

СТАТУС МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ АЧС АШИФ ДЛЯ ДЕТЕКТОРА СНД

А. Ю. Барняков^{1,2}, *В. С. Бобровников*^{1,3}, *А. Р. Бузыкаев*¹,
А. В. Чепелев^{1,2}, *А. Ф. Данилюк*⁴, *Р. А. Ефремов*^{1,2},
*А. А. Катцин*¹, *Е. А. Кравченко*^{1,3}, *С. А. Кононов*³,
И. А. Куянов^{1,2,*}, *И. В. Овтин*^{1,3}, *К. Г. Петрухин*¹

¹ Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, Новосибирск, Россия

² Новосибирский государственный технический университет,
Новосибирск, Россия

³ Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

⁴ Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН, Новосибирск, Россия

Система идентификации частиц АШИФ (аэрогель, шифтер, фотоумножитель) успешно работает в двух экспериментах в Новосибирске в ИЯФ СО РАН: в аэрогелевых черенковских счетчиках (АЧС) детектора КЕДР и СНД. Было предложено провести модернизацию АЧС детектора СНД, сделав замену фотонного детектора ФЭУ с микроканальными пластинами (МКП) на кремниевые фотоумножители (КФЭУ). Такая замена фотодетектора позволит увеличить количество регистрируемых фотоэлектронов в 2,5 раза и, как следствие, улучшить качество разделения частиц. Представлен статус работ по модернизации системы АЧС детектора СНД.

The particle identification system ASHIPH (Aerogel, SHifter, PHotomultiplier) successfully operates in two experiments in Novosibirsk at the BINP: Aerogel Threshold Cherenkov Counters in the KEDR and SND detectors. It was proposed to modernize the ASHIPH counter by replacing the photon detector from MCP PMT to the SiPM. This will increase the number of detected photoelectrons by 2.5 times and consequently improve the quality of particle separation. The article presents the status of work on modernizing the ASHIPH system of the SND detector.

PACS: 29.40.Ka

ВВЕДЕНИЕ

Метод идентификации частиц АШИФ был предложен в институте ядерной физики им. Г. И. Будкера (ИЯФ, Новосибирск) в 1992 г. [1]. Черенковские фотоны из аэрогеля собираются на переизлучатели спектра, расположенные в середине счетчика и сделанные в виде световодов, переизлучаются и транспортируются к фотоумножителю. Схема счетчика представлена на рис. 1. Использование переизлучателей спектра позво-

* E-mail: I.A.Kuyanov@inp.nsk.su

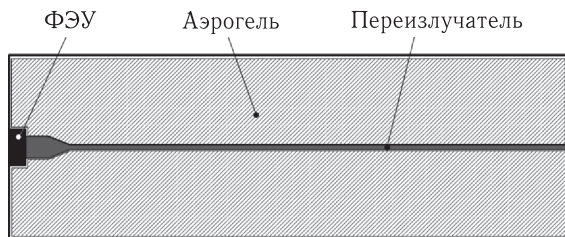


Рис. 1. Схема аэрогелевого черенковского счетчика

ляет сократить общее количество ФЭУ в системе и увеличить размер счетчика.

Система счетчиков АШИФ используется в детекторе СНД на коллайдере ВЭПП-2000 (ИЯФ, Новосибирск). Система АШИФ детектора СНД состоит из 9 счетчиков, расположенных в один слой толщиной 30 мм [2]. Объем аэрогеля в системе — 7 л. Предусмотрено два комплекта аэрогелевых счетчиков с показателем преломления 1,13 для π/K -разделения в диапазоне энергий от 0,3 до 0,9 ГэВ/с и 1,05 для e/π -разделения при энергиях ниже 0,45 ГэВ/с. Для регистрации фотонов в счетчиках используются ФЭУ на основе микроканальных пластин (ФЭУ с МКП) с мультищелочным фотокатодом диаметром 18 мм [3]. Было предложено провести модернизацию системы АШИФ детектора СНД, заменив фотонные детекторы с ФЭУ с МКП на КФЭУ. Для проверки увеличения количества регистрируемых фотоэлектронов после замены фотонных детекторов и, как следствие, улучшения качества разделения частиц был разработан и протестирован прототип счетчика АШИФ с КФЭУ в качестве детектора фотонов.

1. МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ АЧС. ЗАМЕНА ФЭУ С МКП НА КФЭУ

Эффективность регистрации фотонов ФЭУ с МКП производства «Экран ФЭП» (Новосибирск), установленных в системе АШИФ детектора СНД, составляет около 14 %. При этом максимальная квантовая эффективность мультищелочного (Sb–Na–K–Cs) фотокатода достигает 23 % при длине волны $\lambda = 500$ нм, а коэффициент сбора фотоэлектронов $\sim 0,6$ [3]. По сравнению с этими приборами КФЭУ имеют более высокую эффективность регистрации света (до 40–50 %) [4]. Также КФЭУ компактны, имеют низкое напряжение питания (меньше 100 В) и невосприимчивы к магнитному полю.

Недостатком КФЭУ являются их высокие темновые шумы, составляющие ~ 55 кГц/мм² при комнатной температуре. Высокая темновая скорость счета будет основным источником допороговой эффективности черенковского счетчика. Модель КФЭУ должна быть выбрана таким образом, чтобы фоточувствительная область КФЭУ полностью покрывала

торцевую часть переизлучателя, но при этом оставалась минимальной, чтобы уменьшить вклад шумов КФЭУ в допороговую эффективность. Также допороговую эффективность, связанную с шумами КФЭУ, можно уменьшить, установив порог на число зарегистрированных фотоэлектронов.

В качестве фотонного детектора был выбран КФЭУ S13363-3050NE-16 производства Hamamatsu. Данный прибор представляет собой массив из 16 КФЭУ со светочувствительной площадью 3×3 мм и эффективностью регистрации фотонов 40 % при $\lambda = 500$ нм [4]. Для того чтобы согласовать площадь фотонного детектора с площадью торца переизлучателя (17×3 мм) от S13363-3050NE-16 отделялся массив из пяти КФЭУ с фоточувствительной площадью 5×9 мм, что составляет 88 % площади поверхности торца переизлучателя.

В начале эксперимента величина сигнала от релятивистской частицы в системе АШИФ детектора СНД составляла 6–8 фотоэлектронов для комплекта аэрогелевых счетчиков с показателем преломления 1,13 [5] и 3,5 фотоэлектрона для 1,05 [6]. Замена ФЭУ с МКП на приборы с большей эффективностью, но собирающие сигналы с меньшей площади, может увеличить количество фотоэлектронов, регистрируемых от релятивистской частицы в $\sim 2,5$ раза.

2. ПРОТОТИП СЧЕТЧИКА АШИФ

Для создания прототипа счетчика АШИФ с КФЭУ был использован сегмент системы АШИФ детектора СНД. Сегмент состоит из трех черенковских счетчиков. Для тестов использовался только один. Фотография прототипа счетчика показана на рис.2. Прототип представляет собой сегмент цилиндра с внутренним радиусом 105 мм, внешним радиусом 141 мм, длиной 260 мм и шириной 80 мм. Переизлучатель смещен на 5° относительно центра счетчика. Внутренние поверхности счетчика покрыты высокоотражающей пленкой из полимер тетрафторэтилена (ПТФЭ) с коэффициентом отражения ~ 98 %. Счетчик заполнялся четырьмя плитками аэрогеля с показателем преломления 1,12 и толщиной 25 мм.

Так как основные параметры КФЭУ имеют зависимость от температуры, в прототип счетчика была добавлена система термостабилизации, построенная на основе элементов Пельтье. Схема показана на рис.3. Отвод тепла с элемента Пельтье осуществляется с помощью воздушного радиатора. Проведенные испы-



Рис. 2. Прототип счетчика АШИФ



Рис. 3. Схема системы термостабилизации счетчика АШИФ

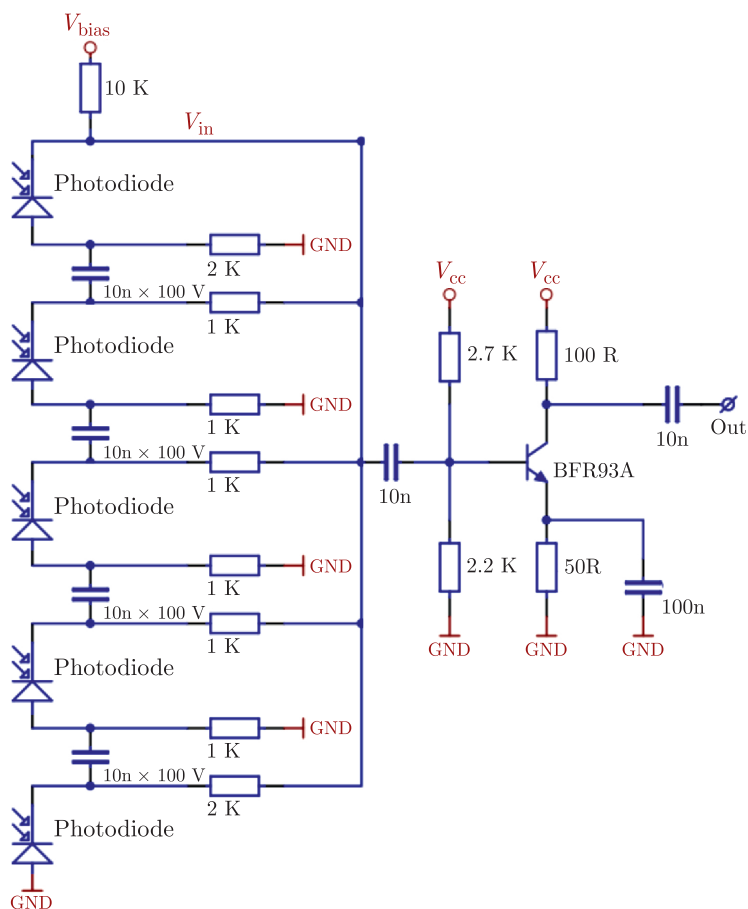


Рис. 4. Схема подключения КФЭУ

тания в термокамере показали возможность стабилизации температуры КФЭУ в прототипе на уровне до 15°C при температуре окружающей среды 50°C .

Схема подключения КФЭУ показана на рис. 4. Пять КФЭУ Hamamatsu были соединены последовательно с развязывающими конденсаторами

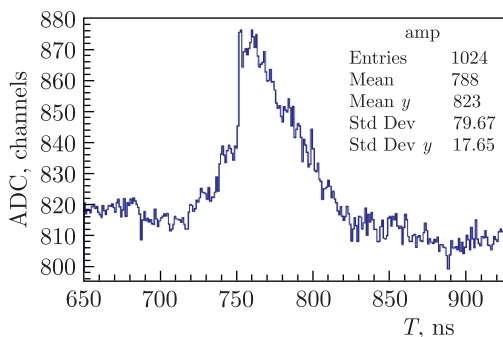


Рис. 5. Пример осциллограммы с КФЭУ

между ними. Напряжение смещения при этом было общим для всех КФЭУ. На рис.5 показана типичная осциллограмма двухэлектронных сигналов от пяти последовательно соединенных КФЭУ.

3. ИСПЫТАНИЕ ПРОТОТИПА НА ПУЧКЕ ЭЛЕКТРОНОВ

Прототип счетчика АШИФ был испытан на тестовом пучке электронов с энергией 2,5 ГэВ ускорительного комплекса ВЭПП-4 в ИЯФ СО РАН [7]. Схема эксперимента представлена на рис. 6.

Для определения трека электронов использовались два газовых многостриповых GEM-детектора с собственным разрешением $\sigma_x \sim 40$ мкм и $\sigma_y \sim 40$ мкм, установленных на расстоянии около 1 м.

В качестве триггерных счетчиков использовались ФЭУ на основе МКП с мультищелочным фотокатодом и плексигласовым черенковским радиатором толщиной 5 мм. Для считывания сигнала с прототипа использовался 12-битный оцифровщик сигналов CAEN-V1742. Были набраны данные в 9 геометрических областях прототипа при разных напряжениях смещения на КФЭУ при температуре КФЭУ 25°C.

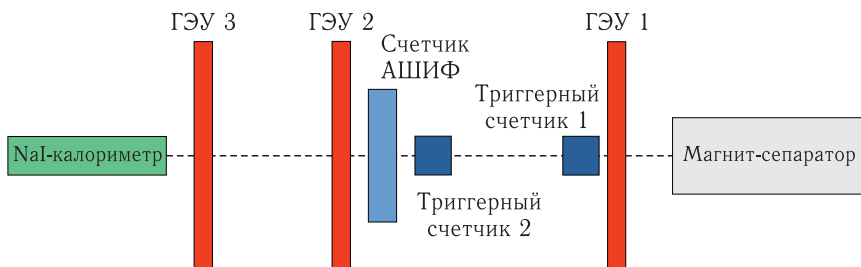


Рис. 6. Схема эксперимента

Было проведено измерение количества зарегистрированных фотоэлектронов ($N_{\text{ph.e}}$) и исследование неоднородности светосбора в счетчике на тестовом пучке электронов. На рис.7 показано число зарегистрированных фотоэлектронов в различных геометрических точках прототипа счетчика при различных напряжениях смещения на КФЭУ. Для определения числа зарегистрированных фотоэлектронов применялось два метода: поиск максимальной амплитуды импульса с КФЭУ и интегрирование осциллограммы импульса. Разница между результатами этих двух методов не превышает 1 фотоэлектрона. Число фотоэлектронов определялось как $N_{\text{ph.e}} = (A_{\text{sig}} - A_{\text{ped}})/A_{1\text{ph.e}}$, где A_{sig} — средняя амплитуда

53 В			54 В		
т.1 5,16 ± 0,10	т.2 6,94 ± 0,13	т.3 7,22 ± 0,12	т.1 10,86 ± 0,16	т.2 15,20 ± 0,24	т.3 12,76 ± 0,18
			т.4 10,64 ± 0,17	т.5 13,92 ± 0,23	т.6 13,82 ± 0,21
т.7 5,09 ± 0,67	т.8 6,45 ± 0,18		т.7 8,97 ± 0,15	т.8 11,43 ± 0,20	т.9 13,10 ± 0,21
55 В			56 В		
т.1 11,06 ± 0,17	т.2 14,93 ± 0,23	т.3 14,48 ± 0,22	т.1 11,28 ± 0,18	т.2 16,30 ± 0,29	т.3 16,03 ± 0,27
т.7 10,26 ± 0,26	т.8 13,93 ± 0,36		т.7 11,08 ± 0,28	т.8 14,59 ± 0,48	

Рис. 7. Число зарегистрированных фотоэлектронов $N_{\text{ph.e}}$ в различных геометрических областях прототипа счетчика при разных напряжениях смещения на КФЭУ

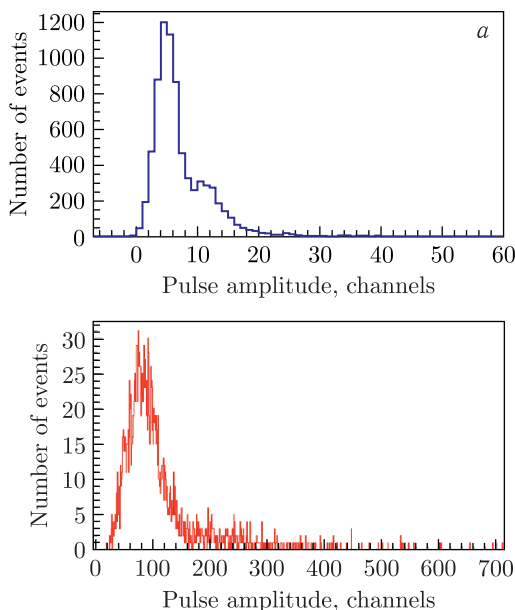


Рис. 8. а) Шумовой спектр; б) сигнальный спектр

сигнала с прототипа (рис. 8), A_{ped} — амплитуда пьедестала, $A_{1\text{ph.e}}$ — амплитуда одного фотоэлектрона. Для определения $A_{1\text{ph.e}}$ выполнялась однофотоэлектронная калибровка при засветке от светодиода, встроенного в прототип счетчика.

В результате измерений было получено максимальное число фотоэлектронов 16,3 в геометрической точке, близкой к КФЭУ. Среднее число фотоэлектронов по всем измеренным точкам равно 14. Неоднородность светосбора $\delta = ((N_{\text{ph.e. max}} - N_{\text{ph.e. min}})/N_{\text{ph.e. mean}}) \cdot 100\% = 40\%$. Качество разделения частиц лучше 4σ при пороге 4,5 ph.e. (рис. 9).

В прототипе использовался аэрогель с показателем преломления, отличным от счетчика АШИФ СНД (1,12 вместо 1,13). Также прототип счетчика был не полностью заполнен аэрогелем (25 мм против 30 мм). Можно оценить, на сколько изменится число зарегистрированных фотоэлектронов при использовании аэрогеля с показателем преломления 1,13 и полным заполнением счетчика. Число черенковских фотонов в видимом диапазоне длин волн для релятивистского электрона:

$$\frac{dN}{dx} = 490 \sin^2(\theta) = 490(1 - \cos^2(\theta)) = 490 \left(1 - \frac{1}{n^2}\right),$$

а значит, при использовании аэрогеля с показателем преломления 1,13 будет получено на $\sim (1 - 1/1,13^2)/(1 - 1/1,12^2) = 1,1$ фотоэлектрона больше. Приняв во внимание уменьшенную толщину аэрогеля в испы-

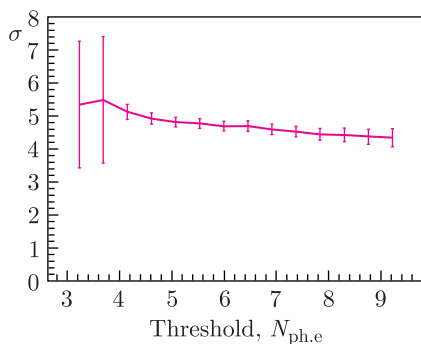


Рис. 9. Качество разделения частиц в зависимости от порога числа фотоэлектронов

танном прототипе, можно оценить, что количество фотоэлектронов для счетчика АШИФ с КФЭУ будет в $1,1 \cdot 30/25 = 1,3$ раза больше, а именно $14 \cdot 1,3 = 18,2$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан прототип счетчика АШИФ с КФЭУ в качестве детектора фотонов. Проведенные испытания созданного прототипа на электронном пучке в ИЯФ СО РАН показали следующие результаты: среднее число зарегистрированных фотоэлектронов — 14; неоднородность светосбора $\sim 40\%$ по счетчику; качество разделения частиц лучше 4σ при пороге 4,5 фотоэлектрона.

Пересчитанное количество фотоэлектронов для прототипа счетчика АШИФ составляет 18,2. Это в $\sim 2,2$ раза больше, чем число фотоэлектронов, регистрируемое счетчиками АШИФ СНД с ФЭУ МКП, что согласуется с соотношением эффективности регистрации этих приборов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Onuchin A. *et al.* The Aerogel Cherenkov Counters with Wavelength Shifters and Phototubes // Nucl. Instr. Meth. A. 1992. V. 315. P. 517; doi: 10.1016/0168-9002(92)90757-U.
2. Barnyakov A. Yu. *et al.* Particle Identification Aerogel Counter with $n = 1.13$ for π/K -Separation // Nucl. Instr. Meth. A. 2010. V. 623. P. 336; doi: 10.1016/j.nima.2010.02.240.
3. Barnyakov A. Yu. *et al.* Test of Microchannel Plates in Magnetic Fields up to 4.5 T // Nucl. Instr. Meth. A. 2017. V. 845. P. 588; doi: 10.1016/j.nima.2016.05.131.
4. https://www.hamamatsu.com/us/en/product/optical-sensors/mppc/mppc_mppc-array/S13363-3050NE-16.html

5. *Barnyakov A. Yu. et al.* Particle Identification System Based on Dense Aerogel for SND Detector at VEPP-2000 Collider // J. Instrum. 2014. V. 9. P. C09023; doi: 10.1088/1748-0221/9/09/C09023.
6. *Barnyakov A. Yu. et al.* Test Results of the Threshold Aerogel Cherenkov Counter System with $n = 1.05$ Using Electrons and Muons at $p < 500$ MeV/c // J. Instrum. 2014. V. 9. P. C08010; doi: 10.1088/1748-0221/9/08/C08010.
7. *Abramov G. N. et al.* Extracted Electron and Gamma Beams in BINP // J. Instrum. 2014. V. 9. P. C08022; doi: 10.1088/1748-0221/9/08/C08022.