

Черенковский счетчик для измерения интенсивности банчей, выведенных из 70-ГЭВ ускорителя ИФВЭ

**А.В. Козелов
(ИФВЭ)**

Введение

Данная работа была выполнена в рамках эксперимента сотрудничества Канада – Германия – Словакия – Россия – США по изучению свойств торцевых жидкоаргоновых калориметров установки АТЛАС на выведенном из ускорителя ИФВЭ банчированном пучке протонов с энергией 50 ГэВ и интенсивностью вплоть до 10^{12} протонов/цикл, соответствующей светимости SLHS.



Модули переднего (FCAL),
электромагнитного (EMEC) и
адронного (HEC) калориметров
размещались в трех криостатах,
заполненных жидким аргоном с
чистотой ~ 0.4 ppm.



Модуль
EMEC

Для имитации множественности частиц
на ячейку калориметров использовались
стальные поглотители.

Временная структура пучка

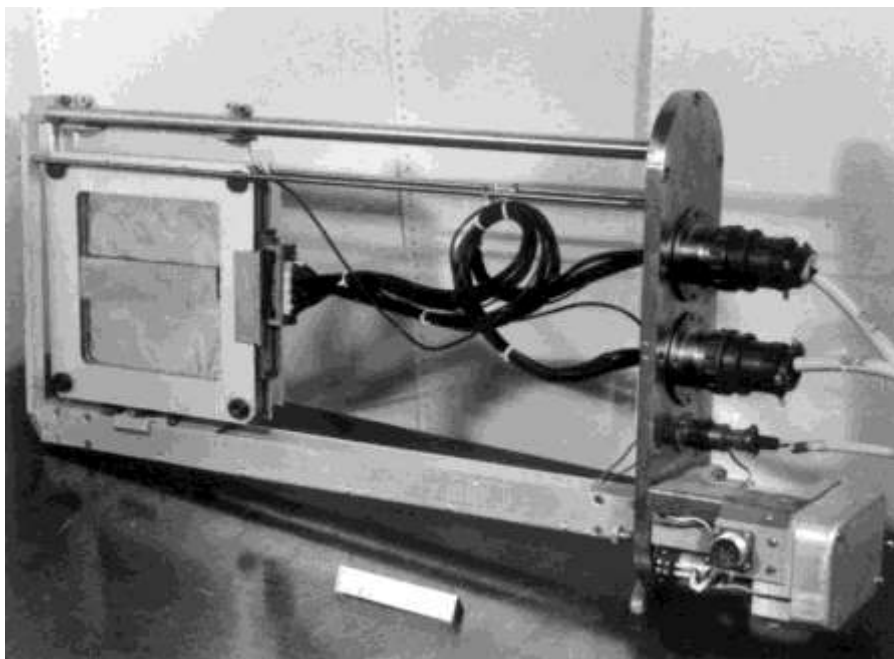
В кольце ускорителя У-70 может находиться до 30 банчей длительностью 30 нсек и расстоянием между банчами 166 нсек (при 30 банчах).

При проведении эксперимента по изучению жидкоаргоновых калориметров заполняется только каждый шестой банч, что соответствует временному интервалу в 1 микросекунду.

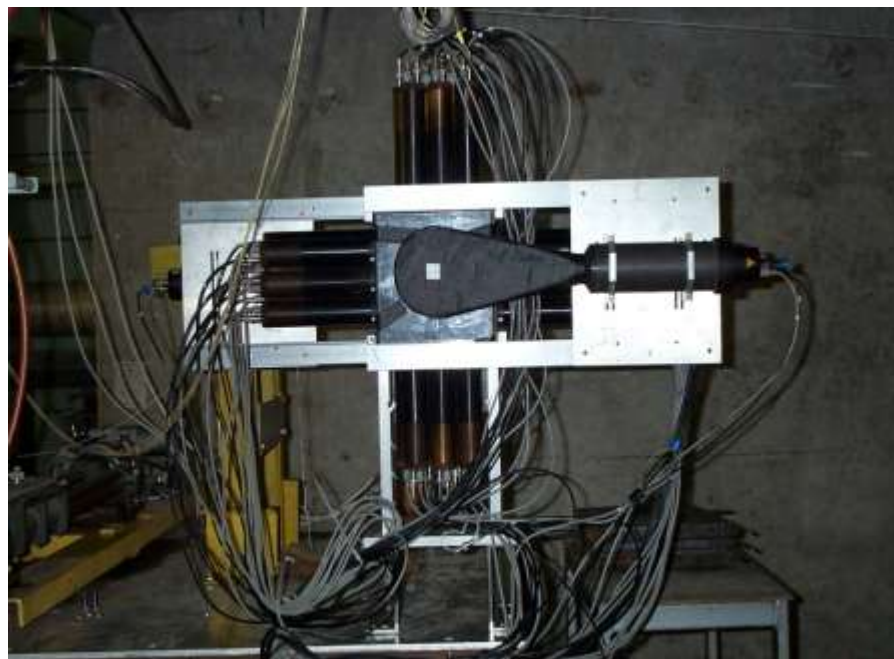
Длительность вывода пучка ~1 сек при длительности цикла работы ускорителя 10 сек. Таким образом, каждые 10 сек через установку проходит цуг из 10^6 банчей с интенсивностью от 1 до 10^6 протонов/банч.

Первоначально система мониторинга интенсивности пучка состояла из:

- камеры вторичной эмиссии ($10^{10} - 10^{12}$ протонов/сек)
- ионизационной камеры ($10^7 - 10^{11}$ протонов/сек)
- сцинтилляционных счетчиков и годоскопов (до 10^7 протонов/сек)



Камера вторичной эмиссии



Сцинтилляционный годоскоп и один из сцинтилляционных счётчиков

Недостатки системы мониторинга интенсивности

1. Камера вторичной эмиссии и ионизационная камера могут измерять только интегральный поток протонов за цикл.
2. Сначала предполагалось, что число частиц во всех банчах при данной интегральной интенсивности за цикл примерно одинаково. Обработка данных показала, что это не так: число частиц в банчах может отличаться в несколько раз.
3. Кроме того, результат измерения сигнала от данного банча зависит от интенсивности в предыдущих банчах из-за низкой скорости дрейфа ионов.
4. Для камеры вторичной эмиссии и ионизационной камеры требовалась специальная калибровка, которая проводилась путем одновременного облучения Al фольги и указанных детекторов в течении ~12 часов. По наведенной радиоактивности фольги определялось количество протонов, прошедших через неё. Погрешность калибровки ~10%.

Нужен детектор, позволяющий измерять абсолютную интенсивность в каждом банче в диапазоне интенсивностей до 10^{12} протонов/сек, желательно, не требующий калибровки методом облучения фольги.

АЦП

Сигналы с черенковского счетчика поступают на специально изготовленный АЦП со следующими параметрами:

- Динамический диапазон 12 бит
- Максимальный измеряемый заряд 650 пК
- Интегральная нелинейность преобразования $\sim 0.1\%$
- Время интегрирования сигнала 70 нсек

АЦП стробируется ускоряющей частотой ускорителя (6 МГц), результат преобразования записывается в память (32 МБ).
Выполнен в стандарте VME.

Чтобы помечать банчи, для которых измеряются сигналы в жидкоаргоновых калориметрах, предусмотрен отдельный вход.

Диапазон амплитуд 10^6 сложно перекрыть при одном напряжении на ФЭУ и одном давлении газа в счетчике.

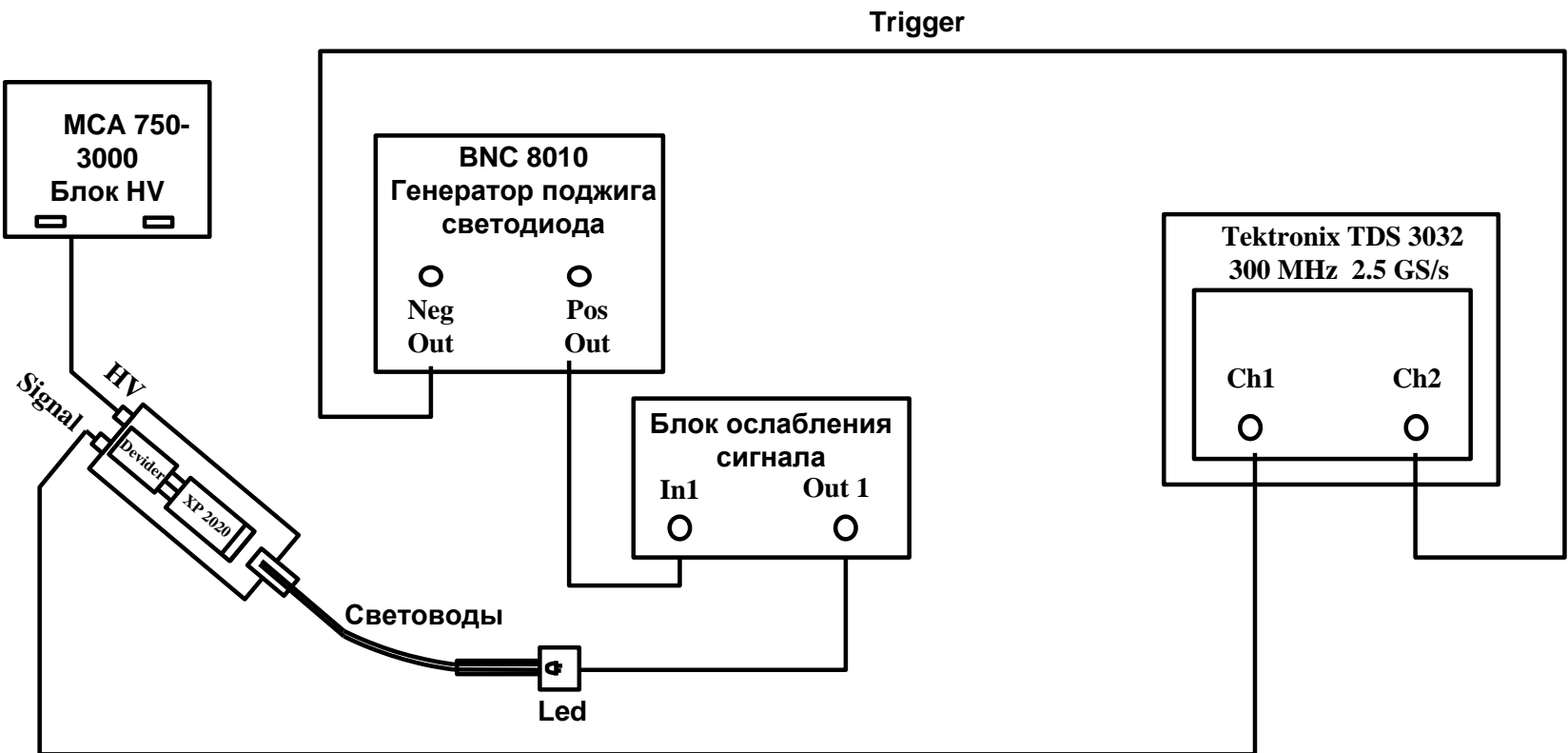
Для определения числа частиц по сигналу, измеренному АЦП, нужно знать:

- Амплитуду сигнала A_{1pe} , соответствующую одному фотоэлектрону, которая не зависит от давления газа;
- Среднее число фотоэлектронов на протон при данном давлении N_{pe} , которое не зависит от напряжения на ФЭУ.

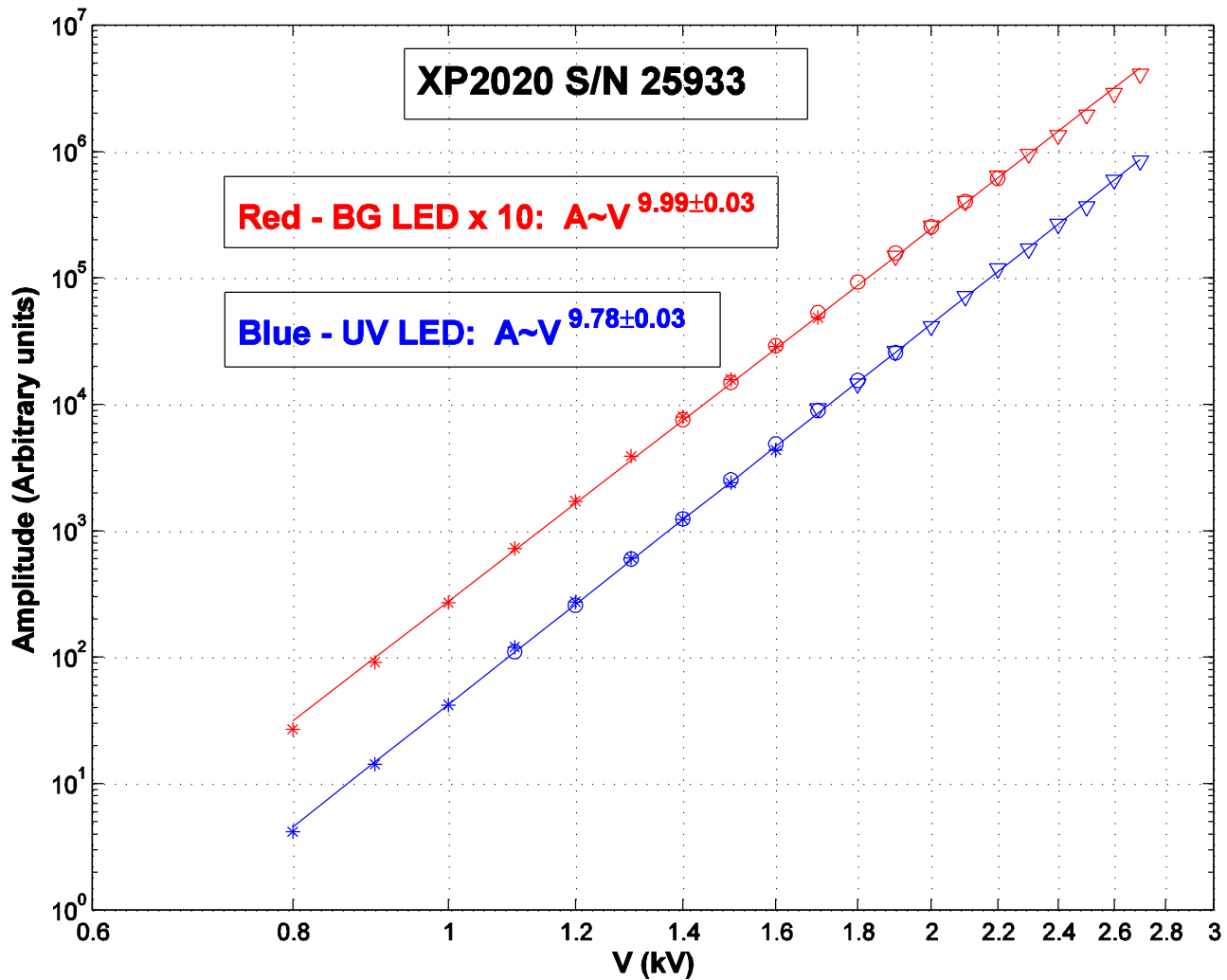
Тогда для расчета количества частиц в банче можно использовать формулу $N = A_{АЦП} / (A_{1pe} \cdot N_{pe})$.

Схема стенда для калибровки ФЭУ

Для определения зависимости амплитуды сигнала от напряжения на ФЭУ, вообще говоря, достаточно определить её для двух значений HV, так как с хорошей точностью она следует степенному закону в широком диапазоне.



Зависимость амплитуды с ФЭУ от высокого напряжения, измеренная на стенде



Среднее число фотоэлектронов на протон можно с точностью 10-20% рассчитать, если учесть:

- Кривую спектральной чувствительности ФЭУ ХР2020 (на полувывоте – 325–525 мкм).
Количество излученных фотонов в этом диапазоне длин волн равно 5.2 (воздух, 1 атм). Для фреона CF_4 – 14.
- Эффективность светосбора ~50% (основные потери при отражении света от зеркал)
- Среднего квантового выхода ФЭУ ХР2020 16%.

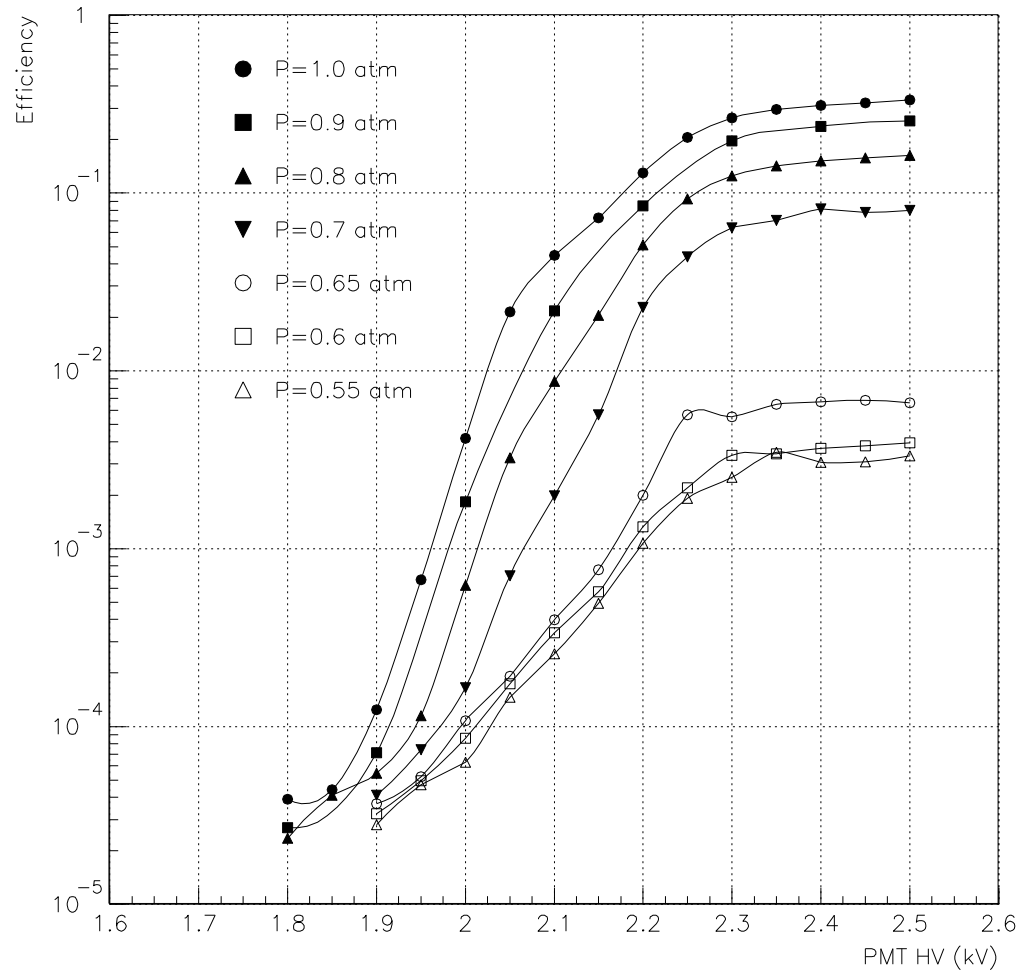
**Получается 0.42 фотоэлектрона/протон (воздух)
1.12 фотоэлектрона/протон (CF_4)**

Эту же величину можно измерить экспериментально.

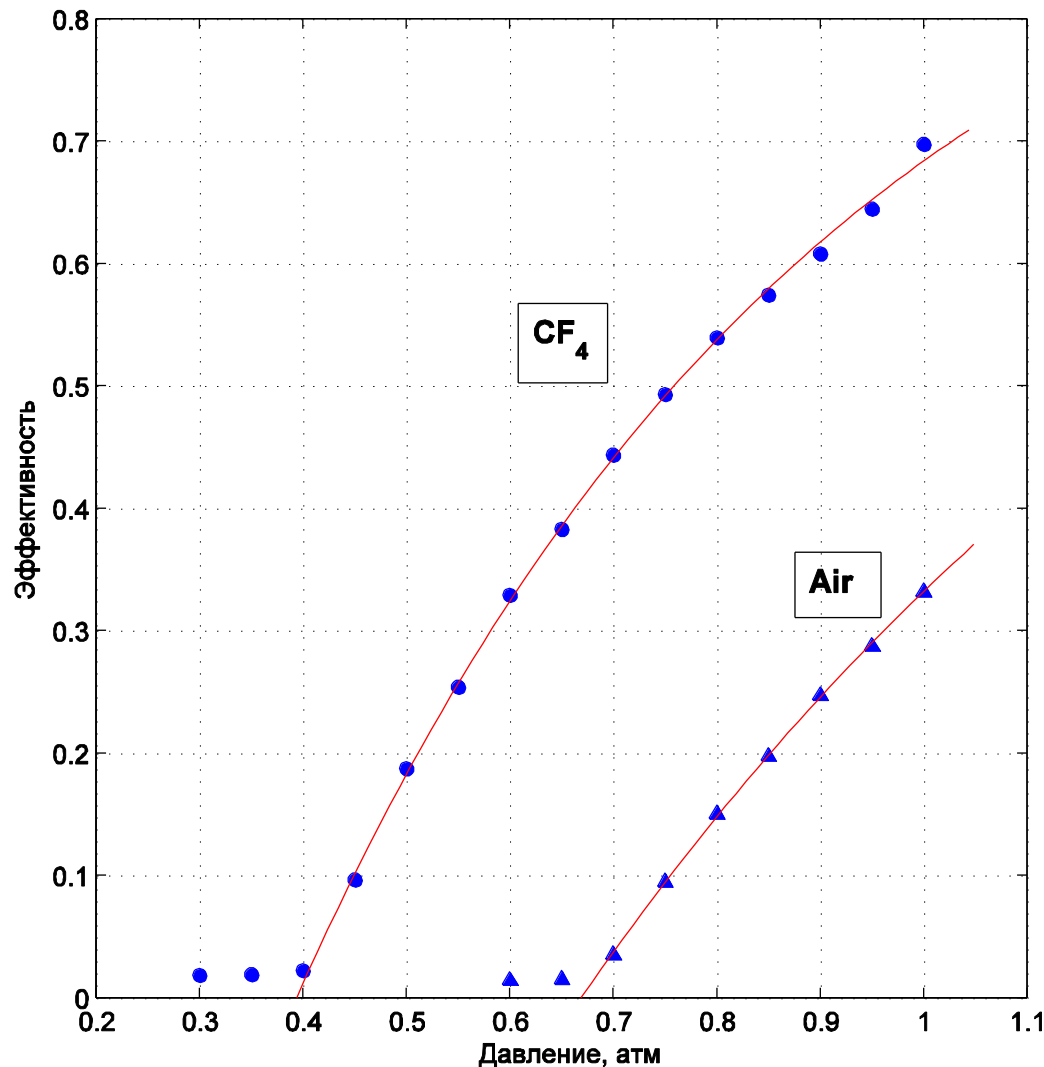
Измерения были проведены как на канале N23, где интенсивность превышала 10^6 протонов/цикл, что не гарантировало одного протона та банч, так и в специальном опыте на канале N2, где средняя интенсивность дебанчированного протонного пучка составляла $7 \cdot 10^4$ протонов/сек, и вероятность наложения двух частиц была менее 1%.

Среднее число фотоэлектронов определялось из пороговой кривой, измеренной при $HV=2.6$ кВ

Зависимость эффективности счетчика от высокого напряжения



Пороговые кривые при $NV=2.6$ kV



Пороговые кривые
фитировались
функцией:

$$\varepsilon(P) = \begin{cases} 1 - \exp(-a \cdot (P - P_0)), & P \geq P_0 \\ 0 & P < P_0 \end{cases}$$

Результаты фита

Воздух:

$$a = 1.19 \pm 0.05, \quad b = 0.666 \pm 0.003$$

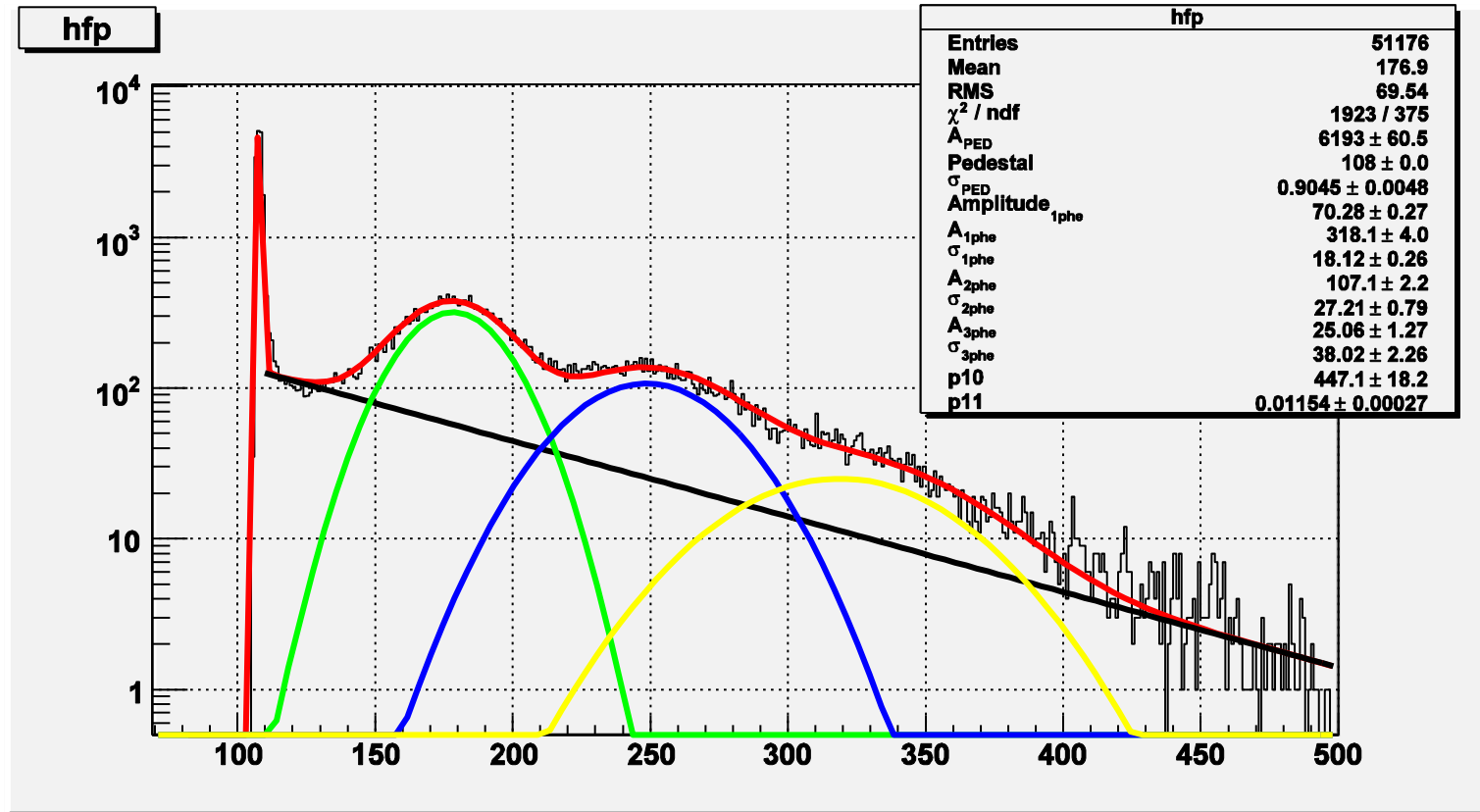
$$N_{pe} = 0.39 \pm 0.02 \quad (1 \text{ атм})$$

Фреон:

$$a = 1.86 \pm 0.03, \quad b = 0.392 \pm 0.003$$

$$N_{pe} = 1.13 \pm 0.02 \quad (1 \text{ атм})$$

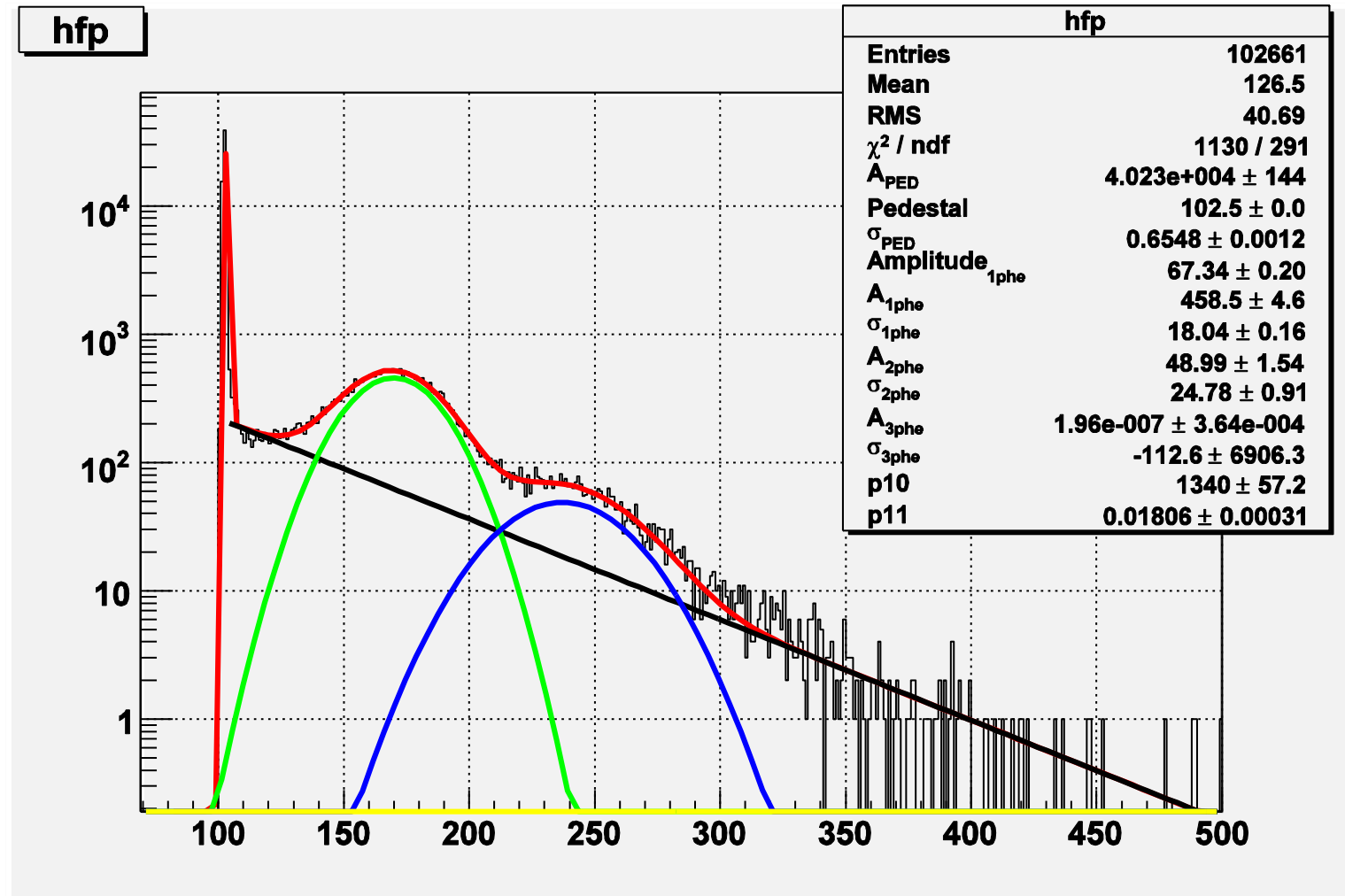
Амплитудный спектр (HV=2.6 кВ, P=1 атм, CF₄)



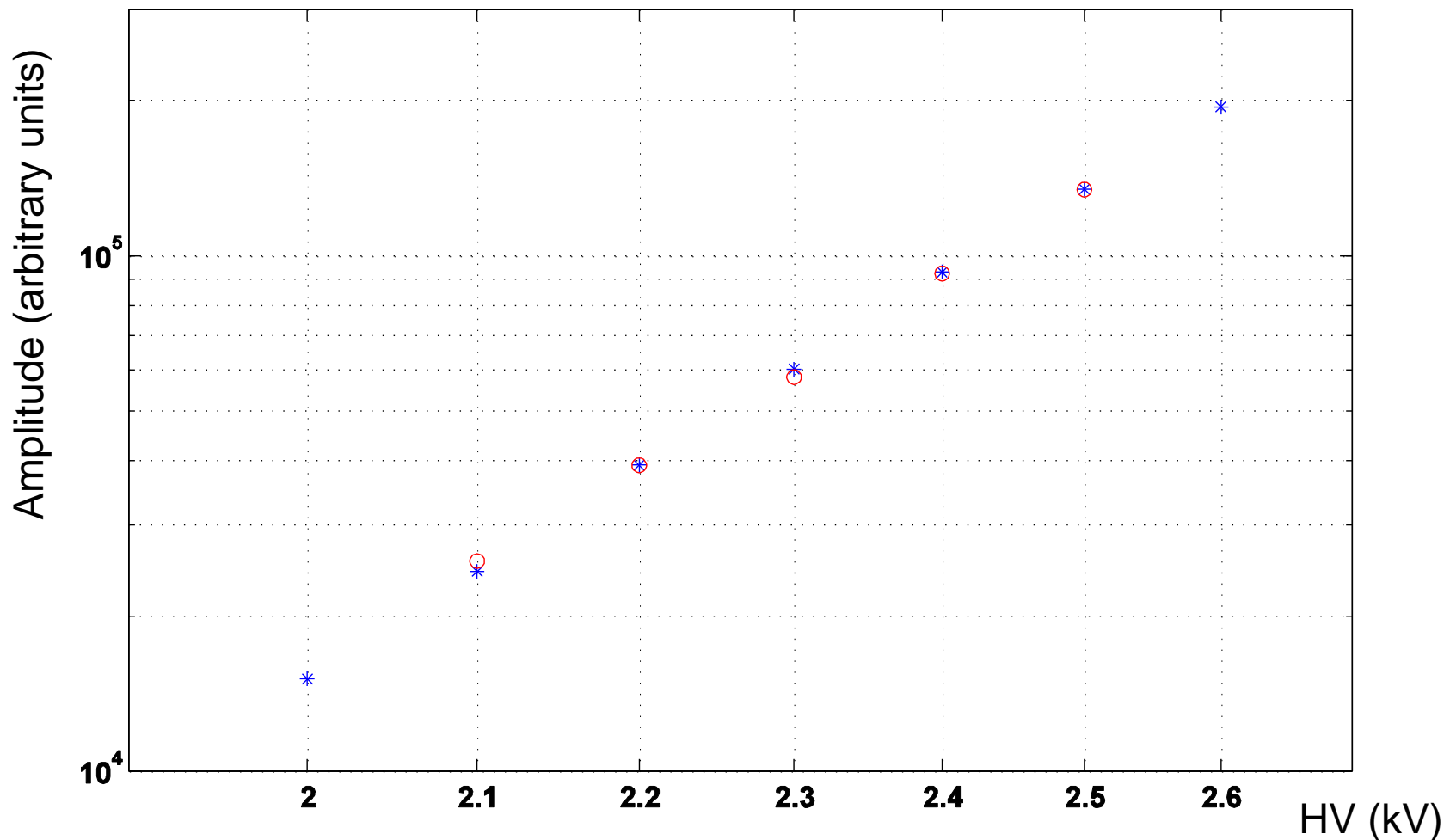
Амплитудный спектр фитировался функцией:

$$f(x) = A_0 \cdot e^{-\frac{(x-A_{\text{PED}})^2}{2\sigma_{\text{PED}}^2}} + A_1 \cdot e^{-\frac{(x-A_{\text{PED}}-A_{1\text{phe}})^2}{2\sigma_1^2}} + A_2 \cdot e^{-\frac{(x-A_{\text{PED}}-2A_{1\text{phe}})^2}{2\sigma_2^2}} + A_3 \cdot e^{-\frac{(x-A_{\text{PED}}-3A_{1\text{phe}})^2}{2\sigma_3^2}} + p10 \cdot e^{-p11 \cdot x}$$

Амплитудный спектр (HV=2.6 кВ, P=1 атм, воздух)

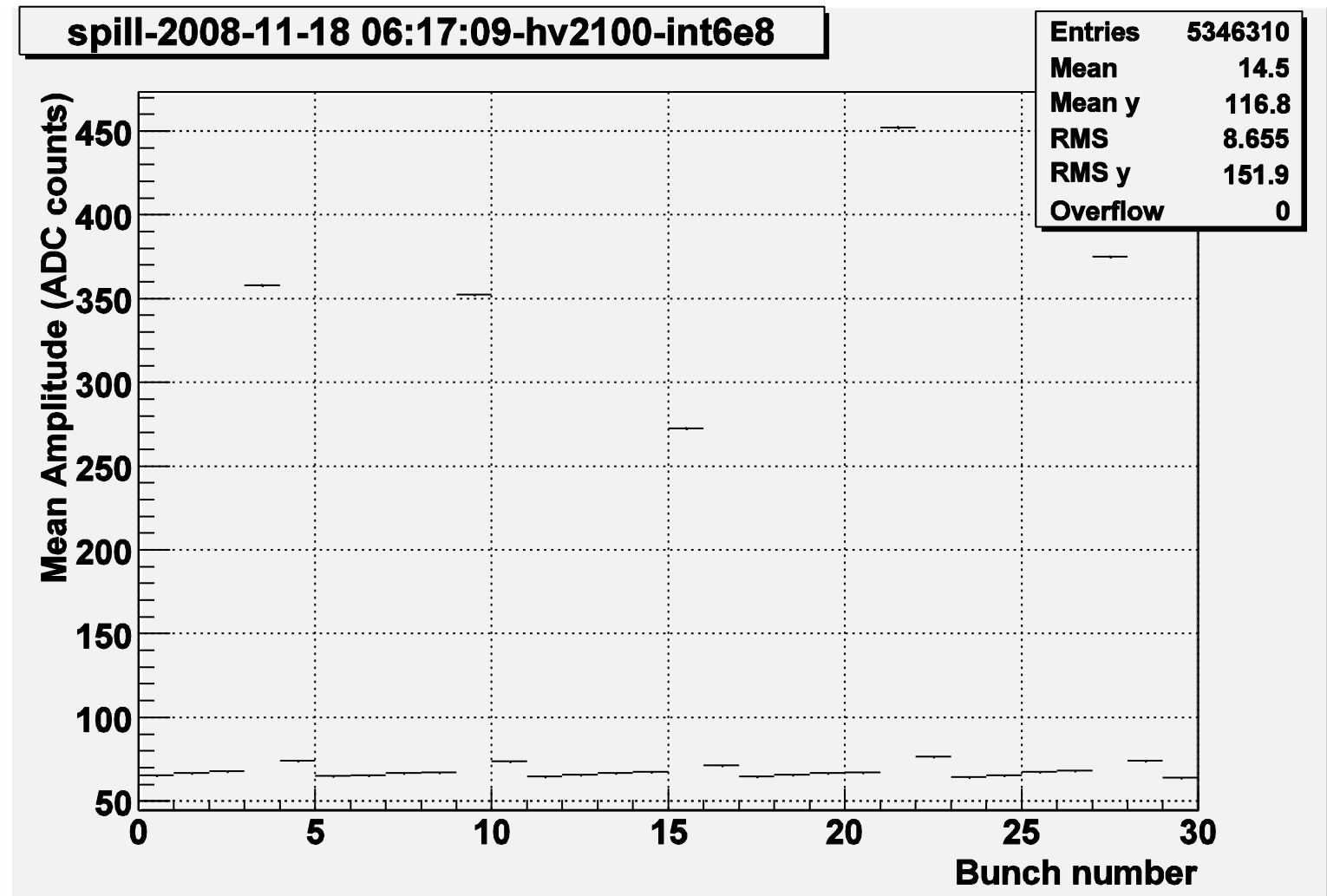


Сравнение с результатами, полученными на стенде



Получив амплитуду, соответствующую одному фотоэлектрону, можно проверить зависимость амплитуды сигнала от напряжения на ФЭУ, полученную при стендовых измерениях.

Средняя интенсивность банчей в одном из сбросов



Заключение

Разработан, изготовлен и исследован простой черенковский счетчик для измерения числа частиц в банчах выведенного из ускорителя ИФВЭ пучка протонов при частоте банчей до $6 \cdot 10^6$ сек⁻¹ с интенсивностью более 10^7 протонов/сек.

Погрешность определения числа частиц в банче и интегральной интенсивности может быть доведена до 1-2%, что в несколько раз лучше других методик.