

Търсене на дългоживущи заредени частици в CMS

Елтон Шумка

17 април 2026
“Катедра Атомна Физика на 80”

Съдържание

- Дългоживущи заредени частици (HSCP)
- Следа в мюонната система
- L1DS системата за набор на данни
- Реконструкция и фитиране
- Резултати и стратегия за разширение на анализа

Дългоживущи заредени частици (HSCP)

Теоретична основа

Различни разширения на Стандартния Модел (SM), въвеждат частици които биха могли да оставят мюон-подобна следа в мюонната система [1]. За целта на този анализ, бяха разгледани следващите кандидати:

- Лептони от 4-то поколение (τ')
- Резонансно раждане на два τ' лептона, от разпад на тежък Z' .
- Зареден SUSY R-адрон.

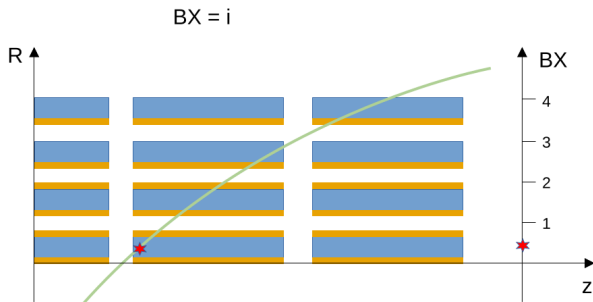
State-of-the-art

Търсения на база на dE/dx в трекара [2], чувствителни в областта на фазовото пространство с $\beta > 0.6$. Бавните частици са недостъпни заради ограничения въведени от тригърната система.

[1] M. Fairbairn et al., "Stable Massive Particles at Colliders", Phys. Rept. 438 (2007) 1–63.

[2] CMS Collaboration, "Search for heavy long-lived charged particles with large ionization energy loss in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV", JHEP 04 (2025) 109.

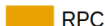
Следа в мюонната система на CMS



Hit

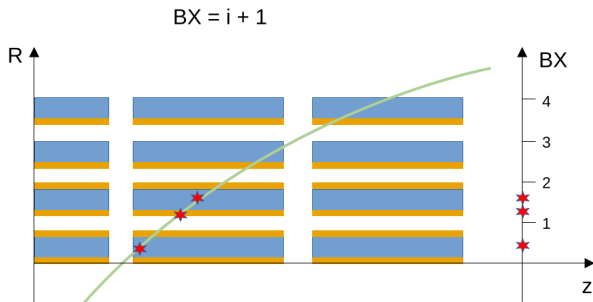


DT



RPC

Следа в мюонната система на CMS



Hit

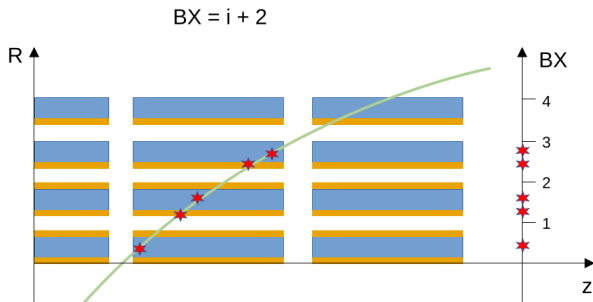


DT



RPC

Следа в мюонната система на CMS



Hit

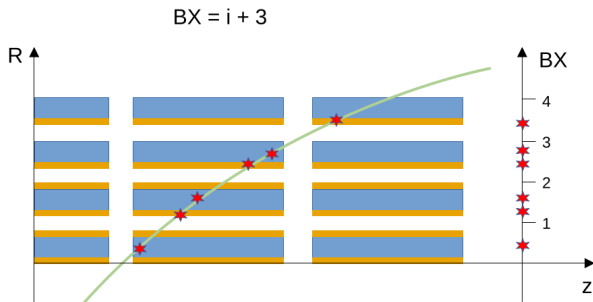


DT



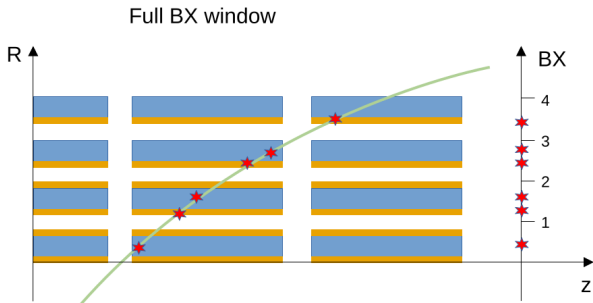
RPC

Следа в мюонната система на CMS



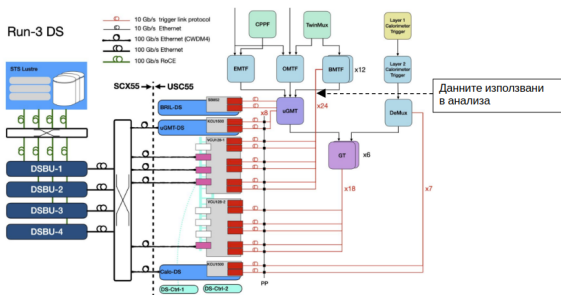
★ Hit ■ DT ■ RPC

Следа в мюонната система на CMS



- Такъв вид на следа е недостъпен за конвенционалния тригър на CMS.
- Необходима е информация от последователни във времето събития.

L1 Scouting система за набор на данни



Системата е пусната в експлоатация през Run 3. На изхода си изпраща два потока данни: ZeroBias и OnlineSelection.

Източник: R. Ardino, "Search for rare boson decays with the CMS detector at LHC and the CMS Level-1 trigger data scouting", 2024. PhD thesis.

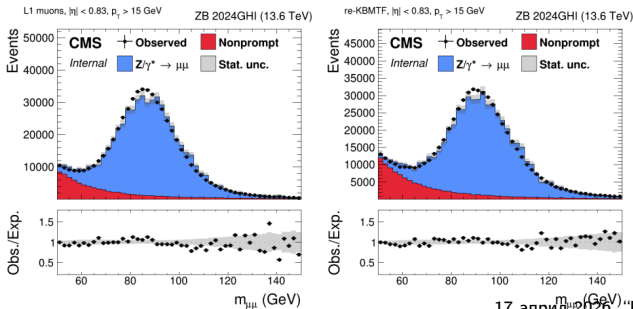
Съдържание на L1DS дейтасет

- До 8 мюона - реконструирани от GMT
- До 12 e/γ , както и джетове и τ лептони от Calo L2
- E_{sum} както и p_T^{miss} от Calo L2
- Колекция от BMTF сегменти (stubs)

Алгоритъм за реконструкция

- L1 тригъра използва алгоритъм базиран на Калманов филтър (kBMTF), за онлайн реконструкция на мюони в бареловата част на мюонната система.
- Тъй като BMTF сегментите от L1DS са подобни на тригърните примитиви използвани в L1, възможно е да бъде използвана готовата имплементация на същия алгоритъм, с дребни модификации.
- Сегменти със максимално разстояние във времето от 6 събития могат да бъдат комбинирани заедно.
- Валидацията на алгоритъма е извършена използвайки процеса $Z \rightarrow \mu\mu$.

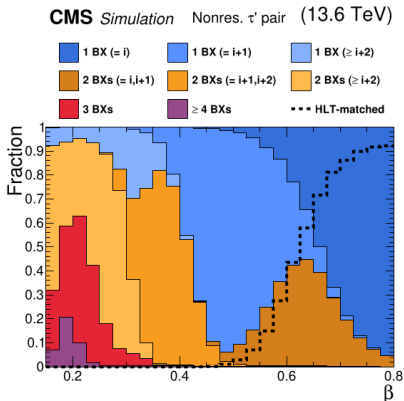
Източник: The CMS Collaboration, Search for heavy long-lived particles with level-1 trigger scouting data from proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13.6 \text{ TeV}$, *arXiv:2601.20063*.



Реконструкция на трековете

Трекове от МК-генерирани HSCP

- Ефективността за реконструкция на трекове от HSCP частици с различни маси се изследва с помощта на МК извадка.
- В областта $0.2 \lesssim \beta \lesssim 0.6$, алгоритъма проявява ефективност много близка до 100% за реконструкция на HSCP трек.

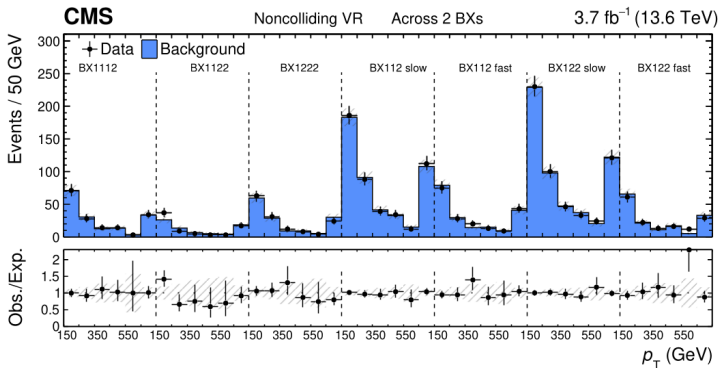


Чувствителността на HLT тригъра се разглежда за сравнение, и показва че областта недостъпна за HLT ($\beta < 0.5$), се покрива почти напълно от нашия подход.

Фитиране

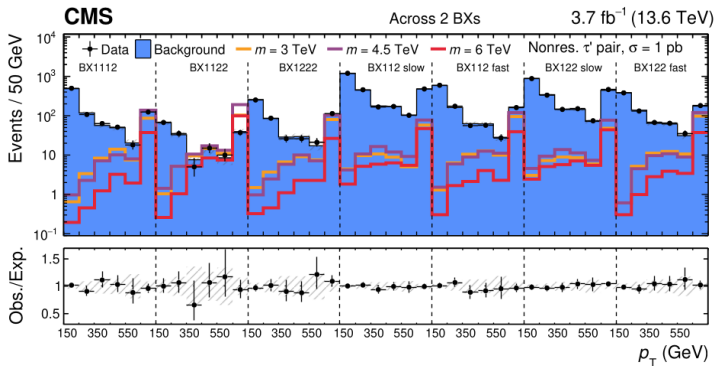
p_T

- p_T разпределението на фоновите трекове се моделира чрез реконструкция на трекове с "асинхронно" подреждане на треките сегменти.



Резултати

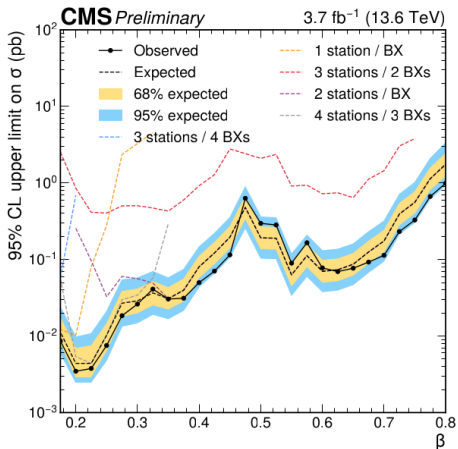
- Резултатите са получени с използването на L1DS данни от 2024 г., съответстващи на 3.72 fb^{-1} , с maximum likelihood fit на бинирано разпределение на p_T .



Не се наблюдава съществено отклонение от хипотезата за напълно фонови трекове.

Граници и сечения

Резултатите са представени и като модел-независими горни граници на сечението за раждане на HSCP.



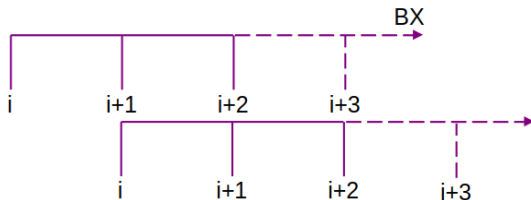
Разширение на анализа

Стъпките за разширение на анализа с пълния набор данни от Run 3:

- Генериране на нови MC извадки за 2025-2026 г., във съответствие с променените условия.
- Използване на данните набрани с новия селектор, въведен през 2025.
- По-подробно отчитане на неопределености свързани с времевата резолюция на мюонната система.
- Изследване на алтернативни подходи за реконструкция на трекове, на база на ML модели, особено важно в контекста на HL-LHC.

Дедикиран селектор

Селектора е внедрен в системата за набор на данни от юли 2025 г. Новата итерация на анализа ще използва данните набрани с този селектор.



Условия

В прозорец от три събития се проверява:

- Минимално условие - наличие на треков сегмент (stub) във всяко събитие
- Допълнително условие - сегментите се намират в съседни wheel-ове

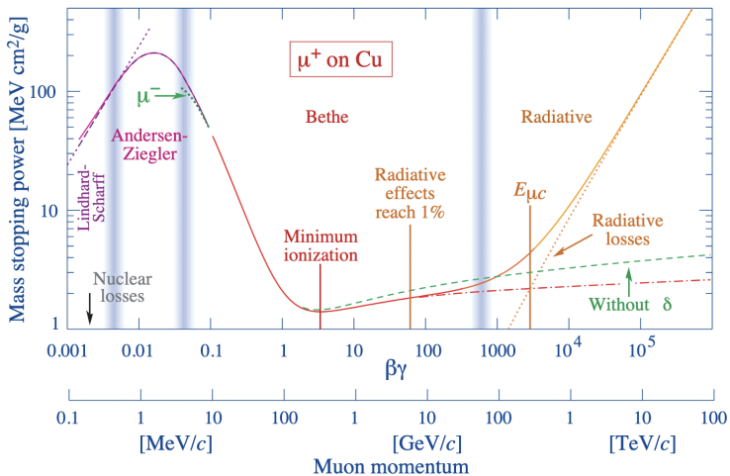
Заклучение

- L1DS системата на CMS отваря нова възможност за изследване на HSCP кандидати с ниски β , недостъпни при конвенционалния подход.
- Резултатите от 2024 г. дават ограничения на сеченията за няколко теоретични модела.
- Втората итерация на анализа, която тече в момента, се стреми да използва много по-висока статистика, дължаща се и на дедикиран селектор, имплементиран от нас.
- Допълнително, планират се качествени подобрения в аналитичния фреймуорк, които се очаква да доведат до по-добра чувствителност към търсения сигнал.

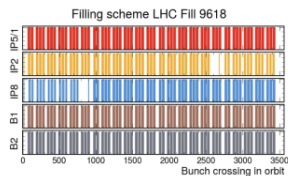
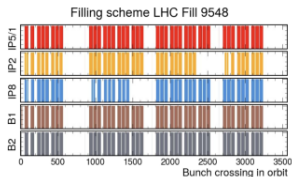
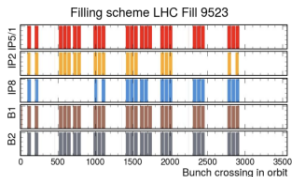
Благодаря за вниманието!

Back-up slides

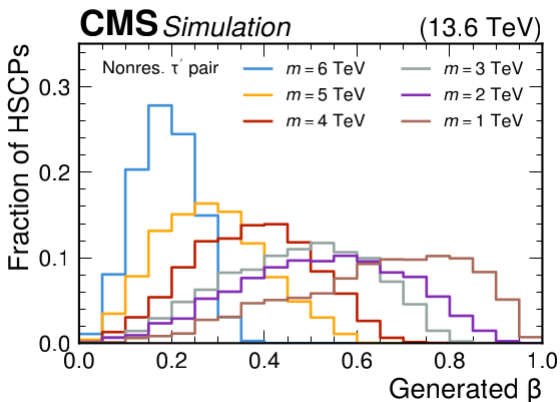
Крива на Бете-Блох - μ



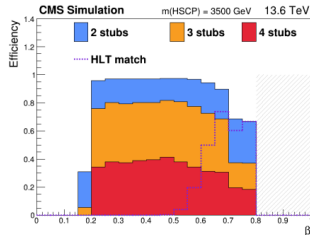
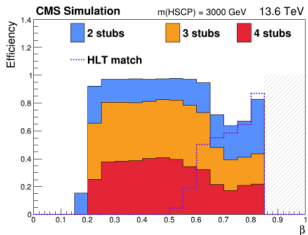
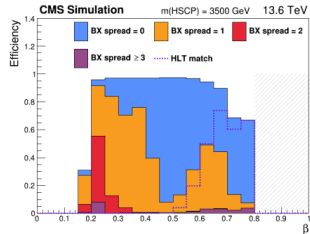
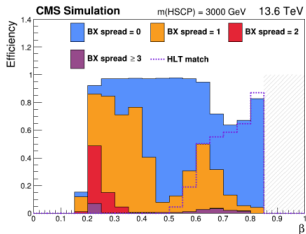
LHC filling schemes



Generated beta distributions



Ефективност на реконструкция



Граници и сечения

Резултатите са представени и като горни граници на сечението за раждане на HSCP, в рамките на моделите с τ' и R -адрон.

