

О сэмплинг-флуктуациях в ЭМ калориметрах

В.Н. Горячев, С.П. Денисов

НИЦ «Курчатовский институт» - ИФВЭ

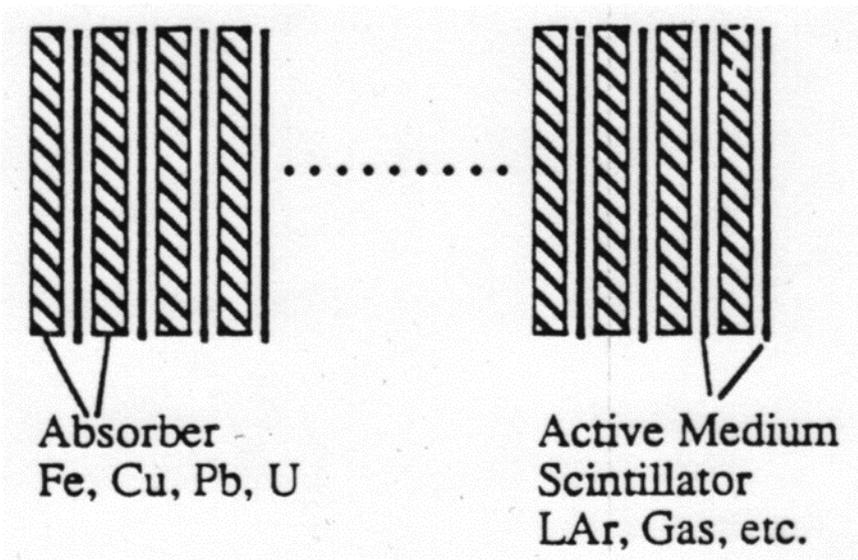
Вместо Введения

**А.Г.Гапотченко, Б.Б.Говорков, С.П.Денисов,
Н.Г.Котельников, Д.А.Стойнова.**

**Искровая камера как ливневый детектор электронов и
фотонов высокой энергии. ПТЭ 5(1966)60.**

**А.Г.Гапотченко, Б.Б.Говорков, С.П.Денисов,
Н.Г.Котельников, Д.А.Стойнова.**

**Установка с искровыми камерами для регистрации
двухфотонных распадов нейтральных мезонов.
Препринт ФИАН, Москва, 1966.**



$$\frac{\sigma}{E} = \frac{a}{\sqrt{E}} \oplus b \oplus \frac{c}{E} = \left(\frac{a^2}{E} + b^2 + \frac{c^2}{E^2} \right)^{1/2} .$$

$\frac{a}{\sqrt{E}}$ - **СТОХАСТИЧЕСКИЙ ЧЛЕН**

Рис.1. Структура калориметров типа «сэндвич».

Как правило, основной вклад в стохастический член сэндвич-калориметров дают сэмплинг-флуктуации – флуктуации, связанные со статистическим характером ионизационных потерь энергии заряженными частицами в ЭМ ливне и их распределением между активными и пассивными слоями.

Цель работы – исследовать путём моделирования ЭМ ливней зависимость сэмплинг-флуктуации от энергии регистрируемого электрона и структуры калориметра. Другими словами, найти минимальное значения энергетического разрешения для калориметра данной структуры, определяемое только физическими процессами, происходящими в калориметре и не зависящее от его конструктивных недостатков (ограниченная толщина или наличие щелей между модулями) или методов регистрации сигналов с детекторов.

Моделирование ЭМ ливней

Для моделирования ливней и изучения сэмплинг-флуктуаций использовался пакет GEANT4 10.01.p02 (Physical list FTFP_BERT). Ливни генерировались для электронов с энергиями E_0 20, 40, 80, 200 и 500 ГэВ в калориметрах из 400 слоёв Pb и LAr. Толщина x одного слоя Pb менялась от 0.1 до $1X_0$, ширина d LAr промежутка составляла 2, 4 и 8 мм. Поперечные размеры калориметров – $1 \times 1 \text{ м}^2$.

Обрезание по пробегу ливневых частиц составляло $R_c=100$ мкм. Соответствующие пороги по энергии для e^+ , e^- и γ составляют 232, 242 и 29 кэВ для Pb и 82, 83 и 2.0 для LAr. Было проверено, что изменение порогов в несколько раз не влияет на величину сэмплинг-флуктуаций (см., например, Рис.2).

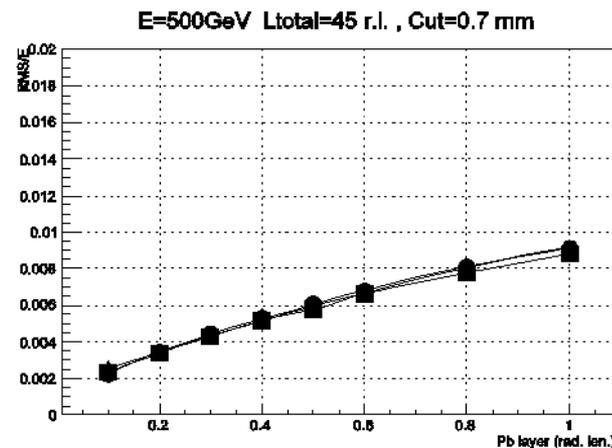
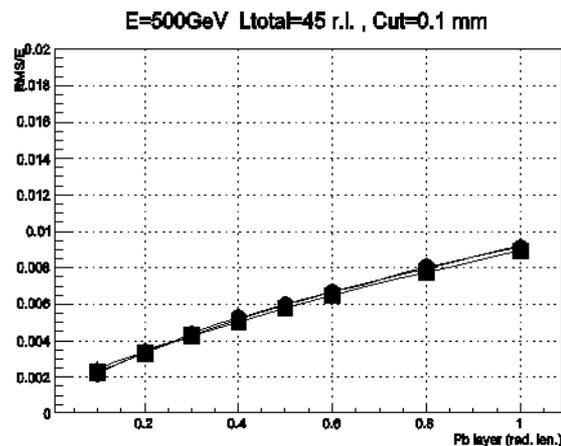
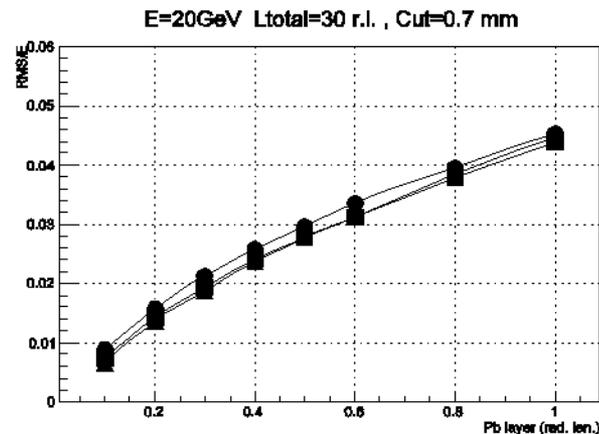
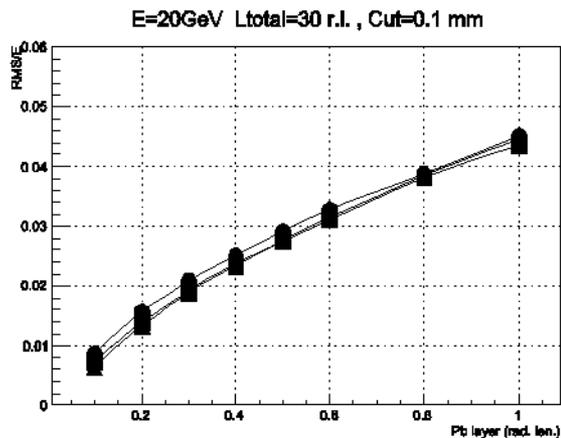


Рис. 2. Зависимость сэмплинг-флуктуаций RMS/E от x при «обрезаниях» по пробегу 100 (слева) и 700 (справа) мкм для E_0 20 (верх) и 500 (низ) ГэВ.

Пороги по энергии для e^+ , e^- и γ при «обрезании» 700 мкм в 3-4 раза больше, чем при 100 мкм. Ширина d LAr промежутка составляла 2(●), 4(■) и 8(▲) мм.

RMS/E слабо зависит от d !

Для каждого набора (E_0, x, d) было разыграно 10^4 событий. Для каждого события находилась энергия, выделившаяся в каждом слое Pb и LAr из 400. Для калориметра с данной структурой (x, d) , строилось распределение событий по энергии E , выделившийся во всех LAr промежутках, и определялись среднее значение $\langle E \rangle$ и величина сэмплинг-флуктуаций RMS/E . Пример зависимостей $\langle E \rangle$ и RMS/E от толщины калориметра I_c показан на Рис.3.

Чтобы исключить флуктуации, связанные с утечками энергии, толщина калориметра выбиралась на плато зависимостей $\langle E \rangle(I_c)$ и $RMS/\langle E \rangle(I_c)$

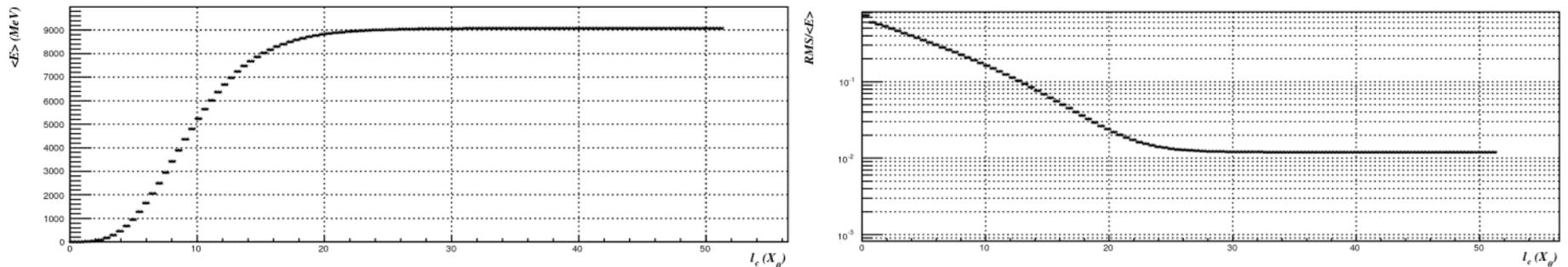
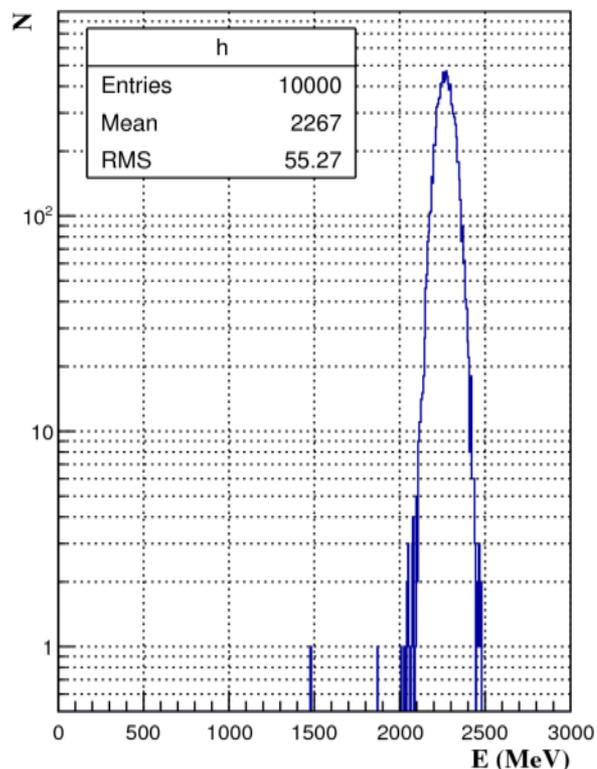


Рис. 3. Зависимость энергосодержания в LAr и его флуктуаций от толщины калориметра при $E_0 = 80$ ГэВ, $x=0.4X_0$ и $d=4$ мм .

$E_0=20$ GeV, $l_c=40X_0$, $x=0.4X_0$, $d=4$ mm



$E_0=500$ GeV, $l_c=40X_0$, $x=0.4X_0$, $d=4$ mm

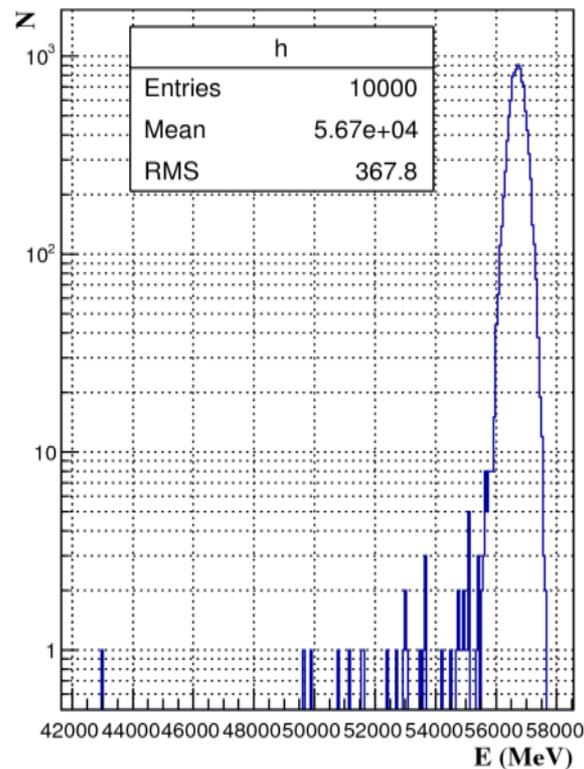


Рис.4. Распределение энерговыведения E при E_0 20 (слева) и 500 (справа) ГэВ.

Все распределения имеют «хвосты», число событий в которых быстро растёт с увеличением энергии и которые заметно влияют на RMS распределений и «мешают» фитировать их кривой Гаусса. Возможно они связаны с фотоядерными реакциями или с поздним развитием ливня. В данной работе, чтобы исключить их влияние на RMS, вводилось «обрезание» событий по энергии на уровне 3 RMS от $\langle E \rangle$.

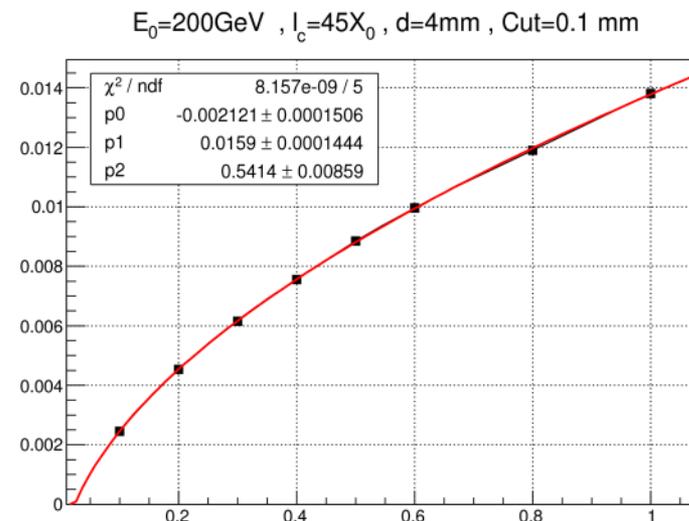
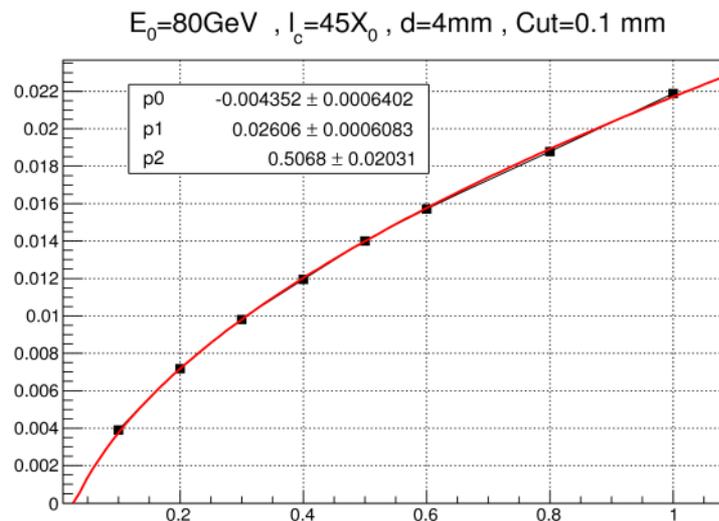
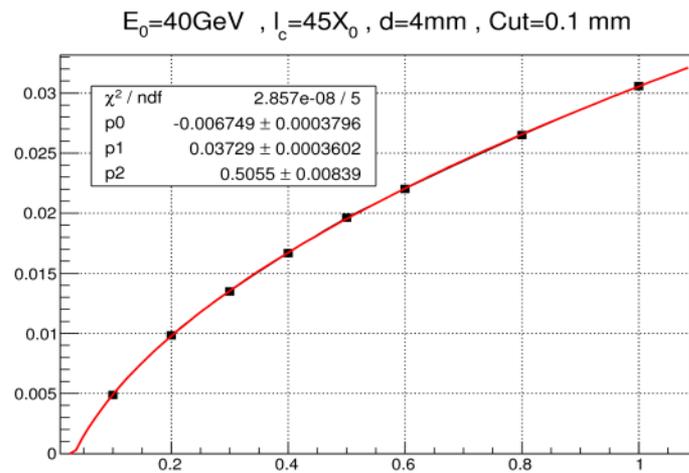
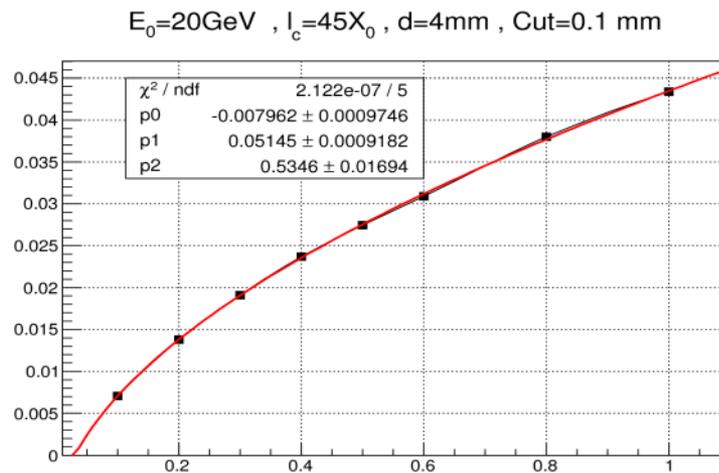


Рис.5. Зависимости RMS/E от x , фитированные функцией $p_0 + p_1 \cdot x^{p_2}$.

Показатель степени p_2 близок к 0,5! Так и должно быть, если сэмплинг-флуктуации определяются, в основном толщиной слоя абсорбера.

d=4mm

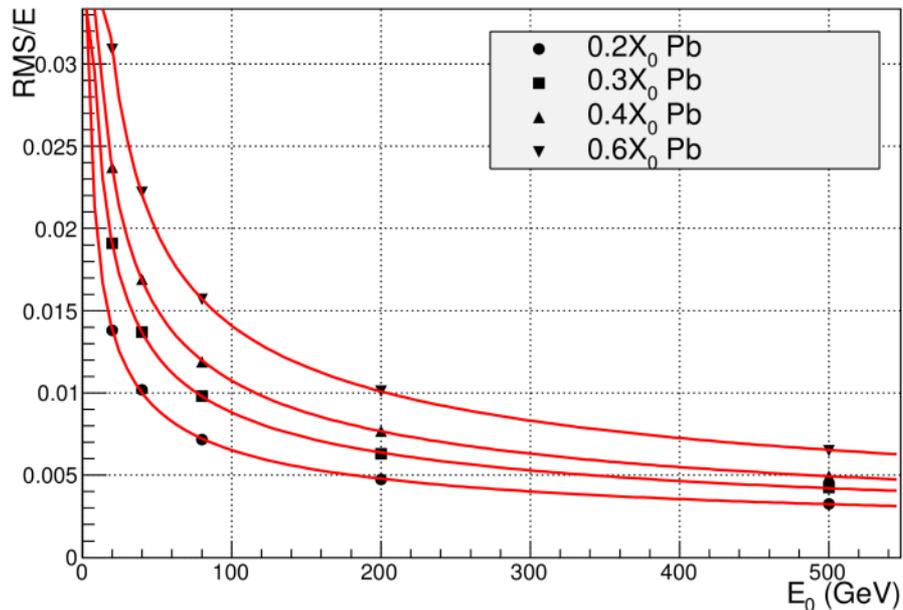


Рис.6. Зависимость RMS/E от энергии падающих электронов, d=4мм.

Таблица 1.

x/X_0	$p_0 \cdot 10^4$	$p_1 \cdot 10^2$
0,2	4,2±1,1	6,0±0,1
0,3	2,5±0,6	8,3±0,1
0,4	4,8±0,6	10,5±0,1
0,6	5,7±1,3	13,7±0,1

Зависимости сэмплинг-флуктуаций от энергии E_0 фитировались функцией

$$RMS / E = p_0 + p_1 / \sqrt{E_0} .$$

Параметры p_0 и p_1 представлены в Таблице 1 (E_0 в ГэВ).

Энергетическое разрешение некоторых жидкоаргоновых ЭМ калориметров

Liquid Ar/Pb (NA31)	$27X_0$	$7.5\%/\sqrt{E} \oplus 0.5\% \oplus 0.1/E$
Liquid Ar/Pb (SLD)	$21X_0$	$8\%/\sqrt{E}$
Liquid Ar/Pb (H1)	$20-30X_0$	$12\%/\sqrt{E} \oplus 1\%$
Liquid Ar/depl. U (DØ)	$20.5X_0$	$16\%/\sqrt{E} \oplus 0.3\% \oplus 0.3/E$
Liquid Ar/Pb accordion (ATLAS)	$25X_0$	$10\%/\sqrt{E} \oplus 0.4\% \oplus 0.3/E$

Заключение

Проведённое моделирование сэмплинг-флуктуаций энерговыделения в калориметрах типа «сэндвич» показало, что:

- сэмплинг-флуктуации слабо зависят от ширины LAr промежутка,
- зависимость сэмплинг-флуктуаций от толщины слоя Pb x описывается формулой $p_0 + p_1 \cdot x^{p_2}$ с показателем степени, близким к 0,5.
- зависимость сэмплинг-флуктуаций от энергии ливня E_0 описывается формулой

$$RMS / E = p_0 + p_1 / \sqrt{E_0},$$

причём параметр p_0 примерно в 200 раз меньше p_1 .

- распределения энерговыделения в детекторах имеют «хвосты» в области малых E .

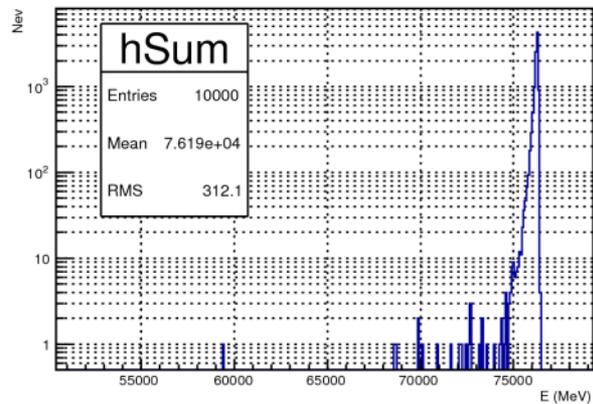
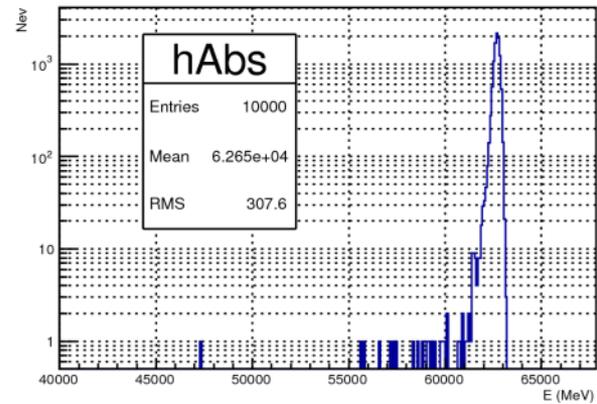
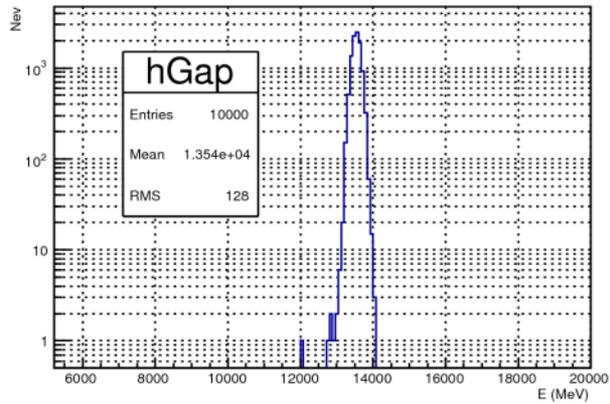


Рис.... Распределение энерговывделений в жидком аргоне, свинце и полное для калориметра с $x=0,4X_0$ и $d=4$ мм и $E_0 = 80$ ГэВ.

