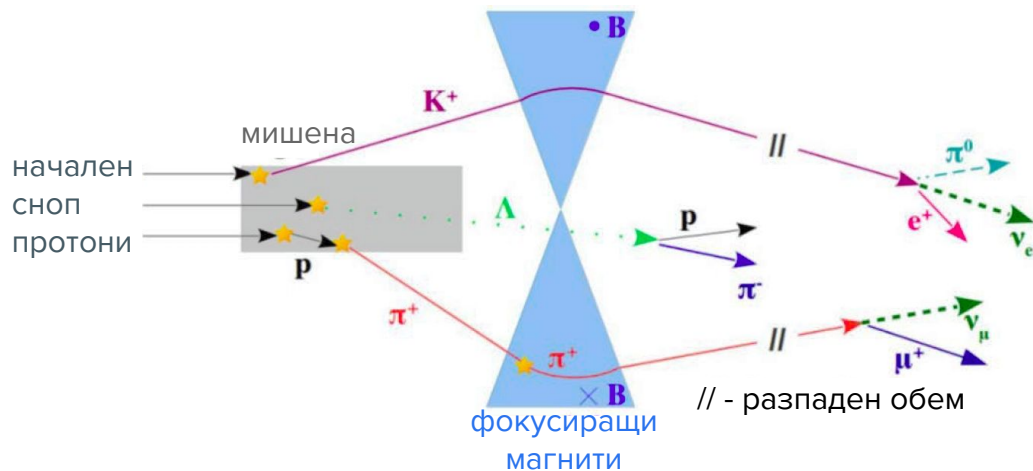
Цели: изследване на силни взаимодействия, **измервания на адронни добиви за нуждите на експерименти по осцилации на неутрино** или на експерименти изследващи космични лъчи

Получаване на неутринни снопове в експерименти по осцилации с голямо прелетно разстояние

Неутрино от разпад на пиони и каони или от вторични взаимодействия в мишената или фокусиращите магнити

NA61/SHINE единствен предлага условия за пълното пресъздаване на генерирането на неутринния поток в експерименти като T2K, Nova и DUNE

- Обстрелване на дълги мишени от лек материал с протони с енергии 30–120 GeV
- Обстрелване на тънки мишени с адронни снопове за изследване на вторичните взаимодействия

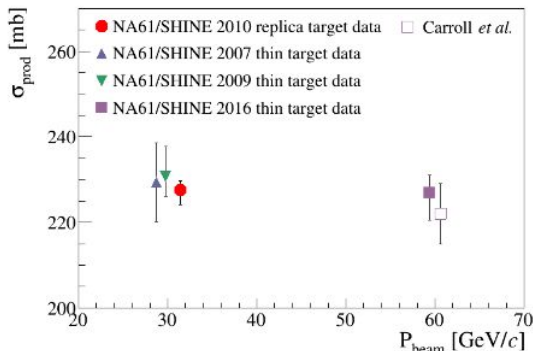


Работата на групата ни в NA61/SHINE

Участие в сеансите за набор на данни

Анализ на данните от 2009 and 2010 с копие на T2K мишената: измерване на адронни(пионни) добиви и сечения за взаимодействие тип продукция

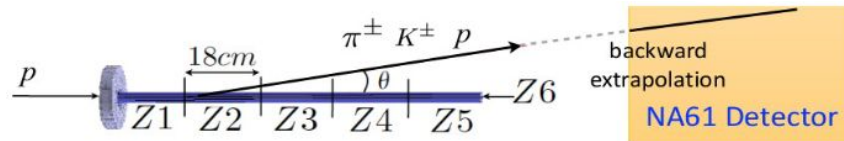
[Phys. Rev. D 103, 012006](#)



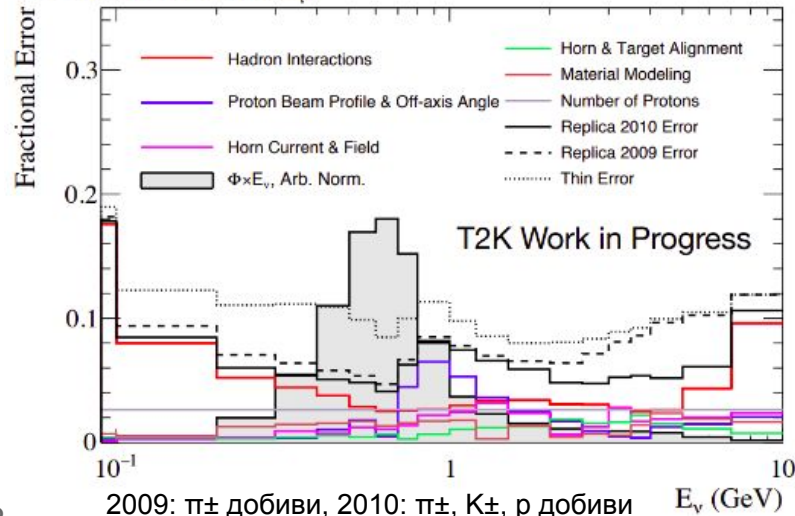
Софтуер: симулиране на ExV ефект при дрифта на електроните в TPC, групиране на детекторни сигнали в TPC (clusterizing), построяване на TPC следи, валидиране на симулации, **реконструиране на точките на взаимодействие тип V0** (пример $K_0^S \rightarrow \pi^+\pi^-$)

Подновяване електрониката на TPC в периода 2021-2022 (по време на LS2): отговорник за MTPC

Катедра „Атомна физика“ на 80 години: На лов на неутрино: С. Илиева
17 април 2026



SK: Neutrino Mode, ν_μ [Lukas Berns, NBI 2019](#)



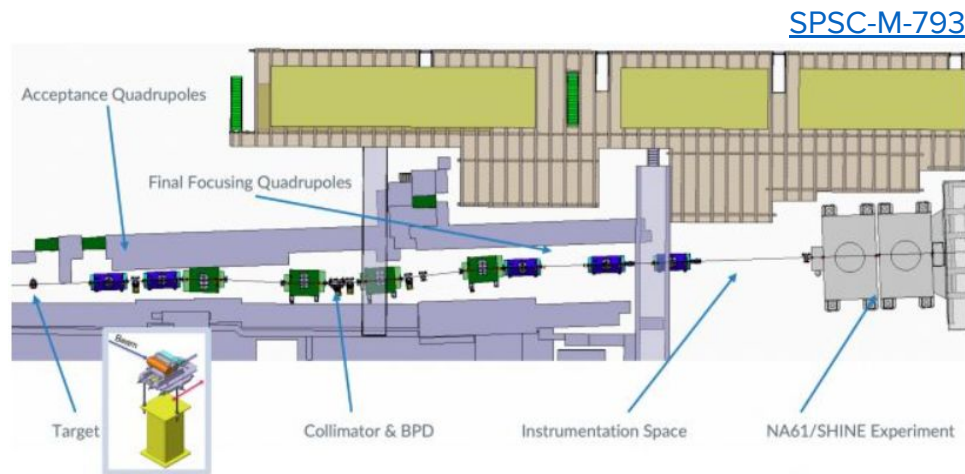
Какво следва?

Предложение от SHINE за използване на снопове с енергии 2-20 GeV (2029–)

- Адаптиране на съществуващия инструментариум по линията на снопа (H2)

Цел: референтни измервания на добиви и сечения за взаимодействие за:

- Нейтринни експерименти с късо и дълго прелетно разстояние
 - T2K, Hyper-K (π @ 2 GeV, 8 GeV)
 - LBNF/DUNE
 - Short-baseline Neutrino Program (p @ 8 GeV)
- Атмосферно и spallation неутрино
 - sub-GeV неутрино за Super-K, Hyper-K, DUNE
 - JSNS² (proton at 3 GeV)
 - COHERENT (proton <2 GeV)
- Мюонни експерименти
 - COMET (proton at 8 GeV)



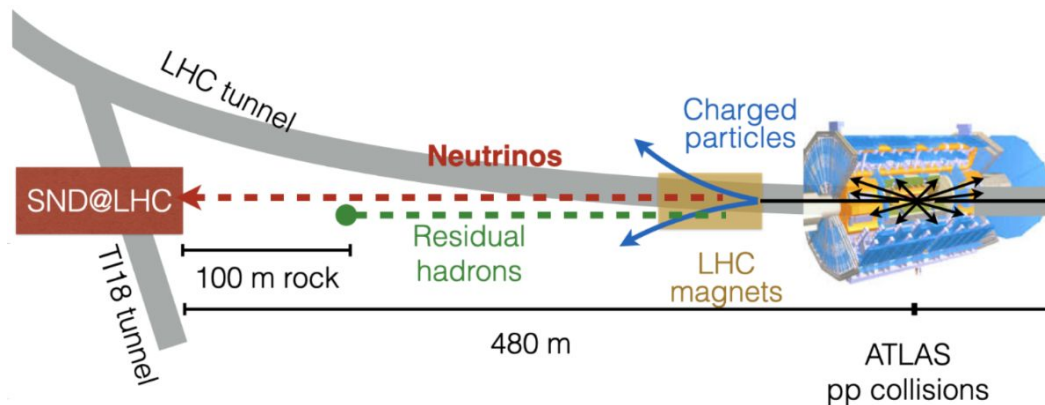
SND@LHC: местоположение

Scattering and Neutrino Detector at the LHC



SND@LHC: местоположение

Scattering and Neutrino Detector at the LHC



Очакван брой взаимодействия на неутриното през LHC Run3 (2022-2026), 310 fb^{-1} :

Flavour	DIS-CC	DIS-NC
$\nu_\mu + \bar{\nu}_\mu$	1575	508
$\nu_e + \bar{\nu}_e$	484	161
$\nu_\tau + \bar{\nu}_\tau$	37	19
Tot	2096	688

SND@LHC: детектор и физични цели

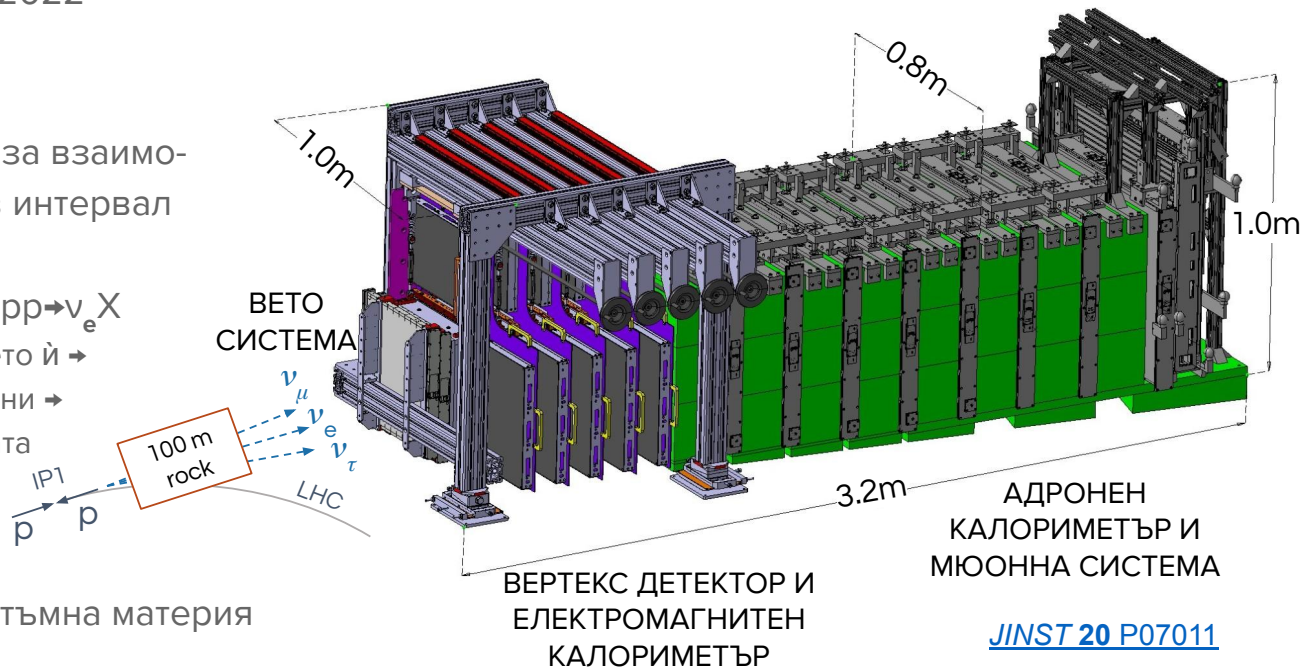
Компактен детектор с хибриден дизайн за детектиране и идентифициране на трите аромата неутрино

За повече детайли, вижте [презентацията](#) на И.Дионисов в събота

Начало на набиране на данни: 2022

Цели:

- Измерване на сечението за взаимодействие на неутрино в интервал $x100 \text{ GeV} - x1 \text{ TeV}$
- Измерване на реакцията $pp \rightarrow \nu_e X$
 - пресмятане на сечението $\dot{y} \rightarrow$ добив на чаровни адрони \rightarrow определяне на глюонната PDF при $x \sim 10^{-6}$
- LFU
- Търсене на кандидати за тъмна материя



[JINST 20 P07011](#)

SND@LHC: детектор и физични цели

Scattering and Neutrino Detector at the LHC

Letter of Intent

август 2020

TECHNICAL PROPOSAL

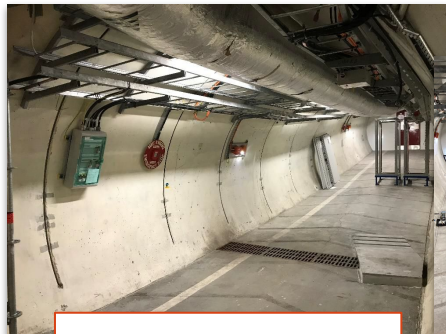
SND@LHC

януари 2021

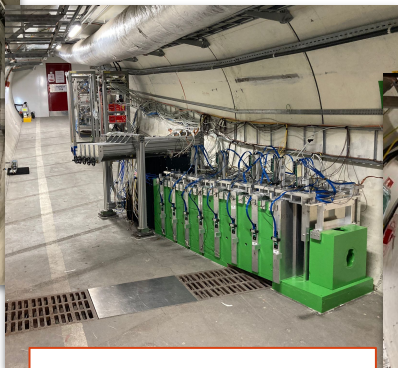
CERN approves new LHC experiment

SND@LHC, or Scattering and Neutrino Detector at the LHC, will be the facility's ninth experiment

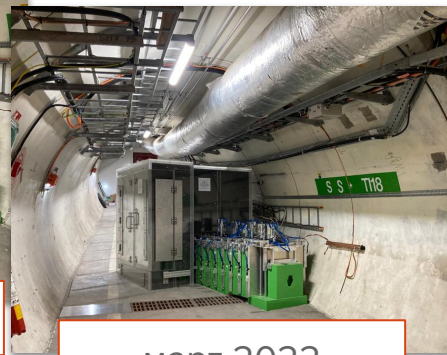
март 2021



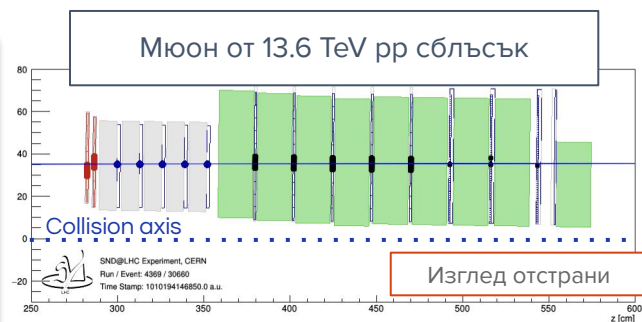
септември 2021



декември 2021



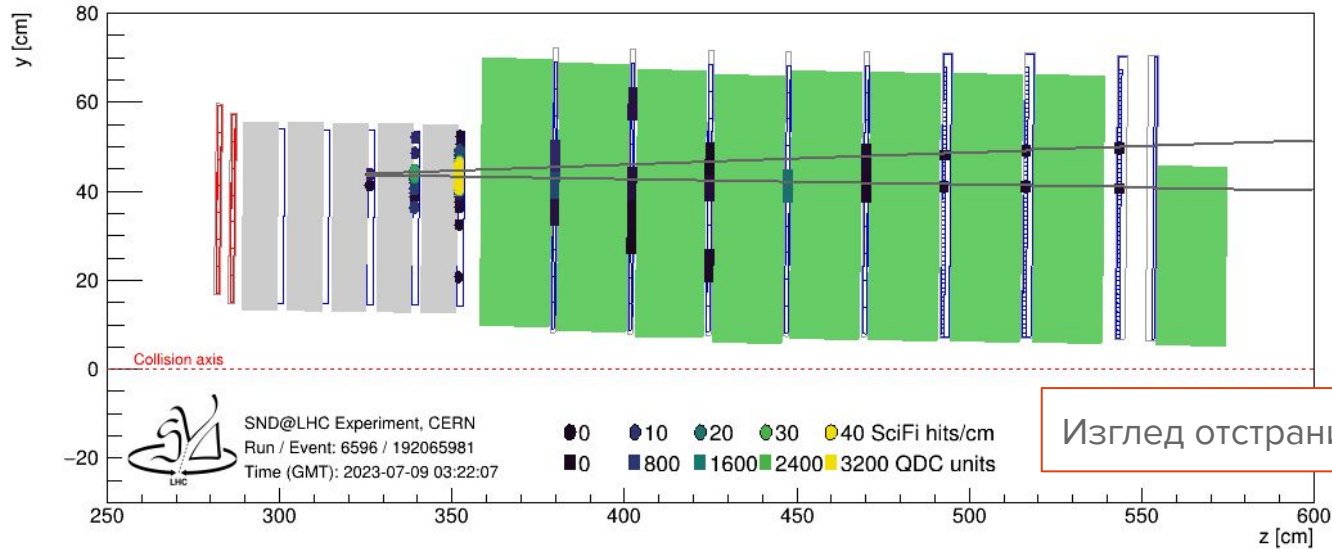
март 2022



юли 2022

SND@LHC: кандидат за ν_{μ} CC DIS събитие

ν_{μ} CC DIS взаимодействие в мишената с
2 реконструирани мюона в крайно състояние



чаровен
мезон?

Работа на групата ни в **SND@LHC**

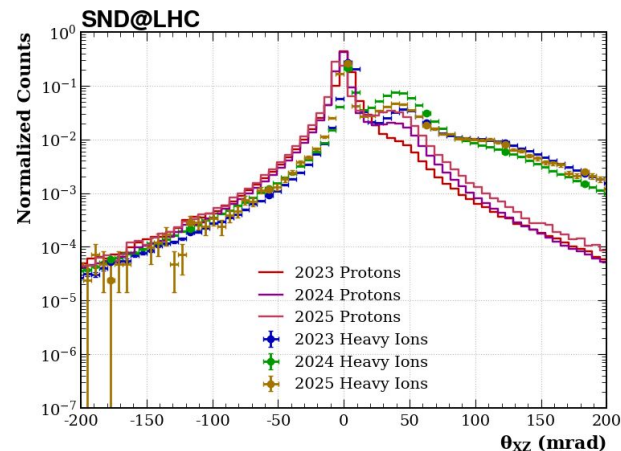
Участие в сеансите за набор на данни, обработка и сканиране на ядрени емулсии

Участие в тестови кампании за енергетичната калибровка на детектора през 2023 и 2024г.

Изследване на потока мюони ([Eur. Phys. J. C \(2024\) 84: 90](#)),
търсене на $\nu_{\mu} \text{CC}$ взаимодействия, измерване на дълбоко
нееластично разсейване на мюоните в детектора,
начален етап на анализ за търсене на тъмна материя

Подготовка на данните: пространствена и времева калибровка на
детектора, напасване по време на протонните сблъсъци в LHC със
събитията в детектора

Софтуер: поддръжка на набор от пакети за симулации и обработка на
данните, пълно софтуерно осигуряване на електронните детектори на
SND: мониторинг на набора на данни, трекинг, мониторинг на мюонния
поток (определя праговата експозиция на емулсиите).



[arXiv:2602.23412](https://arxiv.org/abs/2602.23412), изпратен за
публикация в EPJC

Какво следва?

По-голям брой очаквани взаимодействия през HL-LHC ерата

Нова подобрена версия на детектора за LHC Run4 (2030–):

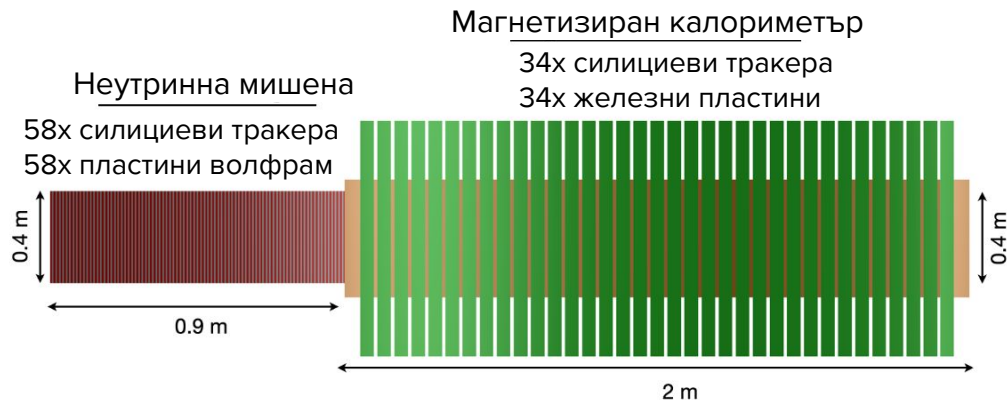
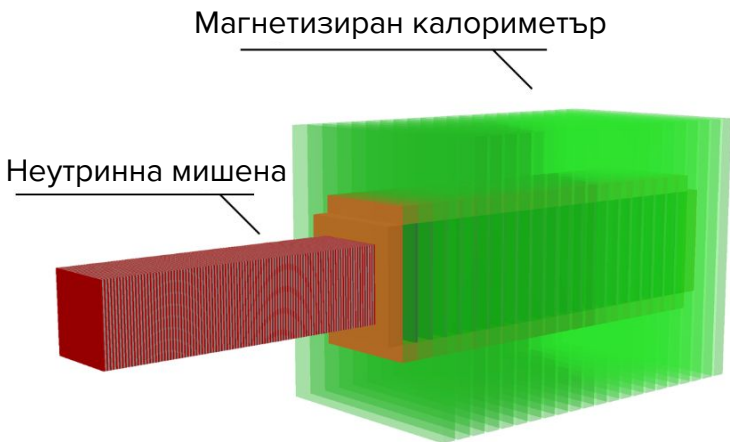
[Technical Proposal](#) и [arXiv:2602.21881](#)

Вместо ядрени емулсии → силициеви многонишкови детектори (30 μ m пространствена разделителна способност), предоставени от CMS; ще бъдат демонтирани от Tracker Outer Barrel

Магнетизиран калориметър: определяне на заряда и измерване на импулса на мюоните → различаване на неутрино и анти-неутрино

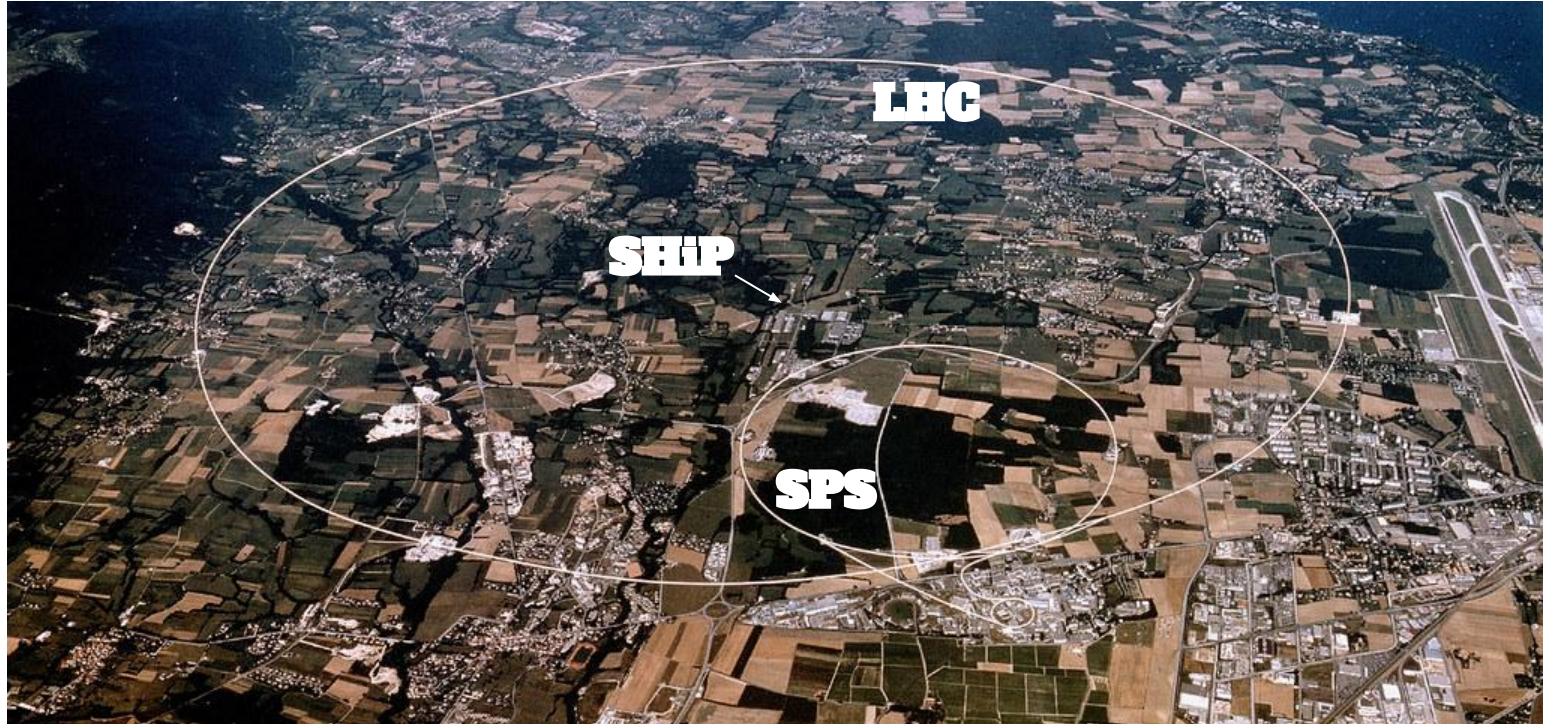
Flavour	DIS-CC	DIS-NC
$\nu_\mu + \bar{\nu}_\mu$	1.5×10^4	4.8×10^3
$\nu_e + \bar{\nu}_e$	2.9×10^3	9.0×10^2
$\nu_\tau + \bar{\nu}_\tau$	1.4×10^2	5×10^1
Tot	1.8×10^4	5.7×10^3

Очакван брой взаимодействия на неутрино през LHC Run4, 3000 fb⁻¹



SHiP: местоположение

Search for **Hi**dden **P**articles



Катедра „Атомна физика” на 80 години: На лов на неутрино: С. Илиева
17 април 2026

SHiP: детектор и физични цели

Експериментът е одобрен от ЦЕРН през март 2024 с името NA67

[Letter of Intent](#)



Две основни и независими цели: търсене на **кандидати за тъмна материя** и изследване на **взаимодействията на неутрино** с енергии до $\times 100$ GeV

	CC DIS	Charm CC DIS
N_{ν_e}	2.0×10^6	1.2×10^5
N_{ν_μ}	5.8×10^6	2.8×10^5
N_{ν_τ}	5.9×10^4	3.2×10^3
$N_{\bar{\nu}_e}$	4.0×10^5	2.1×10^4
$N_{\bar{\nu}_\mu}$	1.3×10^6	5.0×10^4
$N_{\bar{\nu}_\tau}$	4.3×10^4	2.5×10^3

Очакван брой взаимодействия на неутрино за 15 години и 3-тонна мишена

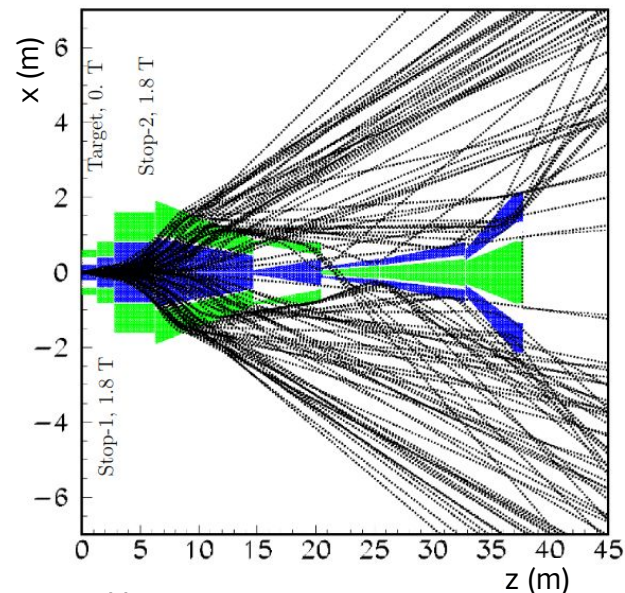
SHiP: текущо състояние и нашето място

Разработва се структурата на детектора и съпътстваща инфраструктура: мащабен проект за SPS Beam Dump Facility ECN3 експериментална зона

- Колаборацията е одобрила концептуалния дизайн (CDR) на мюонния щит: критичен елемент от всеки детектор за слабо взаимодействащи частици

Нашата работа досега: първите симулации на дълбоко нееластично разсейване на мюоните

При избор на технология за неутринния детектор, близка до тази в SND@LHC, естествено продължение и допълнение на работата ни по Run4 SND@LHC



Цвятът показва различната полярност на магнитите

[CERN-SHiP-NOTE-2016-005](#)

ESSnuSB: местоположение и цел

European Spallation Source neutrino Super Beam



Проект за бъдещ експеримент по осцилации на неутрино с голямо прелетно разстояние **в Европа**

- мощен 5 MW протонен (супер) сноп
- с енергия на протоните 2.5 GeV
- 538 kt Черенковски воден детектор

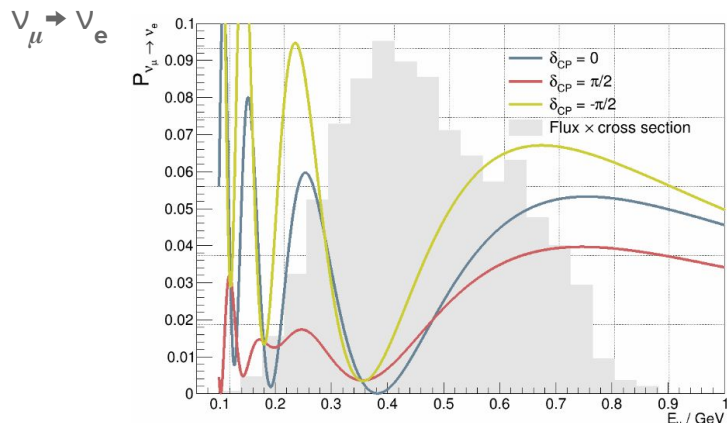
Цели: определяне на δ_{CP} , изследване на слъчево и атмосферно неутрино, търсене на стерилно неутрино, разпад на протона

ESSnuSB: експериментален комплекс

Независим канал за генериране на сноп мюонно неутрино вследствие на разпад на пиони, получени при обстрел на титаниева мишена

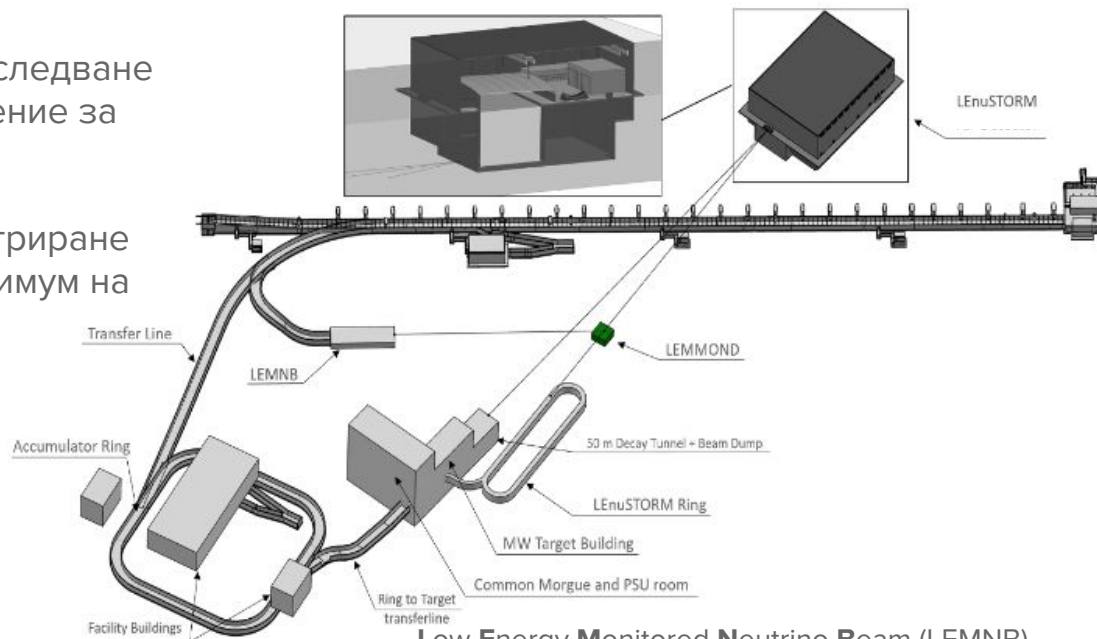
Близък многокомпонентен детектор за изследване на началния неутринен сноп(енергия, сечение за взаимодействие)

Далечен (Черенковски) детектор за регистриране на неутринните осцилации във 2-рия максимум на



Катедра „Атомна физика“ на 80 години: На лов на неутрино: С. Илиева
17 април 2026

[ESSnuSB design study](#)
[Input for ES for PP 2025](#)



Low Energy Monitored Neutrino Beam (LEMNB)

Low Energy nuSTORM (LEnuSTORM)

Low Energy neutrino from stored Muons and MOnitored beam

Near Detector (LEMMOND)

ESSnuSB: нашето място

Разработване на софтуерният пакет *essusb*:
основен инструмент за МК моделиране и анализ в
рамките на проекта

Разработване на детекторни модели

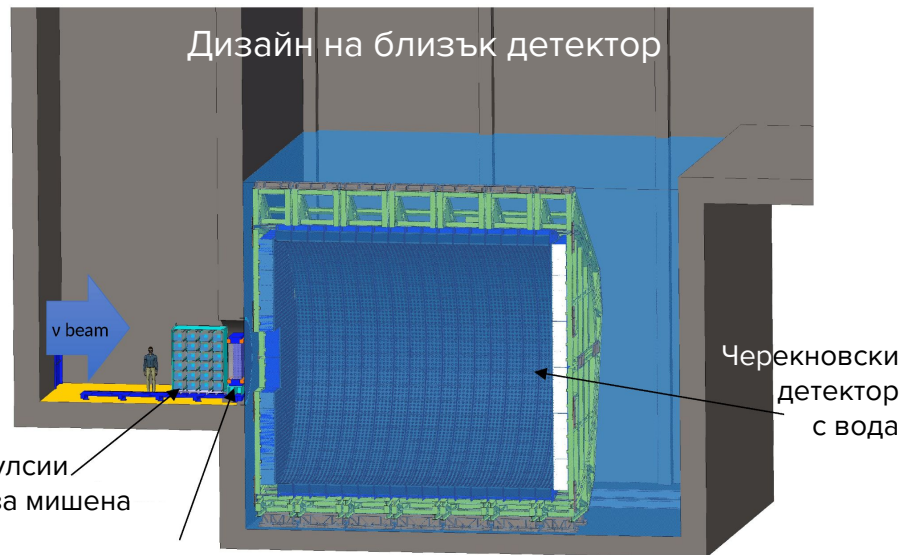
- тестове на сцинтилационен детектор
super Fine Granulated Detector близък
детектор за T2K и ESSnuSB: [JINST 15 P12003](#)

Симулации и анализи на чувствителността в
различни неутринни канали

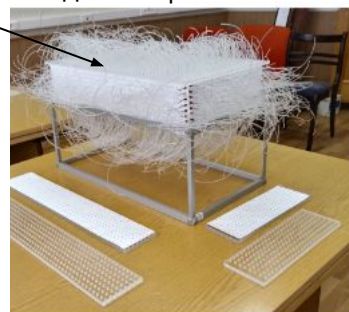
Проектът е на ниво дизайн

Хипотетично начало на изграждането на
инфраструктурата: 2033

И начало на набор на данни: 2040



сцинтилационен детектор



Накратко

- Участие на групата в разнообразни проекти в сферата на физиката на неутриното... и търсенето на „скрити” частити
- NA61/SHINE и SND@LHC набират данни и към днешна дата
 - И имат силни програми за следващия ускорителен цикъл 2030–
 - SND@LHC е одобрен за работа през LHC Run4
- Проекти на експерименти: SHiP и ESSnuSB
 - SHiP е одобрен за 2029–
 - ESSnuSB: 2040–
- Принос на групата към:
 - Референтни адронни измервания за T2K и NA61/SHINE симулации
 - Техническо подсигуряване за симулации, набор и анализ на данни в SND@LHC
 - Техническо подсигуряване за симулации и анализ в ESSnuSB
- Отворена възможност за пряко изследване на взаимодействията на трите аромата неутрино в интервал енергии GeV – TeV, с потенциал за изследвания на неутринни осцилации и δ_{CP} в летпонния сектор

За финал

Историята не започва с настоящето

С *качествена* работа в годините назад днес за нас са отворени вратите за работа в областта на физиката на неутриното

Работата ми/ни сега е да запазим постигнатото и да създадем нови възможности за следващите „новобранци“

Благодаря Ви за вниманието



Допълнителна информация



Silicon strip detector planes

- Detector modules inherited from the CMS outer barrel tracker.
- Eight modules per plane. 1680 modules available.
- 122 micron strip pitch.

