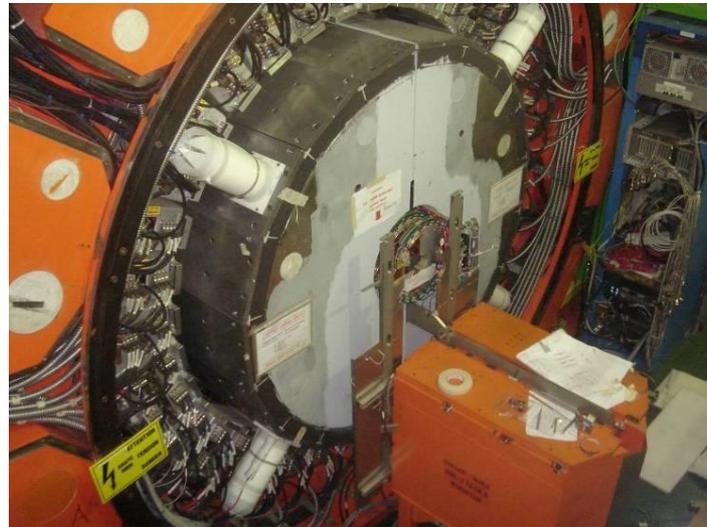


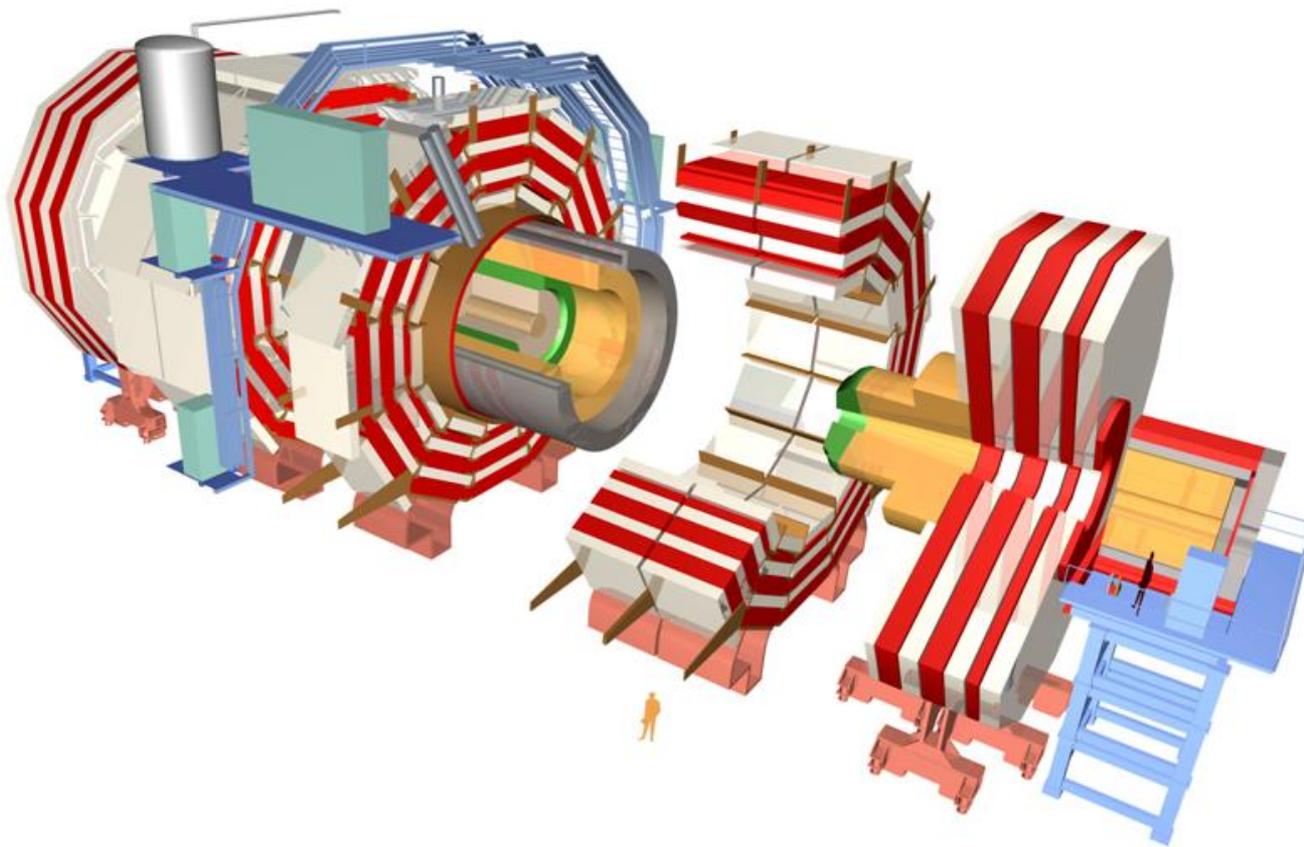
Долговременные измерения нейтронных полей на установке CMS



А.Ершов, А.Демьянов, А.Грибушин, А.Каминский (НИИЯФ МГУ, Москва),
И.Ажгирей, И.Байшев, В.Луканин, В.Пикалов, О.Суманеев (ИФВЭ, Протвино)

Москва, ФИАН
«Черенковские чтения», 18/04/2023

Эксперимент CMS (CERN)



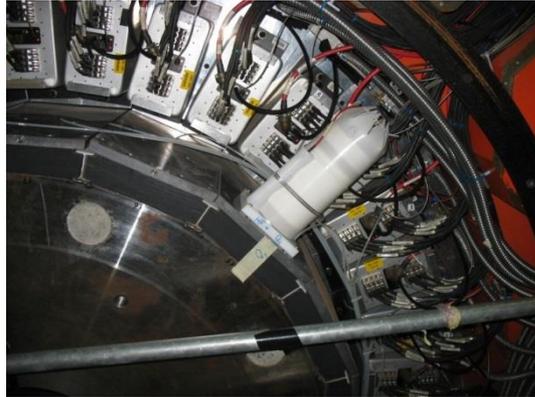
HF RADMON (GFPC-1) – цели и задачи подсистемы

Система HFRADMON нейтронных (и некоторых других) детекторов мониторинга радиационных условий установки CMS предназначена для:

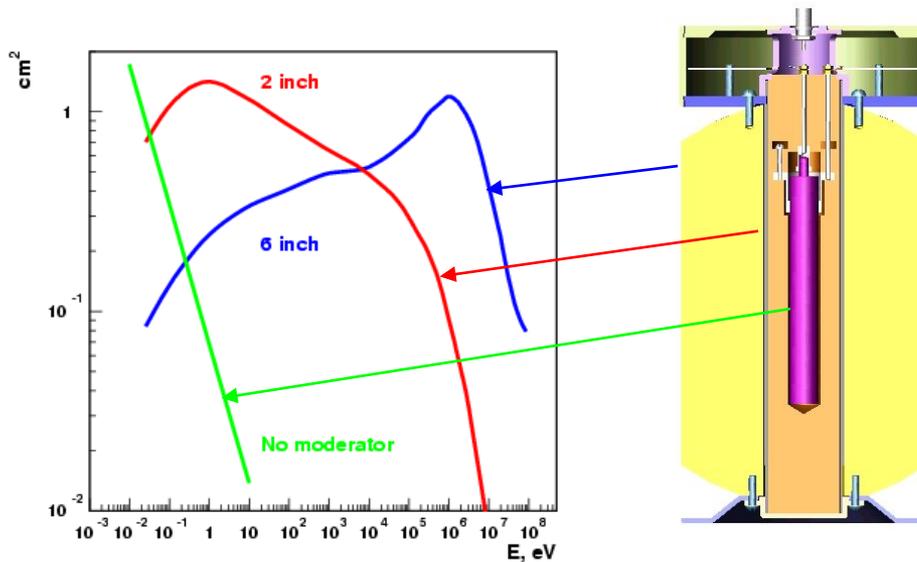
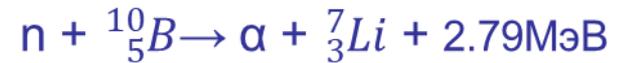
1. Непрерывного долговременного **мониторинга поглощенной дозы и потоков нейтронов** с целью оценки деградации кварцевых волокон, сцинтилляторов, электроники, ФЭУ и т.п.
2. Контроля **эффективности радиационной защиты**.
3. Критической **проверки достоверности и точности модельно-теоретических расчетов радиационных полей**.
4. Возможного дополнительного контроля пучковых условий: потери пучка, **светимость** и др.

HF RADMON – нейтронные детекторы GFPC-1

16 нейтронных мониторов



Пропорциональный счетчик
СНМ-14 с напылением B^{10} с
полиэтиленовым модератором



Calibration
coefficient:

$$k = \frac{\Phi_n}{N_d}$$

neutron fluence

monitor count

HF RADMON – электроника и программное обеспечение

Стойка электроники в USC:

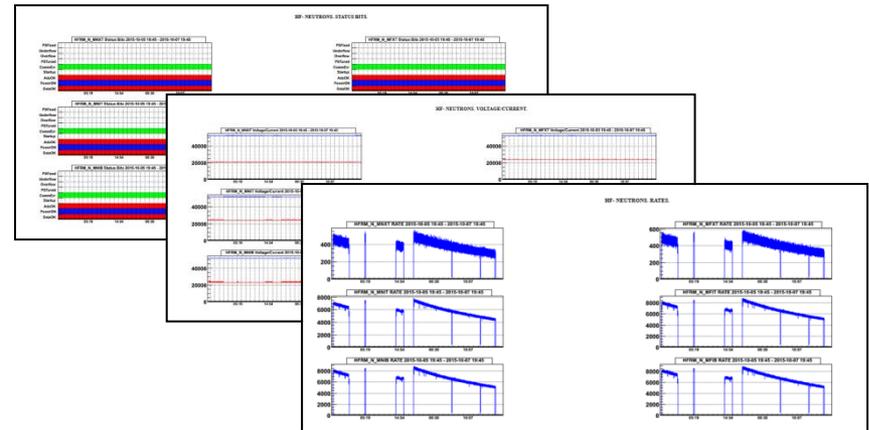


После обновления 2014 включает:

1. Крейт адаптеров
2. Модуль счечиков и управления
3. Модуль АЦП
4. Коммуникационную плату

Программное обеспечение:

1. Управление и операционный контроль
2. Прием данных
3. Запись и архивация данных
4. Мониторинг системы
5. Обработка данных



...и передача данных в BRIL DAQ

HF RADMON – калибровка

Нейтронные мониторы HF RADMON дважды калибровались в CERN

2014 (Feb/May) – “старая”
лаборатория (Мейран):
все мониторы калибровались
во время LS1 с
Pu-Be источником ($1.13 \cdot 10^8$ n/s)

2018 (Mar) – “новая” лаборатория
(Превиссан):
часть мониторов
перекалибрована с
Am-Be источником ($5.03 \cdot 10^7$ n/s)



HF RADMON – калибровка

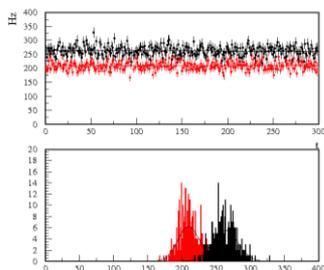
Ind. #	k
1	1.10
2	1.50
3	1.92
4	1.55
5	1.51
6	1.59
7	1.95
8	1.56
9	1.80
10	1.56
11	1.77
12	1.64
13	1.34
14	1.62
15	1.04
16	1.61

Диапазон калибровочных коэффициентов 1.30-2.30 (n/cm²)/count

Поток нейтронов в УХС определяется как:

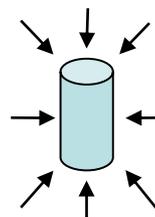
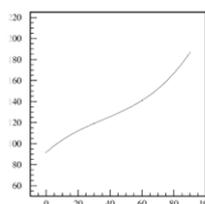
$$\text{Neutrons/cm}^2 = \text{Count} * \boxed{1.04 - 1.95} * \boxed{1.18 \pm ??} * \boxed{(1.1-1.2) \pm ??}$$

Калибровка в лаборатории



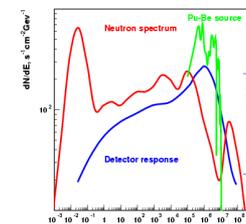
Относительная точность лучше 1%

Оценка из углового распределения



Абсолютная калибровка ~3% (+ моделирование)

Оценка на основании моделирования спектров

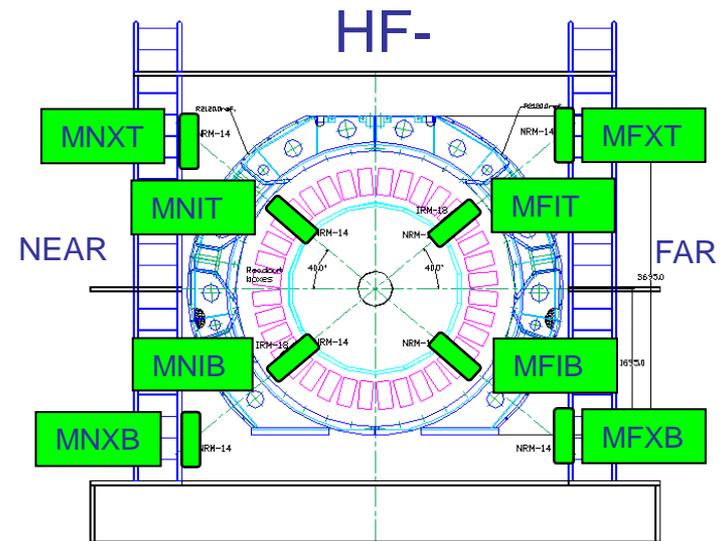
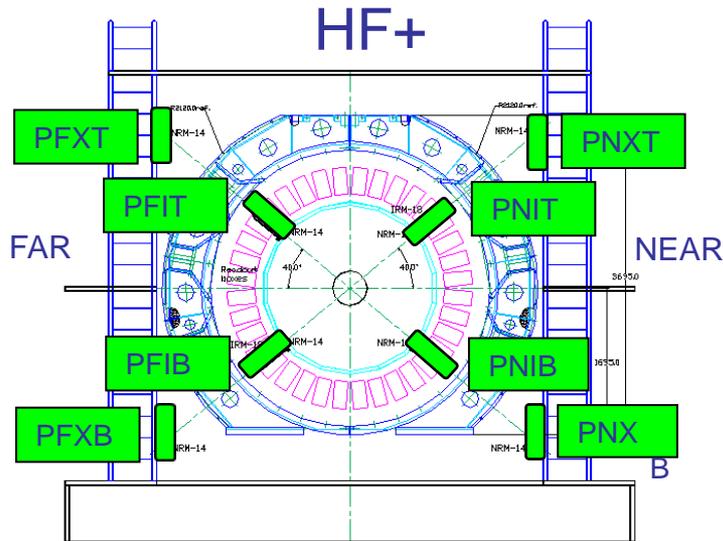


HF RADMON – размещение (базовая конфигурация)

8 нейтронных мониторов
внутри рад. защиты HF
(область ФЭУ):



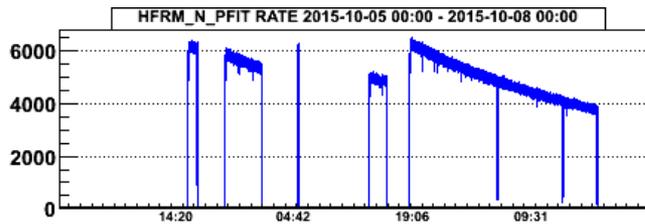
8 нейтронных мониторов
вне рад. защиты HF
(область электроники):



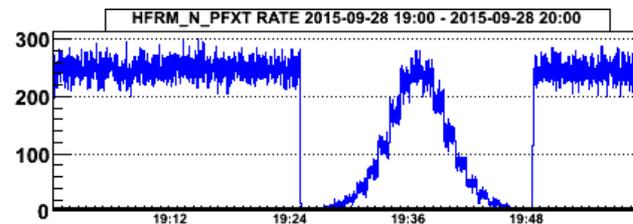
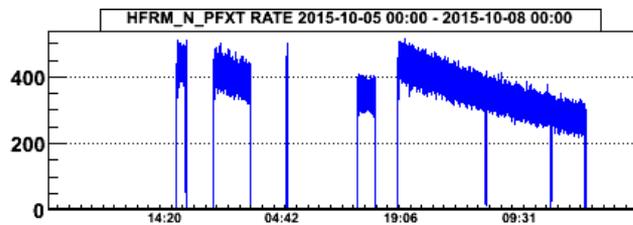
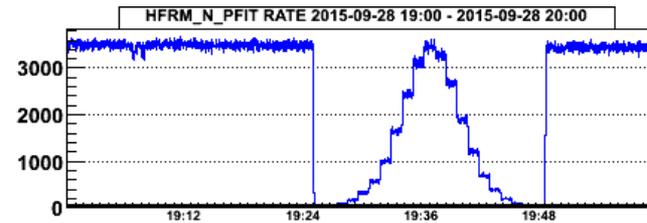
HF RADMON

Отклики внутренних и внешних мониторов системы:

При 5 различных загрузках

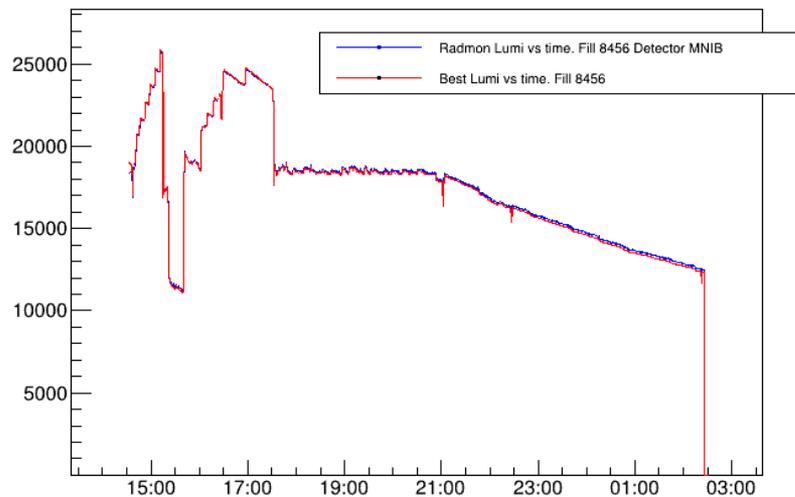


При VdM сканировании

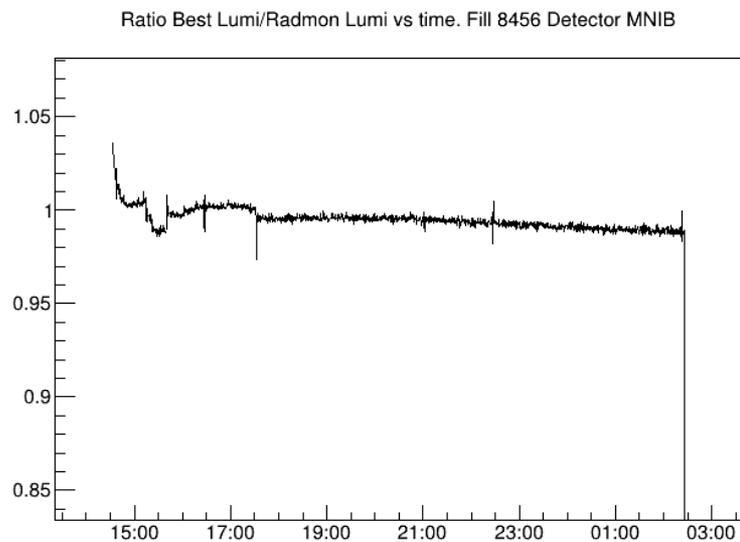


HF RADMON

Отклики мониторов системы:



В ходе загрузки с рекордной
светимостью

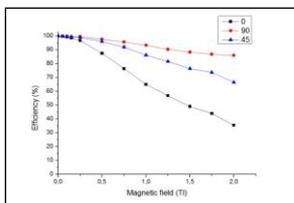


(отношение
светимость / «нейтроны»)

HF RADMON - эксплуатация

Проблемы долговременной эксплуатации системы HF RADMON в коллайдерном эксперименте и их решения:

1. Магнитные поля:



Исключение магнитных элементов из конструкции и электроники



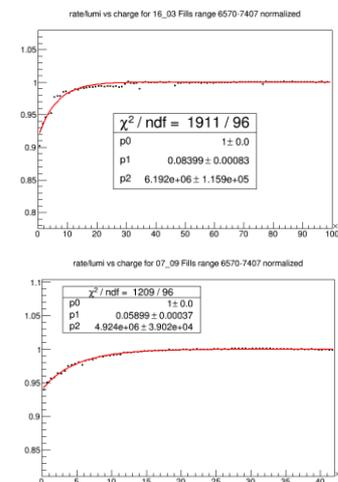
2. Нестабильность работы электроники детектора, искажение сигналов:

Постоянный контроль параметров, ремонтно-наладочные работы



Тестирование в УХС со слабым источником

3. Эффект «прогрева»:

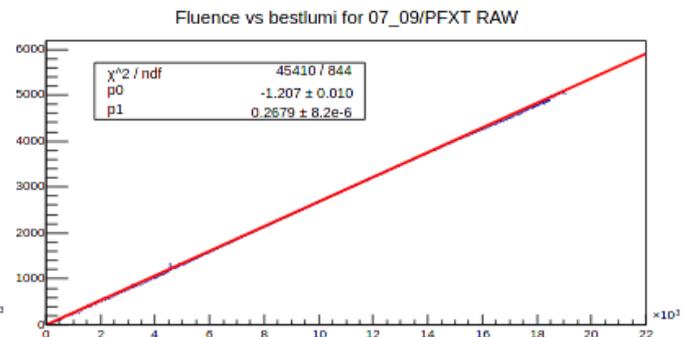
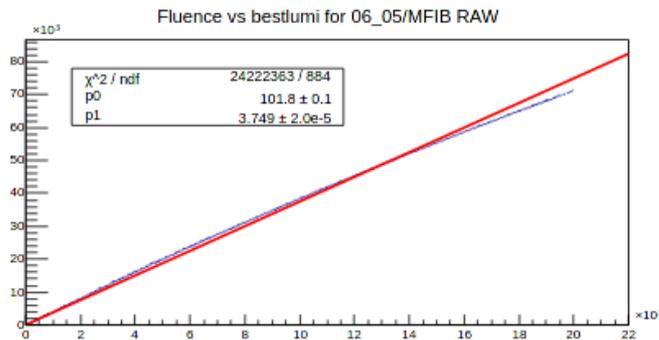


Учет эффекта при обработке данных внутренних детекторов при высокой светимости

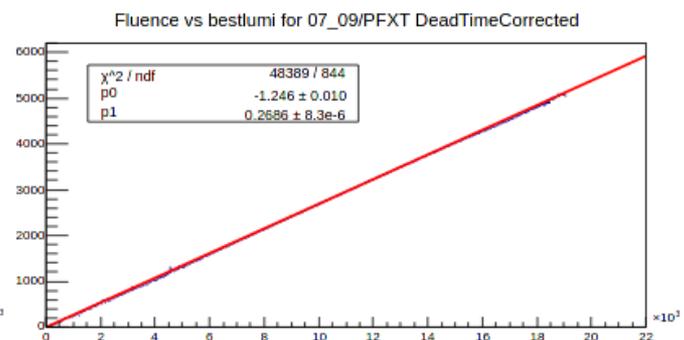
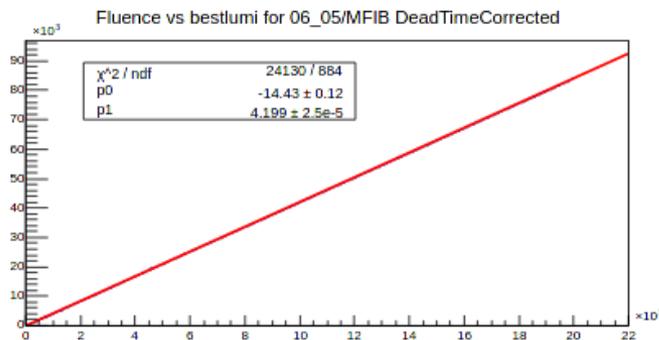
HF RADMON – «мертвое» время и линейность

Зависимость темпа счета нейтронного монитора системы HF RADMON от светимости:

Без коррекции на «мертвое» время



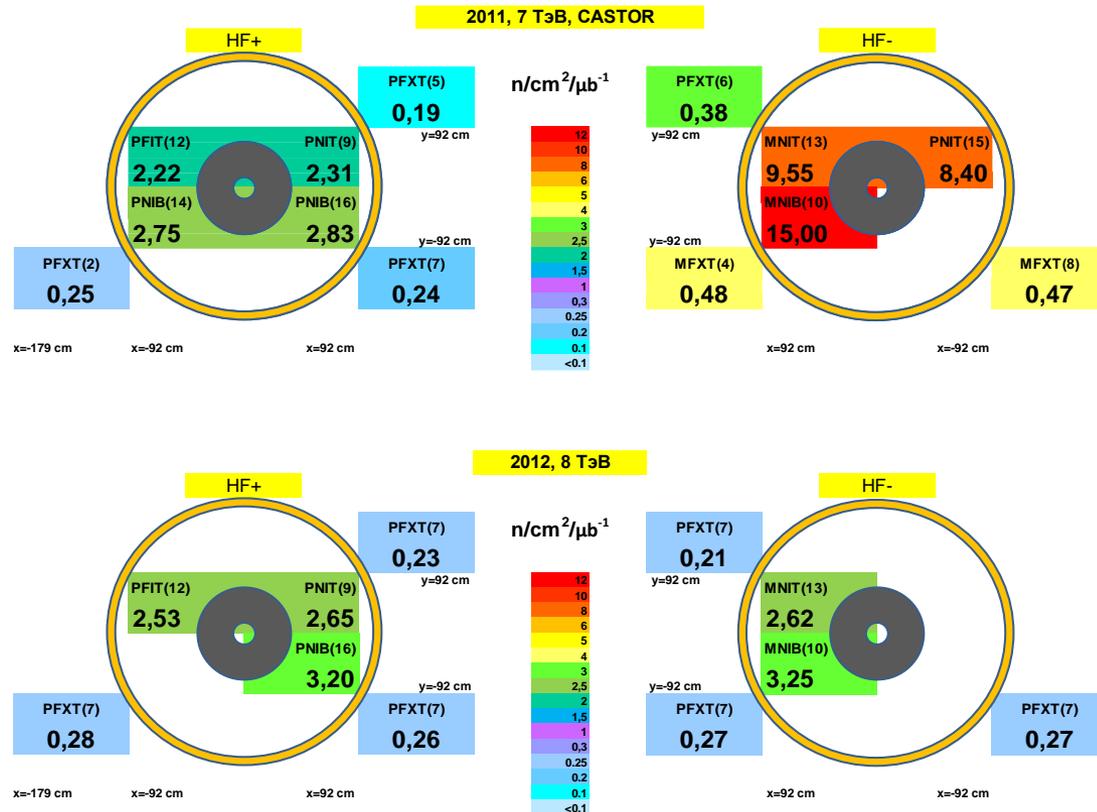
С коррекцией на «мертвое» время



Внутренний монитор

Внешний монитор

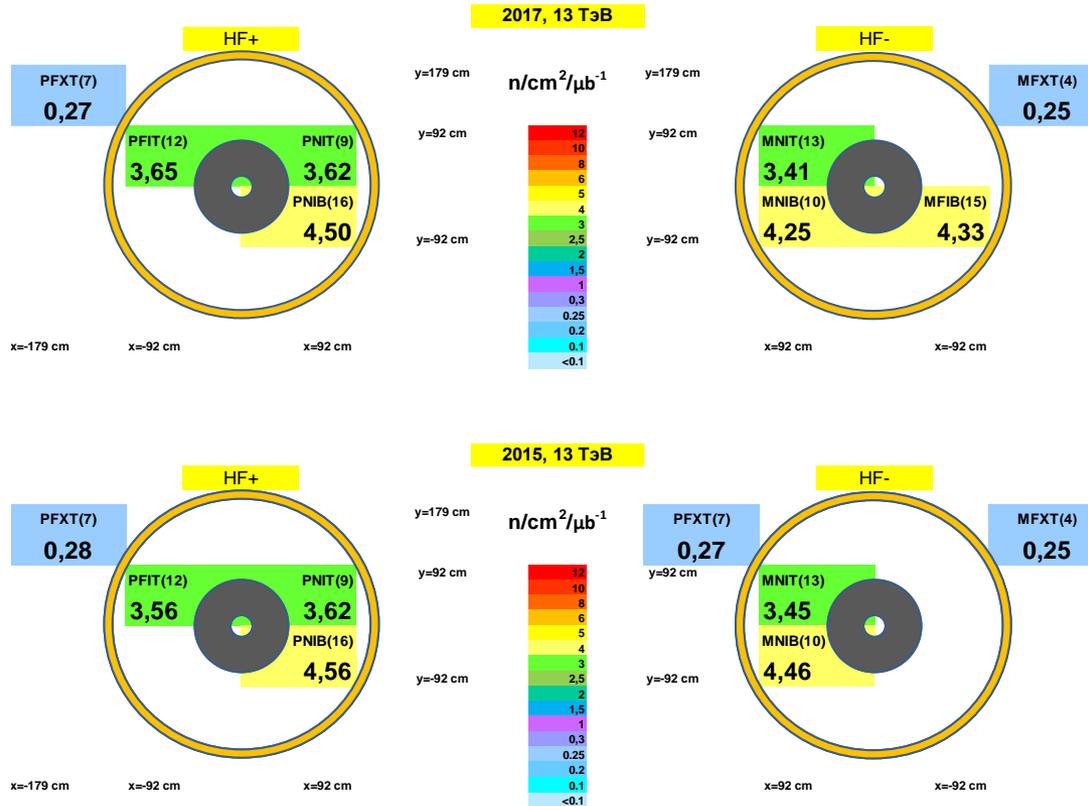
HF RADMON – результаты измерений



Сравнение результатов измерений 2011 и 2012 года. Впервые показано значительное (~5) увеличение радиационного фона при использовании калориметра CASTOR.

Получено указание на 20% асимметрию «верх-низ» относительно оси пучка.

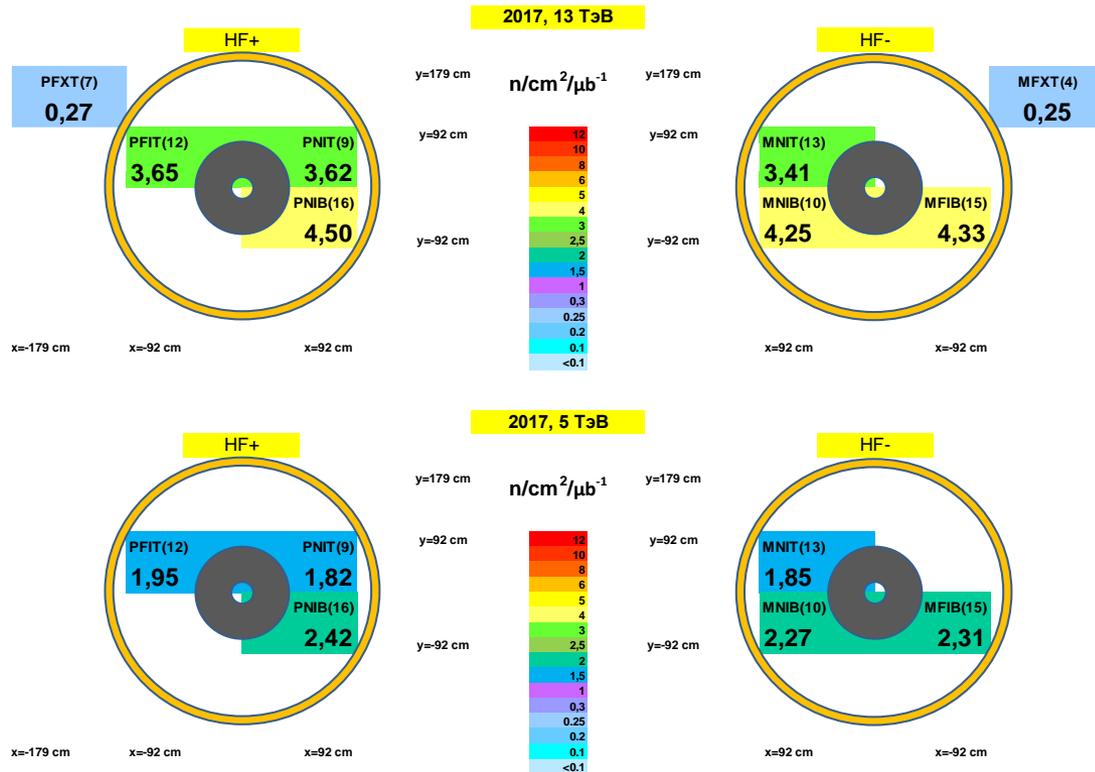
HF RADMON – результаты измерений



Сравнение результатов измерений 2015 и 2017 годов при 13 ТэВ. Подтверждена высокая стабильность работы системы.

Эффективность «второй» защиты HF калориметра составляет фактор ~11-14.

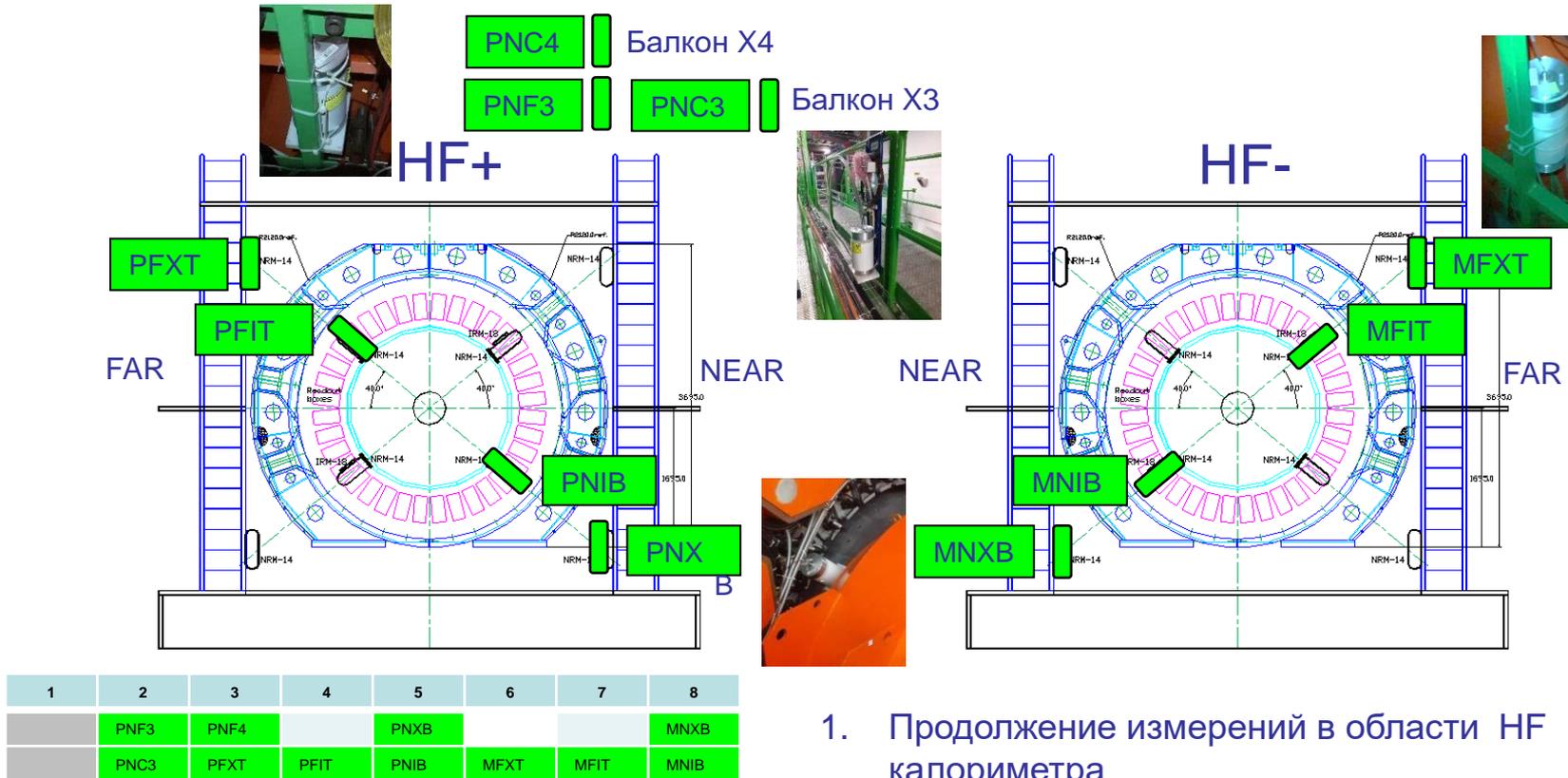
HF RADMON – результаты измерений



Сравнение результатов измерений 2017 года при 13 ТэВ и 5 ТэВ. Показано уменьшение нейтронных потоков с фактором 0,54 (пропорционально множественности).

Подтверждена 20% асимметрия «верх-низ» относительно оси пучка.

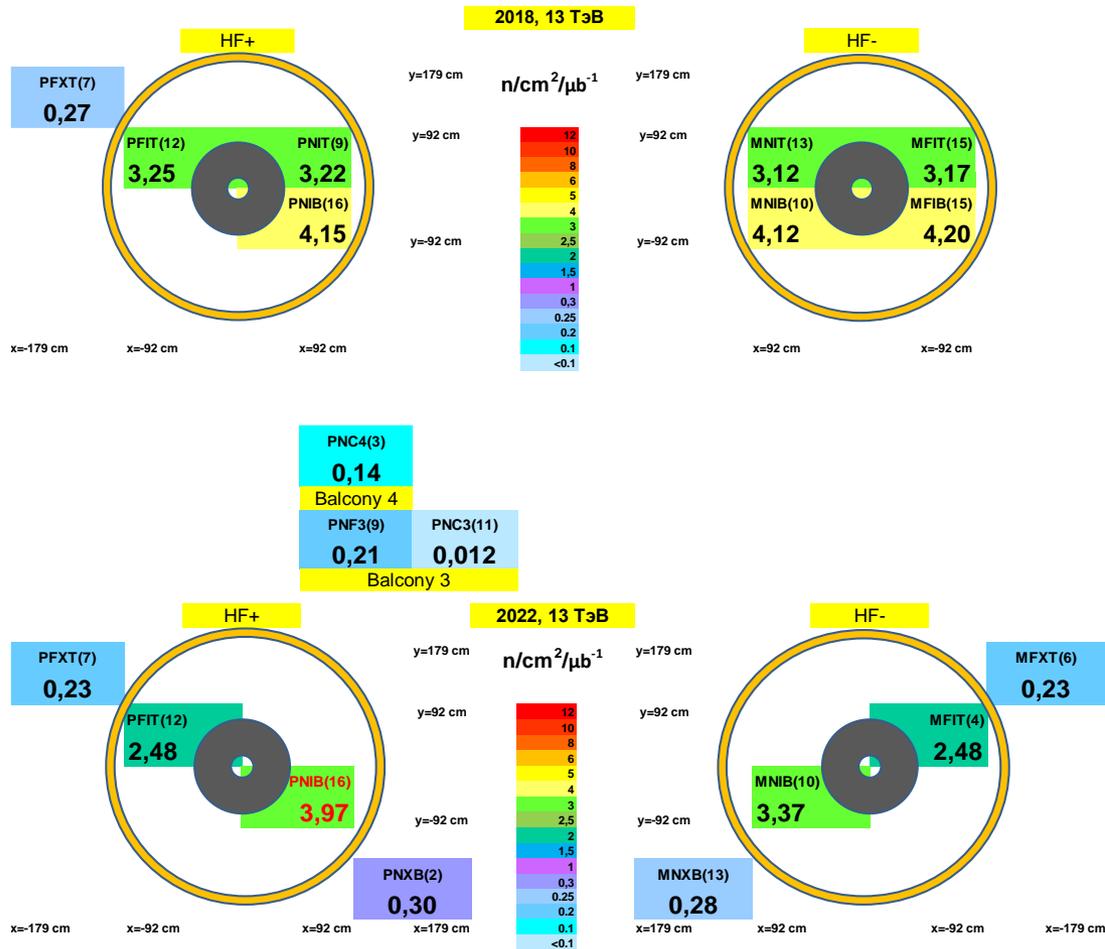
«HF RADMON» в третьем сеансе работы LHC



Крейт адаптеров

1. Продолжение измерений в области HF калориметра
2. Тест эффективности дополнительной радиационной защиты
3. Измерения в точках, планируемых для установки GFPC-2.

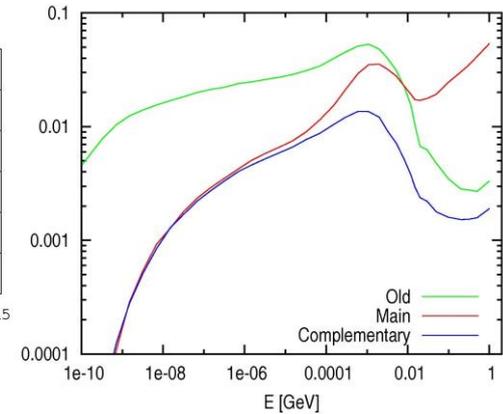
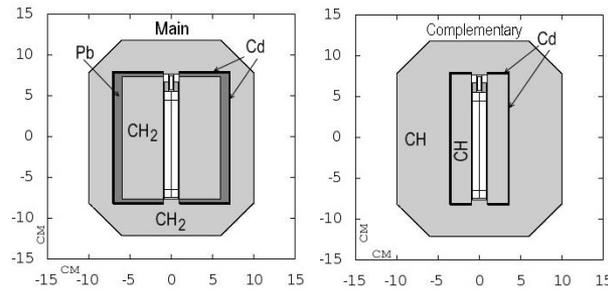
HF RADMON – результаты измерений



Сравнение результатов измерений 2018 и 2022 года. Показан эффект модернизации «rotating shielding» на уровне 23%.

Впервые измерены потоки нейтронов на «балконах» экспериментального зала.

GFPC-2 – развитие системы



Предложено использовать «сдвоенный» нейтронный монитор из двух детекторов того же типа, что и GFPC-1 с различными модераторами, что позволит детектировать более жесткие нейтроны и разделить жесткий и мягкий участки спектра нейтронов

Заключение

Система нейтронных мониторов установки CMS («историческое» название HF RADMON) успешно используется для контроля радиационных условий и измерения нейтронных полей с 2009 года по настоящее время.

Полученные результаты содержат практическую информацию для планирования развития установки с учетом радиационной деградации оптических и электронных элементов, а также позволяют осуществить критическую проверку модельно-теоретических расчетов радиационных полей в большом коллайдерном эксперименте.