

Разработка быстрого триггерного годоскопа «NewCHOD» для эксперимента NA62

А.Макаров

ИЯИ РАН

23 декабря 2013 г.

Назначение детектора

CHOD — Charged HODoscope.

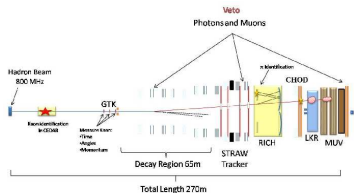


Рис. : Установка NA62

RICH, CHOD, MUV3:

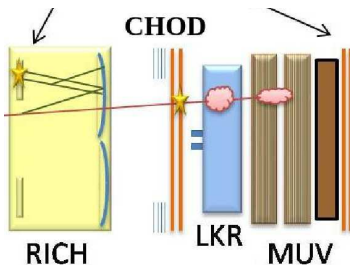


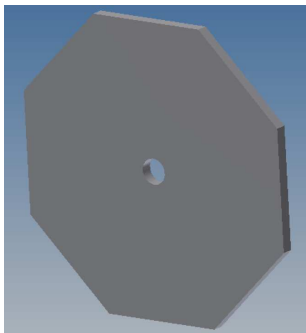
Рис. : Фрагмент установки

- ▶ детектировать электроны/позитроны от фотонов, сконвертировавшихся на зеркале RICH;
- ▶ триггер на множественность $N = 1$, т.е. отбрасывать многочастичные распады и перекрытия с другими распадами или пучковыми частицами

$$\overline{RICH} \times \overline{CHOD} \times \overline{MUV3}$$

Требования

Высокая нагрузка r : только мюоны ≈ 10 МГц, всего > 30 МГц, случайный совпадения $\sim r\delta T$.



- ▶ временное окно δT и разрешение $RMS(T)$ надо иметь как можно **меньше**;
- ▶ как можно меньше неактивного вещества в аппертуре
 \Rightarrow ФЭУ в аппертуре запрещены!

Триггер

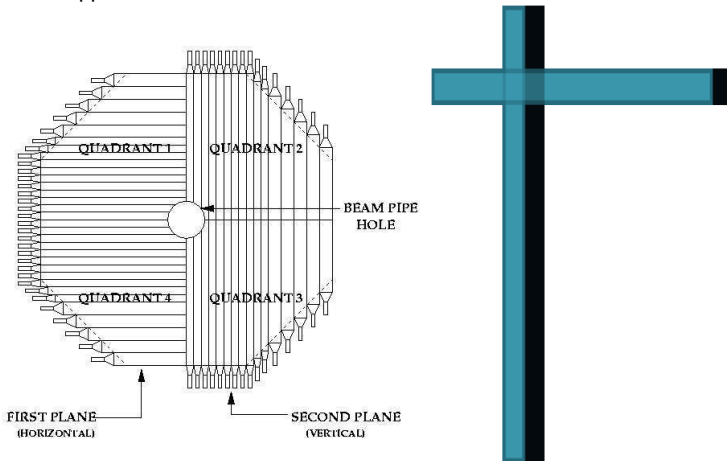
Возможная структура триггера:

- ▶ online **отсутствует в NA62** (вероятнее всего);
- ▶ L0 (level 0) - вычисления в FPGA электроники сбора данных;
- ▶ L1, HLT (high level trigger) — частичная реконструкция и отбор событий, вычисления в компьютерах (возможно, отчасти в видеокартах, "GPGPU").

В современном NA62 нет чисто электронного ("hardware") триггера — называется программным/софтверным триггером или даже "бестриггерным". Можно применять сложные коррекции на L0.

Начало пути. Старый CHOD

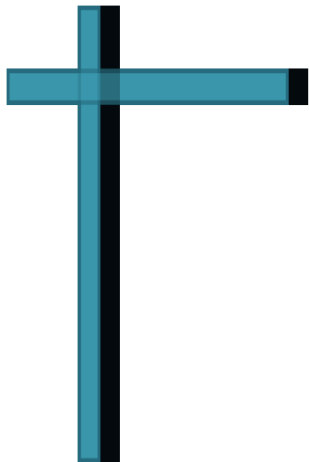
Разновидность классической TOF системы:



Проблемы со старым CHOD:

- ▶ низкое online разрешение, нужна коррекция, которая будет плохо работать при высоких нагрузках;
- ▶ высокая нагрузка на счетчики в центре.

Коррекция

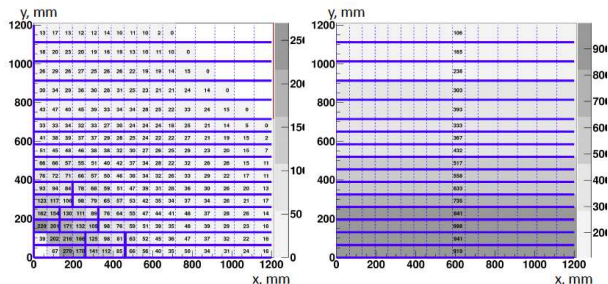


В 30% искомым физических событий есть больше 1 точки пересечения. Отбрасывать не хочется, проанализировать в L0 сложно (если вообще возможно), брать их все в L1 неприемлемо для электроники и компьютеров.

Первые предложения

- ▶ сделать для центральной области тонкие палки ≤ 2 см.
! Не решает проблему коррекции
- ▶ разрезать палки старого CHOD для большей сегментации в центре, считать волокнами. **! запрещено**

Rates [kHz] per channel



2 направления разработки: светосбор волокнами и прямой светосбор

Возможные варианты временных счётчиков на основе сцинтилляторов:

- ▶ прямой оптический контакт ОК;
- ▶ световод от сцинтиллятора желателен ФЭУ большой площади и есть чувствительность от черенковского света в световоде;
- ▶ сбор по воздуху нужен ФЭУ большой площади или фокусировка света
- ▶ сбор света спектросмещающими волокнами (WLS) ОК;

Итого 2 варианта, с обоими в ИФВЭ большой опыт.



Счетчик для матричного годоскопа установки ОКА $12 \times 12 \times 1.5 \text{ см}^3$, разрешение 1.8 нс (2006 г.).

Предистория: неудавшееся создание MUV3 (2008 ÷ 2010)

Размеры пластин от 40×40 до $60 \times 60 \text{ cm}^2$

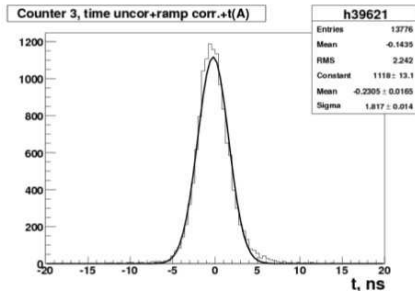
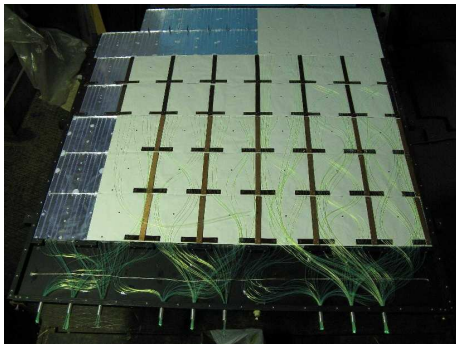


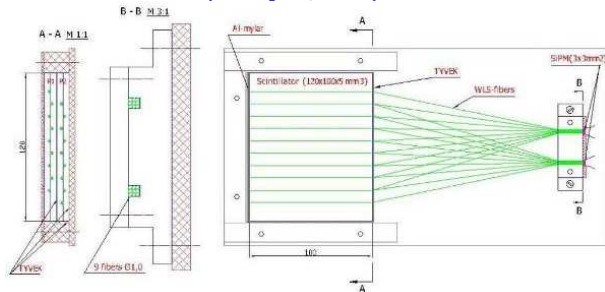
Figure: Counter 3

Достигнуто разрешение 1.7 нс для невклеенных волокон и до 1.2 нс после вклейки.

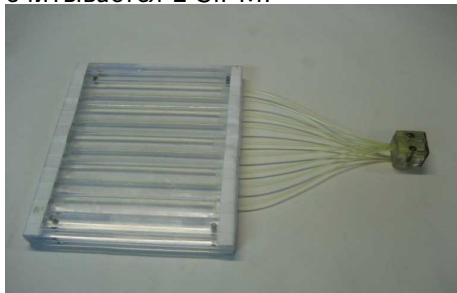
Обнаружена зависимость времени от координаты вдоль волокон $\approx 3 \text{ ns/m}$.

⇒ первое указание, что надо сокращать длину пластины вдоль волокон.

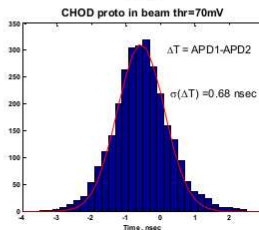
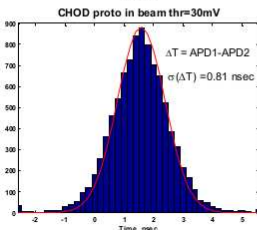
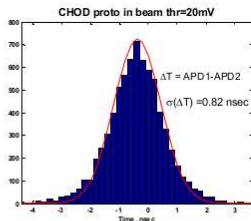
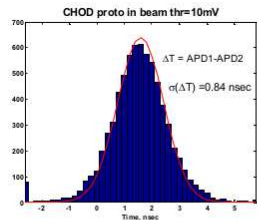
Прототип 2011 (Е.Гущина)



$12 \times 10 \times 1 \text{ cm}^3$, состоит из 2 слоёв по 9 волокон от каждого, считывается 2 SiPM.



Прототип 2011 — результаты



Разность времён 2 слоёв имеет $\sigma = 0.8$ нс, т.е. разрешение для кадого слоя может достигать $\sigma/\sqrt{2} = 0.57$ нс, а разрешение усреднения по 2 слоям $\sigma/2 = 0.4$ нс!

На время отказались от этого варианта (и это была ошибка, см. ниже).

Тест конца 2012 г.

Технический сеанс NA62.

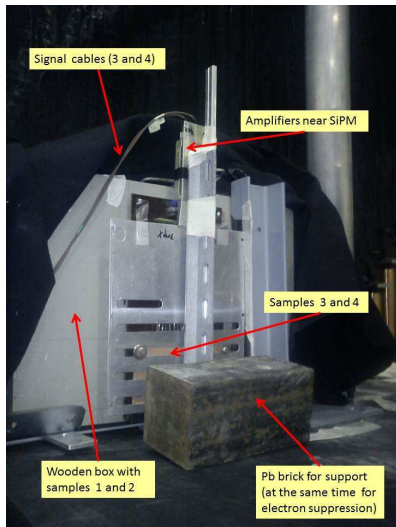


Рис. : Установка прототипов



Рис. : Щелкунчик

Тест конца 2012 г.

Установка прототипов на пучке.



Алексей с итальянцем Slava Duk.

Тест конца 2012 г.: результаты (А.Худяков)

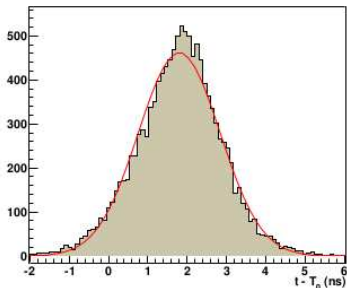
Маленькие прототипы:

	Low thr. No correction	High thr.	Leading edge correction
Bicron	0.94	1.14	0.89
Molded 1	1.17	0.92	0.77*
Molded 2	1.36	1.52	1.08
Molded 3	1.03	1.22	0.92

Большие прототипы:

	Low thr.	High thr.	Two thr.	ToT
27 cm	1.6	2.3	1.3	1.3
45 cm (SiPM)	2.1	2.5	1.8	1.7
45 cm (PMT)	2.0	1.9	1.6	—

Leading edge time correction [$\sigma=1.04$]



Новая идея с волокнами и первые тесты

Вариация идеи Е.Гущина с тайлом, коротким вдоль волокон, но длинным поперёк.

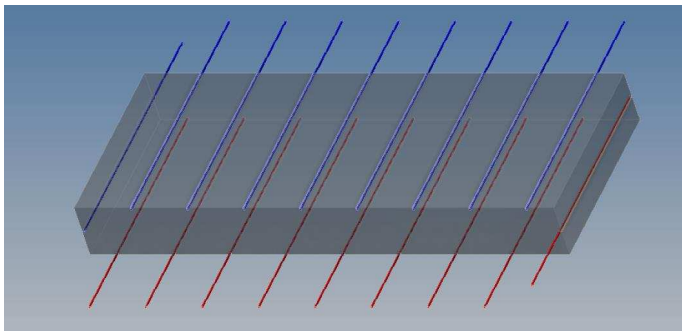


Рис. : «Стандартная плитка»

+ идея использовать meantimer — почти не сработала, но всё равно получилось хорошо.

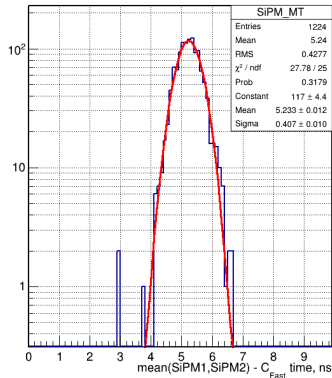
Первые результаты тестов дали $\sigma = 0.55$ нс.

Тесты «стандартных плиток» (09.2013–12.2013)

Последующие тесты дали $\sigma = 0.45$ нс для усредненного времени.



SiPM MeanTime



NEW. 17.12.2013.

Наше лучшее достижение с волокнами $\sigma = 0.37$ нс для такого относительно большого счетчика.

Прототип с прямым светосбором

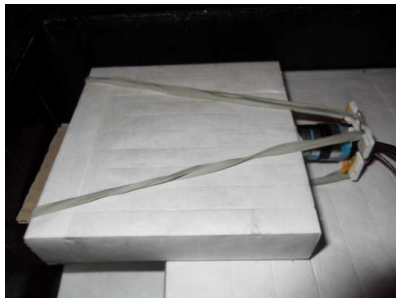


Рис. : Прототип



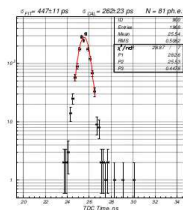
Рис. : Фрагмент: ФЭУ R7400-U

Усредненное по площади разрешение $\sigma = 0.43$ нс.

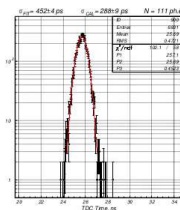
Однако даже маленький ФЭУ нежелательно ставить в апертуру.

Обнаружена неоднородность по координате: свет из угла не попадает напрямую в ФЭУ.

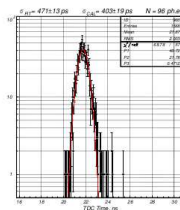
Серии тестов прототипов с прямым светосбором



90 × 90 мм² с грани

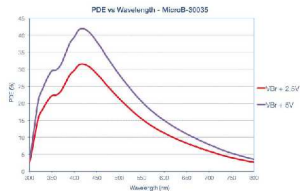


100 × 100 мм² с грани



100 × 100 мм² с угла

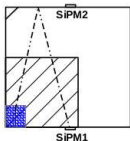
Новая возможность (середина 2013 г.) — дешёвые «голубые» SiPM фирмы SensL 6 × 6 мм². Сейчас наш основной фото-детектор.



Геометрия	с грани		с угла	
	R7400-U	SensL SiPM	R7400-U	SensL SiPM
90 × 90 мм ²	260 ± 25 пс	370 ± 15 пс	—	—
100 × 100 мм ²	290 ± 10 пс	320 ± 15 пс	400 ± 20 пс	420 ± 15 пс
150 × 150 мм ²	—	355 ± 5 пс	—	—

Исследование неоднородности (С.Холоденко)

Выполнена на стенде в ИФВЭ. Триггер счётчиком 2 cm^2 .



Time shifts:

SiPM1 +1.6 ns

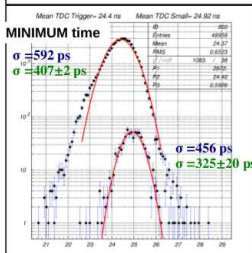
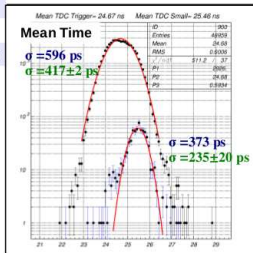
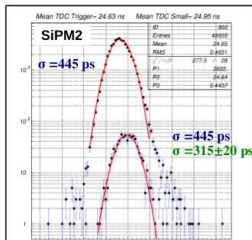
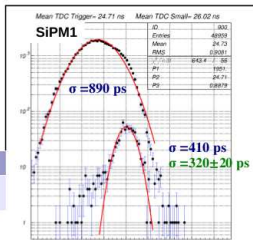
expected +1.2 ns

SiPM2 +600 ps

expected +450 ps

Mean +1150 ps

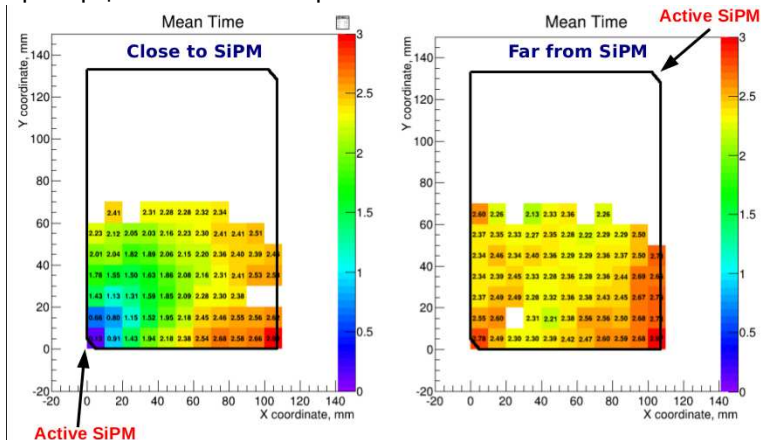
Min +800 ps



Аналогичные измерения получены для 3 других точек: в центре, вблизи SiPM, по диагонали.

Исследование неоднородности 11.2013–12.2013

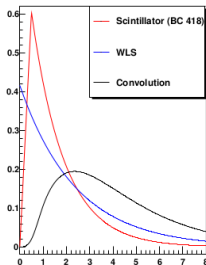
Выполнена на стенде ИТЭФ в ЦЕРН на многопроволочных пропорциональных камерах.



Геометрический разброс оказался намного больше, чем ожидали: 15 нс/м.

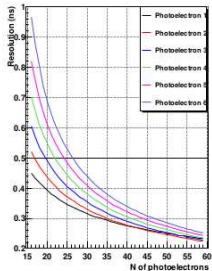
Попытка понимания №1: численное моделирование прототипов с волокнами

Light intensity



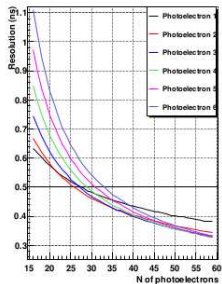
EJ 200

Time resolution vs N of photoelectrons



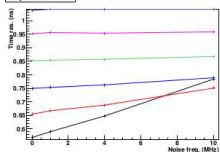
EJ 200

Time resolution vs N of photoelectrons

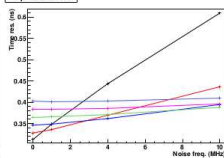


Первый ф.э. не всегда лучший. Зависимость σ от шумов:

15 photoelectrons



40 photoelectrons

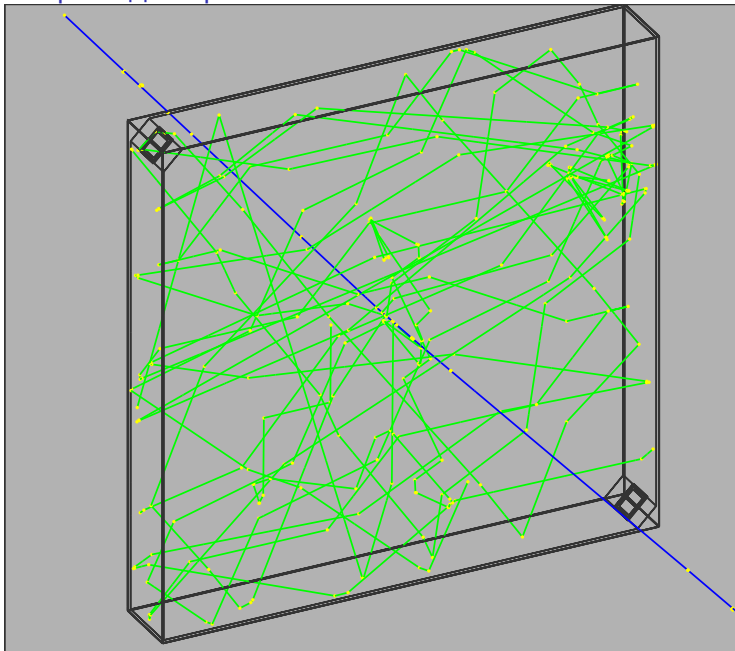


Попытка понимания №2: моделирование МК прототипов с прямым светом

На основе библиотеки Geant4 реализованы:

- ▶ стандартные э.-м. и оптические процессы, излучение черенковских и сцинтилляционных фотонов;
- ▶ сцинтиллятор EJ-200 (8000 фотонов/МэВ);
- ▶ пластины различной формы и размера;
- ▶ (типично) обёрнуты диффузным отражателем с коэф.отражения $R = 0.96$ — Тайвек (как вариант — зеркальной плёнкой 3M);
- ▶ оптическая замазка Q2-3067 с $n=1.466$;
- ▶ слои SiPM: защитное резиновое покрытие $n = 1.40$ и кремний $n = 3.42$.
- ▶ фотоны детектируются SiPM с эффективностью = 1, на 2-й стадии моделирования:
 - ▶ применяется эффективность SiPM $PDE(\lambda)$
 - ▶ моделируется CFD — в полном варианте с суммированием форм 1-ф.э. сигналов и численным решением уравнений.

Пример моделирования

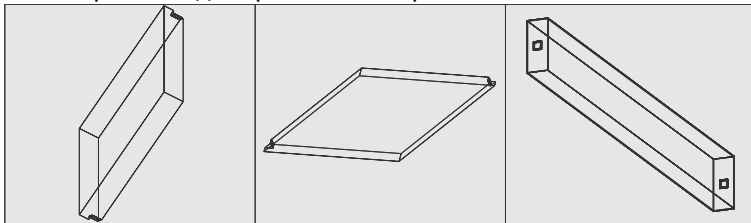


Результаты

Проблемы МК:

- ▶ число зарегистрированных ф.э. в ~ 5 раз больше, чем в эксперименте. Проблема закопана: введена техническая длина затухания L и R ;
- ▶ геометрический разброс по времени на 30 ÷ 80% больше в реальных данных. **Мы вообще понимаем, как работают наши прототипы?!**

Некоторые смоделированные варианты



В вариантах в углах разрешение RMS или $\sigma = 0.30$ ns, что хорошо согласуется с экспериментальными данными, **если не вспоминать про геометрический разброс времени.**

Отступление: выжимка из полученного опыта

Есть стойкое впечатление после обзора литературы, что дизайн детекторов для временных измерений в значительной степени осуществляется методом тыка, а не только расчётами, моделированием МК или из общих принципов!

- ▶ необходимо самостоятельно **измерять** параметры материалов или оборудования, т.к.:
 - ▶ часть неизвестна, часть искажена, часть неправильно понята;
 - ▶ идея подгонки МК **ложна и ведёт в никуда**.
- ▶ важно всячески уменьшать число пространственных степеней свободы — свет, распространяющийся непрямыми траекториями, не даст хорошую временную метку;
- ▶ эффекты электроники имеют значение — надо не только иметь хорошее понимание электроники, и **измерять** её эффекты.

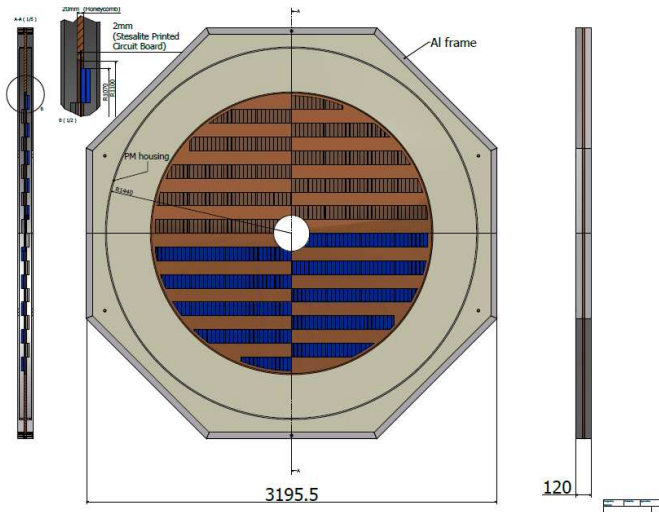
Отступление: самая краткая выжимка



Все врут.

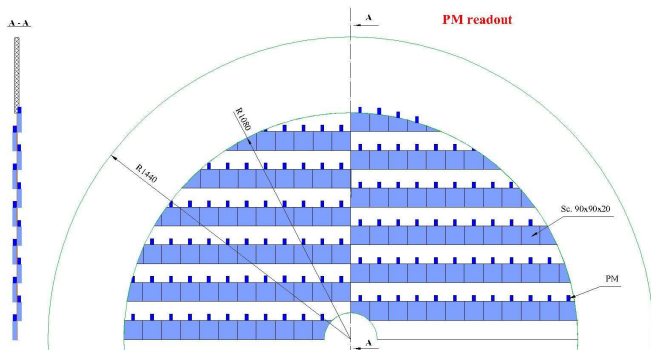
Особенно я сам.

Разработка механического дизайна (волокна)



Планируется разместить пластины на стеклотекстолите (большая печатная плата).

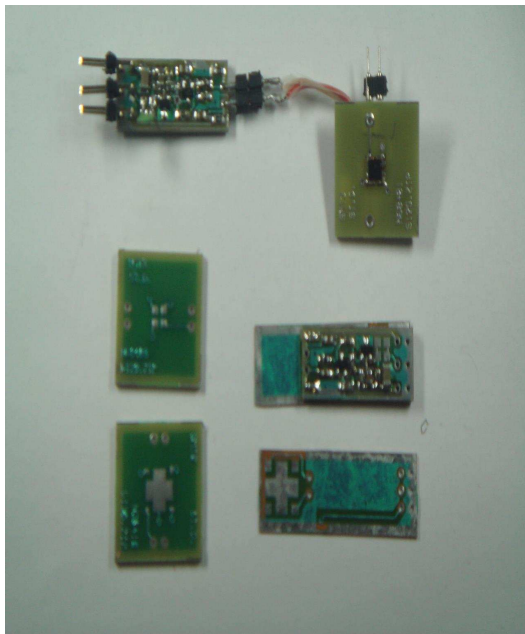
Разработка механического дизайна (прямой сбор)



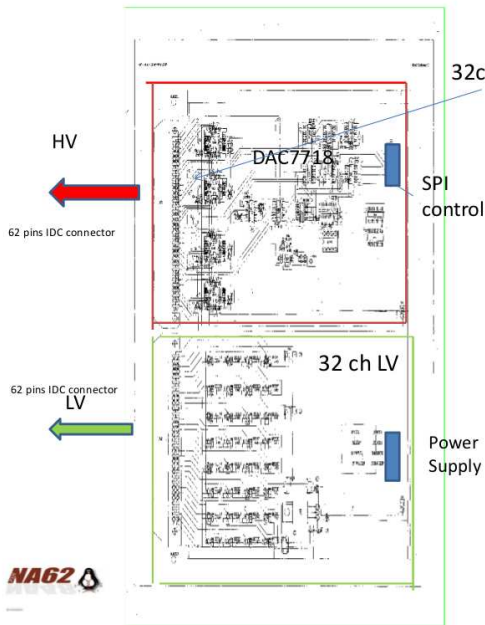
Планируется разместить пластины на стеклотекстолите (большая печатная плата).

Наша вспомогательная электроника

3 платы для монтажа SensL,
предусилители: отдельный и
совмещённый (внизу)



Разработка системы питания и медленного контроля.



HV + LV power supply for SiPM+AMP

Board 160x233 mm

DAC 7718, 8ch. 12 bits,
HV - up to +32 V
SPI control

MAX1932+
DC/DC converter
0-90V
8 bits
0.5%

AD5504 High Voltage DAC, Analog Device
4 ch, 12 - bits,
Vout = 0 - 30V/ 60V,
case 16 pin TSSOP, dim. 5x6 mm
control SPI

Заключение

- ▶ Разработаны прототипы NewCHOD в 2 вариантах дизайна на основе использования SiPM, примерно эквивалентные по временному разрешению:
 - ▶ с прямым светосбором
 - ▶ со светосбором волокнами
- ▶ сформулированы основы механического дизайна и сделаны первые проекты;
- ▶ большая часть может быть произведена в России — но денег на весь детектор у группы ИЯИ РАН/ИФВЭ не хватает 😊;
- ▶ мы готовы определить электронику, оцифровывающую, формирователи, систему питания, а также систему медленного контроля.

Благодарности

наиболее активные участники проекта:

- ▶ от нас (ИЯИ РАН/ИФВЭ): В.Семенов, А.Худяков, Е.Гущин, С.Холоденко, В.Образцов, В.Самойленко, В.Болотов, В.Сугоняев;
- ▶ от них: Italo Mannelli, Slava Duk ☺, Luigi di Lella, Spasimir Balev.