

НИЯУ «МИФИ»

Преддипломная практика на тему:

Исследование альфа-активности в детекторе DEAR-3600

Выполнила: ст. гр. М19-115 М.А. Семичева
Научный руководитель: Доц., к.ф.-м.н. А.В.Гробов

Москва 2021

Цели работы:

- Вычисление величин, необходимых для оценки активности ^{210}Po в разных частях детектора;
- Оценка активности ^{210}Po в объеме и на поверхности детектора;
- Оценка вклада от альфа-распадов ^{210}Po с поверхности детектора в область поиска WIMP.

Эксперимент DEAP-3600

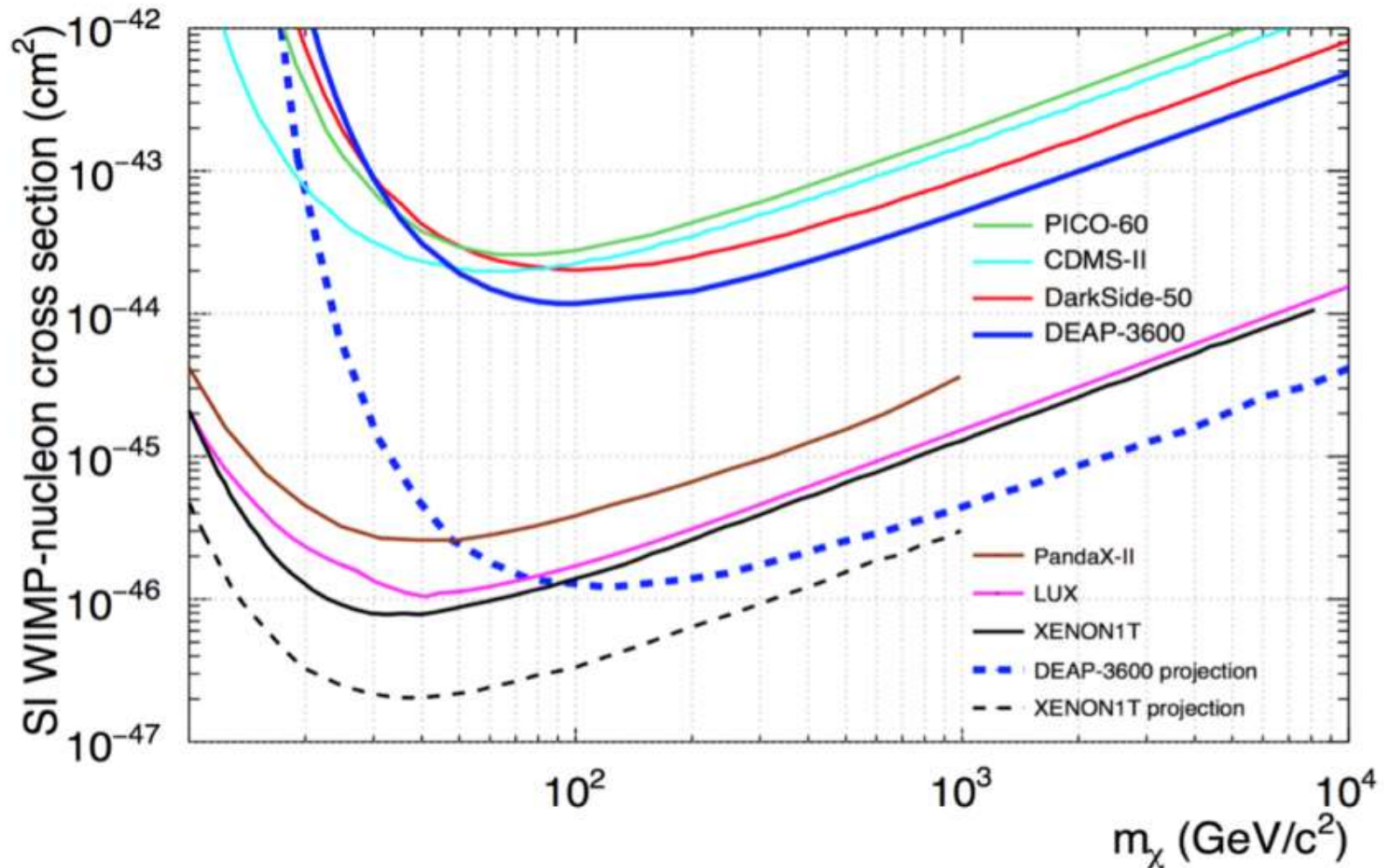


Рисунок 1 – Верхние пределы сечения рассеяния WIMP-ов на ядре в зависимости от массы WIMP для разных экспериментов (пунктиром обозначены прогнозы)

Детектор DEAR-3600

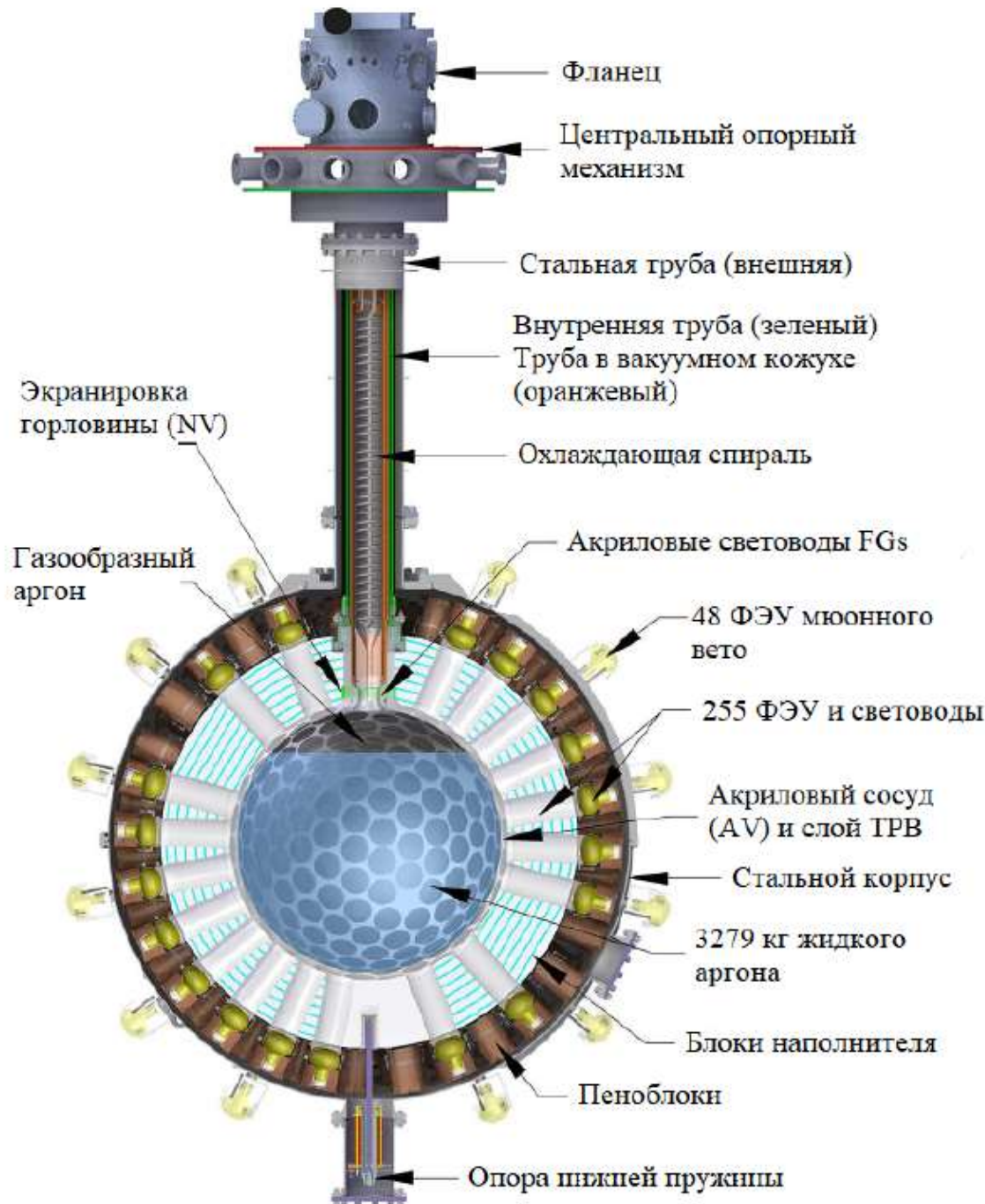


Рисунок 2 – схема поперечного сечения детектора

Источники фона

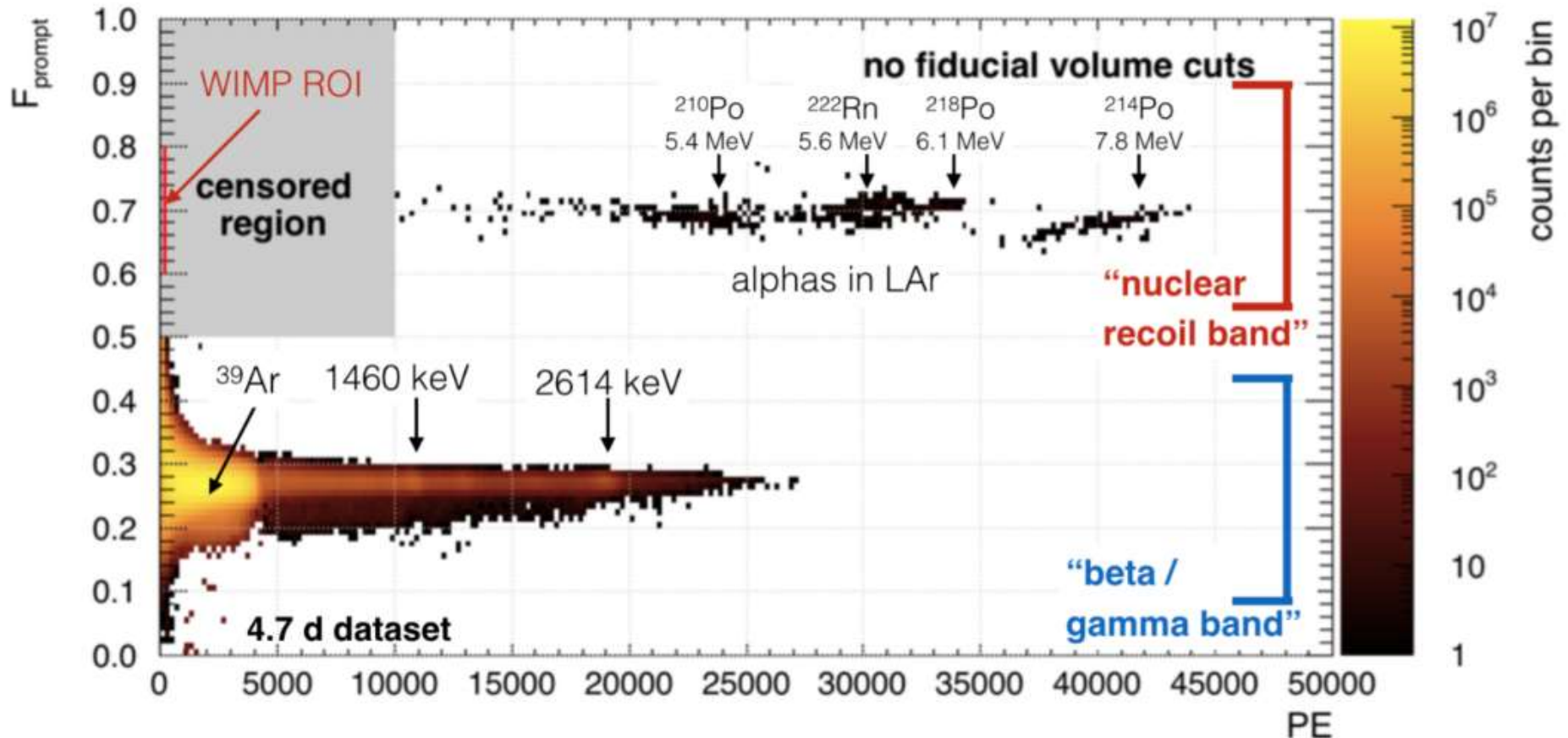


Рисунок 3 – Основные популяции фоновых событий. Здесь F_{prompt} – параметр дискриминации формы импульса (доля ФЭ, обнаруженных вблизи времени события)

Фоновые события от альфа-распадов ^{210}Po

α MC Populations

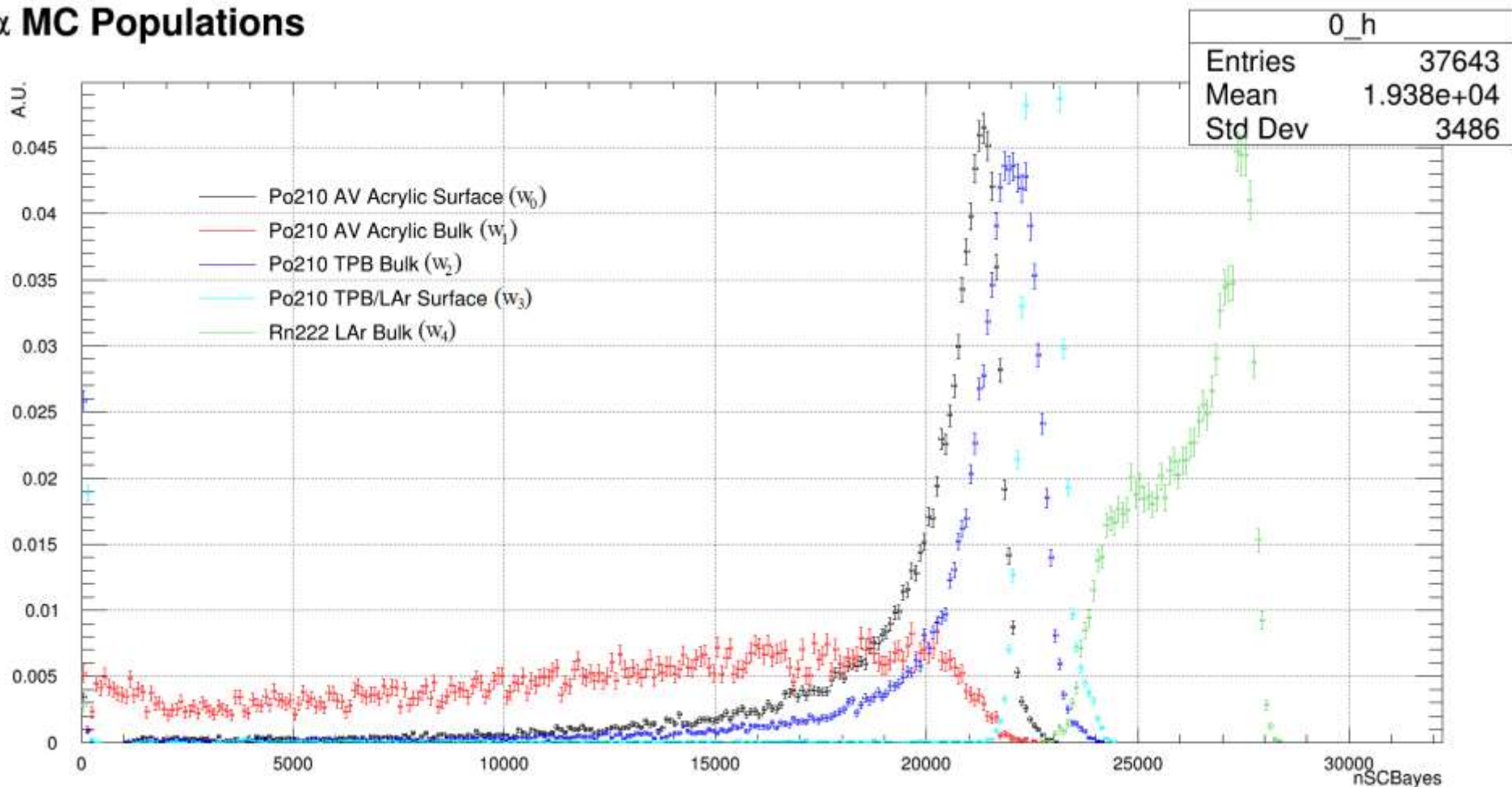


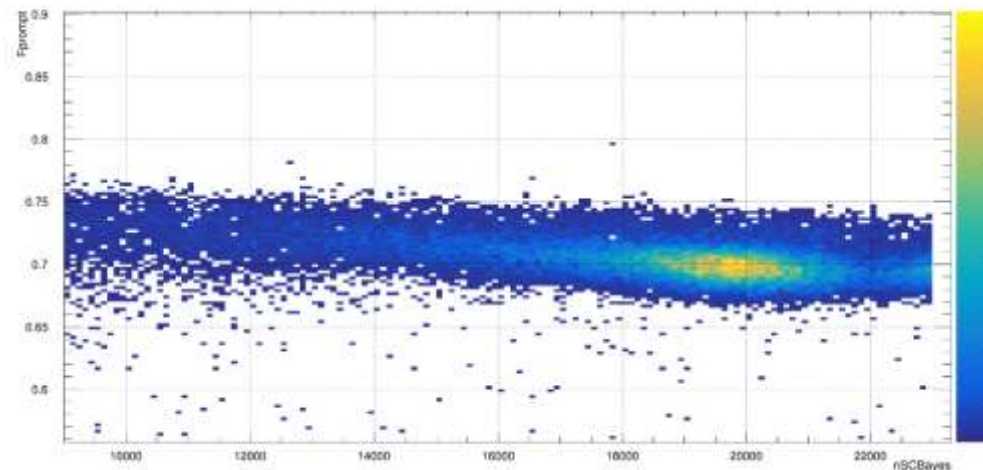
Рисунок 4 – Выборка MC событий от альфа-распадов ^{210}Po в разных частях детектора

Экспериментальные данные

Критерии отбора, используемые для выделения региона событий с альфа-распадами ^{210}Po :

- nSCBayes ($9000 < PE < 23000$)
- Fprompt > 0.55
- dtmTrigSrc (триггер мюонного вето)
- calcut (случайное срабатывание триггера)
- fmaxpe < 0.75 (черенковские события)
- mblikelihoodZ $< 500\text{mm}$ (уровень заполнения сосуда)
- subeventN == 1 (наложенные события)

Fprompt vs. nSCBayes Three Years Dataset



nSCBayes Three Years Dataset

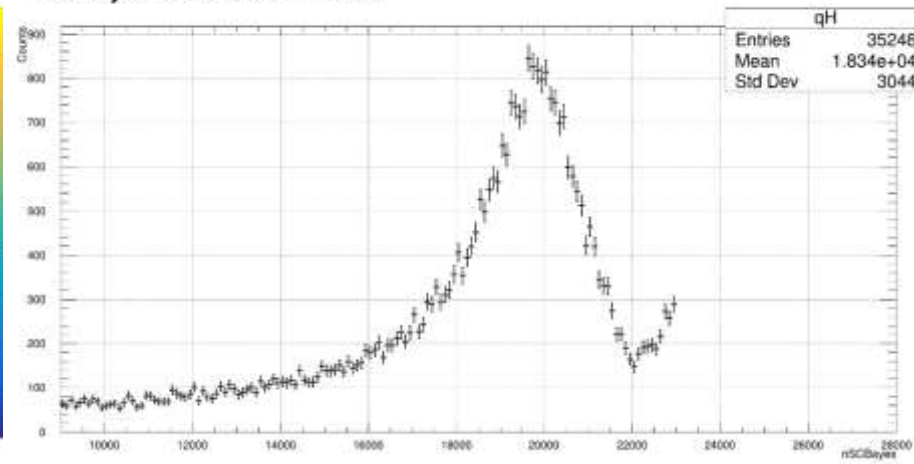


Рисунок 5 – Распределение событий после применения критериев отбора в координатах (Fprompt, PE) и одномерное распределение

Вычисление активности

$$N_{trig.} = \sum_u^{N_{comp}} (w^u f_{pileup} N_{trig}) = t_{live} \times \left(\sum_u^{N_{comp}} \mathcal{A}^u \epsilon^u S^u \right), \quad \sum_u^{N_{comp}} w^u = 1 \quad (1)$$

- N_{trig} – количество срабатываний триггера
- w^u – веса компонент
- f_{pileup} – коррекция наложений
- A^u – активность
- ϵ^u – вероятность срабатывания триггера
- S^u – площадь поверхности (или объем)
- t_{live} – живое время сбора данных

Откуда
$$\mathcal{A}^u S^u = \frac{w^u f_{pileup} N_{trig.}}{\epsilon^u t_{live}} [Bq] \quad (2)$$

❑ Веса компонент

Таблица 1 – значения весов компонент

Параметр	Значение параметра
σ_{TPB}	0.045
μ_{TPB}	0.95
σ_{LAr}	0.00
μ_{LAr}	1.00
w^0	$75.8 \pm 0.7\%$
w^1	$17.9 \pm 0.4\%$
w^2	$0.0 \pm 0.2\%$
w^3	$3.7 \pm 0.3\%$
w^4	$4.5 \pm 0.0\%$

PE Spectrum for selected $^{210}\text{Po} + ^{222}\text{Rn}$ Events

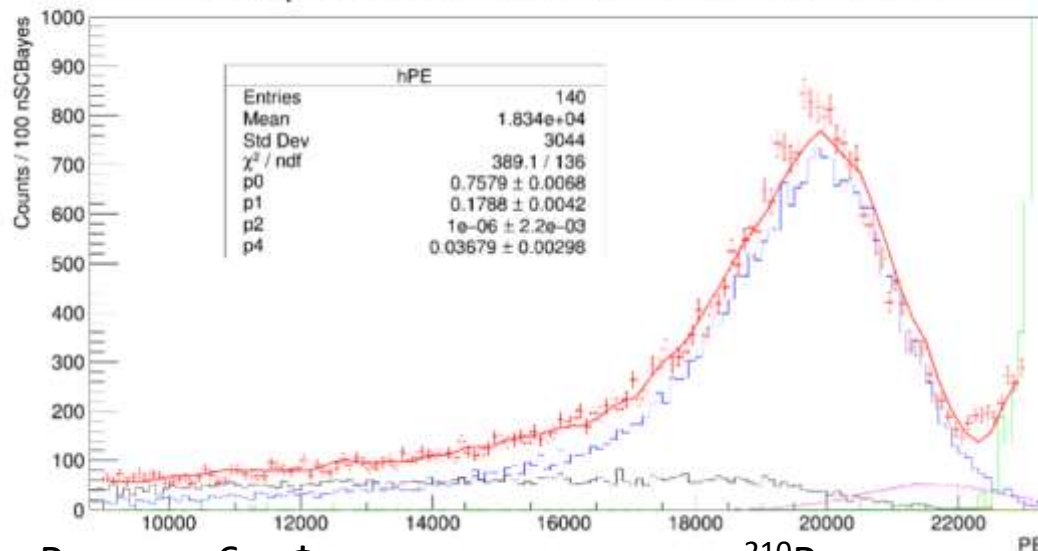


Рисунок 6 – Фитирование спектра ^{210}Po в диапазоне $9000 \div 23000$ PE

❑ Вероятности срабатывания триггеров

Компонента	Вероятность срабатывания триггера, %
^{210}Po на поверхности AV	43.2 ± 0.3
^{210}Po в объеме AV	10.59 ± 0.12
^{210}Po в объеме TPB	46.0 ± 0.3
^{210}Po на поверхности раздела TPB/LAr	47.7 ± 0.3
^{222}Rn в объеме LAr	4.1 ± 0.2

Таблица 2 – вероятности срабатывания триггеров

□ Коррекция наложений

После применения ката $subeventN=1$ было удалено 4.17% событий =>

$$f_{pileup} = \frac{1}{1 - 0.0417} = 1.044 \quad (3)$$

□ Живое время сбора данных

$$t_{live} = 33557691.61 - 3.402 \times 10^{-3} = 33557691.6 \pm 1.0s \quad (4)$$

□ АКТИВНОСТЬ

Таблица 3 – Оценка активности для компонент

Компонента	$N_{trig.}$	Активность
^{210}Po на поверхности AV	27893.6	0.269 ± 0.003 мБк/м ²
^{210}Po в объеме AV	6587.01	5.76 ± 0.15 мБк/кг ⁻¹ 2.94 ± 0.05 мБк
^{210}Po на поверхности TPB	<1	<0.01 мБк/м ²
^{210}Po на поверхности раздела TPB/LAr	1361.56	0.012 ± 0.001 мБк/м ²
^{222}Rn в объеме LAr	1655.95	0.37 ± 0.02 мкБк/кг ⁻¹

Итоговая оценка: ^{210}Po на поверхности = 0.281 ± 0.007 мБк/м²
 ^{210}Po в объеме = 2.94 ± 0.05 мБк

Вклад в область поиска WIMP

Po210 Surface MC

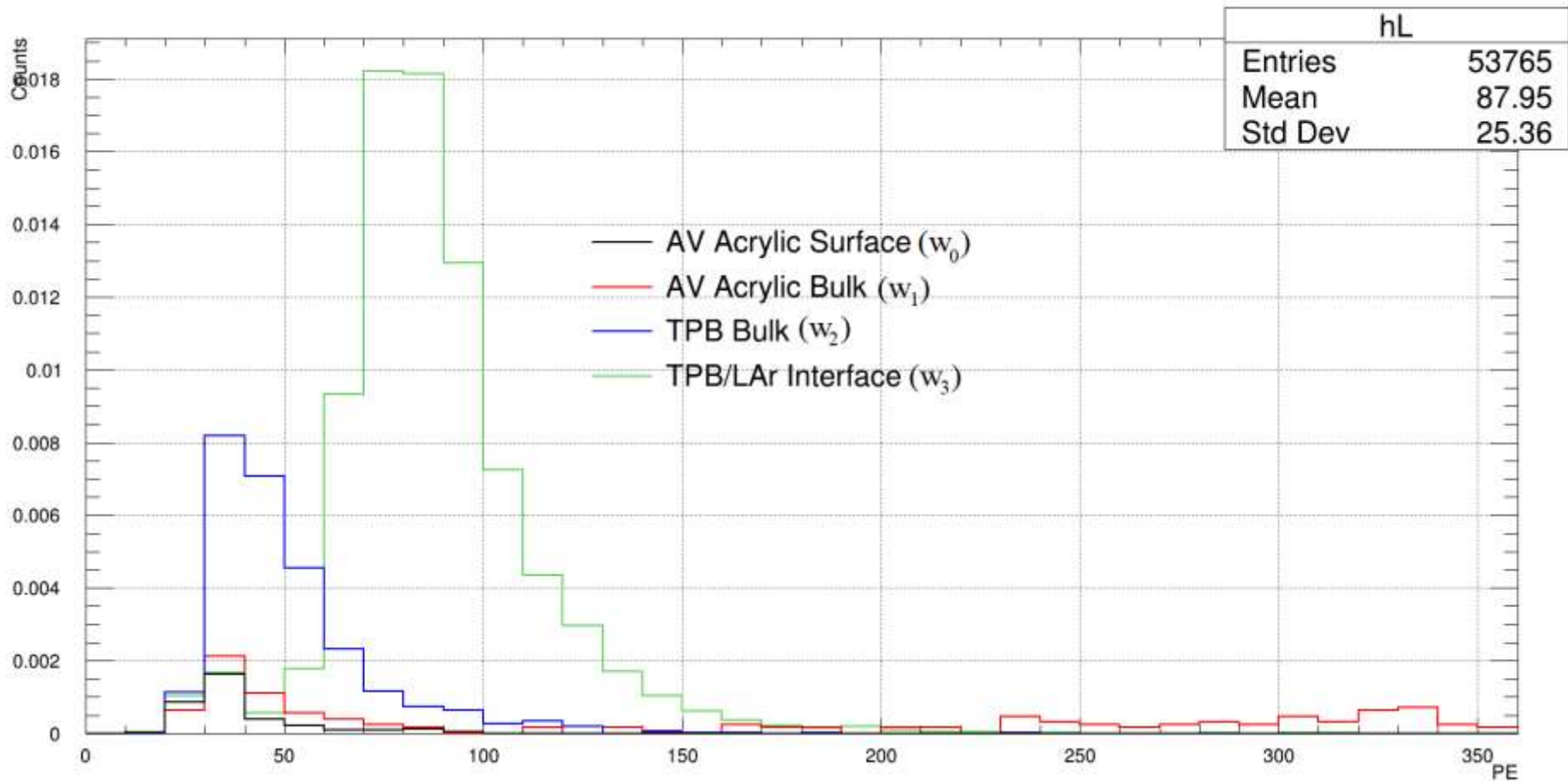


Рисунок 7 – Относительное количество MC-событий от каждой компоненты ^{210}Po вблизи ROI WIMP (93-200 PE)

PE Spectrum for selected $^{210}\text{Po} + ^{222}\text{Rn}$ Events

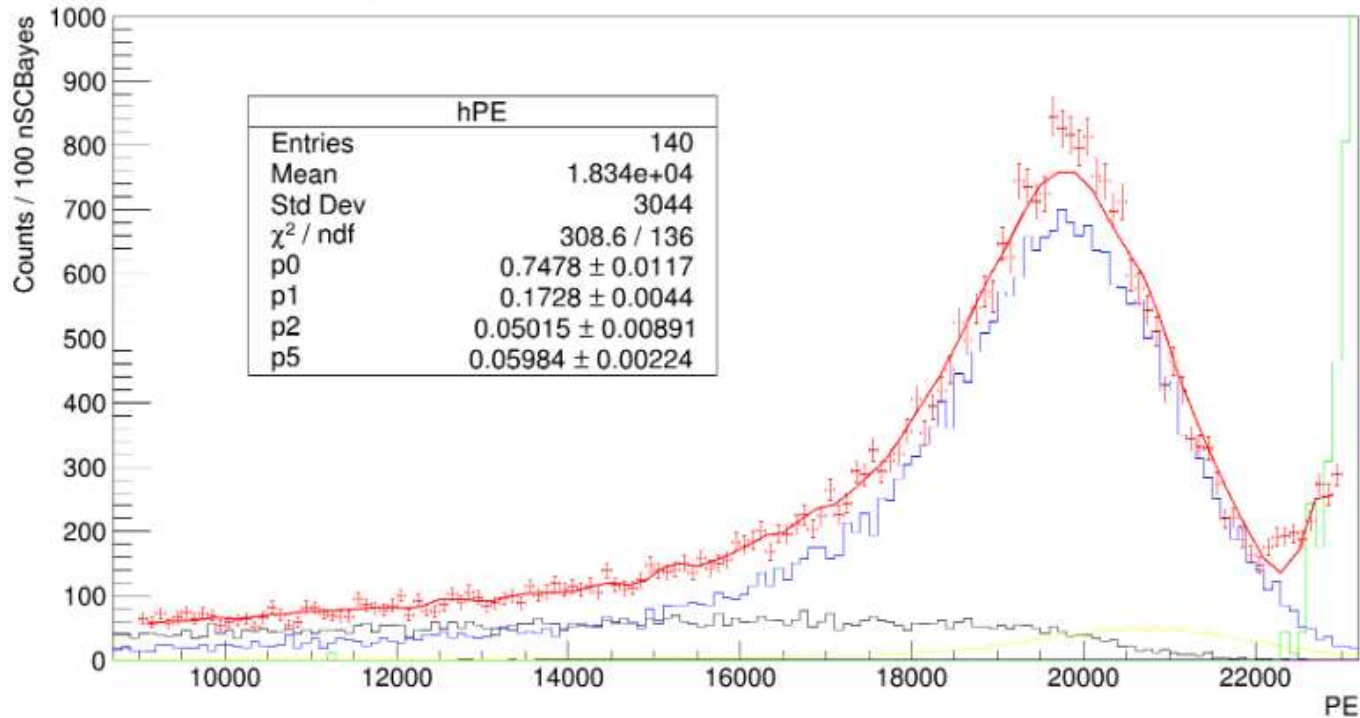


Рисунок 8 – Фитирование пика ^{210}Po с опущенной компонентой w_3

Значение верхнего предела w_3 и других w_i в соответствующее число срабатываний триггеров можно преобразовать по формуле:

$$N_{\text{trig}}^u = w^u f_{\text{pileup}} N_{\text{trig}}. \quad (5)$$

Отсюда $N_{\text{trig}}^3 = 1840$, $N_{\text{trig}}^0 = 27231$, $N_{\text{trig}}^1 = 6256$

$(\mu, \sigma) = (1.00, 0.01)$, Total PE [93,200]: 2460.65

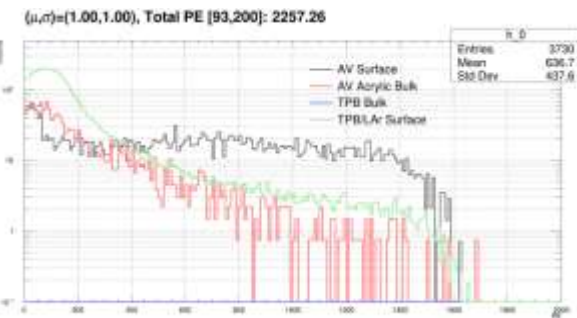
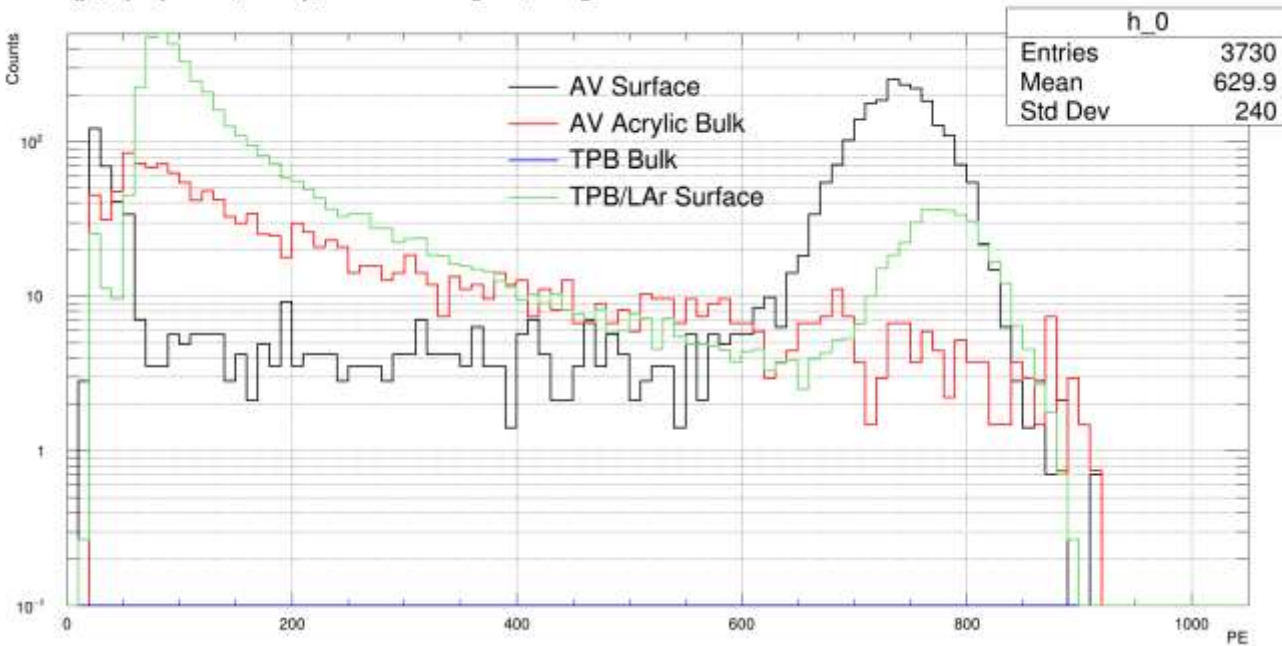


Рисунок 9 – Вариации N_{trig} в диапазоне [93, 200] ФЭ для различных комбинаций сцинтилляционного выхода TPB (μ) и шероховатости поверхности (σ): $\mu \in (0.5, 2.0)$ и $\sigma \in (0.01, 1.0)$

Номинальное значение: 2461^{+811}_{-1125}

Верхний предел 90% достоверности для поверхностных событий (с катом $f_{maxre} < 0,4$): $\alpha_{AV,90\%} = 1668 + (1.28 \times 778) \approx 2700$.

где '1.28' – z показатель одностороннего интервала для нормального распределения с доверительной вероятностью 90%

Экспериментальные данные

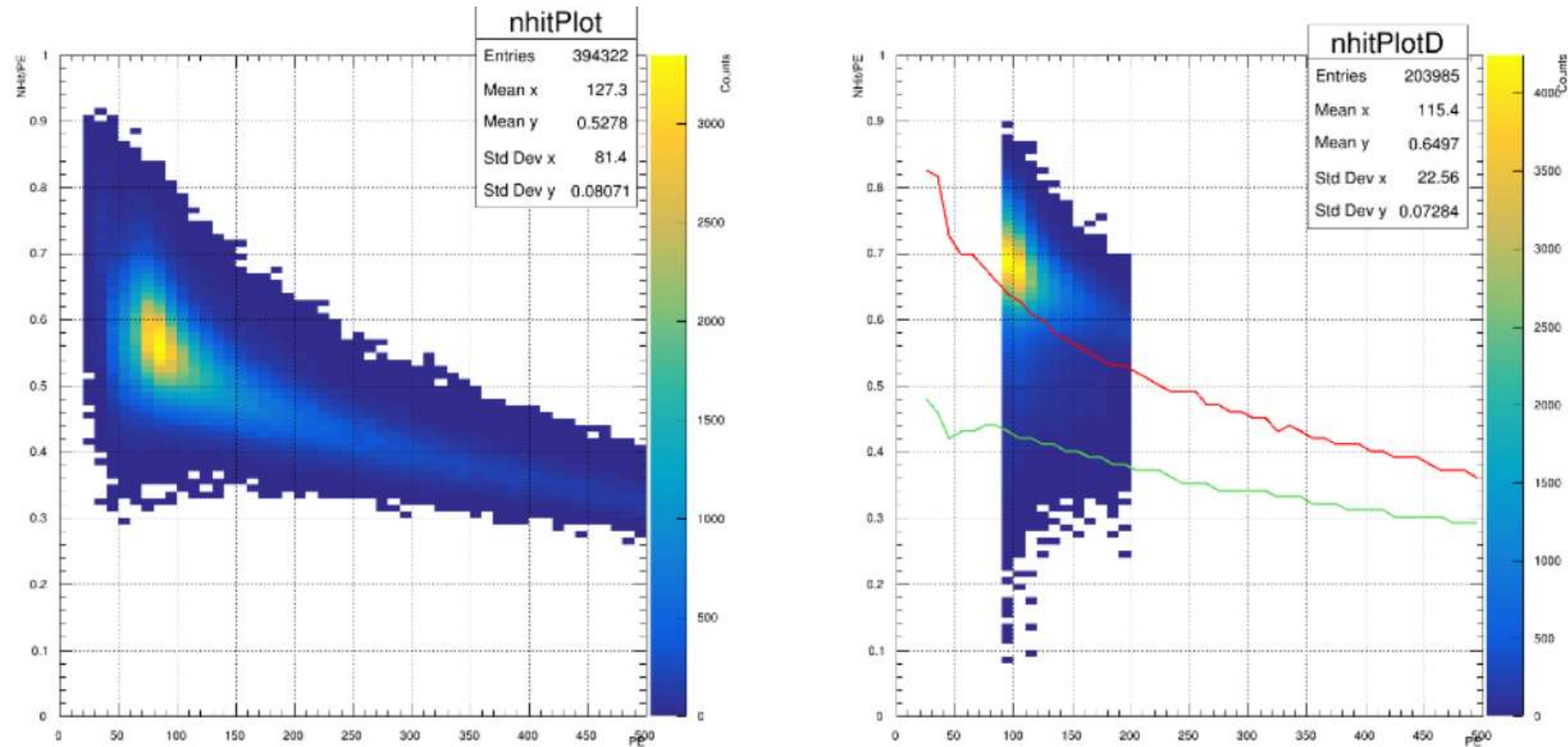


Рисунок 10 – Слева: MC-распады от ^{210}Po на поверхности раздела TPB/LAr; справа: распределение данных N_{Hit}/PE с 1% поверхностных событий под зеленой кривой и 96% поверхностных событий под красной кривой. 1957 событий насчитано между двумя контурными линиями (после применения катов)

Оценка вероятности утечки: $F_{LF} < 10^{-3}$

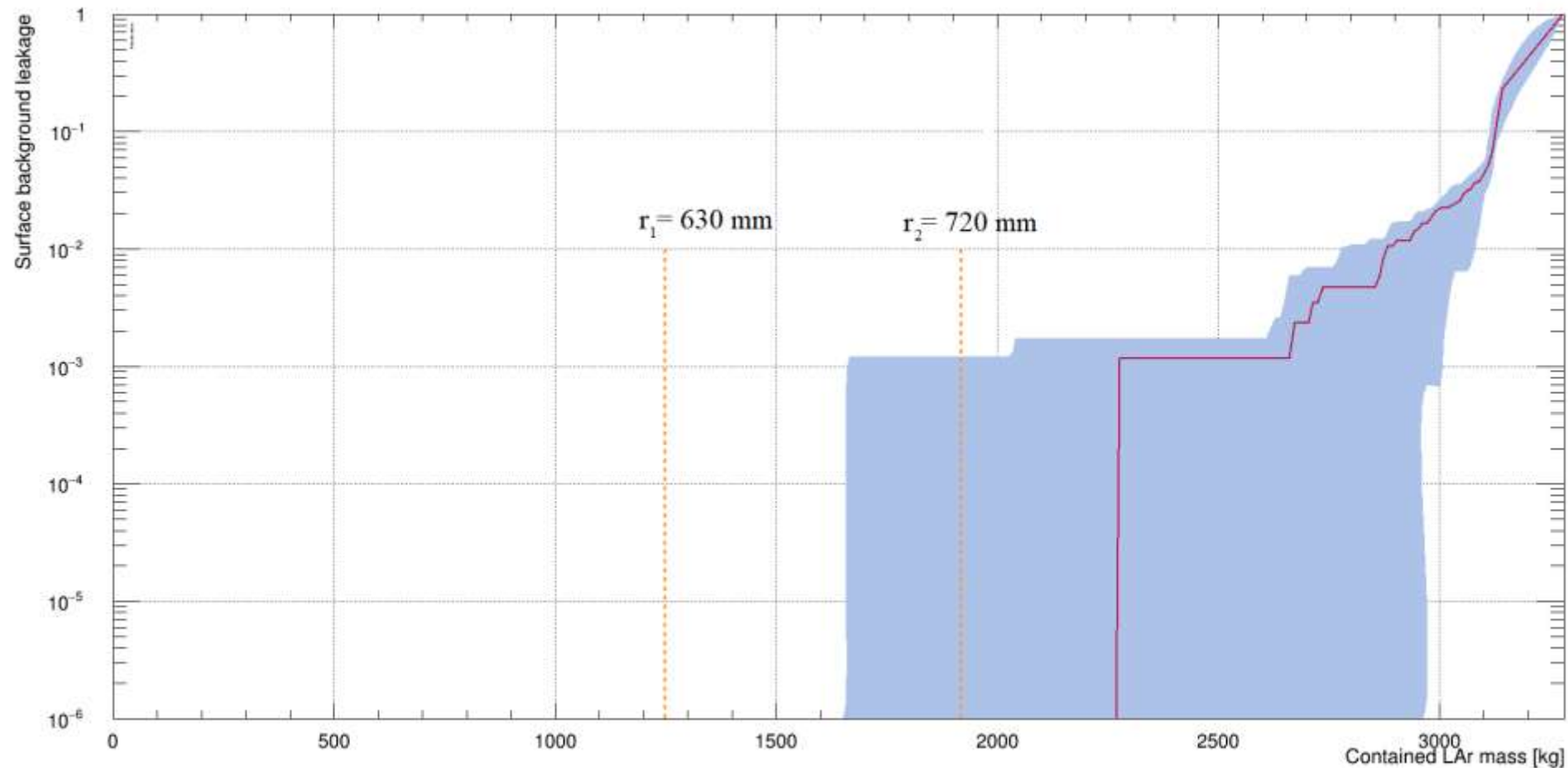


Рисунок 11 – Зависимость вероятности утечки поверхностных событий в область поиска WIMP от содержащейся в детекторе массы LAr. Красной линией показана оценка утечки для номинального количества событий; синим – оценка погрешности количества событий

Результаты

- Определен вклад различных компонент в общую активность ^{210}Po
- Вычислен ряд величин, необходимых для расчета активности ^{210}Po
- Вычислена активность ^{210}Po в объеме и на поверхности детектора
- Получена оценка верхнего предела вероятности утечки поверхностных событий от альфа-распадов ^{210}Po в область поиска WIMP