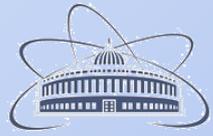


Программные системы обработки данных эксперимента BM@N на комплексе NICA

Константин Викторович Герценбергер
координатор программной части эксперимента BM@N
Объединенный институт ядерных исследований, ЛФВЭ



Комплекс NICA



Nuclotron-based Ion Collider facility

- Пучки: от p, d^{\uparrow} до Bi
- Светимость: 10^{27} (Bi), 10^{32} (p) $cm^{-2}s^{-1}$
- Энергия: $\sqrt{S_{NNBi}} = 4 - 11$ ГэВ $E_{lab} = 1 - 5$ АГэВ

- Эксперимент на фикс. мишени: **BM@N** (2018)
- 2 точки взаимодействия: **MPD** (2025) & **SPD** (2028)
- Официальный сайт: bmn.jinr.ru, nica.jinr.ru

Фиксированная мишень vs Коллайдер



на фикс. мишени

преимущества

коллайдер

- частота ограничена только возможностью детекторов
- лёгкий апгрейд установки
- широкий набор “пучок”/”мишень”...

- покрытие максимального фазового пространства
- большой аксептанс
- нет эффектов от мишени...

недостатки

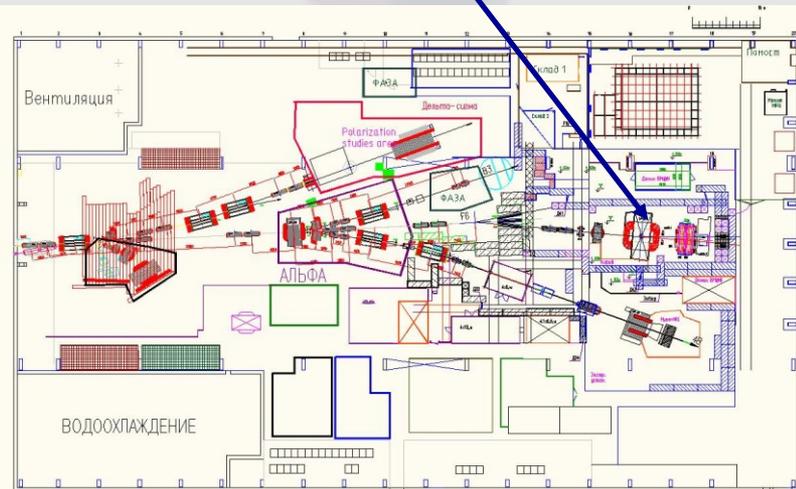
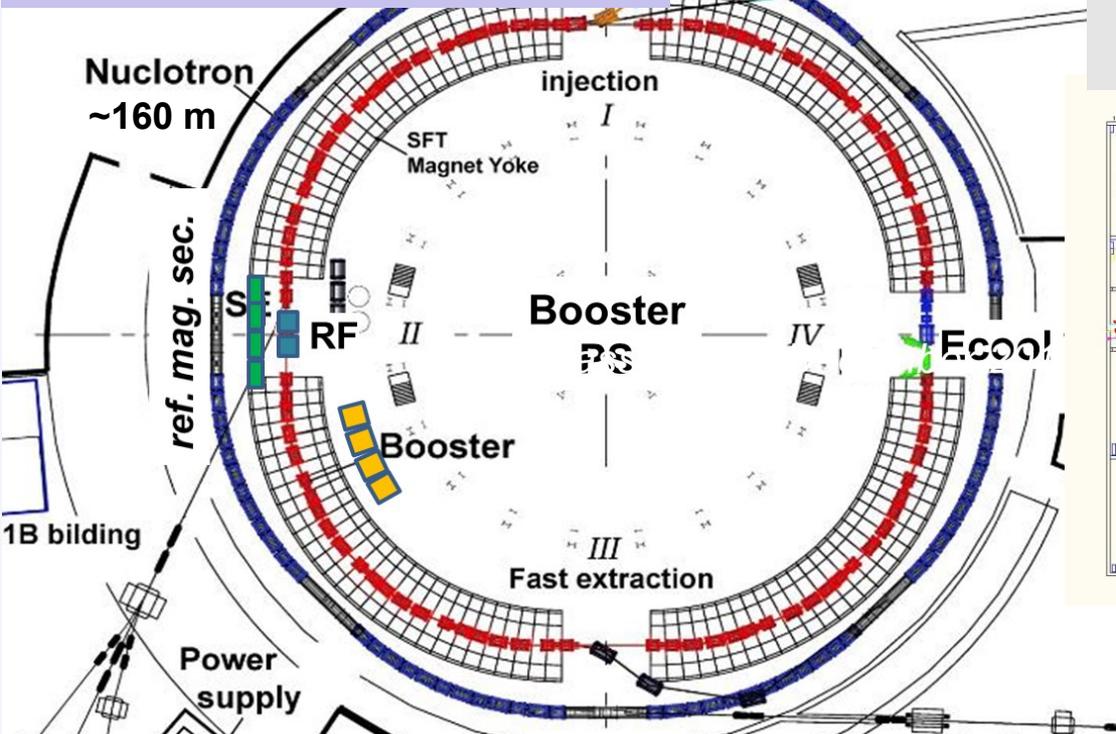
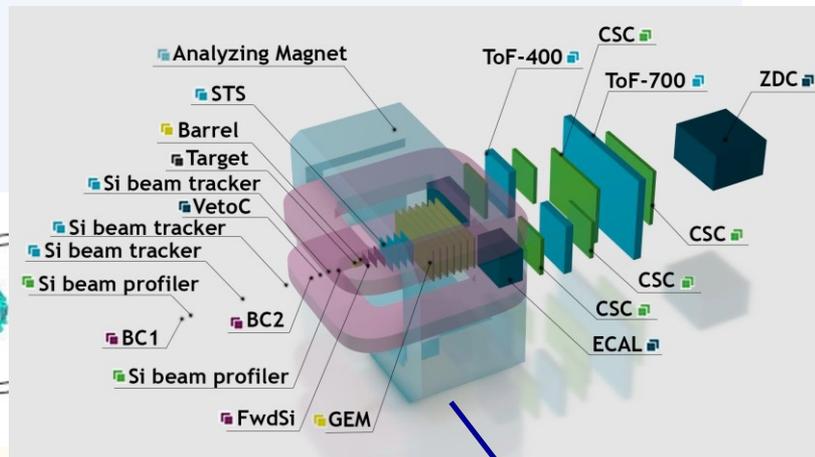
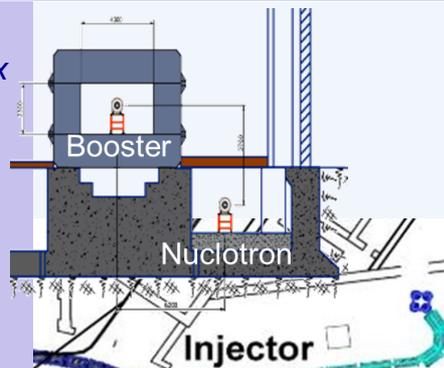
- ограниченное фаз. пространство
- коррекции от импульса частицы
- коррекции от влияния мишени...

- частота ограничена светимостью
- ограниченное кол-во вариантов “мишень”/”пучок”...

Baryonic Matter @ Nuclotron

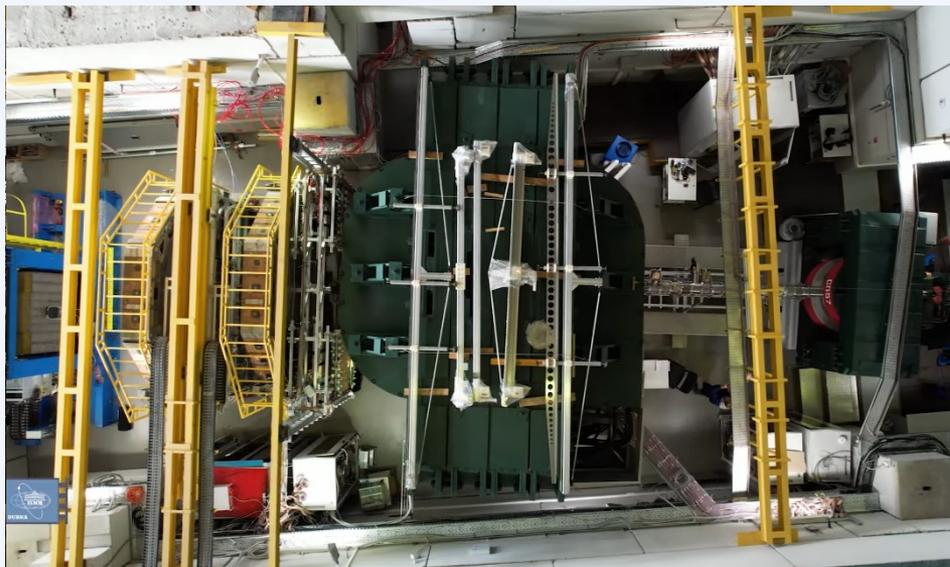
Физическая программа BM@N:

- ✓ рождение странных/мультистранных гиперонов и гиперядер около порога
- ✓ модификация странных и векторных мезонов в плотном веществе
- ✓ адронная фемтоскопия
- ✓ короткодействующие корреляции
- ✓ событийные флуктуации
- ✓ электромагнитные пробники, состояния распадающиеся на γ , e



Сеансы VM@N на Нуклотроне (2015 – 2023)

- | | | |
|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| ❖ 51 сеанс Нуклотрона (d,C) | | Фев. 22 – Март 15, 2015 |
| ❖ 52 сеанс (d) | Технический | Июнь 29 – Июль 30, 2016 |
| ❖ 53 сеанс (d, d [†]) | частота столкновений: 5 кГц | Дек. 09 – Дек. 23, 2016 |
| ❖ 54 сеанс (C) | Технический+Физический | Март 07 – Март 18, 2017 |
| ❖ 55 сеанс (C,Ar,Kr) | на SRC | Март 03 – Апр. 05, 2018 |
| ❖ 56 сеанс: SRC (C) | частота столкновений: 8 кГц | Март 07 – Март 28, 2022 |
| ❖ 57 сеанс: VM@N (Xe) | Физический | Дек. 12 – Фев. 02, 2023 |
| | частота столкновений: 10 кГц | |



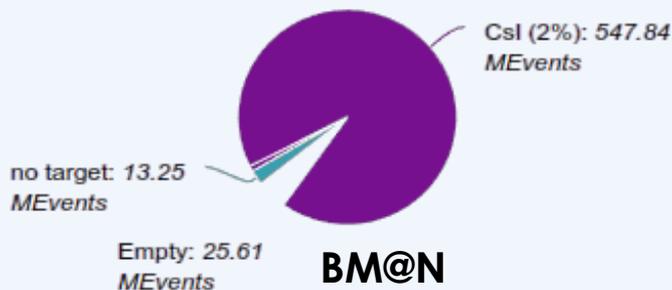
- Пучок: Xe (3.8, 3.0 АГэВ),
пред. раны: Kr (2.3, 2.6, 3.0 АГэВ), Ar (3.2 АГэВ),
C¹² (3.5–4.5 АГэВ), d (4, 4.6 АГэВ)
- Мишень: CsI или empty
пред. раны: Pb, Sn, Cu, Al, C₂H₄, C, H₂
- Интегрированы DAQ, T₀ и триггерная системы
- Детекторы: FSD, GEM, CSC, ToF-400, ToF-700,
DCH 1&2, FHCAL, ECal, LAND, профилометры...
- Исследование взаимодействий пучок-мишень
для реконструкции гиперонов, странных частиц,
идентификации частиц и фрагментов ядра...

Поток данных физического сеанса VM@N

1^{ый} физический сеанс VM@N

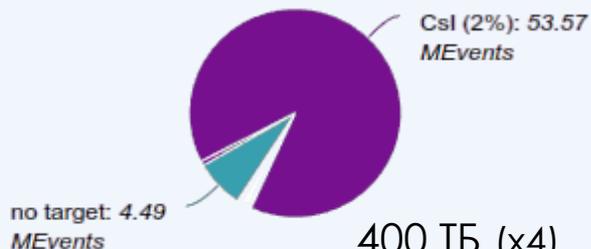
Две энергии пучка для ксенона **Xe**
 Мишень **CsI** как более близкая к Xe
 Собрано порядка 600М событий

Beam Xe (E = 3.8 GeV/n)
 Total: 592.66 MEvents



VM@N
8 сеанс

Beam Xe (E = 3 GeV/n)
 Total: 59.86 MEvents



400 ТБ (x4)

Параметр	Значение (прибл.)
Время сбора данных	720 часов
Средняя длительность рана	20 минут
Средний перерыв между ранами	2.5 минуты
Интенсивность пучка (3.8 АГэВ)	до 900 000/2.2 Xe ⁺ /sec до 900 000/12 Xe ⁺ /sec
Частота триггера	8 000 / 2.2 соб./с
Средний размер события	0,6 МБ
Скорость набора данных	до 2 ГБ/с
Средний размер файла	15 ГБ
Число событий в файле	25 000
Полное число событий (+тестовые, калибровочные, пьедестальные)	645 миллионов
Число полных файлов	25 800
Число ранов	1 920
Полученный объем данных	400 ТБ
Объем реплицированных данных	1.6 ПБ
Средний размер digit-файла	870 МБ
Средний размер dst-файла	2 ГБ

Фреймворк BmnRoot

Фреймворк **BmnRoot** разработан для моделирования событий, реконструкции экспериментальных и моделированных данных и последующего физического анализа столкновений ионов с фиксированной мишенью на установке **BM@N**.

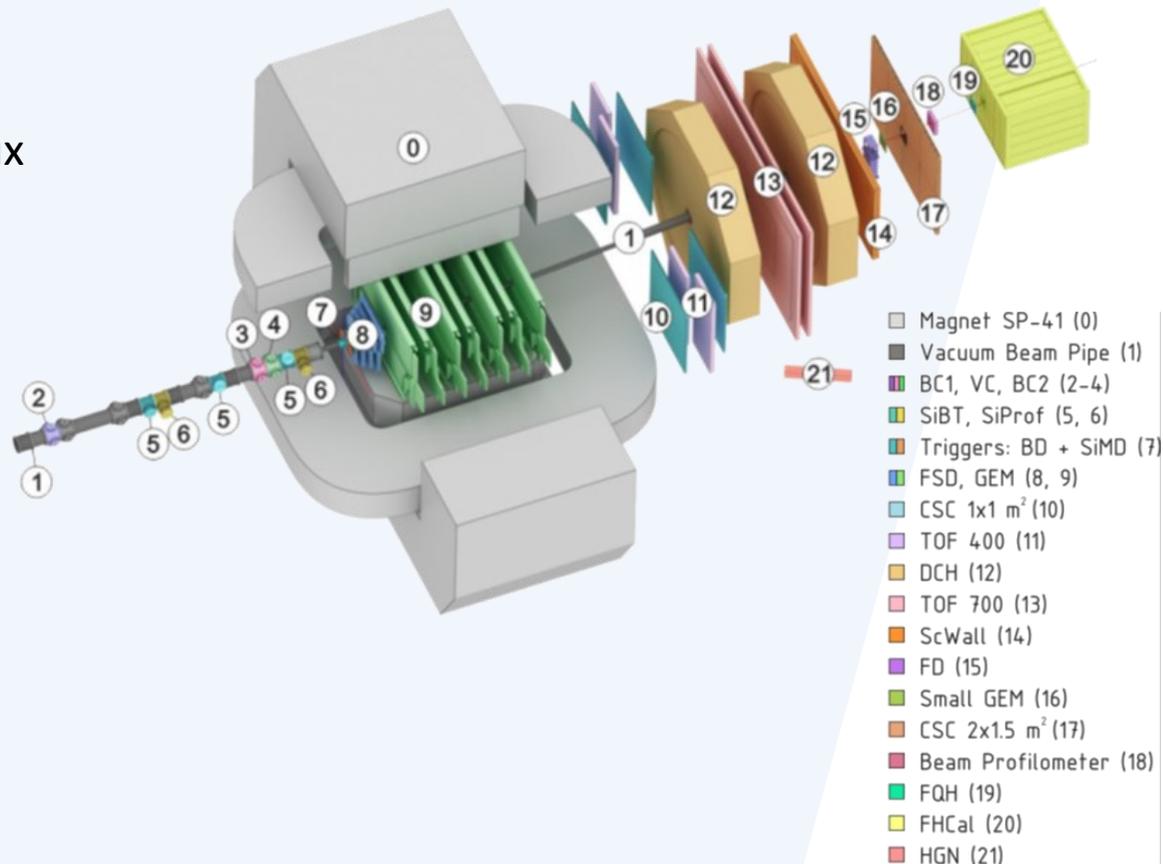
активно разрабатывается с 2014 года

классы C++, Linux/macOS,

на базе  ROOT и FairRoot

встроенные сервисы на Python

Установка **BM@N** в 1^{ом} физическом сеансе



BmnRoot доступен в сервисе GitLab ОИЯИ: <https://git.jinr.ru/nica/bmnroot>

Модель обработки данных в VmnRoot

Детекторы VM@N

“сырые” двоичные данные

raw_run.data

RAW
бинарный
формат

RAW
ROOT
формат

декодинг

конвертер + декодер

digit_exp.root

DIGIT
ROOT
формат

Уровни хранения

постоянное

временное

RAW → **DIGIT** → **DSTexp** → PhA

RAW: “сырые” (бинарные) данные событий, записанные системой сбора данных DAQ

DIGIT: отсчеты детекторов (event digits) после декодера “сырых” данных (макрос CERN ROOT)

DSTexp: реконструированные данные эксп. событий

Geant4, Fluka

Генераторы событий

(DCM-)SMM, QGSM, UrQMD...

generator.dat

GEN
формат

моделиро-
вание

digit_sim.root

SIM
ROOT
формат

реконструкция

dst_reco.root

DST
ROOT
формат

физический
анализ

miniDST
для ФА

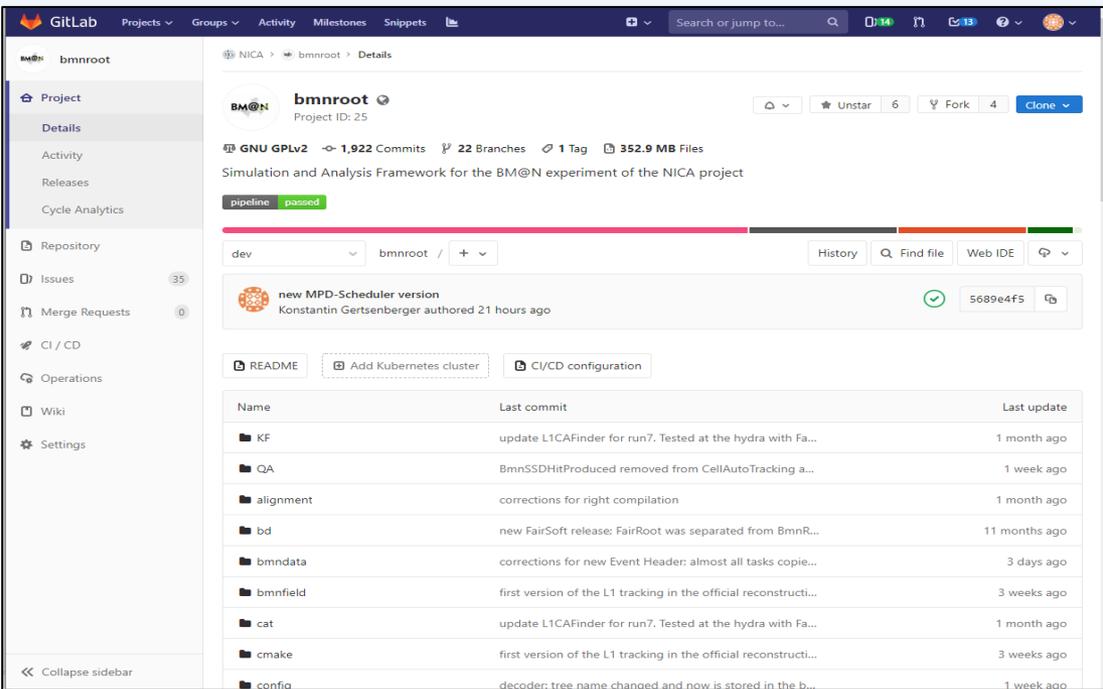
GEN → SIM → **DSTsim** → PhA

GEN: описание столкновений частиц, полученное генераторами событий

DSTsim: реконструированные данные мод. событий



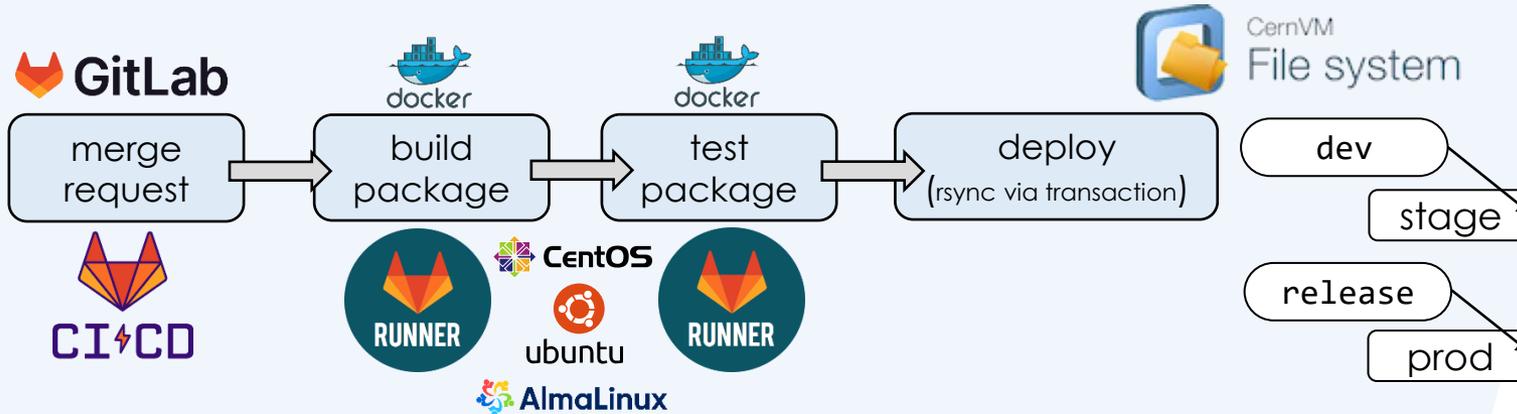
Система контроля и дистрибьюции ПО



Система контроля версий GIT
Защита главных ветвей разработки
Разграничение прав доступа
Трекер задач и ошибок
Автоматизированное тестирование и развертывание

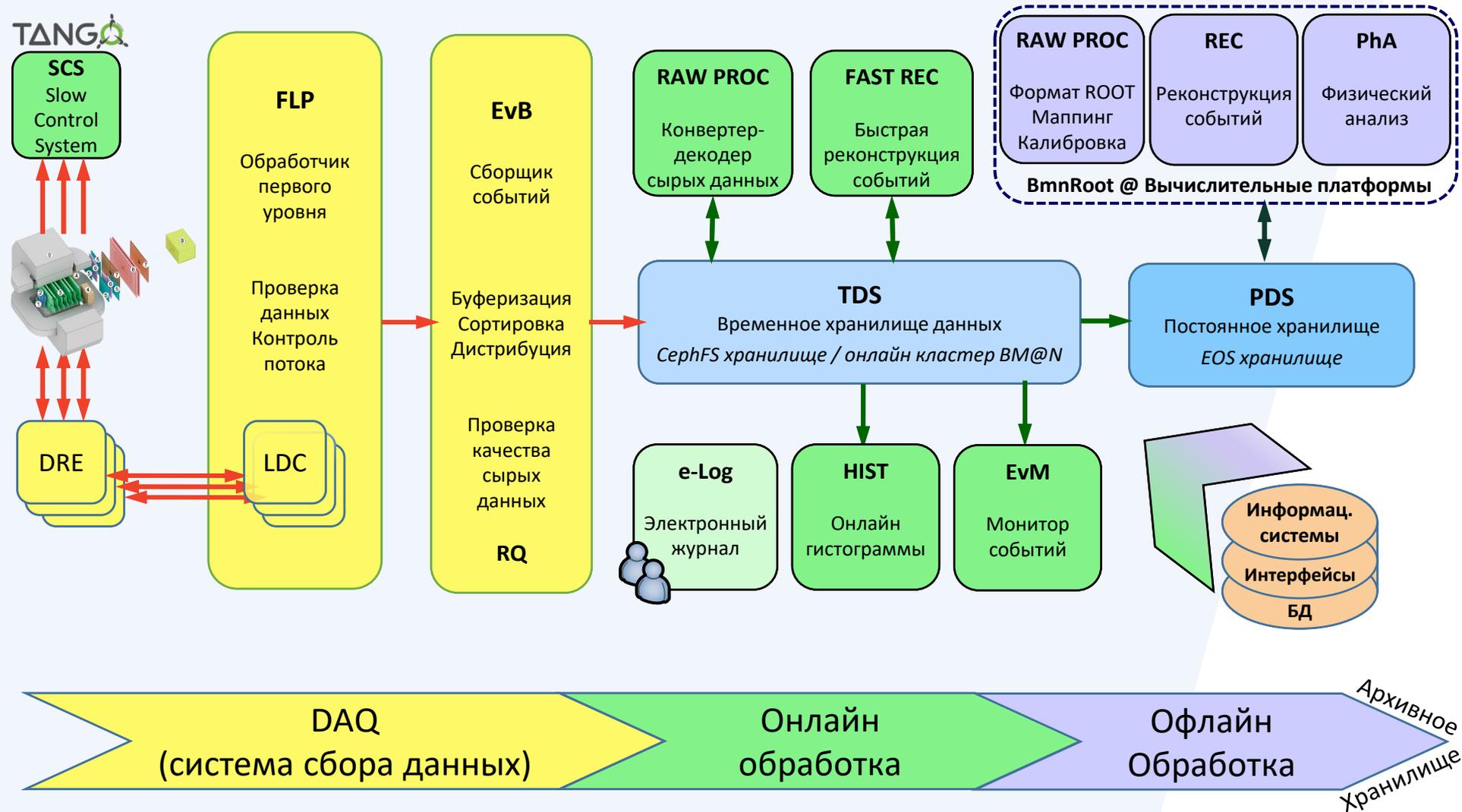
Дистрибьюция ПО при помощи CernVM File System

Сетевая файловая система (только для чтения) с агрессивным кэшированием, оптимизированная для быстрого, масштабируемого и надежного распространения ПО через HTTP



```
/cvmfs/nica.jinr.ru/  
├── centos7  
│   ├── fairsoft  
│   ├── fairroot  
│   └── bmnroot  
├── ubuntu2004  
│   ├── fairsoft  
│   ├── fairroot  
│   └── bmnroot  
└── alma9  
    ├── fairsoft  
    ├── fairroot  
    └── bmnroot
```

Поток обработки данных VM@N



Информационная система = База данных + Интерфейсы (GUI + API) + Сервисы + ...

Система электронного журнала

BM@N Electronic Logbook

bmn-elog.jinr.ru

Logged in as shift

[Home](#) [New](#) [Find](#) [Last day](#) [Account](#) [Reference Book](#)

Page: 1 of 282



Number of items per page: 10 [Logout](#)

Date	Shift Leader	Type	№ Run	Trigger	DAQ Status	SP-41, A	SP-57, A	VKM2, A	Beam	Energy, GeV	Target	Comment	Attachment
2018-04-05 11:47:06	Rumyantsev	Inform All	5185 per.7	Special Trigger	All	0	0	0	Kr	2.94	Cu (2 mm)	End of the RUN7	
2018-04-05 11:09:20	Rumyantsev	New Run	5184 per.7	Beam Trigger + Si >3	All	1250	50	125	Kr	2.94	Cu (2 mm)	Cu target; Tr.= BC1 & BC2 & VC & Si>3 VKM2: I=125A, SP-57=50A, SP41=1250A; 100 k	
2018-04-05 08:12:35	Rumyantsev	New Run	5183 per.7	Beam Trigger + Si >3	All	1250	50	125	Kr	2.94	Cu (2 mm)	Cu target; Tr.= BC1 & BC2 & VC & Si>2 VKM2: I=125A, SP-57=50A, SP41=1250A; 120 k	
2018-04-05 07:46:35	Babkin	New Run	5182 per.7	Beam Trigger + Si >3	All	1250	50	125	Kr	2.94	Cu (2 mm)	Cu target; Tr.= BC1 & BC2 & VC & Si>3 VKM2: I=125A, SP-57=50A, SP41=1250A; 208 kev	
2018-04-05 07:41:29	Babkin	New Run	5180 per.7	Beam Trigger + Si >3	All	1250	50	125	Kr	2.94	Cu (2 mm)	Cu target; Tr.= BC1 & BC2 & VC & Si>3; VKM2: I=125A, SP-57=50A, SP41=1250A; 201 kev	
2018-04-05 07:25:08	Babkin	New Run	5179 per.7	Beam Trigger + Si >3	All	1250	50	125	Kr	2.94			
2018-04-05 06:01:07	Babkin	New Run	5178 per.7	Beam Trigger + Si >3	All	1250	50	125	Kr	2.94			
2018-04-05 05:27:39	Babkin	New Run	5177 per.7	Beam Trigger + Si >3	All	1250	50	125	Kr	2.94			
2018-04-05 05:27:39	Babkin	New Run	5176 per.7	Beam Trigger + BD>3	All	1250	50	125	Kr	2.94			
2018-04-05 05:27:39	Babkin	New Run	5174 per.7	Beam Trigger + BD>3	All	1250	50	125	Kr	2.94			



2020 - software team (contact e-mail: gertsen@jinr.ru)

Разграничение прав доступа (роли): Администратор, Редактор, Читатель

Прикладывание файлов (текст, фото)

Многоколоночная Сортировка

Лёгкий поиск

Подписка на выбранные типы записей

Фильтрация данных

Личный кабинет...

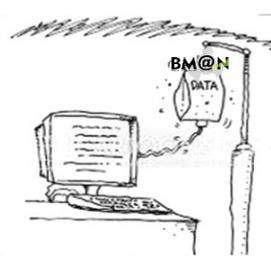
Система онлайн гистограммирования

jsROOT (Javascript ROOT) сервер предоставляет контрольные гистограммы через Web

Welcome to the BM@N Experiment Triggers GEM Silicon ToF400 ToF700 DCH MWPC ZDC ECAL SRC Triggers LAND MSC



Run: 4147
Event: 20000
Run Type: beam



BM@N Silicons

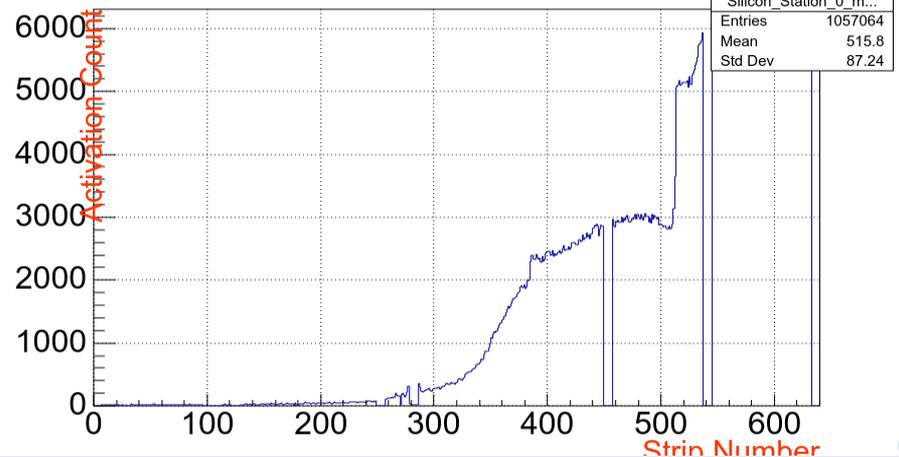
Energy: 3.20
Beam: Ar
Target: C
Field Voltage: 77.60



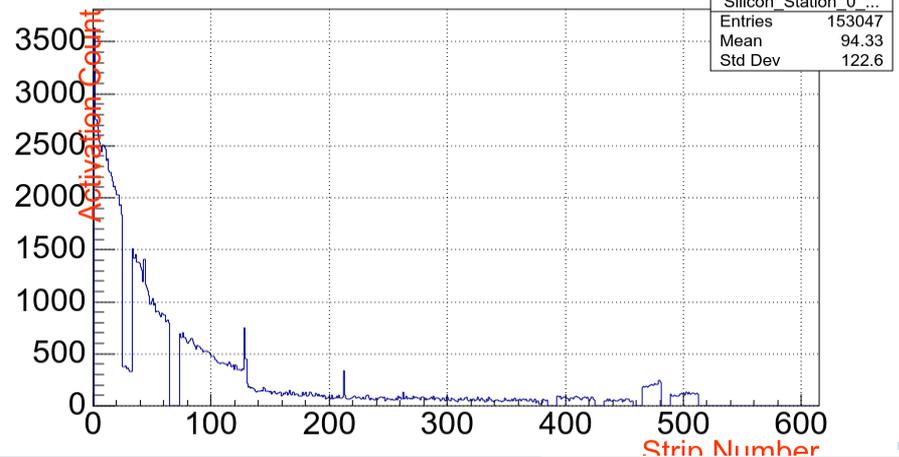
Reset

Select Reference Run Run 3946, beam Ar, energy 3.2, target C, Voltage 77.597222

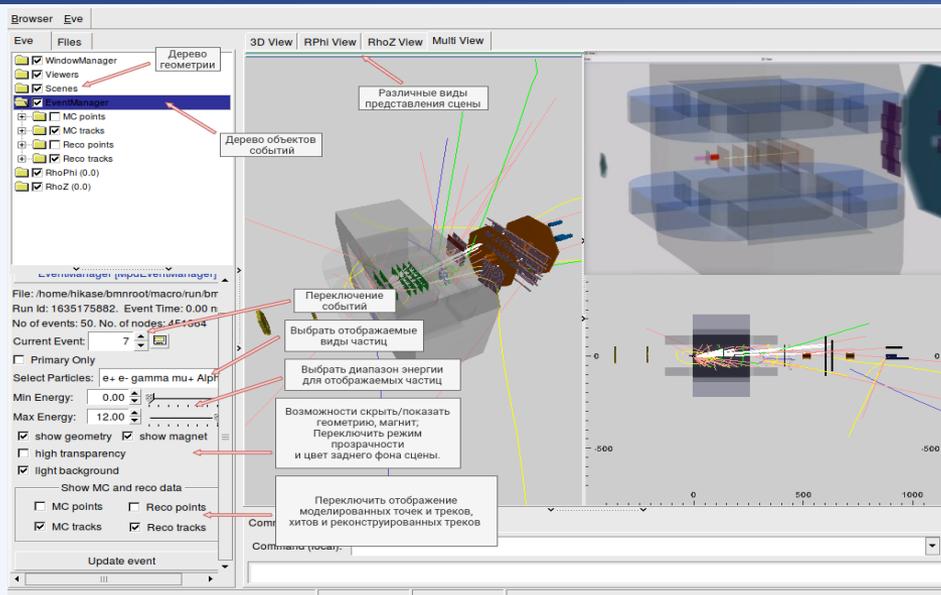
Silicon_Station_0_module_0_layer_0



Silicon_Station_0_module_0_layer_1



Монитор событий для эксперимента VM@N



Решение с виртуальной реальностью (СПБГУ)

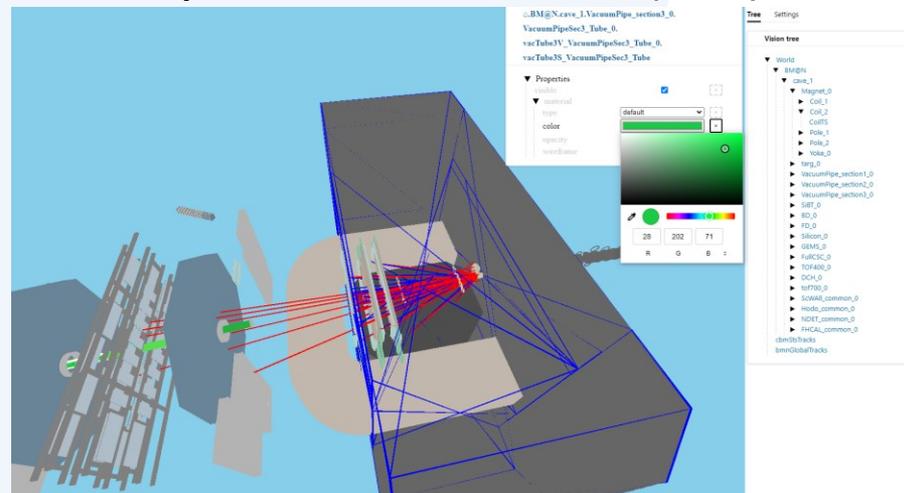
на базе пакета **ROOT EVE**

отображение геометрии установки, выбор события для просмотра, выбор частиц по PDG коду, фильтр по энергии и многие другие опции визуализации

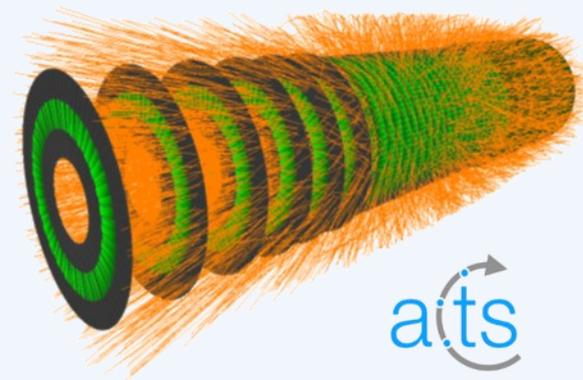
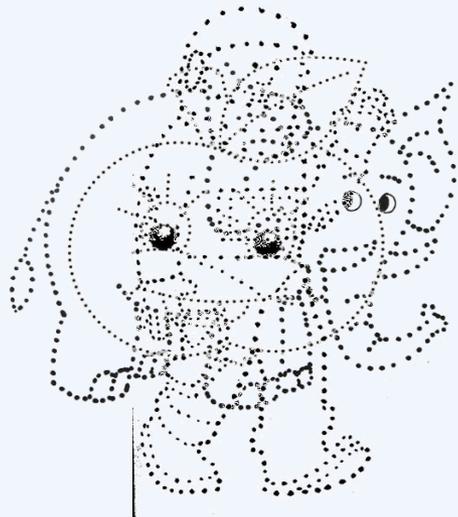
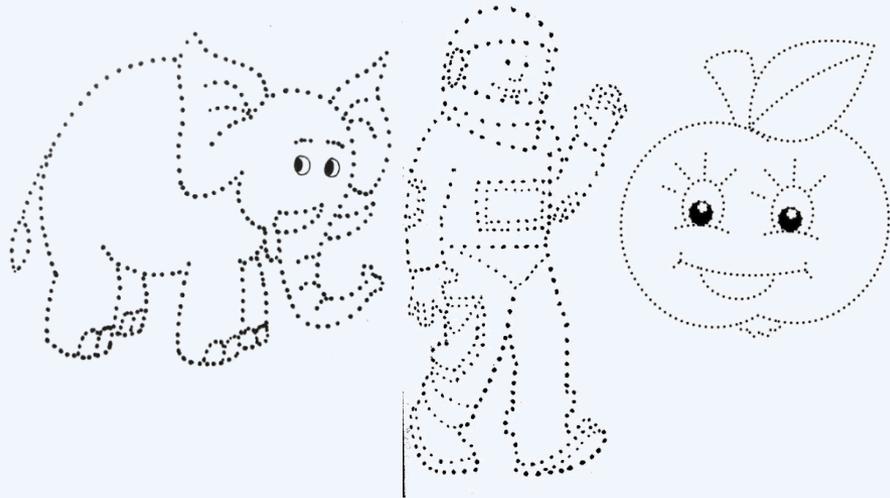
Монитор событий для **модельных** данных МК точки, треки, башни калориметров

Монитор событий для **реконструир.** данных хиты, треки, башни калориметров

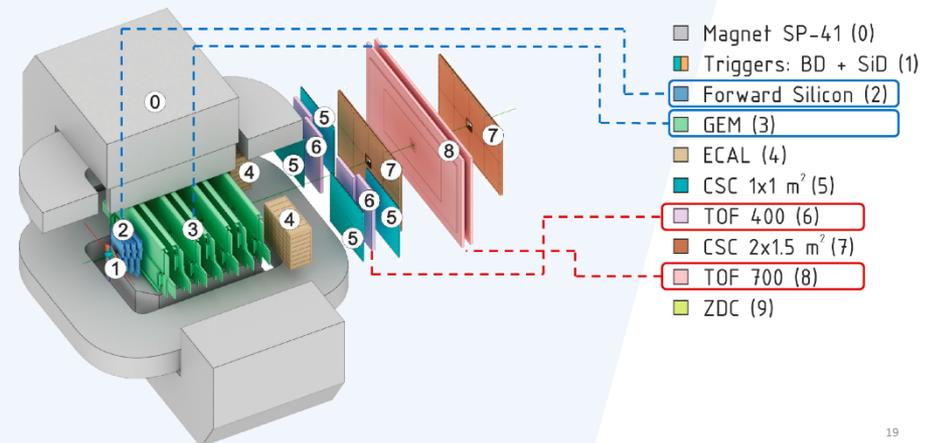
Монитор событий след. поколения (МФТИ)



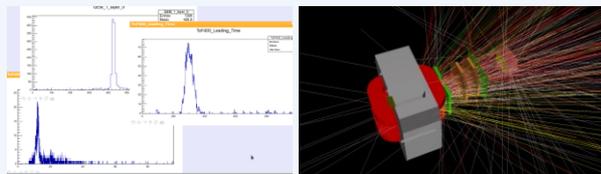
Быстрая реконструкция событий на ML



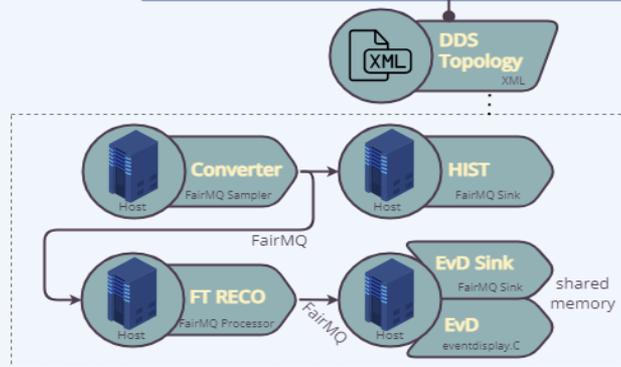
Трекинг на машинном обучении
(разработчики из ATLAS, LHCb, FCC-hh...)



Система онлайн обработки данных VM@N



Дерево процессов



Параметрическая база данных UniConDa



фреймворк
BmnRoot

моделирование детекторов
обработка "сырых" данных
реконструкция событий
физический анализ

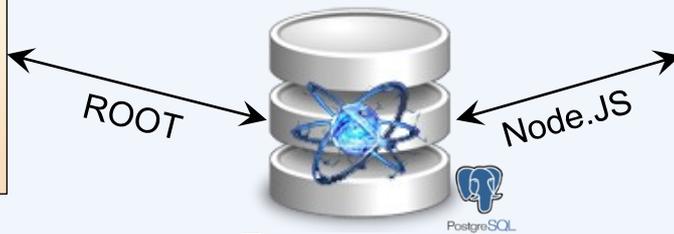


просмотр и
управление
параметрами

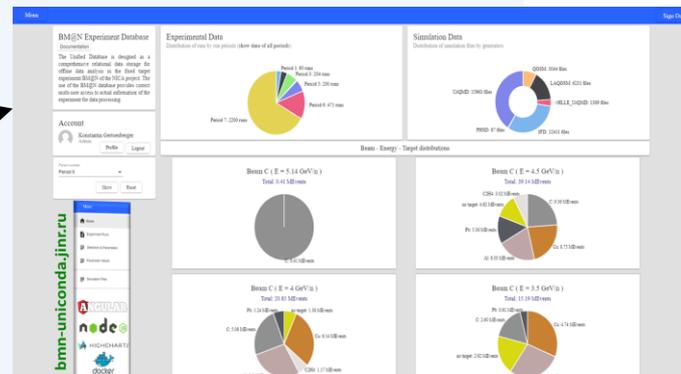
пользователи

аутентификация
через Keycloak

**интерфейс C++
→ REST API
(коннект, I/O, API)**



**База данных
состояний и
условий работы**



Веб-сервис

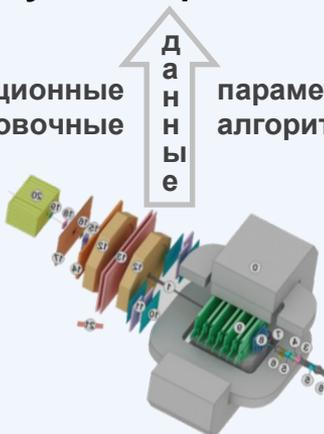


сервис автом-ого обновления
метаданных модельных файлов

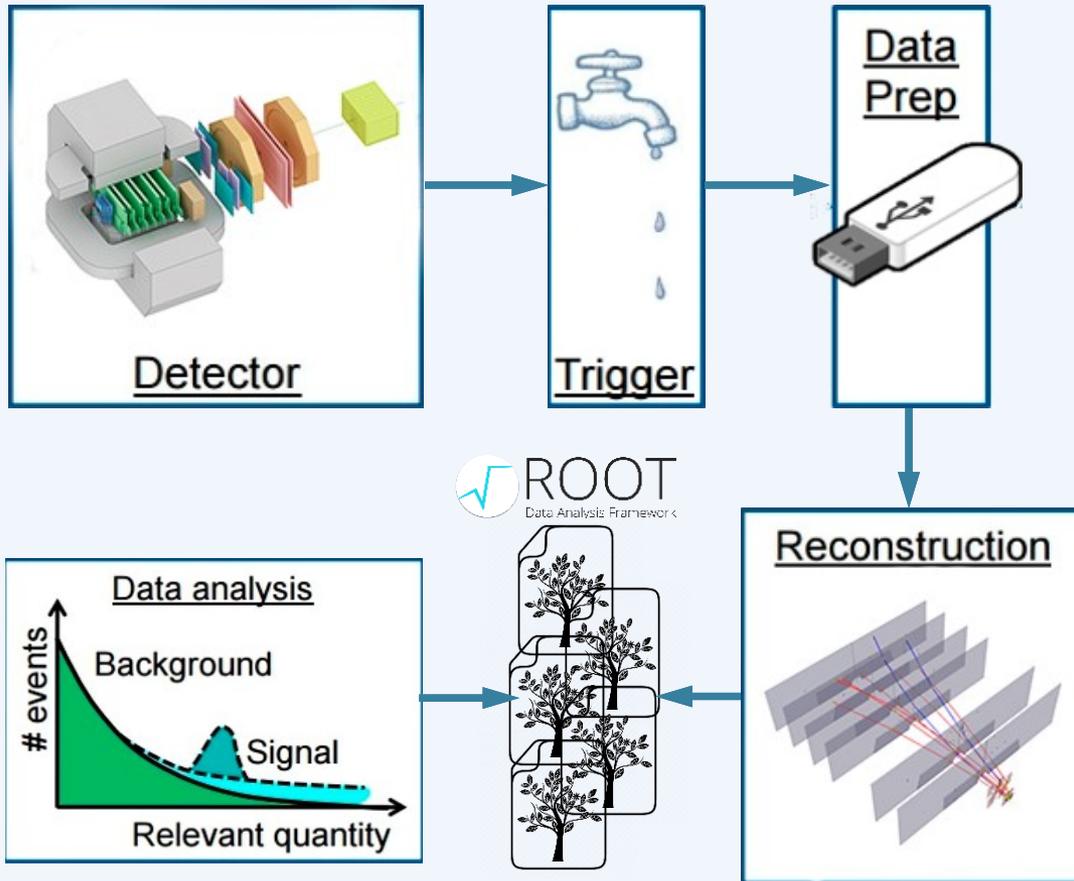


сервис регулярной проверки
целостности полученных данных

конфигурационные
калибровочные
параметрические
алгоритмические



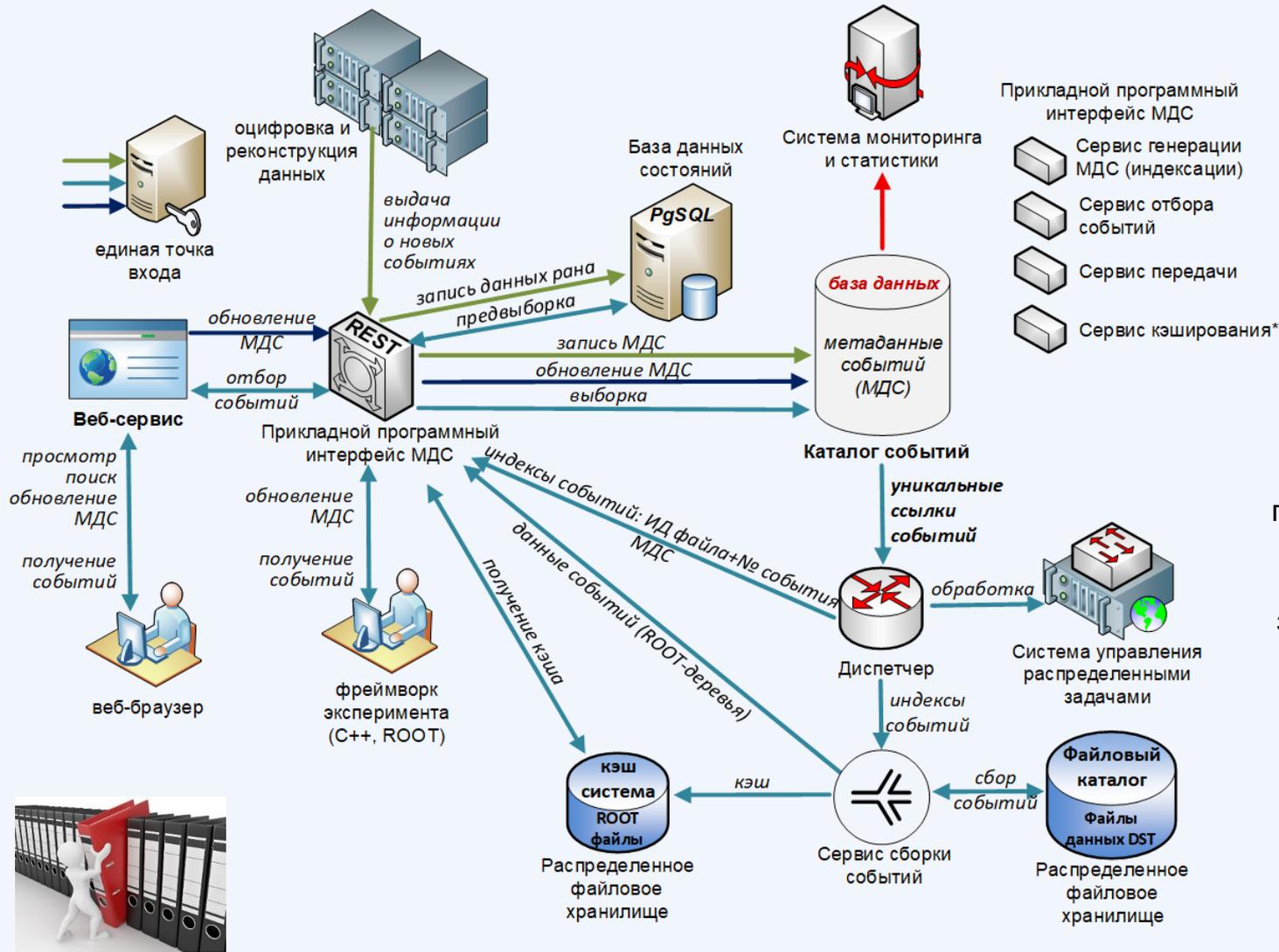
Отбор событий для физического анализа



Ран 8 (12.12.2022 – 02.02.2023)
24 000 файла x 25 000 событий

- Параметры отбора событий:
 - пучок
 - мишень
 - энергия пучка
 - тип триггера
 - число первичных (всех) треков
 - число заряженных +/- частиц
 - тип найденных частиц
 - число хитов по детекторам
 - входной/выходной заряд
 - версия используемого ПО...
- Индексирование событий
- Проверка качества каталога
- Статистика каталога событий

Система метаданных событий



Прикладной программный интерфейс МДС

- Сервис генерации МДС (индексации)
- Сервис отбора событий
- Сервис передачи
- Сервис кэширования*

Каталог Событий на СУБД PostgreSQL

Интегрирована с Condition Database

REST API и Web UI разработан на Kotlin платформе

Конфигурируема для произвольных метаданных

Сервис автоматической записи новых метаданных по получаемым файлам

Разграничение прав доступа по ролям

Мониторинг системы

Вычислительные платформы для VM@N

Онлайн Кластер VM@N
ddc.jinr.ru
(ЛФВЭ, к.205)



Кластер NICA
[ncx\[101-106\].jinr.ru](http://ncx[101-106].jinr.ru)
(ЛФВЭ, к.216)



Центры Tier1&2 GRID
lxui.jinr.ru (ЦИВК)
(ЛИТ, к.134)



Платформа HybriLIT
(СК «Говорун»)
hydra.jinr.ru
(ЛИТ, к.134)



ОС: CentOS / Scientific Linux 7.9

Центральный репозиторий ПО на **CVMFS** для экспериментов

CEPH: 2 ПБ (репликация)
SLURM: 1000 ядер после
ближайшего апгрейда

EOS: 1 ПБ (репликация)
NFS: 300 ТБ (для NICA)
SLURM: 1000 ядер

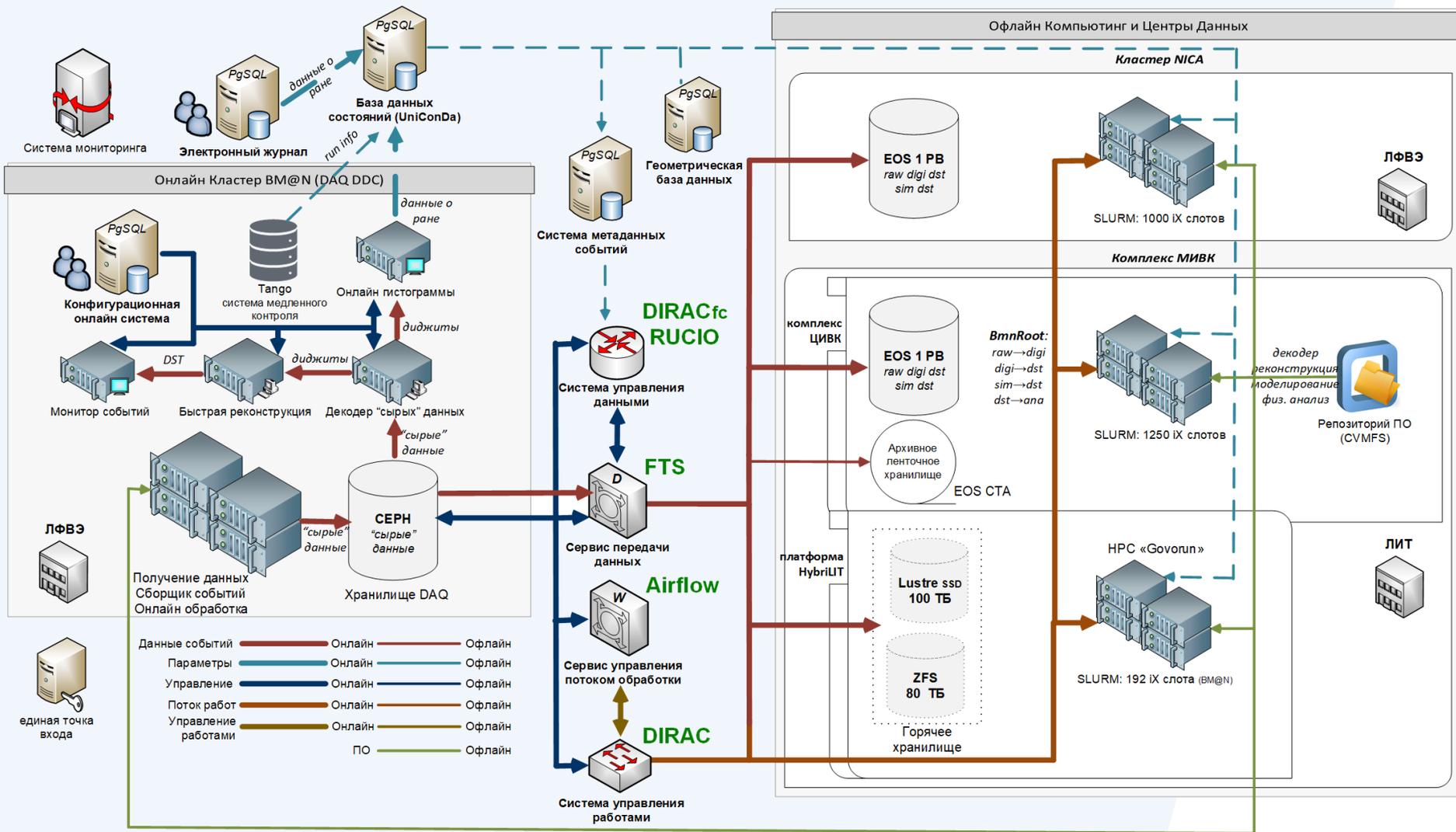
EOS: 1 ПБ (репликация)
EOS CTA: 100 ТБ для NICA
SLURM: 1250 ядер

ZFS: 200 ТБ
Lustre (hot): 300 ТБ_{ssd}
SLURM: *bm1* – 192 ядра

Программное обеспечение VM@N развёрнуто на CVMFS ОИЯИ

Автоматическое развёртывание фреймворка VmRoot на CVMFS через GIT CI

Архитектура вычислительного ПО для VM@N



DIRAC как менеджер работ VM@N



Члены коллаборации

Игорь Пелеванюк (13²⁰)

Распределённая обработка и генерация данных экспериментов MPD и VM@N

Отправка тысяч задач в очередь работ DIRAC



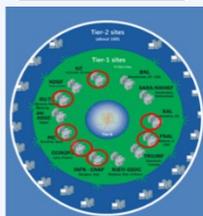
Работа



Онлайн
Кластер VM@N



Кластер NICA



Tier-1
на ЦИВК



Tier-2
на ЦИВК



Облачные
ресурсы



«Говорун»



Внешние
Коллаборанты

Тематика научных задач (часть)

- Разработка конфигурируемой системы контроля качества данных эксперимента VM@N с возможностью использования для онлайн-гистограммирования, автоматической и ручной проверки новой версии программного обеспечения
- Внедрение Каталога файлов с данными эксперимента VM@N на базе платформы RUCIO для реализации высокоинтенсивной обработки
- Создание и апробация комплексной методики оценки производительности распределенных вычислительных систем для эксперимента VM@N
- Внедрение современной системы (на веб-платформе) визуализации и мониторинга событий столкновения частиц физического эксперимента VM@N
- Разработка компонент системы метаданных событий на базе каталога физических событий эксперимента VM@N для проведения выборочного физического анализа
- Оценка эффективности применения современной NoSQL базы данных для хранения параметрических данных в базе данных состояний эксперимента VM@N
- Реализация быстрой реконструкции событий на методах машинного обучения (нейронных сетей) для онлайн обработки поступающих данных
- Разработка и внедрение специализированного формата miniDST по компактному, независимому от языка хранению данных событий эксперимента VM@N

Спасибо за внимание!

5 Стран, 13 Институтов, 209 участников

BM@N spokesperson – М. Капишин, ОИЯИ
официальный сайт BM@N: bmn.jinr.ru

software coordinator – К. Герценбергер, ОИЯИ
моя контактная почта: gertsen@jinr.ru

Коллаборация BM@N

Отличная возможность принять участие в реализации мегапроекта в Дубне (всего в 100 км от Москвы)!

Мы всегда открыты для новых идей и молодых людей!



Official BM@N Web-site at *bmn.jinr.ru*



COLLABORATION ▾ PHYSICS ▾ DETECTOR ▾ SOFTWARE ▾ COMPUTING ▾ WIKI FORUM GALLERY ▾

1st experiment of the NICA project

Official BM@N collaboration web-site

NICA web-site

BM@N Project



BmnRoot framework

BmnRoot GitLab repository



Unified Database

BM@N Offline Database



ReadMe first

BmnRoot Start Guide

- ✓ **Collaboration**
- ✓ **Information**
- ✓ **Documents**
- ✓ **Software**
- ✓ **Databases**
- ✓ **Computing Section (NICA Cluster, MICC Complex, HybriLIT & Govorun)**
- ✓ **Guides, Manuals**
- ✓ **Wiki**
- ✓ **Forum**
- ✓ **Gallery**
- ✓ **News**
- ✓ **BM@N Mail-lists**
- ✓ **etc.**

Global Development Issues

Distributed and High-Performance Computing

Workload Manager and File Catalogue for Big Data: DIRAC, PanDA, RUCIO...
Using Docker technologies to organize and support data processing
Implementing Workflow Service | Computing Performance Evaluation
Search-Profiling-Parallelizing | NICA-Scheduler evolution

Visualization

Modern Event Display as a Web-service: Offline & Online systems
Training course for the BM@N event display

Databases, User Interfaces and Services

Developing components of the Event Metadata System
Implementing REST API, new database features on C++ and ROOT 6
Database migration from SQL → NoSQL

Web-services & Online Systems

Developing Data Quality Assurance for online and offline mode
Collaborative tools: Project Management System, Gallery, DocDB
Redesigning Web-services...

Simulation and Reconstruction

Implementation of Fast Event Reconstruction based on ML or NN
Development of a miniDST format and data generation
Automatic alignment of the BM@N detectors...