

УДК 539.1.074

**ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОСТИ ПОКАЗАНИЙ ЛЮМИНОМЕТРОВ HFET  
И BCM1FPCVD ОТНОСИТЕЛЬНО ЛЮМИНОМЕТРА HFOS В ЭКСПЕРИМЕНТЕ CMS**Н.Р. Бикметов

Научный руководитель: к.ф.-м.н. А.А. Бабаев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [nrb1@tpu.ru](mailto:nrb1@tpu.ru)**HFET AND BCM1FPCVD LUMINOMETERS NONLINEARITY RELATIVE TO HFOS  
LUMINOMETER IN THE CMS EXPERIMENT**N.R. Bikmetov

Scientific Supervisor: PhD. A.A. Babaev

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: [nrb1@tpu.ru](mailto:nrb1@tpu.ru)

***Abstract.** The processing and analysis of the data obtained from the beam separation scans within the CMS experiment was carried out. The average value of nonlinearity is determined for each beam, the distribution of nonlinearity in all considered beams is investigated, the nonlinearity for the first clusters in their sequences (train) is separately considered. The stability of the relative nonlinearity of luminometers has been investigated for scans in the period from May 6 to October 24, 2018.*

**Введение.** Проект BRIL (Beam Radiation Instrumentation and Luminosity) является частью эксперимента CMS, проводимого CERN на LHC [1, 2]. В рамках данного проекта производятся исследования светимости в столкновениях пучков и контроль за их значениями, наблюдение и калибровка детекторов-люминометров и последующее их улучшение для адаптации к планируемому увеличению светимости после апгрейда LHC. В данной работе рассматриваются три детектора: два HF (hadron forward) калориметра (HFOS и HFET) и счетчик быстрых частиц BCM1F (Fast Beam Conditions Monitor). HF калориметры регистрируют излучение Вавилова-Черенкова, возникающее при прохождении частиц через кварц, находящийся в детекторе. В BCM1F для регистрации частиц используются кремниевые и алмазные детекторы. В данной работе рассматривался только детектор PCVD на основе поликристаллического алмаза [1]. Орбита протонов в LHC разбивается на 3564 временных промежутка, каждое продолжительностью в 25 нс. В результате ускорения пучка электрическим полем высокой частоты образуются сгустки. Сканирование пучка (измерение интенсивности событий) производится в начале и конце его существования. Использование нескольких методов детектирования приводит к разнице в регистрируемых интенсивностей событий между применяемыми люминометрами, поэтому в целях дальнейшего анализа осуществляется переход к фундаментальной величине – светимости (SBIL).

**Экспериментальная часть.** Для определения нелинейности по всем зарегистрированным светимостям для одного сгустка, значения которых превышают 1 условную единицу, исследуется отношение:

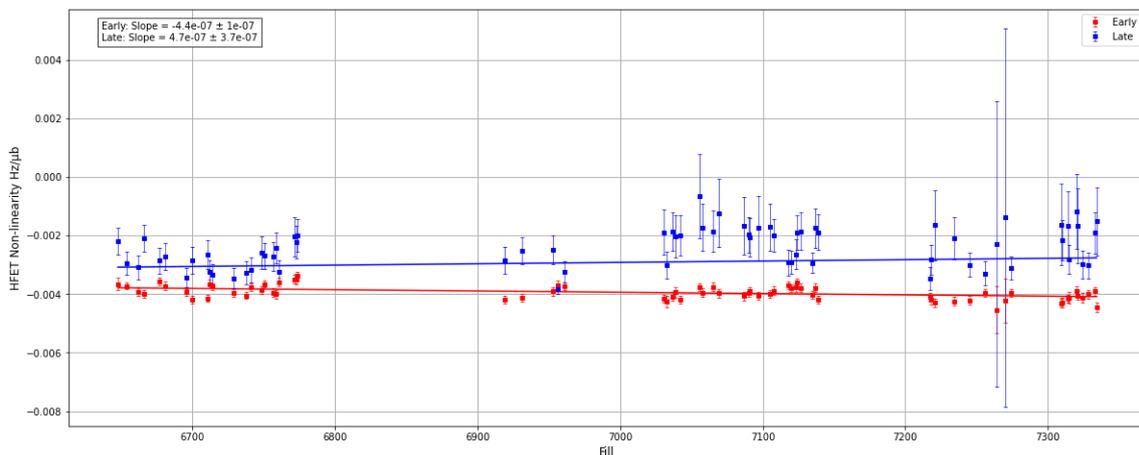
$$Ratio = \frac{SBIL(L)}{SBIL(L_{ref})},$$

где  $SBIL(L)$  и  $SBIL(L_{ref})$  – светимости, зарегистрированные с использованием исследуемого и референсного люминометра. Значение отношения светимостей, измеренных разными детекторами, может быть рассмотрено, как линейная функция

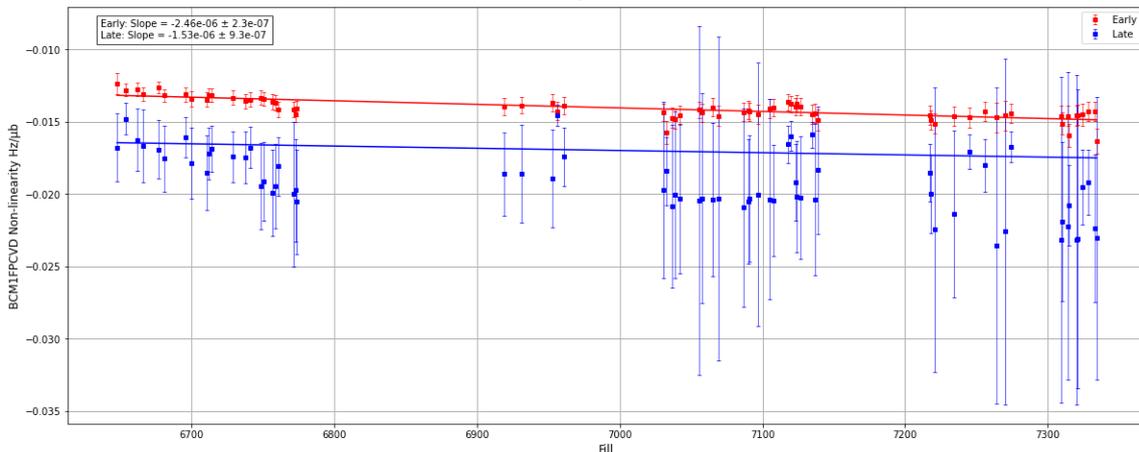
$$Ratio = p_0 + p_1 \cdot SBIL(L_{ref}), \quad (1)$$

описывающую изменение нелинейности показаний по отношению к эталону [3]. Здесь  $p_0$  и  $p_1$  – коэффициенты линейной аппроксимации. Для светимостей каждого исследуемого сгустка были построены зависимости отношения, рассчитанные в соответствии с выражением (1). Линейная аппроксимация производилась с помощью ЯП Python методом ODR библиотеки SciPy. Коэффициент  $p_1$  линейной аппроксимации является характеристикой относительной нелинейности показаний детектора. Для каждого сгустка была проведена аналогичная аппроксимация и определение коэффициентов  $p_1$ .

**Результаты.** В результате была получена зависимость изменения относительной нелинейности при последующих сканах, начиная со скана №6648, проведенного 6-го мая 2018-го года, заканчивая сканом №7334 от 24-го октября того же года.



а)



б)

Рис. 1. Стабильность относительной нелинейности при проведении последующих сканов в периоде с 6-го мая по 24-е октября 2018-го года для: а) HFET; б) BCM1FPCVD. Красная линия соответствует ранним сканам (в начале жизни пучка), синяя – поздним (в конце жизни пучка)

На рис. 1 изображена зависимость относительной нелинейности исследуемых детекторов для проведенных сканов в указанный период. Предварительно данные о сгустках были отсортированы по критерию Граббса для повышения точности определения среднего значения. Из полученных зависимостей видно, что нелинейность слабо изменяется в течение указанного периода, как для ранних, так и для поздних сканов. Что и ожидалось, HFET проявляет меньшую относительную нелинейность по сравнению с BCM1FPCVD. Для поздних сканов ошибка в определении средней нелинейности значительно выше, чем в ранних сканах. Также для обоих детекторов наблюдается увеличение данной ошибки при последующих сканах. Для ранних сканов рост ошибки незначителен, в то время как для поздних наблюдается явное снижение точности, что обусловлено снижением интенсивности пучка, что приводит к уменьшению числа регистрируемых событий и, как следствие, к увеличению среднеквадратичного отклонения. Для BCM1FPCVD погрешность в определении нелинейности для последних сканов возрастает несколько раз, по сравнению с первыми за исследуемый период. В течение исследуемого периода происходила деградация пучка, приводящая к наблюдаемому последовательному росту ошибки в оценке относительной нелинейности при увеличении номером проводимого сканирования.

В результате расчета светимости большая часть значений для HFET имела значение меньше 1-й условной единицы и не учитывалась при линейной аппроксимации для оценки относительной нелинейности, что приводило к меньшему наклону прямой. Для BCM1FPCVD подобного не наблюдалось. Линейная аппроксимация меньшее количество значений отношения светимости зарегистрированной HFET к зарегистрированной HFOT в поздних сканах для некоторых сгустков приводит к тому, что значение нелинейности было меньше в конце жизни данного сгустка, чем в его начале. Одной из возможных причин этому является рост влияния коэффициентов нелинейности более высокого порядка для HFET при проведении поздних сканов.

**Заключение.** В результате исследования было установлено, что HFET имеет значительно меньшую нелинейность в сравнении с BCM1FPCVD, что может быть обусловлено расположением HFET в одной области с HFOS, а также использованием метода регистрации излучения Вавилова-Черенкова, как и в эталонном для данной работы детекторе. Исследование зависимости среднего значения нелинейности в скане от его номера было установлено, что в течение исследуемого периода с 6-го мая по 24-е октября 2018-го года наблюдаются лишь незначительные изменения для последующих сканов. Из полученных результатов следует, что относительная нелинейность детекторов в ранних и поздних сканах остается достаточно стабильной для дальнейшего использования данных, полученных в данном временном диапазоне.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Babaev A. on behalf of CMS Collaboration. Relative nonlinearity of BRIL luminometers derived from CMS  $\mu$  scans // 7th Annual Conference on Large Hadron Collider Physics, LHCP2019 20-25 May. Puebla, Mexico. – 2019. –P. 1-6.
2. CMS Collaboration et al. The CMS experiment at the CERN LHC // Journal of Instrumentation. – 2008. – Vol. 3. – 365 p.
3. CMS Collaboration et al. CMS luminosity measurement for the 2017 data-taking period at  $\sqrt{s} = 13$  TeV, CMS PAS LUM-17-004 (2018)