

# РАЗВИТИЕ В ГИЦ «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ» НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ И ДЕТЕКТОРОВ НА ИХ ОСНОВЕ

*В.В. Бреховских, А.М. Горин, В.А. Дятченко, И.Е. Кресло, М.В. Медынский, А.В. Сухих, В.И. Рыкалин, С.К. Черниченко*

*Россия, Протвино, Институт физики высоких энергий имени  
А. А. Логанова НИЦ «Курчатовский институт»*



**«Физика частиц при средних и высоких энергиях» (Протвино 5-июня-2026)**

- I. Даёшь экструдер вместо ДИП-500!
- II. Сцинтилляторы на основе опудренного добавками гранулированного полистирола и детекторы на его основе с выводом излучения спектросмещающими волокнами.
- III. Электромагнитные калориметры типа «шашлык»
- IV. Сцинтилляционные полистирольные гранулы и детекторы частиц на их основе
- V. Лабораторная установка для измерения времени жизни мюонов

# РАЗВИТИЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ И ДЕТЕКТОРОВ НА ИХ ОСНОВЕ

## Пластины и детекторы на основе экструдированных сцинтилляторов

## Пластины и детекторы на основе опудренными добавками гранулированного полистирола

	NA-12, CERN, Адронный калориметр, Детектор по времени пролёта 1994	ГАМС-2000, ИФВЭ, Адронный калориметр, Электромагн. Калориметр. 1986	DELPHI, CERN, Мюонный детектор, Порталы радиацион 1995-2015	АТЛАС, CERN MBTS Радиационно- стойкие сцинтилляторы 2019	Счётчики* Крупногаба- ритные и Нейтронные счётчики 2003	Литьевые** пластины для калори- метров и счётчиков 2003-2023	Мюонные детекторы NA-62 CERN, ИЯИ РАН 2014-2023	Счётчики*** охранных систем, Счётчики для годоскопов 2015-2023
<b>Число пластин или счётчиков</b>	Калориметр-9684 полимеризованных пластин, Детектор - 24 пластины	Адронный-3600 полимеризованных пластин. Электромагн. 800 пластин	DELPHI 224 полимеризованные пластины, Порталы-600	Всего 160 плавленных пластин	Всего 22656 литьевых пластин, для нейтронных счётчиков-35	80950	NA-62-1500 плавленных пластин, ИЯИ-1880 плавленных пластин	Охранные-510 плавленных пластин, Годоскопы 120
<b>Размеры мм</b>	Калориметр - 5×200×200 Детектор-10×200×1060	Адронный-5×200×200 Электромагн. 0,5×25×1400	DELPHI - 10×200×(190-400), Порталы-50×200×1000	Трапеции 295×357×67° 80 шт, толщ. 5. 450×731×67° 80 шт., толщ 5	Крупногаб., габариты 1000×1000× Нейтронные счётчики	по заказу	NA-62-10×60×2616, ИЯИ-50×495×495,	Охранные счётчики 50×500×50 Счётчики ГОДОСКОПОВ ДО 2616 мм длины
<b>Вес, кг</b>	1988	980	7344	124	84538	150775	25387	65303

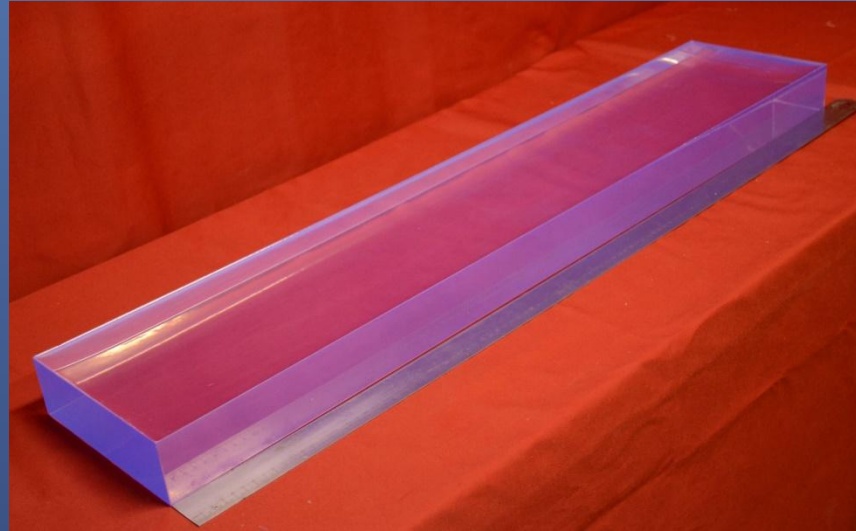
\* Поставлены в: НИЦ КИ-ИФВЭ; ФИАН ИВХА Ю. Корея; Финляндия; Институт Нильса Бора Дания; ЕРФИ Армения.

\*\* Поставлены в: НИЦ КИ-ИФВЭ; КОРИО BNL; STIC DELPHI; E865 BNL; RHOENIX, BNL; COMPASS/ AMBER BNL; NA64; BEC; MPD NICA.

\*\*\*Поставлены в: Нейтрино-4; ОКА; НИЦ КИ ПИЯФ; ПГИ Мурманск.

Несколько тысяч экструдированных полос сцинтилляторов с размерами 10×25×200 мм<sup>3</sup> были изготовлены для монного детектора эксперимента НЕПТУН на несостоявшемся ИФВЭ коллайдере.

# РАЗВИТИЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ И ДЕТЕКТОРОВ НА ИХ ОСНОВЕ

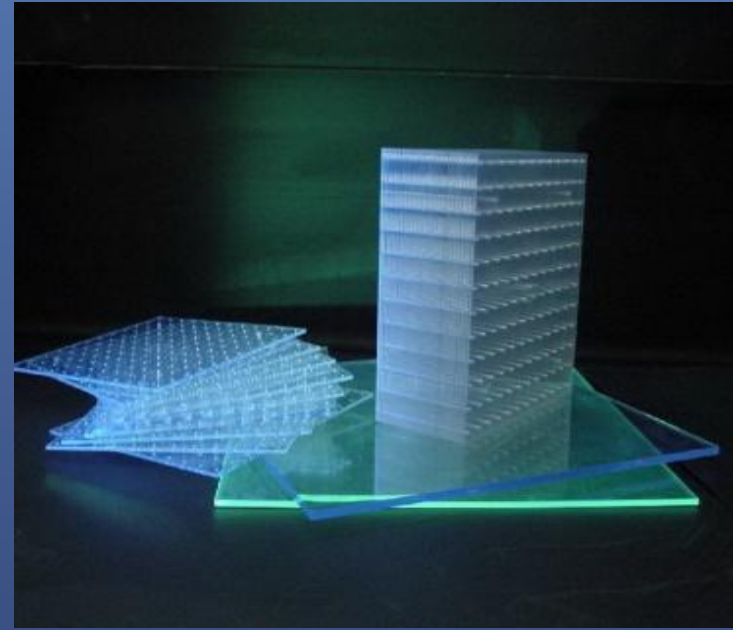
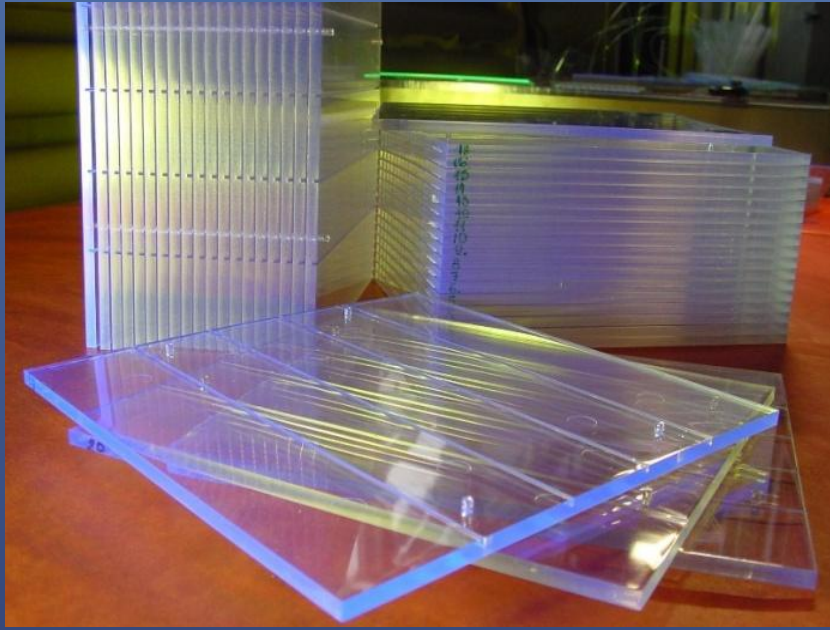


Образцы механически обработанных полимеризованных сцинтилляторов и сцинтилляционный счётчик с 2 м длины сцинтиллятором. Однако было не реально изготовить тысячи пластин для калориметров, тем более многометровые полосы для мюонных детекторов.



Полосы и стрипы длиной до 4 м и толщиной до 25 мм, экструдированные под давлением аргона из расплава сцинтилляционных блоков и счётчики с высоким временным разрешением на основе экструдированных сцинтилляторов и фотоумножителей типа ФЭУ КС [3]. Техническая длина затухания излучения в полосах достигает 2 м при размерах их поперечного сечения  $10 \times 200 \text{ мм}^2$ .

# РАЗВИТИЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ И ДЕТЕКТОРОВ НА ИХ ОСНОВЕ



Образцы сцинтилляционных пластин, изготовленных методом литья под давлением



Литьевые машины



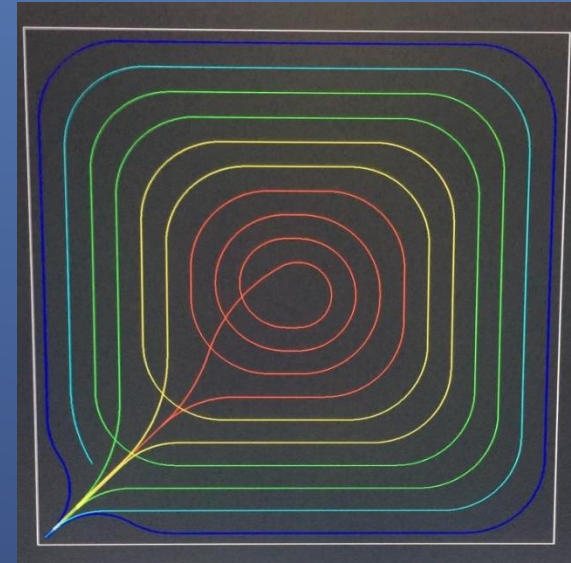
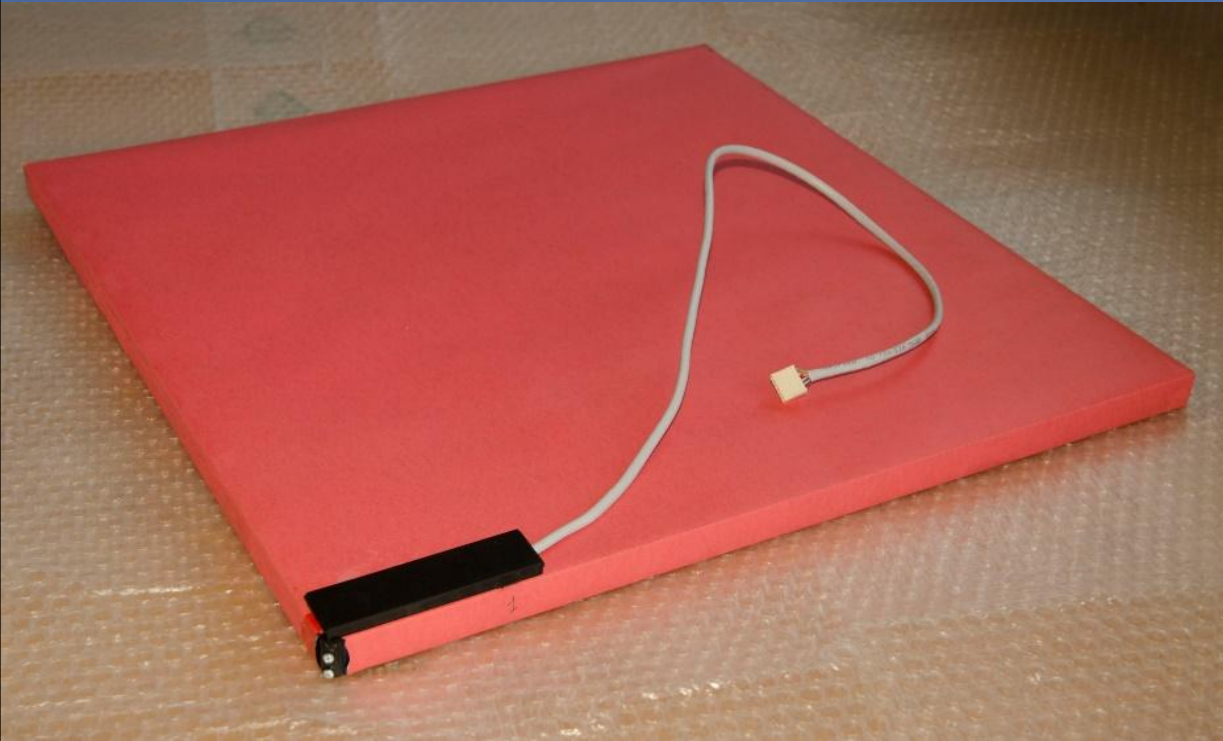
Сцинтилляционный счётчик размерами  $1 \times 1 \text{ м}^2$ , толщиной по сцинтиллятору 30 мм на основе литевых пластин  $200 \times 200 \times 5 \text{ мм}^3$  со светосбором вклеенными в канавки WLS волокнами Y-11 диаметром 1 мм, общей длиной около 70 м и регистрацией частиц дюймовым вакуумным ФЭУ. Световыход счётчика соответствует около  $30 \text{ фэ/МПР}$ . При толщине сцинтиллятора 50 мм световыход составляет  $48 \text{ фэ/МПР}$ .



Вакуумные термошкафы для изготовления плавлением в зеркальных формах сцинтилляторов с размерами  $50 \times 500 \times 500$  мм<sup>3</sup> и протяжённые печи с формами для изготовления сцинтилляционных стрипов длиной до 3 м

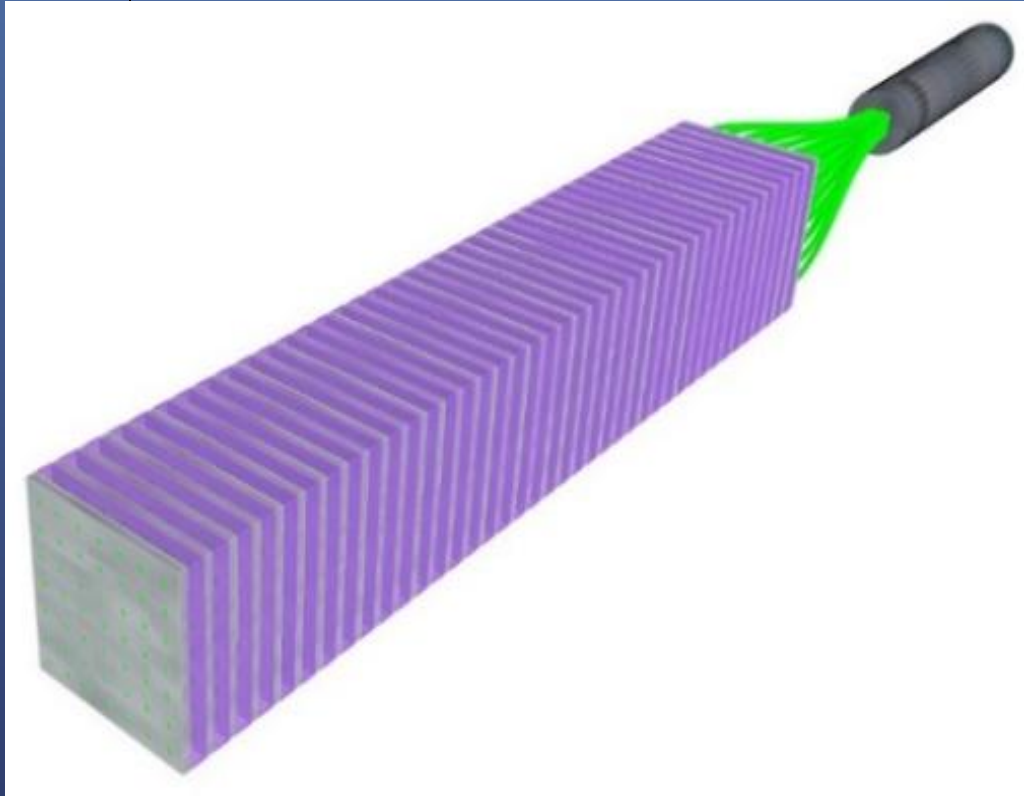


Счётчик-элемент сцинтиляционного годоскопа с размерами  $2600 \times 60 \times 10$  мм<sup>3</sup>. Излучение выводится WLS волокном Y-11 диаметром 1 мм. Волокно вклеено в петлеобразную канавку и оба его конца пристыкованы к  $3 \times 3$  мм<sup>2</sup> SiPM типа MiroFC-30035-SMT. Наиболее вероятное число фотоэлектронов при регистрации МIP на удалённом от SiPM конце сцинтиллятора составляет не менее 50.

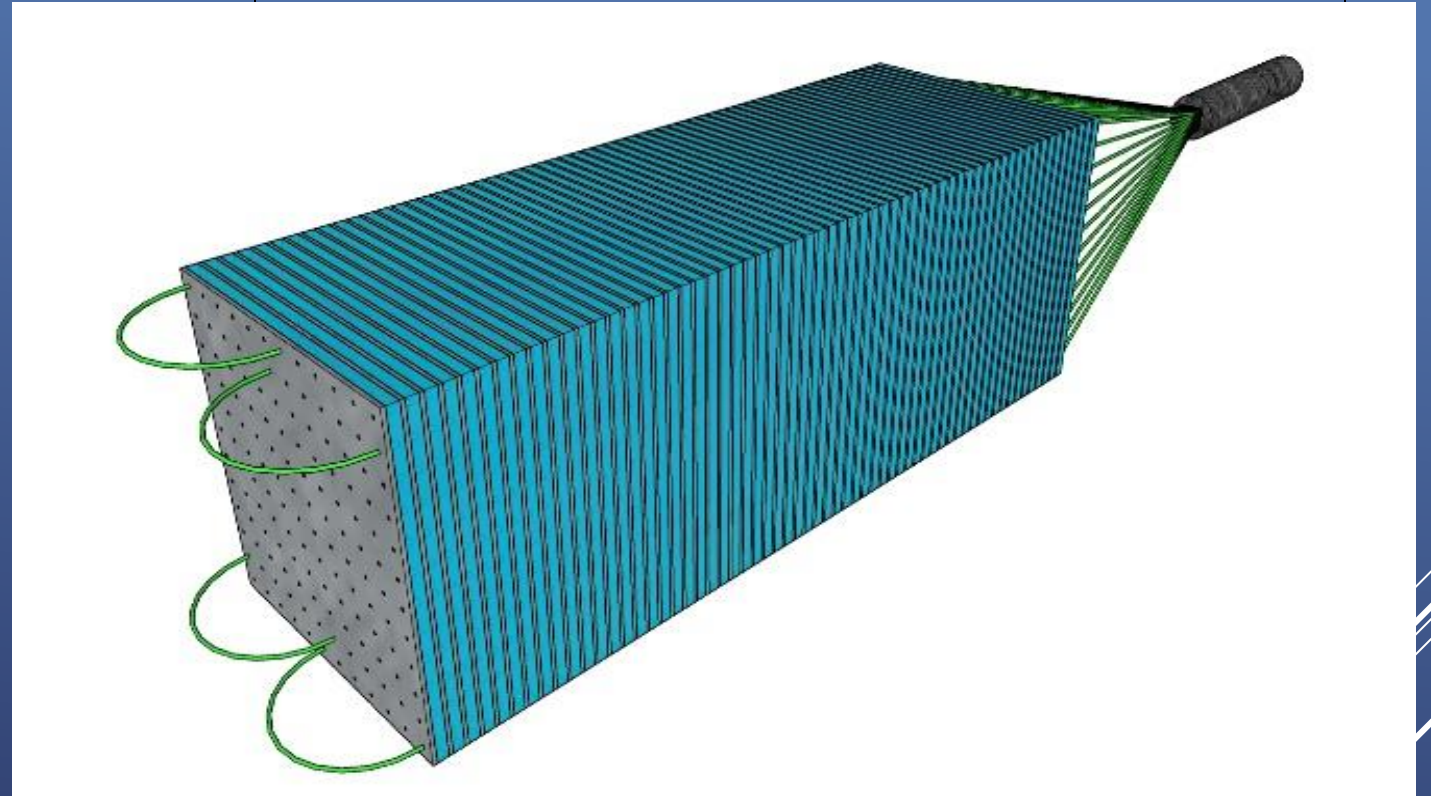


Профиль канавок для вклейки WLS  
волокон типа

Счётчик с размерами  $500 \times 500 \times 30$  мм<sup>3</sup> (5 волокон Y-11 диаметром 1 мм при общей длине 10,8 м).  $N_{ФЭ}$  при регистрации МПР с помощью  $3 \times 3$  мм<sup>2</sup> SiPM составляет не менее 250. Возможны опции счётчиков с размерами  $1000 \times 500 \times (5-50)$  и  $1000 \times 1000 \times (5-50)$  мм<sup>3</sup>



ОБЩИЙ ВИД ПЕРВОГО МОДУЛЯ  
50×50×296 мм КАЛОРИМЕТРА ТИПА  
“ШАШЛЫК“, СЦИНТИЛЯТОР 5 мм,  
СВИНЕЦ 2,4 мм ВСЕГО 17X0, $\Sigma E=0,08\sqrt{E}$ ,  
X0=1,68 см ДЛЯ СТРУКТУРЫ , ПР..7 мм



ОБЩИЙ ВИД ПРОТОТИПА МОДУЛЯ 114×114×330 мм  
КАЛОРИМЕТРА ЭКСПЕРИМЕНТА E-865,  
СЦИНТИЛЛЯТОР 4 мм, СВИНЕЦ 1,4 мм, ВСЕГО 15 X0,  
 $\Sigma E=0,014+0,067\sqrt{E}$ , X0=1,96 см ДЛЯ СТРУКТУРЫ  
ПР.. 9,6 мм

# РАЗВИТИЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ И ДЕТЕКТОРОВ НА ИХ ОСНОВЕ

## Пластины и детекторы на основе экструдированных сцинтилляторов

## Пластины и детекторы на основе опудренными добавками гранулированного полистирола

	NA-12, CERN, Адронный калориметр, Детектор по времени пролёта 1994	ГАМС-2000, ИФВЭ, Адронный калориметр, Электромагн. Калориметр. 1986	DELPHI, CERN, Мюонный детектор, Порталы радиацион 1995-2015	АТЛАС, CERN MBTS Радиационно- стойкие сцинтилляторы 2019	Счётчики* Крупногаба- ритные и Нейтронные счётчики 2003	Литьевые** пластины для калори- метров и счётчиков 2003-2023	Мюонные детекторы NA-62 CERN, ИЯИ РАН 2014-2023	Счётчики*** охранных систем, Счётчики для годоскопов 2015-2023
<b>Число пластин или счётчиков</b>	Калориметр-9684 полимеризованных пластин, Детектор - 24 пластины	Адронный-3600 полимеризованных пластин. Электромагн. 800 пластин	DELPHI 224 полимеризованные пластины, Порталы-600	Всего 160 плавленных пластин	Всего 22656 литьевых пластин, для нейтронных счётчиков-35	80950	NA-62-1500 плавленных пластин, ИЯИ-1880 плавленных пластин	Охранные-510 плавленных пластин, Годоскопы 120
<b>Размеры мм</b>	Калориметр - 5×200×200 Детектор-10×200×1060	Адронный-5×200×200 Электромагн. 0,5×25×1400	DELPHI - 10×200×(190-400), Порталы-50×200×1000	Трапеции 295×357×67° 80 шт, толщ. 5. 450×731×67° 80 шт., толщ 5	Крупногаб., габариты 1000×1000× Нейтронные счётчики	по заказу	NA-62-10×60×2616, ИЯИ-50×495×495,	Охранные счётчики 50×500×50 Счётчики ГОДОСКОПОВ ДО 2616 мм длины
<b>Вес, кг</b>	1988	980	7344	124	84538	150775	25387	65303

\* Поставлены в: НИЦ КИ-ИФВЭ; ФИАН ИВХА Ю. Корея; Финляндия; Институт Нильса Бора Дания; ЕРФИ Армения.

\*\* Поставлены в: НИЦ КИ-ИФВЭ; КОРИО BNL; STIC DELPHI; E865 BNL; RHOENIX, BNL; COMPASS/ AMBER BNL; NA64; BEC; MPD NICA.

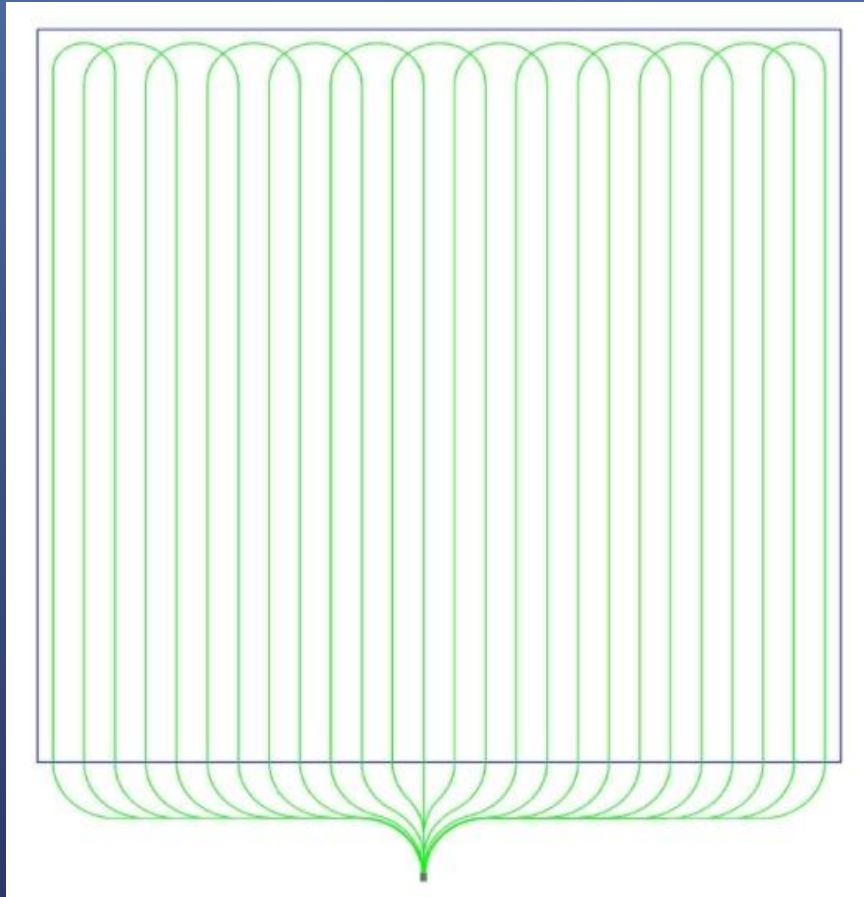
\*\*\*Поставлены в: Нейтрино-4; ОКА; НИЦ КИ ПИЯФ; ПГИ Мурманск.

Несколько тысяч экструдированных полос сцинтилляторов с размерами 10×25×200 мм<sup>3</sup> были изготовлены для монного детектора эксперимента НЕПТУН на несостоявшемся ИФВЭ коллайдере.

# РАЗВИТИЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ И ДЕТЕКТОРОВ НА ИХ ОСНОВЕ



Априори нам представлялось, что сцинтилляционные гранулы наряду с WLS волокнами для вывода излучения целесообразно использовать в эффективных безззорных охранных системах установок и в системах крупногабаритных счётчиков, покрывающих большие площади. Характерным примером в этом отношении является эксперимент Тунка-Тайга [13], в котором эта площадь должна составлять  $1 \times 1$  км<sup>2</sup>. Поэтому актуальным являлось создание сцинтилляционного счётчика с размерами  $1 \times 1$  м<sup>2</sup>.



Конфигурация расположения волокон. Световыход 120фэ/МIP

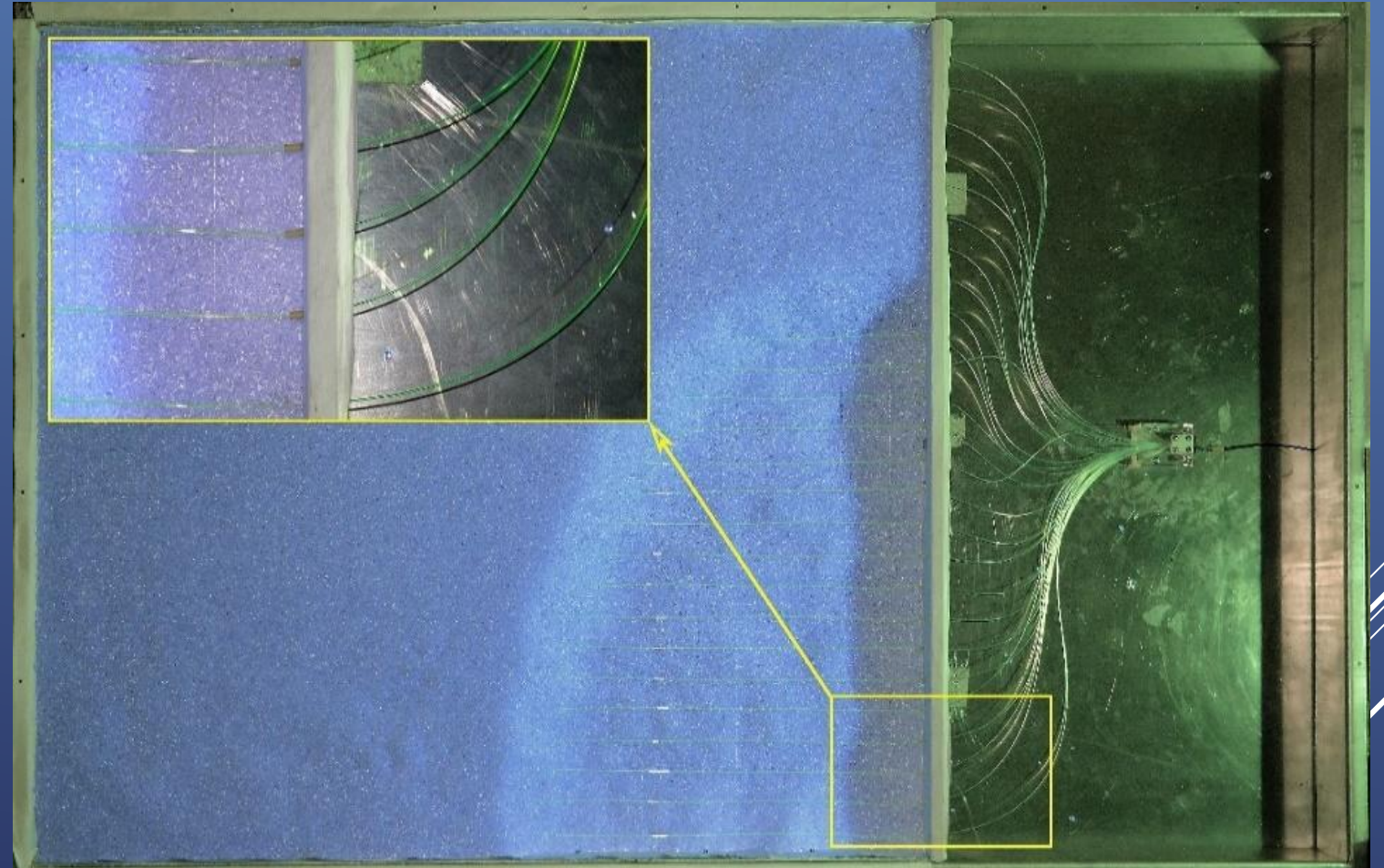
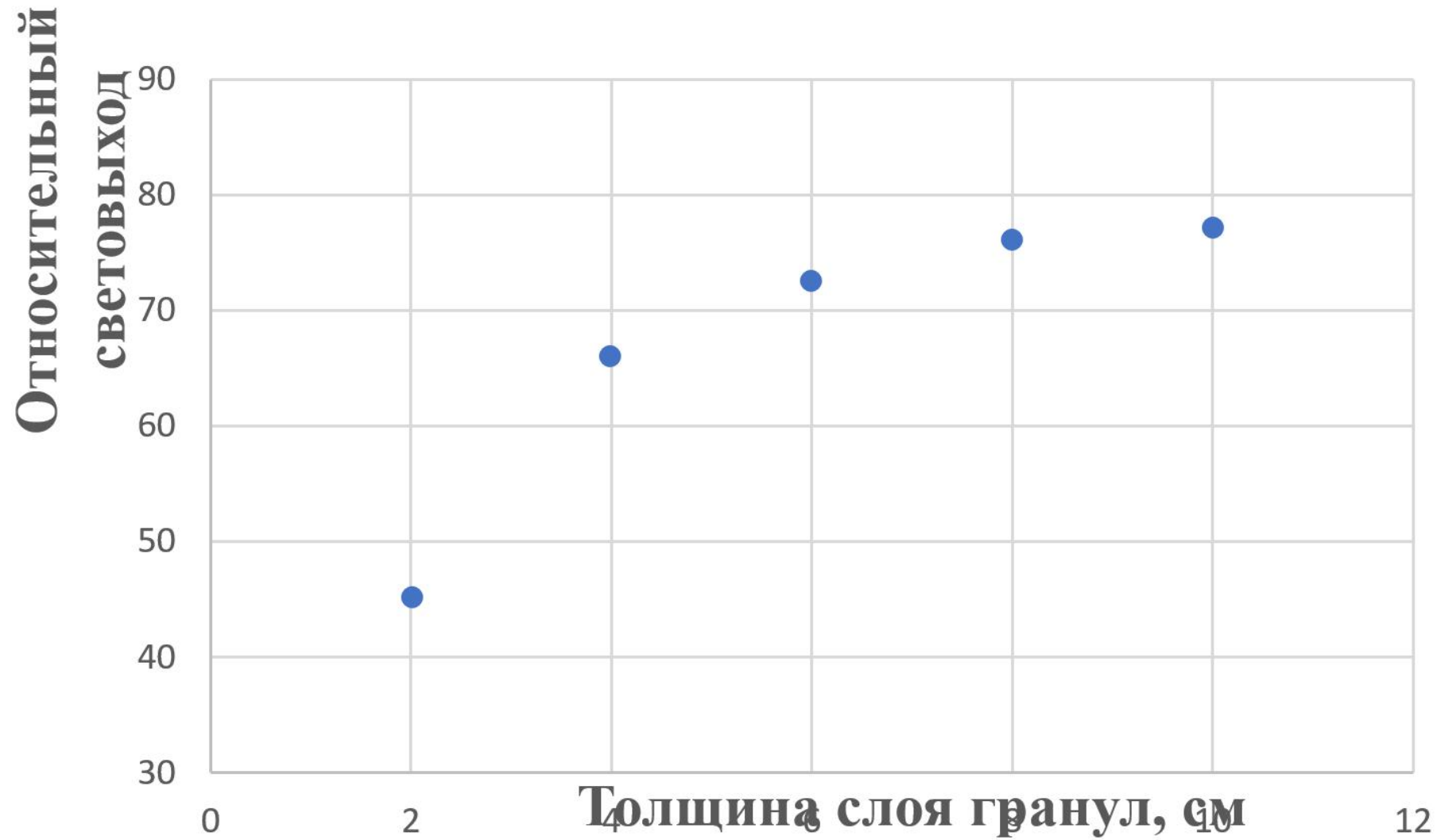
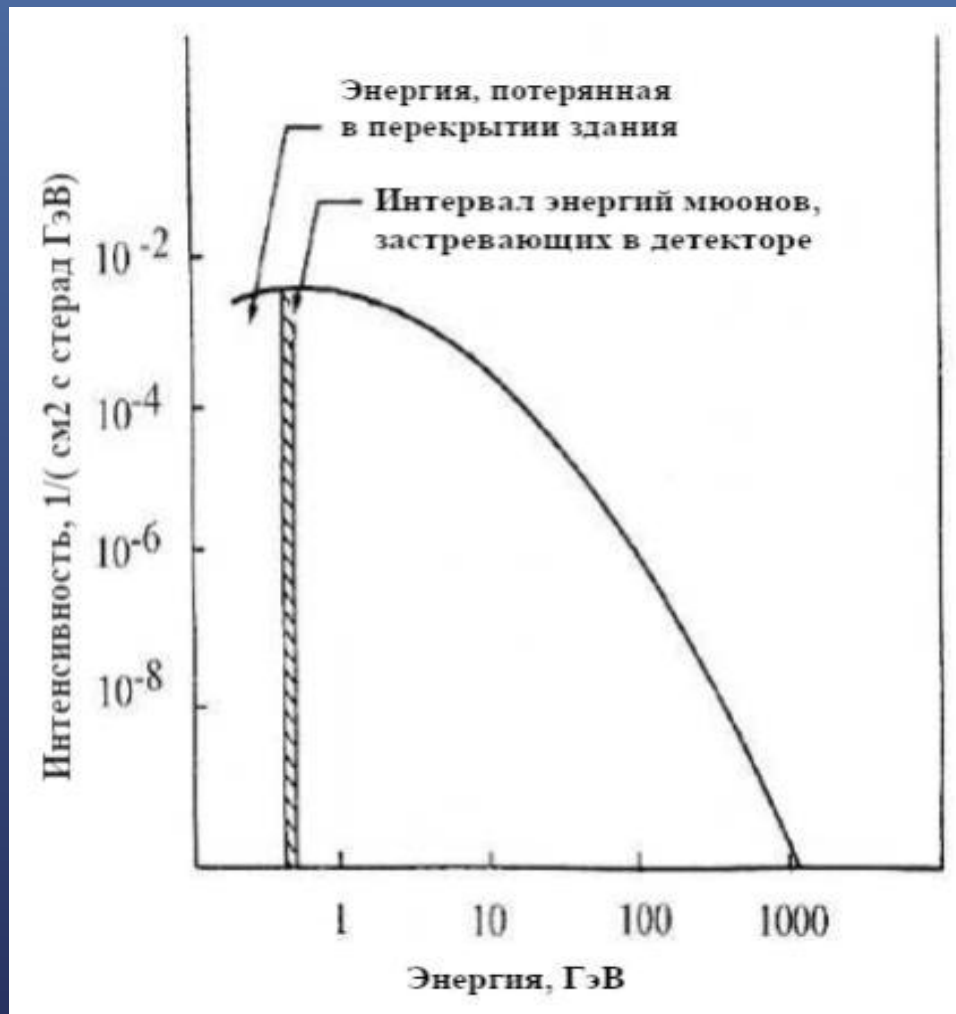


Фото общего вида счётчика без крышки с частично снятой верхней половиной слоя гранул.

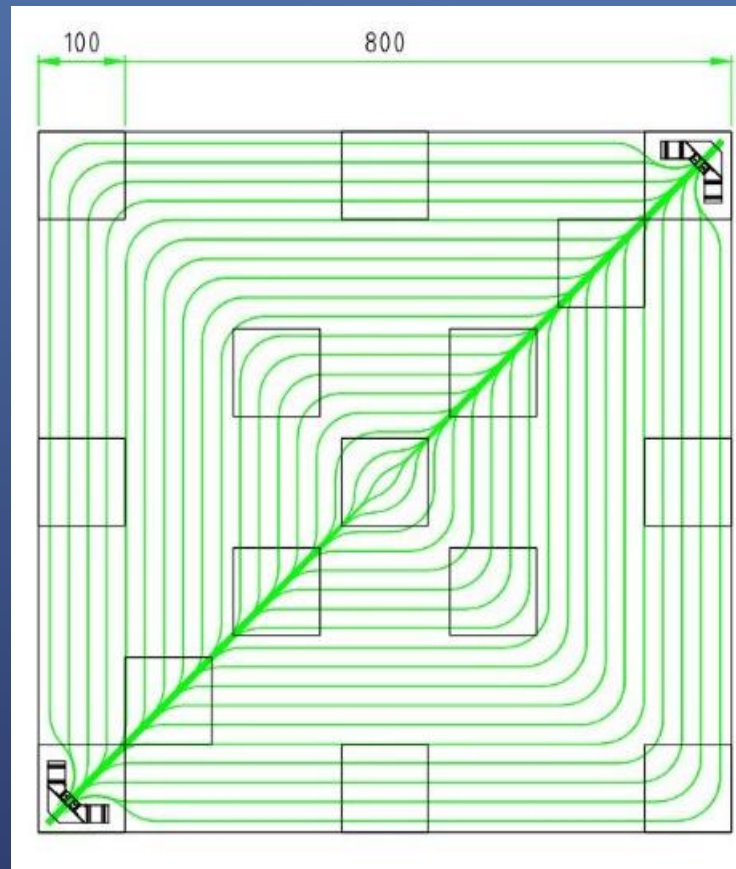


Зависимость относительного световыхода слоя гранул от толщины. Можно считать, что толщины 6-8 см являются оптимальными по отношению световыход/толщина слоя.

# РАЗВИТИЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ И ДЕТЕКТОРОВ НА ИХ ОСНОВЕ



Интервал энергий, застревающих в счётчике S2 мюонов

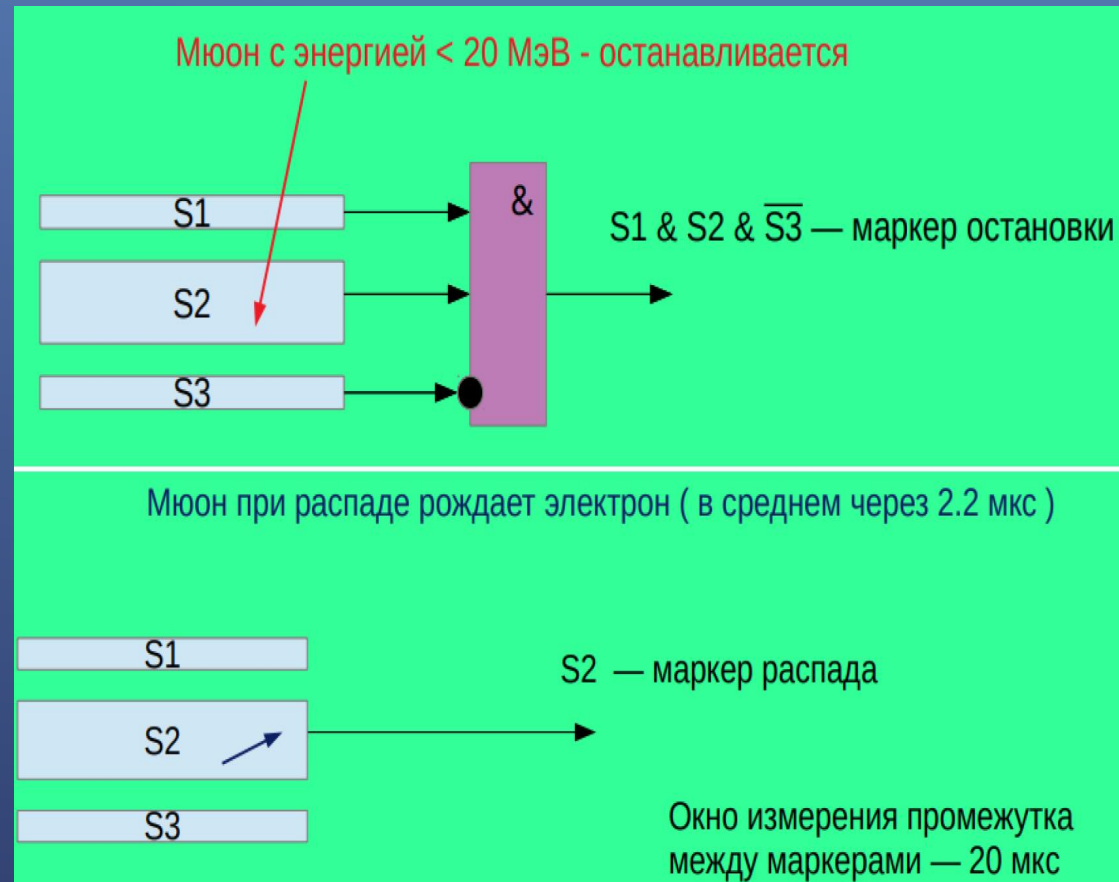


Конфигурация расположения волокон в S1, S2 квадратами обозначены области измерения световыхода

# РАЗВИТИЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ И ДЕТЕКТОРОВ НА ИХ ОСНОВЕ

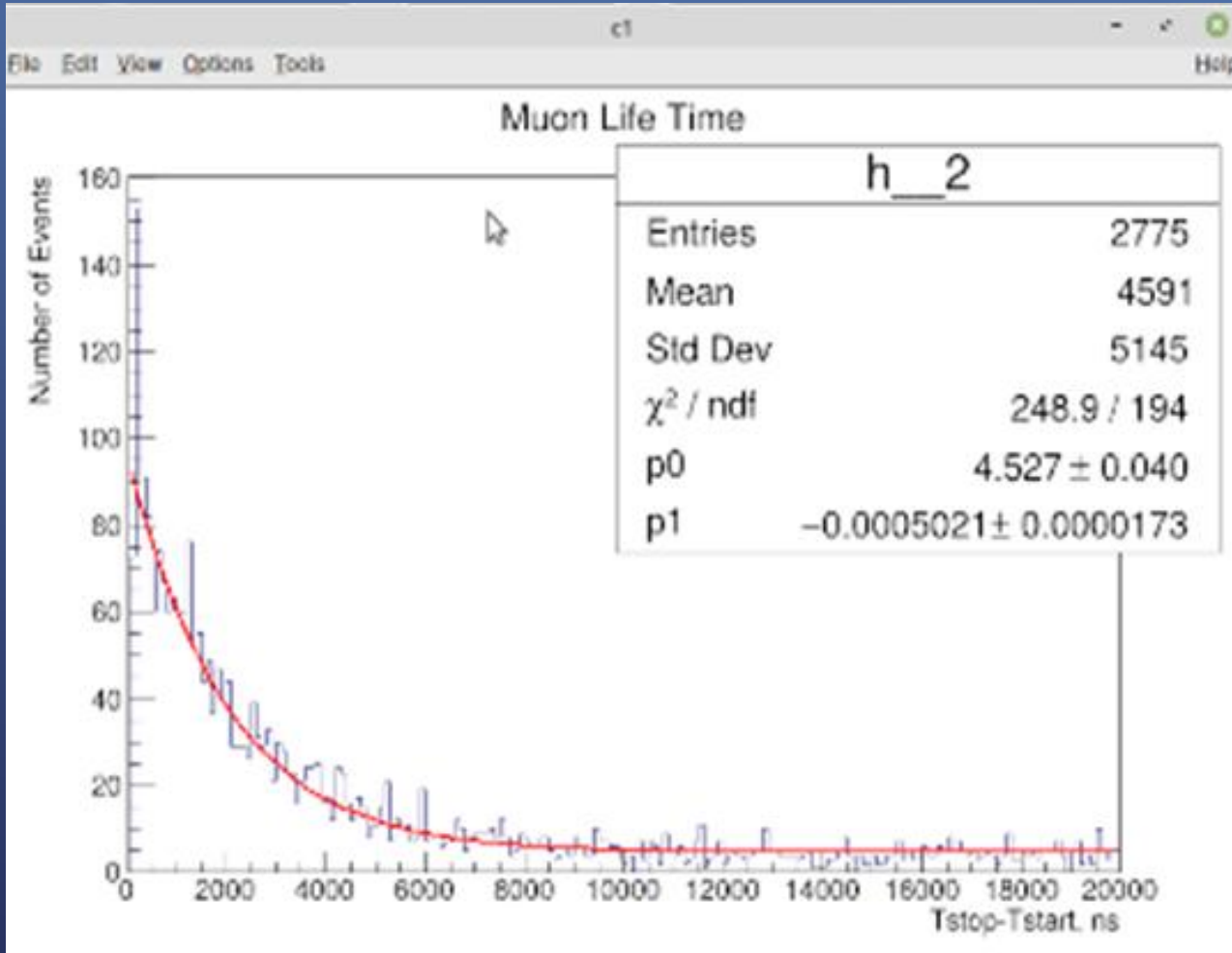


Общий вид установки



Логические схемы выработки маркеров остановки и распада мюонов

# РАЗВИТИЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ И ДЕТЕКТОРОВ НА ИХ ОСНОВЕ



Результатом эксперимента является измеренная величина времени жизни мюона  $\tau = (1992 \pm 69)$  нс при табличном значении  $\tau = 2197$  нс для мюона в вакууме. Заметное различие приведённых значений связано с тем, что в полистироле время распада отрицательных мюонов меньше, и составляет около 1900 нс, в то время как положительные мюоны имеют время жизни около 2200 нс.

Зависимость числа распавшихся мюонов от времени.

