

Програмне забезпечення для моніторингової системи RMS-R3 та результати за 2024 рік у експерименті ЛНсб

С.Б. Чернишенко*, В.О. Кива, О.Ю. Охріменко, В.М. Пугач, Д.М. Рамазанов

Інститут ядерних досліджень НАН України

*chsb2010@gmail.com

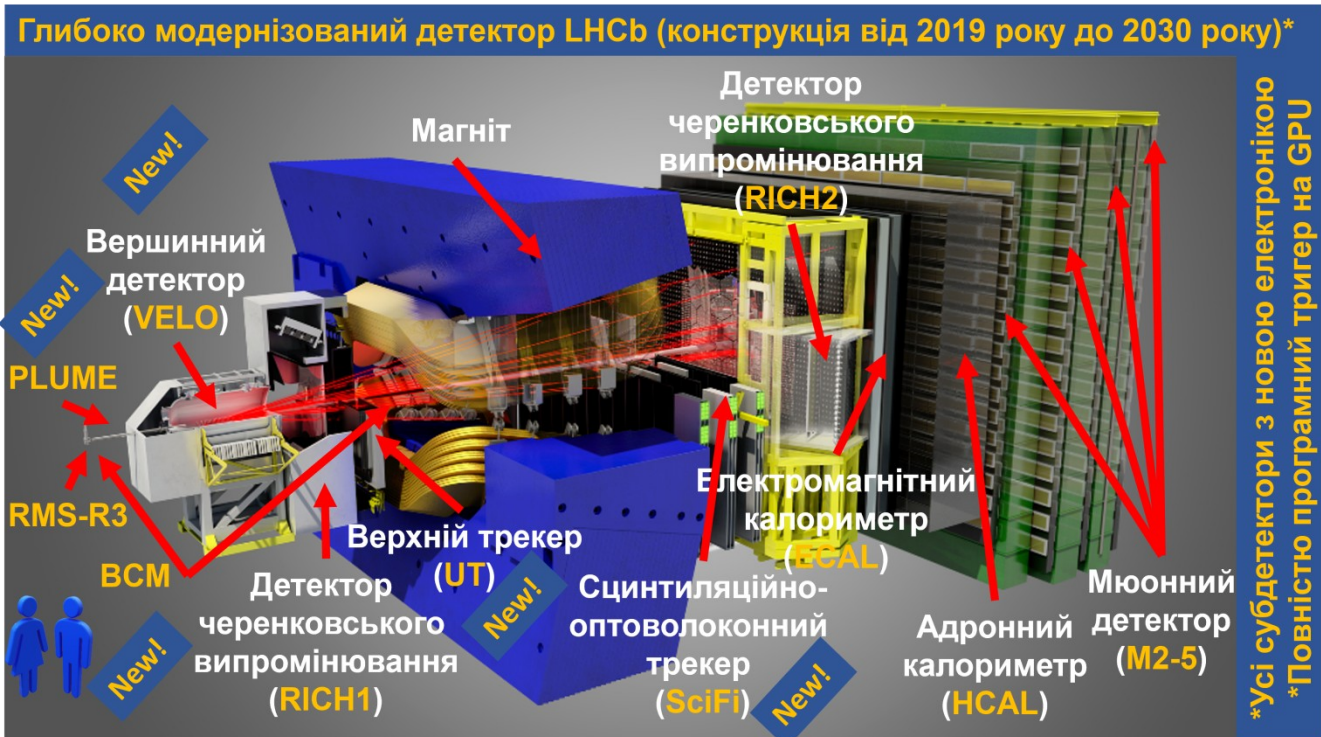
XXXII Щорічна наукова конференція ІЯД НАН України

26-30 травня 2025 р.

Мотивація

- Розробка програмного забезпечення, яке дозволить операторам на пульті управління LHCb відстежувати умови протікання експерименту (пучок та фон) у режимі реального часу
- Встановлення меж безпечної роботи експерименту для асиметрій детекторів RMS-R3
- Створення графіків асиметрій для графічного застосунку WInCC та онлайн-ресурсу MONET з можливістю віддаленого онлайн доступу до даних (in real time)
- Аналіз pp та PbPb даних за 2024 рік

Експеримент LHCb

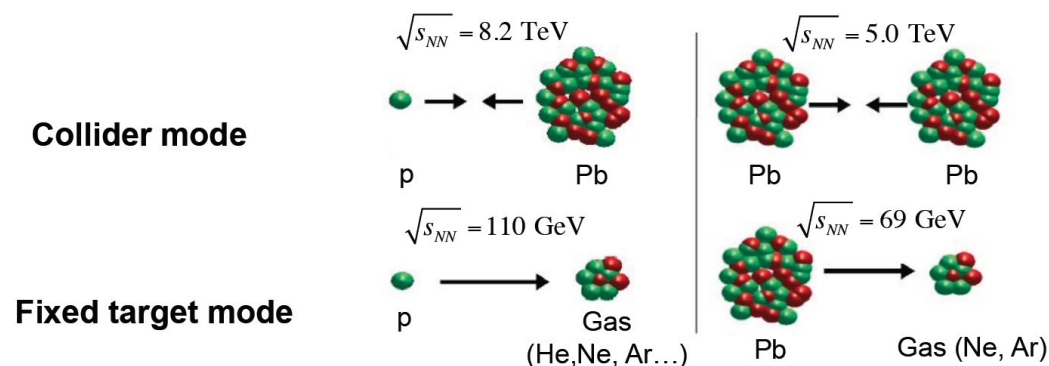


Програма досліджень LHCb

- Фізика ароматів, зокрема фізика c - та b -кварків;
Порушення CP-парності в розпадах B та D мезонів
- Розпади з порушенням аромату в лептонному секторі
- Фізика поза сектором ароматів (Електрослабкі, екзотичні розпади, КХД тощо)
- Пошук Нової фізики поза Стандартною Моделлю

Номінальні умови в Run 3 (2022 - 2025):

- Енергія p - p зіткнень $\sqrt{s_{NN}} = 13,6$ TeV
- Підвищена миттєва світність до $2 \times 10^{33} \text{ см}^{-2} \text{с}^{-1}$
- Колайдерний режим роботи та режим фіксованої (газової) мішені



Для гарантії безпечного та ефективного проведення експерименту створено моніторингові системи пучка та фону (B&V):

- Люмінометр PLUME
- Система моніторингу стану пучка (BCM)
- Система контролю світності та фону RMS-R3

RMS-R3 в системі B&V моніторингу LHCb

- **Цілі:**

- Моніторинг миттєвої світності:

Nominal - $2 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ -> лінійність до $2 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

- Моніторинг області взаємодії пучків (або пучка з мішенню) та фонових умов.

- **Конструкція:**

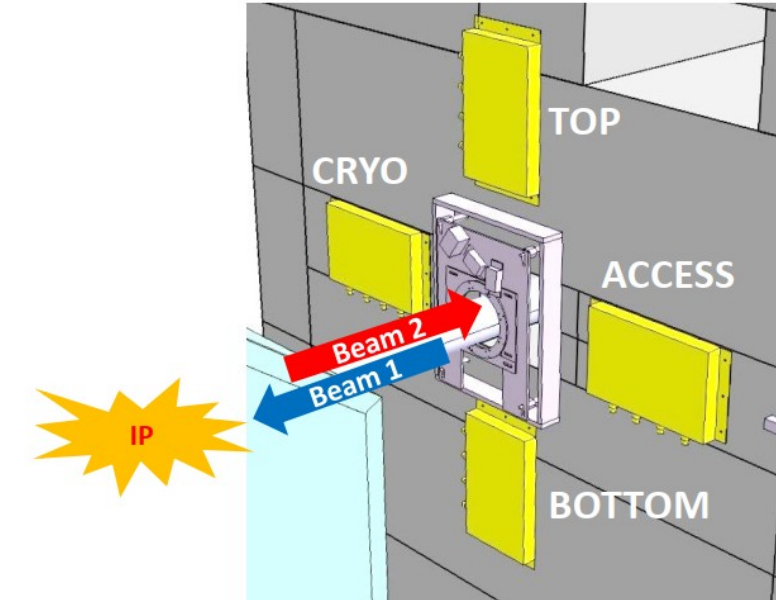
Метало-фольгові детектори -> 4 пари симетрично розташовані в горизонтальному і вертикальному напрямках навколо іонопроводу ВАК

- **Зчитування:**

- зарядові інтегратори з перетворенням амплітуди сигналу в частоту, лічильники частоти
- LHCb Front-End плата

- **Моніторинг даних:**

- Безперервне відображення на пульті керування LHCb
- Віддалений доступ до даних через фреймворк LHCb



Ключові особливості:

- **Радіаційно стійкі** (~ 1 ГГр) МФД сенсори реагують на потік МІЧ (вторинна електронна емісія) -> інтегрування позитивного заряду з сенсорів
- перетворення заряду в частоту - цифровий вихід
- широкий динамічний діапазон (10^3 - 10^9 МІЧ/с) лінійний відгук до 2 МГц
- **Стабільний відгук** -> $< 0,1$ % за час Run 3
- **Низька робоча напруга** (24 В)

Theory of asymmetries method

$$A_{ij} = (R_i - R_j) / (R_i + R_j),$$

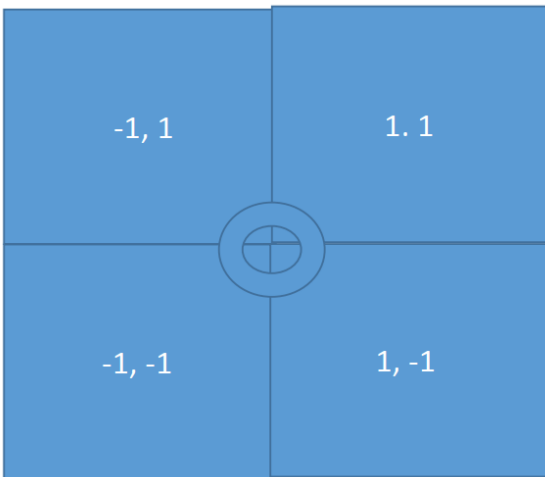
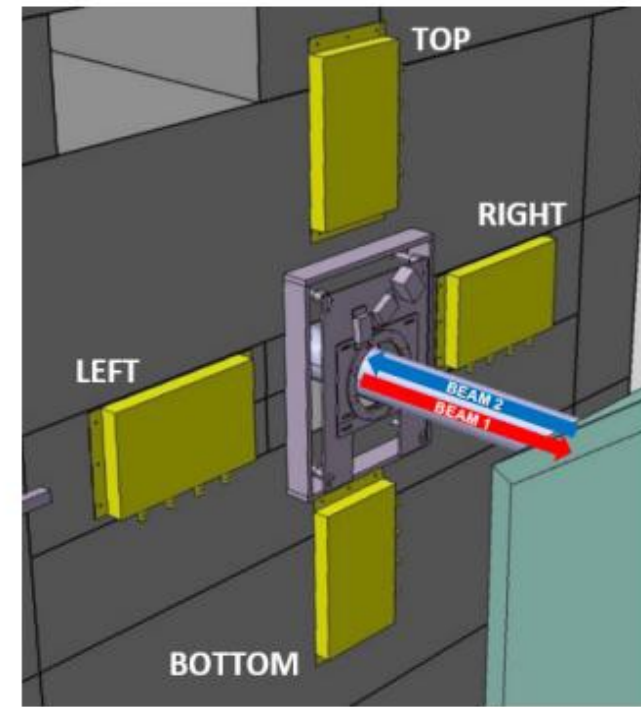
where R_i and R_j are the response frequencies of sensors i and j corresponding to the **LEFT - RIGHT** or **UP - DOWN** pairs

Full cross section

azimuth angle aperture

$$R = - \int_{\vartheta_1}^{\vartheta_2} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \frac{d^2 \sigma}{d\vartheta d\varphi} \sin \vartheta \frac{dL}{dt} d\vartheta d\varphi$$

polar angle aperture

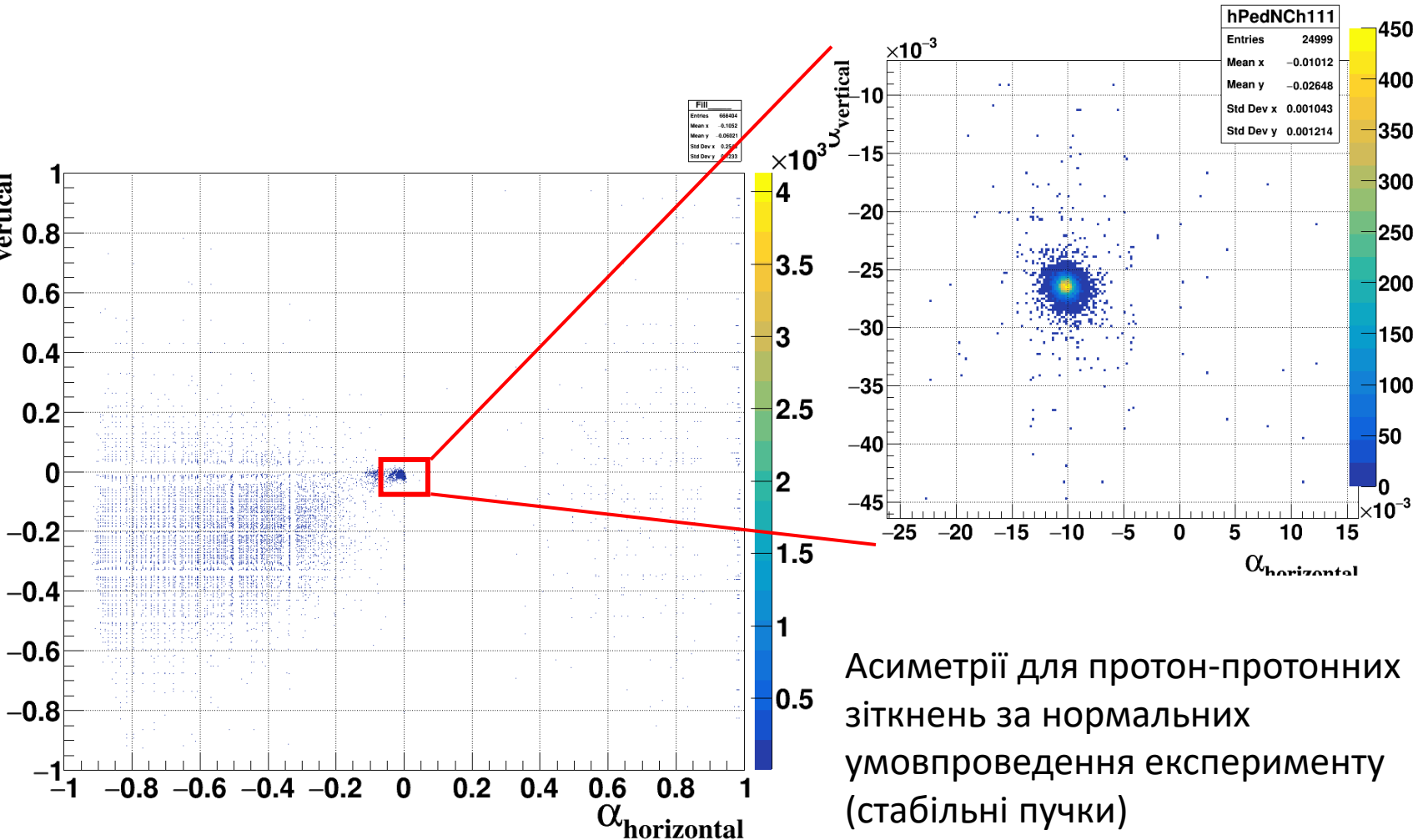


$\vartheta_1, \vartheta_2, \varphi_1, \varphi_2$ angles of RMS-R3 modules acceptance

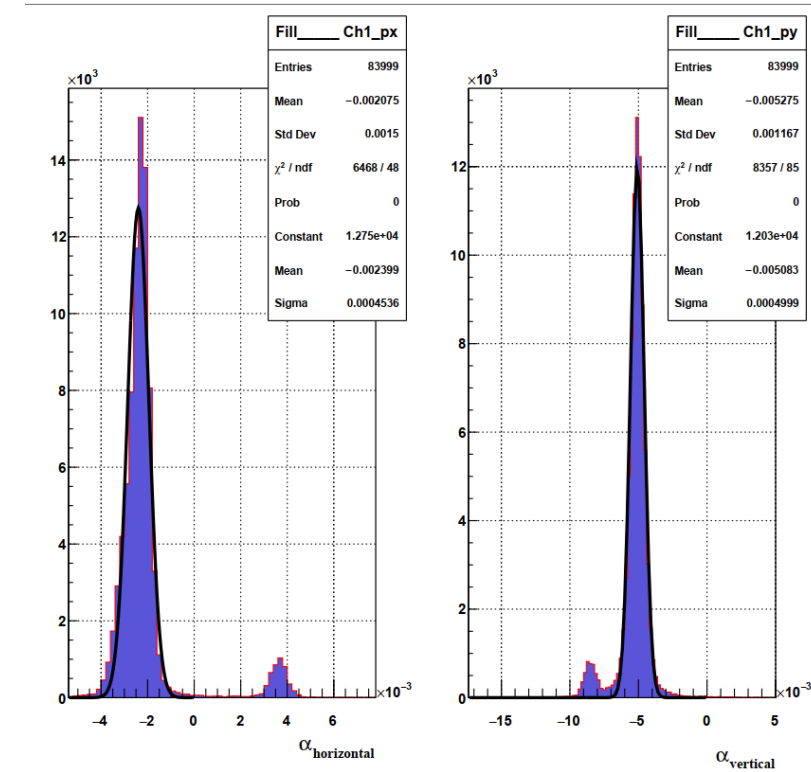
The response of the RMS-R3 sensors depends directly on where the interaction occurred

Шкала асиметрій для відгуків детекторів RMS-R3

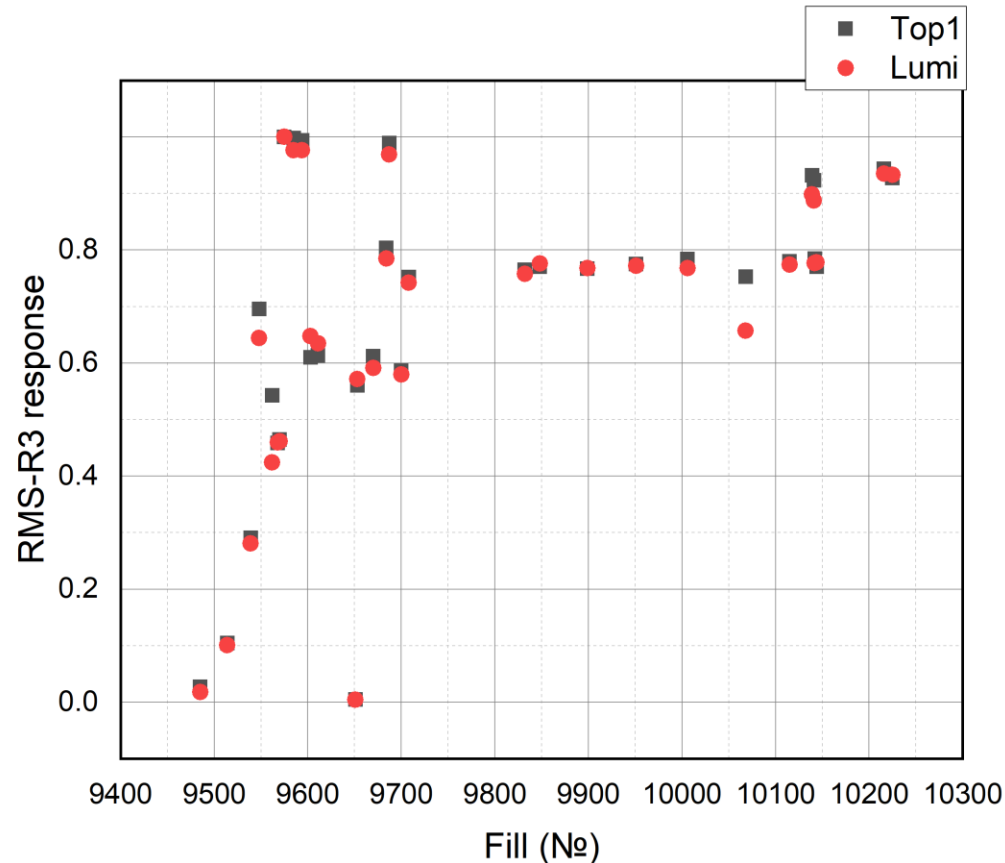
Значення шкали асиметрій RMS-R3 на представлених нижче графіках збільшено у 100 разів. Тобто на площині асиметрій від -1 до 1 «діаметри» локусів становлять $\sim 5\text{-}20 \cdot 10^{-3}$.



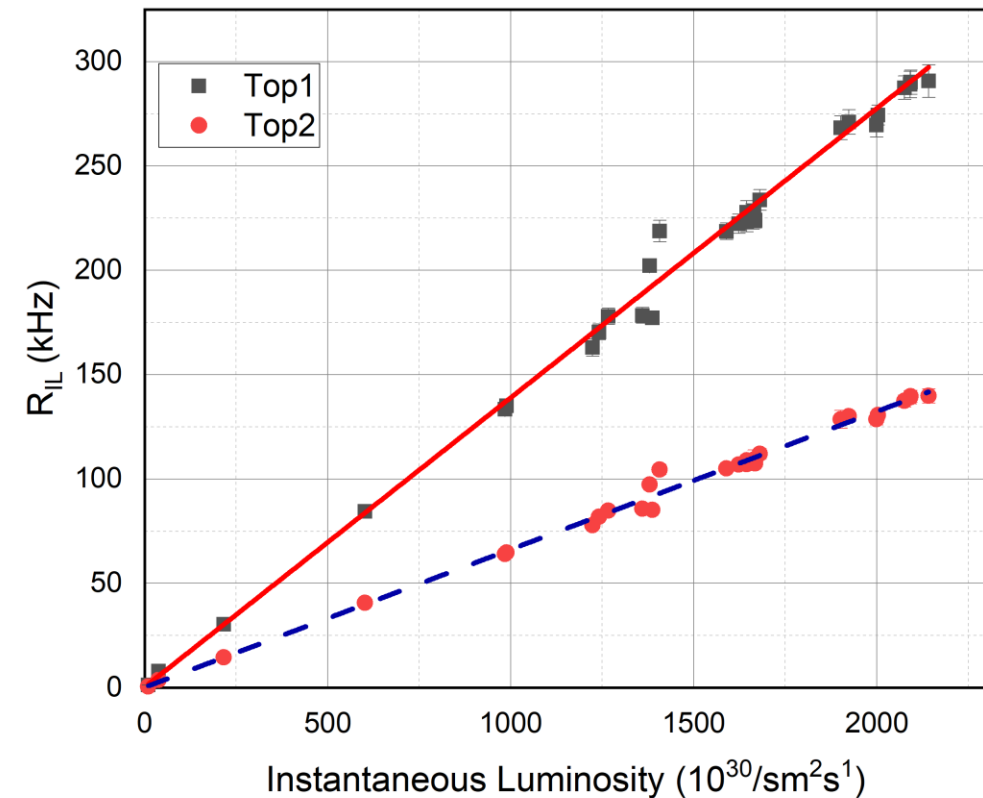
Асиметрії для протон-протонних зіткнень за нормальних умов проведення експерименту (стабільні пучки)



Пряме порівняння рр Зіткнень між RMS-R3 та PLUME. Залежність відгуку RMS-R3 від світності



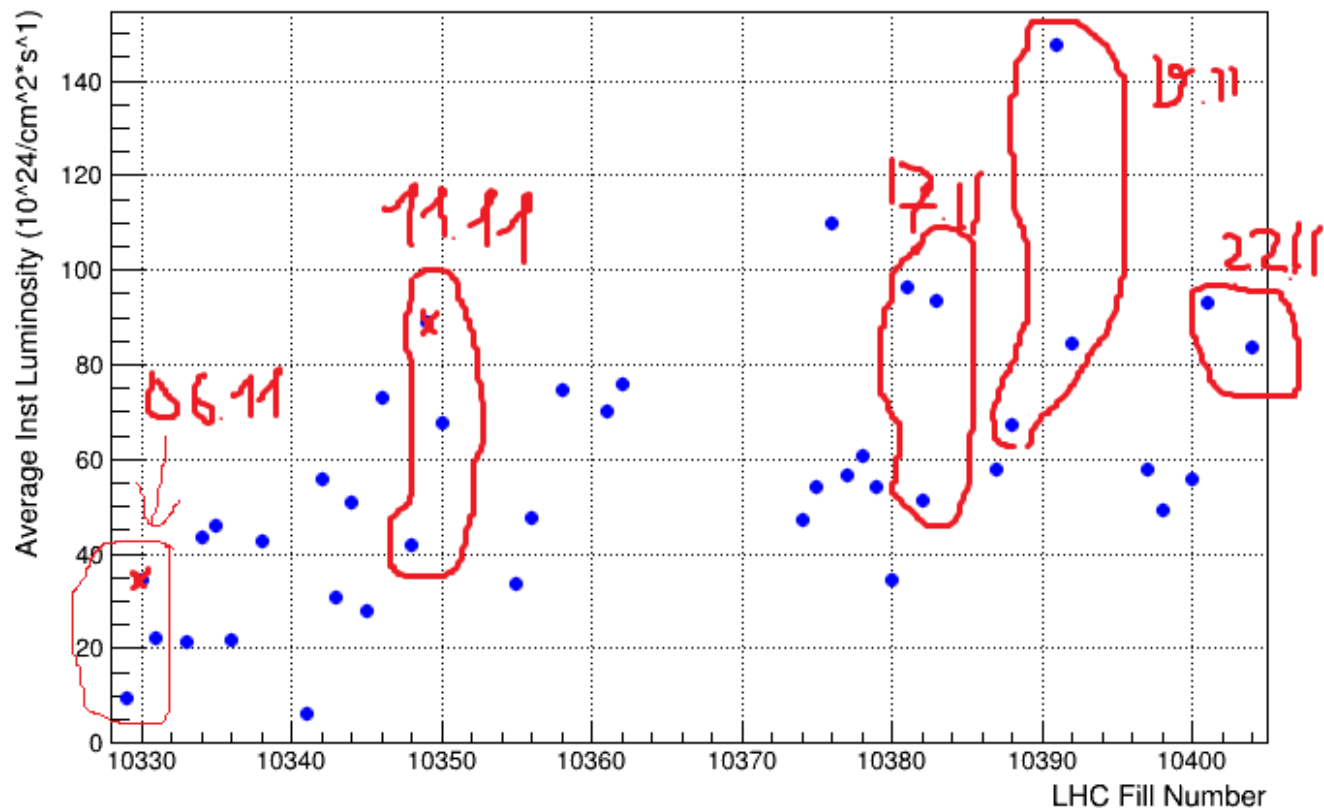
Порівняння відгуку RMS-R3(чорний) та PLUME(червоний) для деяких філів. Збільшені значення RMS-R3 у порівнянні з PLUME свідчать про наявність додаткового фону



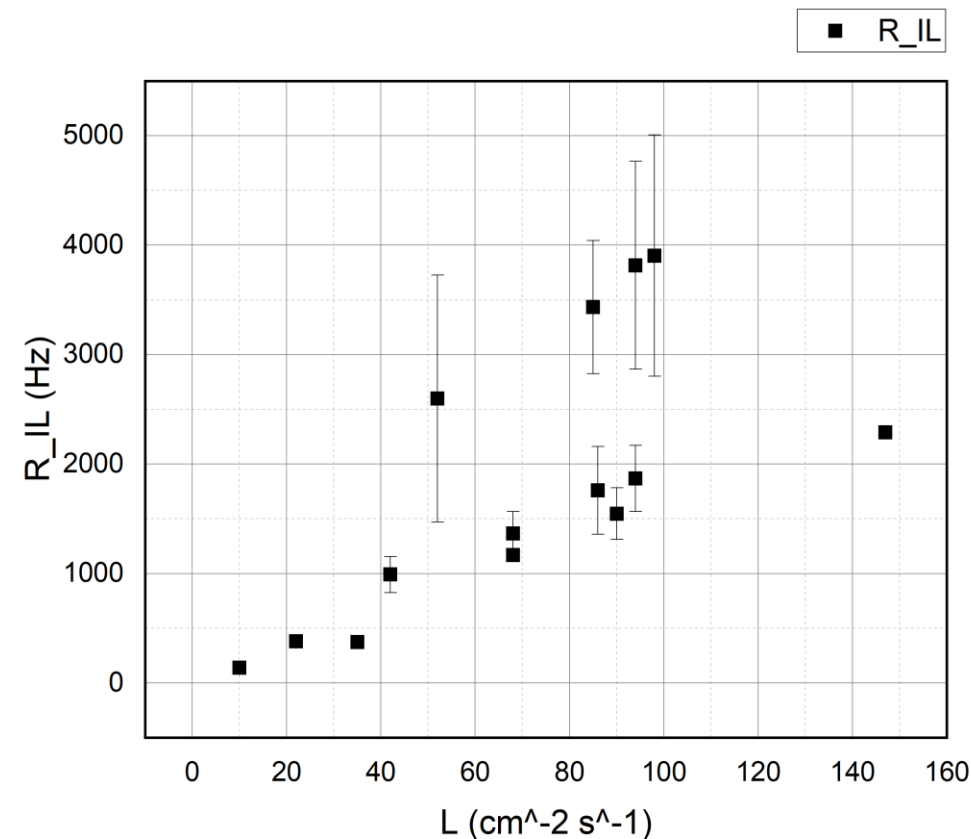
Пряма залежність відгуку верхнього детектора (TOP) RMS-R3 від світності

Середня миттєва світність для PbPb у 2024р.

LHCb Average Instantaneous Lumi in 2024 PbPb run

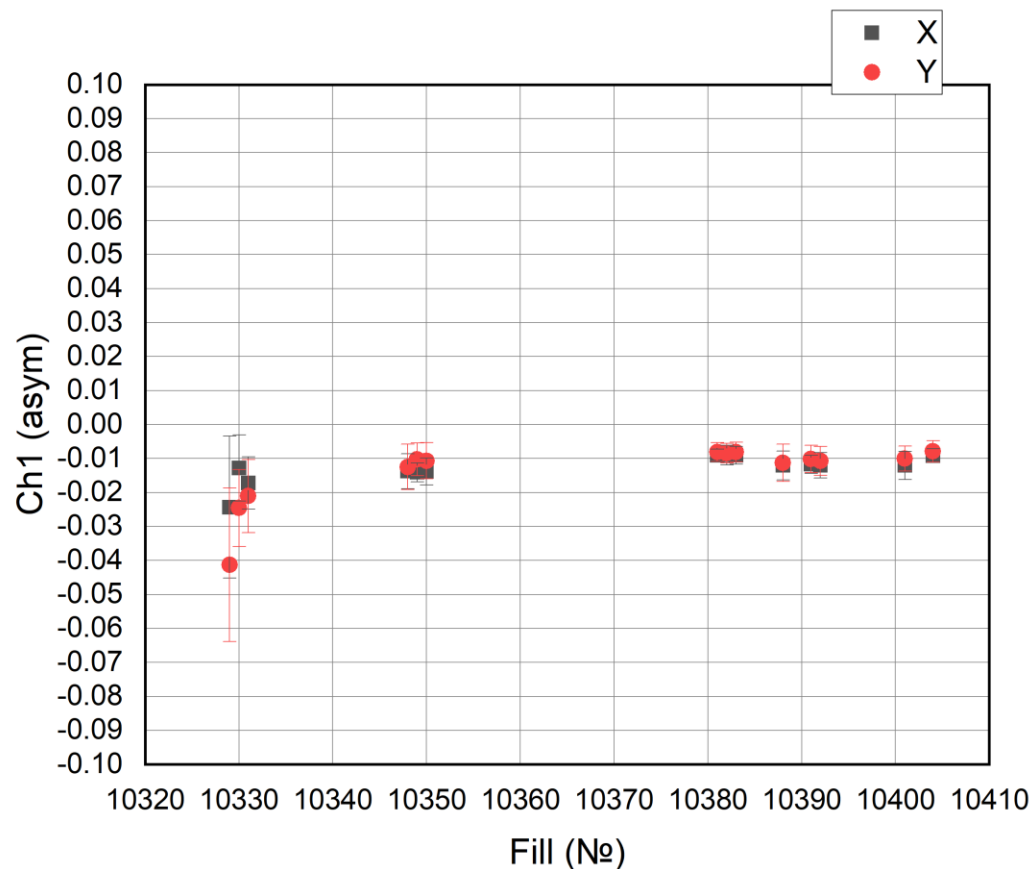


Дані PLUME середньої світності для кожного філу PbPb зіткнень у 2024 році

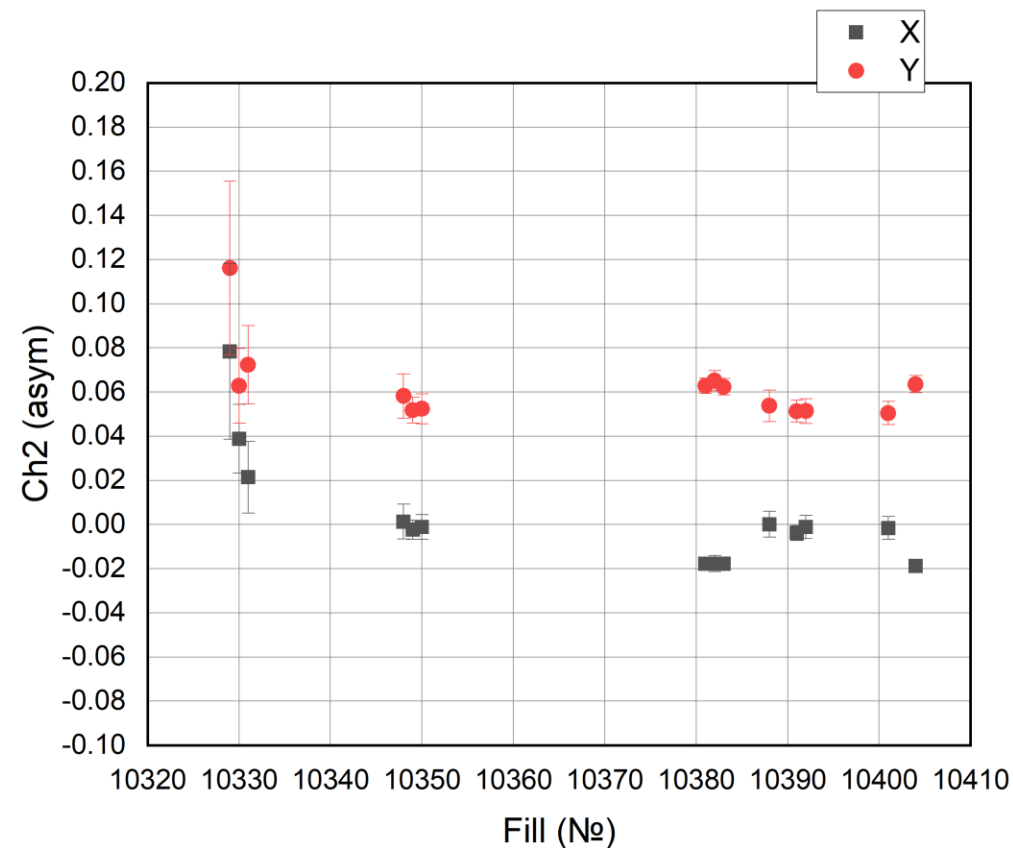


Залежність середніх значень відгуків RMS-R3 від миттєвої світності для PbPb зіткнень

Приклади розкиду центроїдів проекцій локусів асиметрій RMS-R3 Для PbPb

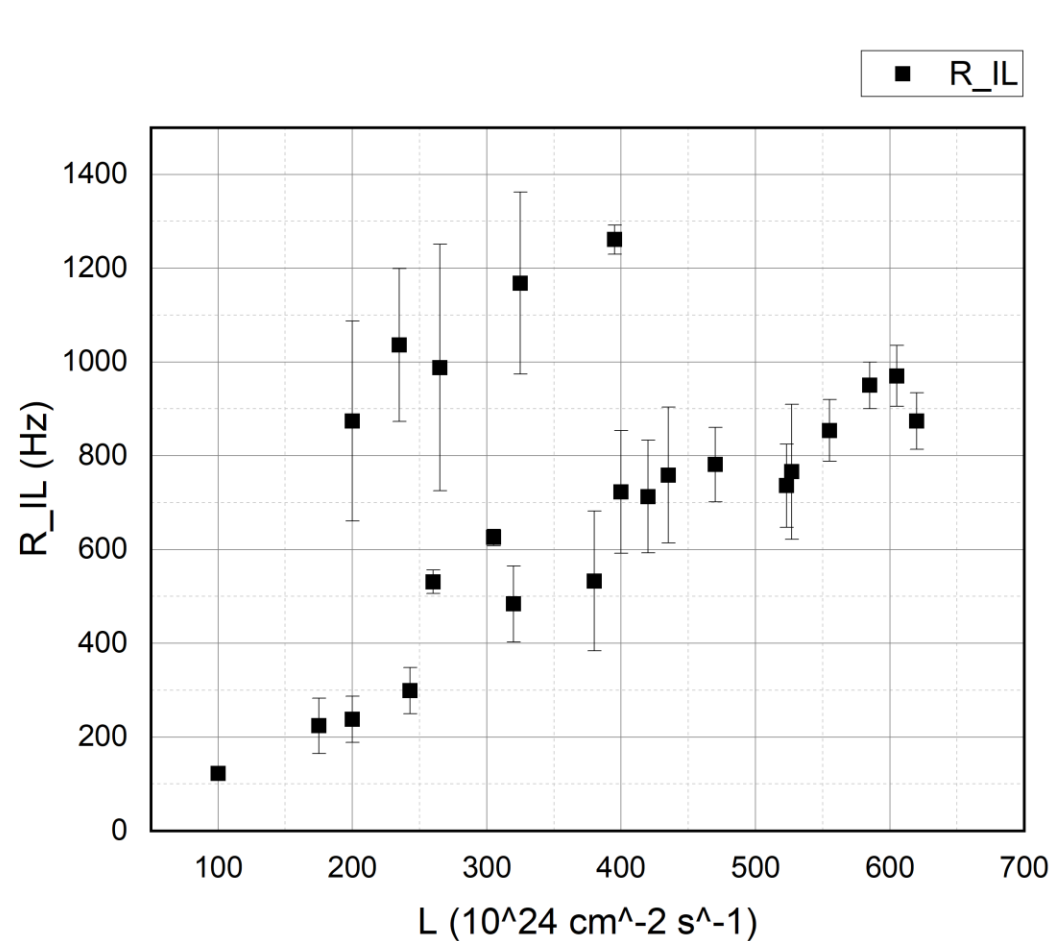


Асиметрії для перших каналів детектора
(ближче до іонопровіду)

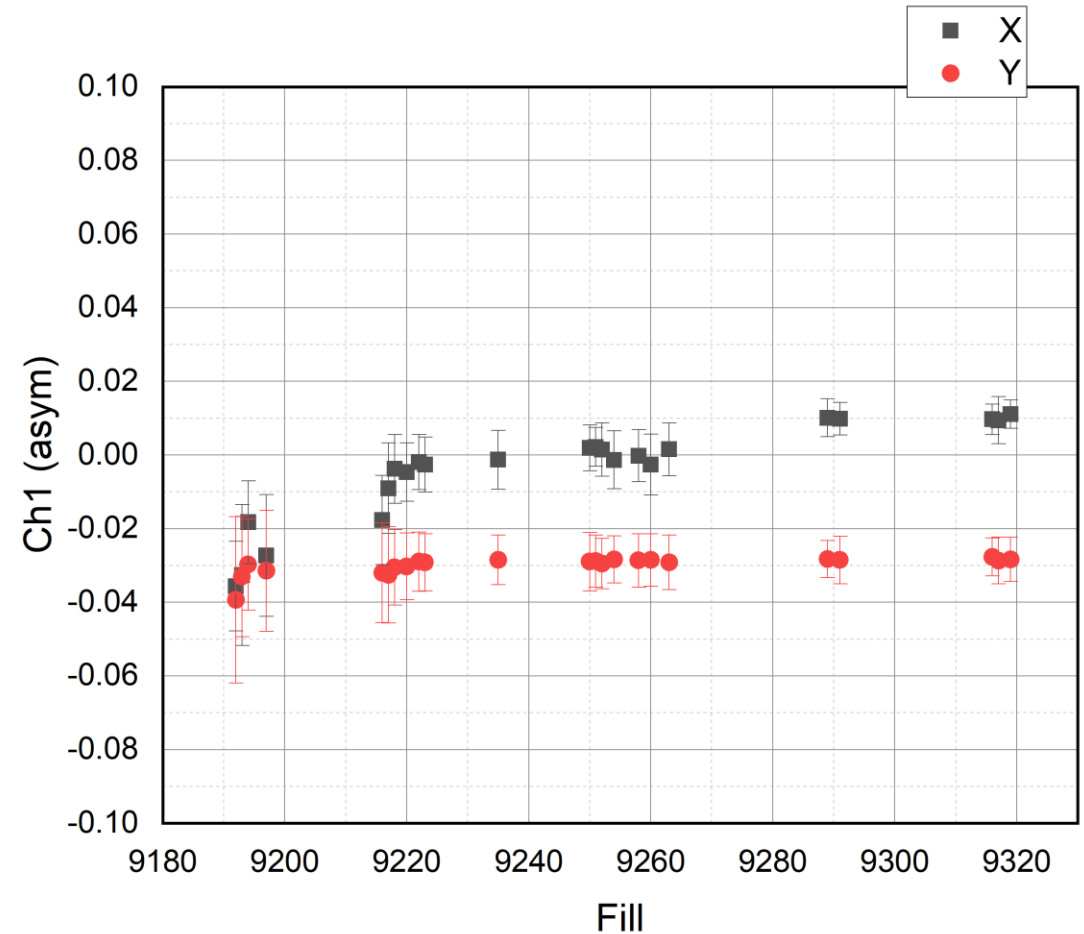


Асиметрії для других каналів детектора
(віддалених від іонопровіду)

Порівняння результатів з зіткненнями PbPb у 2023 році



Залежність середніх значень відгуків RMS-R3 від миттєвої світності для PbPb зіткнень у 2023 році



Асиметрії для перших каналів детектора (ближче до іонопровіду) у 2023 році

Що таке WinCC та MONET

Тракт електроніки LHCb можна поділити на 3 частини: накопичення даних (DAQ, *data aquisition*), синхронізації та управління швидкими сигналами (TFC, *timing and fast control*), контроль за експериментом (ECS, *experiment control system*)

Run Control є основним інструментом, який використовується для управління та моніторингу LHCb в цілому. Ця система базується на WinCC-OA та фреймворку JCOP.

- WinCC-OA використовує базу даних зі структурою точок даних і надає інструменти для архівування даних, генерації тривог, побудови користувацьких інтерфейсів і написання сценаріїв.
- Фреймворк JCOP складається з набору керівних принципів та програмних інструментів для використання розробниками в конкретних системах управління.
- Система RMS-R3 повністю автономно функціонує, незалежно від системи накопичення даних LHCb
- RMS-R3 є незалежною в триаді та є інтегрованою в центральну систему управління експериментом (ECS)
- Графічне представлення RMS-R3 виконано у графічному інтерфейсі SIMANTIC WinCC (SCADA) від Siemens

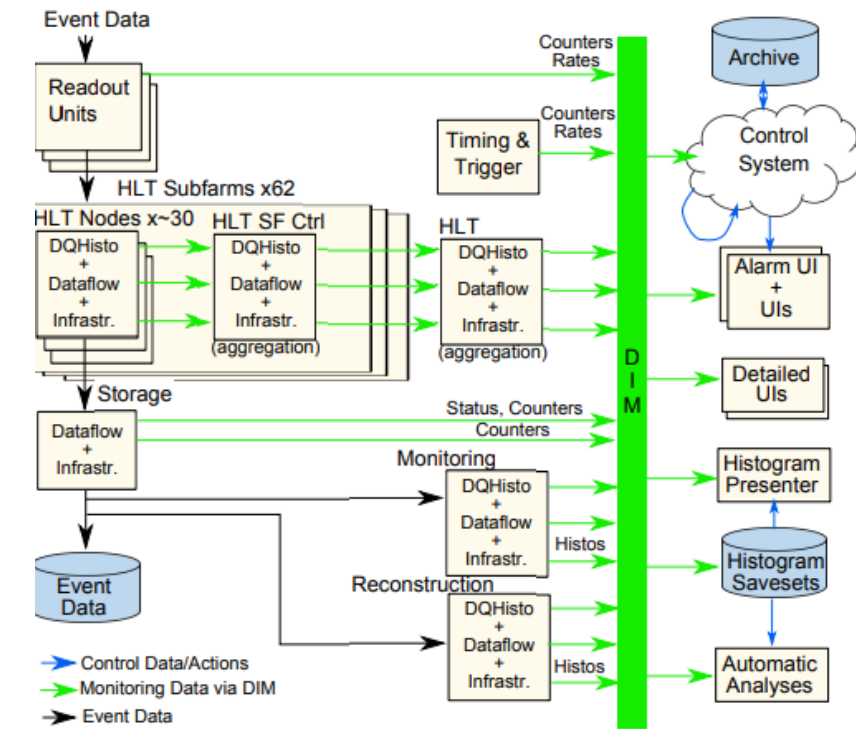


Рис. взятий з J. Barbosa, C. Gaspar, B. Jost, M. Frank and L. G. Cardoso, "A Monitoring System for the LHCb Data Flow," in *IEEE Transactions on Nuclear Science*, vol. 64, no. 6, pp. 1191-1196, June 2017, doi: 10.1109/TNS.2017.2660398.

MONET (Modular Optoelectronic Node with Enhanced Technology) - це спеціалізована система зчитування, розроблена для LHCb

Вигляд вікна RMS-R3 у графічному застосунку WinCC



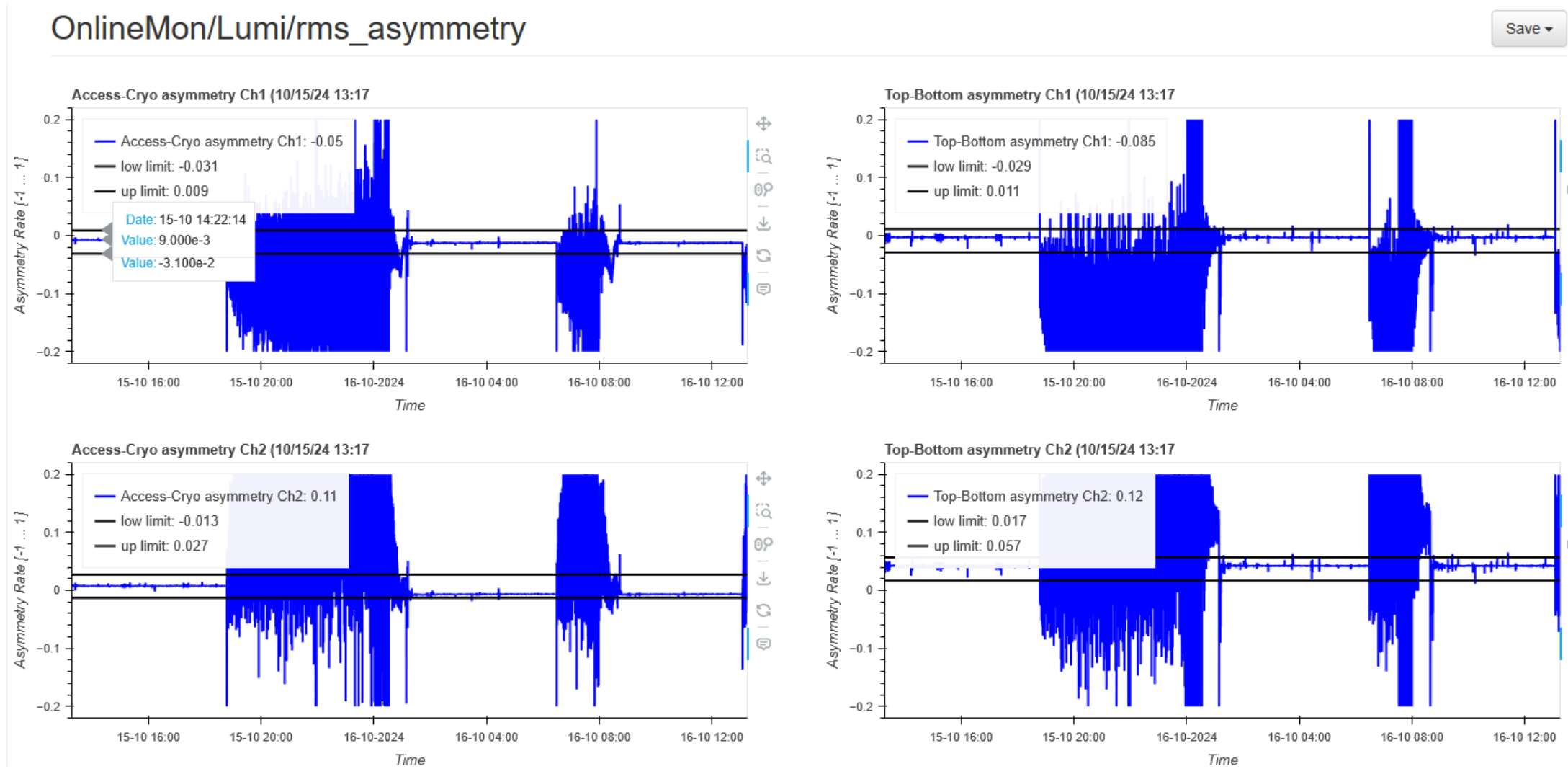
Має 7 вікон, які програмуються окремо:

- Окреме вікно з детальною інформацією про систему
- Загальне вікно з асиметріями
- 2 вікна з проекціями асиметрій
- 2 вікна з відгуком RMS-R3
- Вікно з загрузкою даних RMS-R3

Залежності проєкцій локусів асиметрій RMS-R3 від часу



Залежності проєкцій локусів асиметрій RMS-R3 від часу в онлайн-ресурсі MONET з обмежувальними значеннями



Висновки

- RMS-R3 як система контролю світності та фону експерименту LHCb, реалізована за технологією металево-фольгових детекторів, забезпечує вимірювання в режимі реального часу миттєвої світності ВАР та контроль умов проведення експерименту;
- Розроблене програмне забезпечення для зчитування відгуків детекторів системи у режимі онлайн, а також для онлайн зчитування проекцій локусів асиметрій пар детекторів;
- Розраховані межі для центроїдів локусів асиметрій пар детекторів;
- Розроблене програмне забезпечення для виводу інформації на екрани операторів у центрі управління експериментом LHCb. RMS-R3 є гарантом безпечної роботи LHCb.
- Пораховані розкиди центроїдів локусів асиметрій відгуків RMS-R3 для PbPb зіткнень. Залежності відгуків RMS-R3 для PbPb зіткнень від миттєвої світності свідчать про наявність фонових ефектів у деяких філах.

Подяки

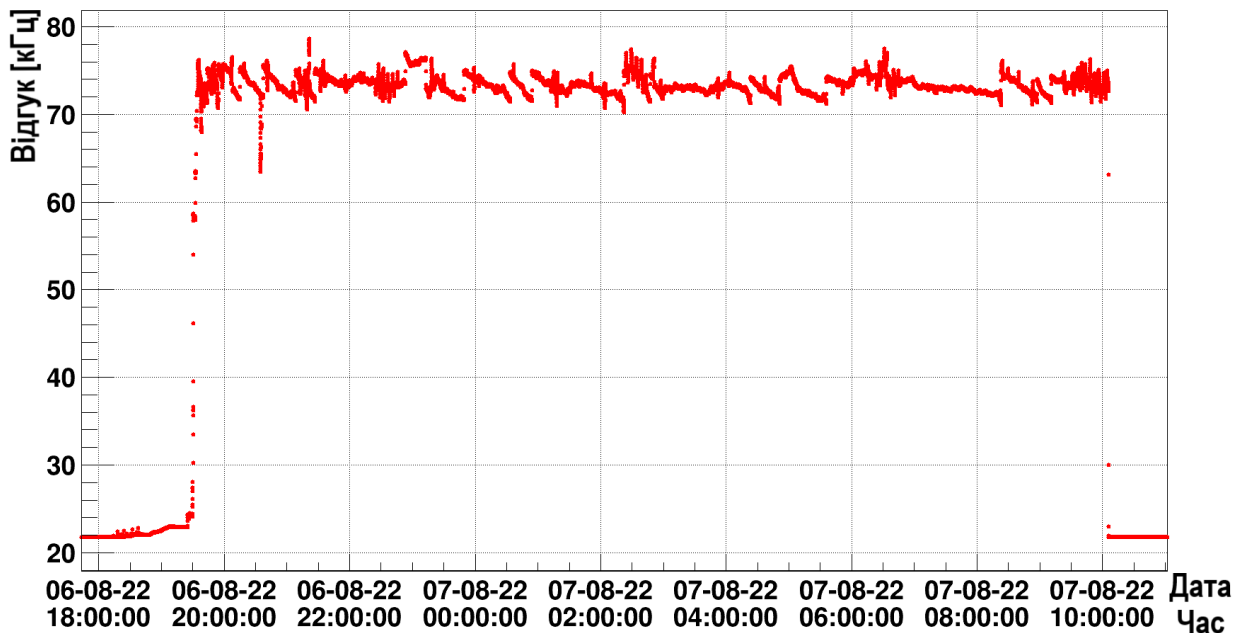
Частина роботи виконана в межах проєкту EU #3014 “RMS beam and background online monitoring system in the LHCb experimental environment” стипендіальної програми EURIZON. Цей проєкт отримав фінансування в рамках проєкту EURIZON, який фінансується Європейським Союзом за грантовою угодою № 871072.

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ !

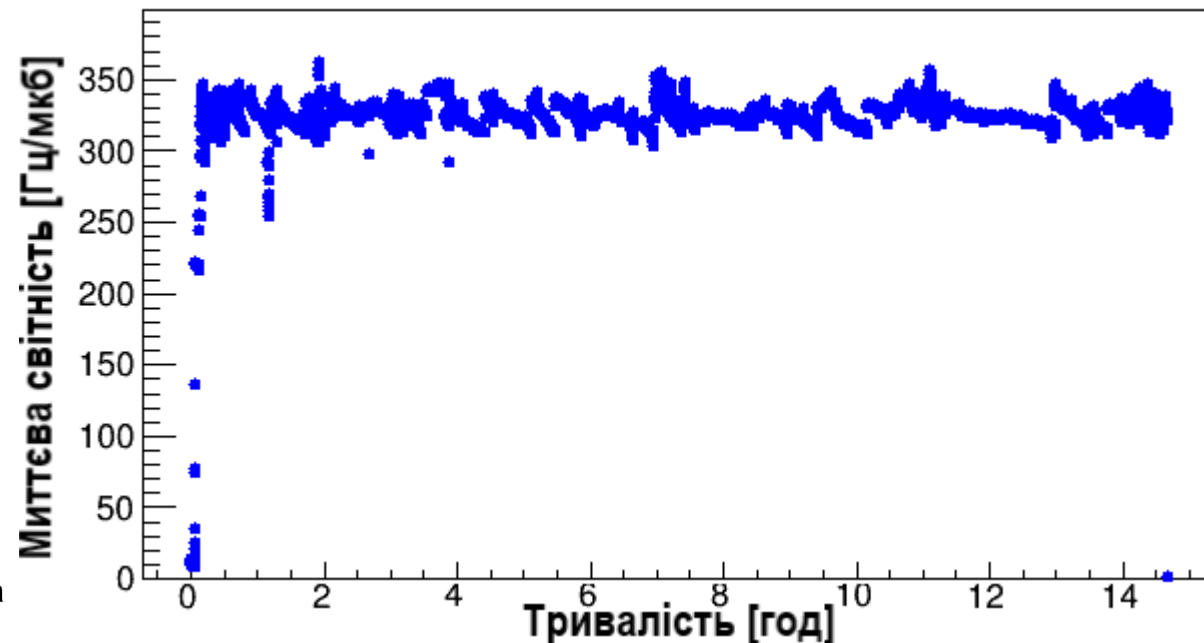
ДОДАТКИ

RMS-R3 - моніторинг відносної світності

З порівняння даних графіків можна зробити висновок про використання RMS-R3 як люмінометра для експерименту LHCb на рівних з основним люменометром PLUME

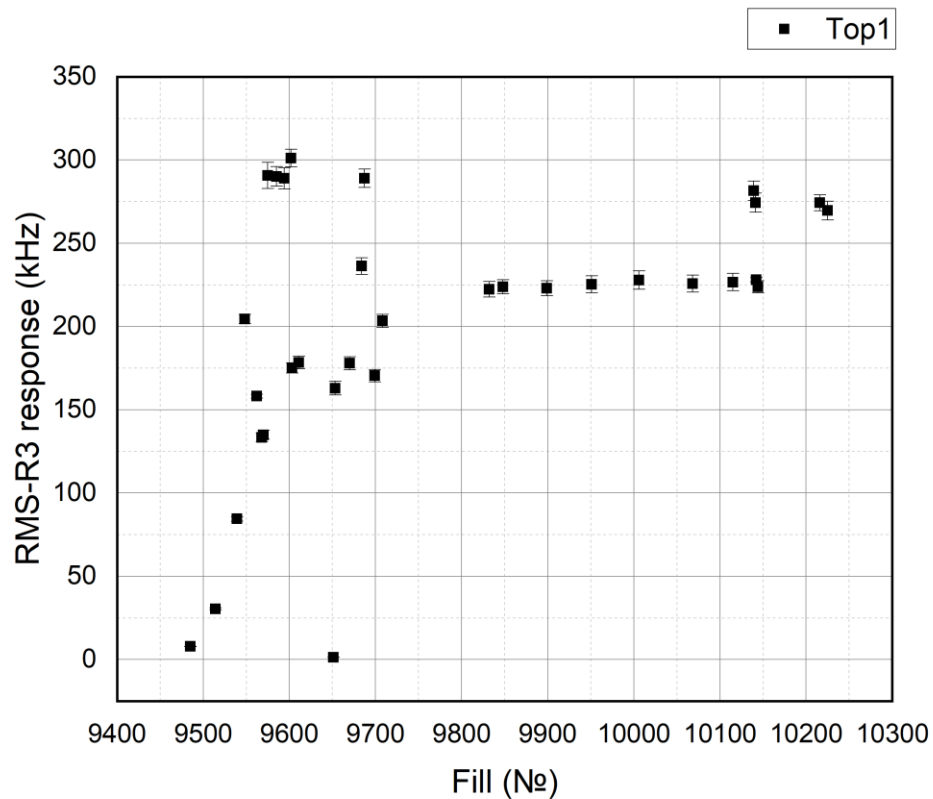


Графік відгуку сенсора RMS-R3, робочий цикл пучків №8102, протон-протонні зіткнення при енергії 13,6 TeV тривали близько 14 год 40 хв

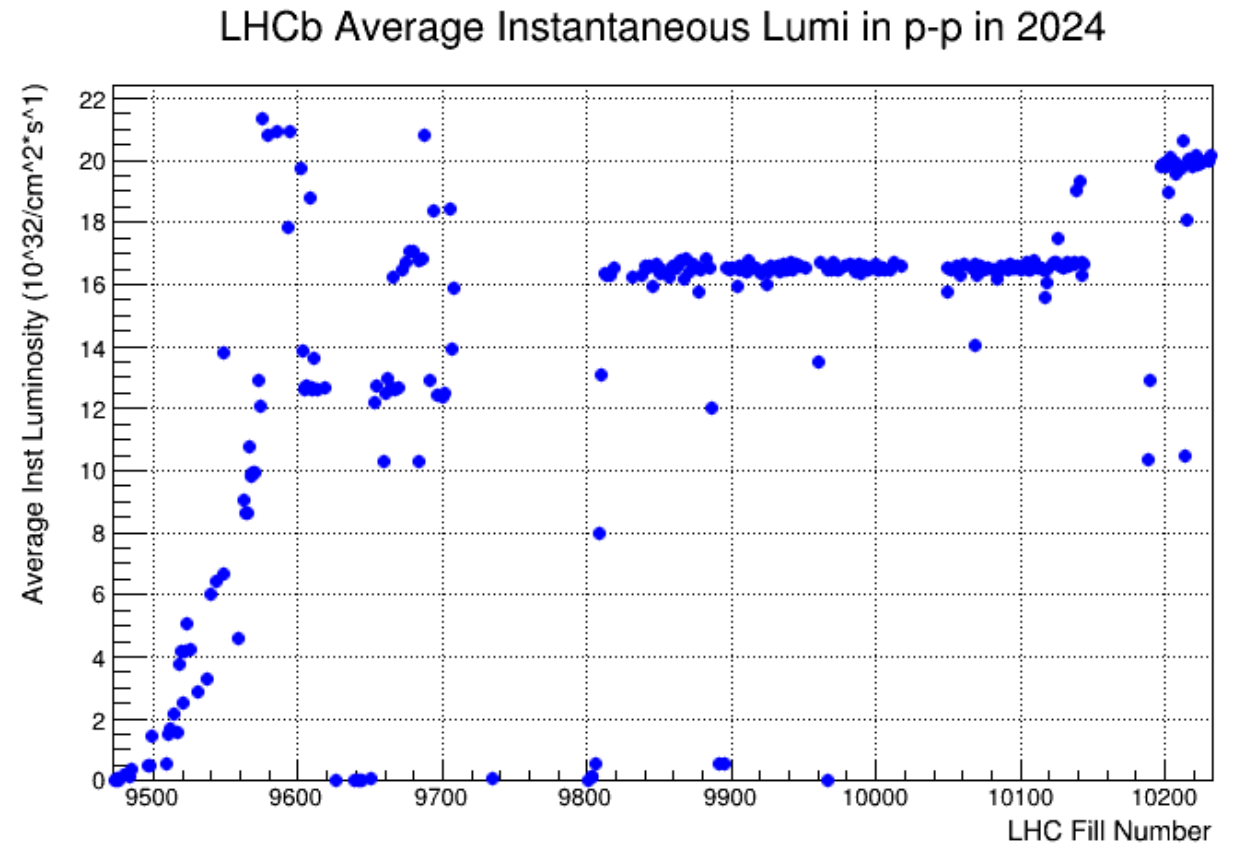


Миттєва світність протон-протонних зіткнень при енергії 13,6 TeV, виміряна в експерименті LHCb за допомогою люменометра PLUME протягом робочого циклу №8102, середнє значення $3,31 \times 10^{32} \text{ см}^{-2} \text{с}^{-1}$

Порівняння пр зіткнень RMS-R3 та PLUME (відгук RMS-R3 від номера філу)

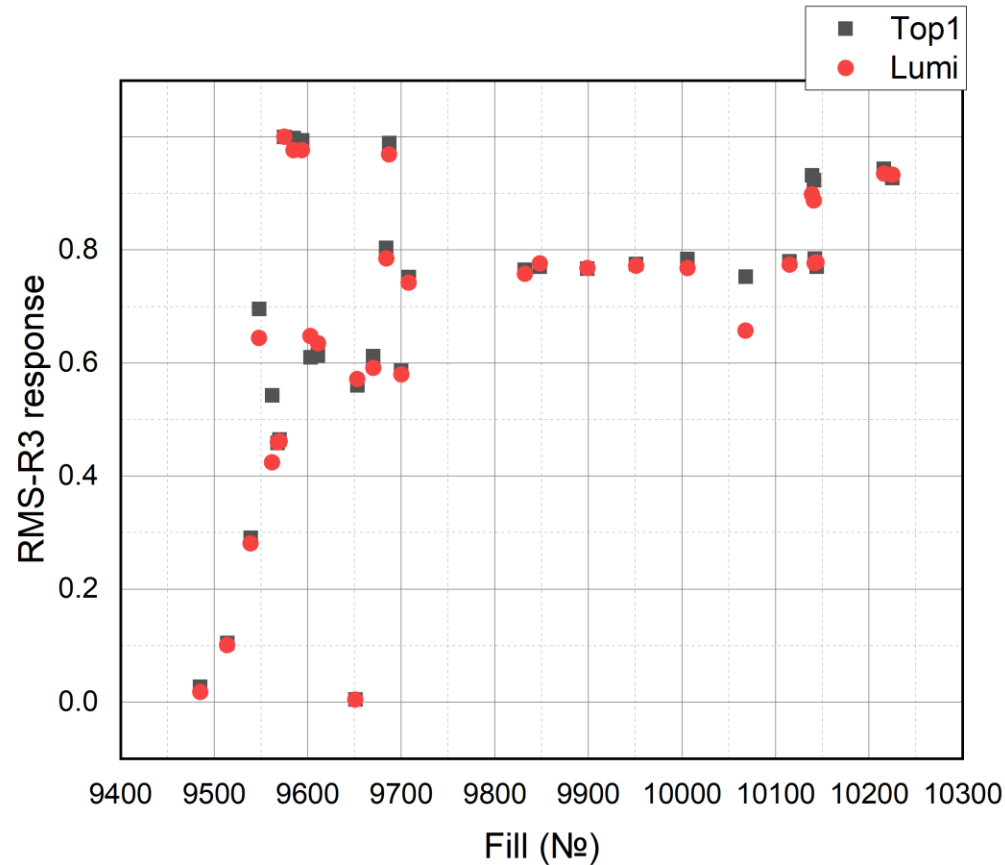


Розрахована залежність відгуку RMS-R3 для деяких філів (fills) для пр зіткнень

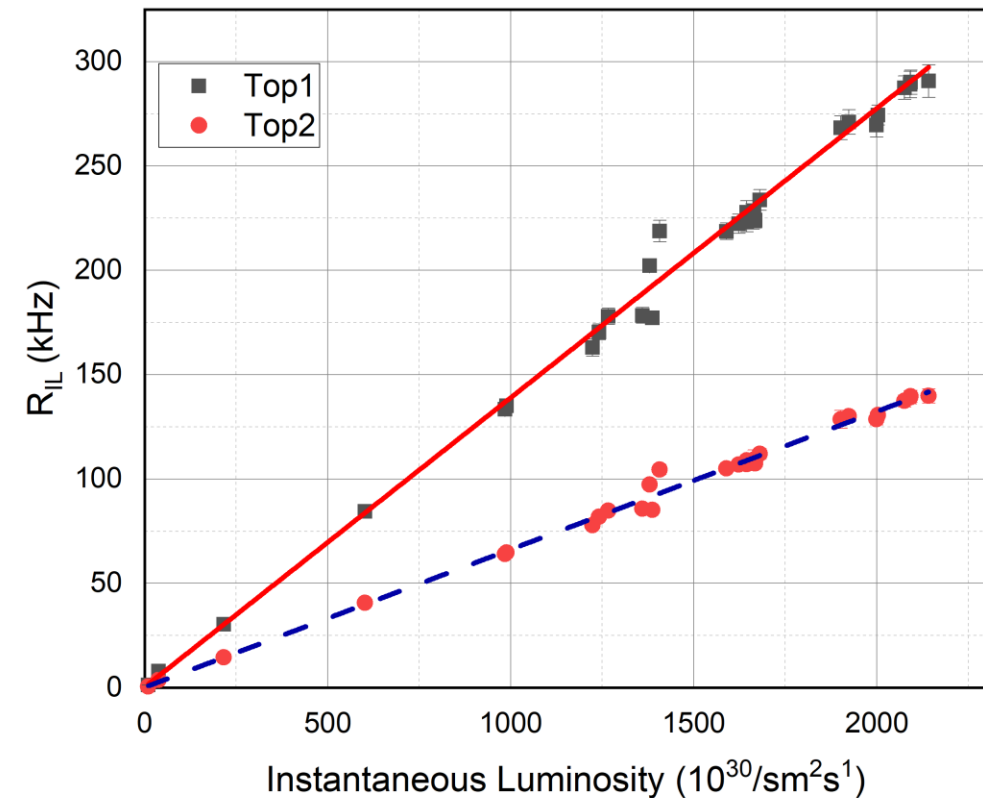


Середня миттєва світність для кожного пр філа (fill).
Рис. Взято з <https://lbrundb.cern.ch/>

Пряме порівняння пр Зіткнень між RMS-R3 та PLUME. Залежність відгуку RMS-R3 від світності

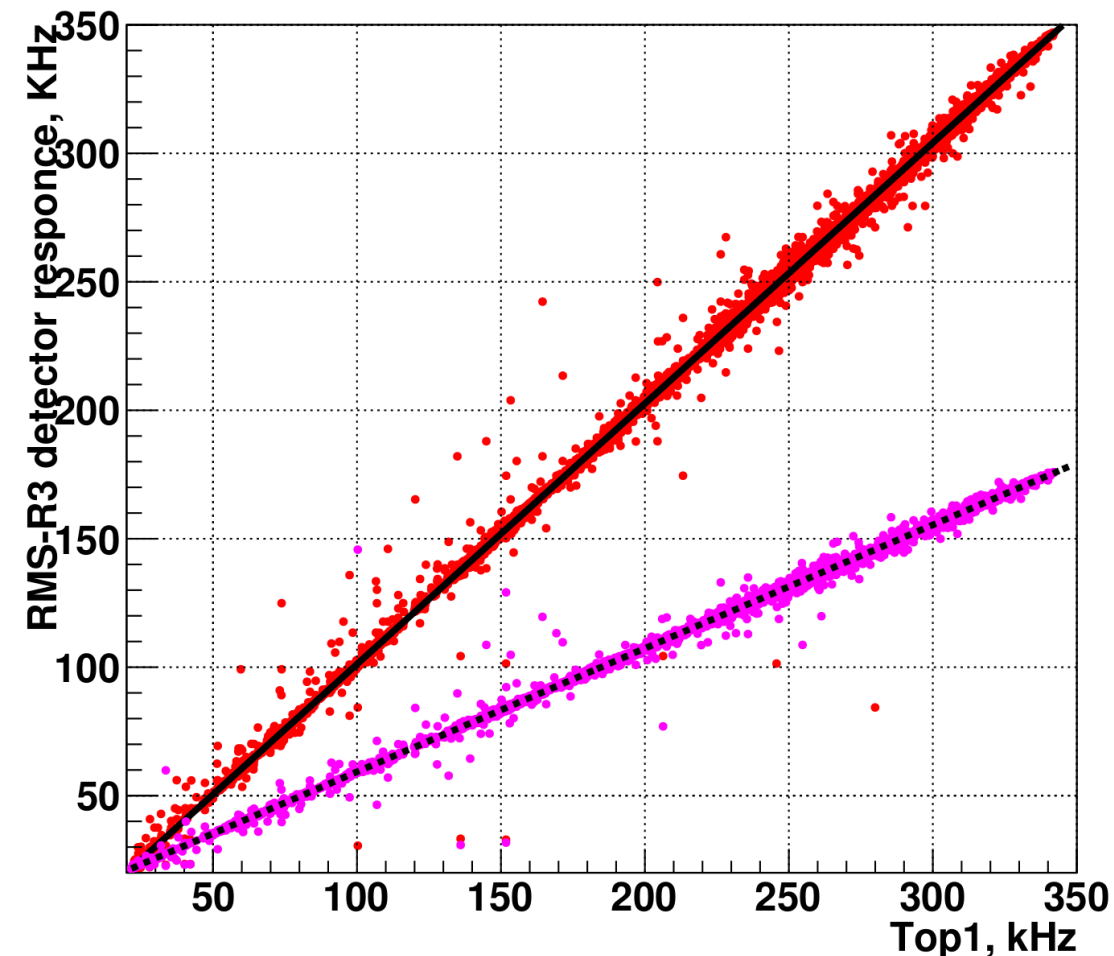


Порівняння відгуку RMS-R3(чорний) та PLUME(червоний) для деяких філів. Збільшені значення RMS-R3 у порівнянні з PLUME свідчать про наявність додаткового фону

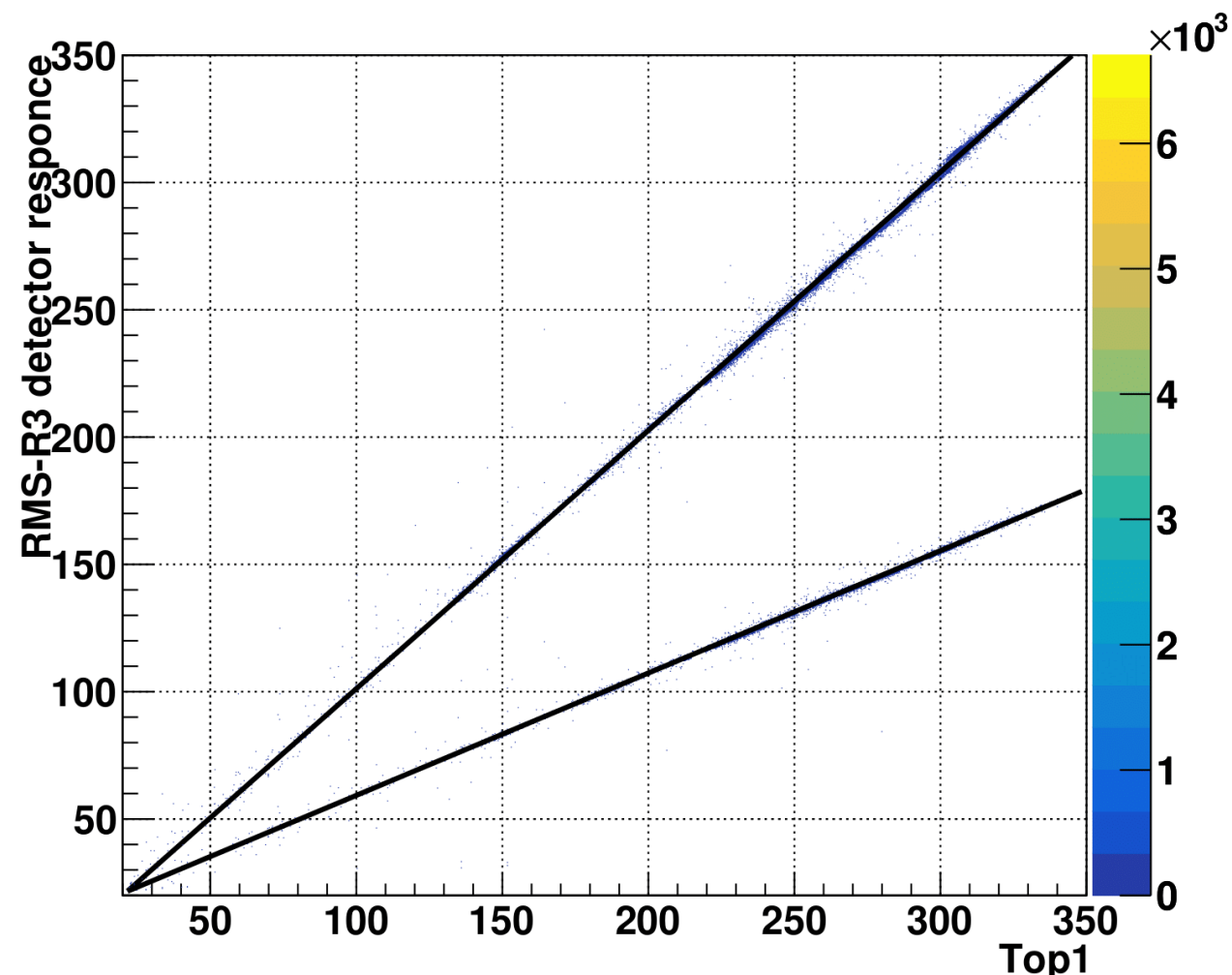


Пряма залежність відгуку верхнього детектора (TOP) RMS-R3 від світності

Лінійність детекторів RMS-R3. Залежність Top 2 та Bottom 1 від Top1



Залежність відгуків детекторів один від одного демонструє лінійність системи. Приведені результати без врахування базової лінії.



Статистична залежність відгуків детекторів один від одного. Максимальна кількість співпадінь у центрі локусів.

Нахили прямих фітування для лінійностей детекторів RMS-R3

```
*****
Minimizer is Linear / Migrad
Chi2      = 8.13198e+08
Ndf       = 102006
p0        = -0.284037 +/- 0.00625342
p1        = 1.01461 +/- 3.05787e-05

*****
Minimizer is Linear / Migrad
Chi2      = 8.20854e+07
Ndf       = 69694
p0        = 11.2243 +/- 0.00240363
p1        = 0.48057 +/- 1.17535e-05
```

Baseline included

```
*****
Minimizer is Linear / Migrad
Chi2      = 8.13083e+08
Ndf       = 102084
p0        = 0.130247 +/- 0.00567546
p1        = 1.01461 +/- 3.05648e-05

*****
Minimizer is Linear / Migrad
Chi2      = 8.20136e+07
Ndf       = 69739
p0        = -0.0266122 +/- 0.00218081
p1        = 0.480572 +/- 1.17446e-05
```

Baseline excluded

Перше вікно RMS-R3 у WinCC

RMS/rms: TOP (RMS - RMS; #1)@rms01

Wed 15-May-2024 14:39:11

root

Device: rms State: READY

Readout Board: #2D Access-Cryo asymmetry Top-Bottom asymmetry Top - Bottom Access - Cryo Retrieve

SOL40 counters

BXID: 1695 BXID Reset: 117552344 Ext TFC: ☒ PON prot: ☒ FwVersions panel

Top				Access			
☒ Ch1	☒	21740	21.740 kHz	☒ Ch1	☒	21565	21.565 kHz
☒ Ch2	☒	21704	21.704 kHz	☒ Ch2	☒	21303	21.303 kHz

Bottom				Cryo			
☒ Ch1	☒	21655	21.655 kHz	☒ Ch1	☒	21453	21.453 kHz
☒ Ch2	☒	21329	21.329 kHz	☒ Ch2	☒	21507	21.507 kHz

Apply display

SCA Reg B: 0xFE 0xFE	Top: 21.722 kHz	On/Off: ☒
Trigger number: 26059979	Access: 21.434 kHz	Meas V: 28.1 V
Detailed detection	21.492 kHz	Meas I: -0.1 A
Counter Reset	Bottom: 21.480 kHz	Switch ON/OFF

Messages

Close