

P13-2015-21

В. А. Морозов, Н. В. Морозова

**ГАЗОРАЗРЯДНЫЕ ПРОЦЕССЫ
В МЕТАЛЛОКАНАЛЬНЫХ
И СТАНДАРТНЫХ ФОТОУМНОЖИТЕЛЯХ**

Направлено в журнал «Приборы и техника эксперимента»

Морозов В. А., Морозова Н. В.

P13-2015-21

Газоразрядные процессы в металлоканальных
и стандартных фотоумножителях

Изучено влияние разности потенциалов на электродах фокусирующих камер XP2020, ФЭУ-85, ФЭУ-87, ФЭУ-93 на интенсивность послеимпульсов, возникающих вследствие газоразрядных процессов. Изучены также временные распределения послеимпульсов в металлоканальных фотоумножителях H6780 и R7600U-200.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем им. В.П.Джелепова ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2015

Morozov V. A., Morozova N. V.

P13-2015-21

Gas Discharge Processes in the Standard and Metal Channel PMTs

The effect of the potential difference at the focusing chamber electrodes of the XP2020, FEU-85, FEU-87, and FEU-93 photomultipliers on the intensity of afterpulses resulting from gas discharge processes is investigated. The time distribution of the afterpulses in the metal channel PMTs — H6780 and R7600U-200 — is studied as well.

The investigation has been performed at the Dzhelepov Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2015

Развитие газоразрядных процессов в ФЭУ связано с прохождением электронных потоков, возникающих при регистрации фотонного излучения. Происходящая при этом ионизация остаточных газов в ФЭУ приводит к дрейфу к фотокатоду или к диодам положительно заряженных ионов с последующей вторичной ион-электронной эмиссией электронов. Возникающие при этом послеимпульсы обладают двумя характерными особенностями: время их появления после прохождения основного сигнала определяется временем дрейфа ионов от места их образования до фотокатода и обычно составляет от наносекунд до десятков микросекунд. Вторая особенность послеимпульсов этого типа заключается в существовании предела в их амплитудном (зарядовом) распределении независимо от амплитуды выходных импульсов. Этот предел определяется величиной коэффициента вторичной ион-электронной эмиссии, зависящей от массы и заряда ионов. Результаты исследования амплитудно-временной зависимости послеимпульсов, обусловленных ионной обратной связью, от амплитуды основного сигнала, а также зависимость скорости счета послеимпульсов от скорости счета основных импульсов фотоумножителей XR2020, ФЭУ-87 и ФЭУ-30 представлены в работе [1]. В данной работе было проведено аналогичное исследование как стандартных ФЭУ-XR2020, ФЭУ-93, ФЭУ-85, ФЭУ-87, так и малогабаритных металлоканальных ФЭУ — H6780 и R7600U-200, которые отличаются высокой квантовой эффективностью. К стандартным типам ФЭУ мы относим электровакуумные приборы с диодами различных конфигураций: коробчатые, жалюзийные, тороидальные и т. д. Фотоумножители H6780 и R7600U-200 относятся к компактным металлоканальным фотодетекторам, предназначенным для регистрации фотонного излучения в диапазоне 300–600 нм. Данные исследования предприняты с целью оценки возможности использования ФЭУ этих типов в поиске изомерных состояний в нано- и микросекундной области при изучении радиоактивного распада или в ядерных реакциях.

Основная цель этой работы заключалась в оптимизации разности потенциалов на электродах в фокусирующей камере ФЭУ для получения максимальной амплитуды выходного сигнала и ограничения насколько возможно скорости счета послеимпульсов, обусловленных ионной обратной связью. Для ФЭУ H6780 и R7600U-200 изменение разности потенциалов в промежутке — фотокатод–первый диод не представлялось возможным, поэтому были проведены исследования только временных характеристик послеимпульсов этих ФЭУ.

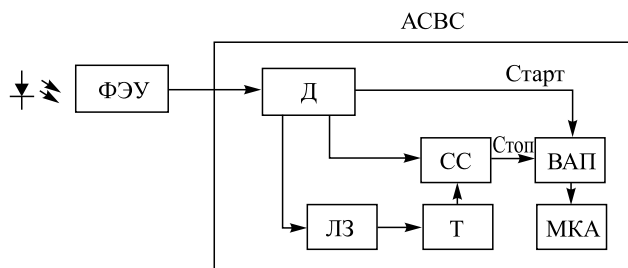


Рис. 1. Блок-схема автокорреляционного однокристаллического сцинтилляционного спектрометра задержанных совпадений

Измерения производились на автокорреляционном сцинтилляционном временном спектрометре (АСВС), блок-схема которого приведена на рис. 1. Длительность выходных импульсов с дискриминатора была равна 10 нс, а мертвое время дискриминатора составляло 20 нс (ORTEC CFD-572). Длительность импульса с триггера (Т) была равна длительности исследуемого диапазона. Линия задержки (ЛЗ) была включена для исключения самосовпадений. Время-амплитудный преобразователь (ВАП) — ORTEC TRHC-467. СС — схема совпадений, позволяющая выделять послеимпульсы после регистрации основного импульса. В качестве источника света использовался светодиод, излучающий в красной области спектра импульсы длительностью 10 нс. Некоторые характеристики ФЭУ H6780, R7600U-200, XP2020, ФЭУ-87 и ФЭУ-93 приведены в таблице.

Подбор потенциалов в фокусирующей камере позволяет для некоторых типов ФЭУ подобрать режим, который обеспечивает максимальную ампли-

Сравнительные характеристики фотоумножителей

ФЭУ	$V_{\text{ФЭУ}}$	$QE, \%$	$\lambda^*, \text{ нм}$	Размер фотокатода, мм
XP2020	2200	26	401	Ø44
ФЭУ-85	900	31	410	Ø25
ФЭУ-87	2200	31	410	Ø25
ФЭУ-93	2100	29	430	Ø40
R7600U-200	900	43	350	18×18
H6780	15**	15	420	Ø8

* Длина волны излучения при определении квантовой эффективности QE .
 ** Напряжение питания для внутреннего высоковольтного блока.

туду основного сигнала при минимальной скорости счета послеимпульсов. Проведенные ранее подобные исследования XR2020 и ФЭУ-130 показали [2], что наиболее ярким примером ФЭУ, позволяющим существенно понизить интенсивность послеимпульсов за счет подбора соответствующих потенциалов, является XR2020 (рис. 2). Очевидно, это происходит из-за того, что реализуются разные условия фокусировки для положительно заряженных ионов и для электронов. На том же рисунке приведены аналогичные характеристики для ФЭУ-85, ФЭУ-87 и ФЭУ-93. В этих исследованиях изменялась разность потенциалов в фокусирующих камерах — V_{ph-m} , V_{ph-g} или V_{ph-d1} в зависимости от типа ФЭУ. V_{ph-m} определяет разность потенциалов в промежутке: фотокатод–модулятор, V_{ph-g} — разность потенциалов: фотокатод–управляющая сетка, V_{ph-d1} — разность потенциалов: фотокатод–первый диод. Следует отметить, что для распределений, представленных на этих рисунках, проводилась нормировка выходных импульсов и интенсивностей послеимпульсов по их экстремальным значениям. Сравнение этих ха-

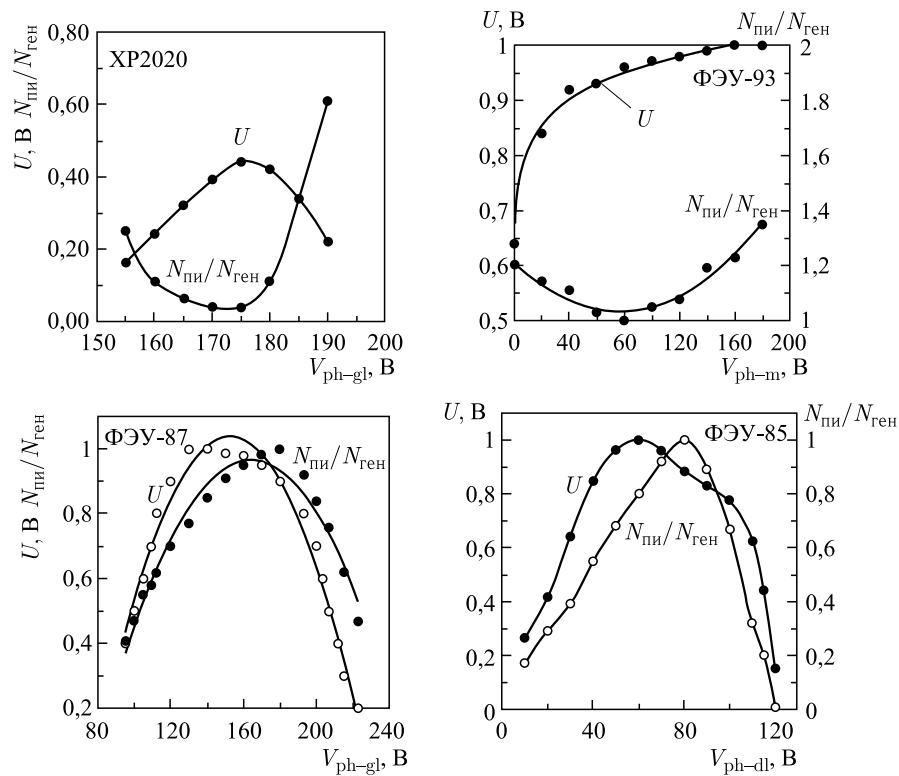


Рис. 2. Оптимизация фокусирующих потенциалов фотоумножителей

рактических характеристик позволяет сделать вывод, что только в ФЭУ-93 можно понизить интенсивность регистрируемых послеимпульсов в отличие от малогабаритных фотоумножителей — ФЭУ-85 и ФЭУ-87, диаметр фотокатода которых равен 25 мм (у ХР2020 и ФЭУ-93 диаметр фотокатода равен 40 мм при большей длине фокусирующей камеры). Для ФЭУ-85 и ФЭУ-87, очевидно, не реализуются разные условия фокусировки для электронов и ионов. Поэтому для этих ФЭУ выбор фокусирующих потенциалов требует принятия компромиссного решения. Однако следует заметить, что даже в этом случае увеличение порога дискриминатора позволяет исключить регистрацию послеимпульсов ионной обратной связи, если учесть существование предела амплитуд таких импульсов [2]. Но в этом случае эффективность регистрации задержанных совпадений будет существенно снижена.

Особенно интересно рассмотрение временного распределения послеимпульсов ФЭУ-93, так как мы наблюдаем разное влияние межэлектродных потенциалов на дрейф ионов в фокусирующей камере. Так, при повышении потенциала V_{ph-m} ионы в диапазоне времен от 3 до 12 мкс ускоряются, а ионы в диапазоне 1,2–1,6 мкс замедляются (рис. 3). Наблюдение этого эффекта является свидетельством дрейфа ионов из разных частей фокусирующей камеры ФЭУ.

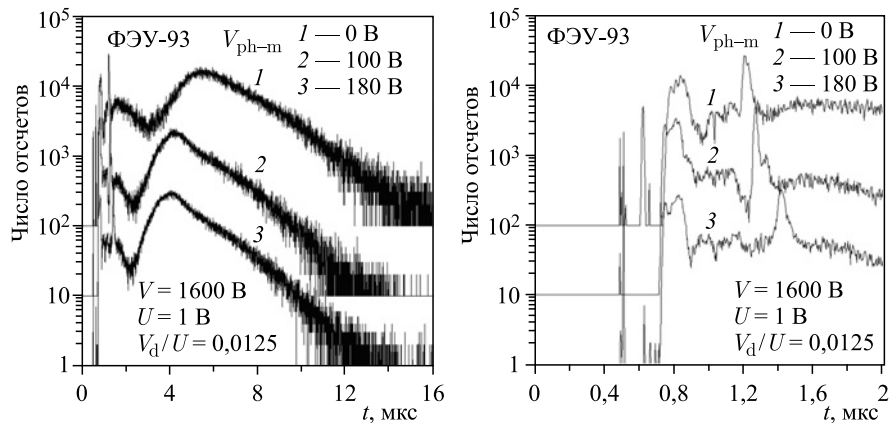


Рис. 3. Временное распределение послеимпульсов в ФЭУ-93

На рис. 4 приведены ненормированные спектры временных распределений послеимпульсов для металлоканальных фотоумножителей Н6780 и R7600U-200. Для сравнения на этом же рисунке приведен временной спектр послеимпульсов для ФЭУ классического типа — ХР2020. Как было показано ранее [1], для ХР2020 подобное временное распределение характерно при регистрации послеимпульсов, обусловленных ионной обратной связью.

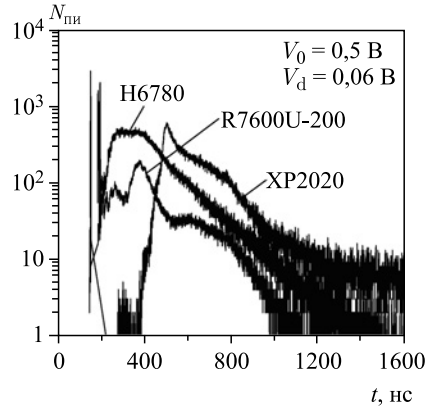


Рис. 4. Временное распределение послепулсов XP2020, H6780 и R7600U-200

Максимум интенсивности этого распределения для ФЭУ XP2020 задержан по отношению к моменту регистрации основного импульса более чем на 200 нс, что обеспечивает возможность точного определения времени жизни изомеров в этом интервале от наносекунд вплоть до нескольких сотен наносекунд. А момент регистрации послепулсов в металлоканальных ФЭУ начинается почти сразу после регистрации основного импульса, что затрудняет определение времени жизни изомерных состояний в наносекундной области.

Изучение зависимости интенсивности послепулсов от напряжения на ФЭУ R7600U-200 при постоянном пороге регистрации V_d и амплитуде выходного импульса $V = 0,5$ В (рис. 5) позволило установить (рис. 6), что данный вид распределения также обусловлен ионами обратной связи, так как разница в положении первых двух максимумов, отмеченных звездочками во временных распределениях при $V = 600$ В и 900 В, равная ~ 100 нс, существенно превышает время пролета электронов при данной разности потенциалов и соответствует времени дрейфа к фотокатоду ионов обратной связи.

Для ФЭУ H6780 это заключение, исходя из вида временного распределения послепулсов, очевидно, также верно, но отсутствие какого-либо пика во временном спектре задержанных совпадений не позволяет провести аналогичные измерения для этого типа ФЭУ по сравнению с R7600U-200.

На рис. 7 представлены зависимости интенсивностей послепулсов ФЭУ при различных порогах регистрации излучения. Напряжение на металлоканальных ФЭУ соответствовало паспортным данным. Анализ этих зависимостей позволяет установить, что при равных интенсивностях послепулсов наибольшие предельные амплитуды послепулсов наблюдаются у H6780 и наименьшие у R7600U-200, что позволяет при более низком пороге без помех регистрировать низкоэнергетическое излучение.

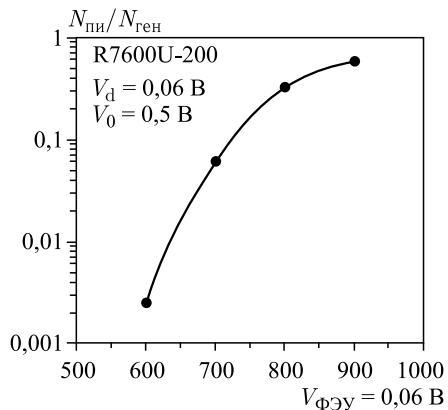


Рис. 5. Зависимость интенсивности послеимпульсов от напряжения на ФЭУ R7600U-200

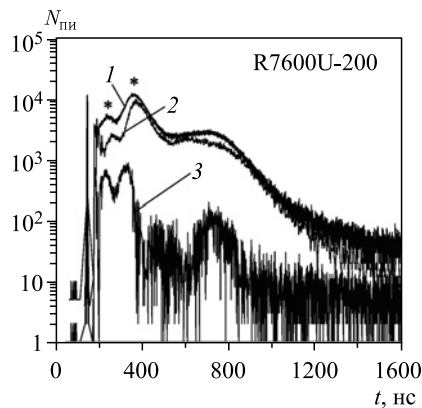


Рис. 6. Спектры временных распределений послеимпульсов R7600U-200 при разных напряжениях на ФЭУ. 1 — $V_{РМТ} = 900$ В; 2 — $V_{РМТ} = 600$ В; 3 — спектр разности временных распределений 1-2

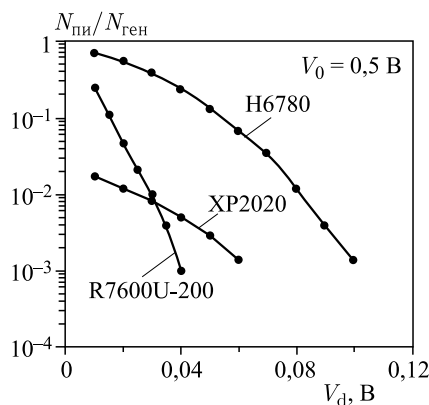


Рис. 7. Интенсивности послеимпульсов в зависимости от порога регистрации H6780, R7600U-200 и XR2020

На рис. 8 представлены результаты измерения периода полураспада состояния с энергией 59 кэВ в ^{237}Np , возникающего при распаде ^{241}Am .

При этом существенное подавление регистрации послеимпульсов в ФЭУ R7600U-200 обеспечивалось стандартным методом — путем регистрации совпадений излучения от одного пластического сцинтиллятора двумя ФЭУ [3]. Порог регистрации излучения в этом случае не превышал $E_d \sim 10$ кэВ.

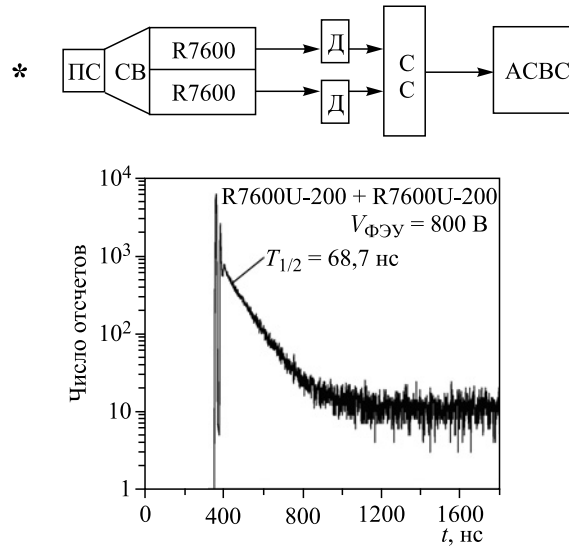


Рис. 8. а) Блок-схема спектрометра задержанных совпадений со вдвоенным фотодетектором. б) Измерение периода полураспада состояния 59 кэВ в ^{237}Np при использовании вдвоенного фотодетектора с R7600U-200

Результаты проведенных исследований позволяют констатировать, что при оптимизации разности потенциалов на электродах определенных типов можно добиться существенного уменьшения интенсивности зарегистрированных послепулсов ФЭУ, что особенно важно при регистрации низкоэнергетического излучения на уровне шумов. На примере сравнения результатов подбора разности потенциалов в ХР2020 и ФЭУ-93, ФЭУ-85, ФЭУ-87 было показано, что решение проблемы минимизации числа регистрируемых послепулсов путем регулирования фокусирующих потенциалов в малогабаритных ФЭУ затруднено. Для решения этой задачи использование ФЭУ с большими размерами фокусирующих камер, таких как ХР2020 или ФЭУ-93, является предпочтительным. Очевидно, в этих фотоумножителях по мере улучшения фокусировки электронов происходит расфокусировка положительных ионов, что сказывается на соотношении интенсивностей зарегистрированных электронов и ионов. Для малогабаритных фотоумножителей — ФЭУ-85 и ФЭУ-87 подобного эффекта изменением разности фокусирующих потенциалов добиться не удастся, поэтому наиболее простым способом подавления регистрации послепулсов является использование двухдетекторного варианта спектрометра совпадений с последующим анализом задержанных совпадений, как в случае с ФЭУ R7600U-200.

Таким образом, в исследовании изомерии атомных ядер в нано- и микро-секундном диапазоне в зависимости от энергии излучений изомерного каскада и времени жизни изомерного состояния могут быть использованы разные типы ФЭУ как в однодетекторных, так и в двухдетекторных спектрометрах совпадений. В тех случаях, когда высокая чувствительность и минимальные габариты детектора играют решающую роль, предпочтительно использовать малогабаритные металлоканальные ФЭУ.

Авторы благодарны В. Б. Бруданину за помощь в проведении данных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Морозов В. А., Морозова Н. В.* // ПТЭ. 1997. №4. С. 97–101.
2. *Бруданин В. Б., Морозов В. А., Морозова Н. В.* // ПТЭ. 2004. №6. С. 69–76.
3. *Морозов В. А., Морозова Н. В.* // ПТЭ. 2003. №1. С. 37–39.

Получено 30 марта 2015 г.

Редактор *М. И. Зарубина*

Подписано в печать 15.04.2015.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 0,68. Уч.-изд. л. 0,81. Тираж 245 экз. Заказ № 58521.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: publish@jinr.ru

www.jinr.ru/publish/