

УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ТРЕХКАСКАДНОГО ГАЗОВОГО ЭЛЕКТРОННОГО УМНОЖИТЕЛЯ

© 2023 г. А. В. Галаванов^а, А. В. Кумпан^а, Г. Х. Салахутдинов^а,
В. В. Сосновцев^{а,*}, А. В. Шакиров^а

^аНациональный исследовательский ядерный университет “МИФИ”

Россия, 115409, Москва, Каширское ш., 31

*e-mail: VVSosnovtsev@mephi.ru

Поступила в редакцию 11.11.2022 г.

После доработки 18.11.2022 г.

Принята к публикации 05.01.2023 г.

В НИЯУ МИФИ создана экспериментальная установка для исследования спектрометрических характеристик газовых смесей для каскадных газовых электронных усилителей (ГЭУ), которые широко используются в современных трековых детекторах, черенковских детекторах, детекторах синхротронного излучения для постановки экспериментов в области физики высоких энергий. В статье приводятся результаты исследований характеристик газовой смеси для ГЭУ, применяемых в международном эксперименте BM@N (ОИЯИ, г. Дубна). Отмечена возможность использования данной установки для проведения лабораторных работ в сопровождении магистерских курсов по направлению “Ядерная физика и технологии”.

DOI: 10.31857/S0032816223040018, EDN: SUIRBS

ВВЕДЕНИЕ

Интерес к использованию детекторов на основе каскадных газовых электронных умножителей (ГЭУ) в современных экспериментах в ядерной физике постоянно растет. Это связано с такими уникальными характеристиками ГЭУ, как [1]:

– наличие быстрого сигнала (менее 50 нс FWHM), образуемого дрейфом электронов в индукционном промежутке;

– практическое отсутствие ионной обратной связи, возможность работы в пучках частиц с интенсивностью $\sim 10^5$ Гц/мм²;

– возможность двухкоординатного съема информации с высоким, до 40 мкм (RMS), пространственным разрешением;

– работоспособность в магнитных полях до 5 Тл;

– возможность работы с газовыми смесями, состав которых может широко меняться, а также с чистыми благородными газами;

– возможность каскадирования, что позволяет получать значения коэффициента газового усиления в трехкаскадных ГЭУ до $\sim 10^6$, при этом каскады усиления работают практически независимо;

– возможность создавать на основе ГЭУ детекторы с большими площадями, малой толщиной и любой геометрической формы, что делает их привлекательными для применений в качестве внут-

ренних трековых устройств многоцелевых современных детекторов.

По всем указанным характеристикам ГЭУ имеют преимущества перед обычными пропорциональными камерами, что обеспечило широкое их применение в трековых детекторах таких экспериментов, как COMPASS [2], CMS [3], TOTEM [4] (ЦЕРН, Швейцария). Центральная трековая система на основе самых больших в мире ГЭУ (размером 200 × 80 см) создана для эксперимента “Барийная материя на нуклотроне” (BM@N), проводимого в настоящее время в Лаборатории физики высоких энергий (ОИЯИ, Дубна) по научной программе проекта NICA [5]. Криогенные детекторы на основе каскадных ГЭУ [6] предложено применить для регистрации нейтрино, темной материи и когерентного рассеяния нейтрино на ядрах. Появились быстрые диагностические приборы на основе ГЭУ, которые могут использоваться как для диагностики плазмы, так и в медицине [7].

Актуальным является поиск и исследование таких газовых смесей, которые способны обеспечить необходимые для данного физического эксперимента характеристики ГЭУ, например: максимальный коэффициент газоусиления, приемлемое амплитудное разрешение, быстрое время собирания электронов в дрейфовом промежутке ГЭУ в присутствии магнитного поля, высокая

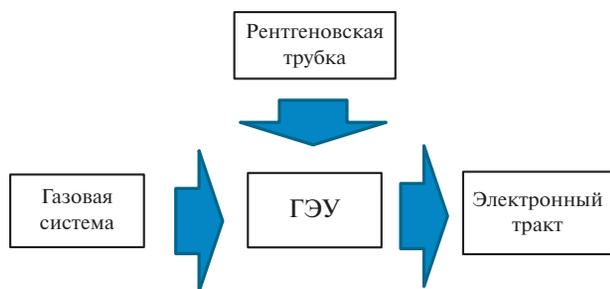


Рис. 1. Блок-схема установки. ГЭУ – газовый электронный умножитель.

эффективность регистрации релятивистских частиц и пр.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Блок-схема установки представлена на рис. 1. Основным элементом установки является трехкаскадный ГЭУ, любезно предоставленный ЛФВЭ ОИЯИ (г. Дубна) для исследований в НИЯУ МИФИ, с размерами чувствительной области 10×10 см и следующими характеристиками:

- внешние размеры $230 \times 230 \times 30$ мм;
- объем газа $157 \times 157 \times 12$ мм (~ 300 мм³);
- двухкоординатное считывание: ширина стрипа на аноде 500 мкм, шаг между стрипами 500 мкм.

Работает трехкаскадный ГЭУ следующим образом (рис. 2). Излучение входит через катод 1 в дрейфовый промежуток и ионизирует там газ. Электроны ионизации под действием поля E_d последовательно попадают в первый 2, второй 3 и третий 4 каскады ГЭУ, где происходит их размножение. Вышедшие из последнего ГЭУ (4) электроны направляются индукционным электрическим полем $E_{и}$ в сторону анода 5 и индуцируют на

нем электрический заряд. Анод предназначен только для сбора заряда – усиления заряда после ГЭУ (4) не происходит. Типичная длительность сигнала, получаемого на аноде ГЭУ, составляет 30–50 нс. Для работы детектора необходимо использовать два напряжения: $-U_d$, которое формирует дрейфовое поле, и $-U_{ГЭУ}$, обеспечивающее процесс размножения электронов в пленках ГЭУ.

В качестве источника ионизации при исследовании характеристик ГЭУ используется рентгеновская трубка АМРТЕК-miniX со следующими характеристиками [8]:

- выходная мощность до 4 Вт;
- напряжение на трубке до 50 кВ;
- ток на трубке до 80 мкА;
- материал катода – серебро (Ag);
- выходное окно из бериллия (Be).

Зависимость спектра рентгеновского излучения от напряжения на аноде показана на рис. 3.

Схема системы, подающей газовую смесь в исследуемый ГЭУ, представлена на рис. 4. Система формирует смеси из трех газов, один из которых может быть горючим. Для этого в системе имеется специальный газовый отсек, позволяющий следить за расходом газа путем взвешивания баллона, а также система с сигнализацией для контроля возможной утечки газа.

В соответствии с паспортными данными газовых контроллеров точность смешивания отдельных компонент газовой смеси не хуже 1%. Система позволяет варьировать потоки смесей в интервале от 0.5 до 20 л/ч с высокой стабильностью состава. Для контроля состава газовой смеси в системе присутствует газовый анализатор SRI 8610C, работающий в режиме on line с персональным компьютером, оснащенным программой PeakView. Система демонстрирует высокую ста-

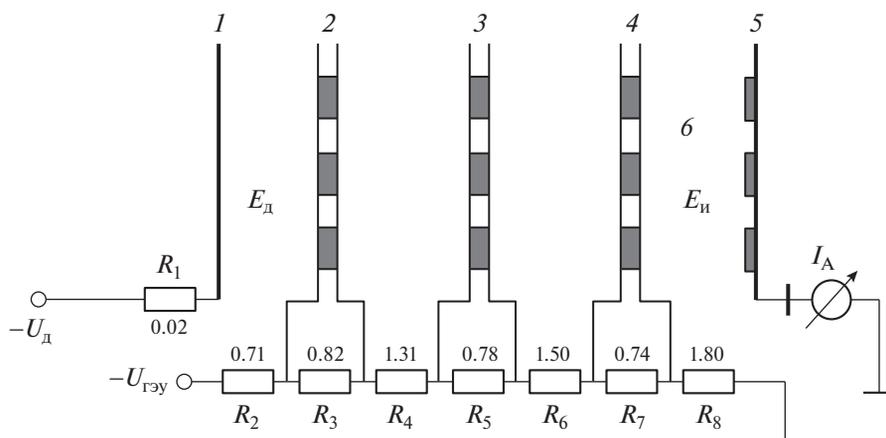


Рис. 2. Схема трехкаскадного ГЭУ. 1 – катод; 2 – первый каскад; 3 – второй каскад; 4 – третий каскад; 5 – анод; 6 – индукционный промежуток (наминал резисторов в мегаомах).

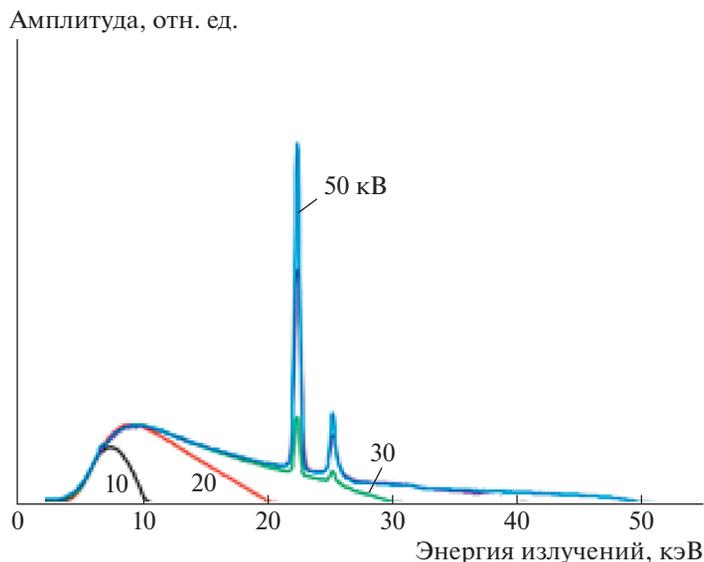


Рис. 3. Спектры излучения трубки AMPTEK-miniX при различных напряжениях на аноде (цифры у кривых).

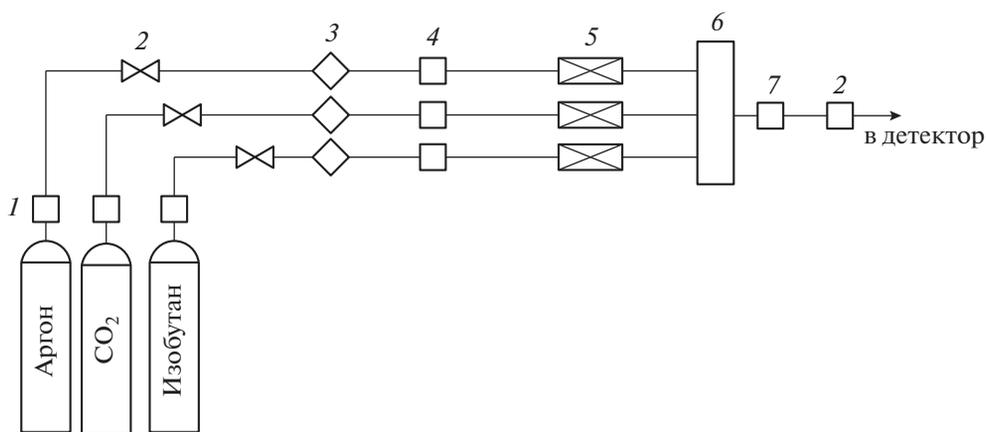


Рис. 4. Схема газовой системы. 1 – регулятор давления, 2 – вентиль мембранный, 3 – фильтр противопылевой, 4 – клапан предохранительный, 5 – регулятор расхода, 6 – смеситель, 7 – измеритель давления.

бильность состава формируемой газовой смеси (рис. 5).

Схема электронного тракта установки представлена на рис. 6. Аналоговая электроника представлена в стандарте NIM, цифровая – в стандарте VME. Сигнал с детектора усиливается при помощи предусилителя на основе микросхемы HML HDX 81, питающейся от источника АКТАКОМ АТН-2031, и далее разделяется при помощи линейного разветвителя CAEN N625. Один из полученных сигналов поступает на дискриминатор CAEN N840, который дает привязку ко времени сигнала, а второй сигнал через линию задержки CAEN N108A подается на оцифровывающее устройство – зарядоцифровой преобразователь QDC V965 стандарта VME. Дискриминатор CAEN N840 дает стартовый сигнал для генерато-

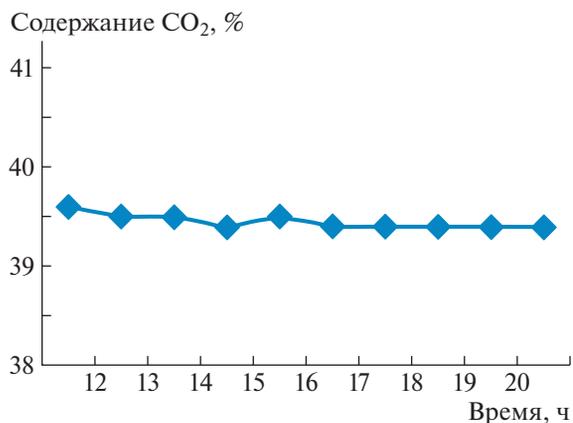


Рис. 5. Стабильность состава газовой смеси во времени.

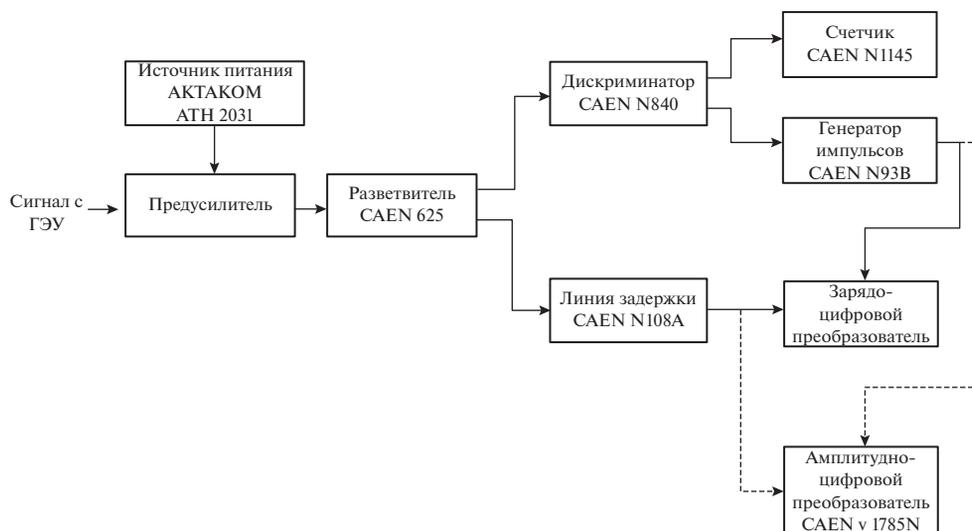


Рис. 6. Схема электронного тракта установки.

ра импульсов CAEN N93B, который в свою очередь формирует ворота для оцифровки сигнала зарядоцифровым преобразователем. Один из выходов дискриминатора соединен со счетчиком сигналов CAEN N1145 с целью контроля частоты событий. Программа, написанная на языке C++, принимает данные через блок управления с указанного модуля QDC и записывает их в файл формата root, использование стандартных средств root позволяет фитировать получаемое распреде-

ление. Представленная в распределении шкала прокалибрована в энергетических единицах (пикокулоны), что позволяет определить положение центра пика и рассчитать коэффициент газового усиления с точностью $\sim 1\%$. Наличие в схеме аттенюатора (на рис. 6 не показан) дает возможность исследовать характеристики смеси при коэффициенте газового усиления до 10^6 . Электронный тракт является универсальным и может быть применен после некоторых настроек для исследования характеристик любых детекторов.

Визуальный контроль работы стенда и настройка обеспечиваются цифровым осциллографом. Все блоки расположены в соответствующих кейтах, которые в свою очередь располагаются на одной стандартной стойке.

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СМЕСИ НА ОСНОВЕ АРГОНА И УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА

Для исследования амплитудных характеристик газовых смесей стрипы на плоскости X в описанном ГЭУ были объединены и подключены к одному каналу электроники. В качестве примера было проведено исследование характеристик смеси $\text{Ar} + 30\% \text{CO}_2$, используемой в трехкаскадном ГЭУ трековой системы эксперимента VM&N. На рис. 7 представлен полученный амплитудный спектр сигналов с ГЭУ, а на рис. 8 — зависимость коэффициента газового усиления от тока делителя ГЭУ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В НИЯУ МИФИ разработана установка для исследования и оптимизации характеристик га-

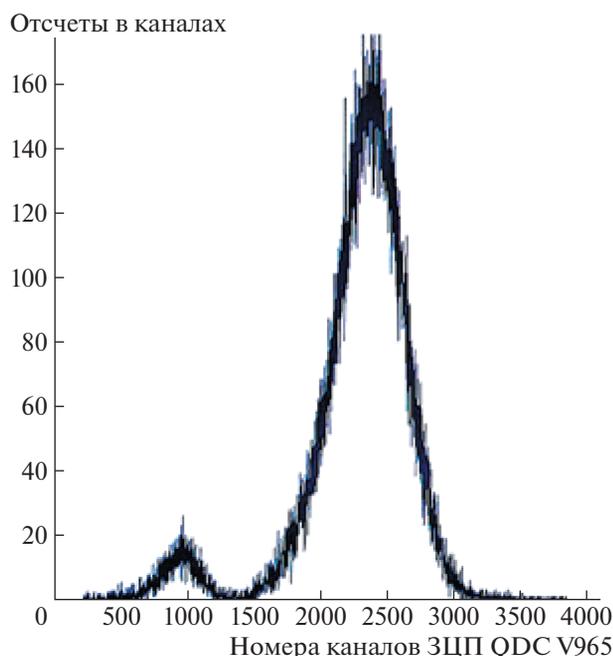


Рис. 7. Амплитудный спектр сигналов ГЭУ при облучении рентгеновской трубкой АМРТЕК-miniX при анодном потенциале 8 кВ.

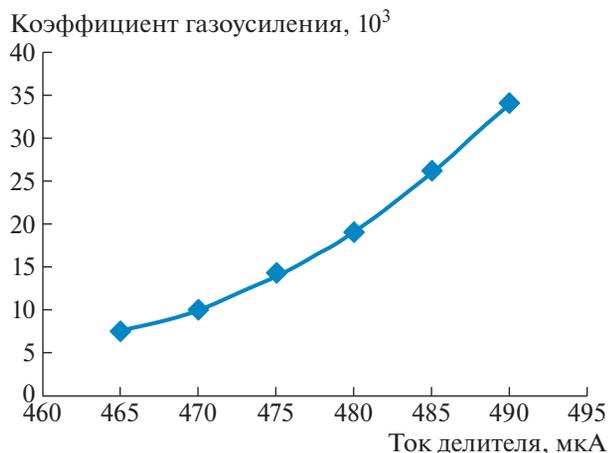


Рис. 8. Зависимость коэффициента газового усиления от тока делителя ГЭУ для газовой смеси Ag + 30%CO₂.

зовых смесей для трехкаскадных газовых электронных умножителей (ГЭУ). В настоящее время установка используется в НИЯУ МИФИ для проведения лабораторных работ в сопровождении магистерских курсов по направлению “Ядерная физика и технологии”.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность руководству ИЯ-ФиТ НИЯУ МИФИ за поддержку работ по созданию установки.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (контракт № 22-12-00082 от 13 мая 2022 года).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Sauli F.* // Nucl. Instrum. and Methods A. 2016. V. 805. P. 2.
<https://doi.org/10.1016/j.nima.2015.07.060>
2. *Bernhard J., Banerjee D., Montbarbon E., Brugger M., Charitonidis N., Cholak S., Luigi G., D'Alessandro, Gaignon L., Gerbershagen A., Rae B.* // arXiv:1911.01498v1 [hep-ex] 4 Nov 2019.
3. CMS Collaboration. Report CERN-LHCC-2015-012. 2015.
4. The CMS and TOTEM Collaborations. Report CERN-PH-EP/2014-063 2014/11/06.
5. *Баранов А.Г., Басков В.А., Василенко В.К., Герасимов Д.П., Губер Ф.Ф., Дронов В.А., Ивашкин А.П., Известный А.В., Карпушкин Н.М., Львов А.И., Морозов С.В., Полянский В.В., Салахутдинов Г.Х.* // ПТЭ. 2022. № 1. С. 58.
<https://doi.org/10.31857/S0032816222010025>
6. *Bondar A., Buzulutskov A., Grebenuk A., Pavlyuchenko D., Snopkov R., Tikhonov Y.* // Nucl. Instrum. and Methods A. 2006. V. 556. P. 273.
<https://doi.org/10.1016/j.nima.2005.10.102>
7. *Murtas F.* // JINST. 2014. V. 9. C01058.
8. AMPTEK INC. // www.amptec.com (2019)