

Выпускная квалификационная работа магистра

# Исследование альфа-активности в детекторе DEAP-3600

Студент: М.А. Семичева

Научный руководитель: доц., к.ф.-м.н. А.В.Гробов

# Цели работы:

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

# Эксперимент DEAP-3600

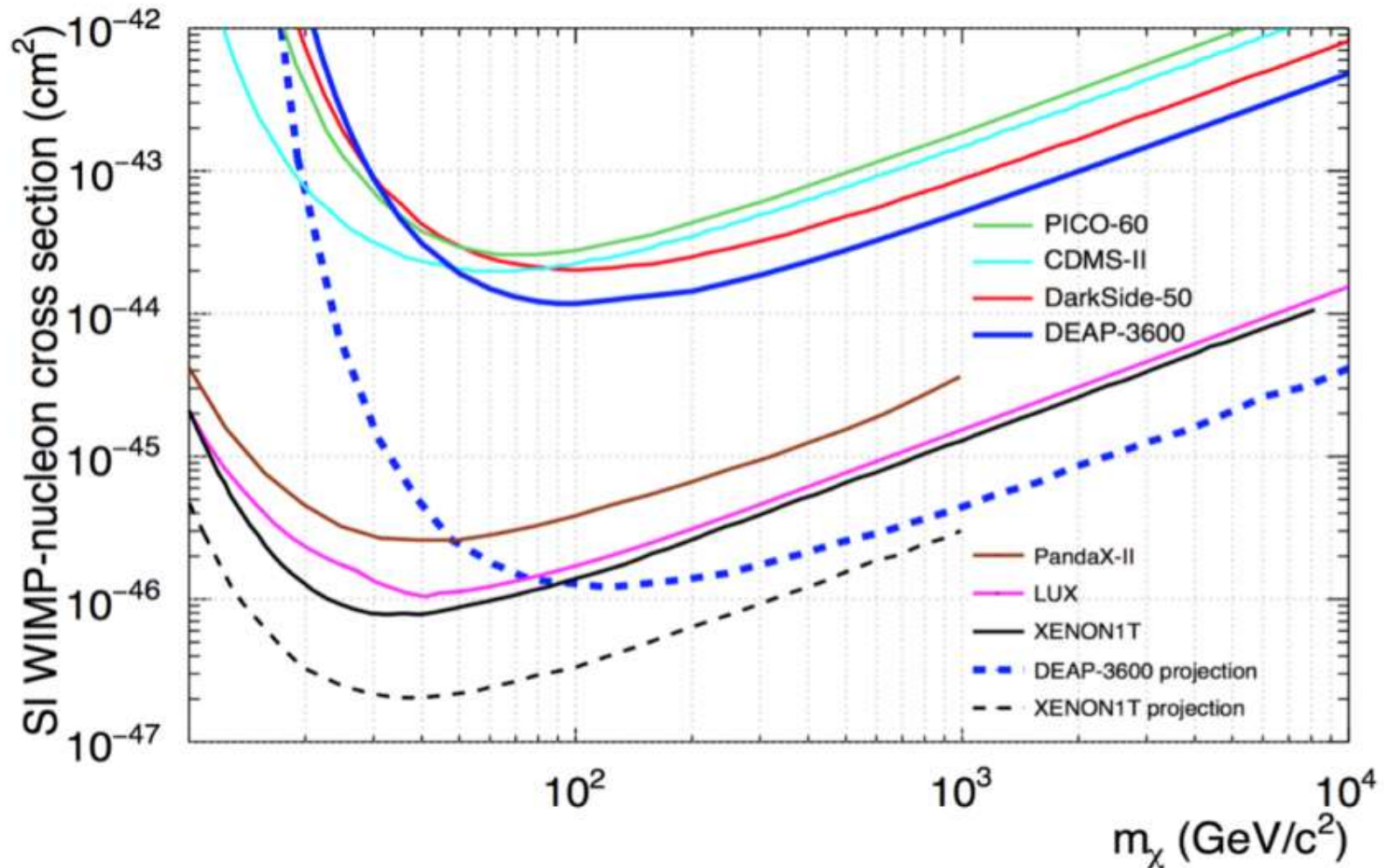


Рисунок 1 – Верхние пределы сечения рассеяния WIMP-ов на ядре в зависимости от массы WIMP для разных экспериментов (пунктиром обозначены прогнозы)

# Детектор DEAR-3600

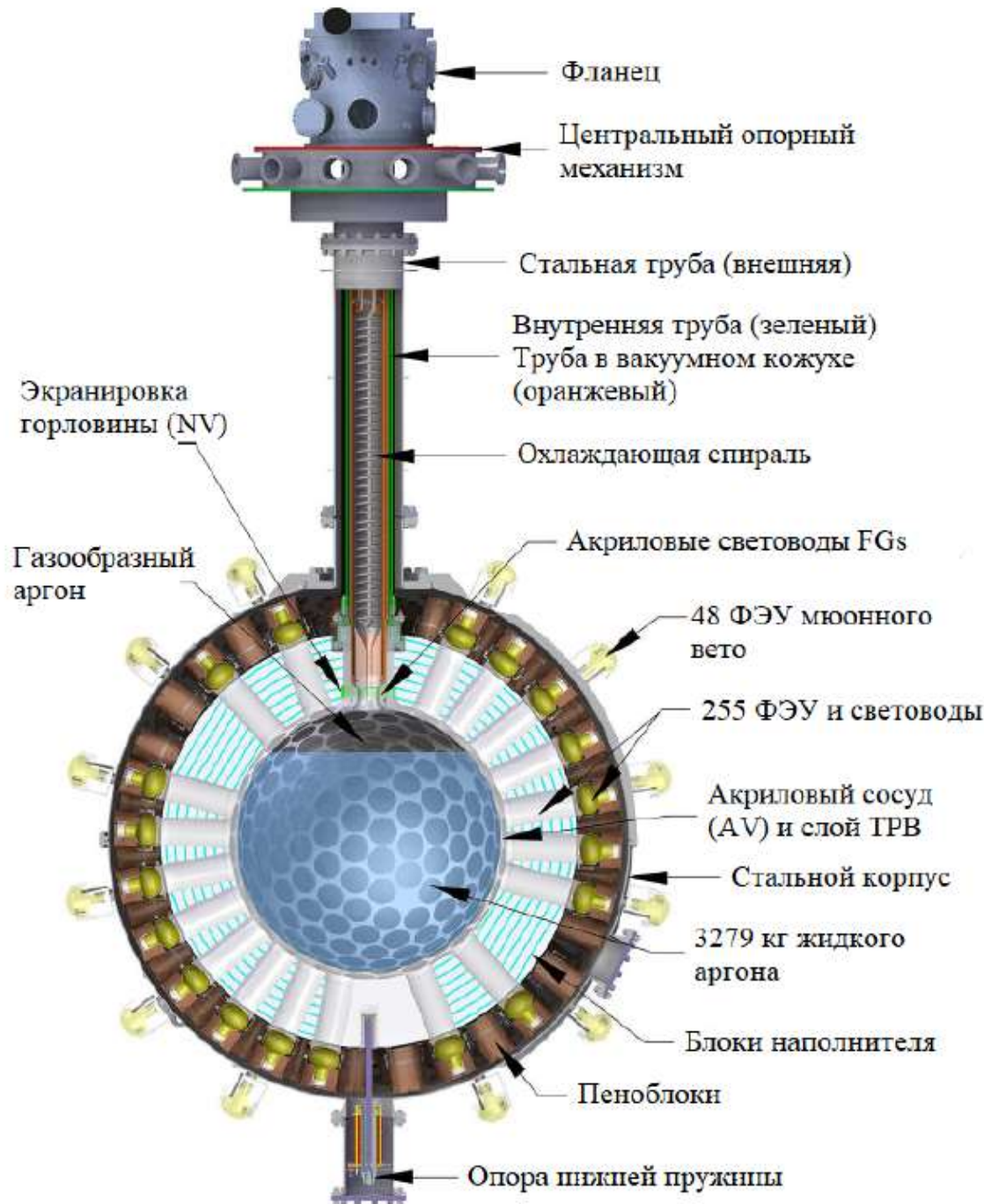


Рисунок 2 – Схема поперечного сечения детектора

# Источники фона

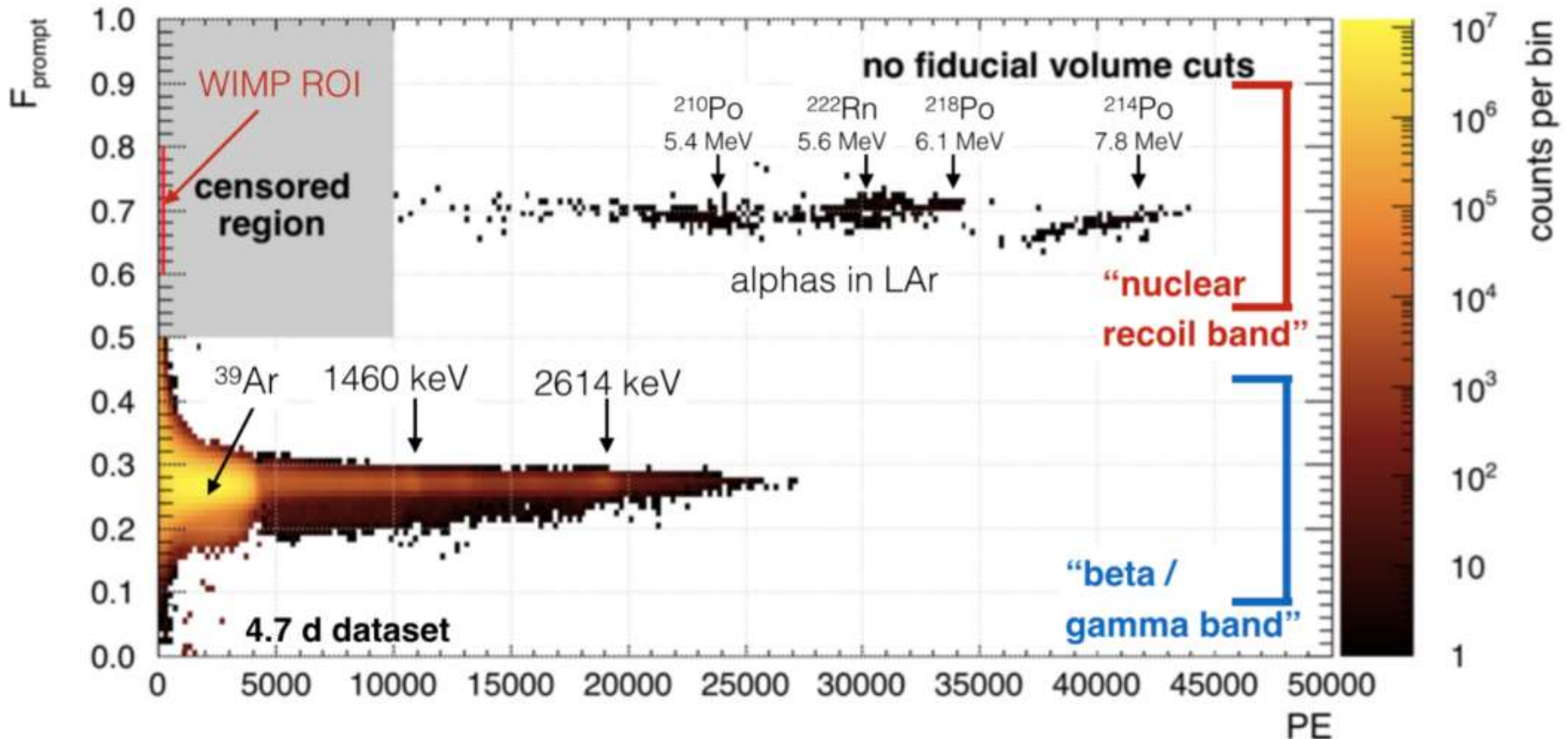


Рисунок 3 – Основные популяции фоновых событий. Здесь  $F_{\text{prompt}}$  – параметр дискриминации формы импульса (доля ФЭ, обнаруженных вблизи времени события)

# Фоновые события от альфа-распадов $^{210}\text{Po}$

$\alpha$  MC Populations

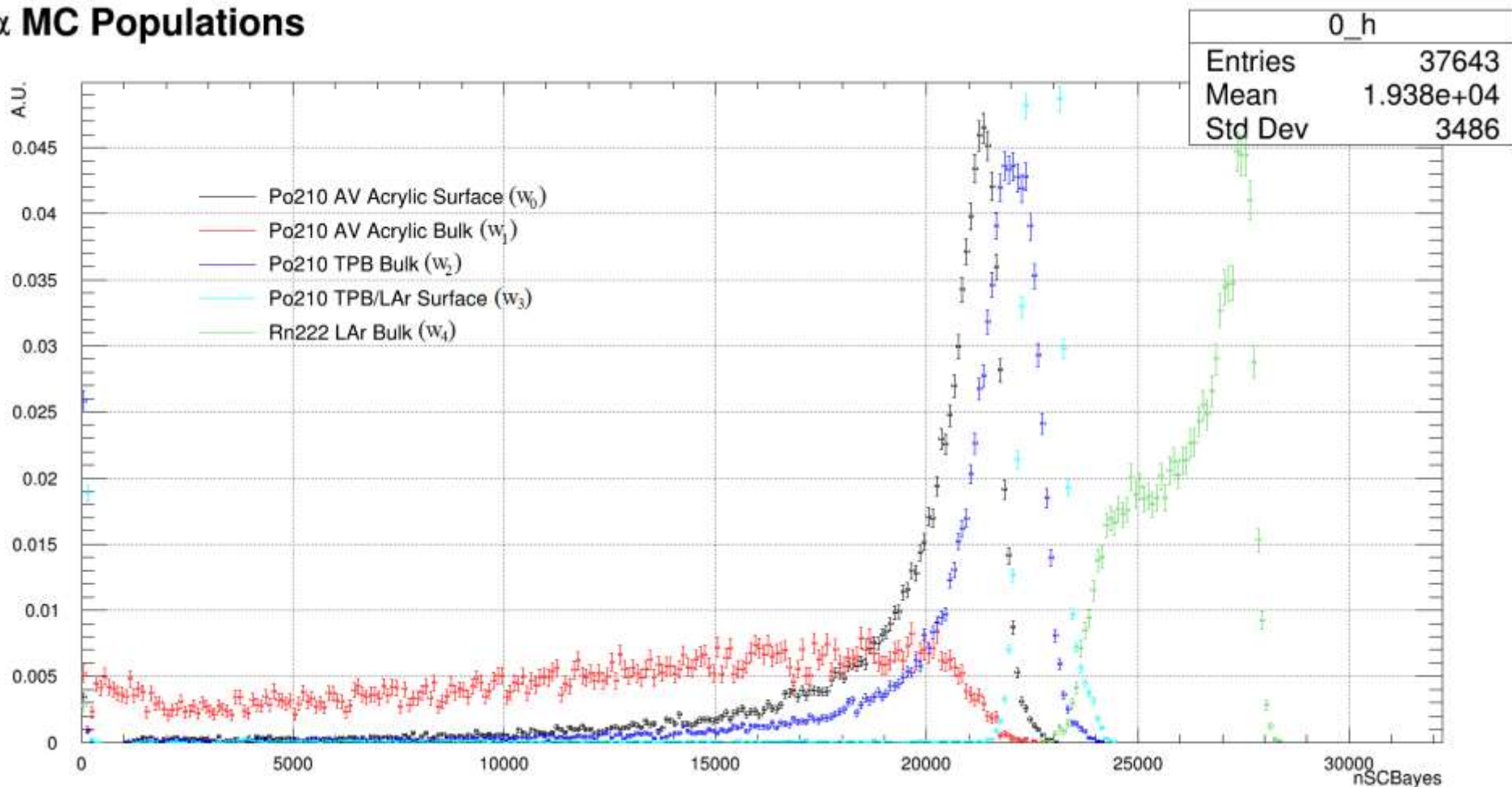


Рисунок 4 – Выборка MC событий от альфа-распадов  $^{210}\text{Po}$  в разных частях детектора

# Экспериментальные данные

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

- nSCBayes ( $9000 < \text{PE} < 23000$ )
- 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)

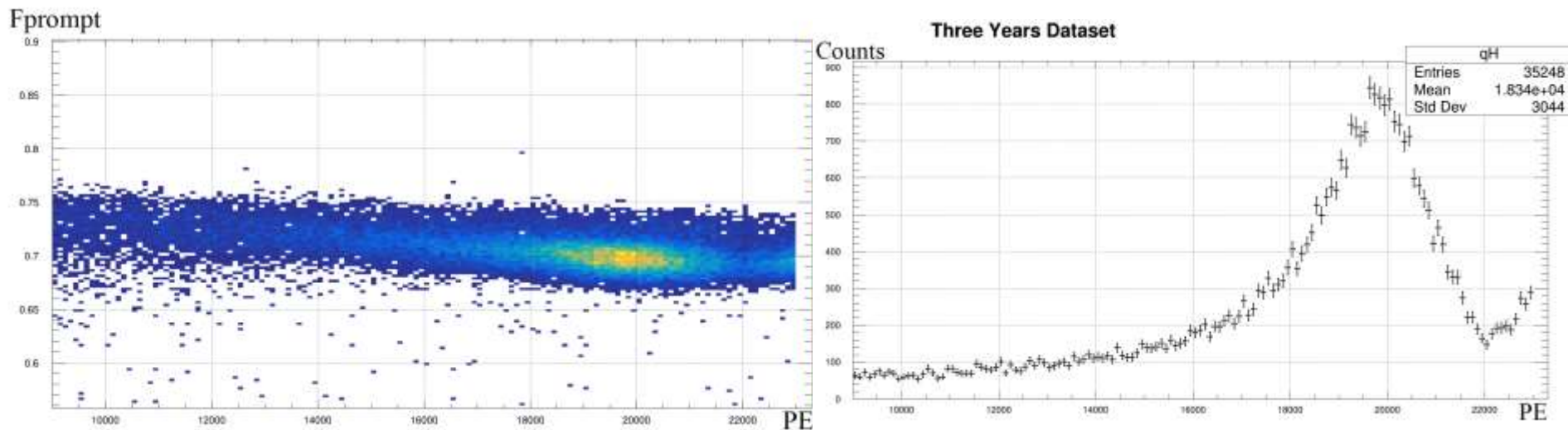


Рисунок 5 – Распределение событий после применения критериев отбора в координатах ( $F_{\text{prompt}}$ , PE) и одномерный спектр

# 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
- $\epsilon^u$  – 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
$\sigma_{TPB}$	0.045
$\mu_{TPB}$	0.95
$\sigma_{LAr}$	0.00
$\mu_{LAr}$	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

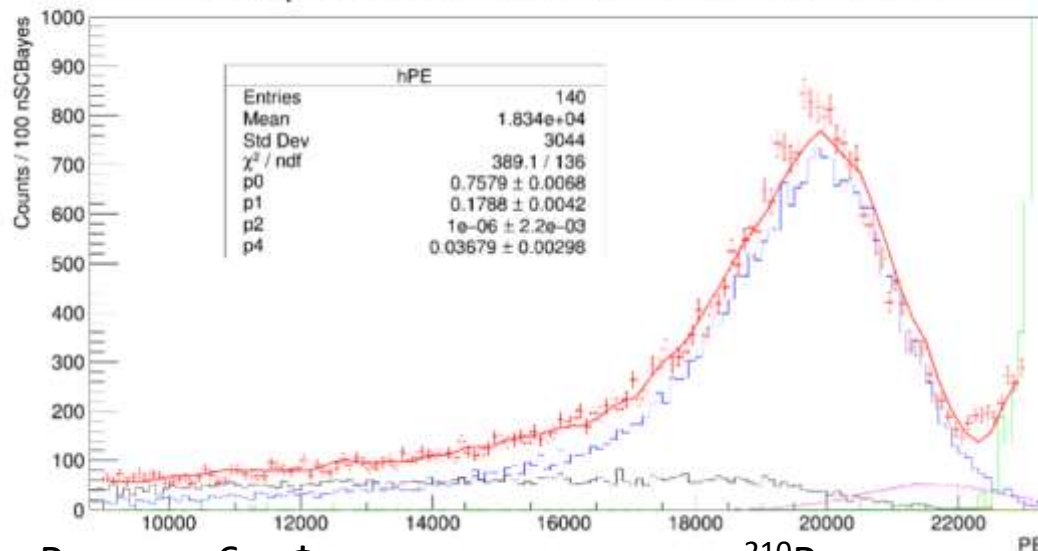


Рисунок 6 – Фитирование спектра  $^{210}\text{Po}$  в диапазоне  $9000 \div 23000$  PE

## ❑ Вероятности срабатывания триггеров

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

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
$^{210}\text{Po}$ на поверхности AV	27893.6	$0.269 \pm 0.003$ мБк/м <sup>2</sup>
$^{210}\text{Po}$ в объеме AV	6587.01	$5.76 \pm 0.15$ мБк/кг <sup>-1</sup> $2.94 \pm 0.05$ мБк
$^{210}\text{Po}$ на поверхности TPB	<1	<0.01 мБк/м <sup>2</sup>
$^{210}\text{Po}$ на поверхности раздела TPB/LAr	1361.56	$0.012 \pm 0.001$ мБк/м <sup>2</sup>
$^{222}\text{Rn}$ в объеме LAr	1655.95	$0.37 \pm 0.02$ мкБк/кг <sup>-1</sup>

Итоговая оценка:  $^{210}\text{Po}$  на поверхности =  $0.281 \pm 0.007$  мБк/м<sup>2</sup>  
 $^{210}\text{Po}$  в объеме =  $2.94 \pm 0.05$  мБк

# Вклад в область поиска WIMP

## Po210 Surface MC

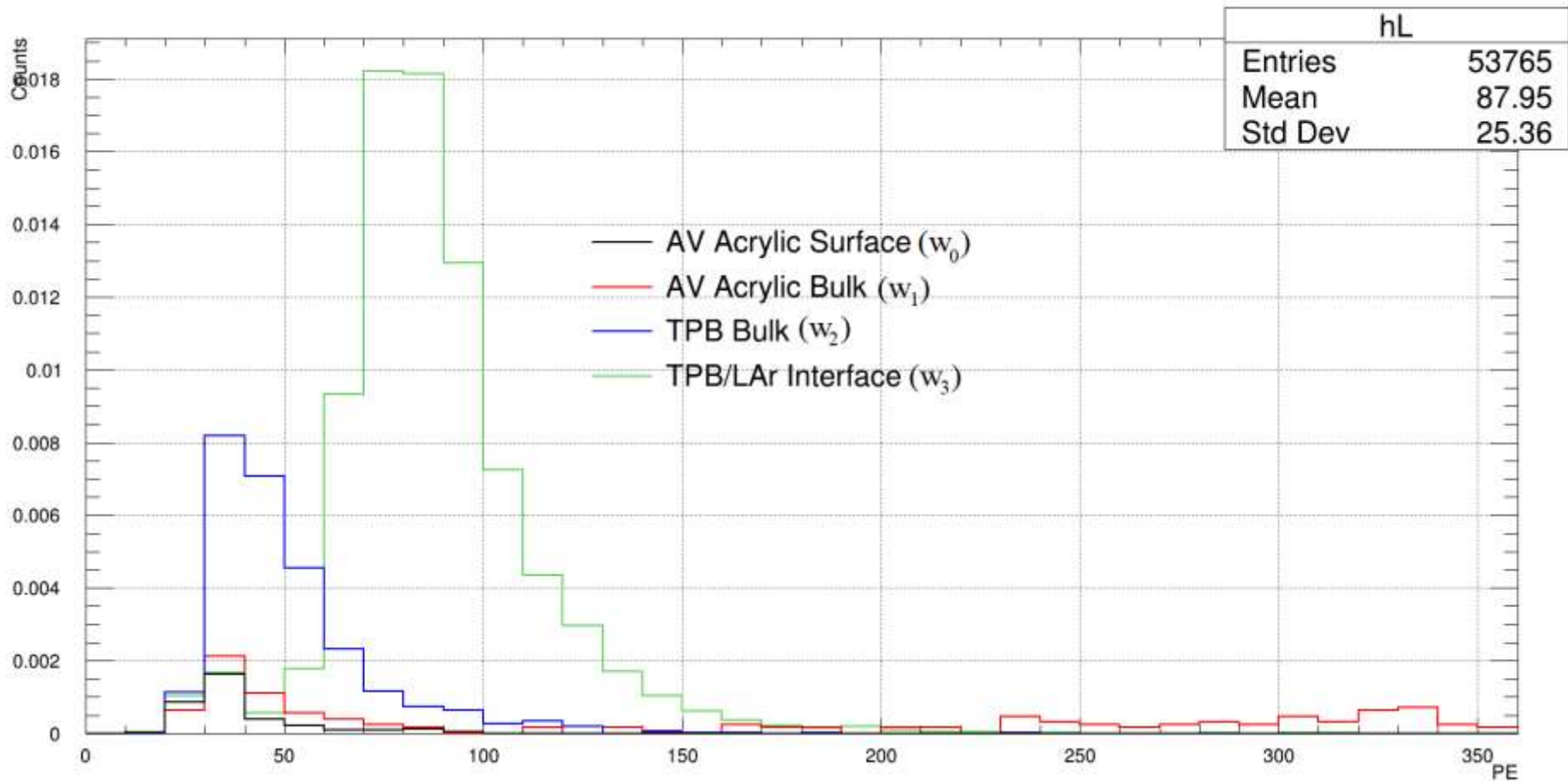


Рисунок 7 – Относительное количество MC-событий от каждой компоненты  $^{210}\text{Po}$  вблизи ROI WIMP (93-200 PE)

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

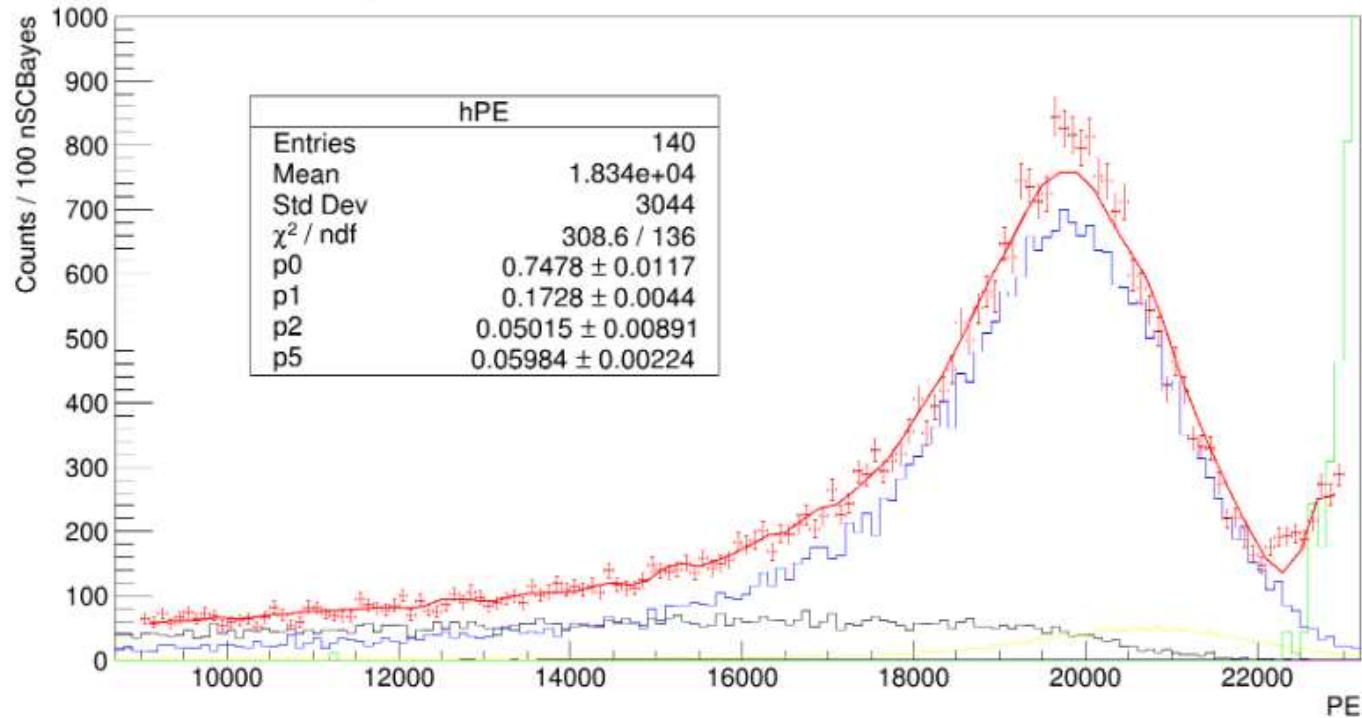


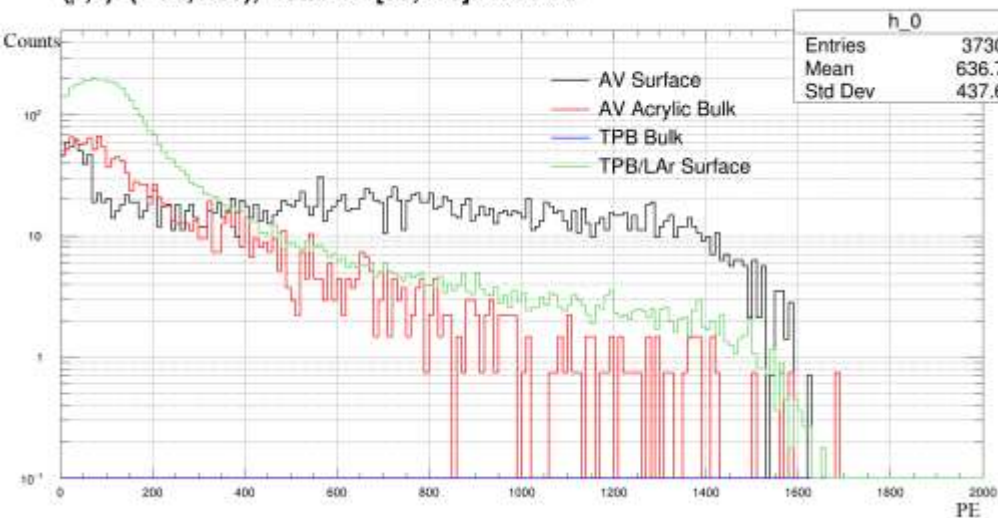
Рисунок 8 – Фитирование пика  $^{210}\text{Po}$  с опущенной компонентой  $w_3$

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

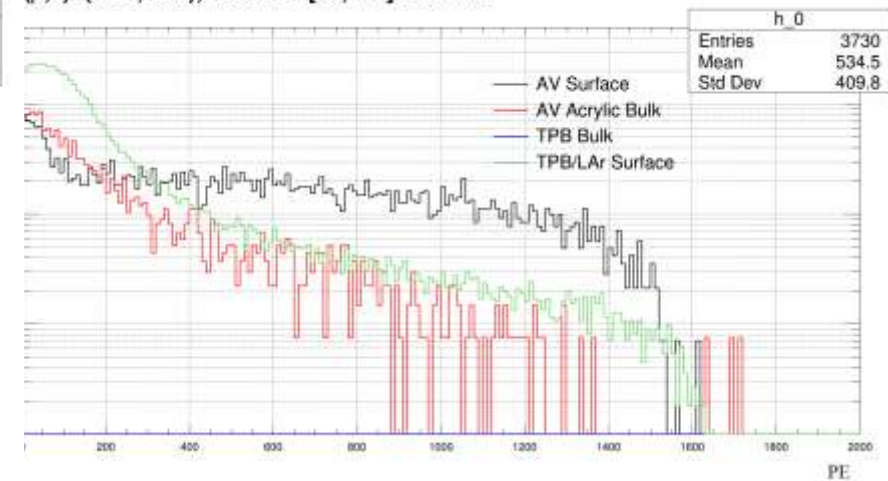
$$N_{\text{trig}}^u = w^u f_{\text{pileup}} N_{\text{trig}}. \quad (5)$$

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

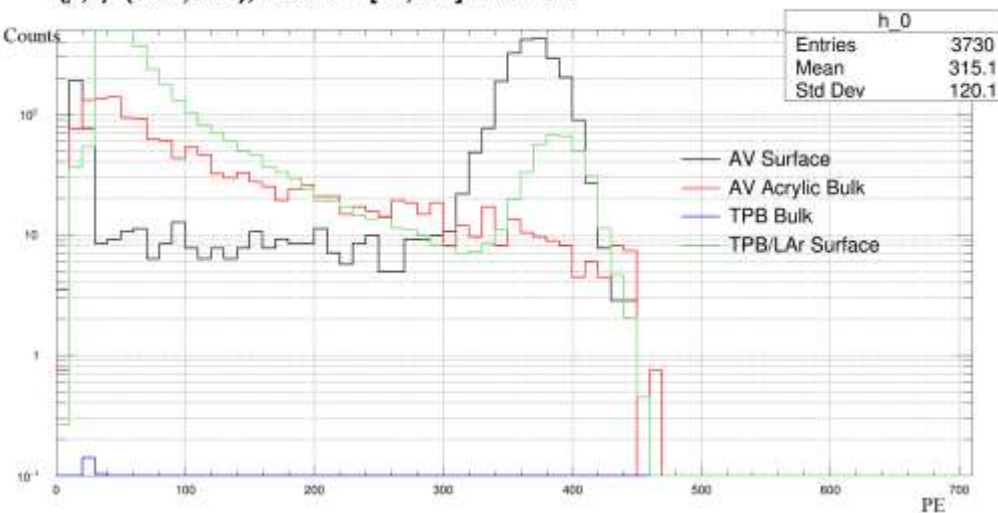
$(\mu, \sigma) = (1.00, 1.00)$ , Total PE [93,200]: 2257.26



$(\mu, \sigma) = (0.50, 1.00)$ , Total PE [93,200]: 2064.93



$(\mu, \sigma) = (0.50, 0.01)$ , Total PE [93,200]: 1161.09



$(\mu, \sigma) = (2.00, 0.01)$ , Total PE [93,200]: 2368.88

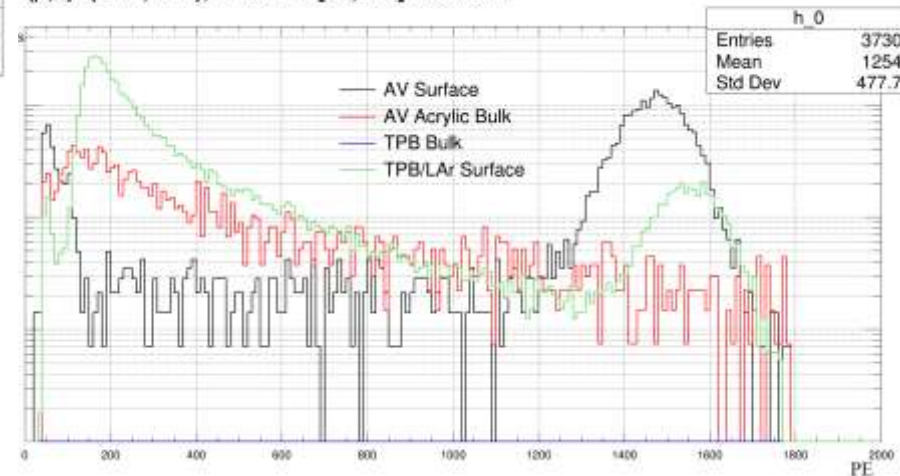


Рисунок 9 – Вариации Ntrig в диапазоне [93, 200] ФЭ для различных комбинаций сцинтиляционного выхода TPB ( $\mu$ ) и шероховатости поверхности ( $\sigma$ ):  $\mu \in (0.5, 2.0)$  и  $\sigma \in (0.01, 1.0)$

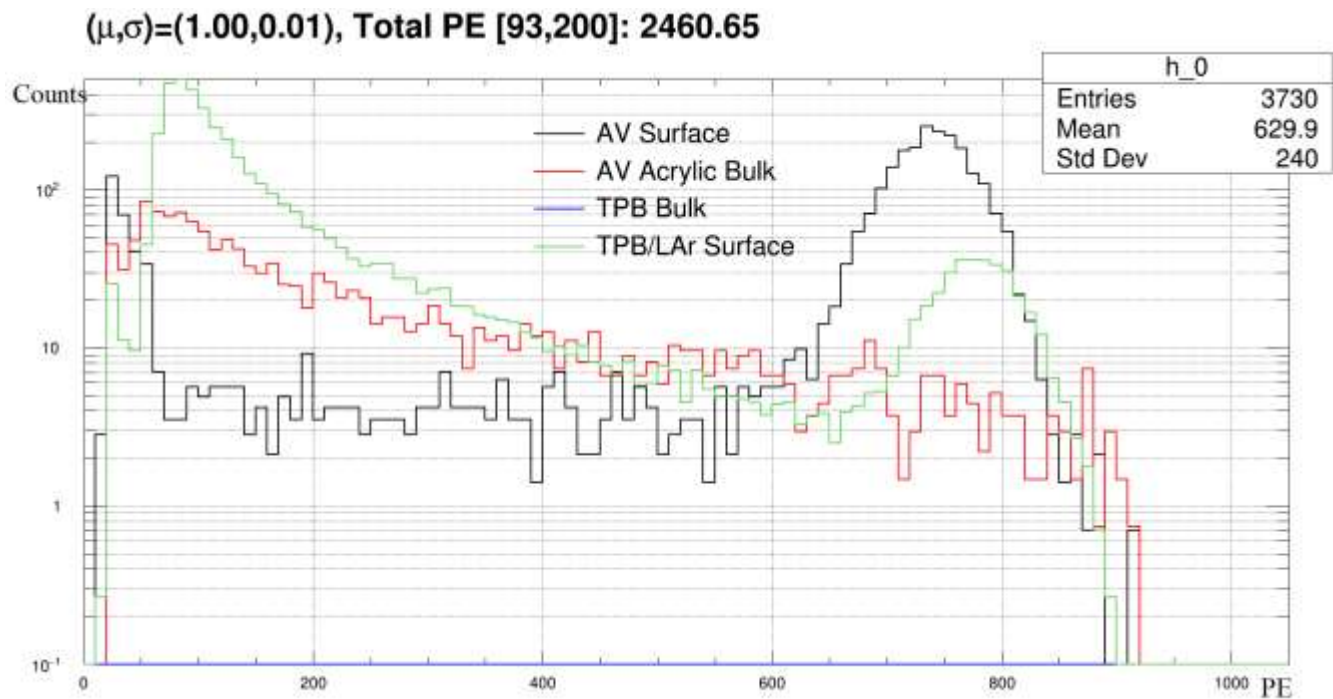


Рисунок 10 –  $N_{\text{trig}}$  в диапазоне [93, 200] ФЭ для номинальных значений сцинтилляционного выхода TPB ( $\mu$ ) и шероховатости поверхности ( $\sigma$ )

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

Верхний предел 90% достоверности для поверхностных событий (с катом  $f_{\text{maxre}} < 0,4$ ):

$$\alpha_{AV,90\%} = 1668 + (1.28 \times 778) \approx 2700. \quad (6)$$

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

# Экспериментальные данные

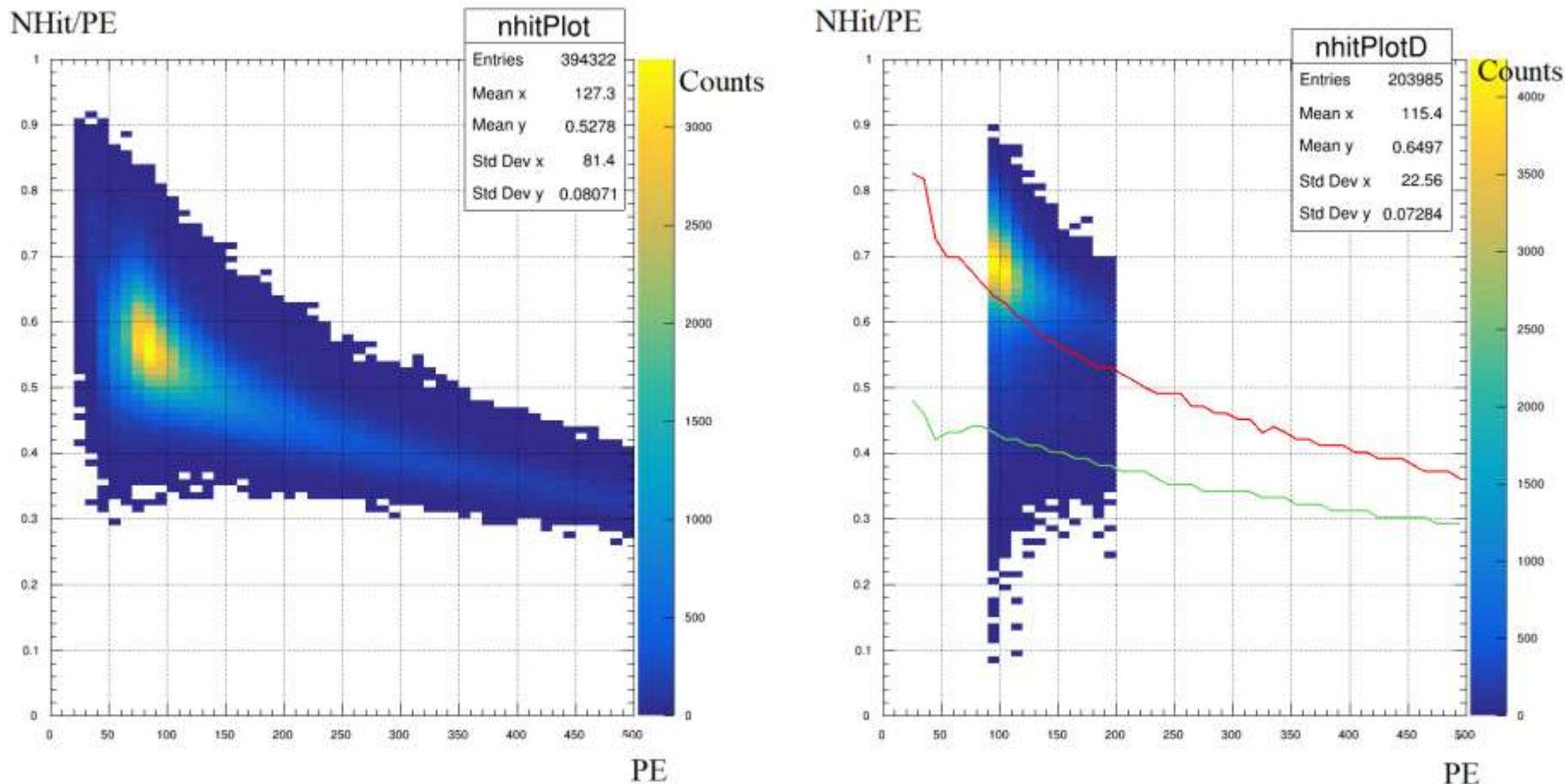


Рисунок 11 – Слева: MC-распады от  $^{210}\text{Po}$  на поверхности раздела TPV/LAr; справа: распределение данных NHit/PE с 1% поверхностных событий под зеленой кривой и 96% поверхностных событий под красной кривой. 1957 событий насчитано между двумя контурными линиями (после применения катов)

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

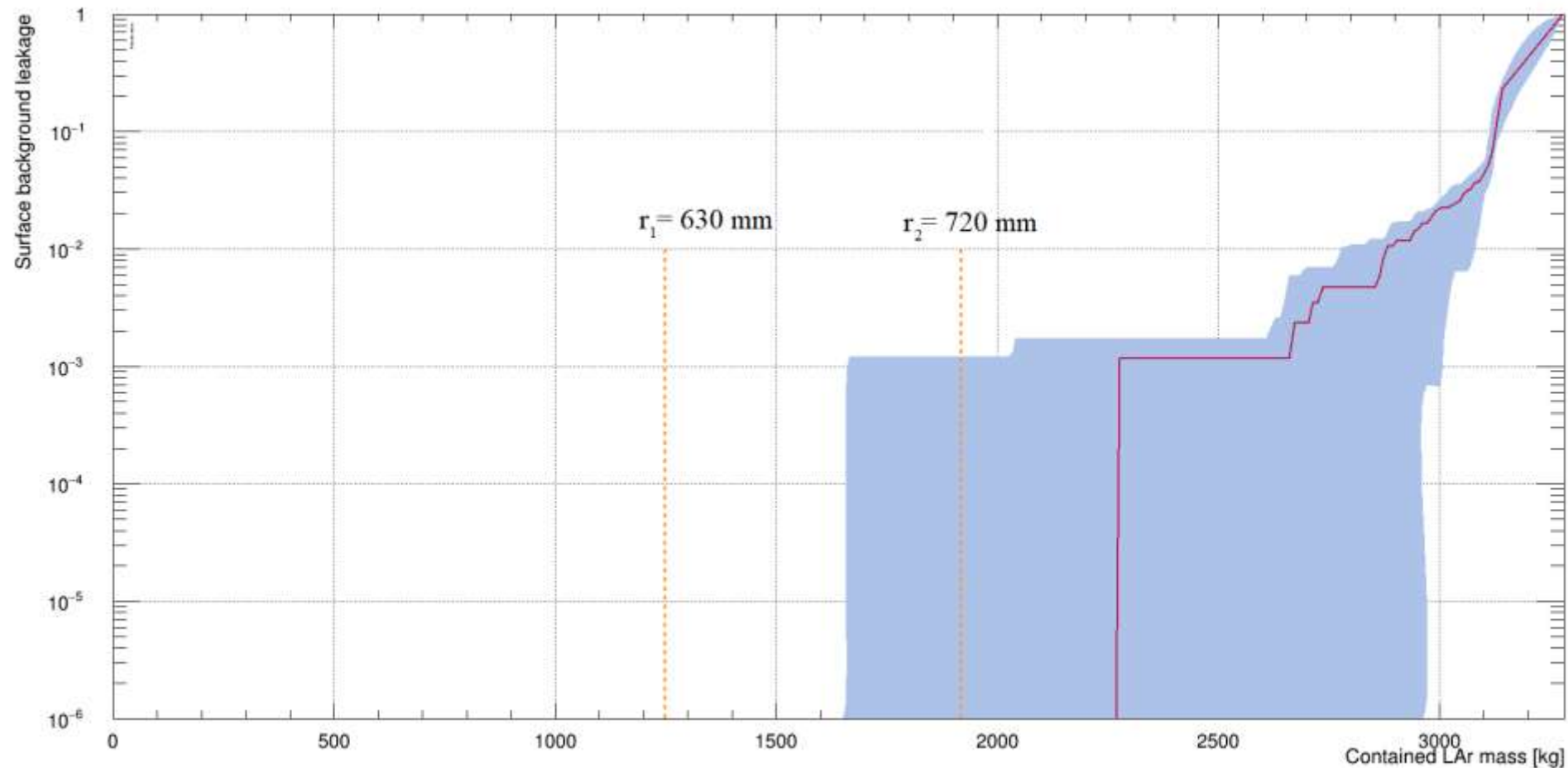


Рисунок 12 – Зависимость вероятности утечки поверхностных событий в область поиска WIMP от содержащейся в детекторе массы LAr. Красной линией показана оценка утечки для номинального количества событий; синим – оценка погрешности вероятности утечки



# Результаты

- Определен вклад различных компонент в общую активность  $^{210}\text{Po}$
- Вычислен ряд величин, необходимых для расчета активности  $^{210}\text{Po}$
- Вычислена активность  $^{210}\text{Po}$  в объеме и на поверхности детектора:

$$\begin{array}{lcl} ^{210}\text{Po} \text{ на поверхности} & = & 0.281 \pm 0.007 \text{ мБк/м}^2 \\ ^{210}\text{Po} \text{ в объеме} & = & 2.94 \pm 0.05 \text{ мБк} \end{array}$$

- Получена оценка верхнего предела вероятности утечки поверхностных событий от альфа-распадов  $^{210}\text{Po}$  в область поиска WIMP:

$$F_{LF} < 10^{-3}$$