

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт
ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН)

Разработка и создание магнитного нейтринного детектора Baby MIND

01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики

Автор:

А.В. Мефодьев

Научный руководитель:

д.ф.-м.н., профессор Ю.Г. Куденко

Структура доклада

- Конструкция детектора Baby MIND
- Тестирование детектора Baby MIND в ЦЕРНе
- Baby MIND на нейтринном канале T2K

Личный вклад автора

- Участвовал в разработке и создании сцинтилляционных счетчиков на всех этапах изготовления детектора Baby MIND.
- Принимал участие в разработке конструкции детектора Baby MIND.
- Проводились измерения параметров сцинтилляционных счетчиков, таких как световой выход, временное разрешение и эффективность регистрации на пучке заряженных частиц в ЦЕРНе.
- Участвовал на всех этапах разработки электроники детектора, участвовал в проведении тестов на пучке заряженных частиц в ЦЕРНе. А так же участвовал на всех этапах сборки, настройки, установки и запуска детектора Baby MIND.
- Разработал программный комплекс для перевода бинарных данных с FEBs в root файлы и разработал программный комплекс для калибровки SiPM, установленных в детектор. Разработал программный комплекс для квалификации собранных данных.
- Принимал активное участие в тестировании собранного детектора Baby MIND на пучке заряженных частиц в ЦЕРНе.
- Разработал программу для визуализации событий происходящих в детекторе и участвовал в разработке кода для реконструкция событий в детекторе Baby MIND.
- Участвовал в установке и запуске детектора в работу на нейтринном канале T2K.
- Участвовал в проведении технического и физического сеанса, и разработке программного кода для восстановления нейтринных события в детекторе Baby MIND.

Список конференций

Результаты работы были представлены лично автором на 12 конференциях.
Перечень основных докладов:

- *Mefodiev A., Baby MIND: last results from T9 beam line at CERN, The 3rd international conference on particle physics and astrophysics (ICPPA-2017), 2 – 5 October 2017, Moscow, Russia.*
- *Mefodiev A., Status of the magnetized neutrino detector Baby-MIND, The 2nd International Conference on Particle Physics and Astrophysics, 10 – 14 of October, 2016, Moscow, Russia.*
- *Медодьев А.В., Developing of the segmented neutrino detector Baby-MIND, The International Conference "Instrumentation for Colliding Beam Physics" (INSTR-17), 27 February – 3 March 2017 года, Novosibirsk, Russia.*
- *Медодьев А.В., Нейтринный детектор Baby-MIND, Международная Сессия-конференция Секции ядерной физики ОФН РАН, 12 – 15 апреля, 2016, ОИЯИ г. Дубна.*
- *A. Mefodiev, . . . et al. The design, construction and testing of TASD (Totally Active Scintillator Detector). PhotoDet 2015, July 6 – 9, 2015, Moscow, Russia.*

Список публикаций

Результаты работы опубликованы в 16 статьях и трудах конференций в реферируемых журналах.

Перечень основных публикаций:

- *Abe, K. , ... Mefodiev A., ..., et al. Measurements of $\bar{\nu}_\mu$ and $\bar{\nu}_\mu + \nu_\mu$ charged-current cross-sections without detected pions nor protons on water and hydrocarbon at mean antineutrino energy of 0.86 GeV. **PTEP**, vol. 2021 (2021), 043C01.*
- *Мифодьев А., Куденко Ю. Разработка Прототипа T ASD (Totally Active Scintillator Detector). **Ядерная физика и инжиниринг**, том 5 (2014), номер 11-12, 924--930.*
- *Blondel A., ..., Mefodev A., ..., et al. Study of timing characteristics of a 3 m long plastic scintillator counter using waveform digitizers. **Nucl. Instrum. Meth. A** vol. 877 (2018), pages 9 -- 15.*
- *Antonova M., ... Mefodiev A., ..., et al. Baby MIND: A Magnetized Segmented Neutrino Detector for the WAGASCI Experiment . **JINST 12** (2017) 07, C07028.*
- *Baldini W., ... Mefodiev A., ..., et al. Measurement of parameters of scintillating bars with wavelength-shifting fibres and silicon photomultiplier readout for the SHiP Muon Detector. **JINST 12** (2017) 03, P03005.*

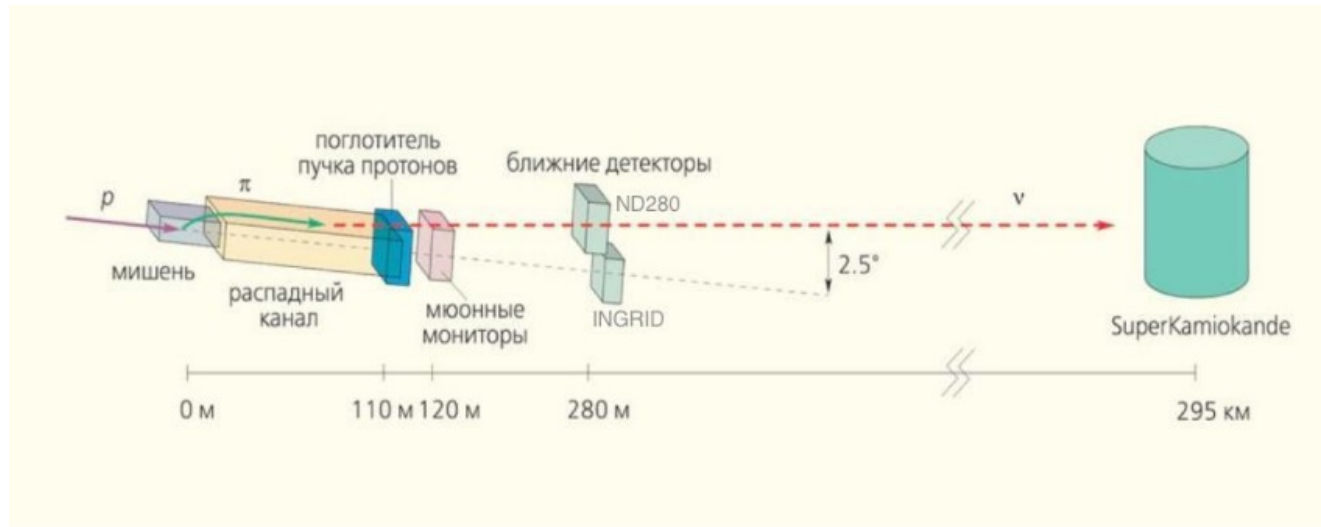
Список публикаций

- Лихачева В.Л., ..., Мefодьев А.В., ..., и другие. Исследование параметров мюонного детектора SHIP на пучке в ЦЕРН. [Письма в ЭЧАЯ](#), том 49 (2018), выпуск 16 67--69.
- Мefодьев А.В., Куденко Ю.Г., Минеев О.В., Хотянцев А.Н. Нейтринный детектор Baby-MIND. [Письма в ЭЧАЯ](#), том 48 (2017), выпуск 6, 1002--1004.
- Овсянникова Т., ..., Мefодьев А., ..., и другие. Эксперимент WAGASCI по измерению сечений взаимодействия нейтрино на воде и углеводороде на нейтринном пучке ускорителя J-PARC. [Письма в ЭЧАЯ](#), том 48 (2017), выпуск 6, 1014--1017.
- Chikuma N., ... Mefodiev A., ..., et al. Development of electronics and data acquisition system for the J-PARC T59 (WAGASCI) experiment. [PoS](#), vol. EPS-HEP2017(2017), 780.
- Antonova M., ... Mefodiev A., ..., et al. The Baby MIND spectrometer for the J-PARC T59(WAGASCI) experiment. [PoS](#) EPS-HEP2017 (2017) 508, EPS-HEP 2017, 508.
- Ovsianikova T., ... Mefodiev A., ..., et al. The new experiment WAGASCI for water to hydrocarbon neutrino cross section measurement using the J-PARC beam. [J.Phys.Conf.Ser.](#) 675 (2016) 1, 012030.
- Noah E., ... Mefodiev A., ..., et al. Readout scheme for the Baby-MIND detector. [PoS](#) PhotoDet2015 (2016) 031.
- Mefodiev A., ..., et al. The design, construction and testing of T ASD (Totally Active Scintillator Detector). [PoS](#) PhotoDet2015 (2016) 067.
- Fuminao H., ... Mefodiev A., ..., et al. Performance test of new MPPC for a new neutrino detector WAGASCI. [PoS](#) PhotoDet2015 (2016) 046.
- Blondel A., ... Mefodiev A., ..., et al. The WAGASCI experiment at JPARC to measure neutrino cross-sections on water. [PoS](#) EPS-HEP2015 (2015) 292.

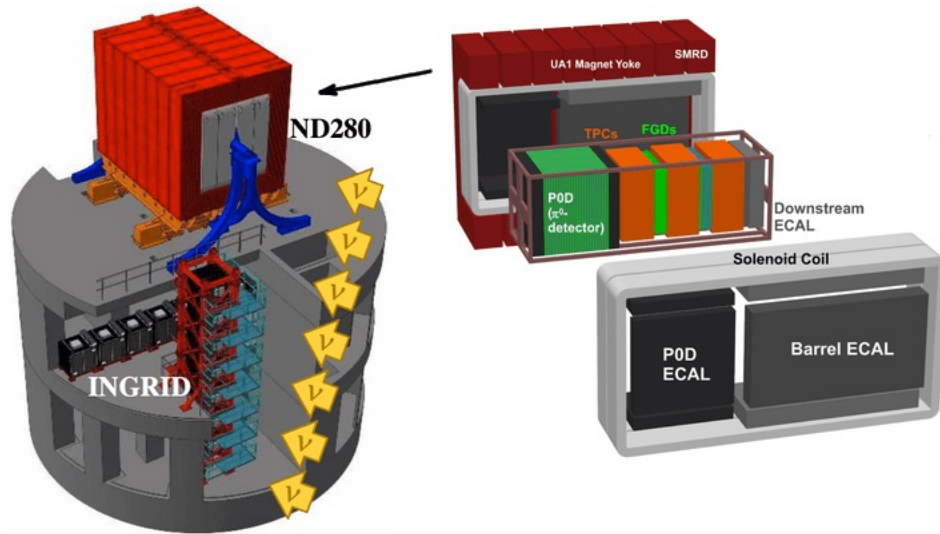
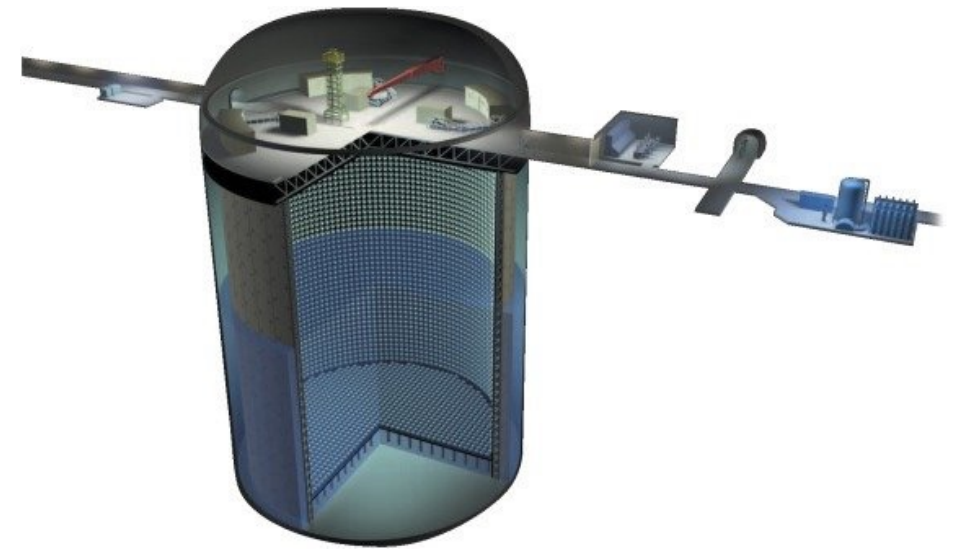
Положения выносимые на защиту

- Разработан, создан и запущен в работу детектор Baby MIND, который предназначен для использования совместно с мишенью WAGASCI. Baby MIND измеряет энергию и заряд регистрируемых мюонов, образованных от взаимодействия нейтрино с пластиком (CH) и водой (H_2O).
- Проведено тестирование составных элементов и детектора Baby MIND в полном объеме на пучке заряженных частиц в ЦЕРНе. Получены параметры светового выхода сцинтилляционных счетчиков, временное разрешение, эффективность регистрации, а также произведено восстановление зарядов зарегистрированных частиц.
- Разработаны алгоритмы калибровки кремневых фотоумножителей и электроники детектора Baby MIND. Созданы алгоритмы восстановления амплитуды из времени сигнала над порогом регистрации. Ошибка восстановления амплитуды сигнала из времени над порогом составила 6.7% для канала сильного усиления и 3.6% для канала слабого усиления.
- Разработана система сбора, включающая в себя DAQ сервер, клиент, MIDAS север, плату временной синхронизации и 46 печатных плат Baby MIND FEB. Конфигурация системы сбора банных показала эффективность сбора статистики 97.4% в ходе первого физического сеанса. Проведена синхронизация детектора Baby MIND с нейтринным пучком T2K, мишенью WAGASCI, протонным модулем и WallMRDs. Разработаны алгоритмы квалификации собранных данных.
- Разработан и протестирован алгоритм восстановления треков заряженных частиц и алгоритм восстановления импульсов мюонов, образованных от взаимодействия нейтрино с пластиком (CH) и водой (H_2O) в мишени WAGASCI.
- Измерен спектр мюоннов, образованных от CCQE взаимодействиях нейтрино, на основе данных, накопленных за технический и первый физический сеанс на нейтринном пучке T2K. Диапазон измеренных импульсов составил 350 - 1600 МэВ/с с пиком в 500 МэВ/с. Полученный спектр согласуется с результатами полученными методом Монте-Карло.

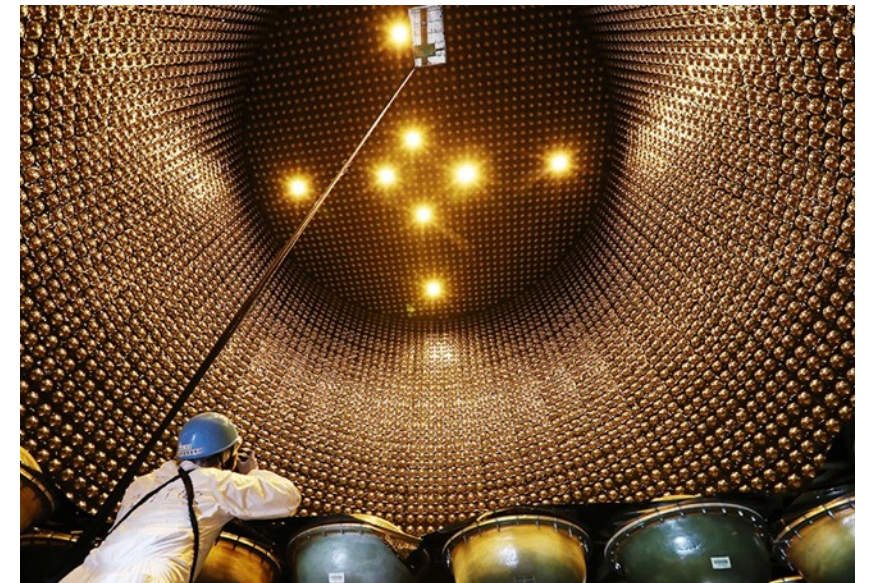
Эксперимент T2K



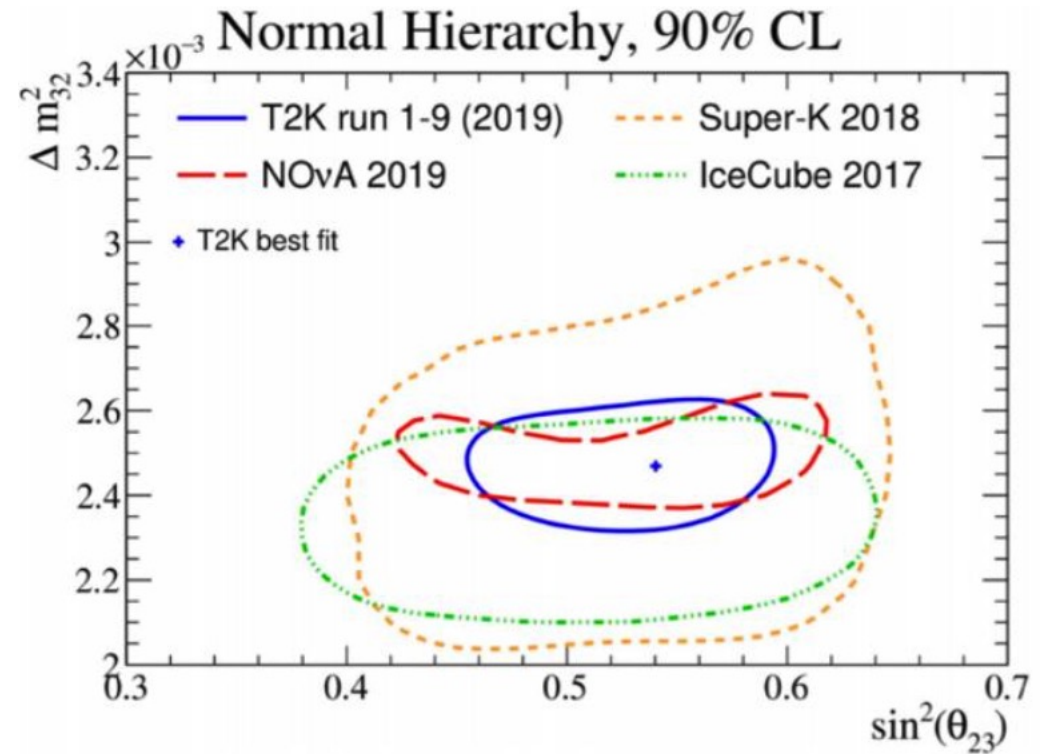
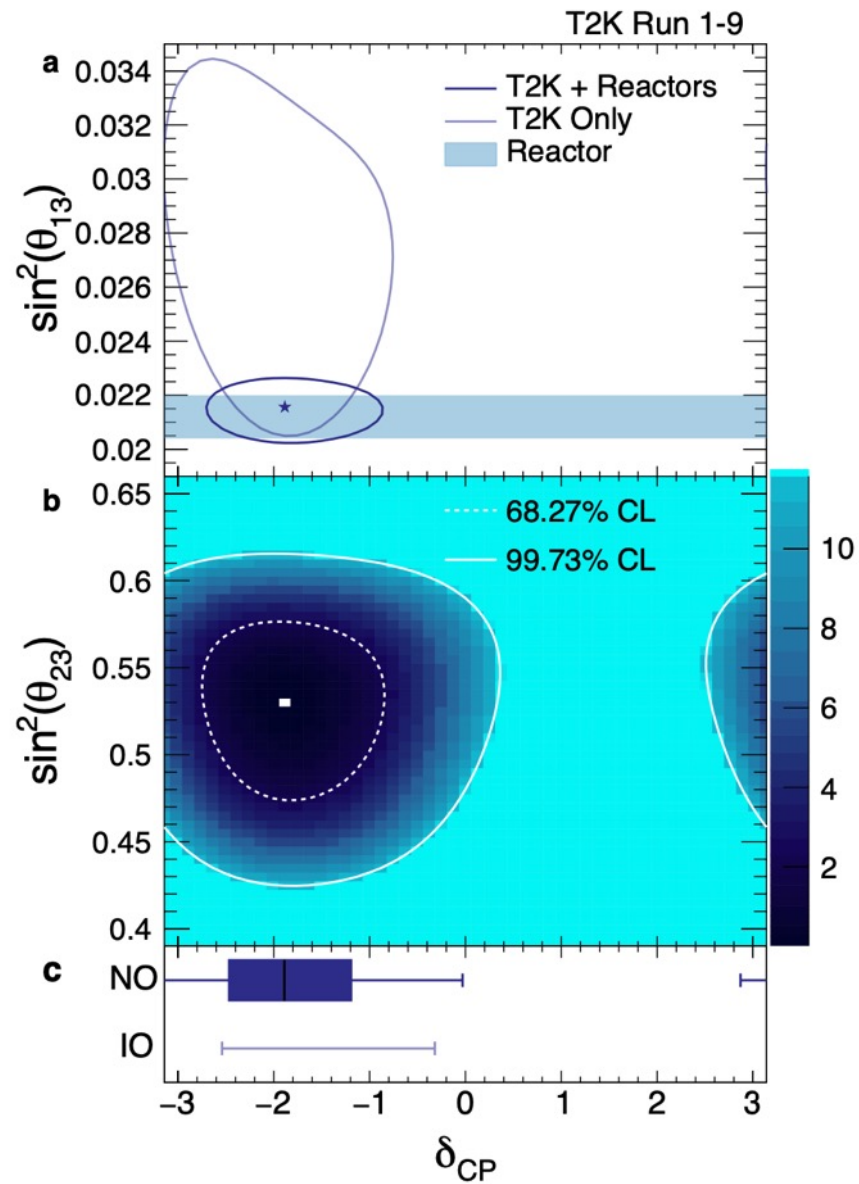
Super-Kamiokande



ND280, INGRID

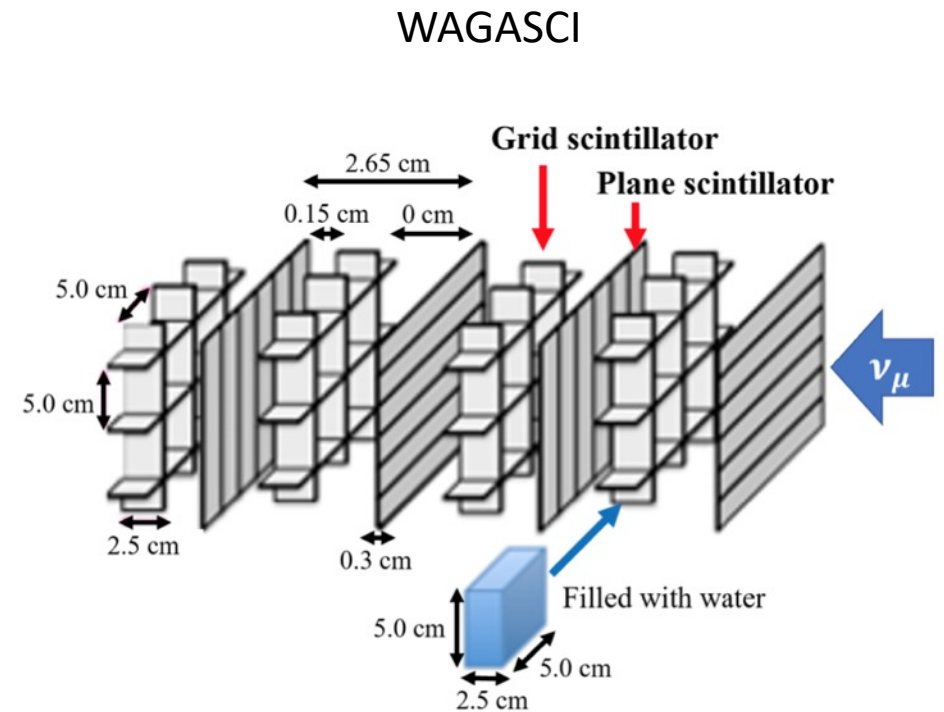


Результаты T2K



Систематическая ошибка

Систематические погрешности, [%]	ν_μ	ν_e
Поток	2.7	3.2
Зависимость от состава мишени	5.0	4.7
Систематическая ошибка Super-Kamiokande	4.0	2.7
Ядерные процессы	3.0	2.5
Общая	7.7	6.8



Ближний детектор ND280 позволил уменьшить систематическую ошибку с 12,0% до 7.7% и с 11,9 % до 6.8% соответственно в каналах $\nu_\mu \rightarrow \nu_\mu$ и $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$. Однако, дальнейшее уменьшение систематической неопределенности ограничено из-за особенностей детекторов:

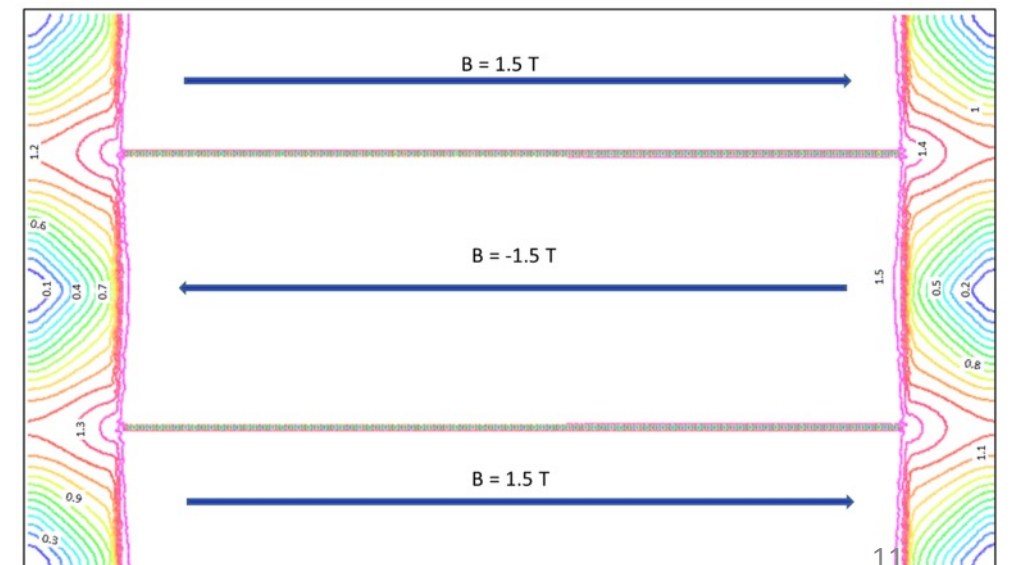
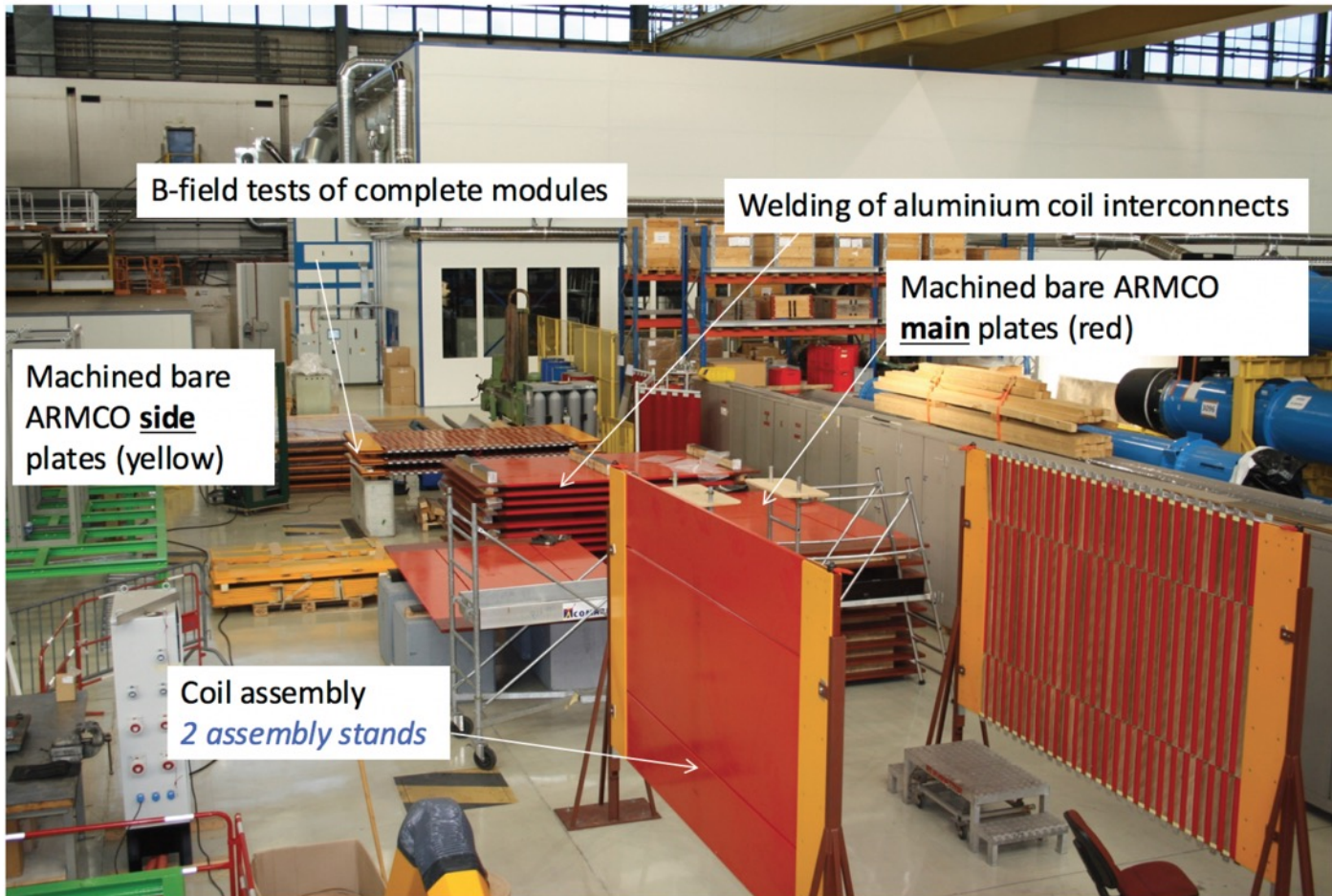
1. различия в активной части детектора между ND280 (80% C_8H_8 + 20% H_2O) и SK(H_2O). Что приводит к необходимости учета в различиях нейтринных сечений между C_8H_8 и H_2O .
2. различия в угловом акцептансе ND280 (в основном вперед) и Super-K (4π).
3. различия в спектре нейтрино в ближнем и дальнем детекторе.

Основной целью использования мишень-детектора WAGASCI является:

- измерение отношения сечения взаимодействия нейтрино через заряженные токи между водой и сцинтиллятором с точностью 3%
- измерение различных каналов взаимодействия нейтрино через заряженные токи с высокой точностью и большим угловым акцептансом.

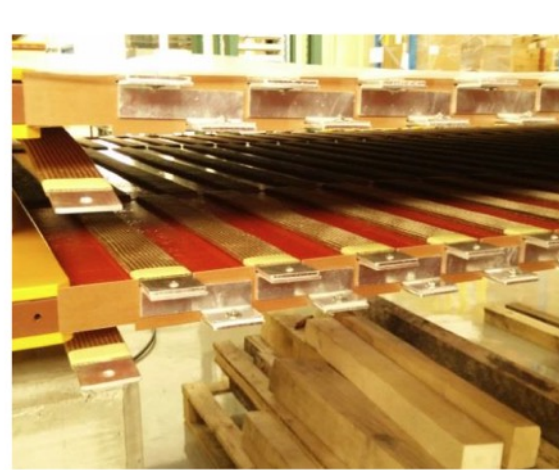
Конструкция детектора Baby MIND

Магнитные модули



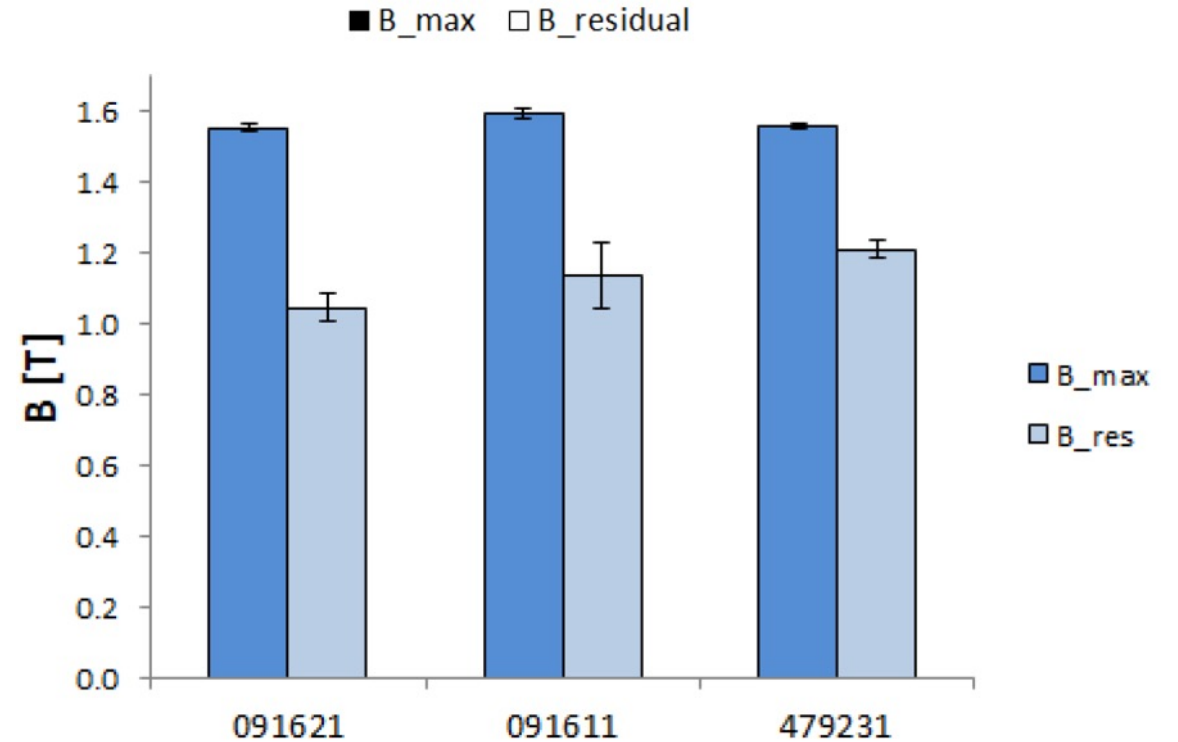
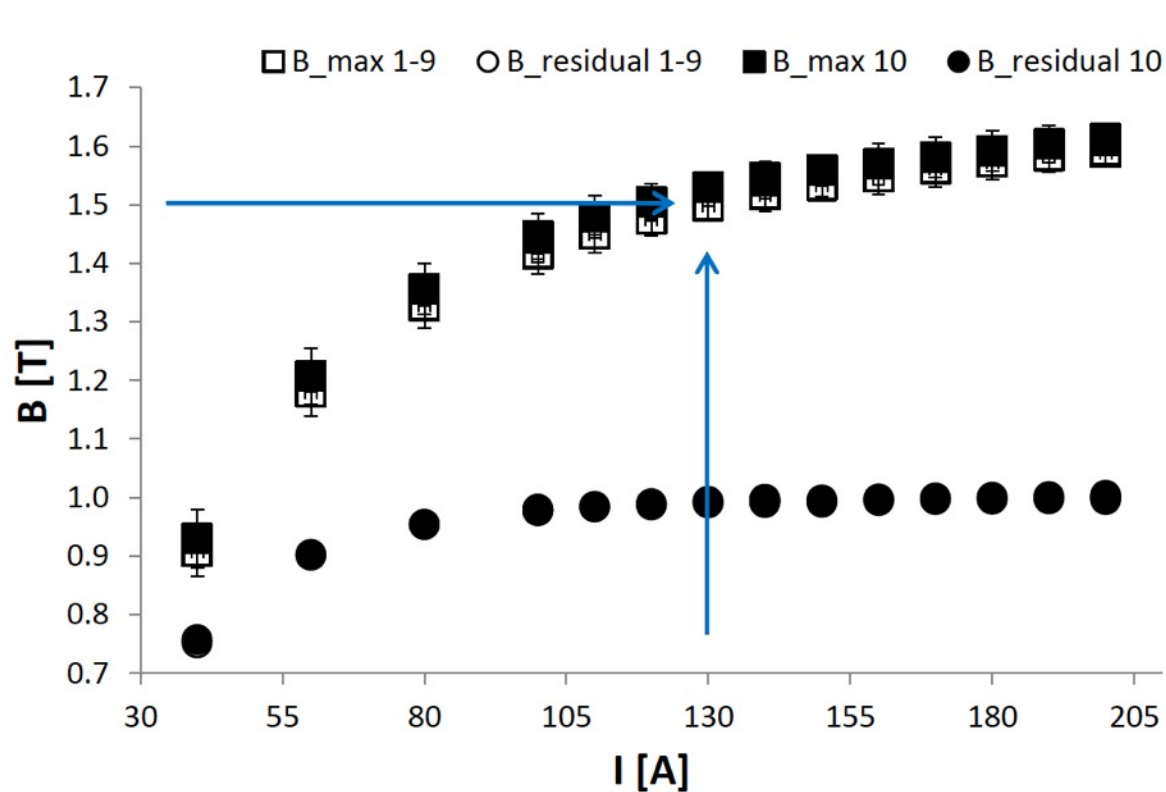
Магнитные модули

Процедура сборки



Магнитные модули

Результаты тестирования магнитных модулей

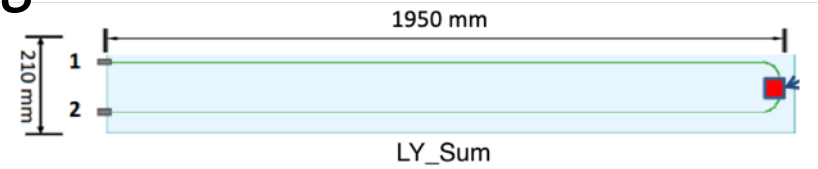
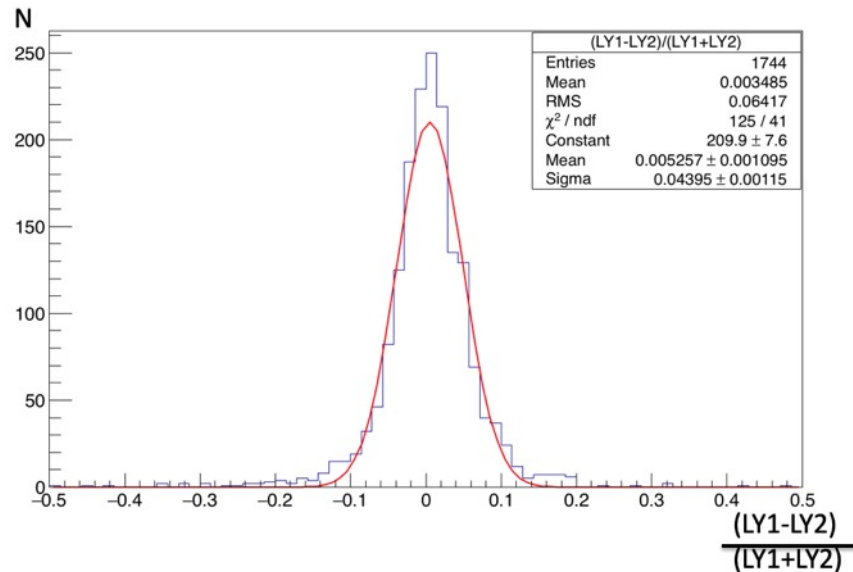
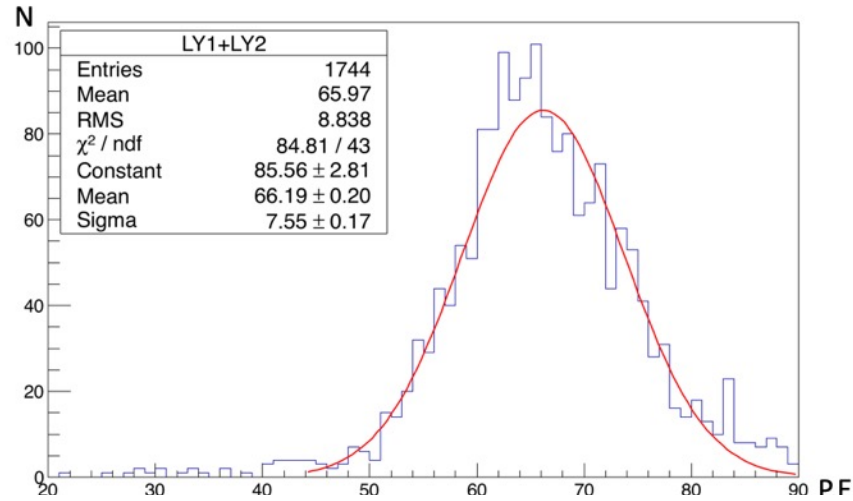


Сцинтилляционные счетчики

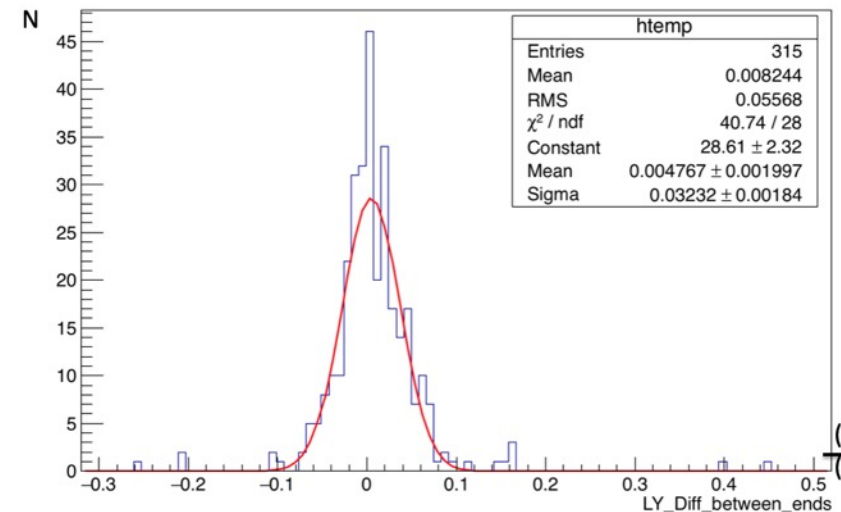
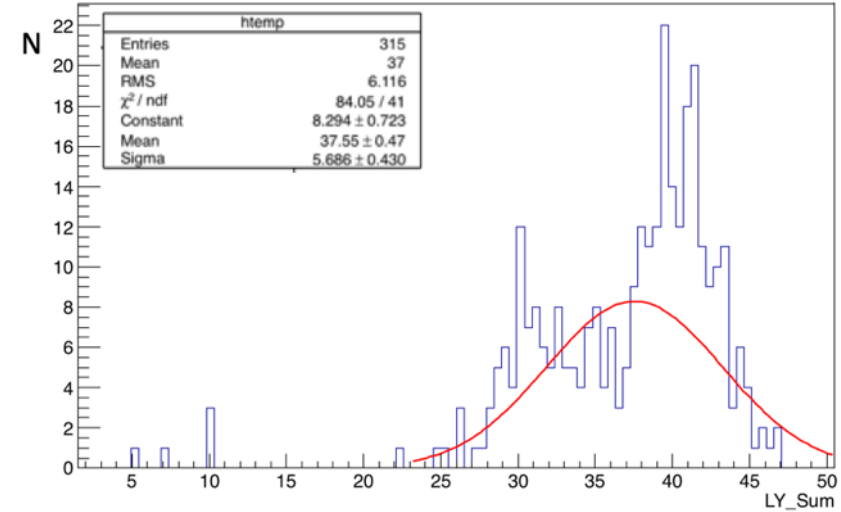
Результаты тестирования счетчиков



LY summ

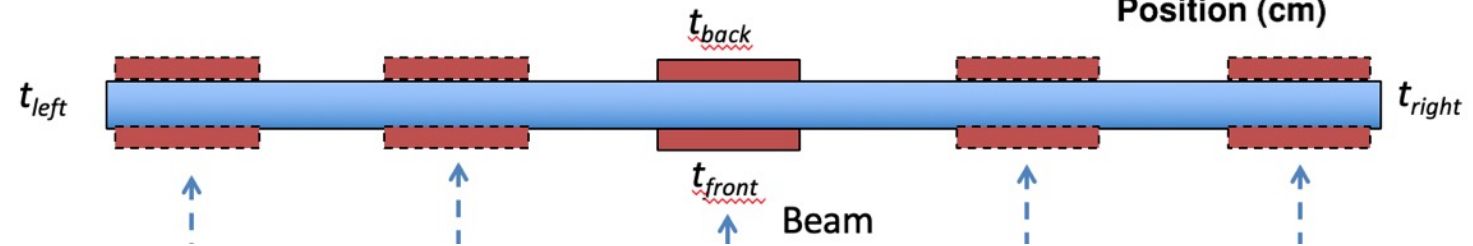
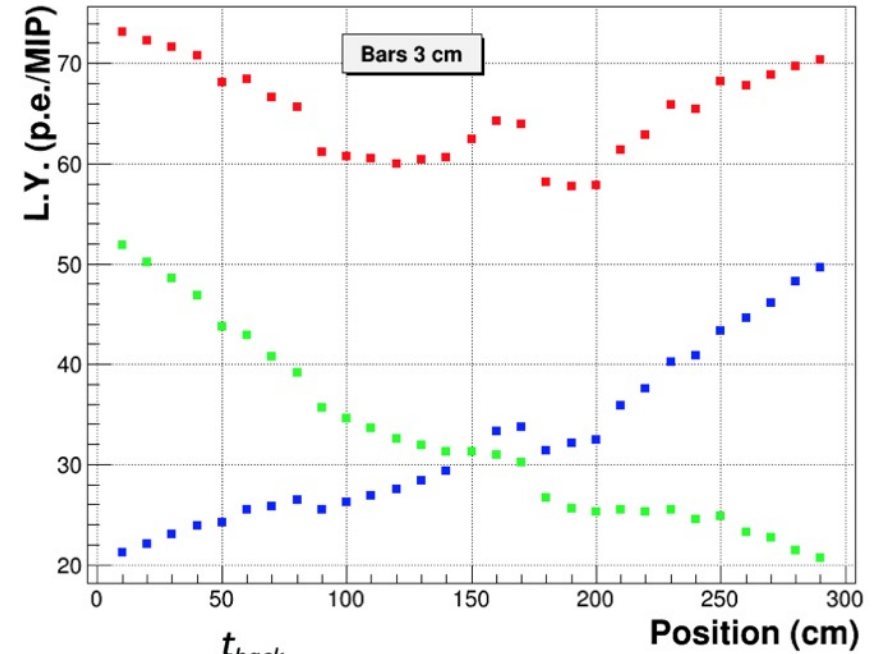
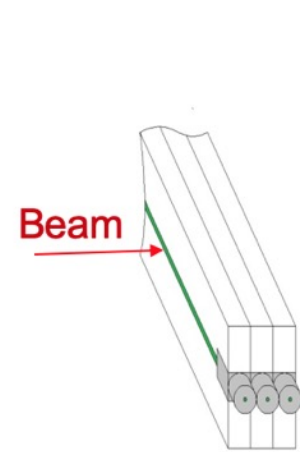
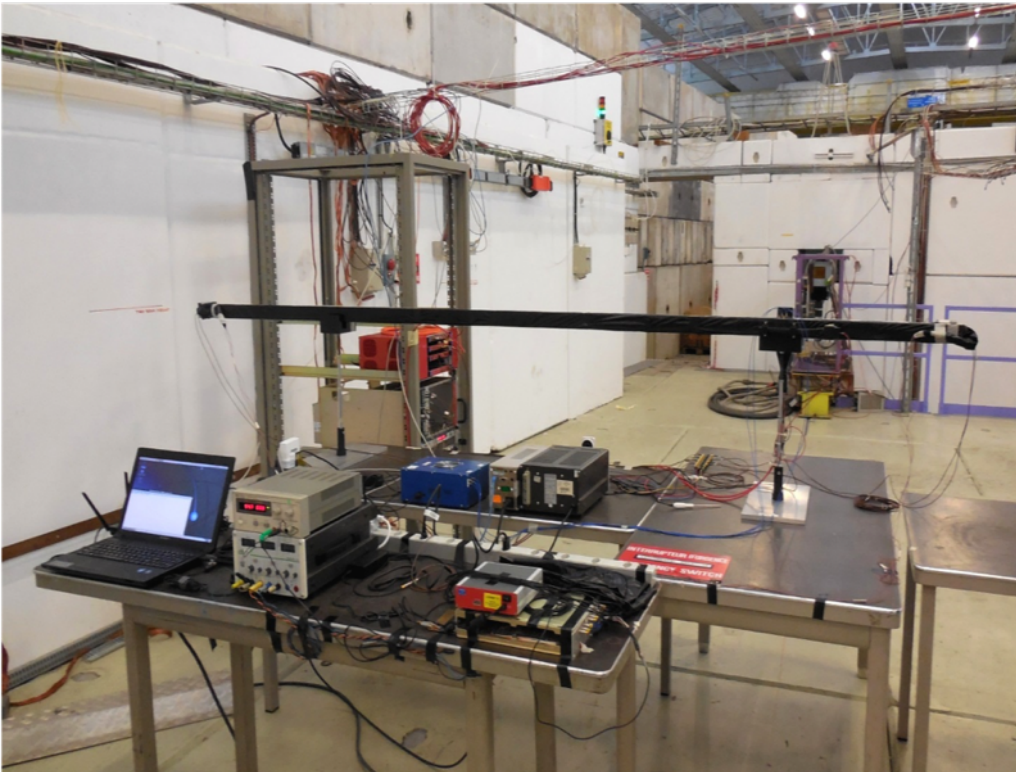


LY_Sum



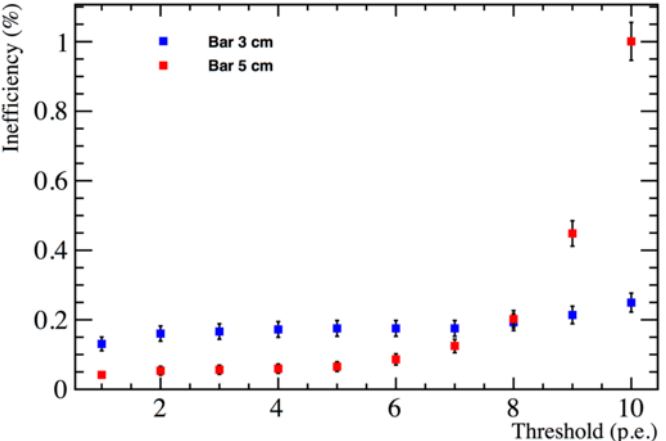
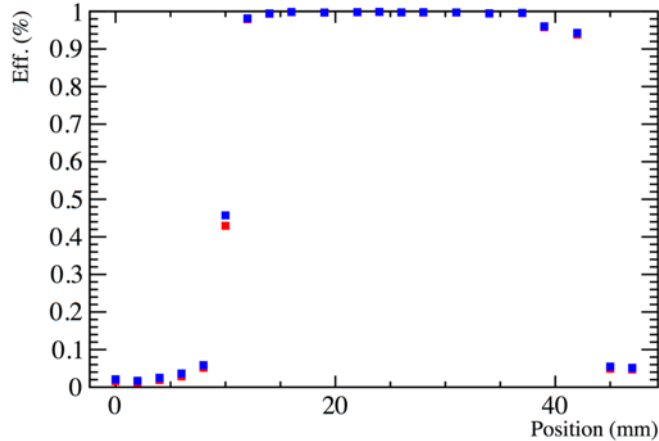
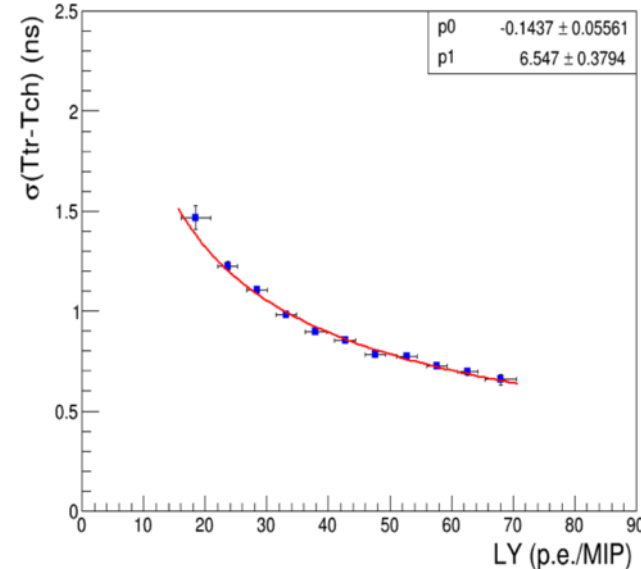
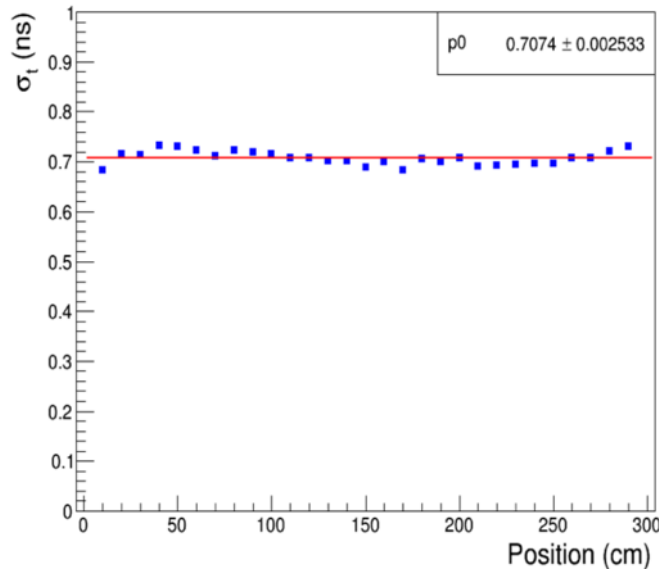
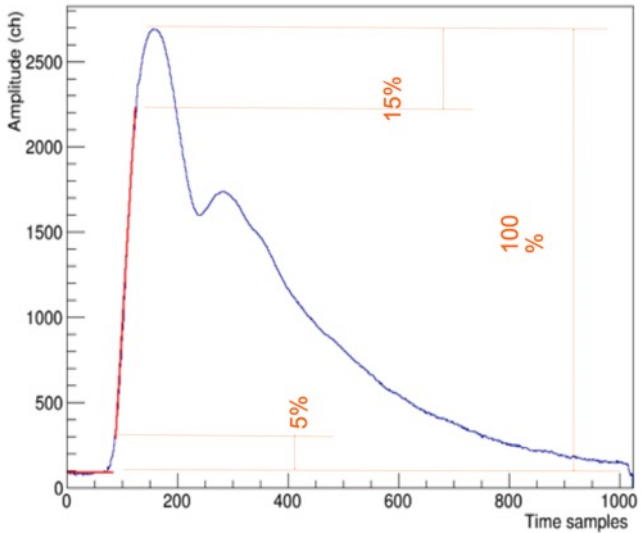
Сцинтилляционные счетчики

Результаты тестирования горизонтальных сцинтилляционных счетчиков на пучке заряженных частиц в ЦЕРНе



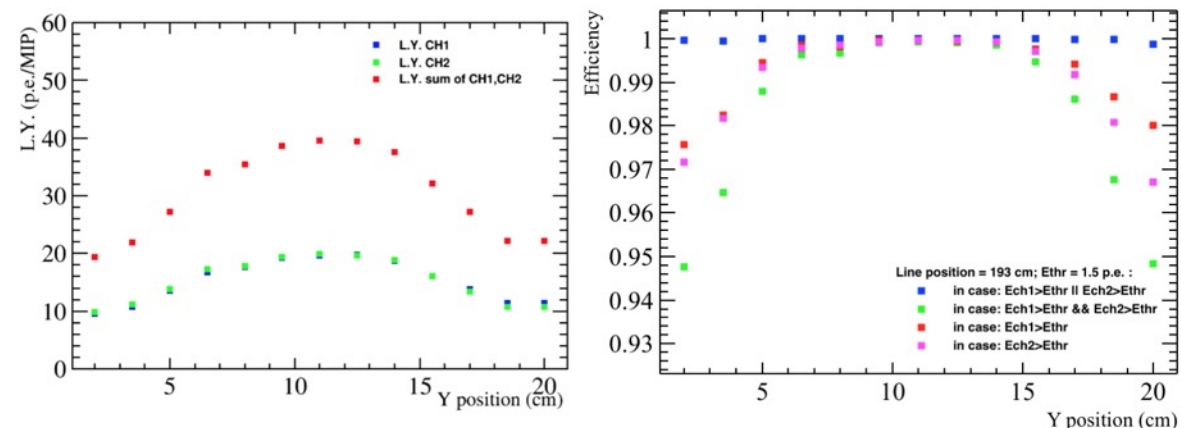
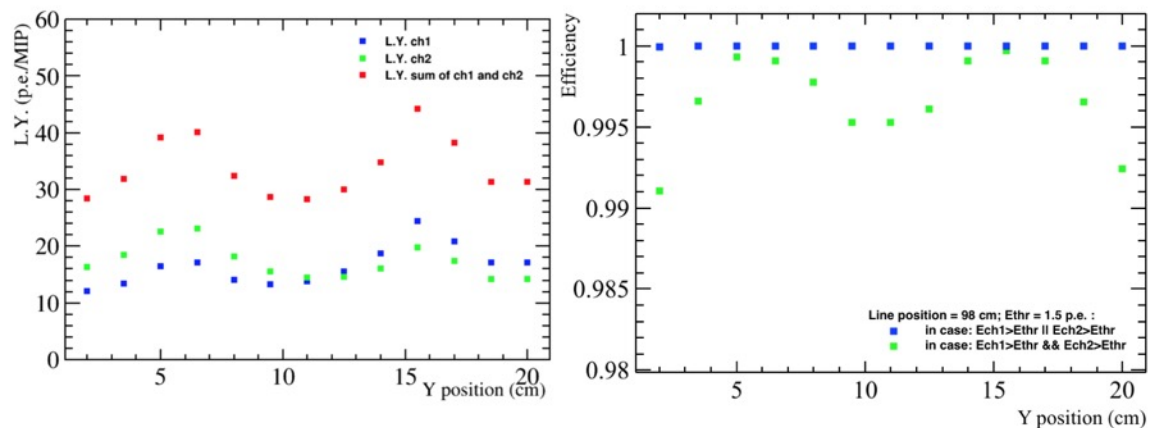
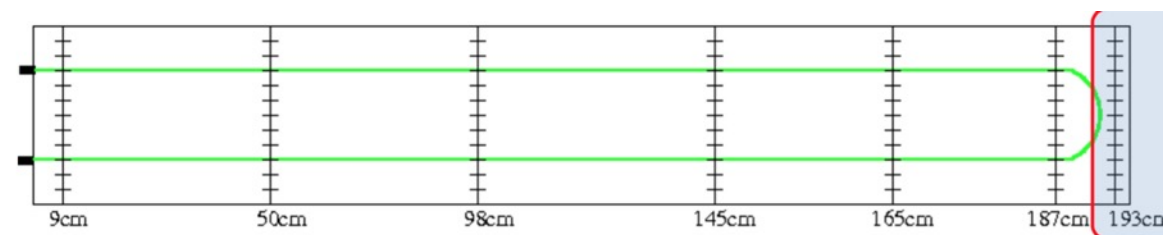
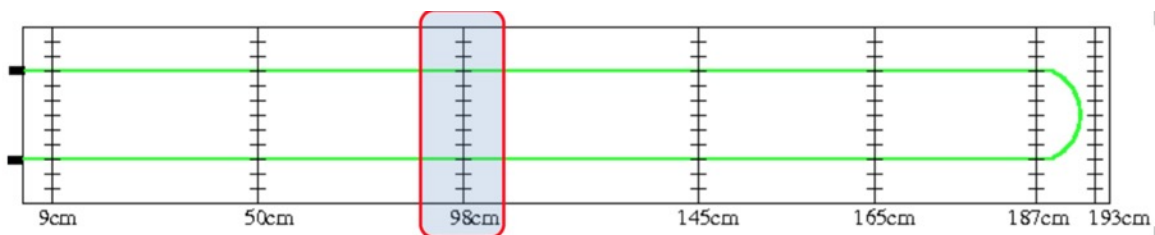
Сцинтилляционные счетчики

Результаты тестирования горизонтальных сцинтилляционных счетчиков на пучке заряженных частиц в ЦЕРНе



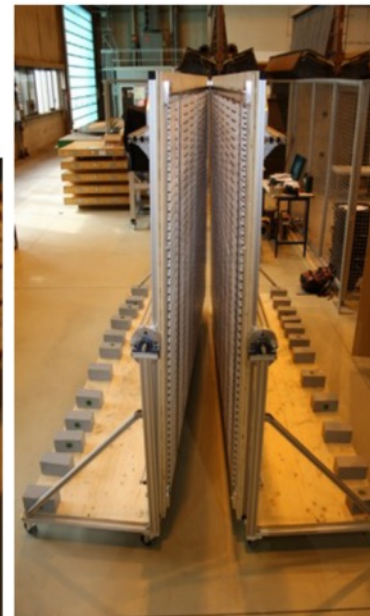
Сцинтилляционные счетчики

Результаты тестирования вертикальных сцинтилляционных счетчиков на пучке заряженных частиц в ЦЕРНе



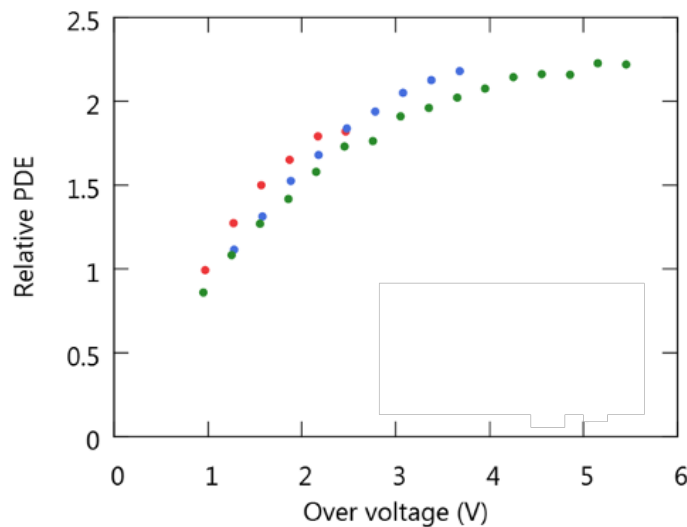
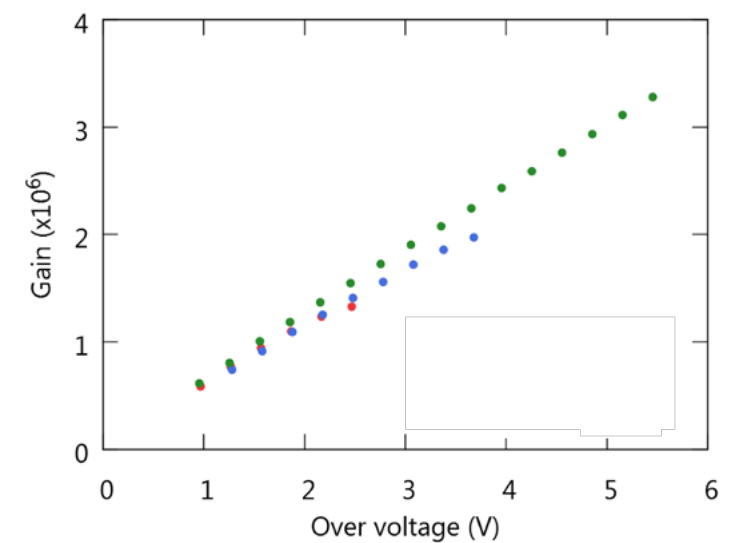
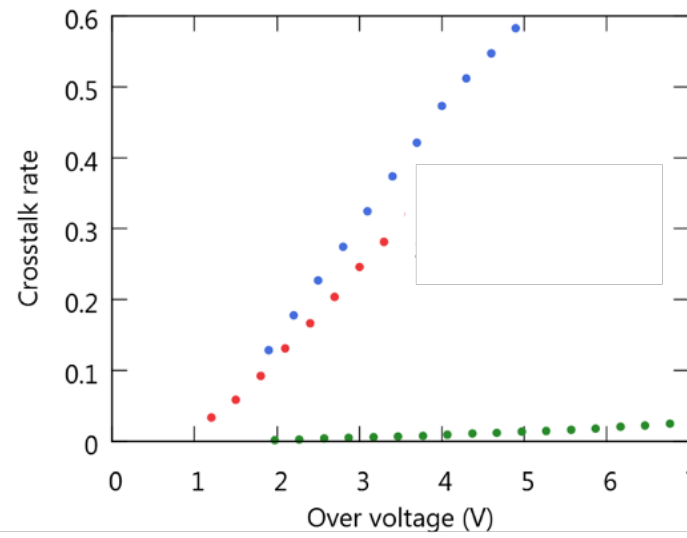
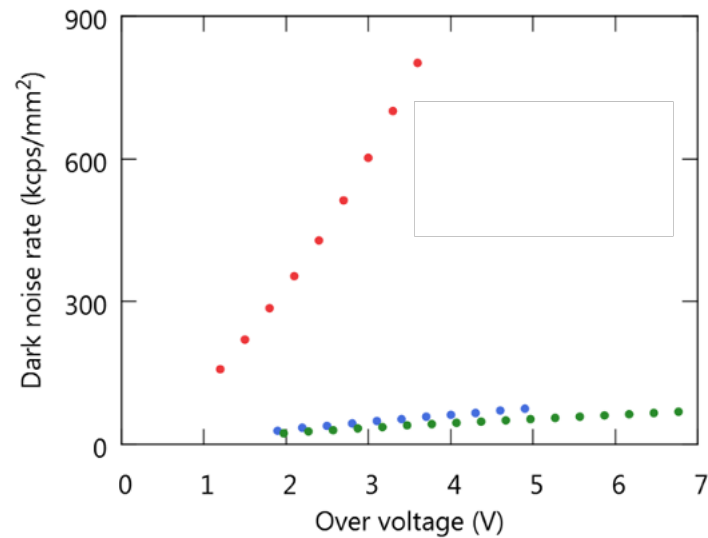
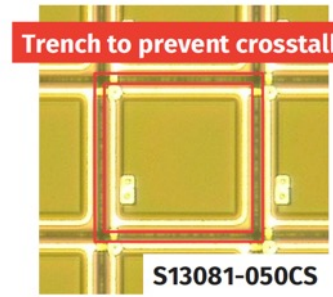
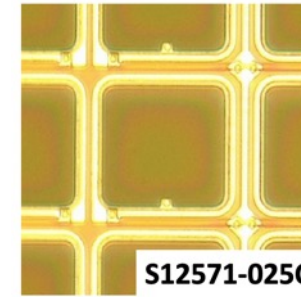
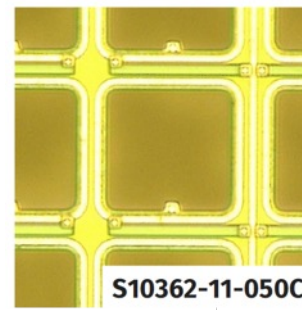
Сцинтилляционные модули

Этапы сборки сцинтилляционных модулей



Hamamatsu MPPCs

Выбор кремневых фотоумножителей

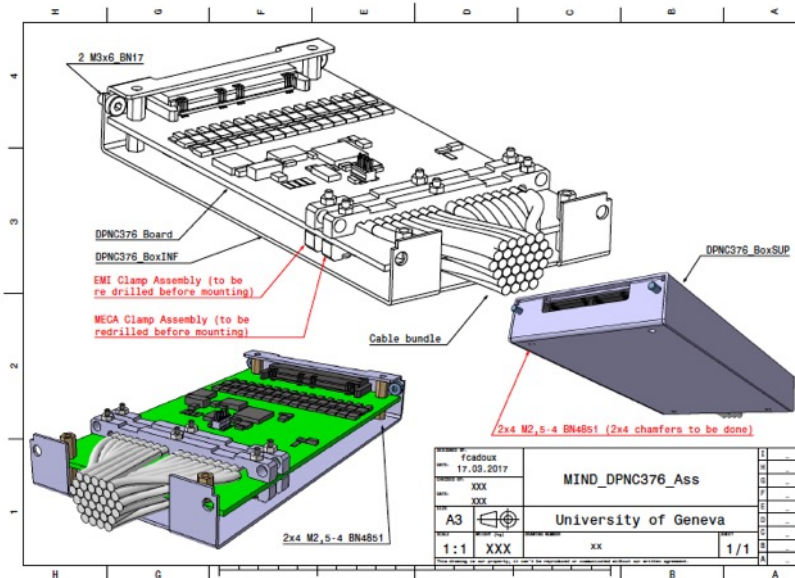
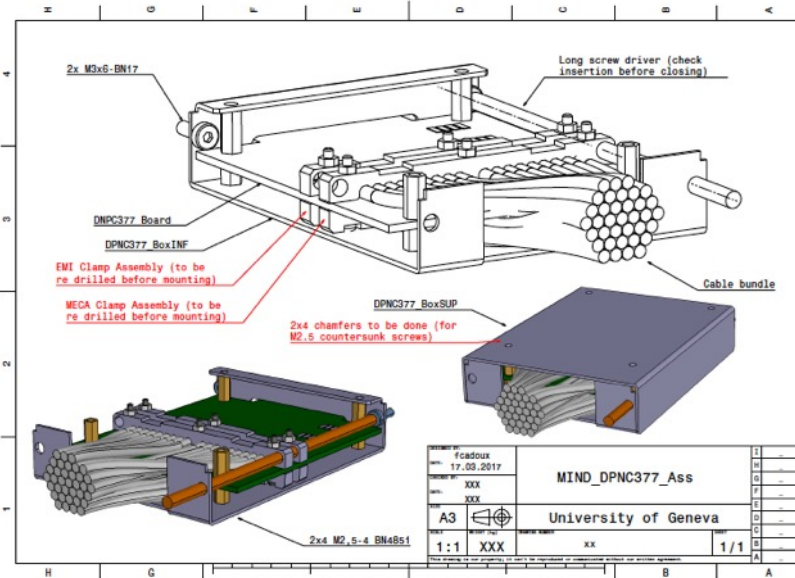
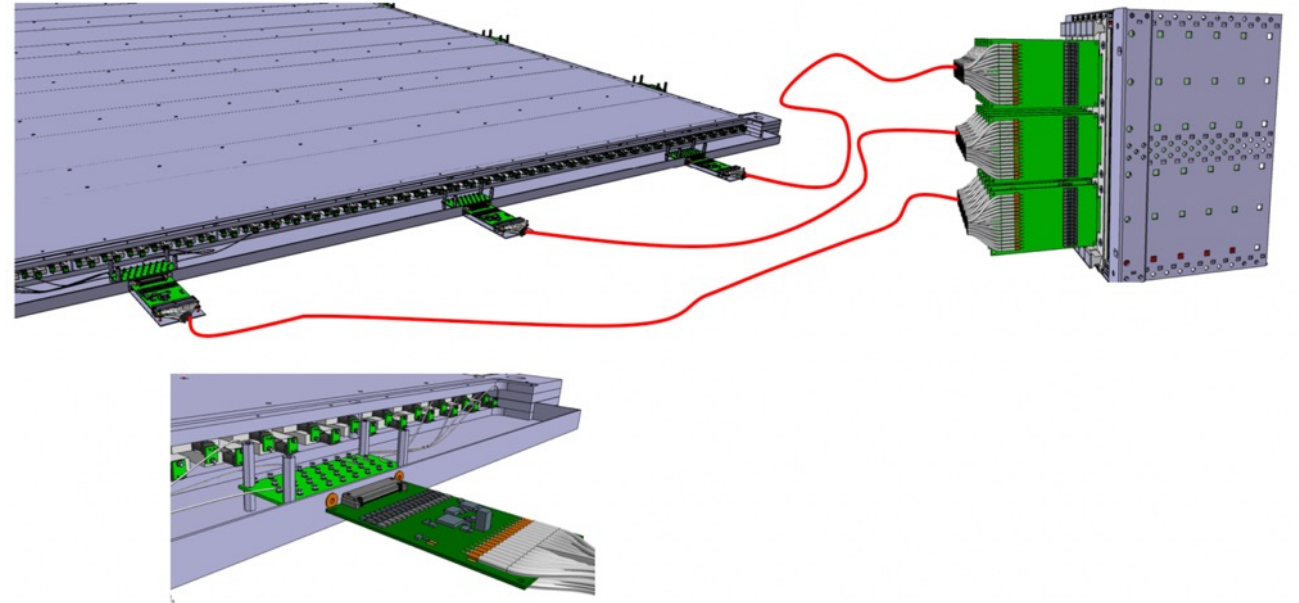


S10362-11-050C ●
S12571-025C ●
S13081-050CS(X1) ●

	S10362-050C	S12571-025C	S13081-050CS
V	67	60	57
Active area, [mm ²]	1.3x1.3	1x1	1.3x1.3
Pixels size, [um]	50	25	50
Dark noise, [kHz]	400	100	100
Crosstalk	0.1	0.1	0.01

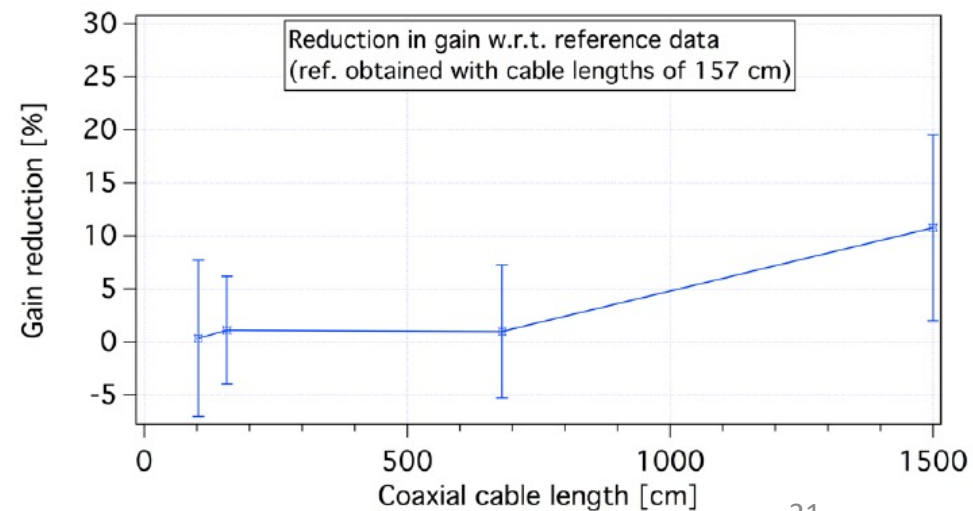
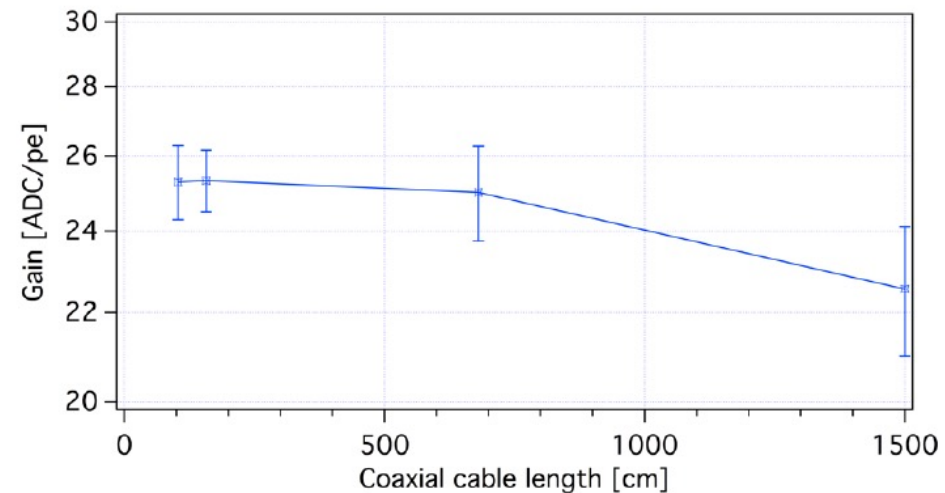
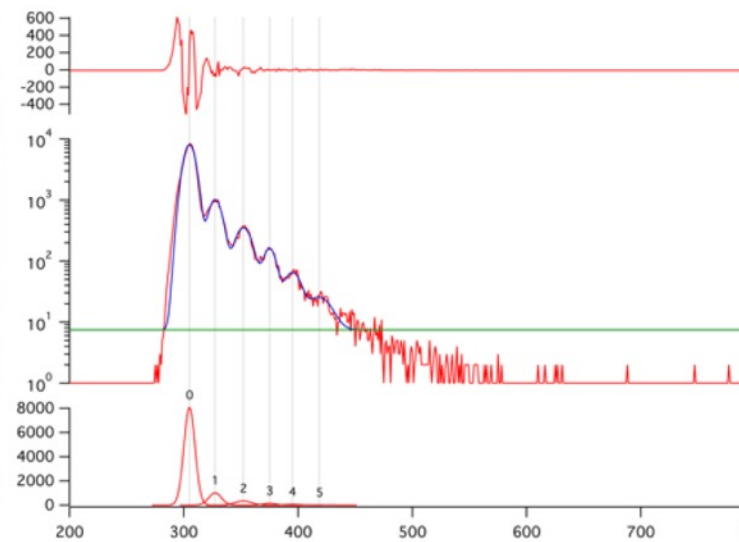
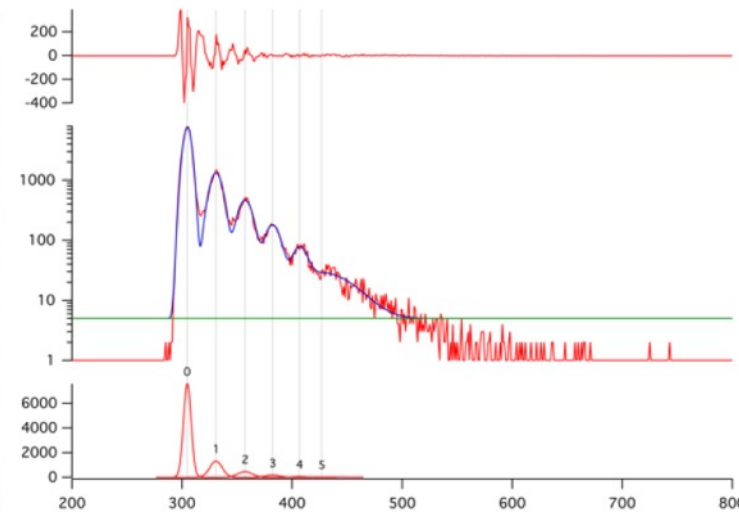
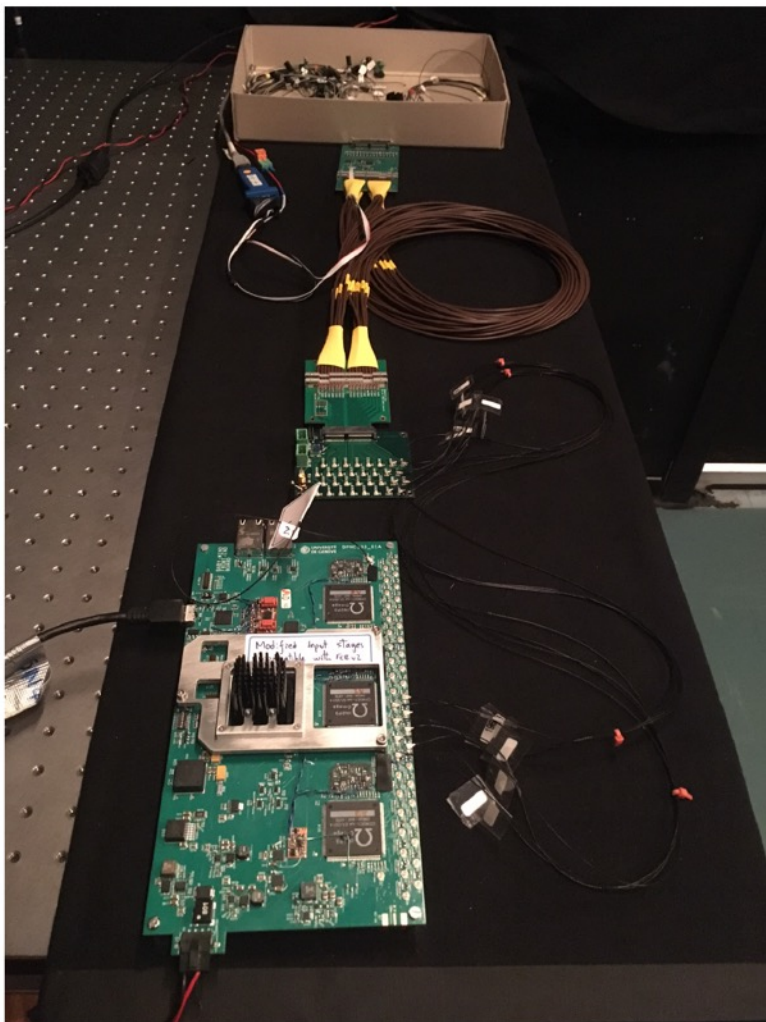
Дизайн кабелей

Разработка дизайна кабелей



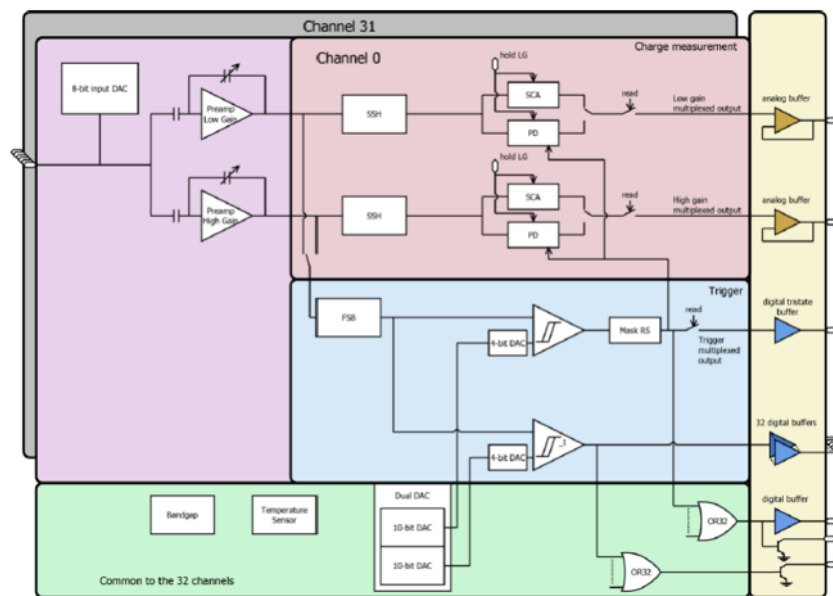
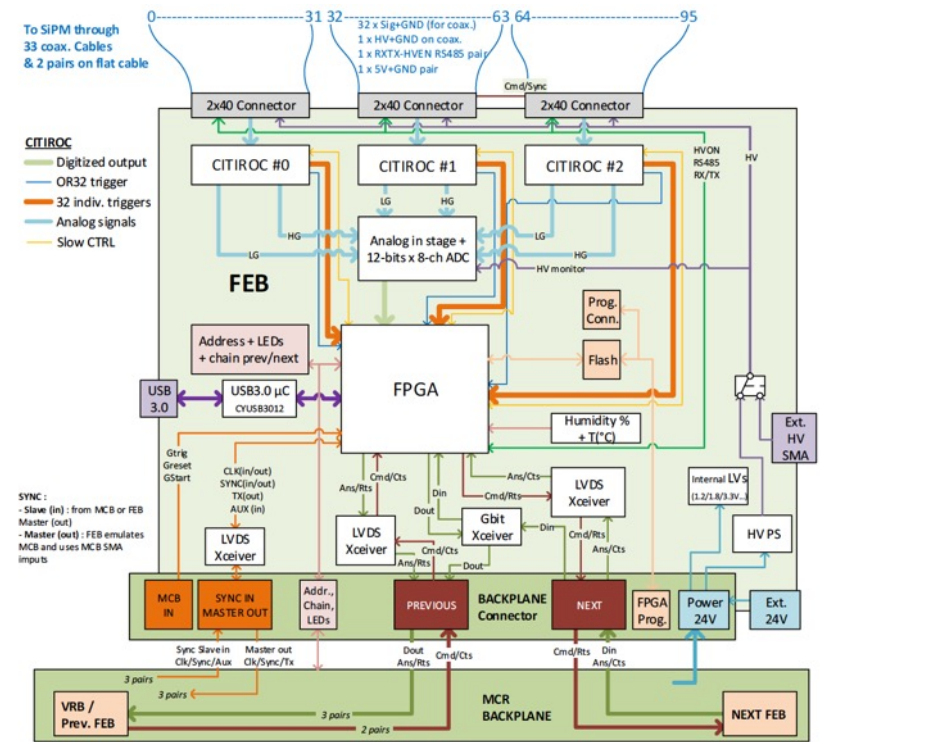
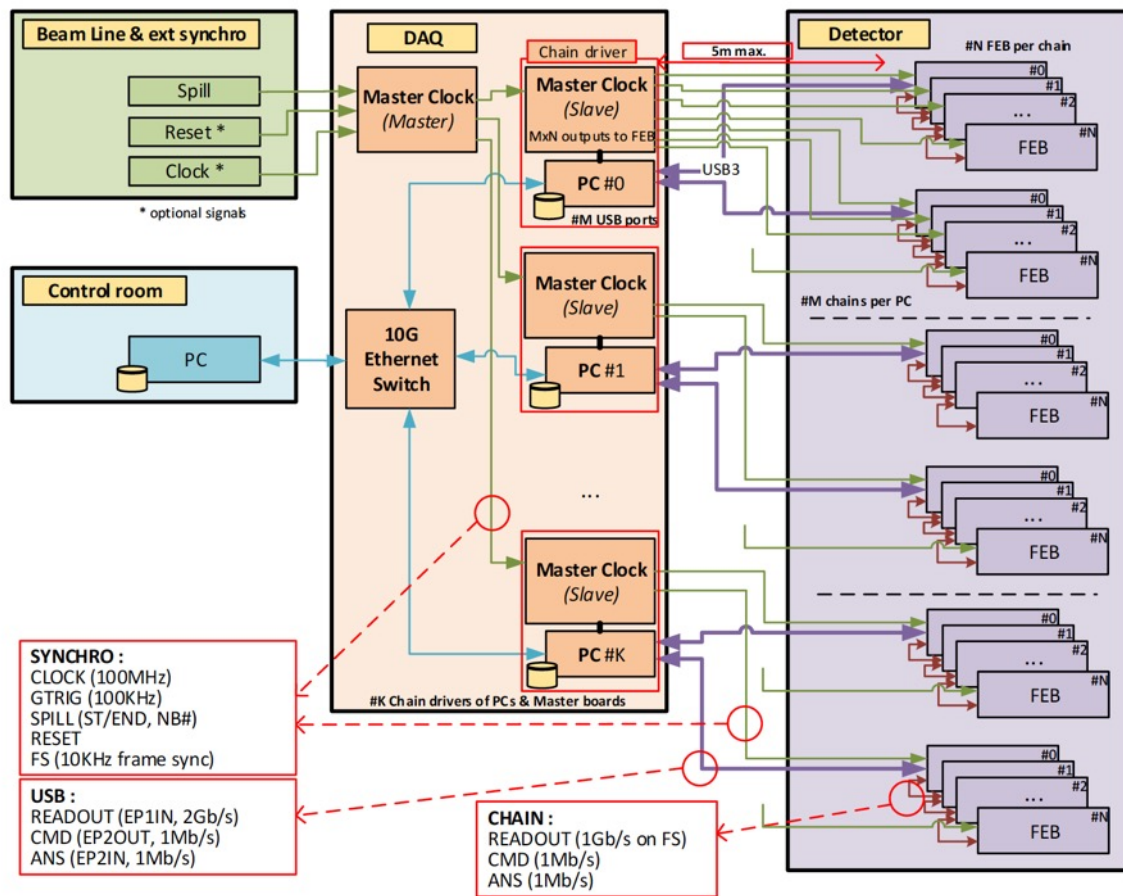
Дизайн кабелей

Тестирование прототипов кабелей



Система сбора данных

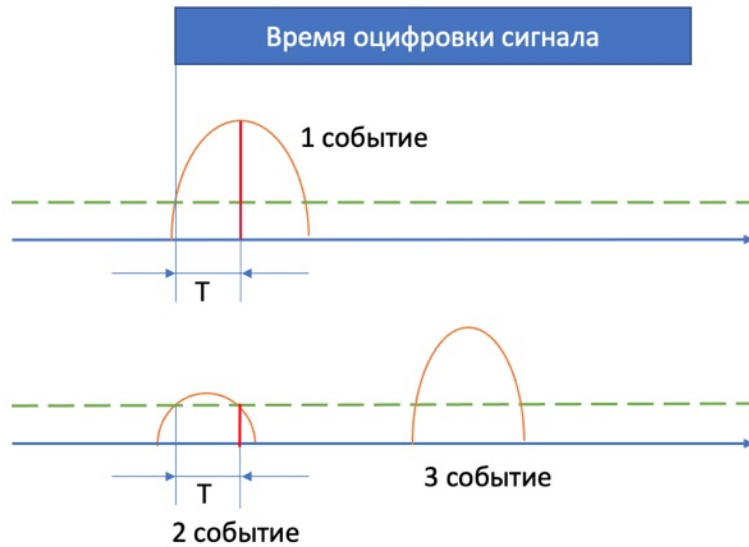
Архитектура системы сбора данных



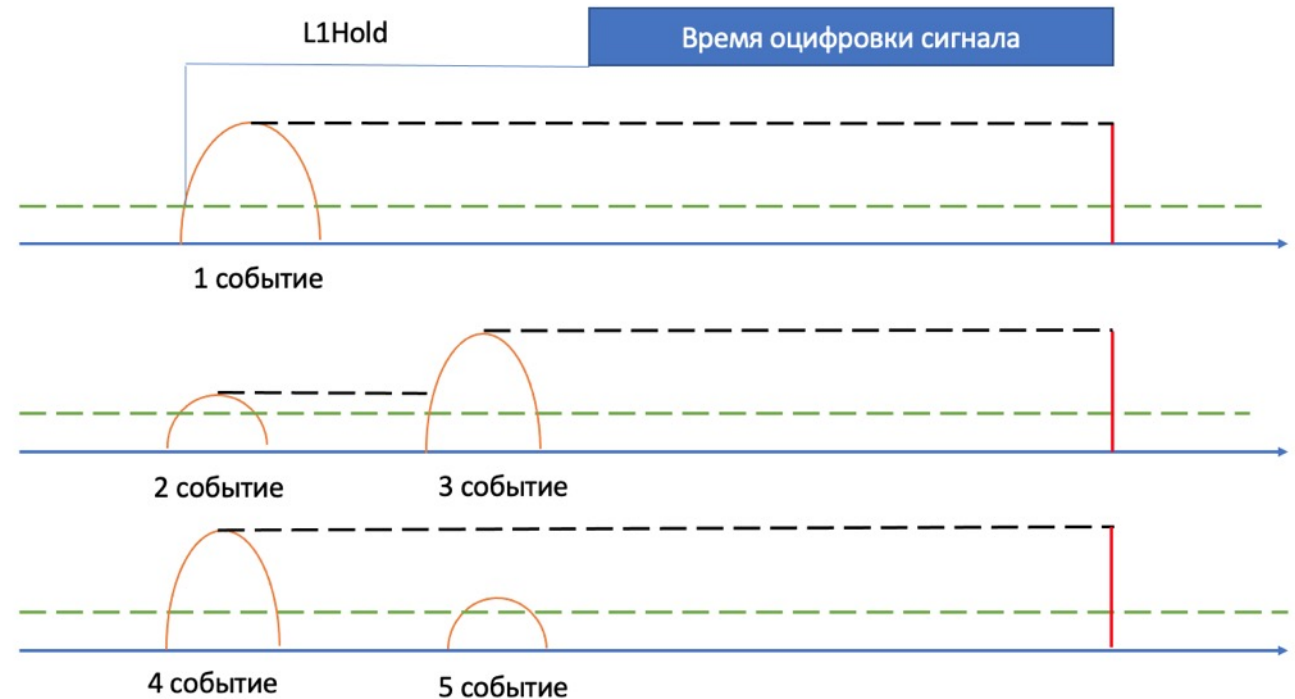
ASICs CITIROC

Режимы работы чипа ASICs CITIROC

Режим HG и LG Hold MODE:



Режим L1 Hold Delay



HG – High Gain, канал высокого усиления
LG – Low Gain, канал низкого усиления

HG и LG Hold MODE – режим работы, при котором значение амплитуды фиксируется через установленное время T .
L1 Hold Delay – режим работы, при котором идет пиковый поиск амплитуды на каждом канале.

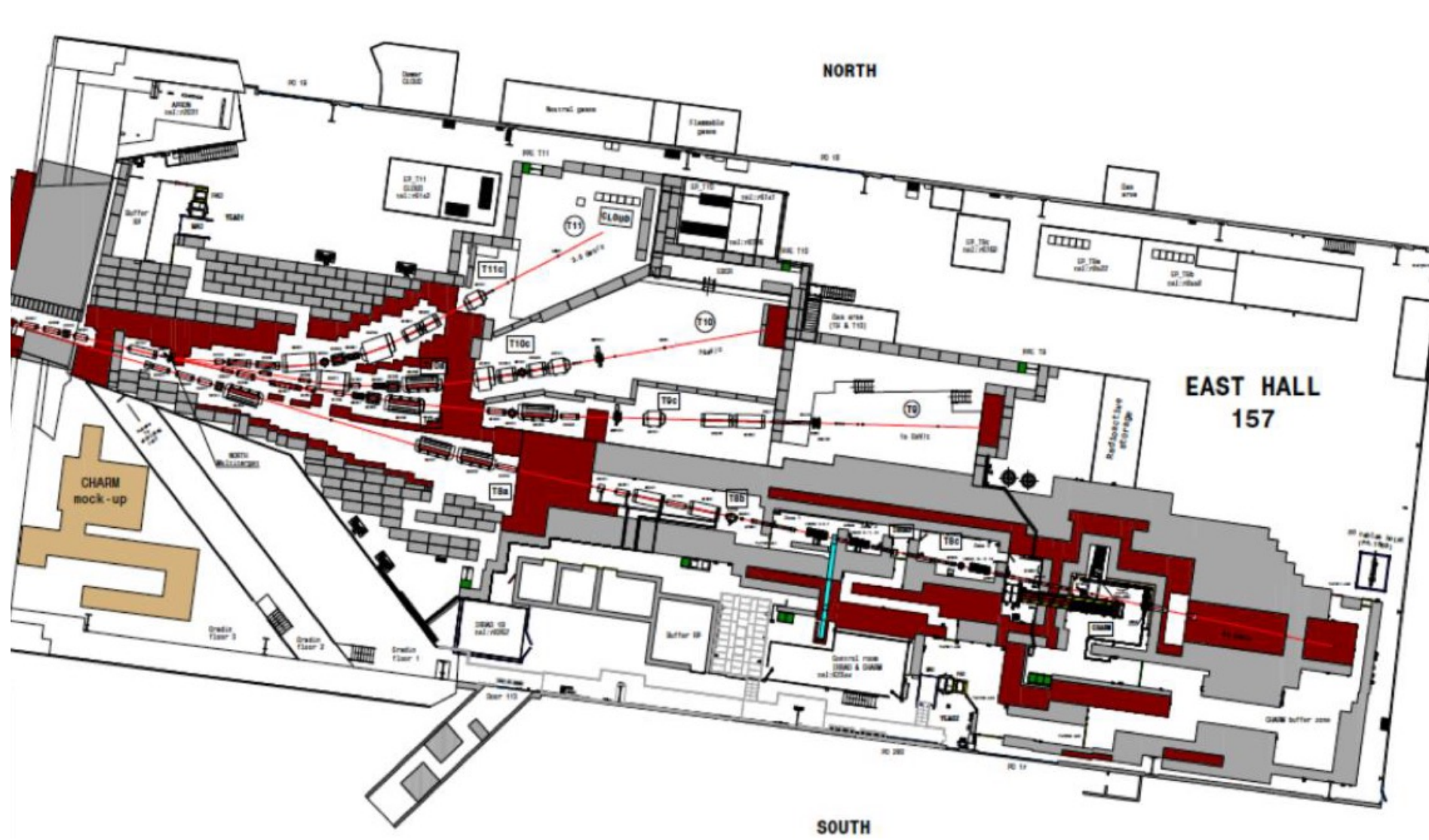
Baby MIND FEBs

Структура данных Baby MIND FEBs

Time Slot Start																																			
31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0				
TDM ID 14				ID=0				Slot ID								TDM TAG																			
Spill header																																			
31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0				
Spill header ID 0				Board ID								0		SId		Spill tag (from reset request)																			
Spill header ID 0				Board ID								1		SId		DAQ type		Spill Time from GTRIG (10ns res.)																	
Spill time ID 7				Spill time on spill start (10ms resolution, max=745.6 h=31 days)																															
HOLD time																																			
Hold Time ID 11				Board ID								0		Hold Start Time from GTRIG (10ns res.)																					
Hold Time ID 11				Board ID								1		Hold End Time from GTRIG (10ns res.)																					
GTRIG header #1																																			
31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0				
GTRIG header ID 1				Global Trigger tag (from reset request)																															
Event Data : Hit #1																																			
31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0				
Hit time ID 2				Channel ID								Hit ID				Tag ID		EDGE		Hit time (2.5ns res.)															
31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0				
Hit Amplitude ID 3				Channel ID								Hit ID				Tag ID		Amplitude ID		Amplitude measurement															
...																																			
Event Data : Hit #n																																			
31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0				
Hit time ID 2				Channel ID								Hit ID				Tag ID		EDGE		Hit time (2.5ns res.)															
31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0				
Hit Amplitude ID 3				Channel ID								Hit ID				Tag ID		Amplitude ID		Amplitude measurement															
GTRIG trailer #1																																			
31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0				
GTRIG trailer1 ID 4				Global Trigger tag (from reset request)																															
GTRIG trailer2 ID 5				Hit counts within gtrig*		Global Trigger time (10us res. % current spill start, max=10.5s)																													
Spill trailer																																			
31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0				
Spill trailer ID 6				Board ID								0		SId		Spill tag (from reset request)																			
Spill trailer ID 6				Board ID								1		SId		Temperature								Humidity											
Spill time ID 7				Spill time on spill end (10ms resolution, max=745.6 h=31 days)																															
Time Slot End																																			
31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0				
TDM ID 14				ID=1				Slot ID								21-bits CHECKSUM																			

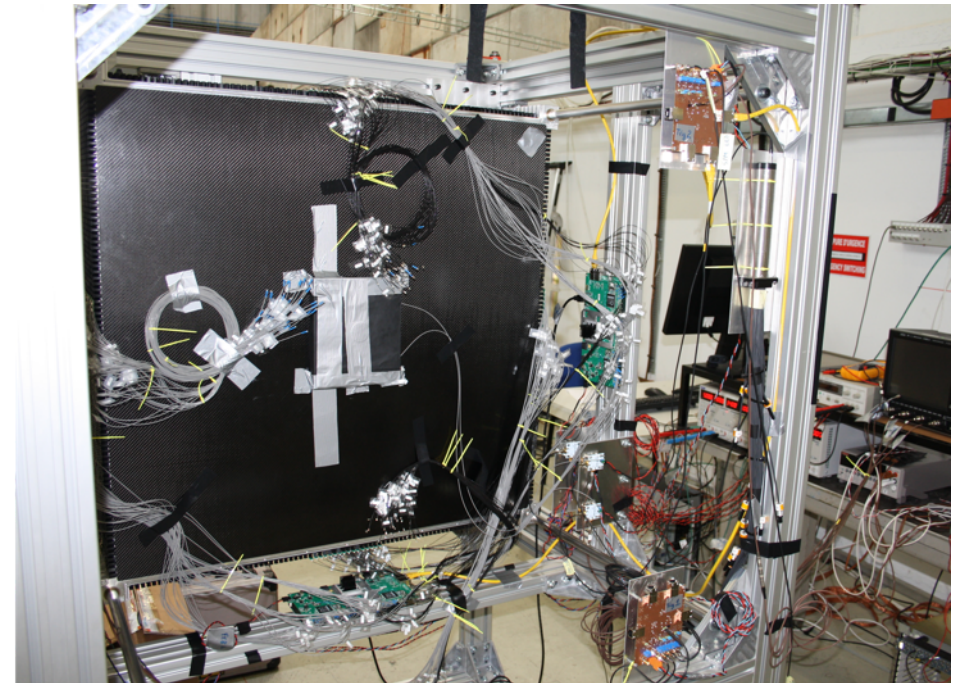
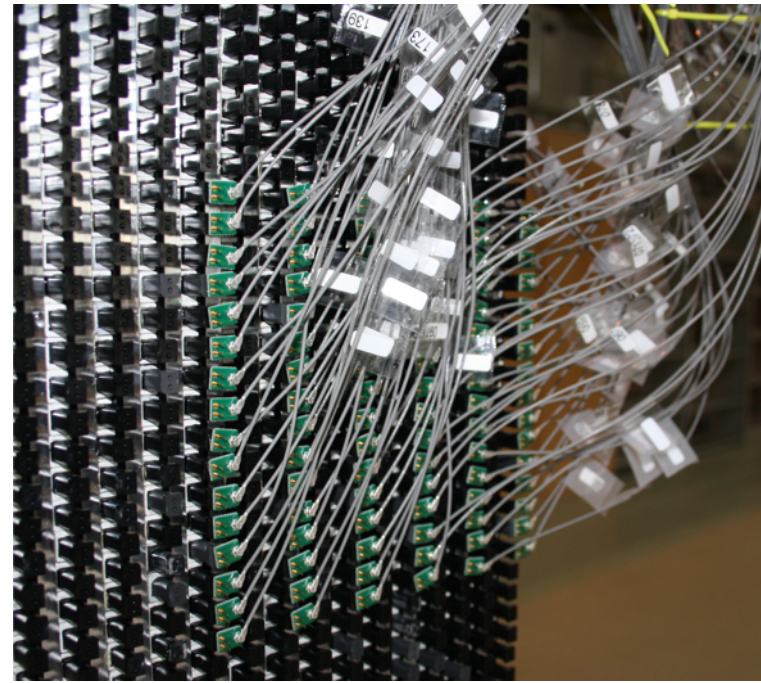
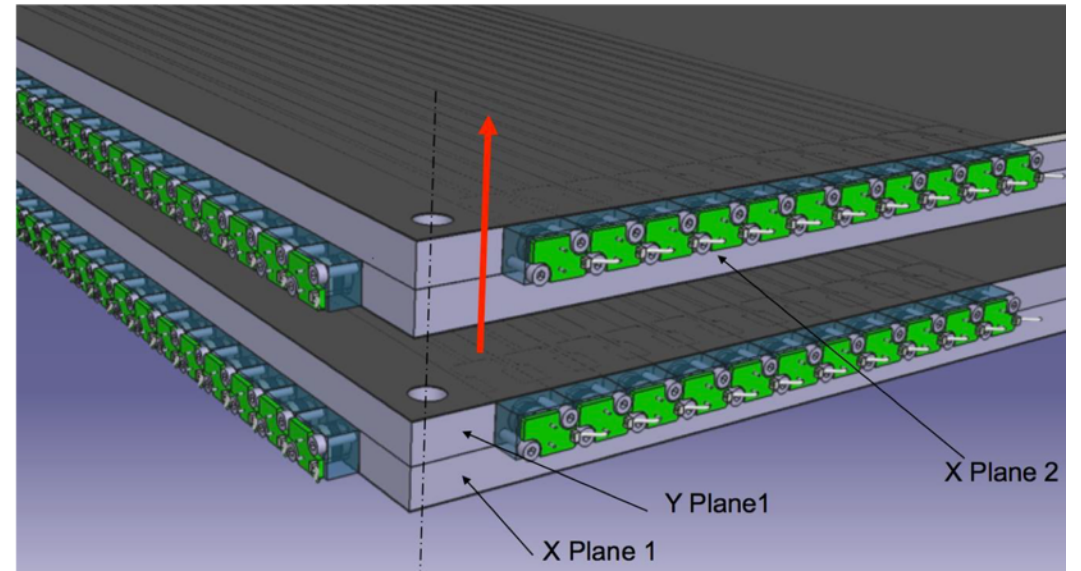
Тестирование детектора Baby MIND в ЦЕРНе

Экспериментальная зона T9



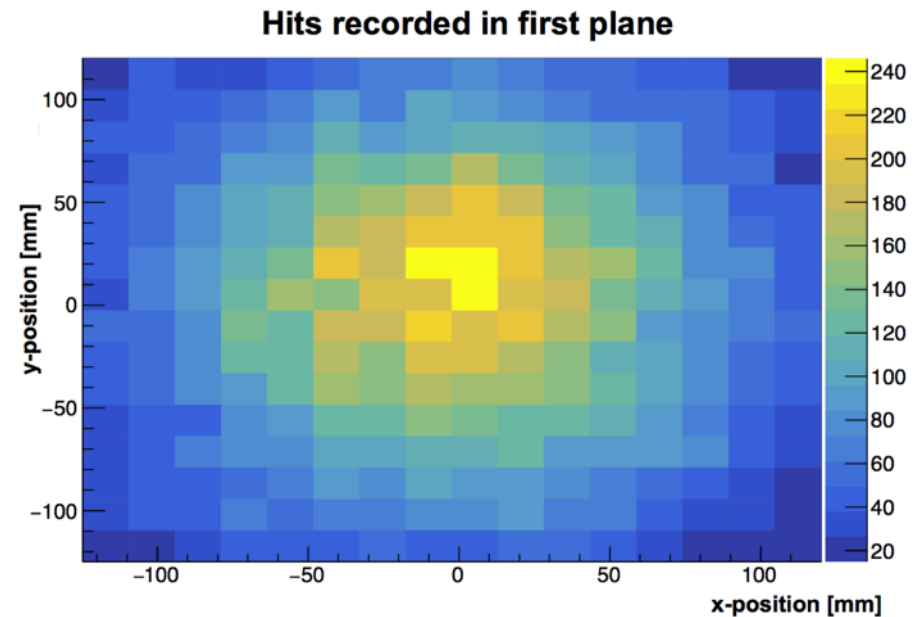
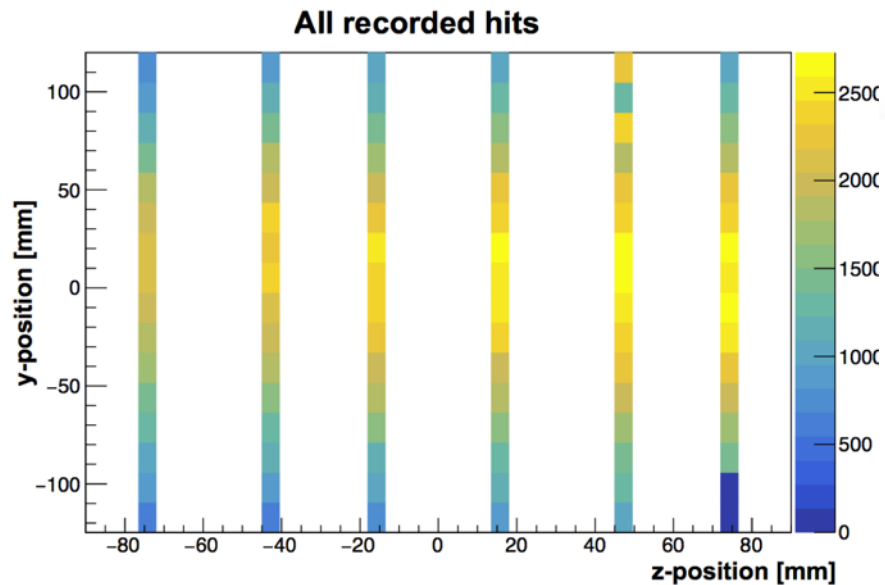
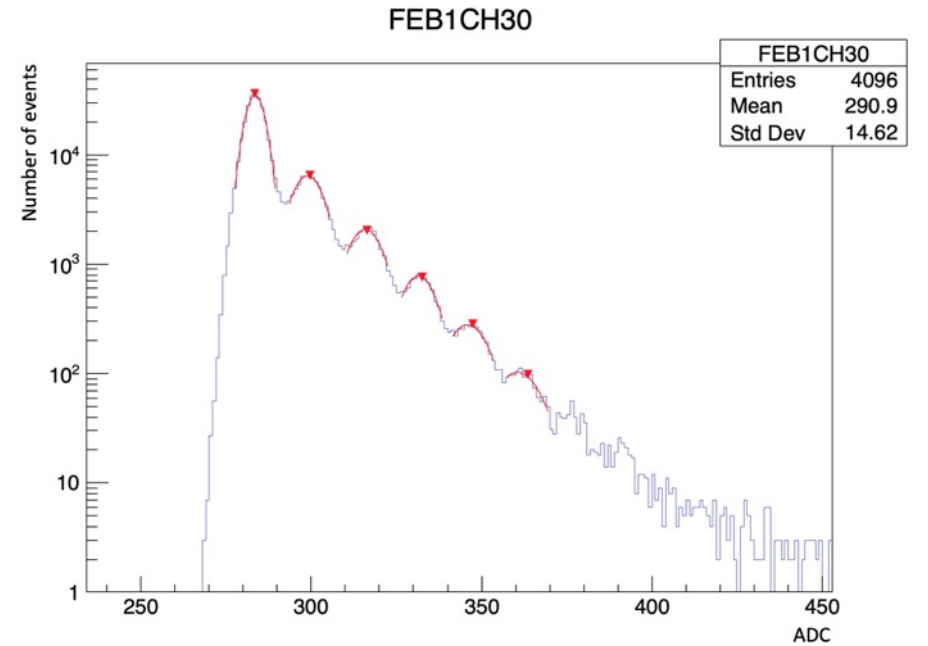
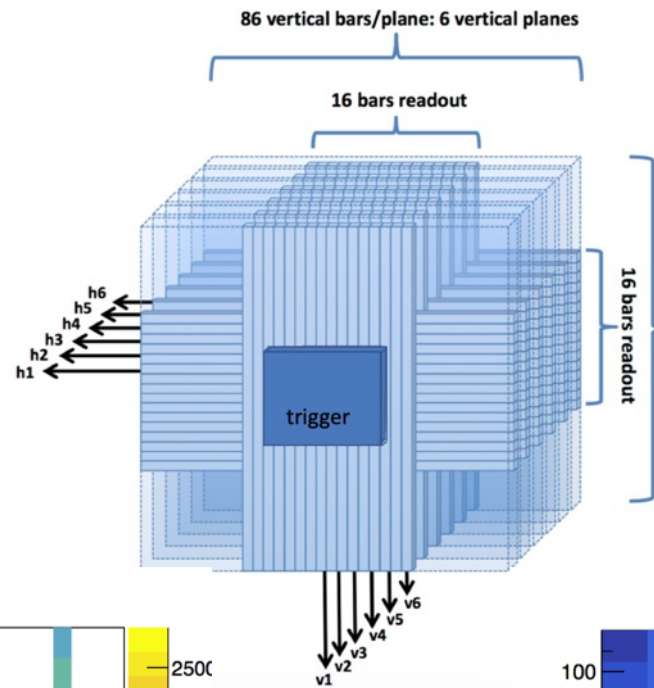
Тестирование FEBs

Тестирование Baby MIND FEBs v1
совместно с T ASD на пучке заряженных
частиц



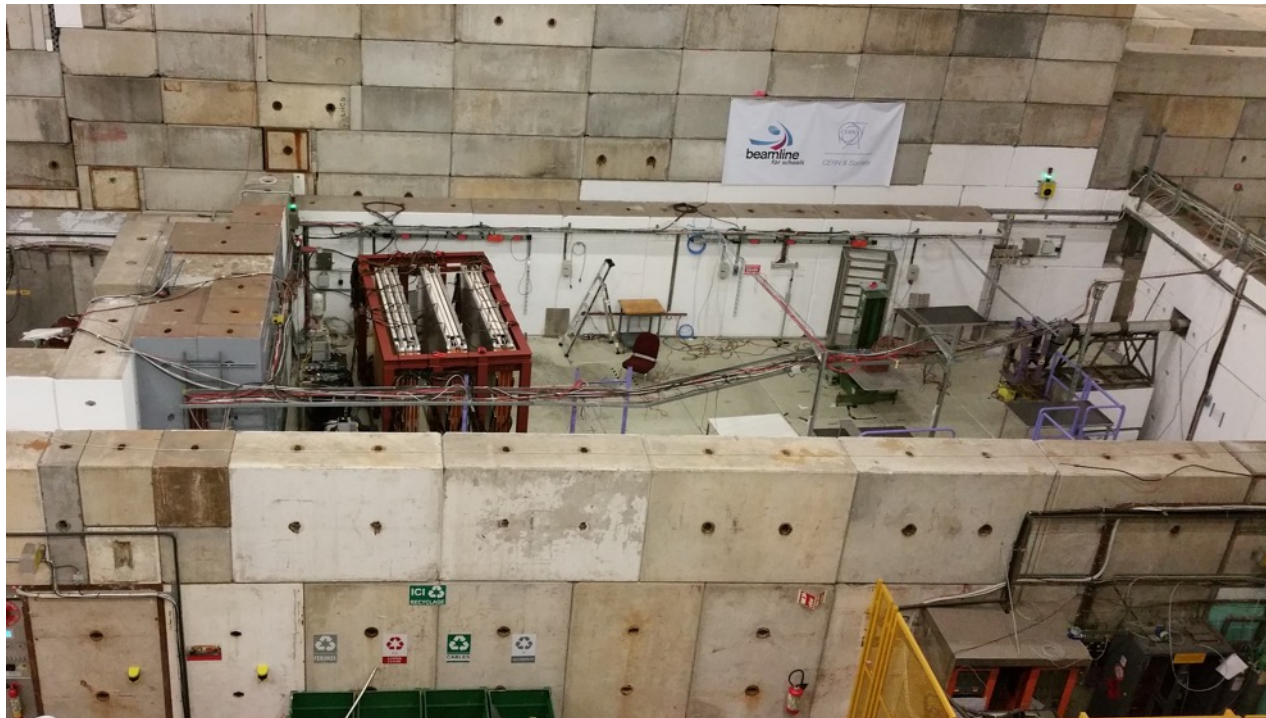
Тестирование FEBs

Результаты тестов Baby MIND FEBs v1
совместно с T ASD



Первый этап тестов Baby MIND

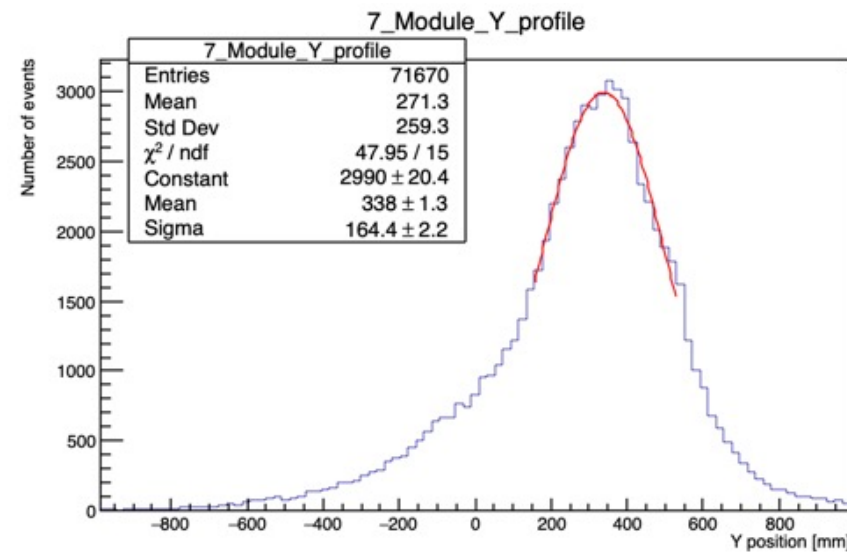
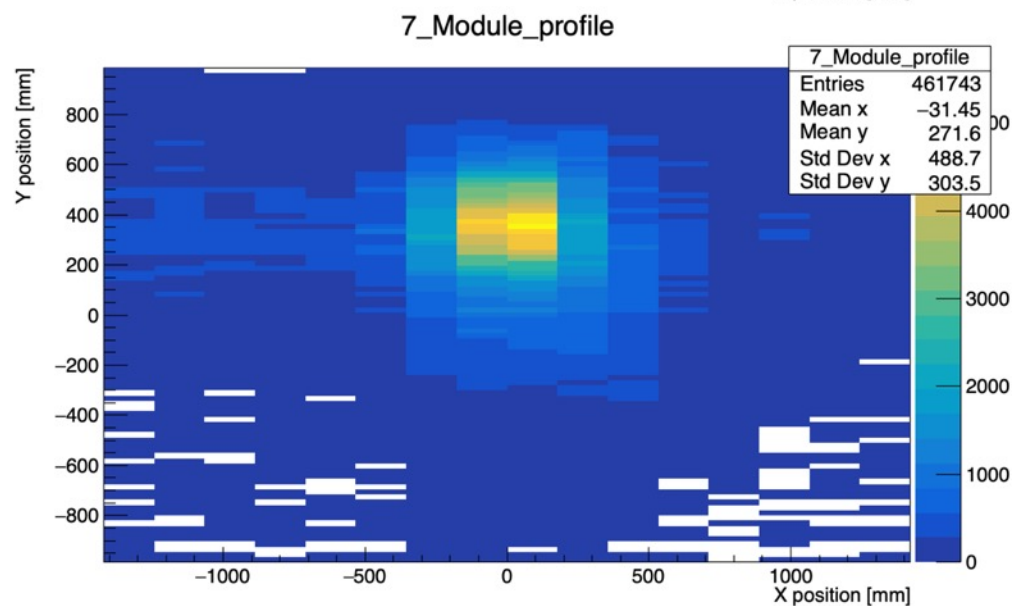
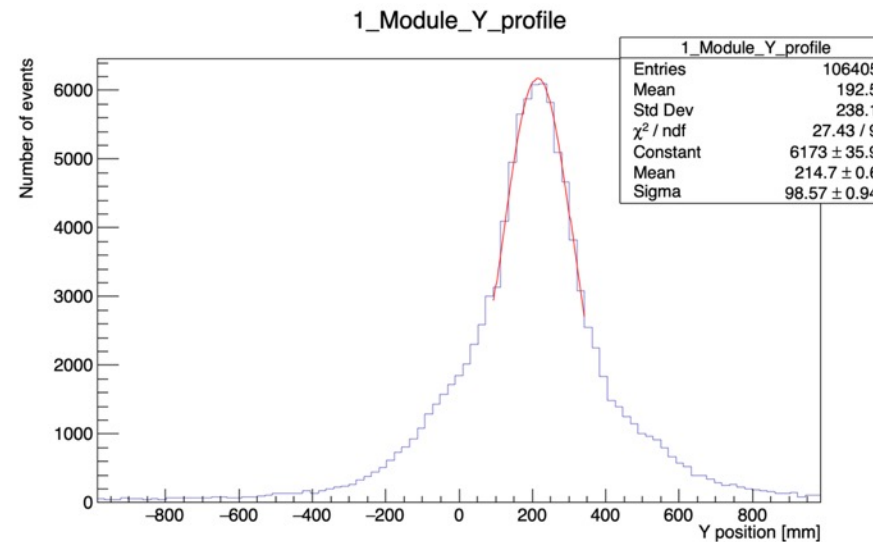
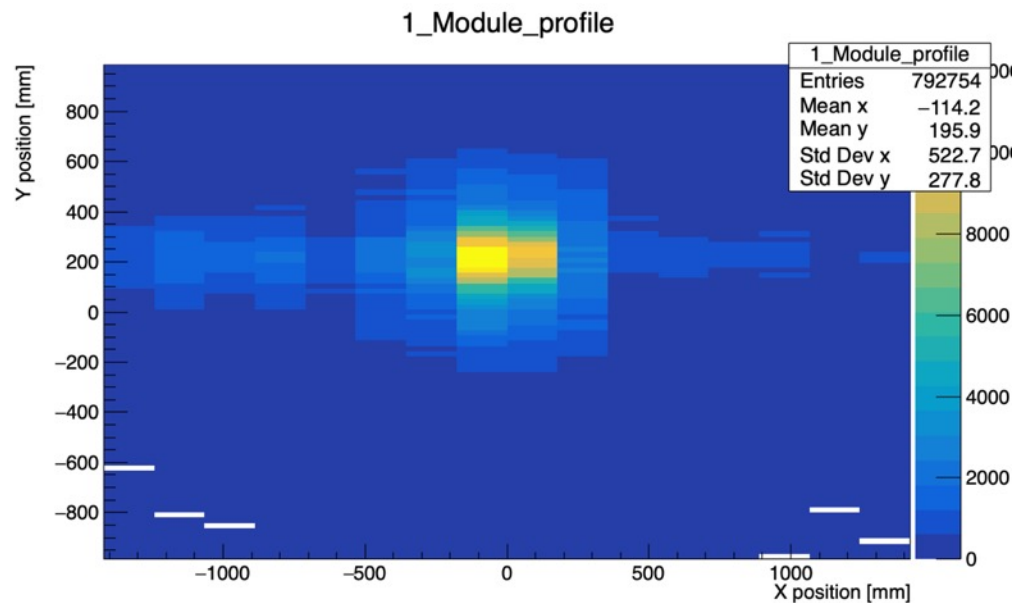
Совместное тестирование магнитных и сцинтилляционных модулей на пучке заряженных частиц



Первый этап тестов Baby MIND

Результаты тестирования

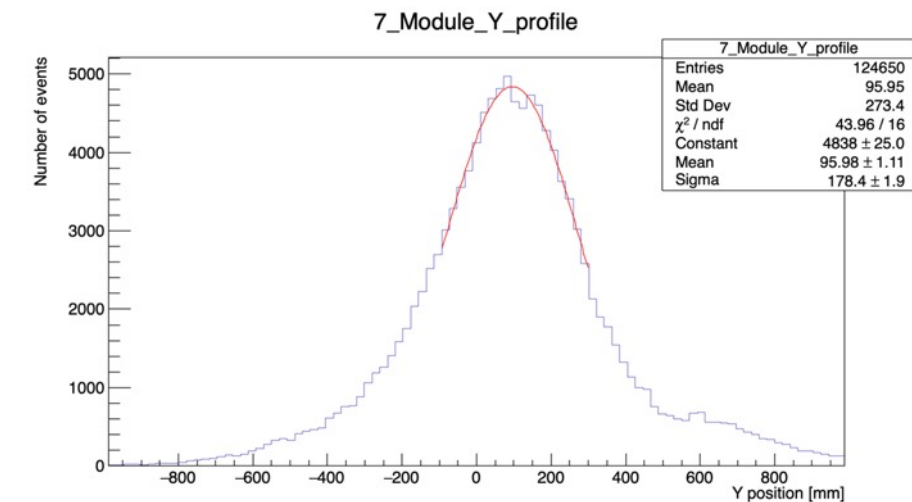
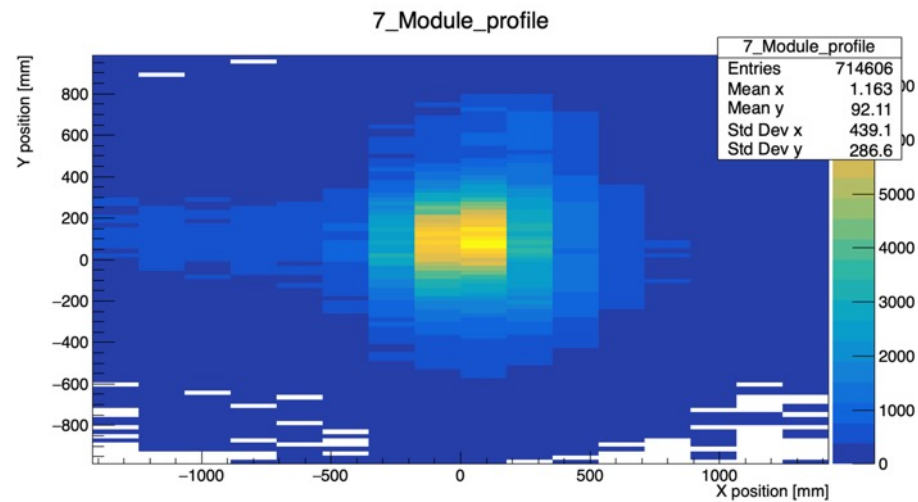
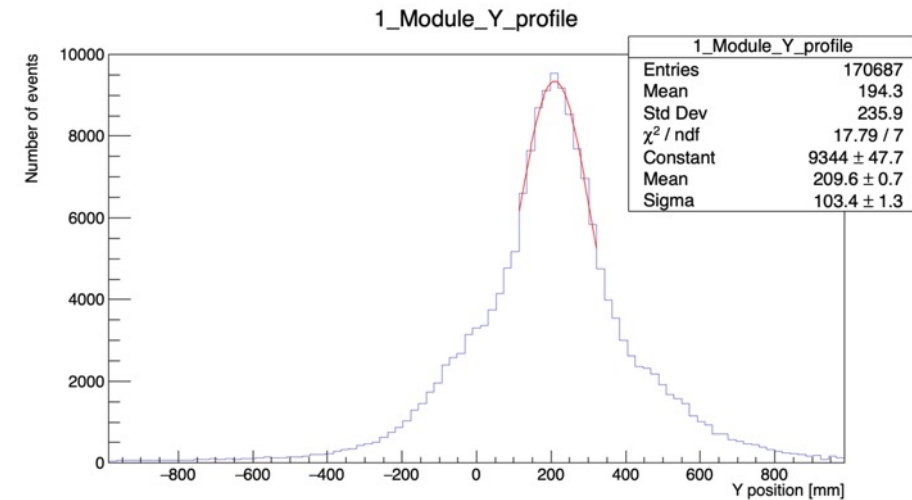
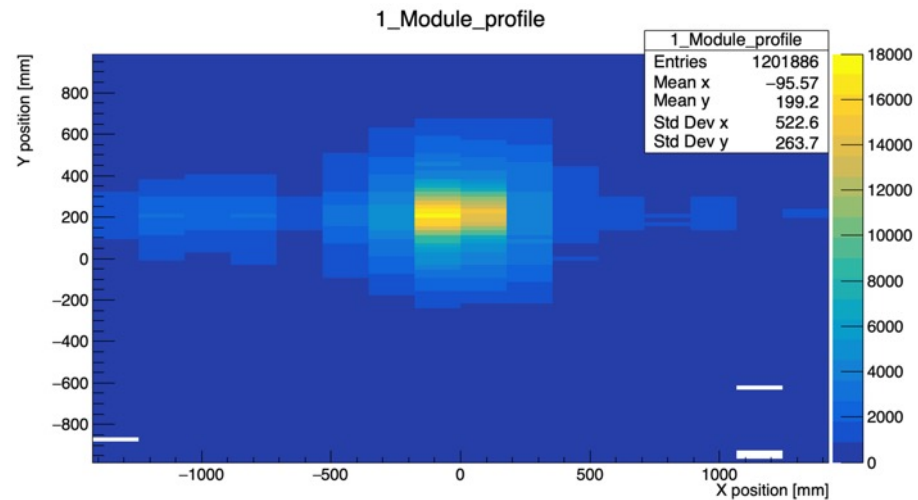
1GeV/c



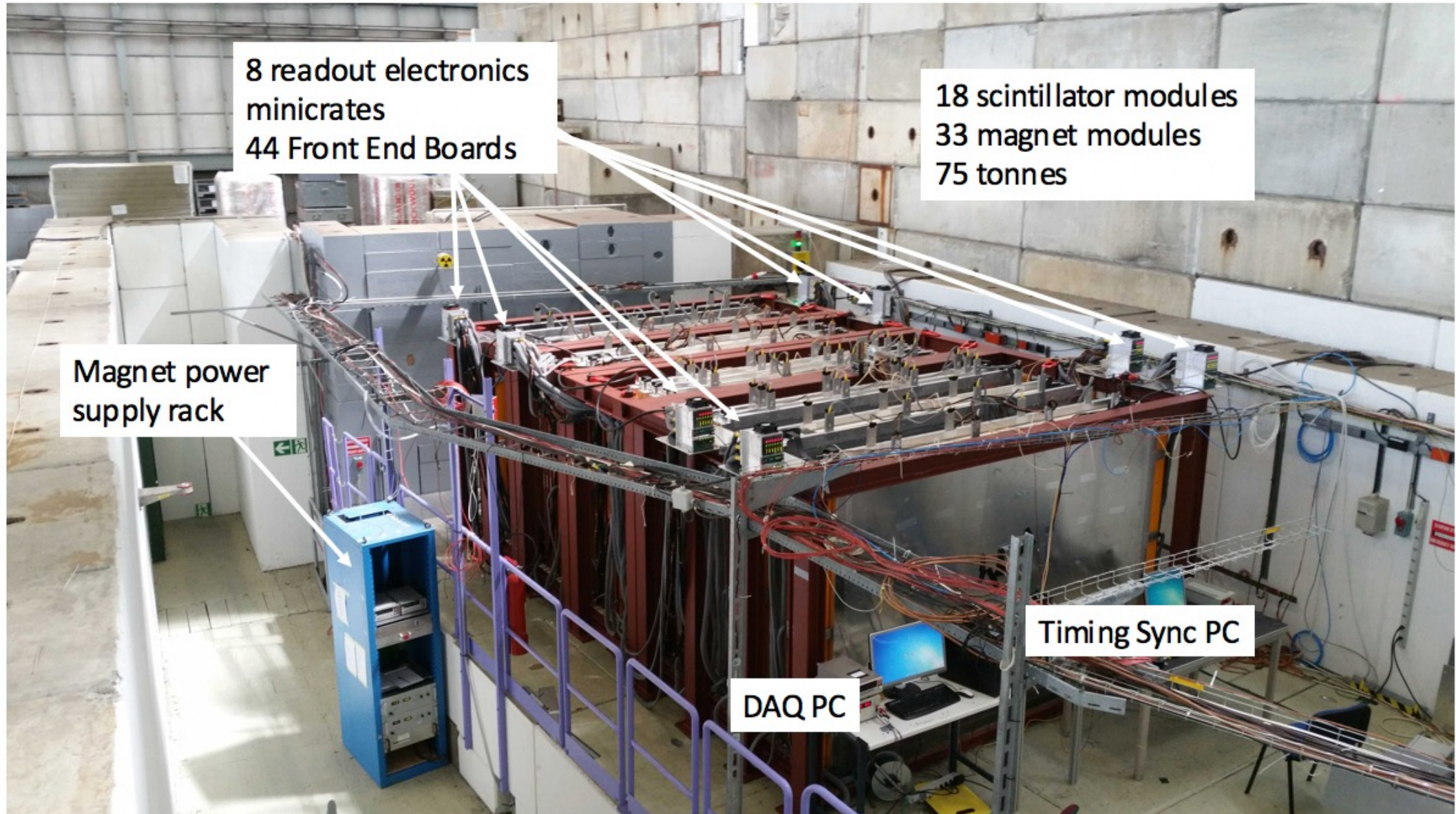
Первый этап тестов Baby MIND

Результаты тестирования

-1GeV/c

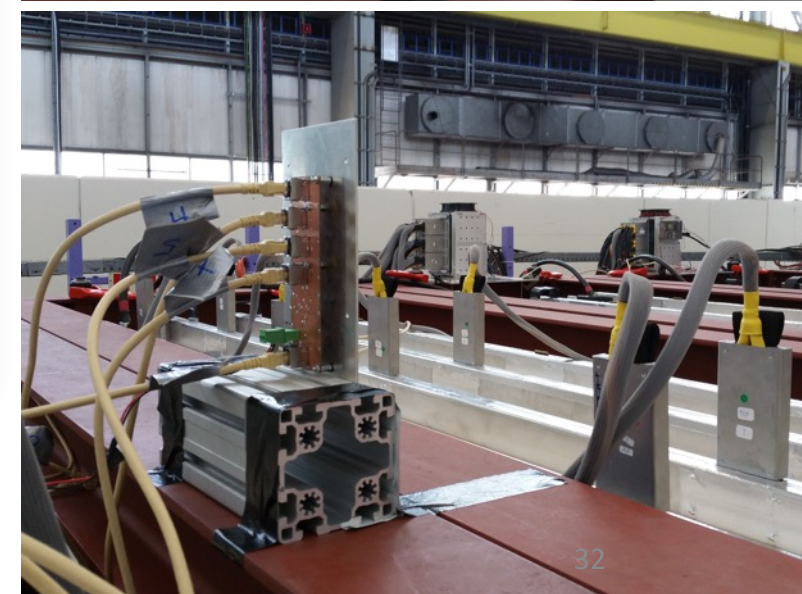
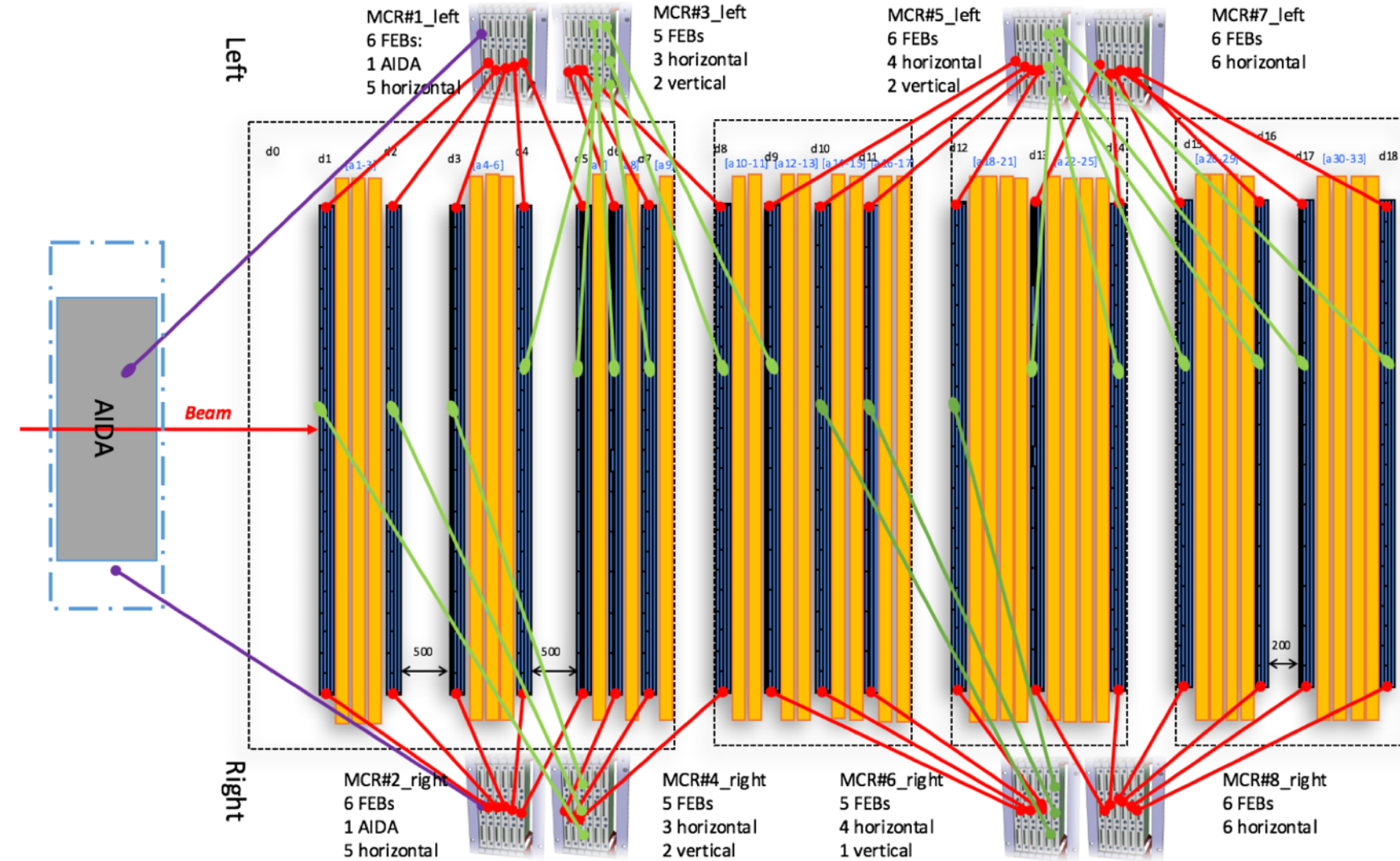


Финальный этап тестирования Baby MIND в ЦЕРНе



Финальный этап тестирования Baby MIND в ЦЕРНе

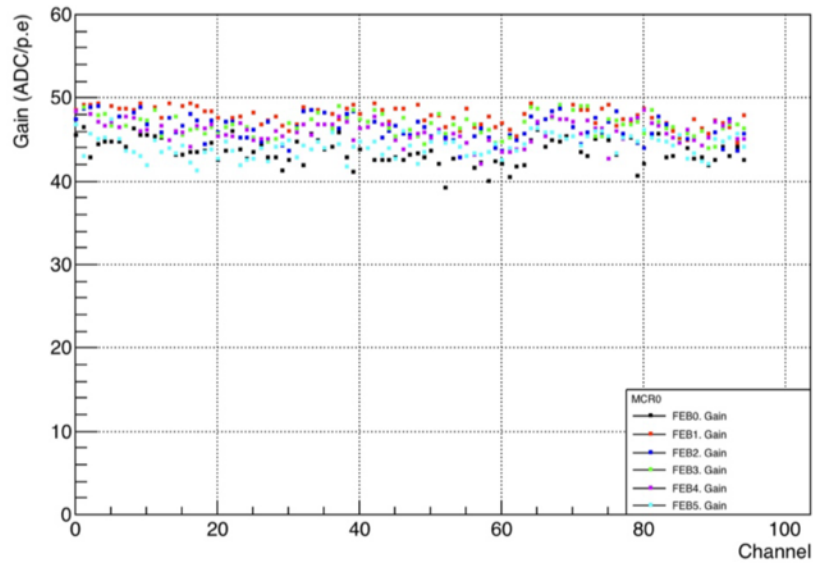
Схема подключения электроники



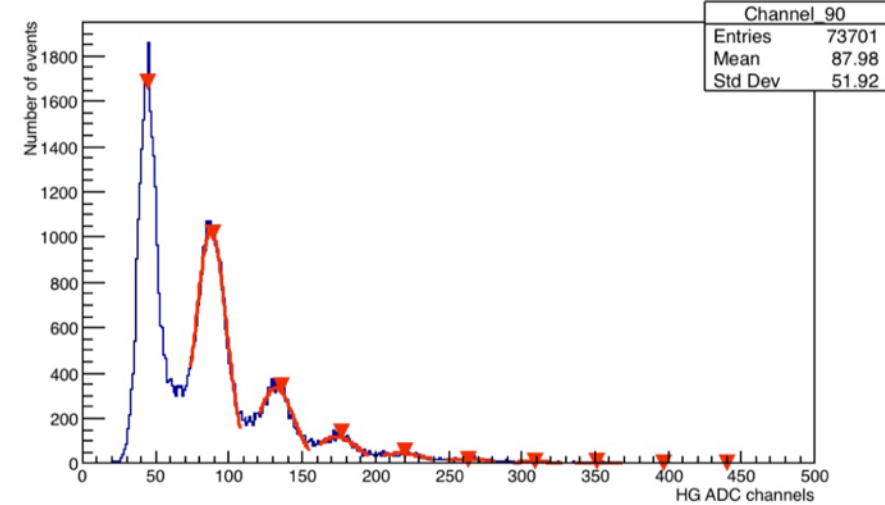
Финальный этап тестирования Baby MIND в ЦЕРНе

Калибровка MPPCs и вычисление позиции пьедесталов

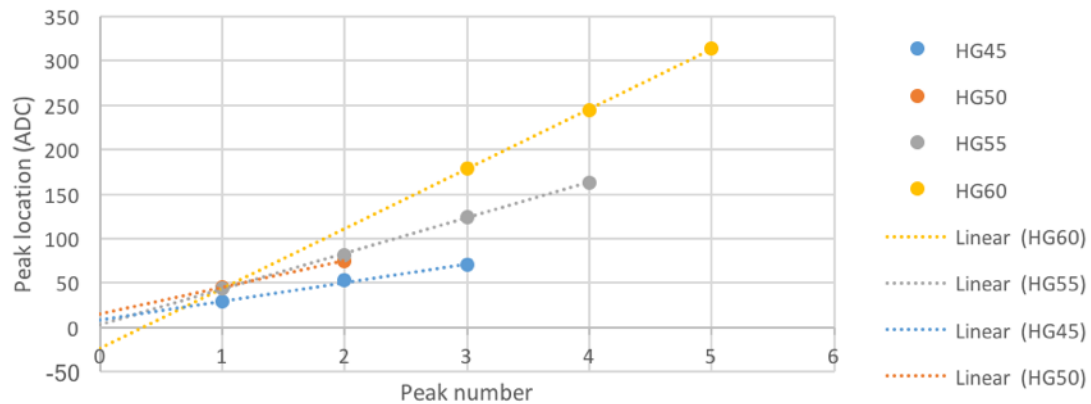
Gain Values for MCR0



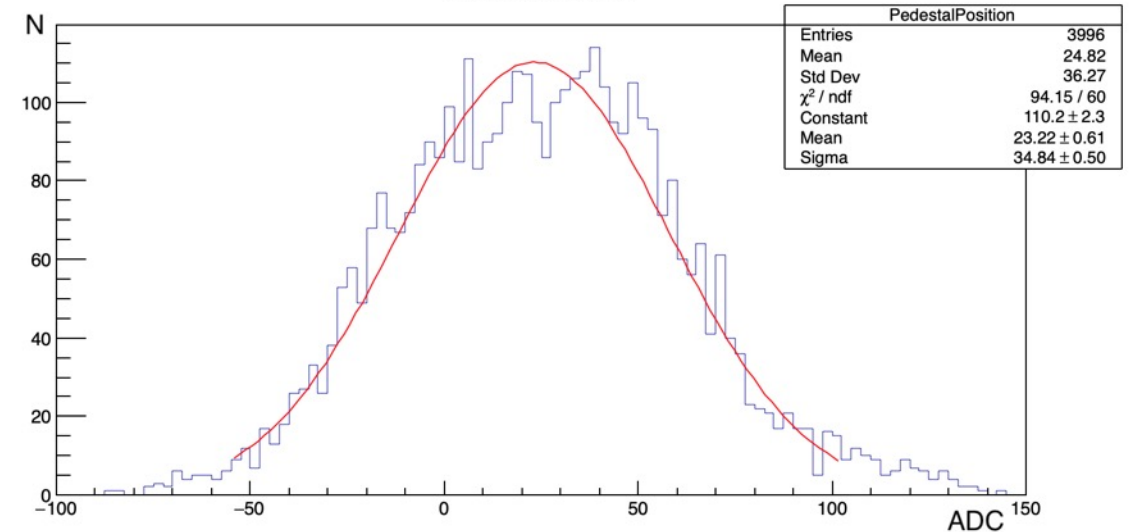
Channel_90



FEB1_ch 22

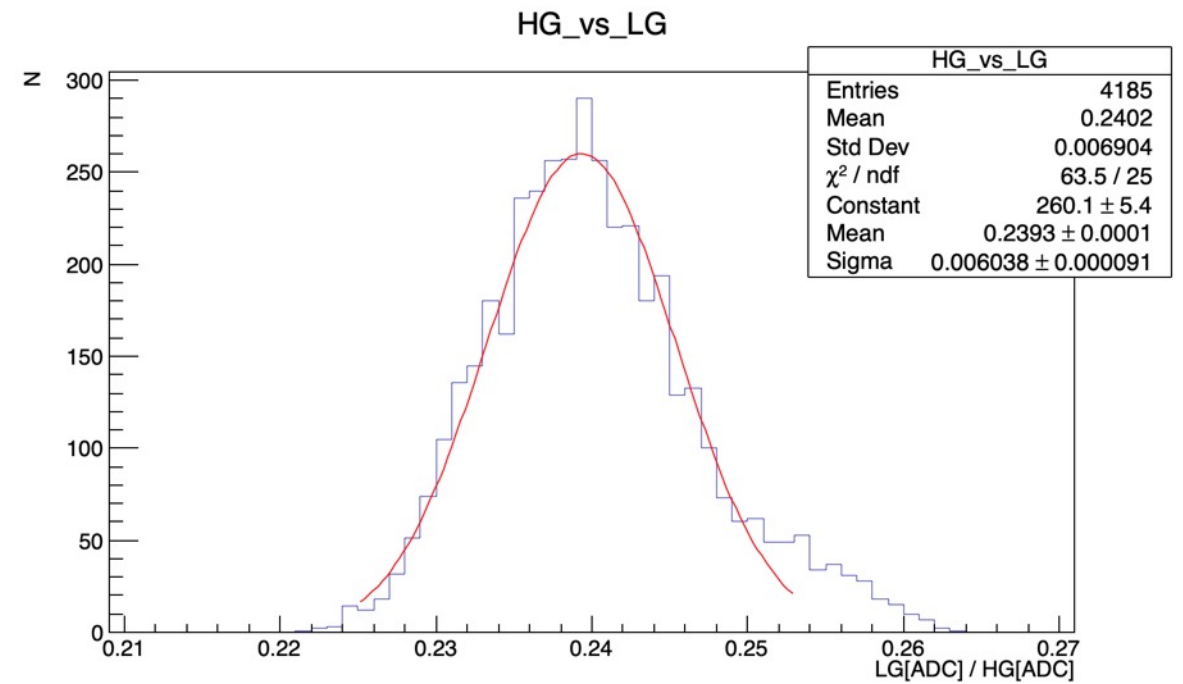
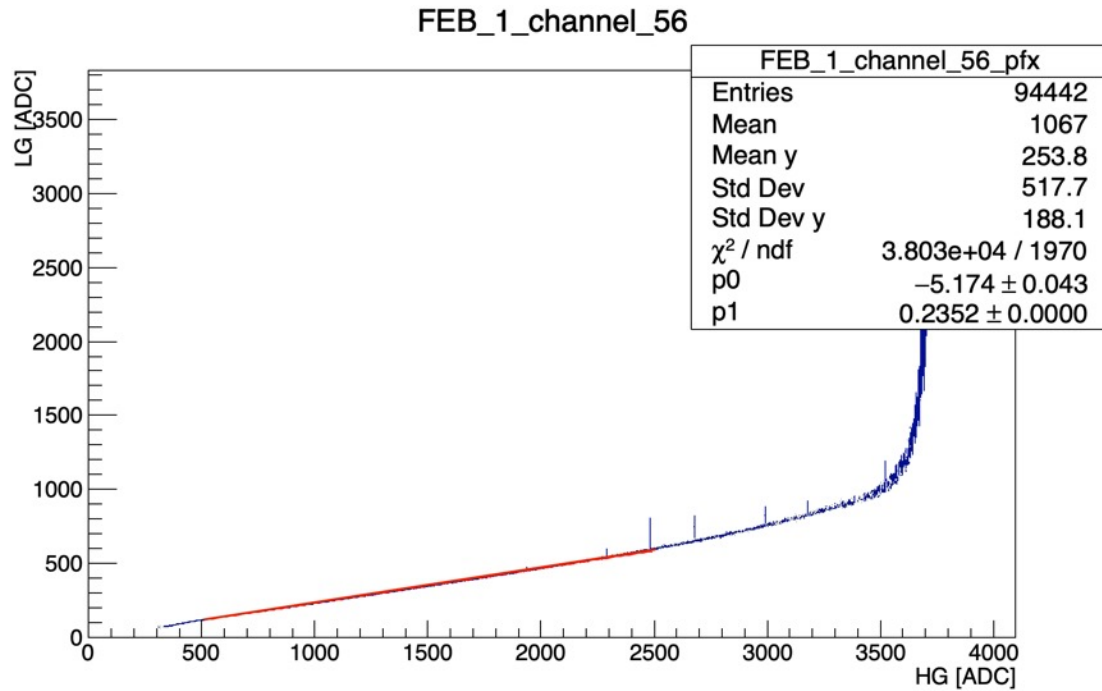


PedestalPosition



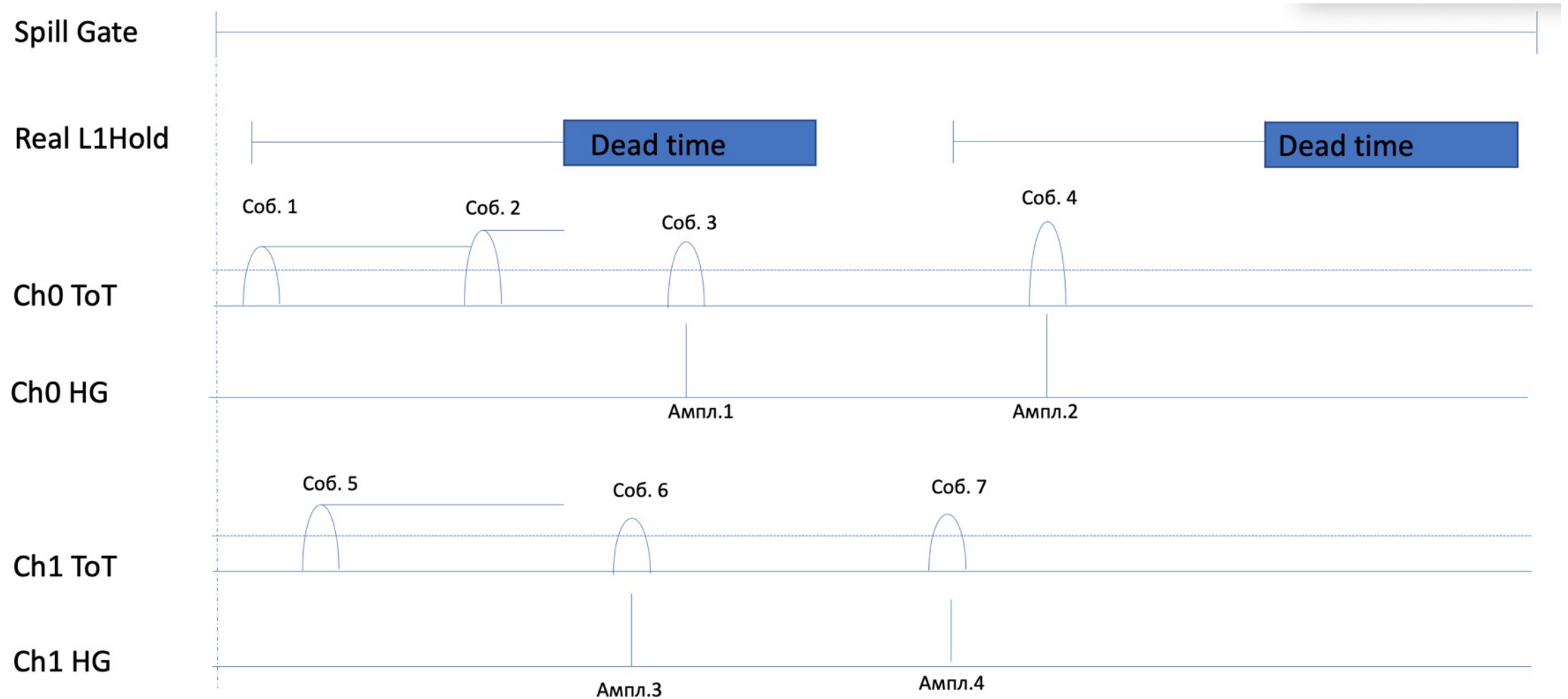
Финальный этап тестирования Baby MIND в ЦЕРНе

Калибровка HG vs LG



Финальный этап тестирования Baby MIND в ЦЕРНе

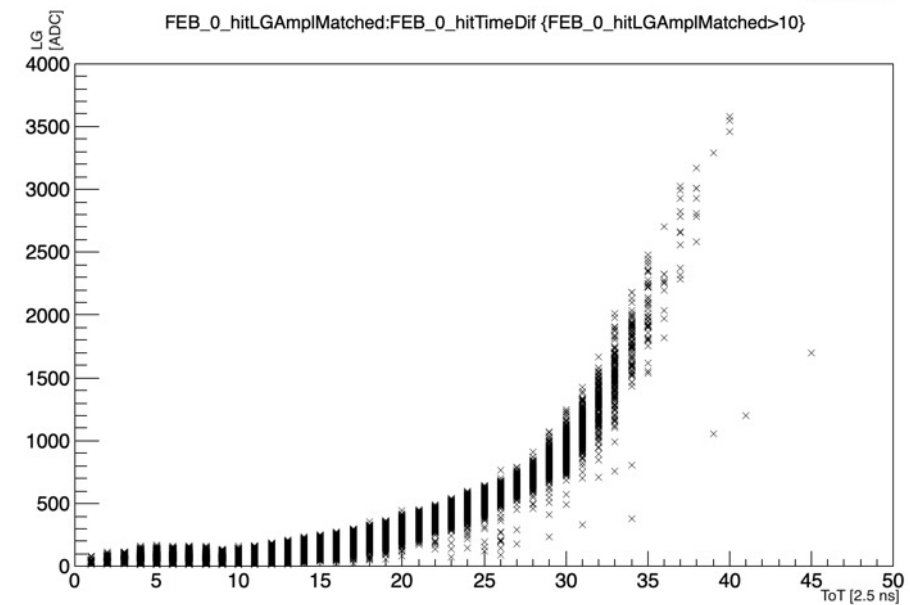
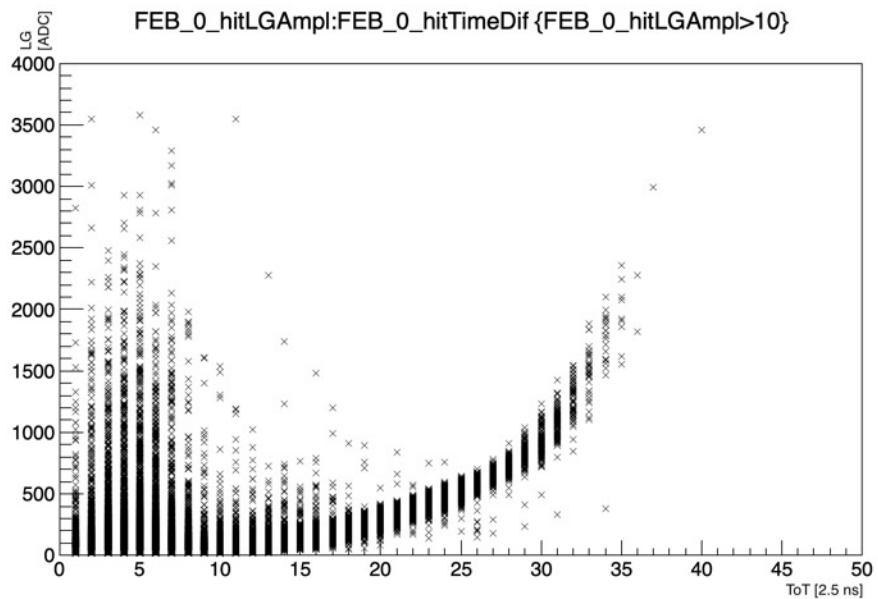
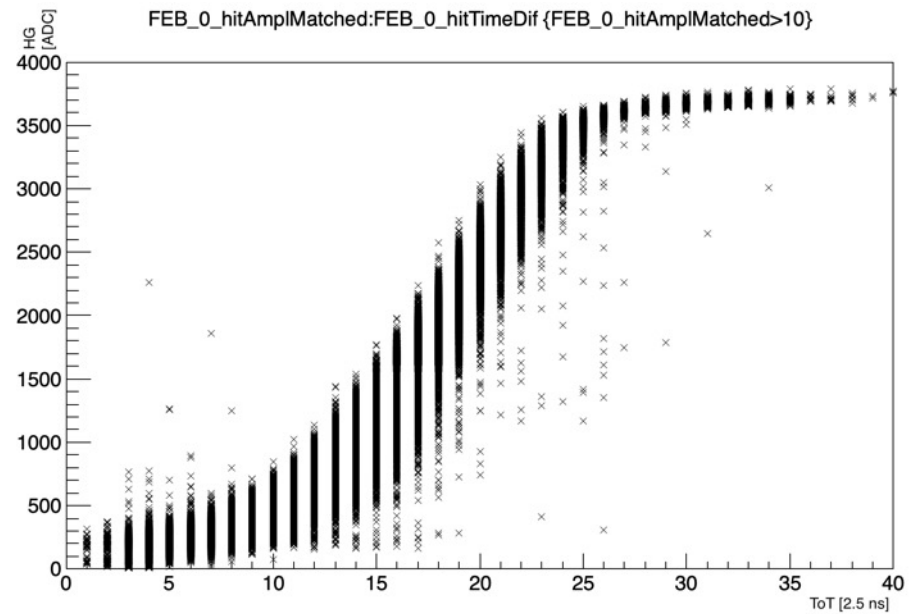
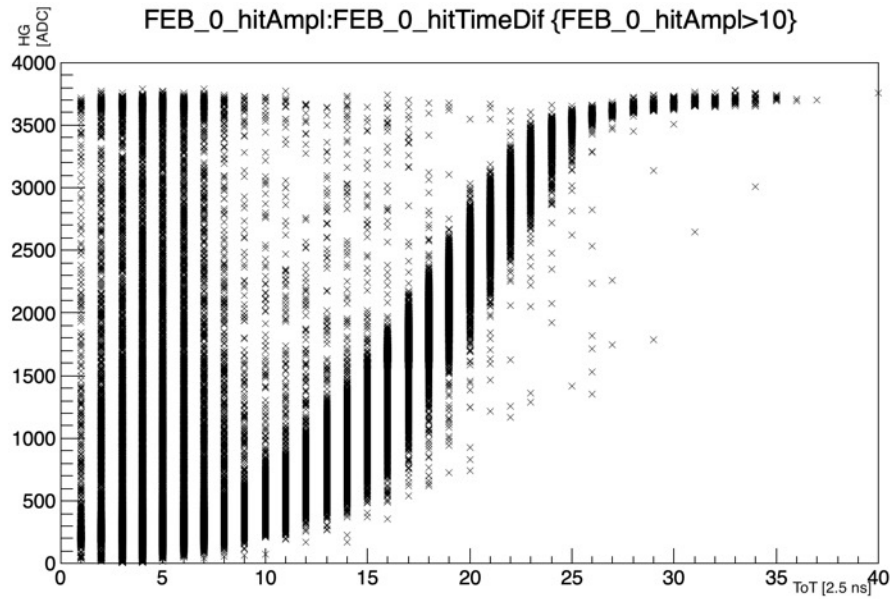
Алгоритм сопоставления амплитудных и временных данных



ToT – Time over Threshold, время сигнала над порогом

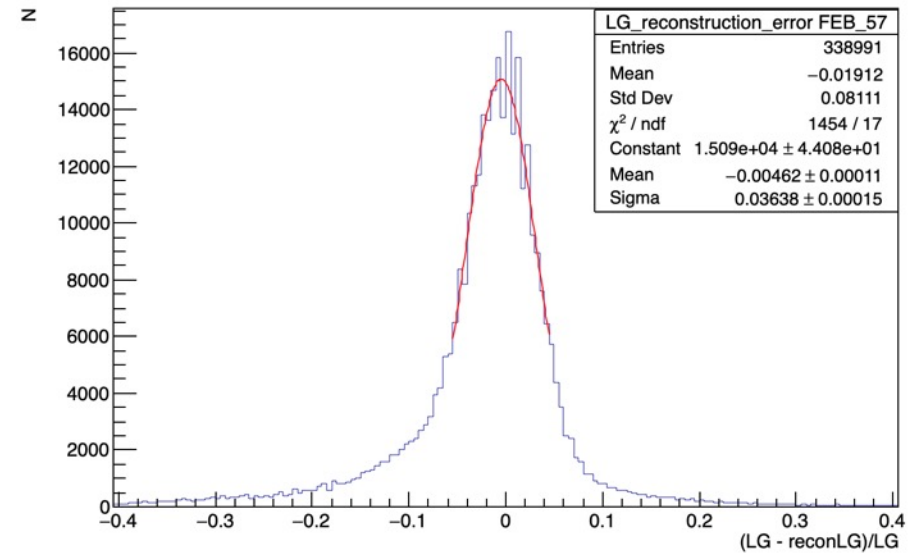
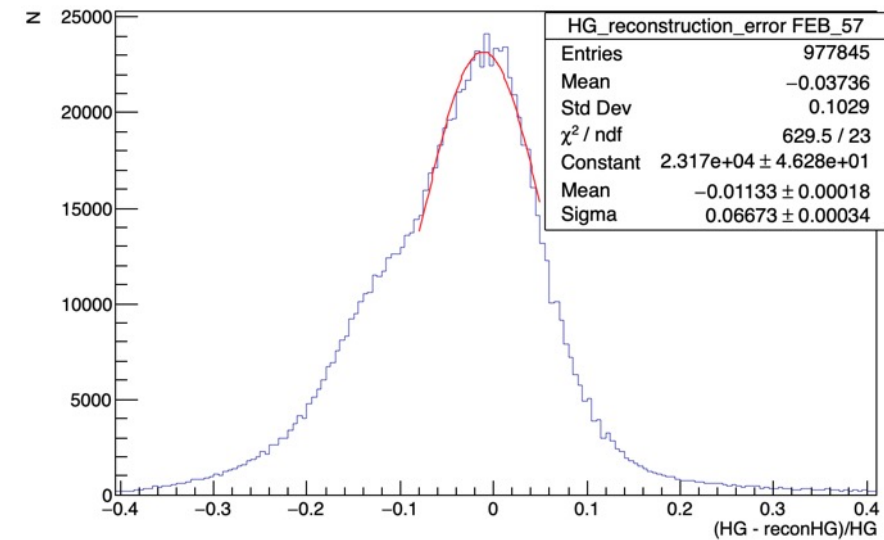
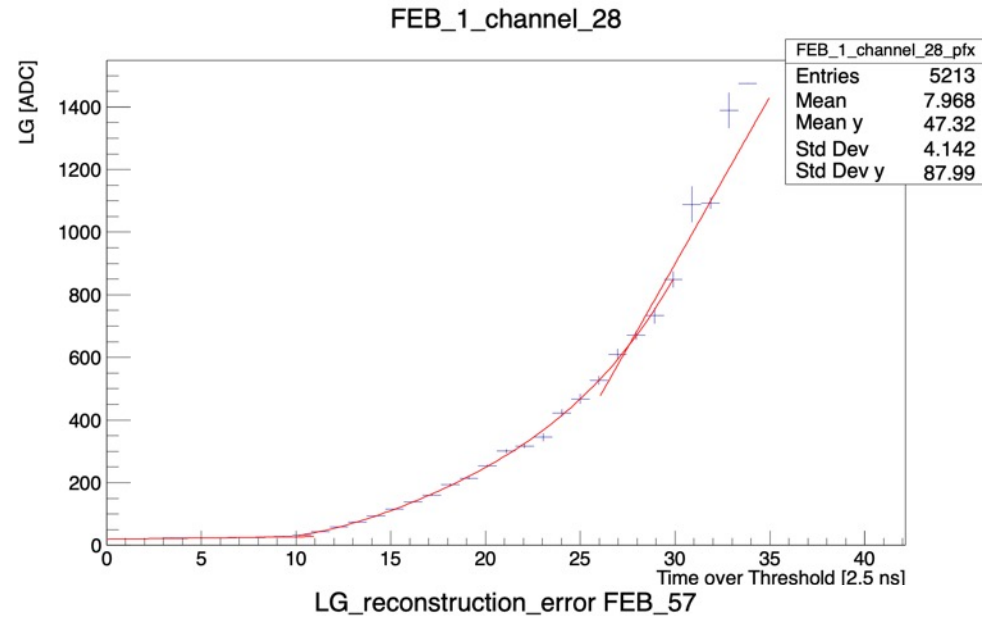
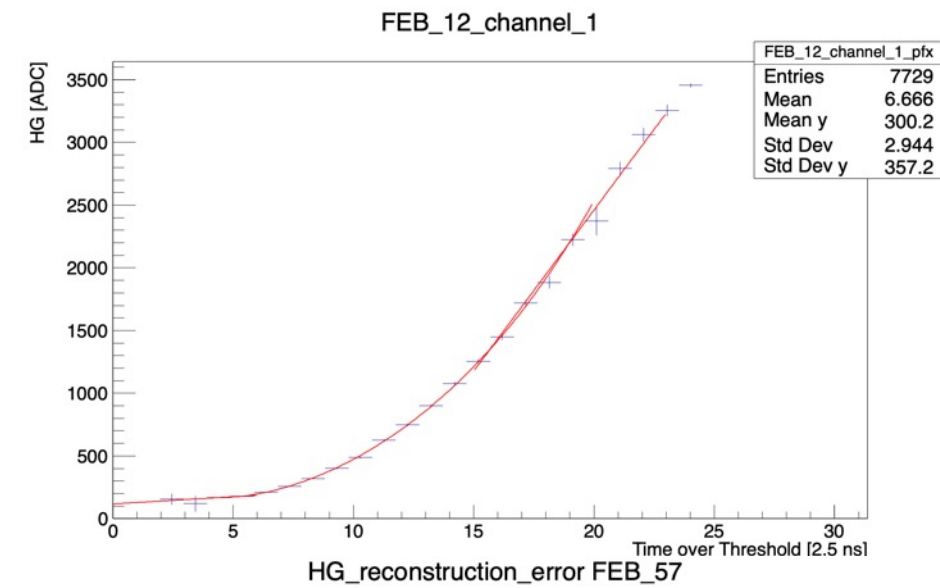
Финальный этап тестирования Baby MIND в ЦЕРНе

Результаты сопоставления амплитудных и временных данных



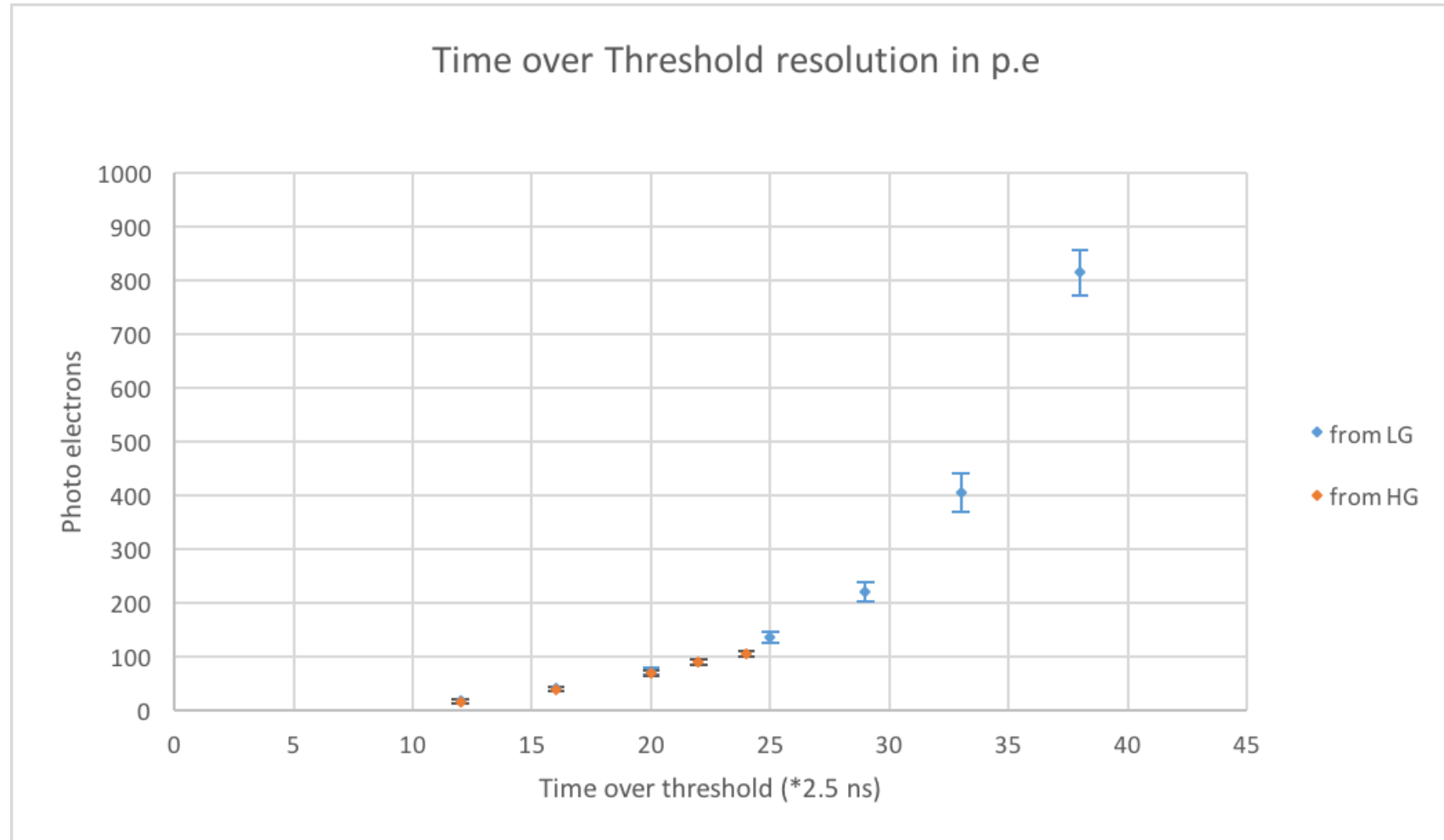
Финальный этап тестирования Baby MIND в ЦЕРНе

Калибровка HG vs ToT, LG vs ToT



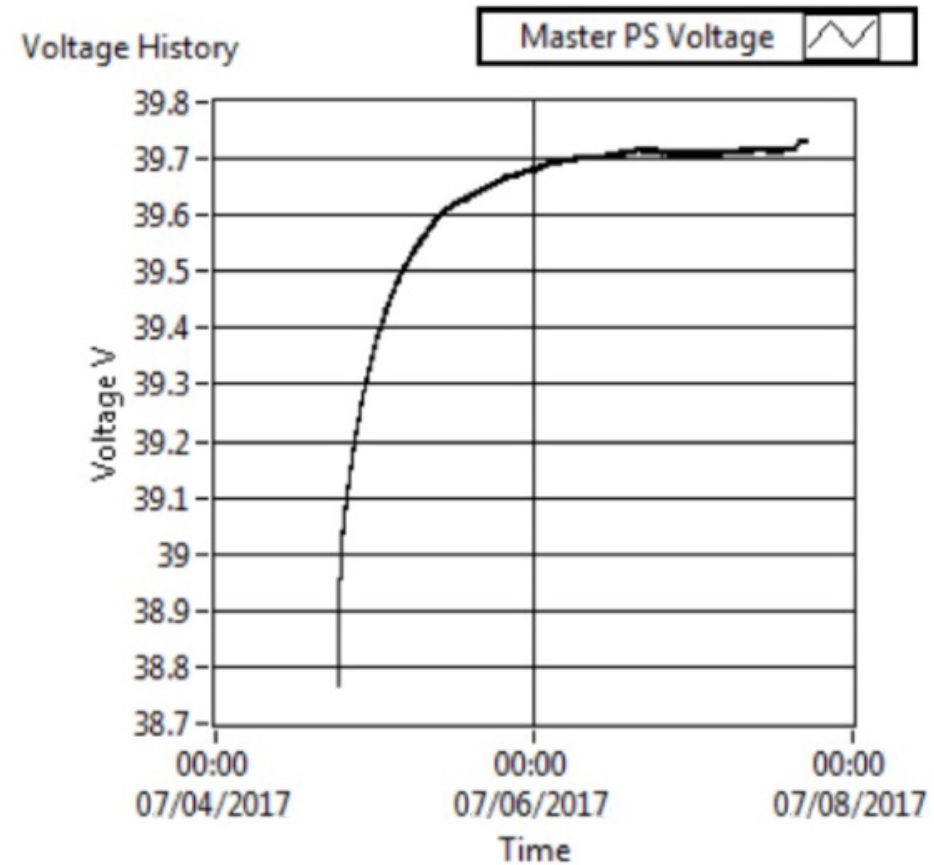
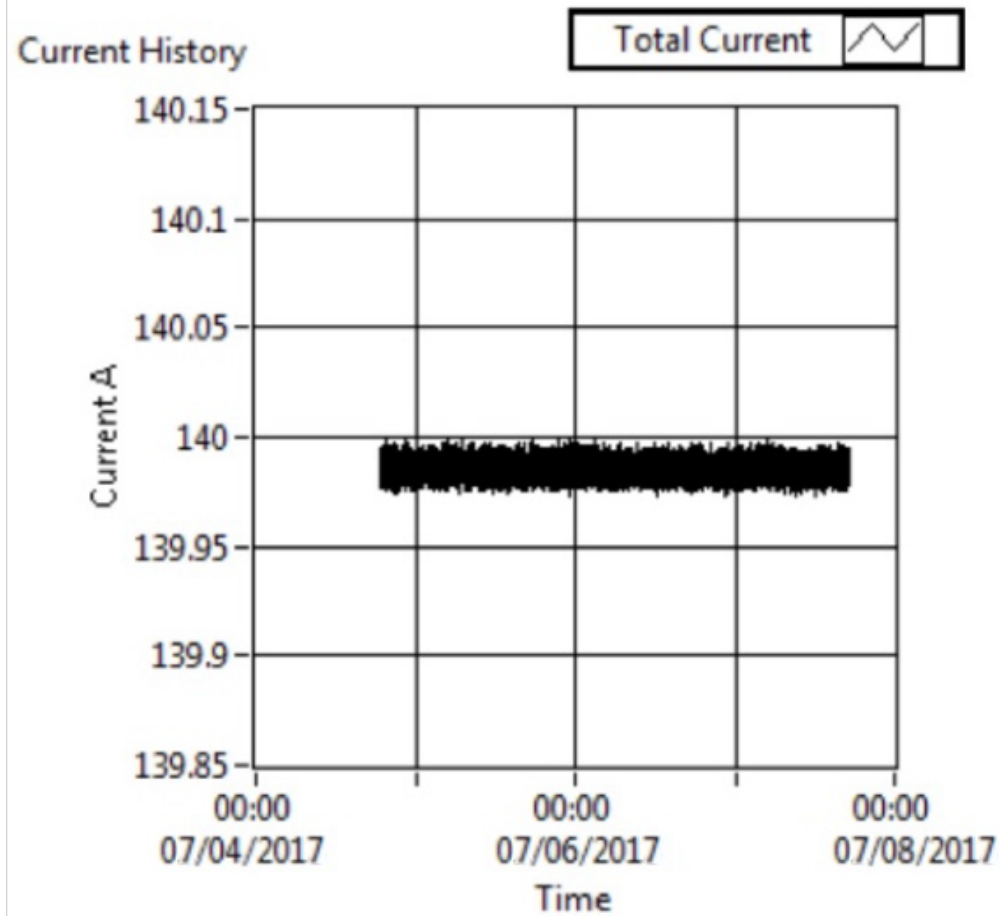
Финальный этап тестирования Baby MIND в ЦЕРНе

Ошибка восстановления амплитудных данных из ToT



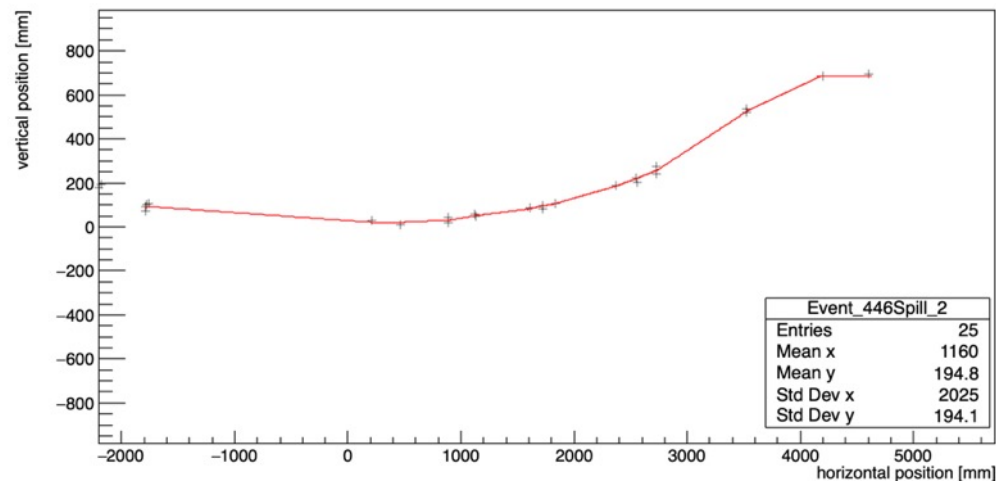
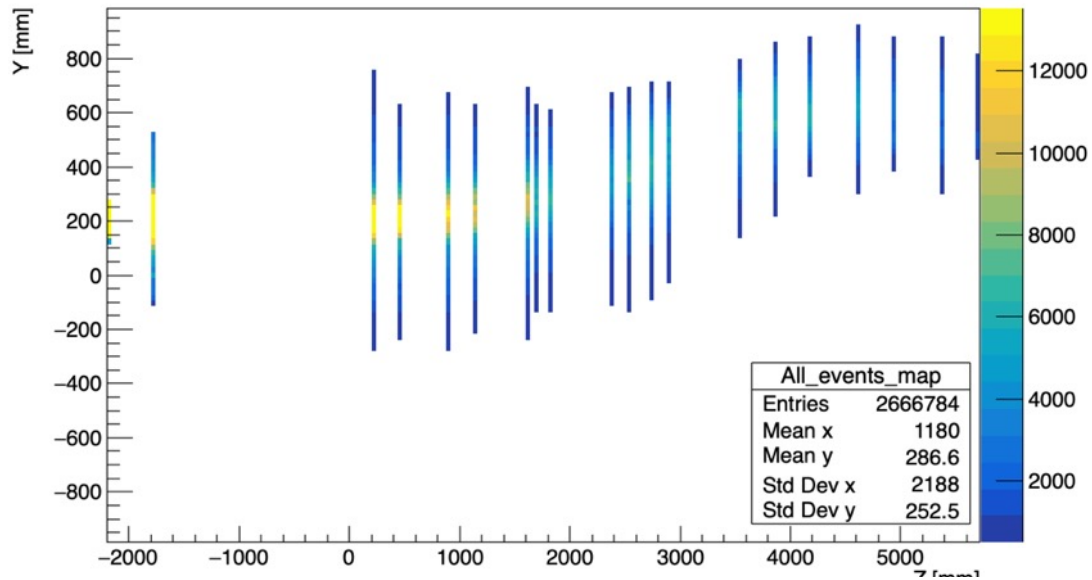
Финальный этап тестирования Baby MIND в ЦЕРНе

Исследование стабильности системы магнитных модулей

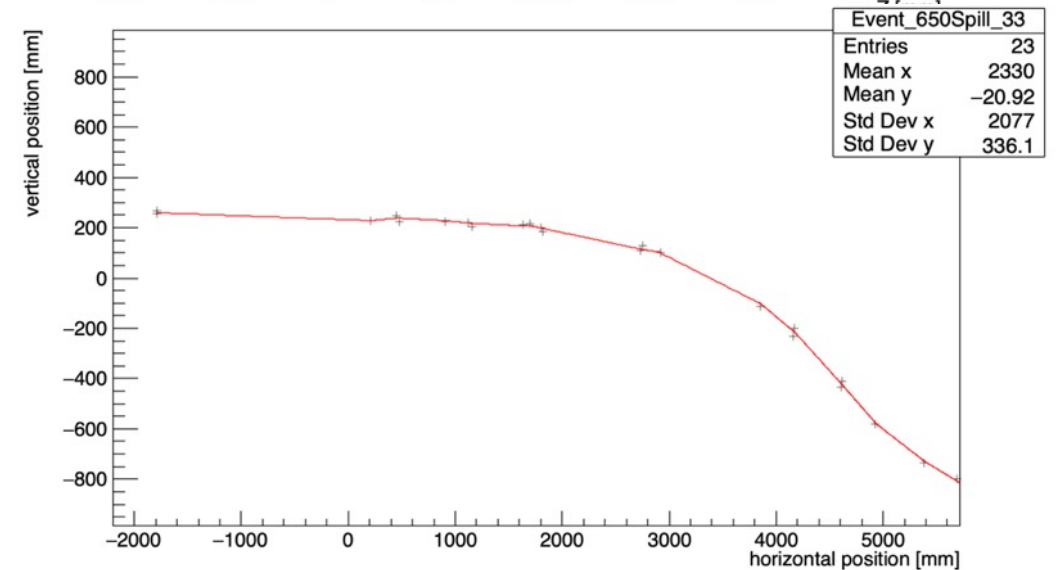
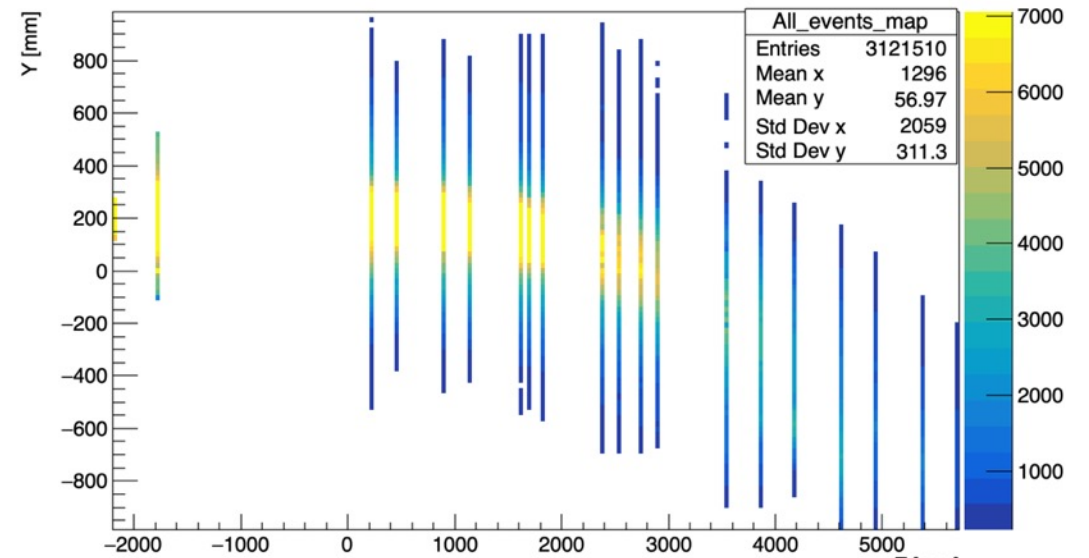


Финальный этап тестирования Baby MIND в ЦЕРНе

Результаты тестов



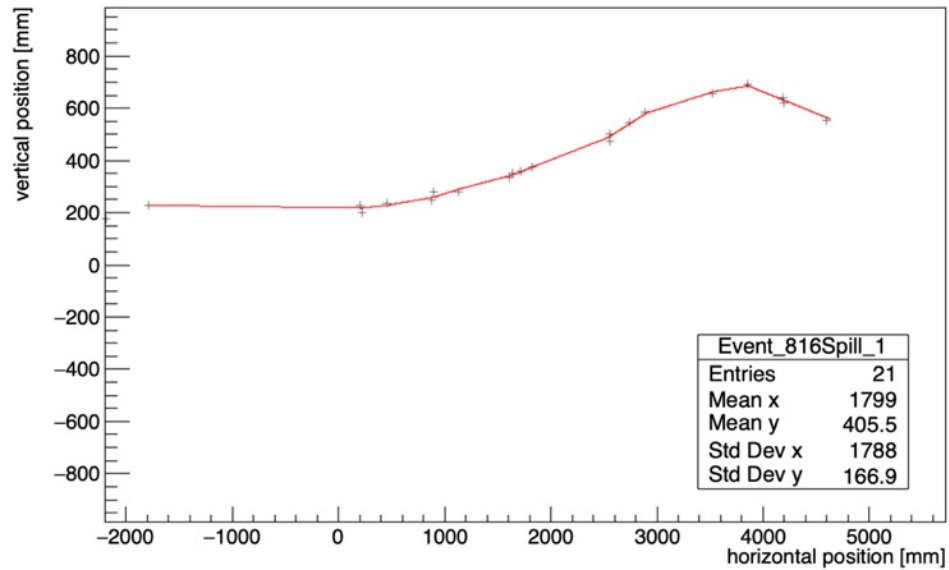
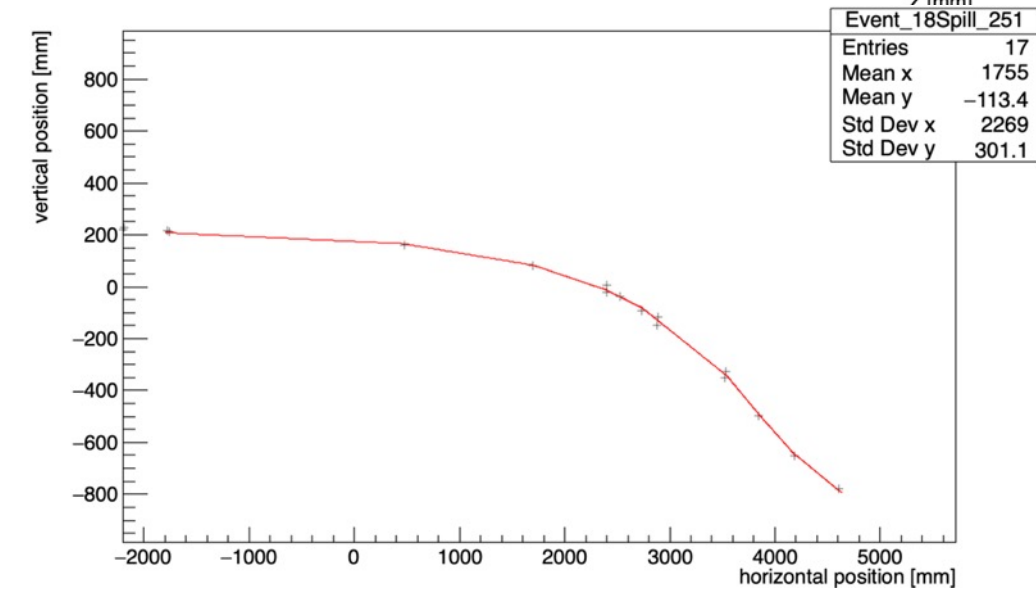
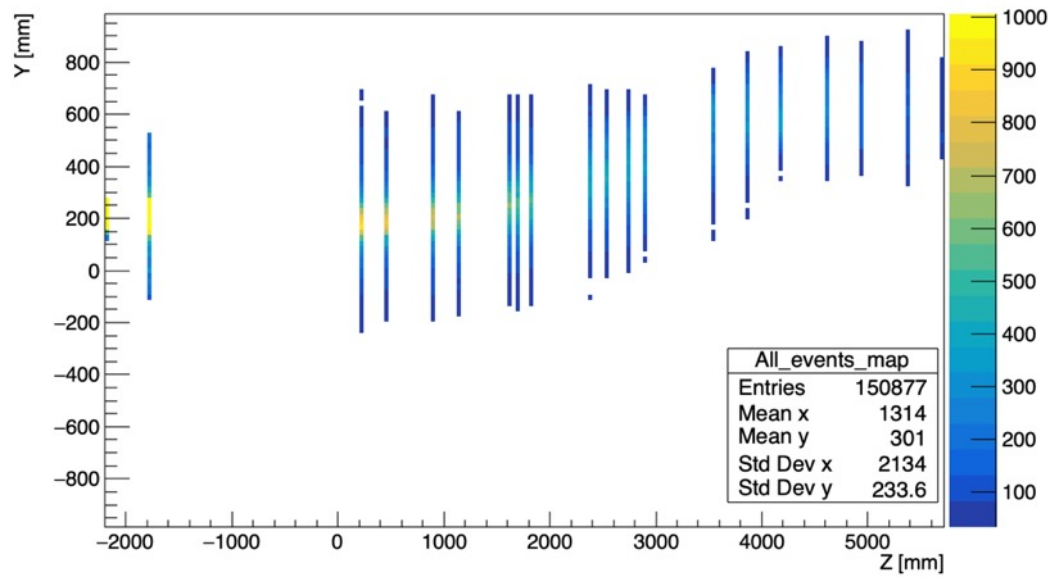
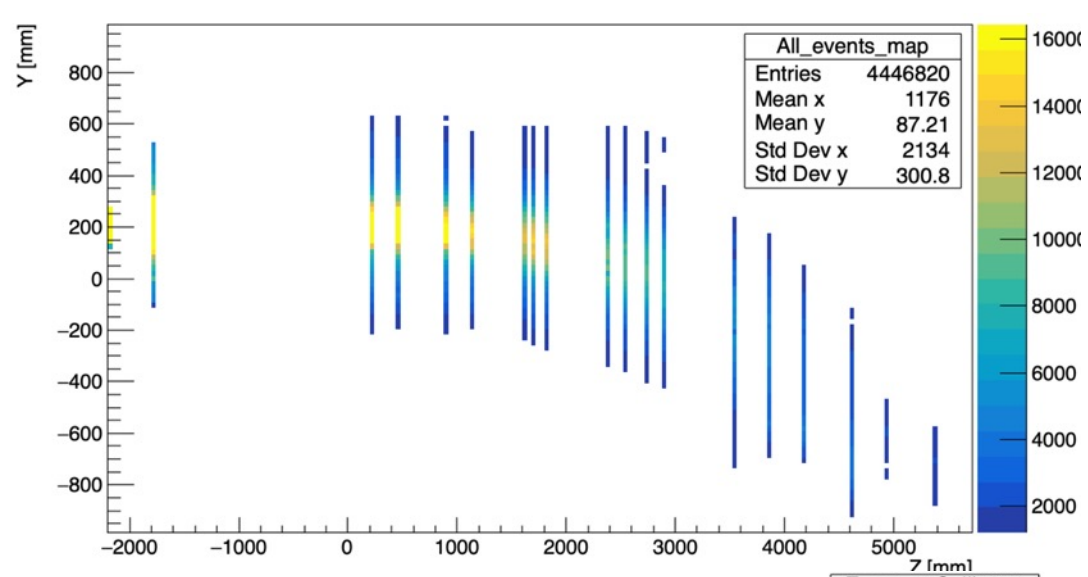
1.5 GeV/c muon reversed



-1.5 GeV/c muon reversed

Финальный этап тестирования Baby MIND в ЦЕРНе

Результаты тестов

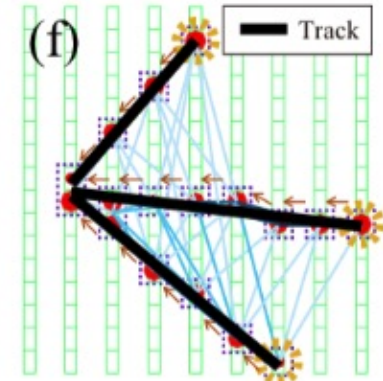
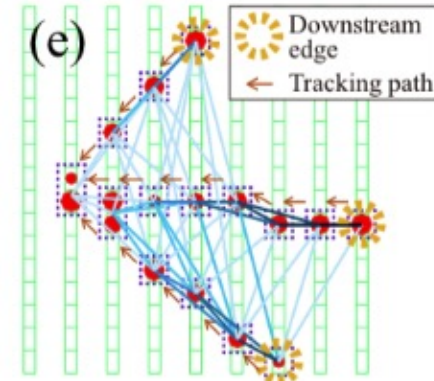
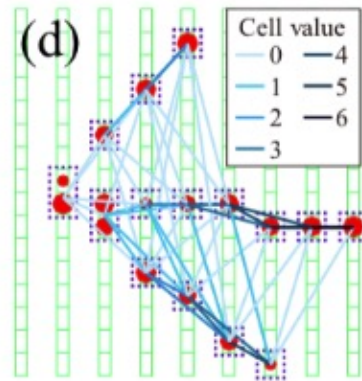
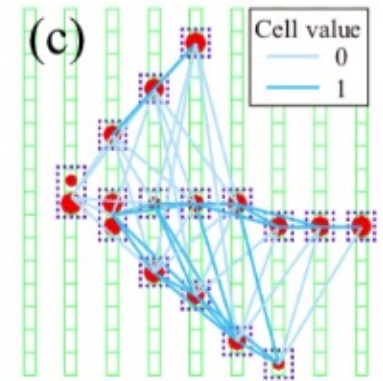
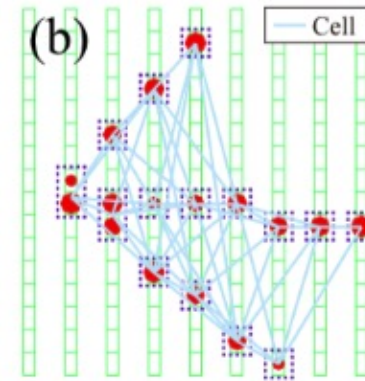
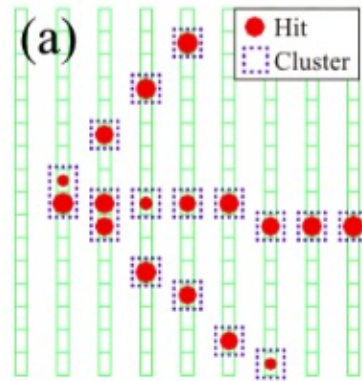
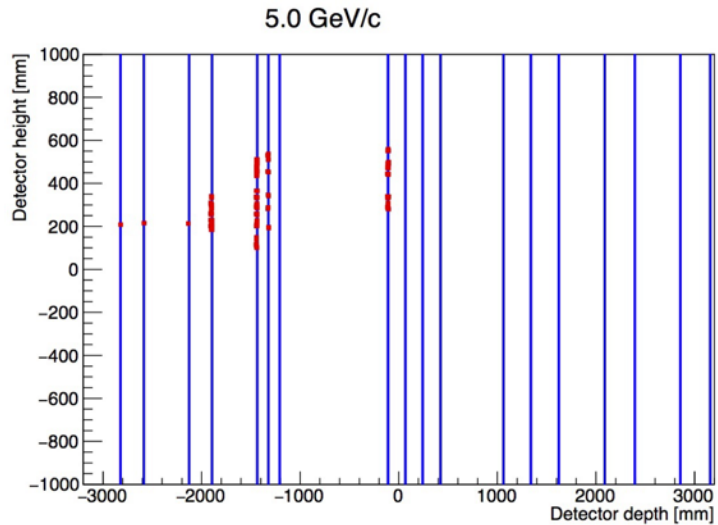
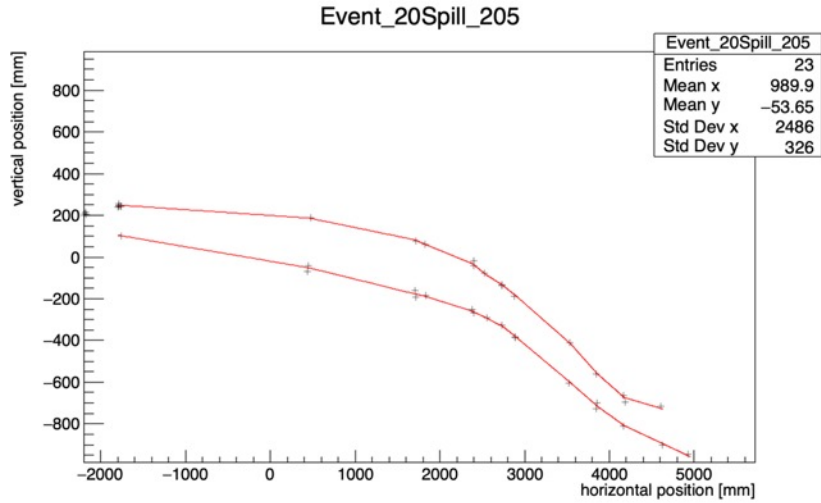


1.5 GeV/c muon forward

-1.5 GeV/c muon forward

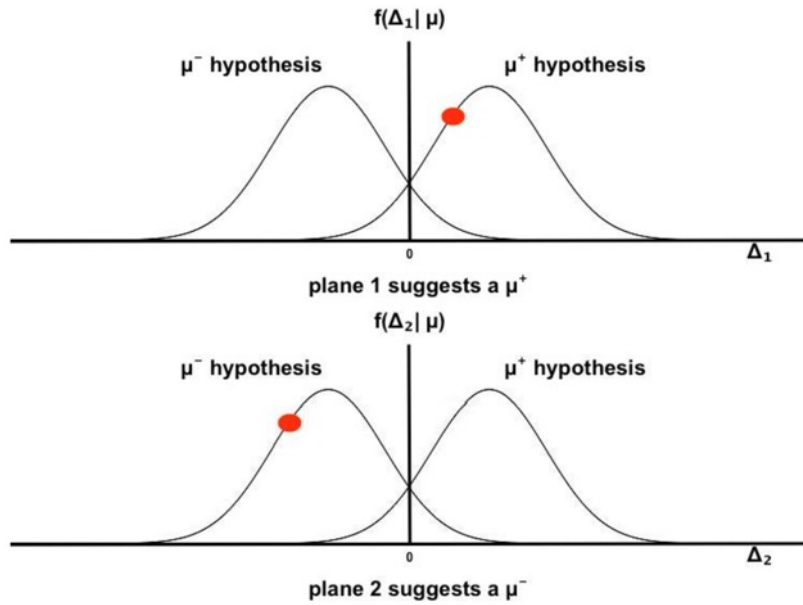
Финальный этап тестирования Baby MIND в ЦЕРНе

Kalman fitter



Финальный этап тестирования Baby MIND в ЦЕРНе

Результаты тестов

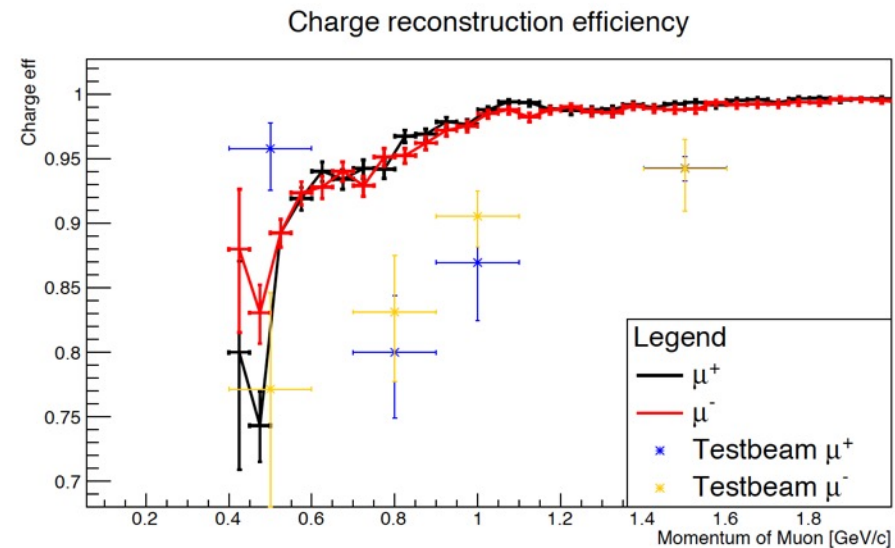
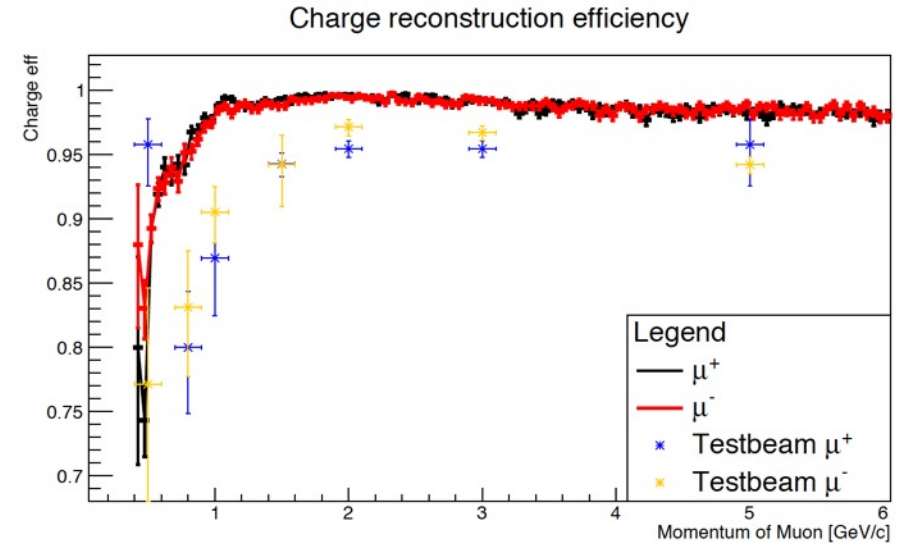


Алгоритм восстановления заряда возвращаем μ^-

$$\frac{f_{\mu^-}(\Delta_1)}{f_{\mu^+}(\Delta_1)} > \frac{f_{\mu^+}(\Delta_2)}{f_{\mu^-}(\Delta_2)}$$

Алгоритм восстановления заряда возвращаем μ^+

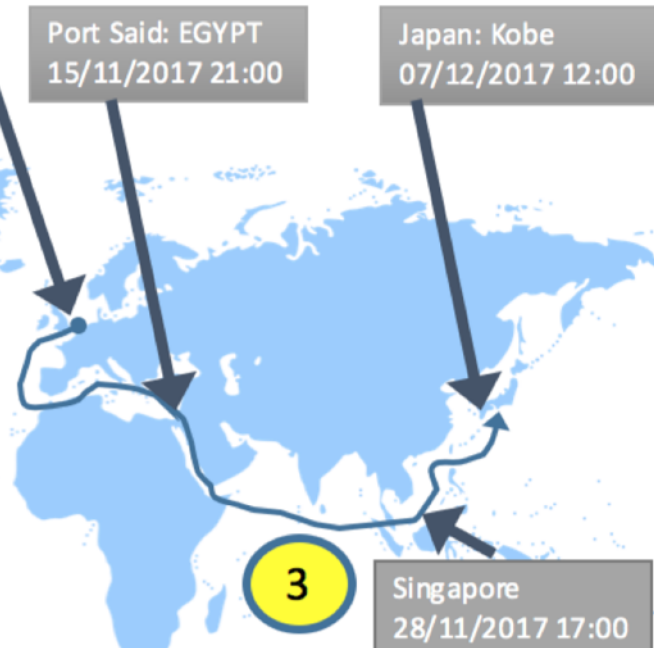
$$\frac{f_{\mu^-}(\Delta_1)}{f_{\mu^+}(\Delta_1)} < \frac{f_{\mu^+}(\Delta_2)}{f_{\mu^-}(\Delta_2)}$$



Baby MIND на нейтринном канале T2K

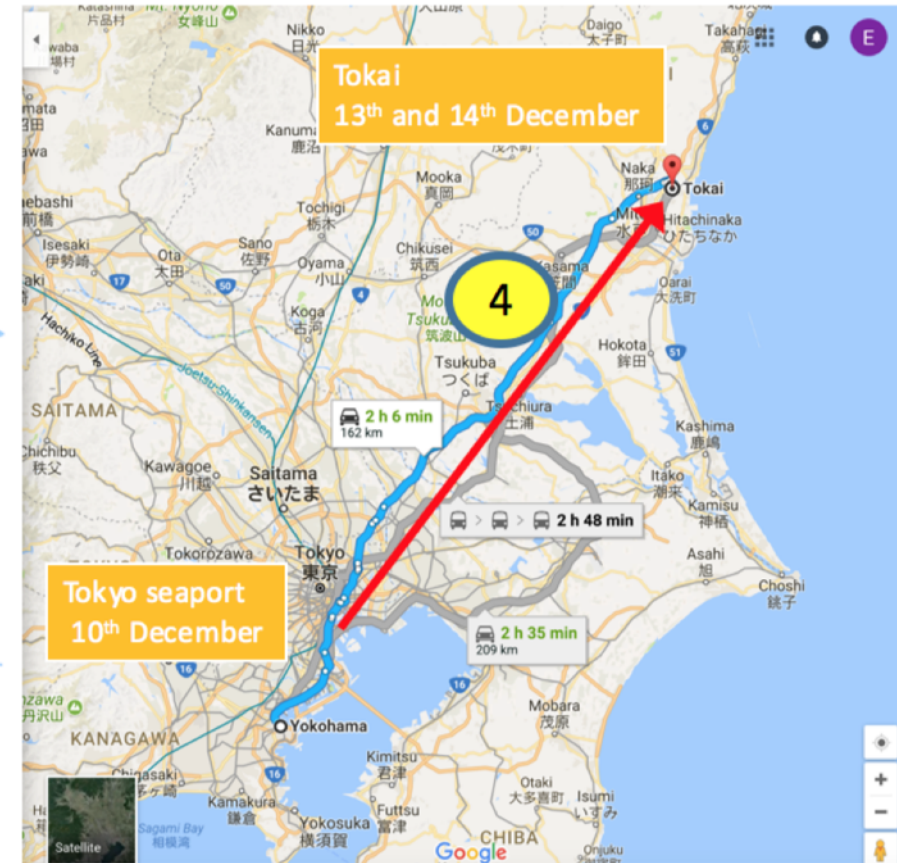


www.marinetraffic.com



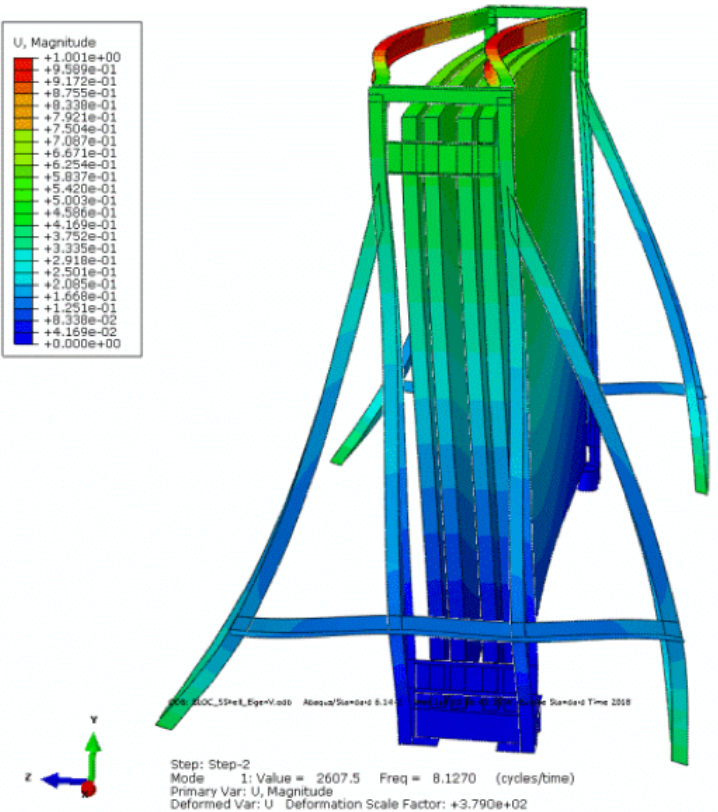
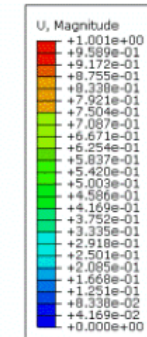
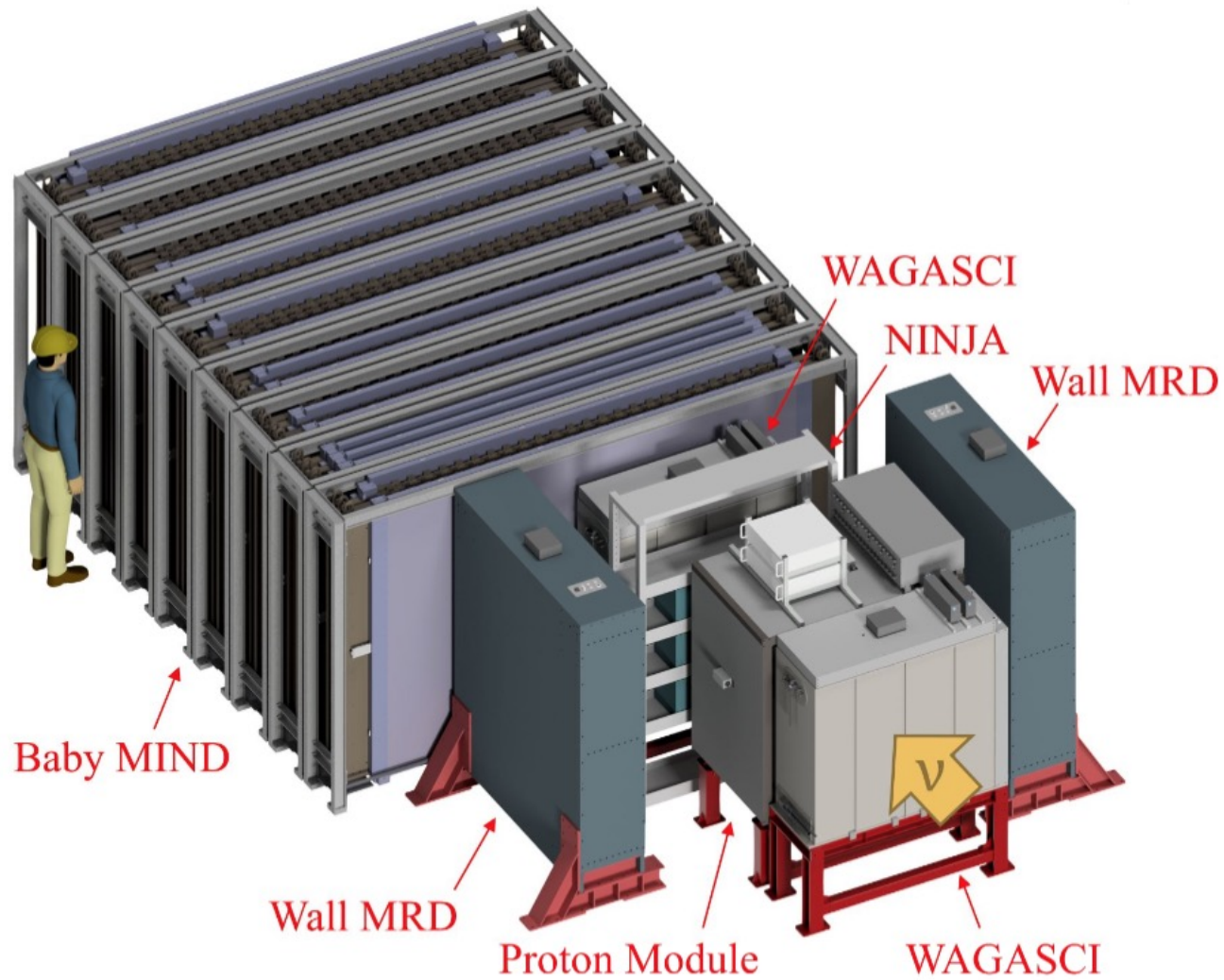
Ship can stop in up to 10 seaports along the way for typically 24-48hrs per stop

No transshipment until Tokyo!



Baby MIND на нейтринном пучке T2K

Изменения в конструкции опорных рам



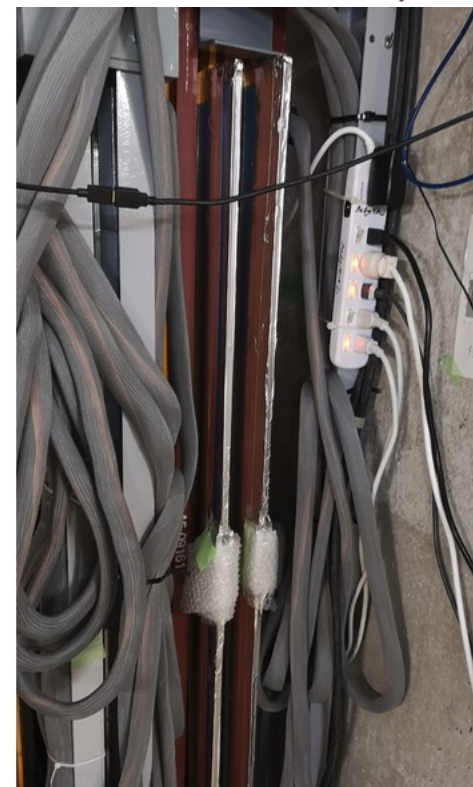
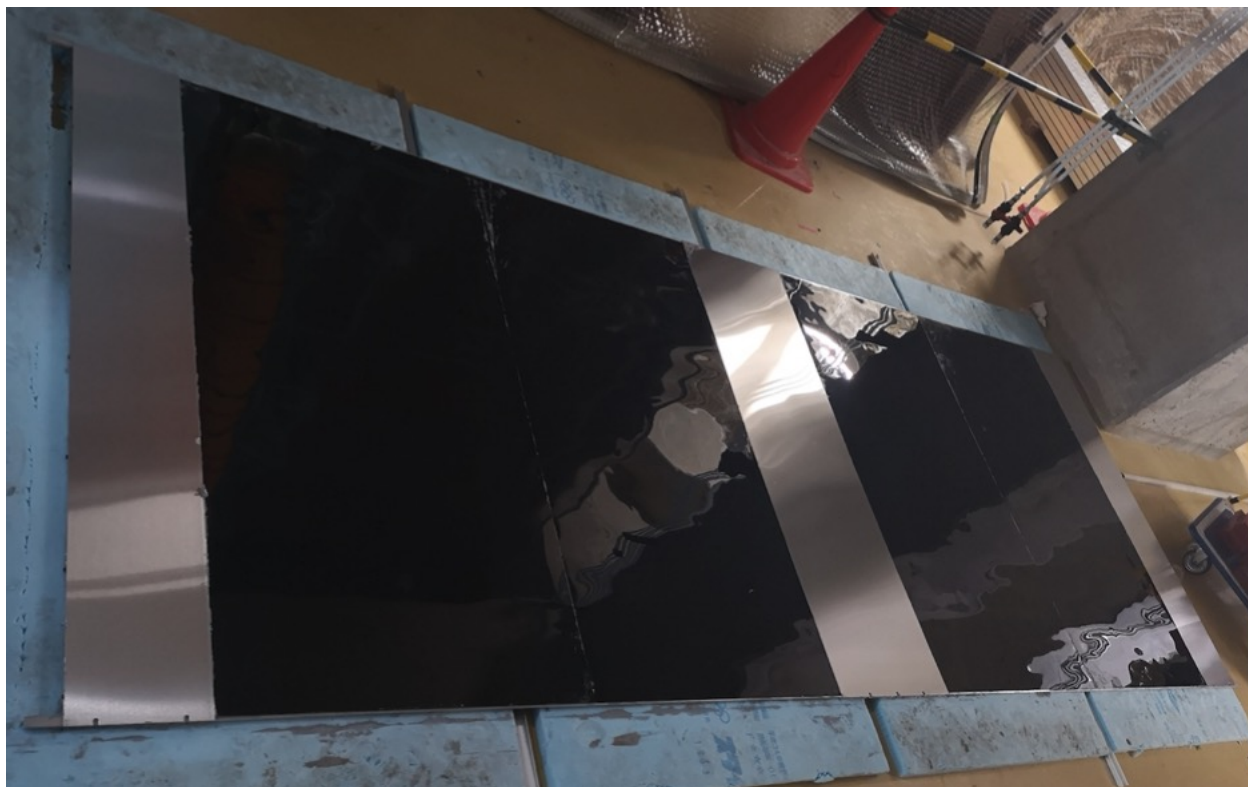
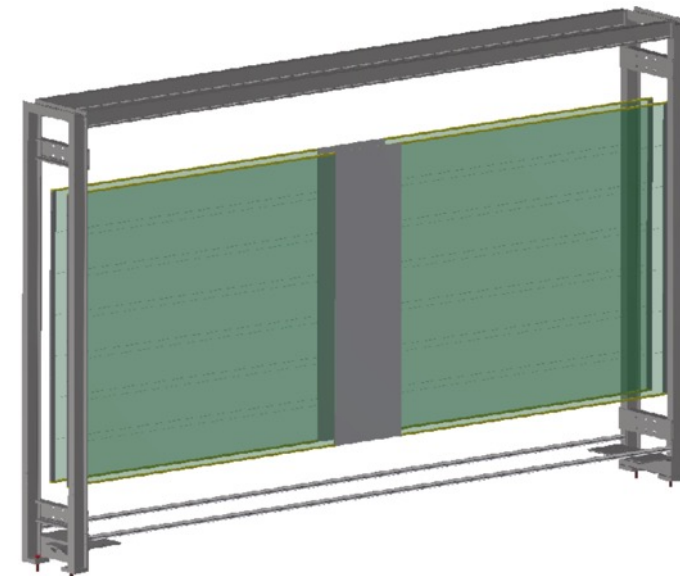
Установка Baby MIND на нейтринном пучке T2K

Коллаборация Baby MIND и компания Daichi Tekko



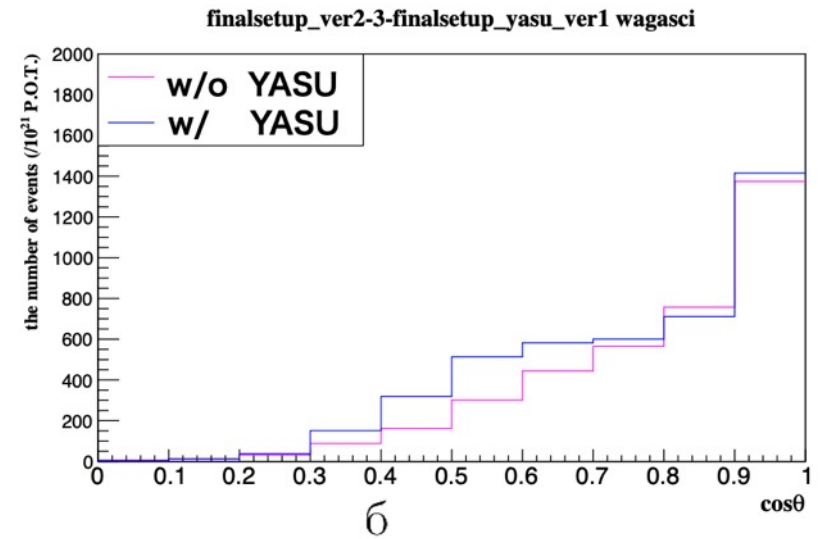
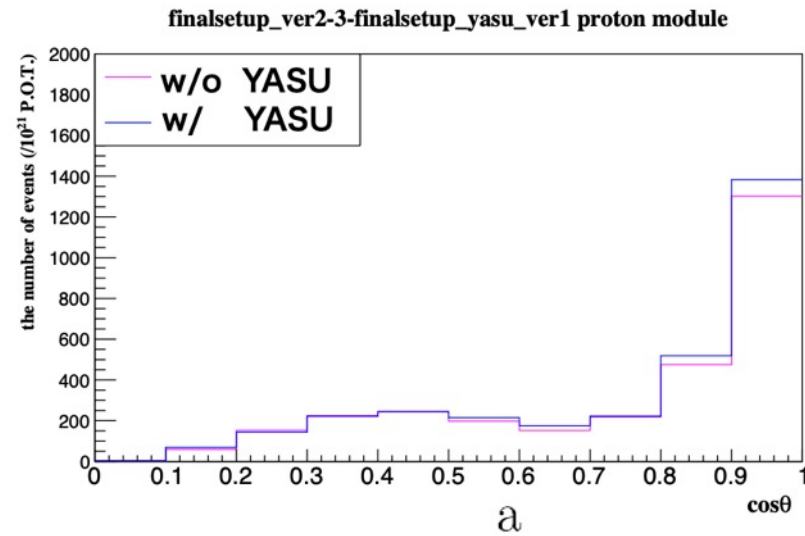
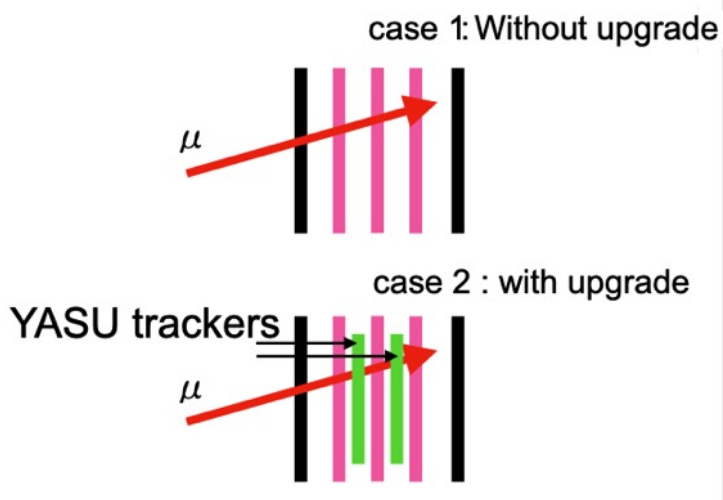
Изменения в конструкции Baby MIND

Установка дополнительных сцинтилляционных модулей YASU



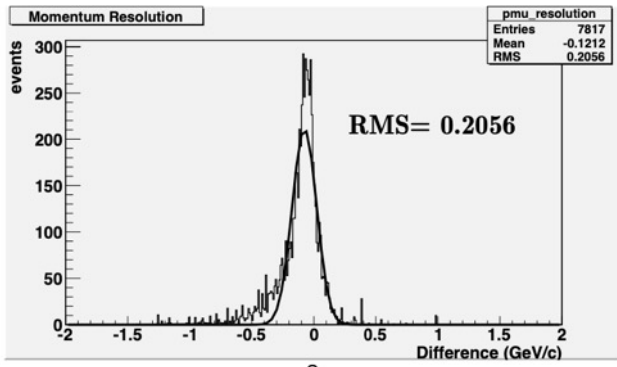
Изменения в конструкции Baby MIND

Необходимость добавления модулей YASU

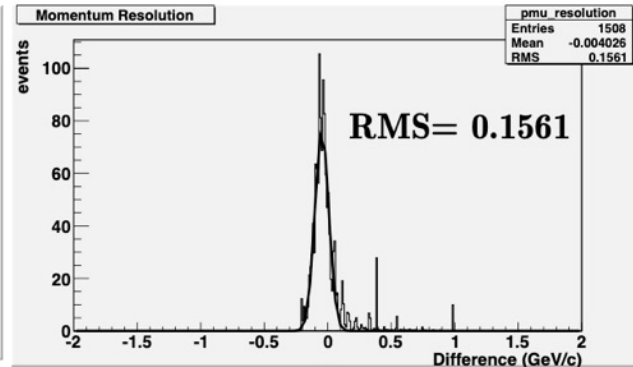


Изменения в конструкции Baby MIND

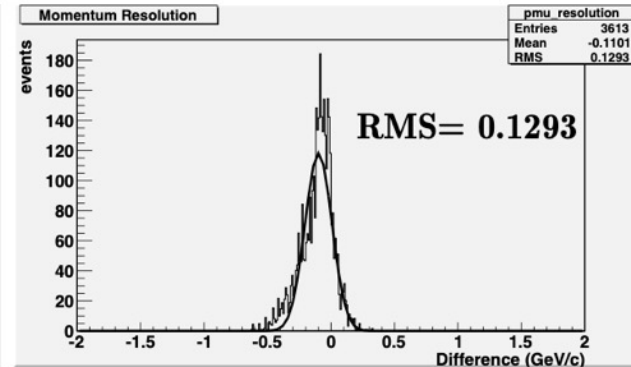
Необходимость добавления модулей YASU



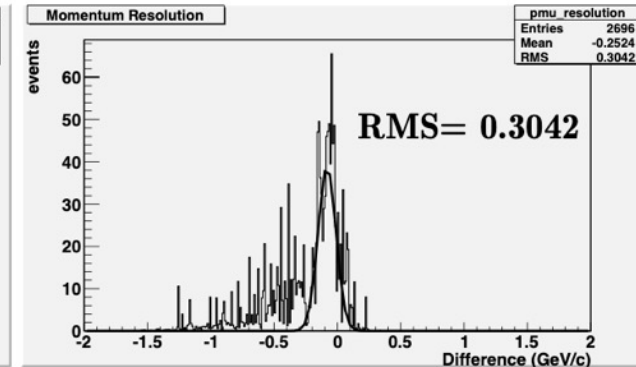
Current configuration



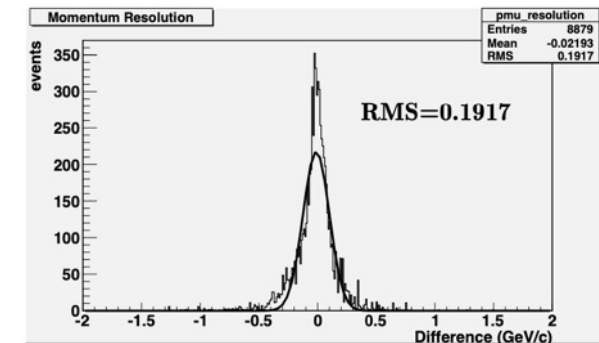
0-0.5 (GeV/c)



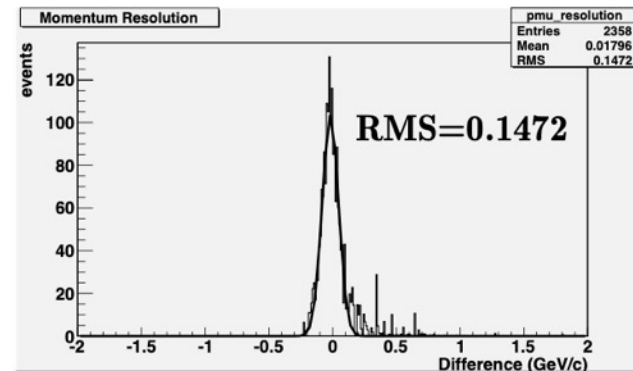
0.5-1.0 (GeV/c)



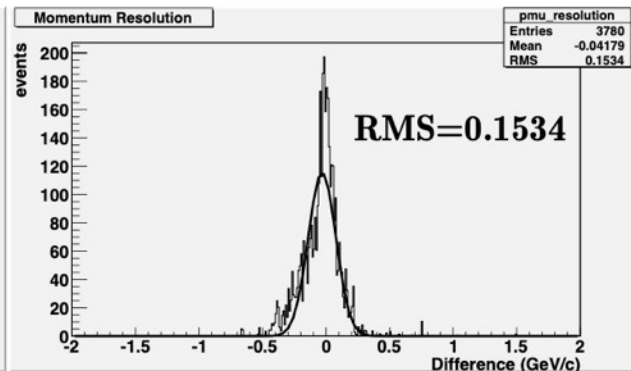
1.0-1.8 (GeV/c)



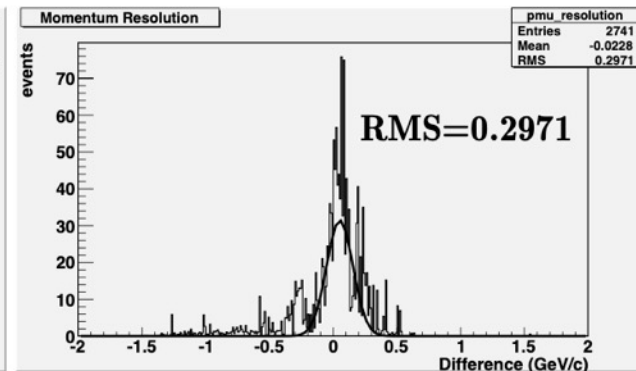
Additional scintillators



0-0.5 (GeV/c)



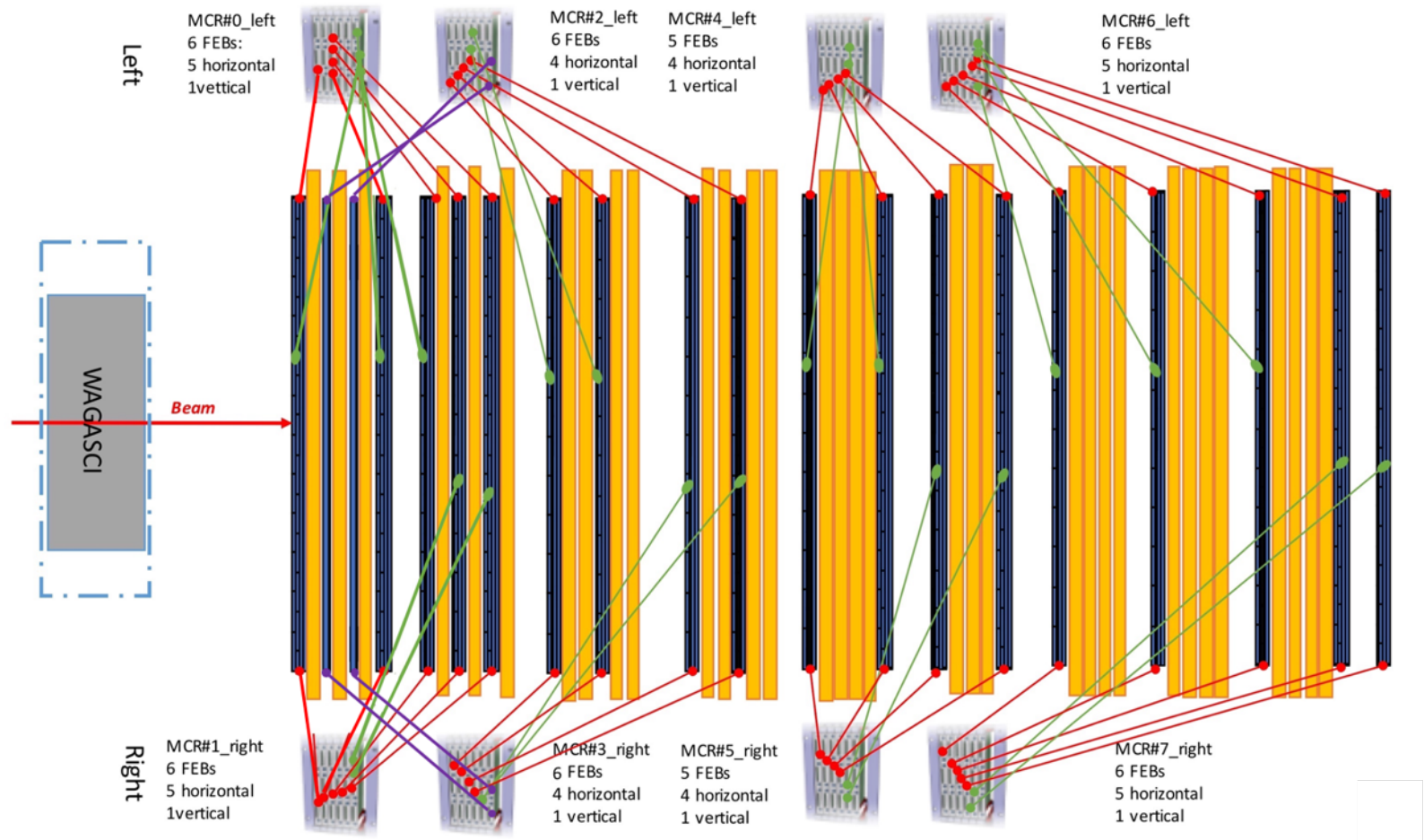
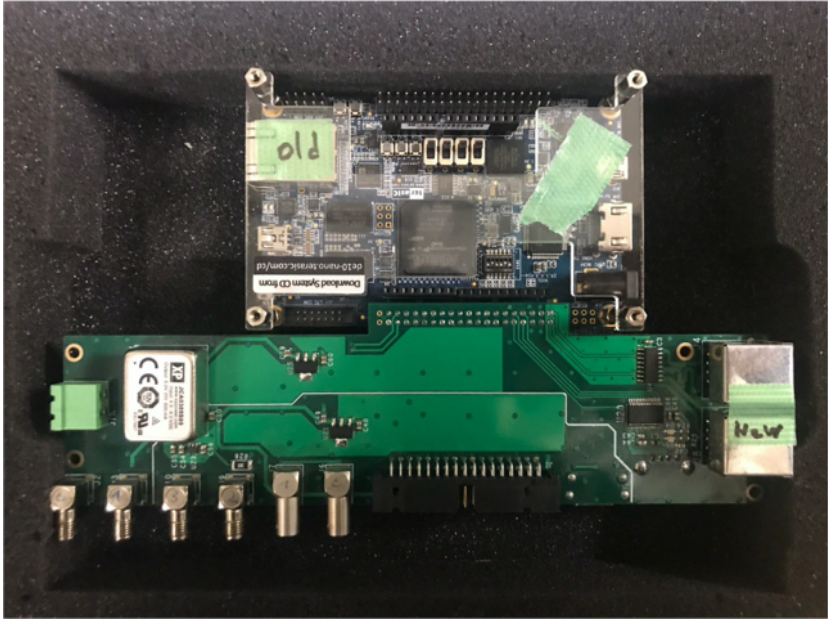
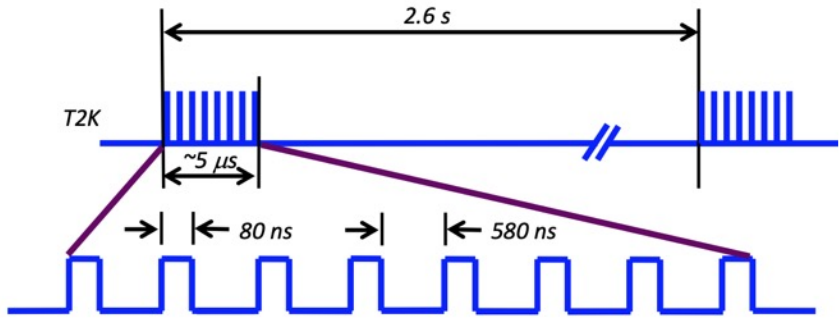
0.5-1.0 (GeV/c)



1.0-1.8 (GeV/c)

Схема подключения детектора Baby MIND

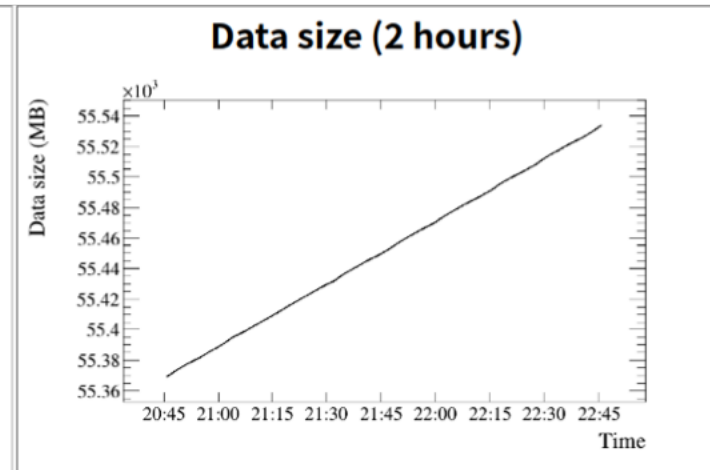
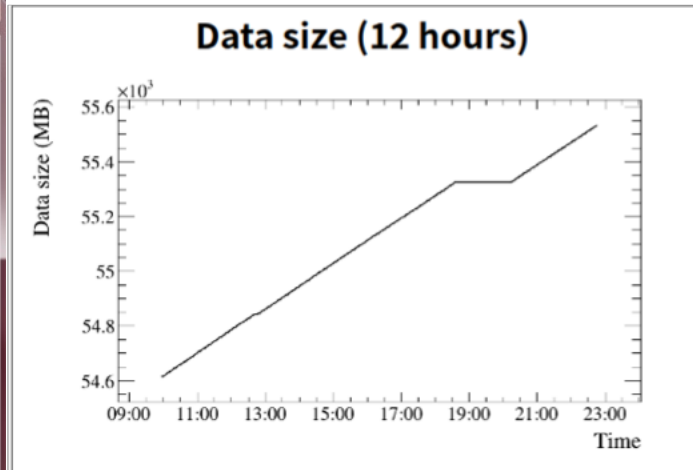
Master Clock Board



Система контроля и сбора данных Baby MIND

DAQ сервер и клиент

The screenshot shows the 'MainWindow' interface for connecting to a DAQ PC. It displays the IP address 10.128.45.2 and is connected. The interface is divided into sections for MCR 5, MCR 6, and MCR 7, each showing 'Is transferring data: True' and various DAQ statistics like file names, total times, KBytes, and Xfer rates. At the bottom, there are several control buttons: 'Get All Status', 'Get All Firmware', 'Get All Run Status', 'Get Spill Number', 'Get All Monitoring Values', 'Get App Settings', 'Set Run Properties' (with 'Run Number: 0' and 'Run Type: cosmic'), 'All Prepare DAQ', 'Start Trigger', 'Stop Trigger', 'All Stop DAQ', 'Unknown', 'Enable DAQ buttons', 'Start Continuous Monitoring', 'Stop Continuous Monitoring', 'Save Log Screen', 'Clear Log Screen', 'Exit DAQ Server', and 'Help'.



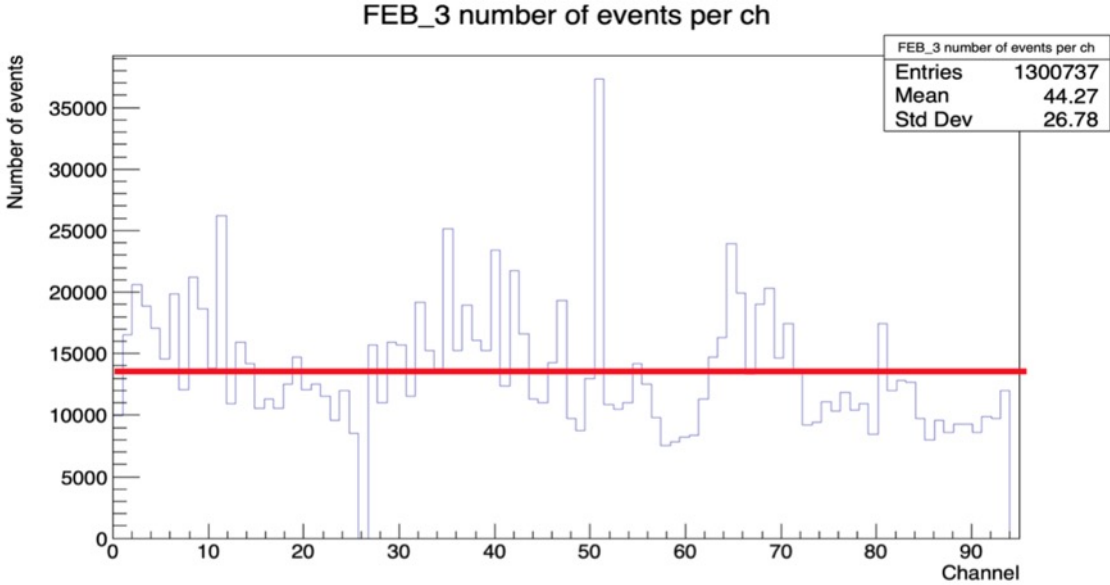
DAQ control window

The screenshot shows a terminal window titled '10.128.45.2 - Tera Term VT'. It displays a series of log messages indicating that DAQ transfer completed for multiple threads (Thread #0 through #7) upon user or script request, with a response of 'OK'. Below this, there is a large block of JSON-like data representing MCRs, including fields for 'FileSize', 'IsTr?', 'MCB', and 'SpillNumber'.

Система контроля качества собранных данных Baby MIND

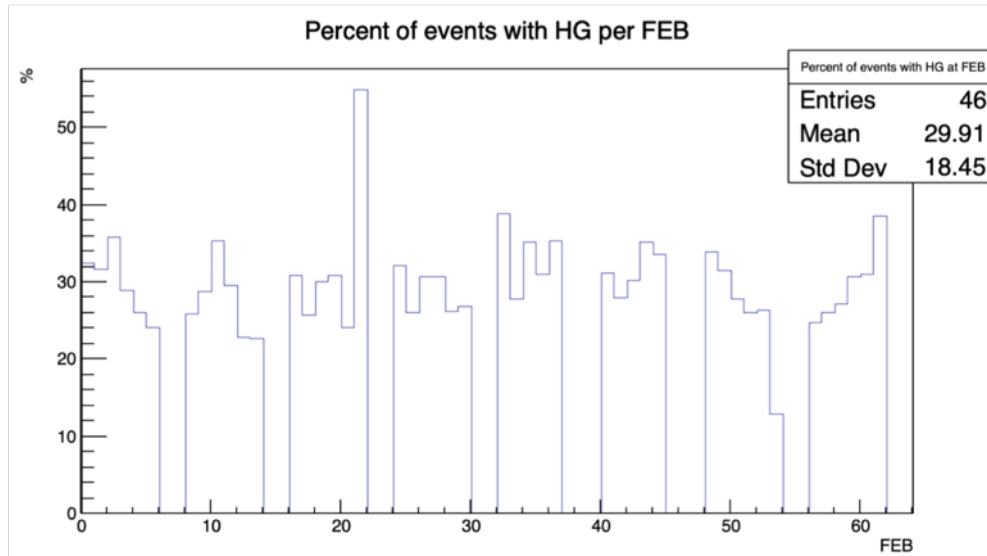
Data quality check проверка каналов

Channels check summary:	
Total Number of channels - 4024	
Noisy Channels: FEB_0 channel 49 FEB_0 channel 51 FEB_1 channel 81 FEB_5 channel 63 FEB_8 channel 7 FEB_8 channel 47 FEB_19 channel 11 FEB_25 channel 16 FEB_26 channel 64 FEB_26 channel 69 FEB_34 channel 17 FEB_42 channel 47 FEB_59 channel 67 FEB_59 channel 81 FEB_60 channel 43 FEB_60 channel 49	Less Noisy Channels: 0
	Dead Channels: 0

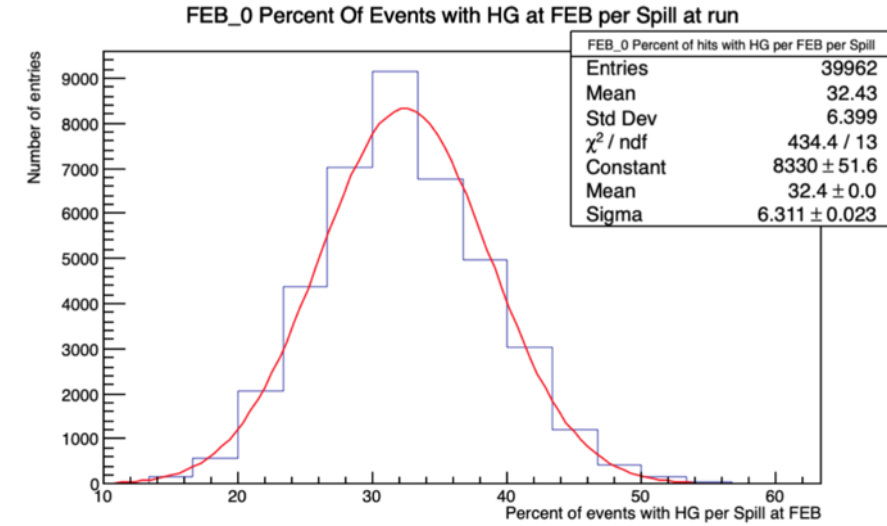


Система контроля качества собранных данных Baby MIND

Data quality check проверка синхронизации и оцифровки сигналов

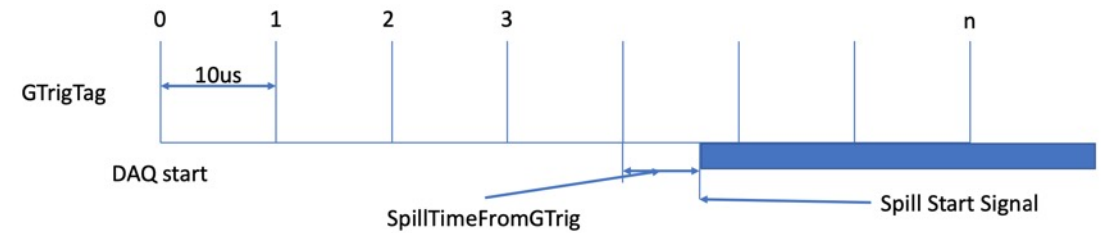
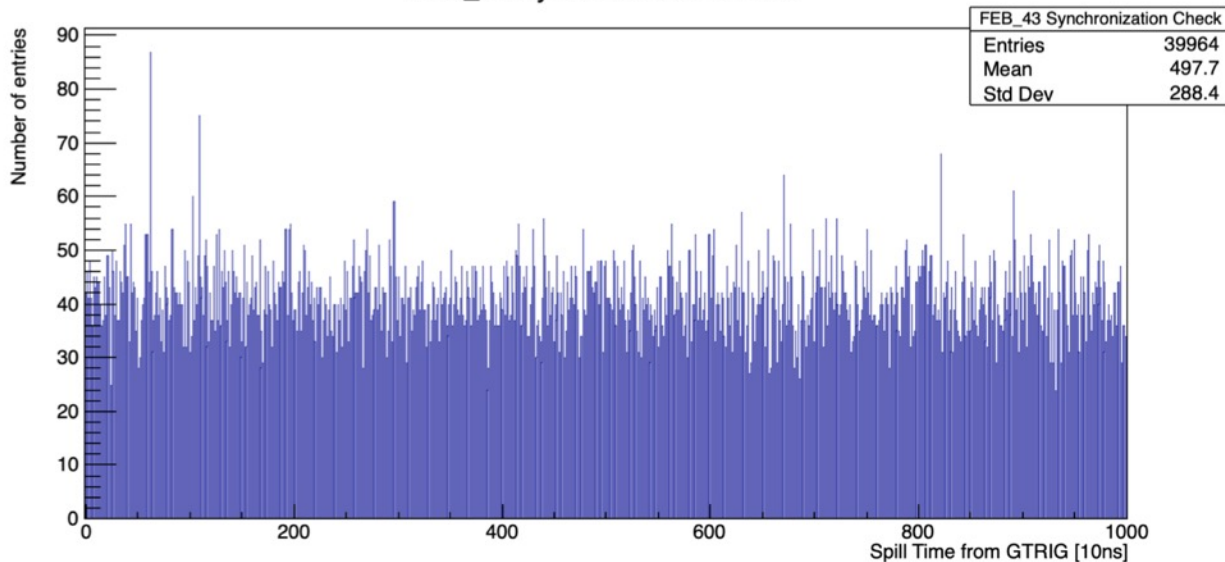


a



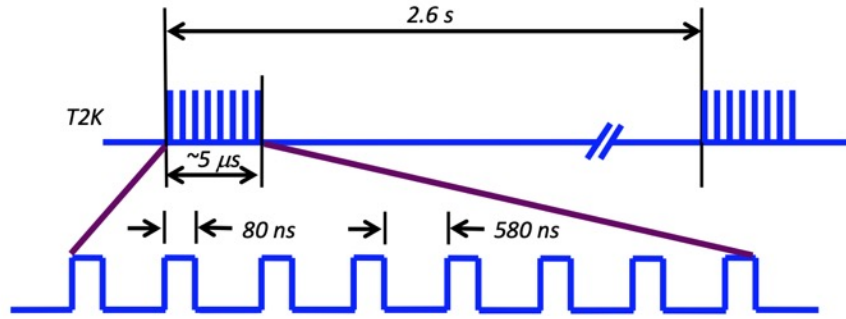
б

FEB_43 Synchronization Check

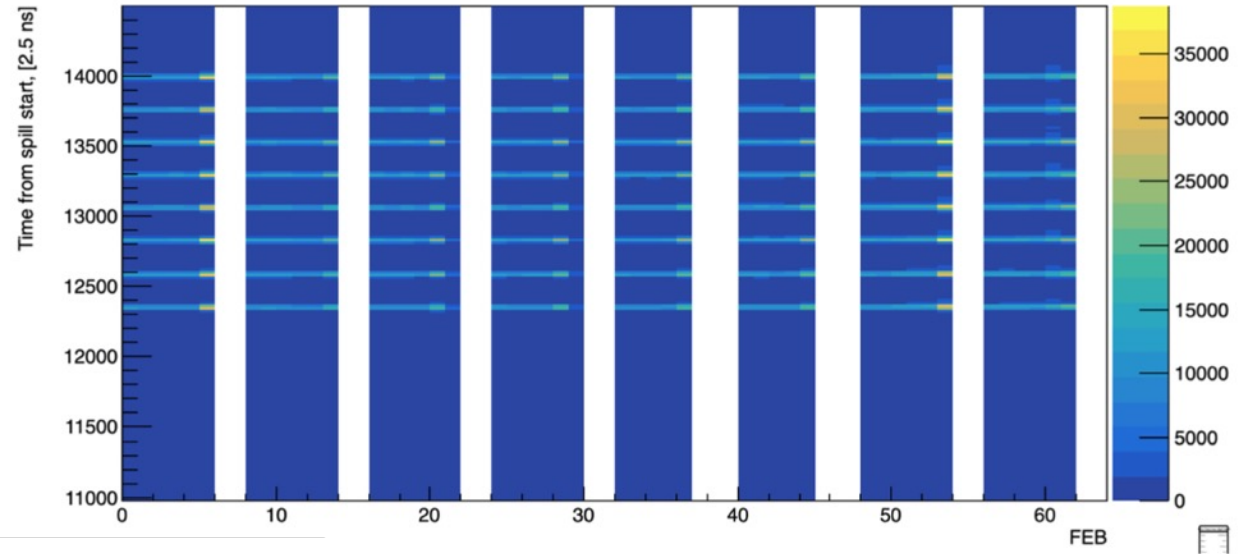


Система контроля качества собранных данных Baby MIND

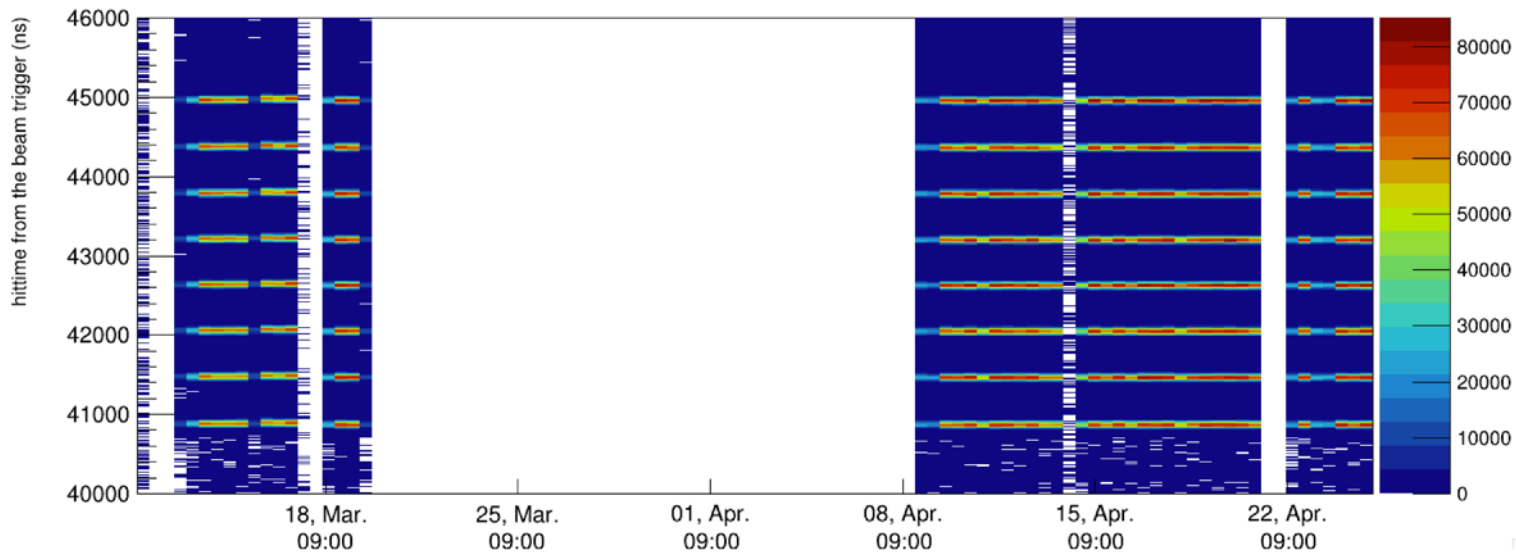
Data quality check проверка синхронизации



Hit's Time from Spill Start

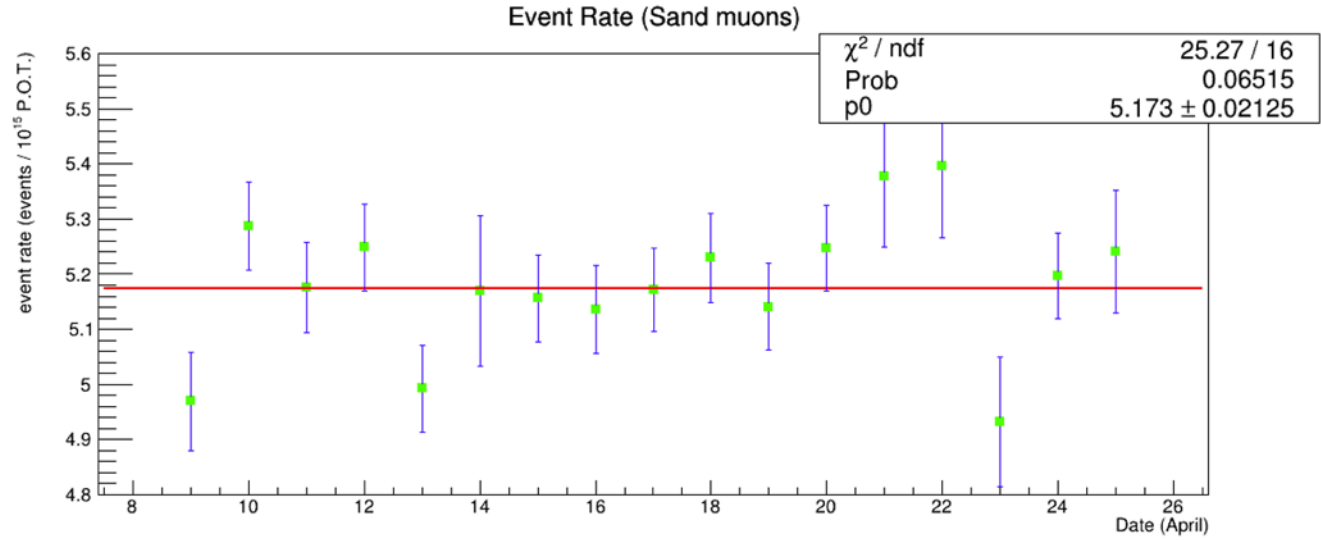
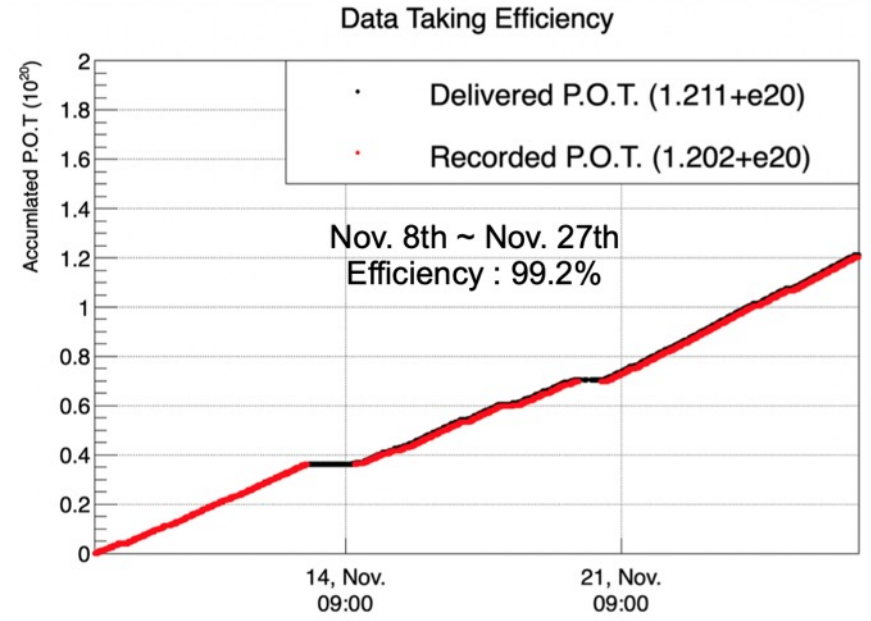
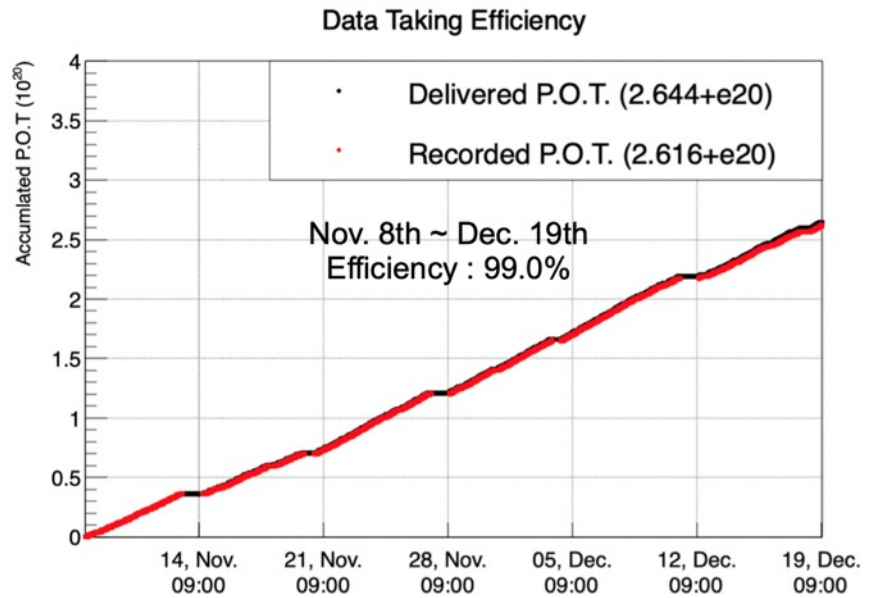


Hittime History



Система контроля качества собранных данных Baby MIND

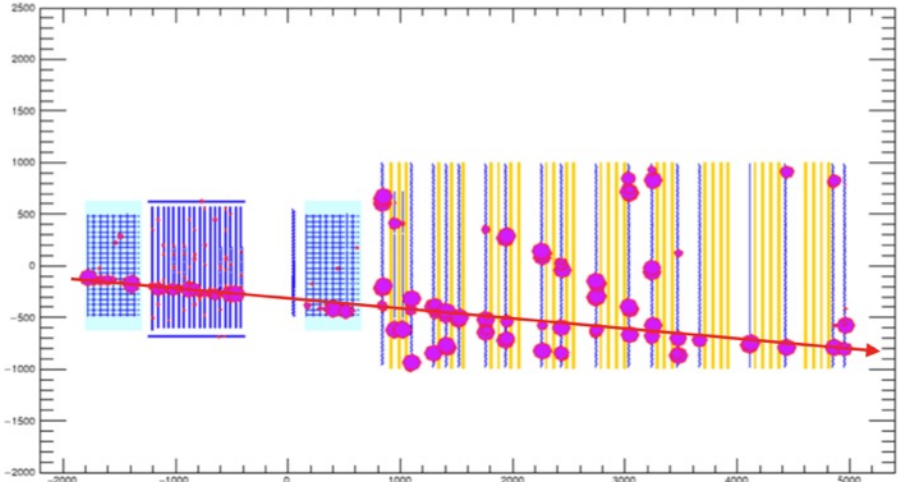
Data quality check проверка количества событий на P.O.T.



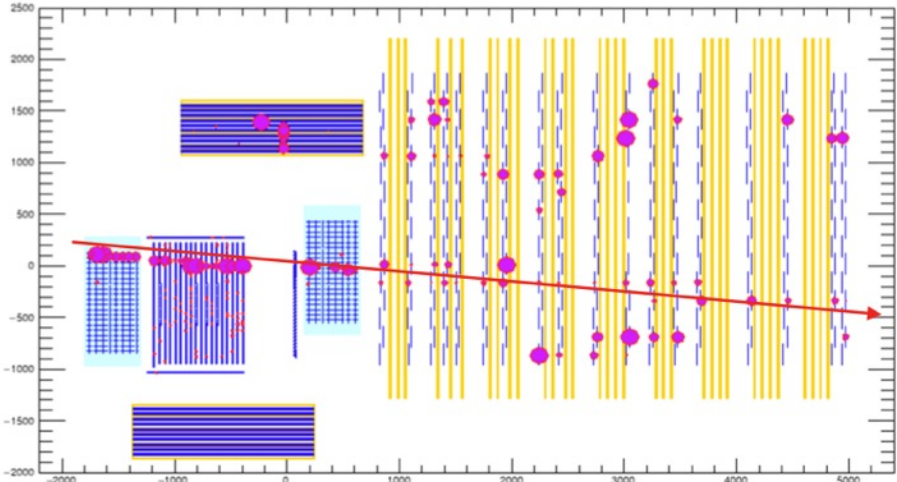
Система контроля качества собранных данных Baby MIND

Data quality check проверка синхронизации с другими детекторами

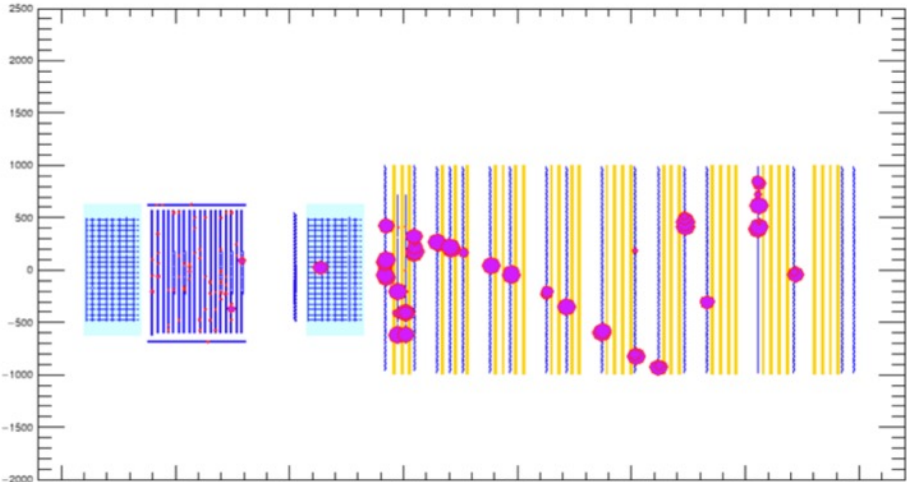
Side View



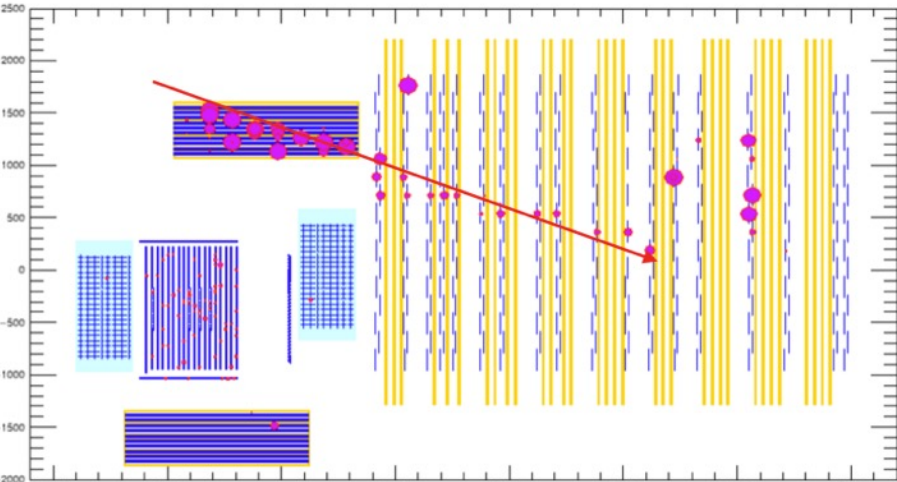
Top View



Side View

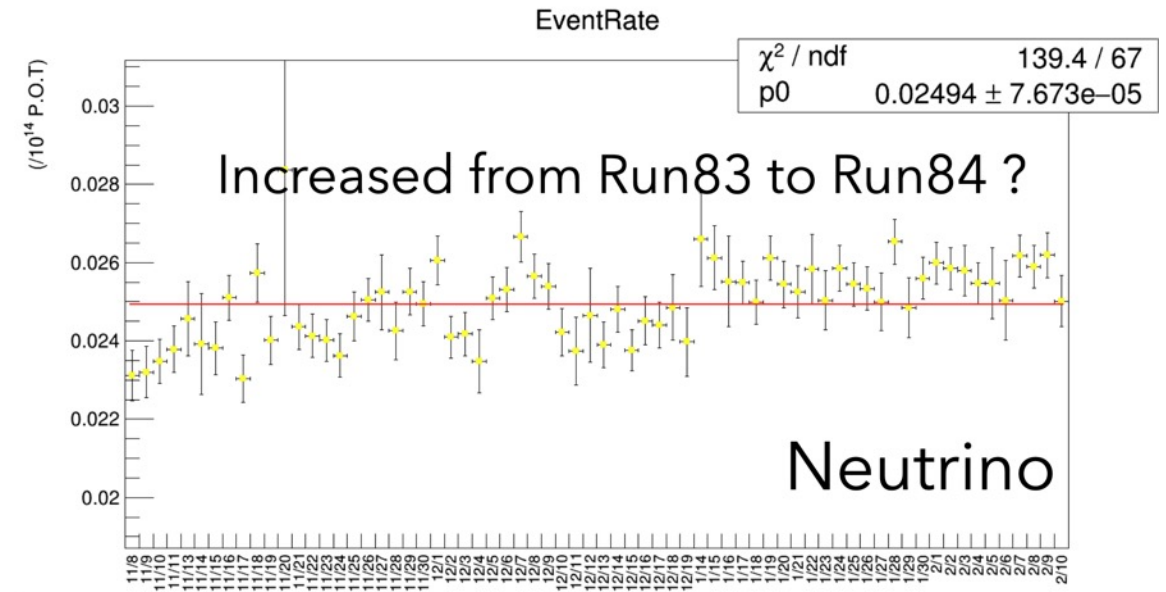
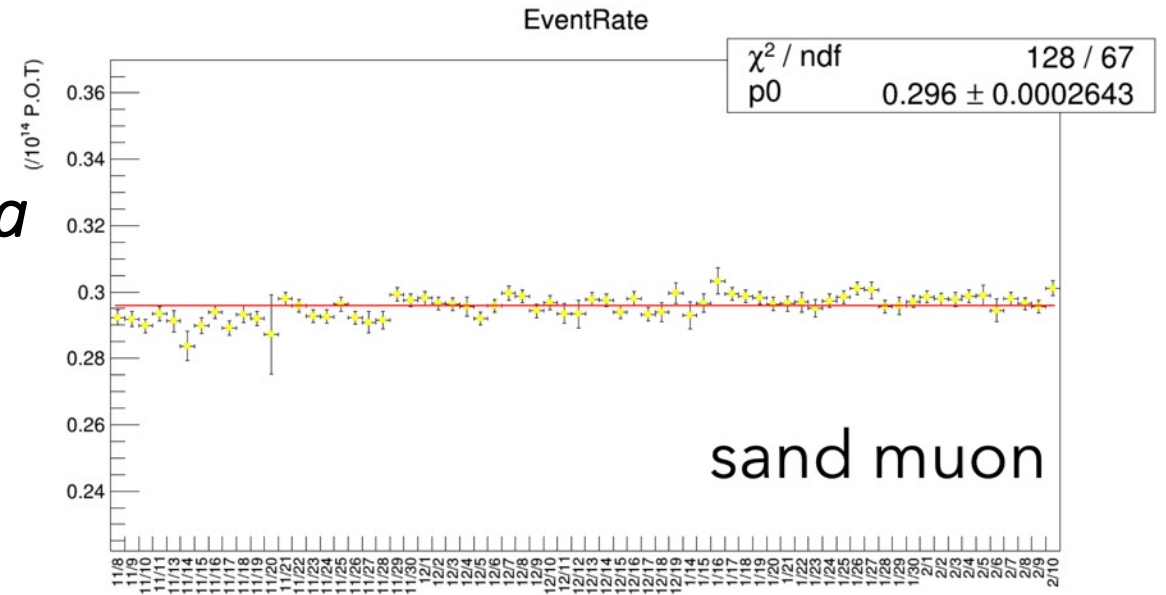
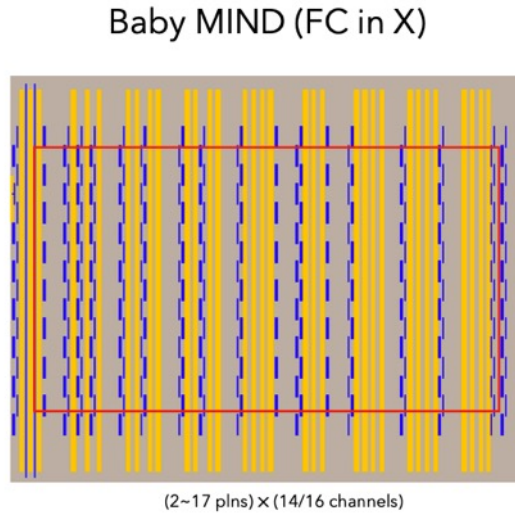
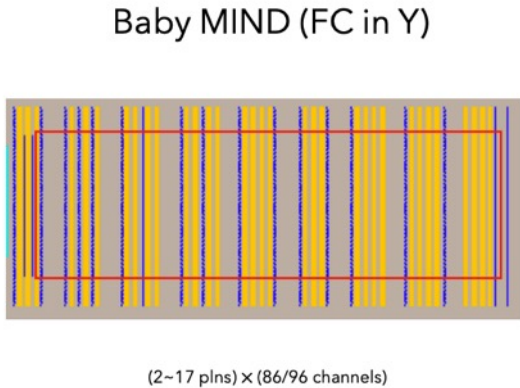


Top View



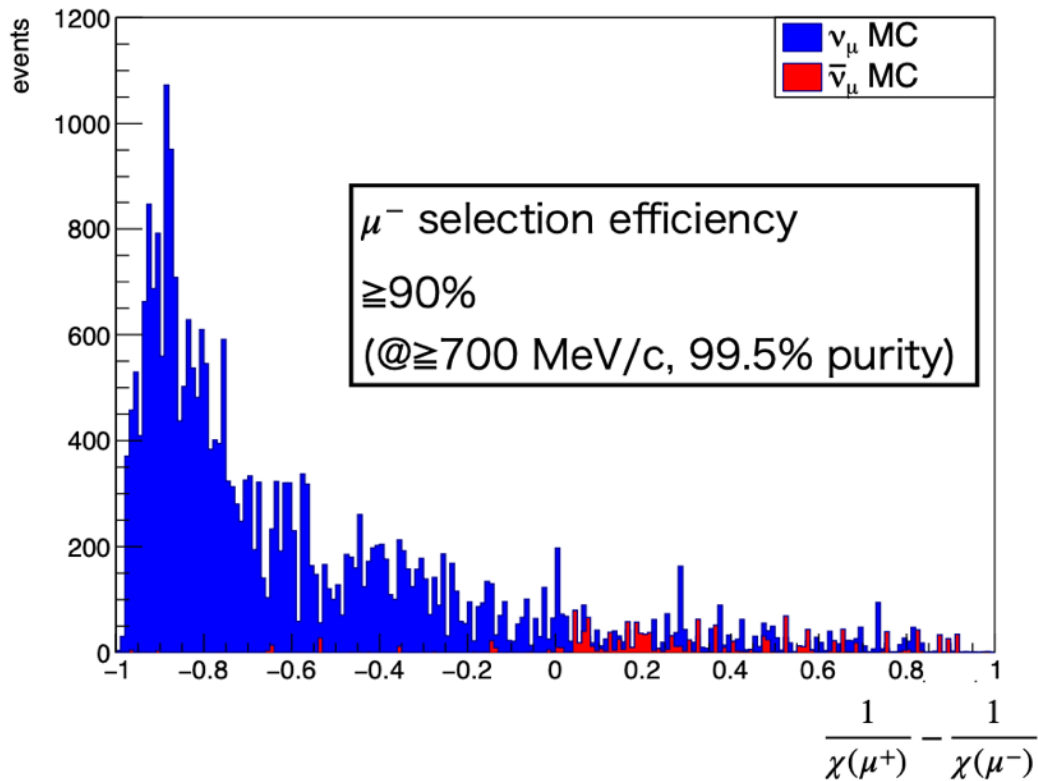
Система контроля качества собранных данных Baby MIND

Data quality check проверка количества событий на P.O.T.

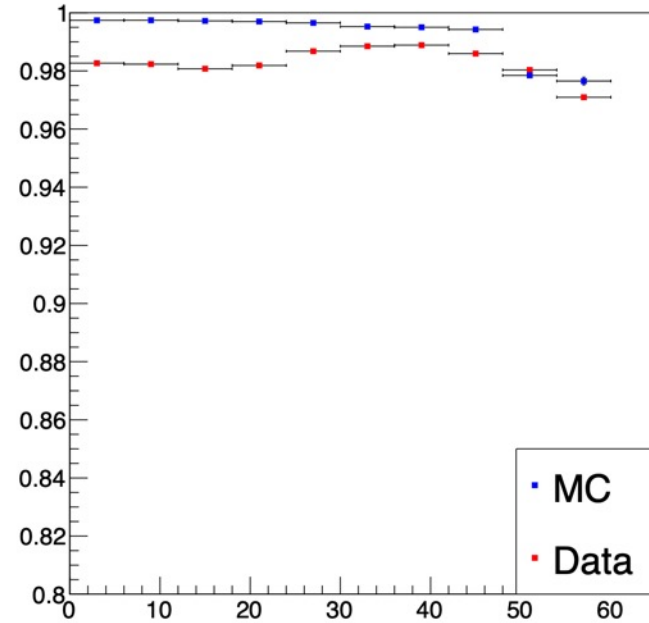


Определение заряда

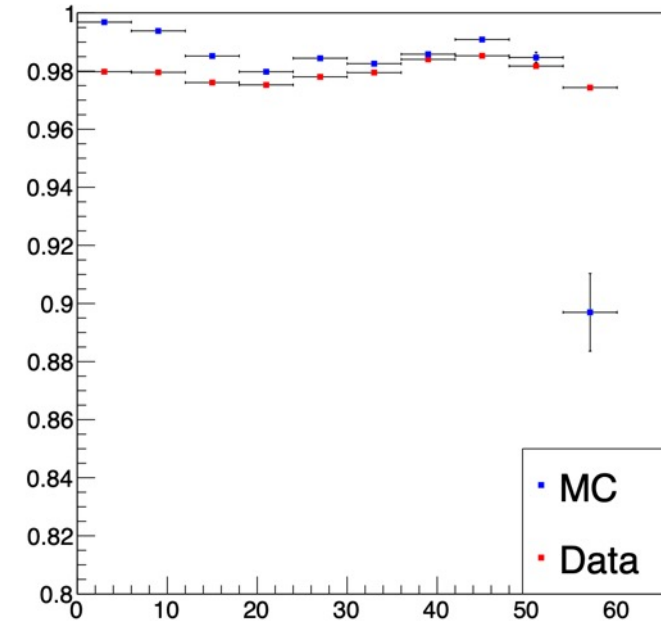
Эффективность определения заряда



Baby MIND X



Baby MIND Y



$\chi^2(\mu^+)$: χ^2 предположения, что частица μ^+

$\frac{1}{\chi^2(\mu^+)}$: чем больше это значение, тем больше вероятность, что частица μ^+

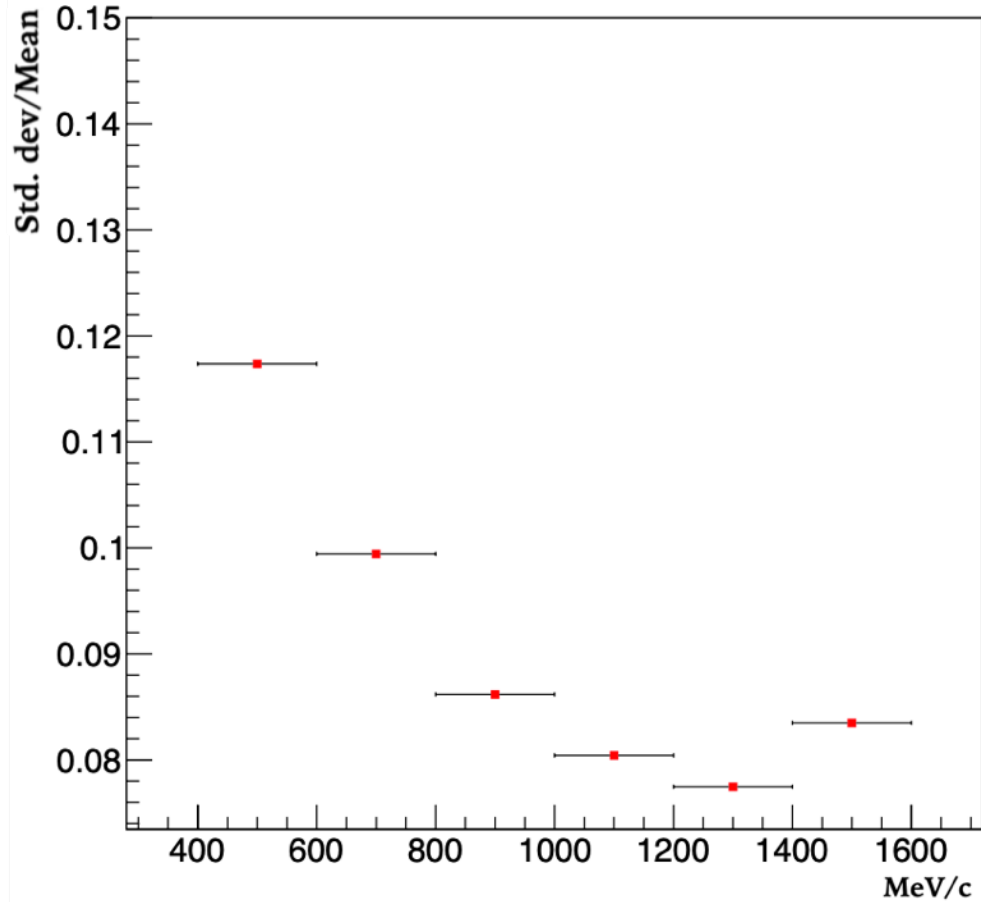
$\chi^2(\mu^-)$: χ^2 предположения, что частица μ^-

$\frac{1}{\chi^2(\mu^-)}$: чем больше это значение, тем больше вероятность, что частица μ^-

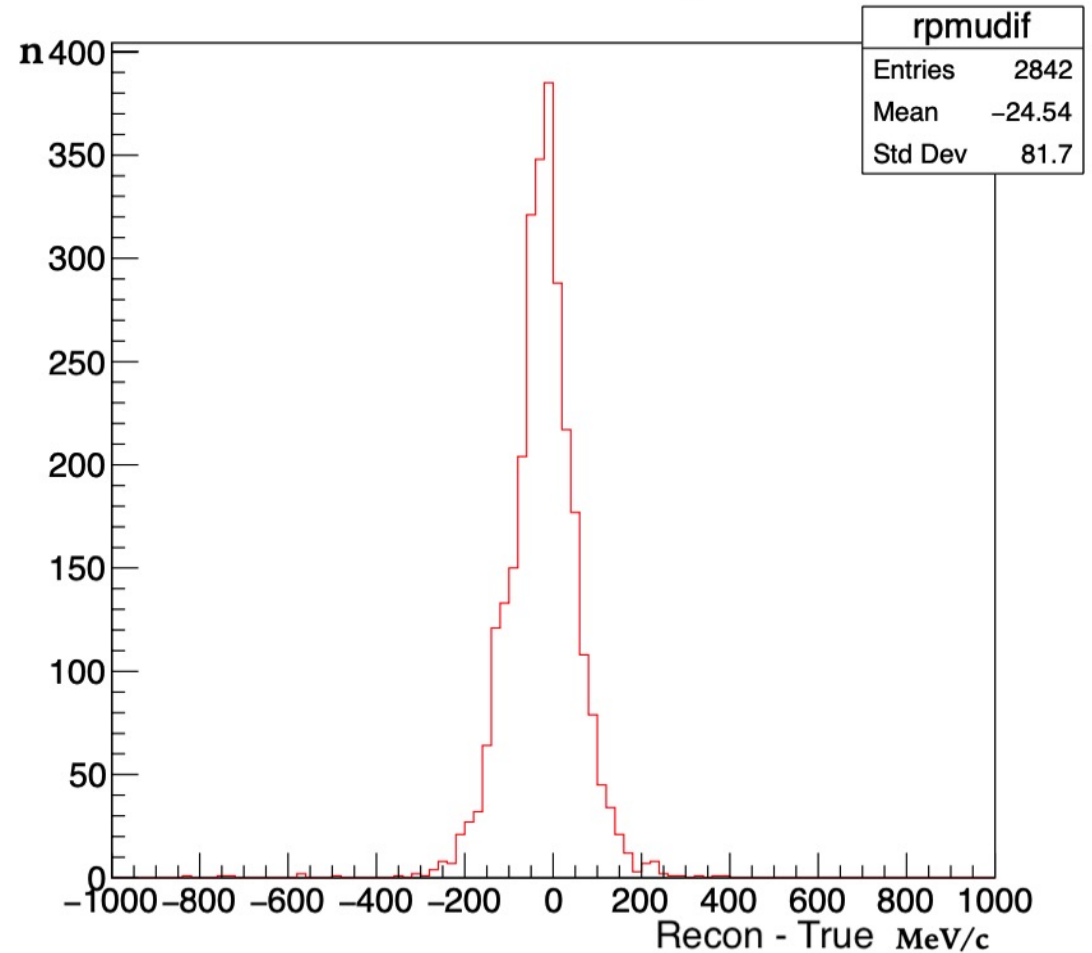
Реконструкция импульсов мюонов в Baby MIND

Реконструкция импульсов мюонов методом восстановления потерянной энергии

(Std. dev/Mean) of each momentum range



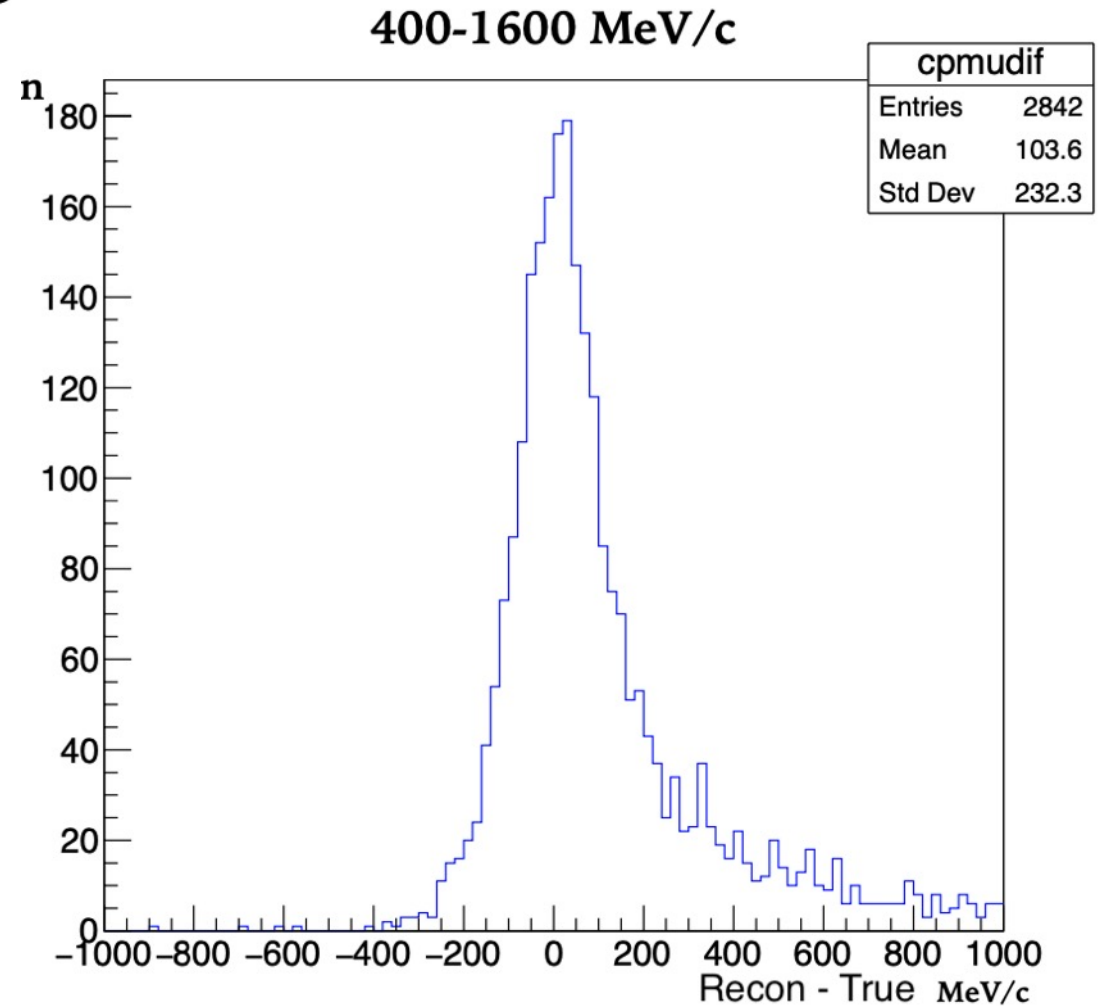
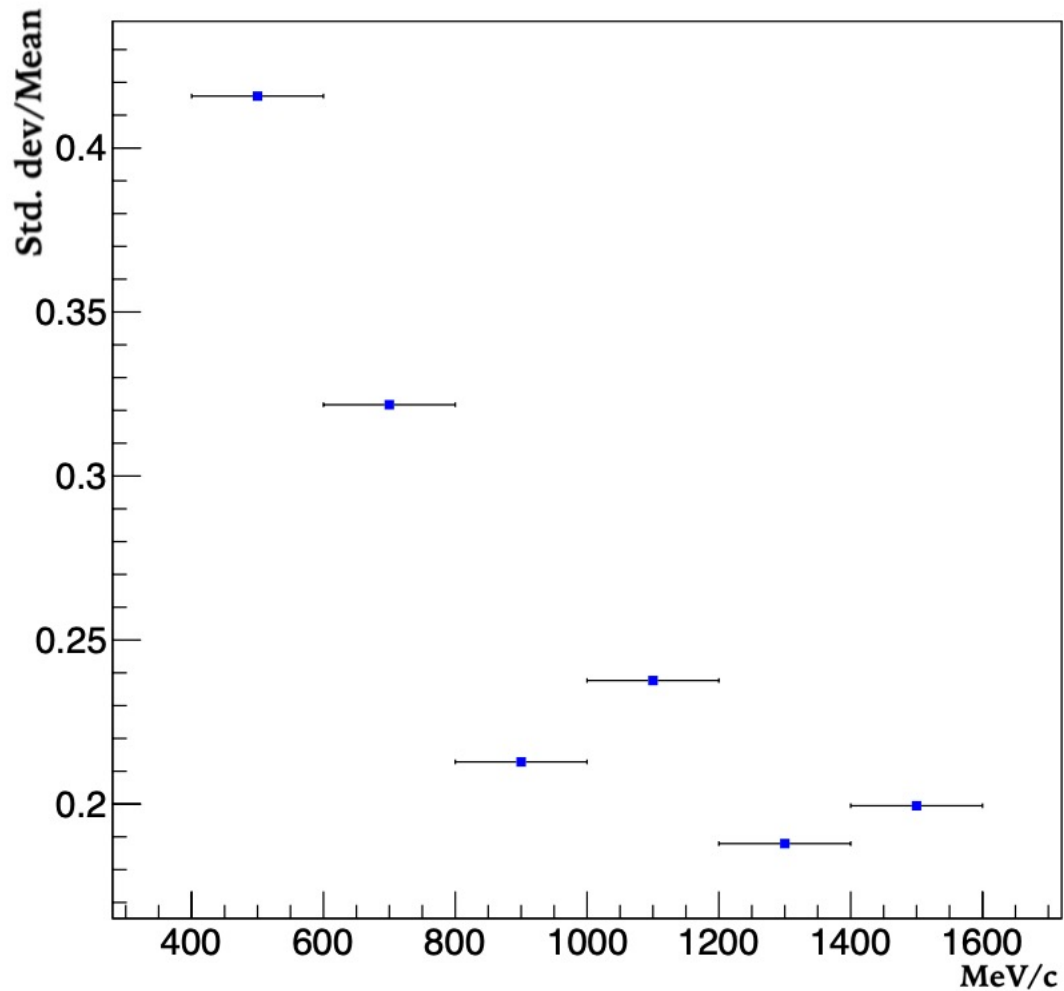
400-1600 MeV/c



Реконструкция импульсов мюонов в Baby MIND

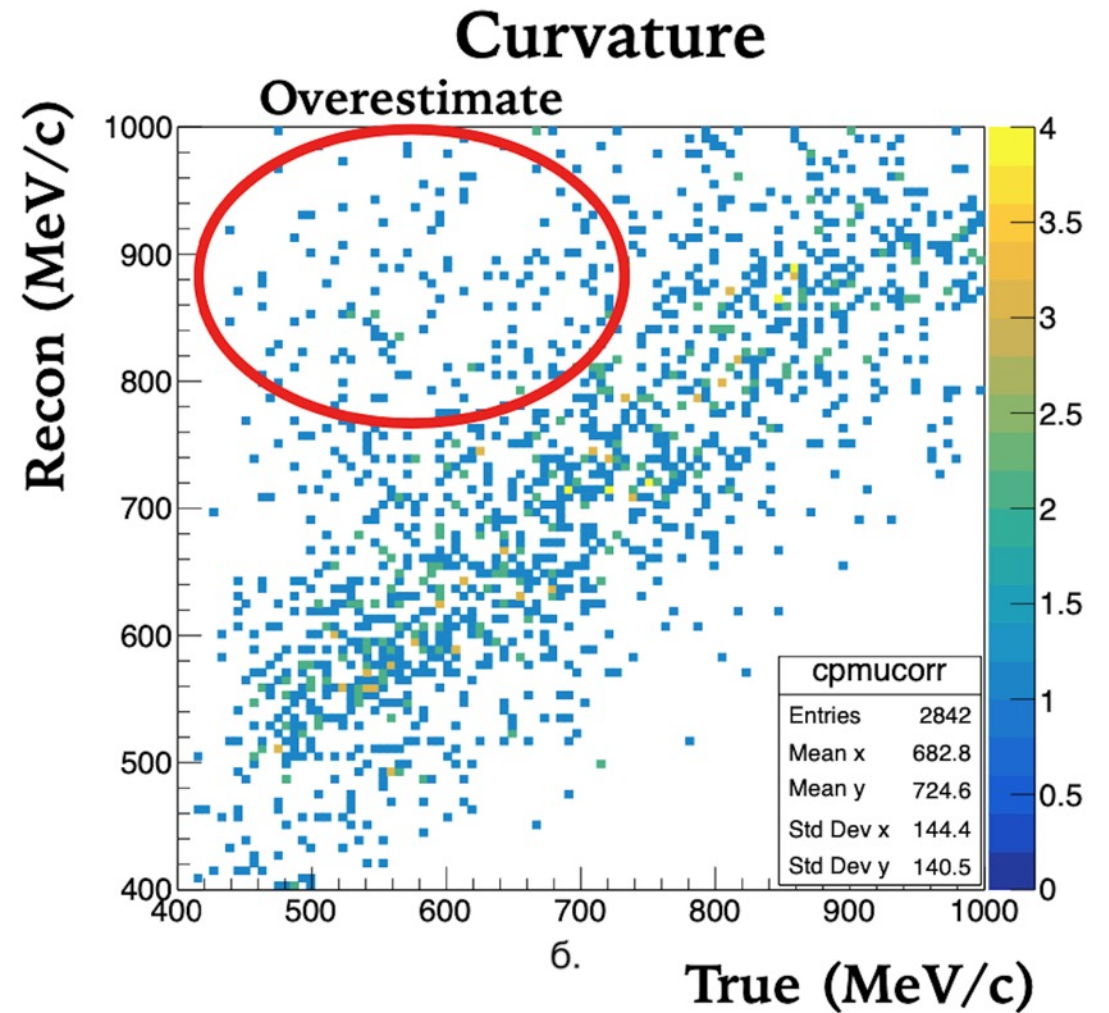
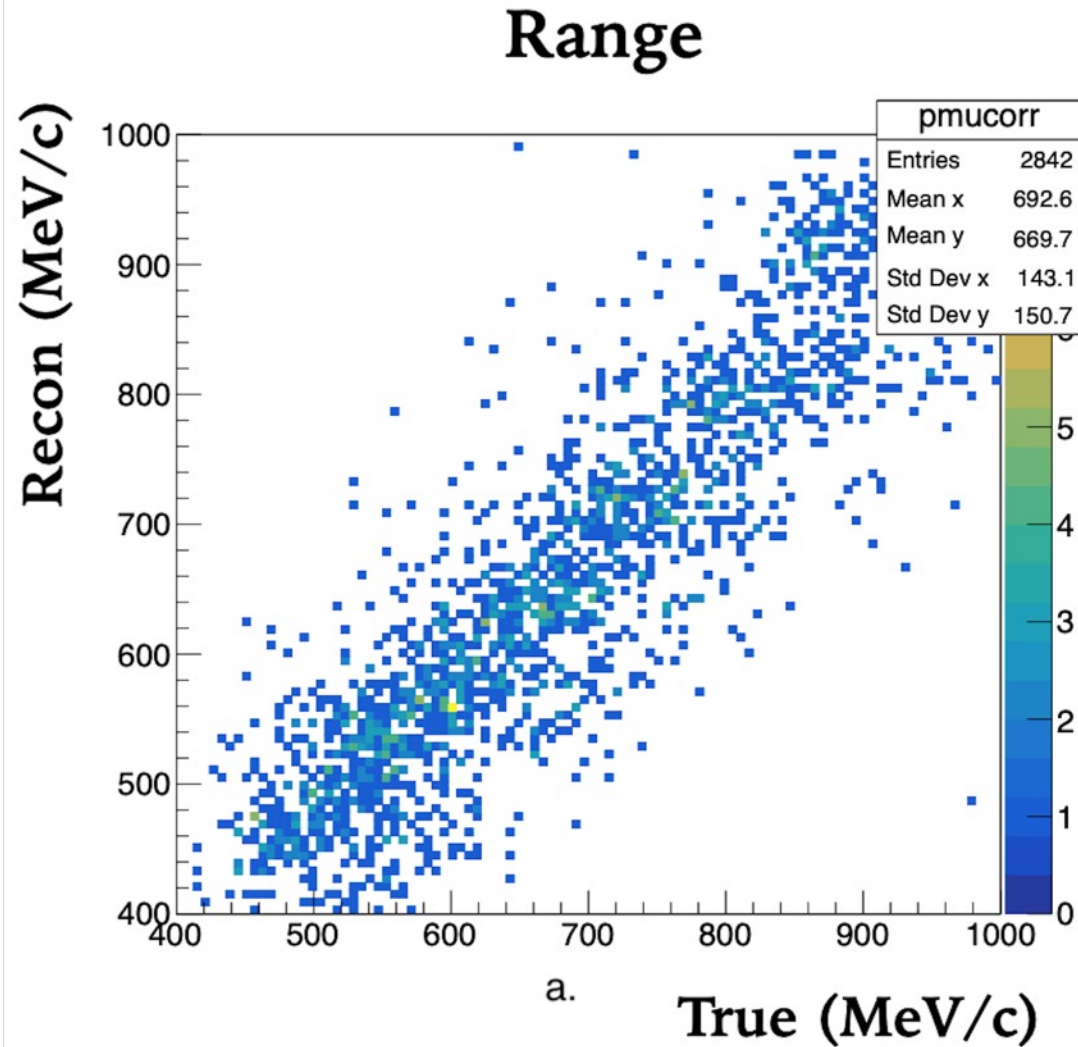
Реконструкция импульсов мюонов методом отклонения в магнитном поле

(Std. dev/Mean) of each momentum range



Реконструкция импульсов мюонов в Baby MIND

Сравнение методов реконструкции импульсов мюонов

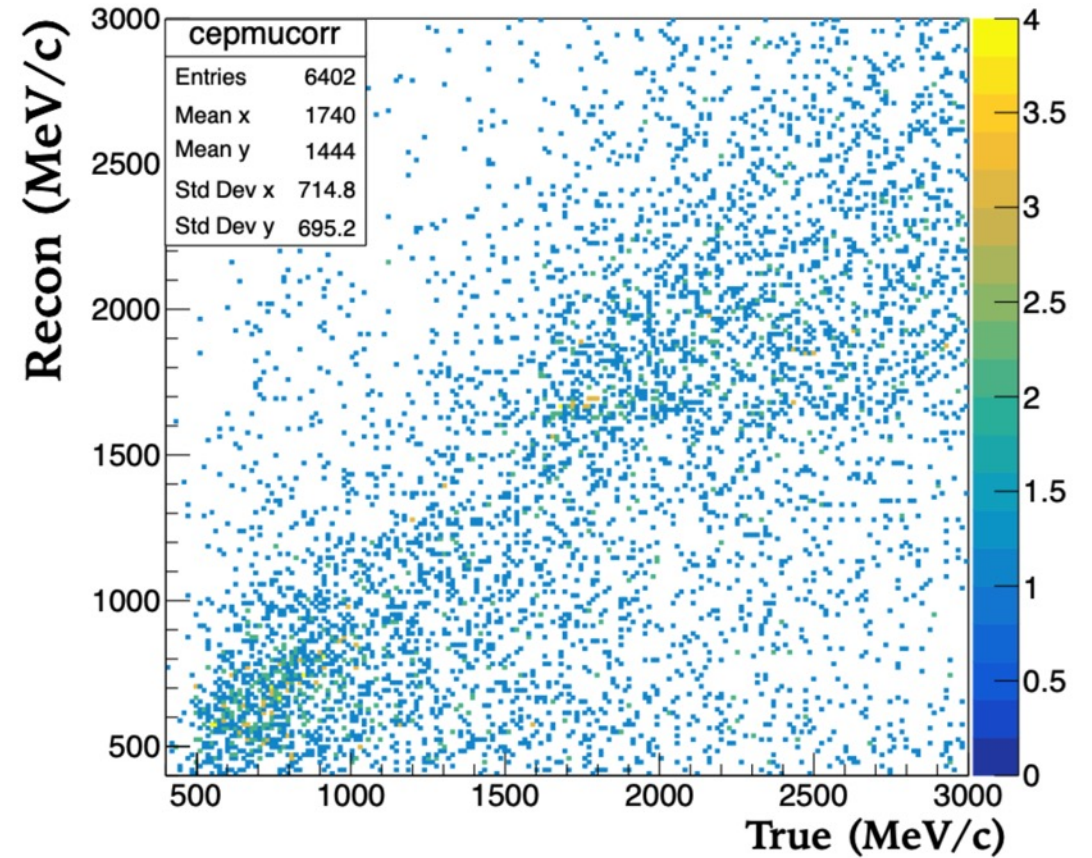
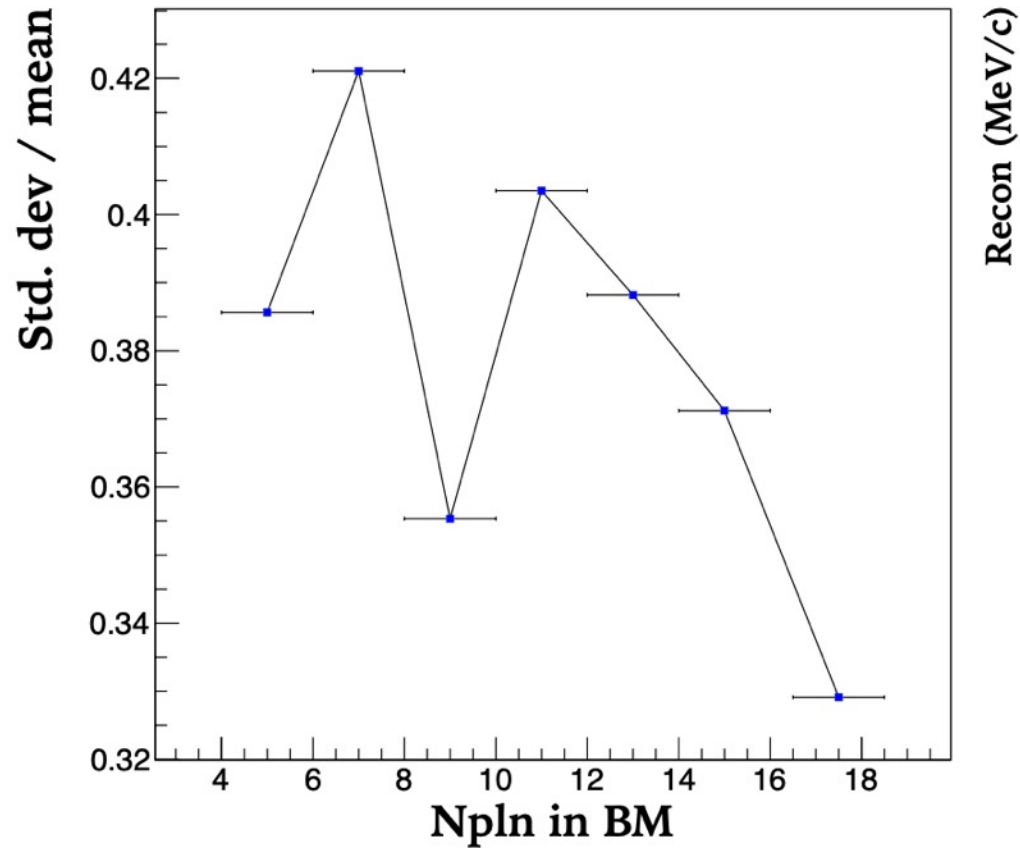


Реконструкция импульсов мюонов в Baby MIND

Реконструкция импульсов мюонов, покинувших эффективный объем детектора Baby MIND

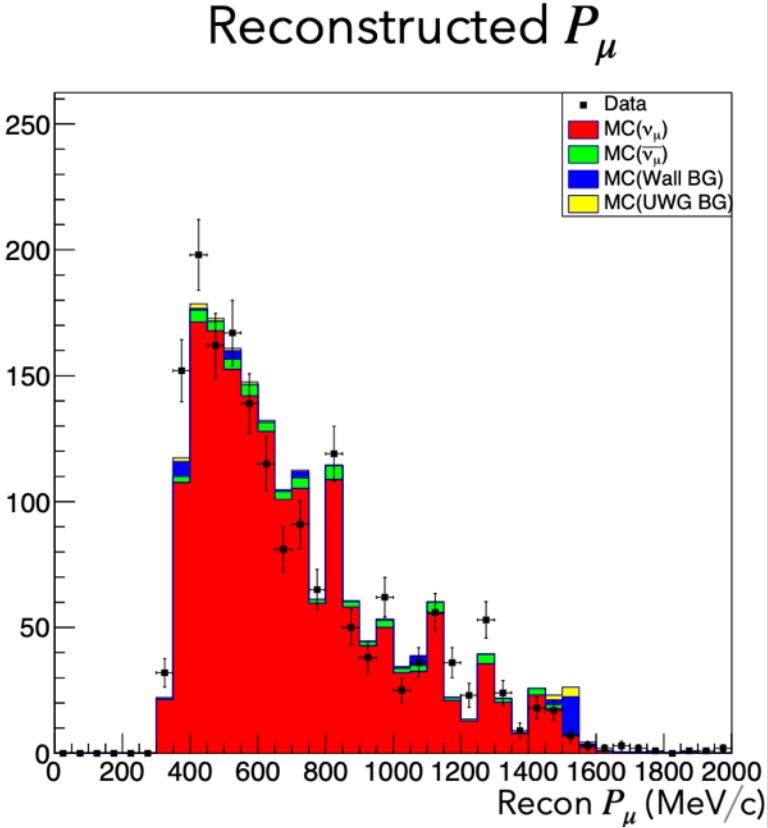
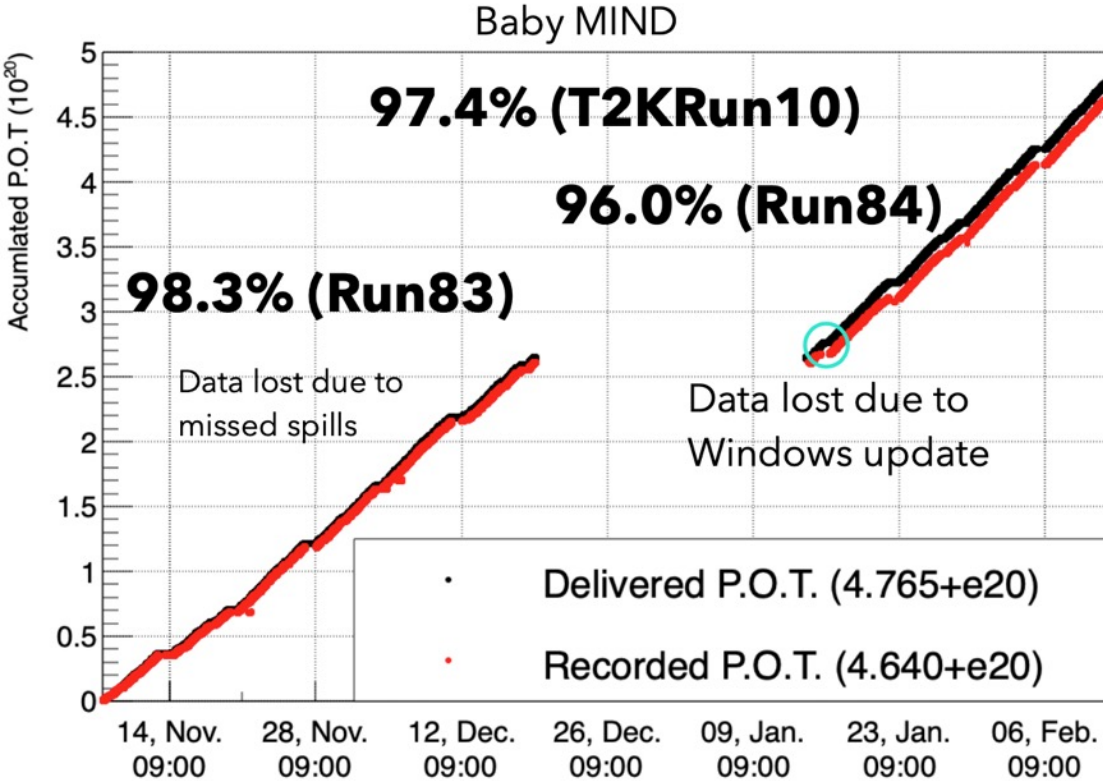
Mean momentum : ~ 1700 MeV/c

True - Recon Correlation



Реконструкция импульсов мюонов в Baby MIND

Результаты первого физического сеанса



Основные результаты и выводы

- Были произведены сцинтилляционные счетчики с L.Y. 66 ф.э./MIP – горизонтальные и 37.5 ф.э./MIP - вертикальные.
- Эффективность регистрации мюонов для горизонтальных счетчиков составила 99.9%, а для вертикальных сцинтилляторов составила 99.8%. Временное разрешение для горизонтальных счетчиков составило 0.7 нс.
- Разработаны и созданы сцинтилляционные и магнитные модули.
- Разработанная и созданная электроника на базе чипов CITIROC ASICs с динамическим диапазоном сигналов от 4 ф.э. до 500 ф.э. с возможностью игнорировать мертвое время оцифровки.
- Эффективность регистрации мюона с последующей реконструкцией трека составила более 95 %, эффективность определения заряда по отклонению в магнитном поле детектора Baby MIND составила более 90%.

Основные результаты и выводы

- Детектор Baby MIND был установлен в шахте детектора ND280 эксперимента T2K совместно с мишенью WAGASCI, детекторами Wall MRDs и протонным модулем и начал набор статистики в 2019 году. Проведена калибровка SiPMs и электроники.
- Разработана система сбора данных DAQ. Разработана методика контроля качества собранных данных. Итоговая эффективность набора данных в ходе первого физического сеанса составила 97.4%.
- Получено разрешение восстановленного импульса мюонов в зависимости от величины импульса и угла вылета мюонов из мишени WAGASCI и протонного модуля, которое составило $\sigma/P_{mean} = 0.09$ для событий, остановившихся в детекторе Baby MIND, и $\sigma/P_{mean} = 0.25$ для событий, покинувших эффективный объем детектора Baby MIND.
- Измерен спектр мюонов, полученных от CCQE взаимодействия нейтрино, под углом 1.5° относительно направления пучка протонов, вычислено количество нейтринных событий, нормированных на поток протонов. Полученный спектр совпадает с разыгранным спектром методом Монте-Карло.

Спасибо за внимание!