

P13-2003-242

В. Б. Бруданин, В. А. Морозов, Н. В. Морозова

**ПОСЛЕИМПУЛЬСЫ ИОННОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ
В ФОТОУМНОЖИТЕЛЯХ ФЭУ-130 И ХР2020**

Направлено в журнал «Приборы и техника эксперимента»

Исследование интенсивности и временного распределения послеимпульсов (ПИМ), обусловленных ионной обратной связью, играет существенную роль при подборе фотоумножителей для работы в автокорреляционных спектрометрах задержанных совпадений [1] в случае необходимости регистрации сцинтилляционными детекторами низкоэнергетического излучения на фоне излучения с высокой энергией. Данные исследования были проведены с целью получения сравнительных характеристик ФЭУ-130 и XR2020 – аналога XR2020Q, амплитудно-временные характеристики послеимпульсов которого были изучены ранее [2]. Проведенные исследования заключались в исследовании амплитудно-временных характеристик ПИМ в ФЭУ-130 при использовании паспортного режима питания ФЭУ, рекомендованного производителем, и в подборе таких потенциалов между фотокатодом и первым динодом, а также между первым и вторым динодами, чтобы уменьшить интенсивность и амплитуду послеимпульсов по сравнению с основными импульсами (ОИМ). Интерес к изучению подобных характеристик ФЭУ-130 обусловлен тем, что первый динод ФЭУ имеет фосфид галлиевоое покрытие, обладающее повышенным коэффициентом вторичной эмиссии электронов и обеспечивающее одноэлектронный режим регистрации фотоэлектронов. Известно [3], что применение GaAsP-фотокатода в ФЭУ R7110U-40 привело к существенному снижению интенсивности ПИМ в этом ФЭУ по сравнению с однотипным R7110U-07 с многощелочным фотокатодом. Поэтому изучение влияния первого динода в ФЭУ-130, обладающего повышенным коэффициентом вторичной эмиссии электронов, на процесс образования ПИМ представляет вполне закономерный интерес. Изучение ПИМ в ФЭУ данного типа позволило выяснить влияние разности потенциалов между фотокатодом и первыми динодами ФЭУ на процесс образования ионов обратной связи, а также возможность использования ФЭУ-130 в автокорреляционных спектрометрах задержанных совпадений. Сравнительные характеристики ФЭУ-130 и XR2020, которые могут оказать существенное влияние на процесс образования ПИМ, представлены в таблице.

В измерениях послеимпульсов использовался автокорреляционный спектрометр трехмерных задержанных Е-Т-Е совпадений [4]. Фотоумножитель освещался импульсами наносекундной длительности от светодиода, излучающего в красной области спектра. На рис.1 приведена схема делителя ФЭУ, соответствующая паспортным данным. Изучение влияния разности потенциалов на электродах ФЭУ на процесс образования послеимпульсов проводилось при неизменном токе через делитель ФЭУ. Были реализованы три режима измерений:

1. варьировалось значение сопротивления R_1 и, соответственно, разность потенциалов V_{ph-d1} ;
2. варьировалось значение сопротивления R_2 и, соответственно, разность потенциалов V_{d1-d2} и
3. исследовалось влияние вариации отношения V_{ph-d1}/V_{d1-d2} на амплитуду выходного импульса и интенсивность послеимпульсов при замене сопротивлений R_1 и R_2 потенциометром, сопротивление которого соответствовало паспортному значению $R_{пот} = R_1 + R_2$.

На рис.2. приведены спектры временных распределений ПИМ при различных потенциалах V_{ph-d1} , устанавливаемых путем изменения значения R_1 и при сохранении одинаковой освещенности фотокатода в разных сериях измерений. Цена канала временного анализатора (ЦК) составляла в этих измерениях 0,37 нс. В измерениях поддерживалось постоянное соотношение $V_d/U = 0,05$, где V_d – порог дискриминатора, а U – амплитуда импульса ОИМ на выходе ФЭУ. Сопротивления делителя от R_2 до анода соответствовали паспортным данным. Разность потенциалов $V_{ph-d1} = 640$ В (кривая 3) соответствует паспортному значению при напряжении на ФЭУ $V = 2000$ В. Время набора статистики в разных сериях измерений было одинаково. По мере роста разности потенциала V_{ph-d1} монотонно возрастают и амплитуды основных импульсов, и интенсивности ПИМ - рис.3. При возрастании этой разности наблюдается смещение пиков временного распределения ПИМ в область меньших задержек и рост интенсивности ПИМ. Это, очевидно, объясняется тем, что расширяется область сбора ионов и уменьшается время их дрейфа к

фотокатоду. Увеличение интенсивности ПИМ по мере роста разности потенциала V_{ph-d1} отличает данный тип фотоумножителя от ХР2020, для которого удается минимизировать интенсивность ПИМ при определенной разности потенциалов между фотокатодом и первым фокусирующим электродом V_{ph-g1} [5]. На рис.4 и 5 представлены временные спектры ПИМ и график изменения интенсивностей ПИМ и амплитуд ОИМ от разности потенциалов между первым и вторым диодами – V_{d1-d2} . Значения сопротивлений делителя ФЭУ, кроме значений сопротивления R_2 , - паспортные. Кривая 2 (рис.4) соответствует значению V_{d1-d2} близкому к паспортному для данного делителя. Как видно, эти графики качественно идентичны графикам, рассмотренным ранее, т.е. можно считать, что процесс образования ионов обратной связи происходит как в промежутке фотокатод – первый диод, так и в промежутке первый диод – второй диод. На рис.6 представлены зависимости интенсивностей ПИМ от амплитуд выходных сигналов, т.е. от уровня освещенности фотокатода при постоянном отношении V_d/U , при определенных величинах напряжения на ФЭУ. Очевидно, что зависимость такого вида определяется изменением амплитудного распределения ПИМ от напряжения – V на ФЭУ. Во всех сериях измерений анализировались интенсивности ПИМ, задержка которых после прохождения основного сигнала была больше 70 нс. При заданном напряжении на ФЭУ для выходных сигналов разных амплитуд максимальные амплитуды ПИМ постоянны [5], что подтверждается данными, представленными на рис.7, где на двумерном спектре приведены распределения амплитуд основных импульсов – U и послеимпульсов – U_d . С выхода ФЭУ последовательно снимались основные сигналы амплитудой 0,3; 0,5; 0,7 и 0,9 В (ось X). Амплитуды основных импульсов при рассмотрении их по оси $Y(U_d)$ регистрировались как случайные совпадения. Сигнал в канале U с помощью делителя был ослаблен в десять раз по сравнению с сигналом в канале U_d .

Характерной особенностью ФЭУ-130 является наличие достаточно интенсивных ПИМ в микросекундном диапазоне – рис.8 (кривая 1). Интенсивность этого широкого временного распределения находится на уровне

16 % от интенсивности основного распределения ПИМ в наносекундной области. Отметим, что для различных серий измерений при работе дискриминатора в интегральном режиме $V_d = \text{const}$ интенсивность ПИМ непрерывно возрастает по мере роста U .

Результаты третьей серии измерений, в которой сопротивления R_1+R_2 были заменены потенциометром, приведены на рис.9. Они кардинально отличаются от характеристик, приведенных ранее на рис.3 и 5. Вместо монотонного роста U при увеличении разности потенциалов $V_{\text{ph-d1}}$ наблюдается экстремальное значение U при $V_{\text{ph-d1}}/V_{\text{d1-d2}} \approx 1,3$, в то время как при паспортном режиме регистрации излучения (паспортное значение равняется 5,2) амплитуда основного импульса значительно понижается. Как сказывается подобное перераспределение потенциалов в ФЭУ на измерении времени жизни низкоэнергетических состояний видно на примере измерения времени жизни состояния 59,5 кэВ в ^{237}Np , возбуждаемого при распаде ^{241}Am – рис.10. В этой серии измерений время набора статистики, соответствующей кривой 2 было в два раза больше, чем для кривой 1. Видно, что даже при максимальной величине выходного сигнала исключить ПИМ не представляется возможным, что свидетельствует о большой величине амплитуд ПИМ. В данном случае энергетический эквивалент этих импульсов близок к энергии конверсионных линий L-серии перехода 59,5 кэВ ^{237}Np . Понизить интенсивность ПИМ за счет понижения энергии ионов обратной связи удастся только при значительном понижении разности потенциалов $V_{\text{ph-d1}}$ и $V_{\text{d1-d2}}$. Альтернативный подход – повышение порога дискриминатора – приводит к снижению эффективности регистрации задержанных совпадений.

Оценить максимальные амплитуды и интенсивность ПИМ ФЭУ-130 можно также из сравнения с фотоумножителем XP2020. Так как конструктивно он не отличается от XP2020Q, то и вид временного распределения ПИМ от XP2020, рис.11, идентичен спектру XP2020Q [2]. На рис.8 (кривая 2) представлено временное распределение ПИМ XP2020 в микросекундном диапазоне. Время набора статистики для XP2020 превышало в 12 раз время набора статистики для ФЭУ-130. Время измерений для XP2020 определялось по числу отсчетов в пике

временного распределения ПИМ. Интенсивность ПИМ, задержанных более, чем на 1 мкс, составляла для ХР2020 – 8% и для ФЭУ-130 – 16% от полной интенсивности ПИМ. На рис.12 представлена зависимость интенсивности ПИМ от U и V , которая свидетельствует об их существенно меньшей величине по сравнению с интенсивностью ПИМ в ФЭУ-130. Сравнение аналогичных характеристик, представленных на рис.9 и на рис.13, свидетельствует, очевидно, о различии электронно-оптических систем ХР2020 и ФЭУ-130. Для ХР2020 максимальному значению выходного сигнала соответствует минимальная интенсивность ПИМ, что позволяет при соответствующем подборе разности потенциалов на фокусирующих электродах этого ФЭУ эффективно регистрировать низкоэнергетическое излучение и в значительной мере исключить процесс регистрации ПИМ во временном спектре задержанных совпадений при измерении времени жизни состояния $59,5 \text{ кэВ}$ в ^{237}Np [5], чего не удалось сделать при проведении таких измерений с помощью ФЭУ-130.

Амплитудно-временные распределения ОИМ и ПИМ, полученные статистическим методом анализа формы импульсов [6], приведены на рис.14,15, где представлены спектры, полученные при оптимизации разности потенциалов $V_{\text{ph-g}}$ на ХР2020 (рис.14) и спектр, полученный для ФЭУ-130 со стандартным делителем – рис.15. Вид спектра для ФЭУ-130 со стандартным делителем свидетельствует о существенном превышении амплитуд ПИМ по сравнению с амплитудами ПИМ в ХР2020. Амплитуды импульсов на выходе ФЭУ-130 и ХР2020 были равны $U=1 \text{ В}$.

Таким образом, проведенные исследования показали, что ФЭУ-130 с фосфид-галлиевым покрытием первого динода обладает большими амплитудами и интенсивностями ПИМ по сравнению с ХР2020, а также большей интенсивностью ПИМ в микросекундной области. Подбор разности потенциалов на фотокатод и первых динодах ФЭУ-130 не приводит к минимизации интенсивности ПИМ, как в ХР2020, что объясняется, очевидно, конструктивными особенностями фокусирующих систем этих ФЭУ. Достичь уменьшения интенсивности ПИМ в ФЭУ-130 можно только при значительном уменьшении

разности потенциала V_{ph-d1} или V_{d1-d2} , что, однако, может ограничить область применения ФЭУ данного типа в ряде экспериментов при регистрации импульсов низкоэнергетического излучения на фоне регистрации импульсов излучения с высокой энергией.

Авторы признательны за оказанное содействие в проведении исследований В.Г.Егорову и А.А.Солнышкину.

Характеристики ФЭУ-130 и ХР2020

Тип ФЭУ	Диаметр фотокатод а, мм	Материал фотокатода	Чувствительность фотокатода/ квантовая эффективность	Число динодов	Материал динодов d_1/d_{2-12}
ФЭУ-130	25	SbKCs	40 мкА/лм	12	GaP/CuAlMg
ХР2020	44	SbKCs	26%(401 нм)	12	CuBe/CuBe

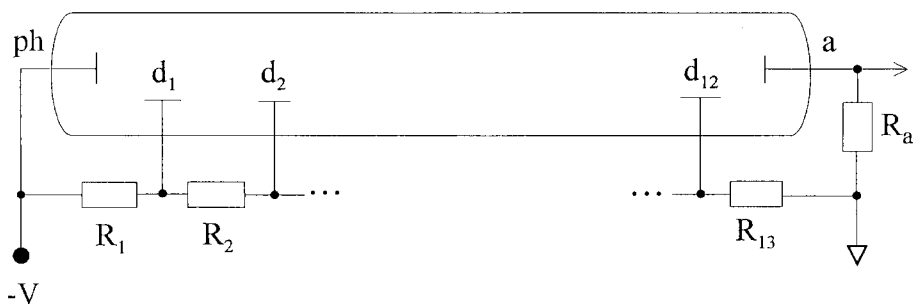


Рис. 1. Схема делителя ФЭУ-130. $R_1=5,2R_0$; $R_0=R_2, R_3 \dots R_{13}$

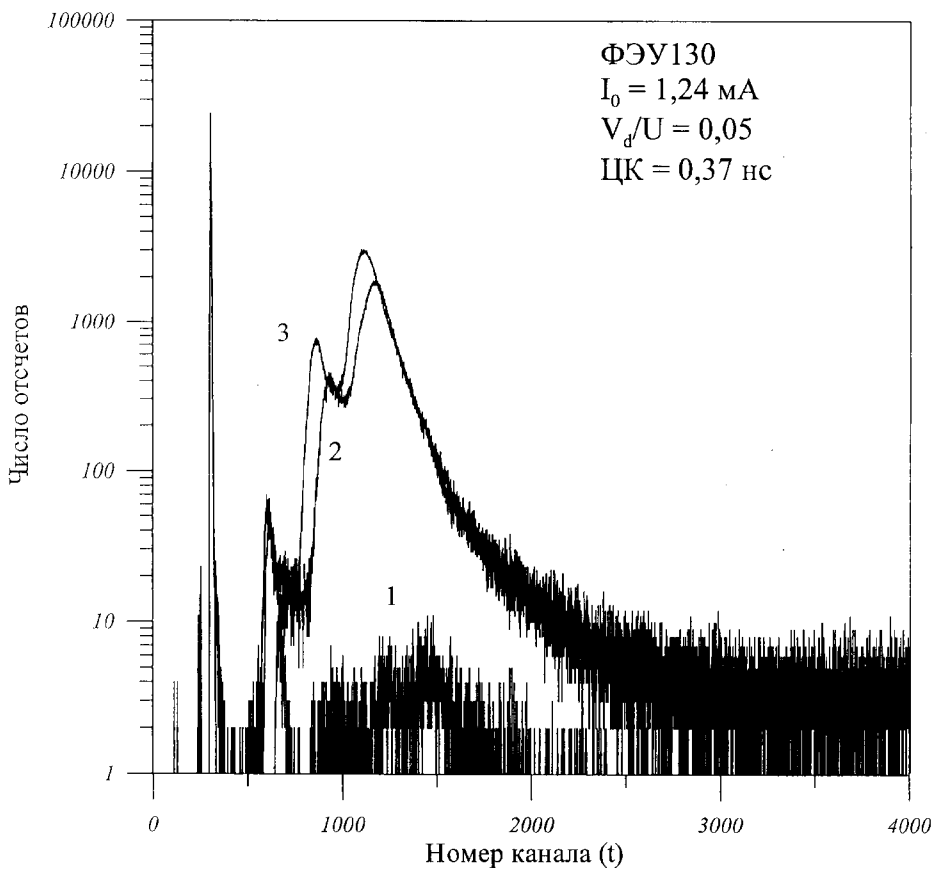


Рис. 2. Спектры временных распределений ПИМ при различных потенциалах V_{phd1} в ФЭУ-130: 1 – 180 В; 2 – 520 В; 3 – 640 В

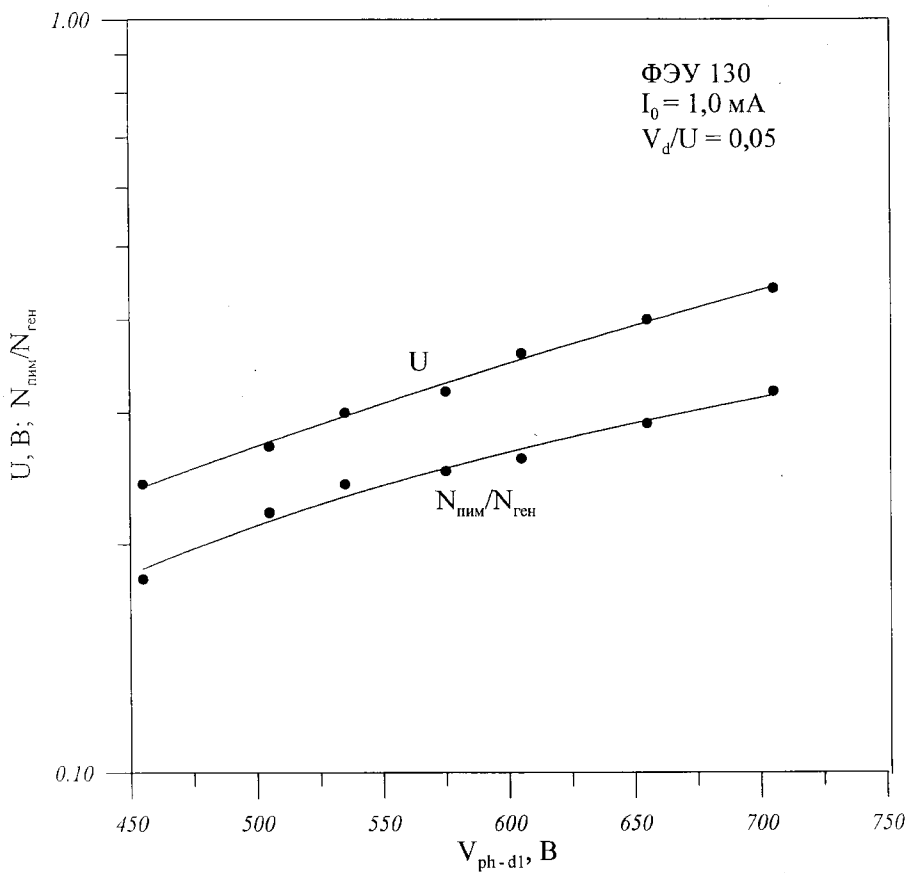


Рис. 3. Зависимость интенсивностей ПИМ и амплитуд ОИМ от разности потенциалов V_{ph-d1} в ФЭУ-130

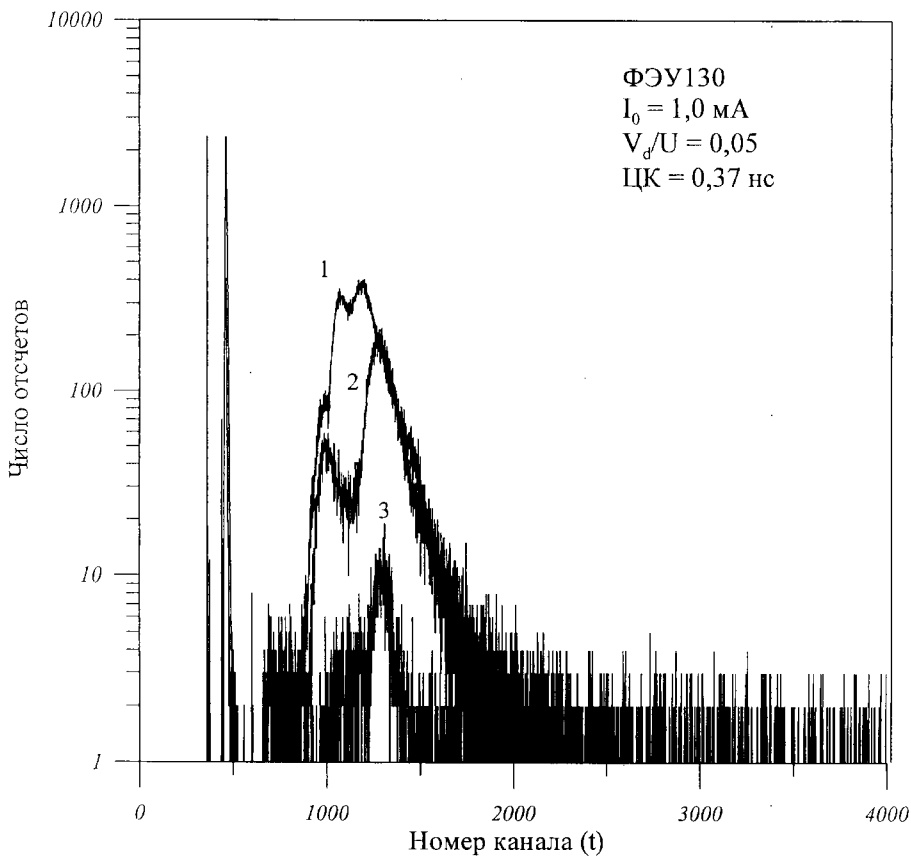


Рис. 4. Спектры временных распределений ПИМ при различных потенциалах V_{d1-d2} в ФЭУ-130: 1 – 50 В; 2 – 115 В; 3 – 215 В

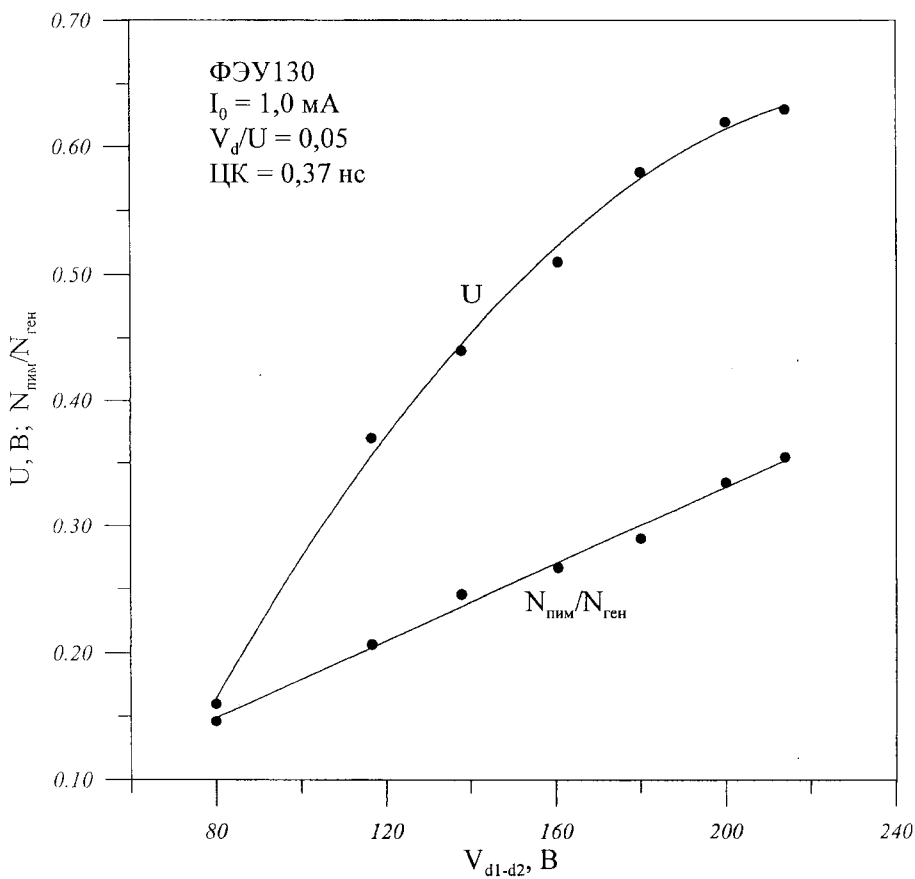


Рис. 5. Зависимость интенсивностей ПИМ и амплитуд ОИМ от разности потенциалов V_{d1-d2} в ФЭУ-130

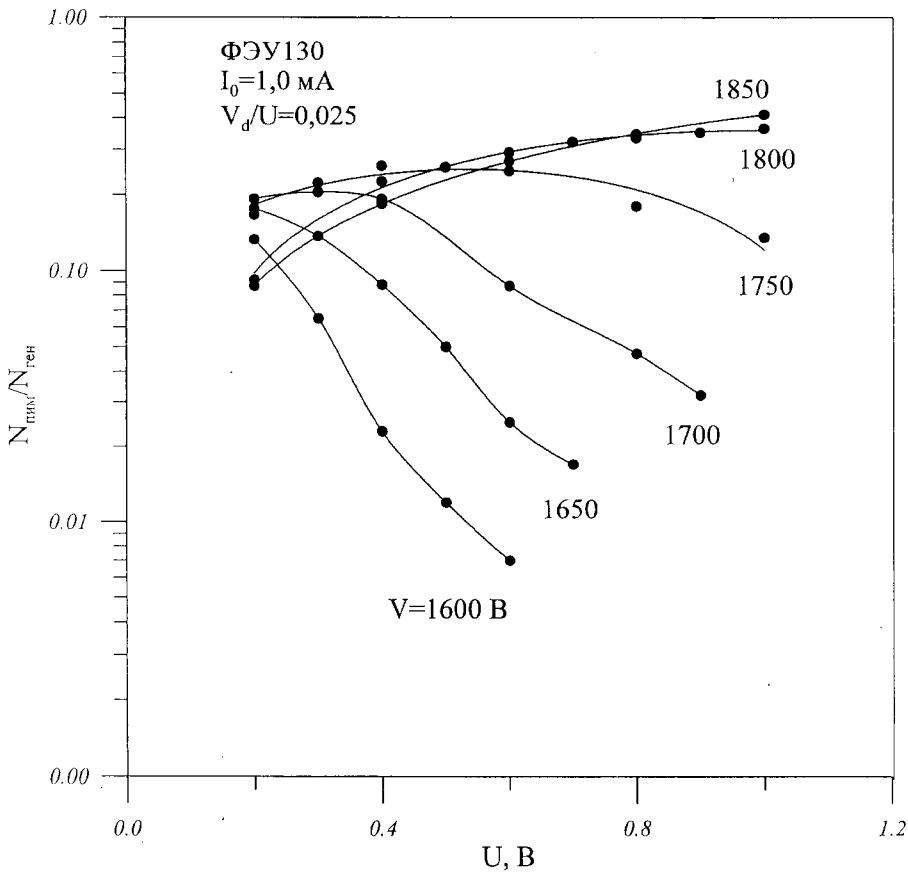


Рис. 6. Интенсивности ПИМ в ФЭУ-130 в зависимости от U и V

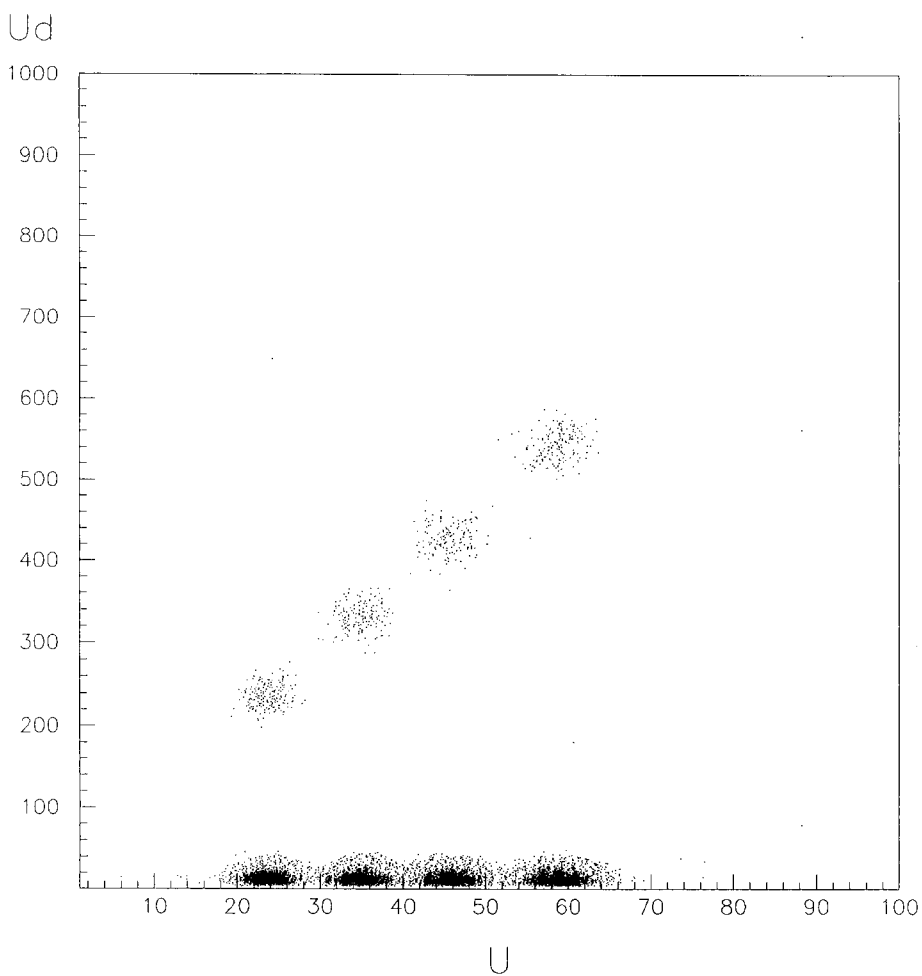


Рис. 7. Двумерный спектр задержанных совпадений ОИМ и ПИМ (ФЭУ-130)

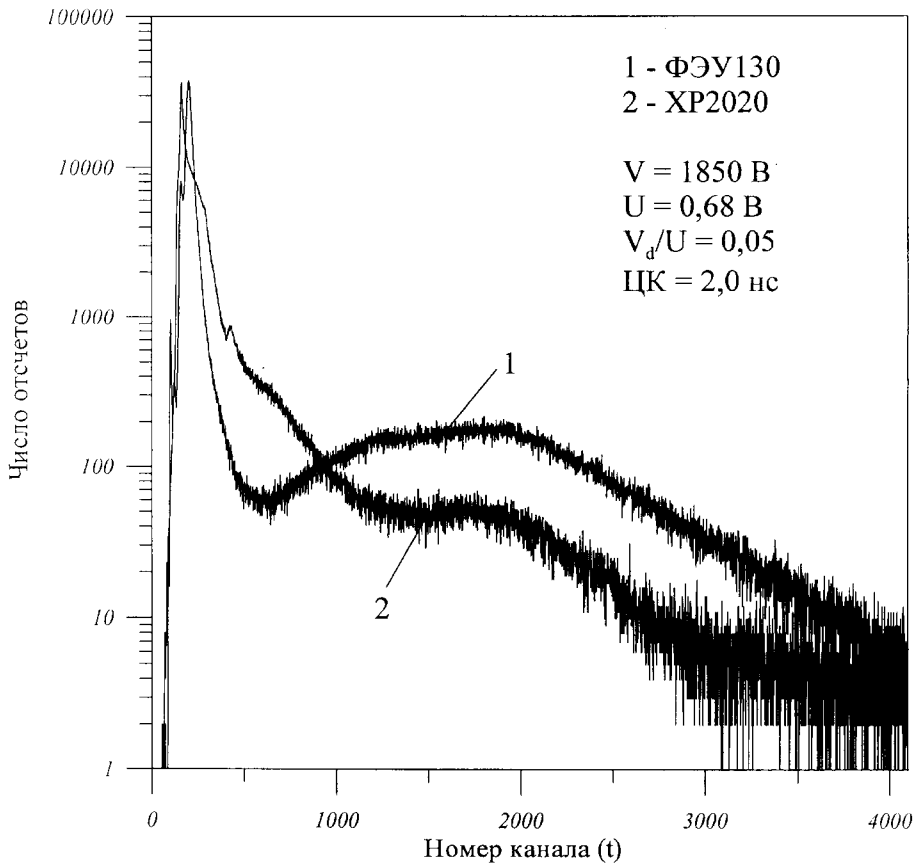


Рис. 8. Вид временных распределений ПИМ в микросекундном диапазоне для ХР2020 и ФЭУ-130

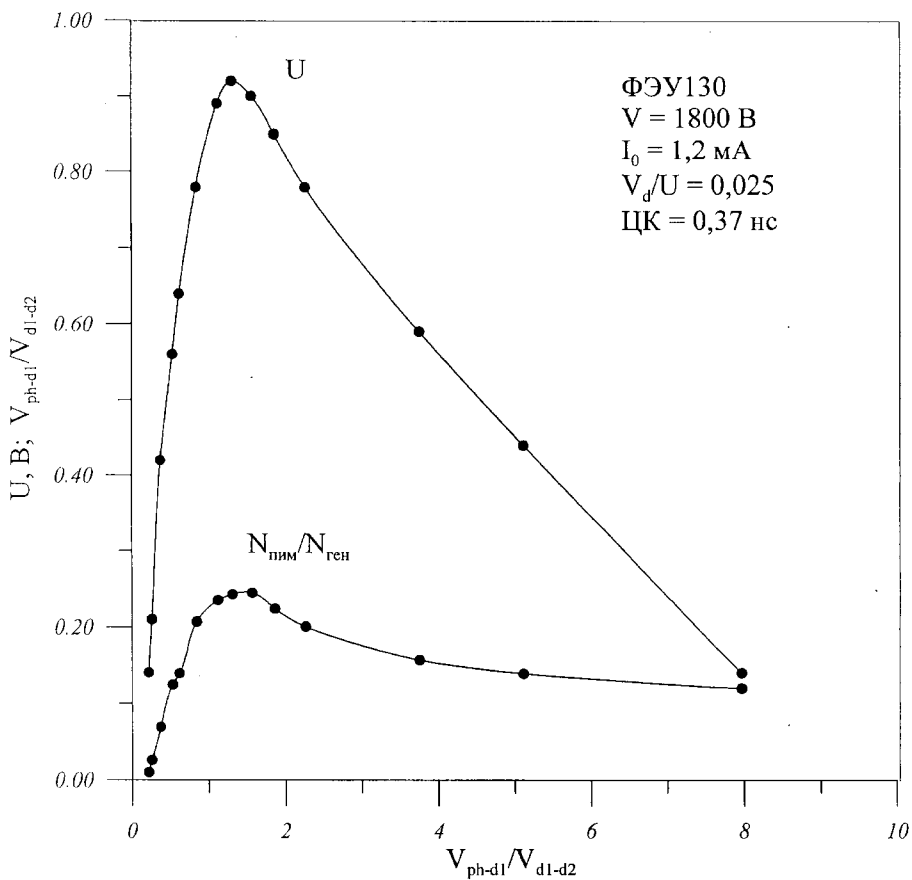


Рис. 9. Зависимость интенсивностей ПИМ и амплитуд ОИМ в ФЭУ-130 от отношения потенциалов $V_{\text{ph-d1}}/V_{\text{d1-d2}}$ ($V=\text{Const}$, $I=\text{Const}$)

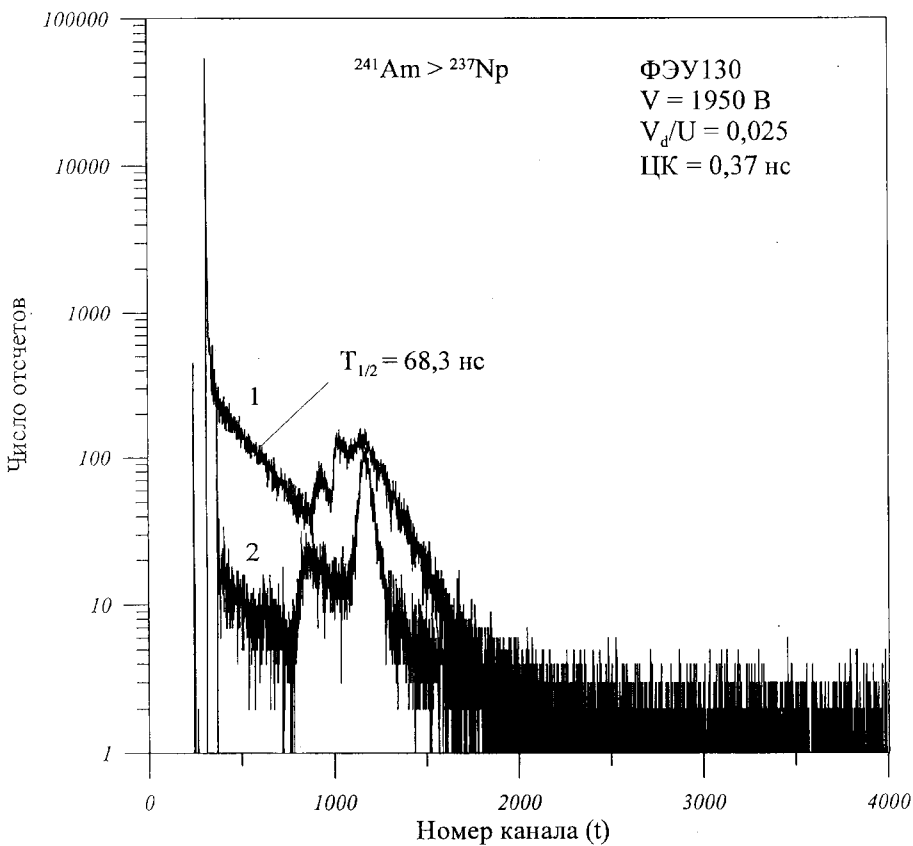


Рис. 10. Измерение времени жизни возбужденного состояния 59,5 кэВ в ^{237}Np при
 1 – $V_{\text{ph-d1}}/V_{\text{d1-d2}} = 1,3$; 2 – $V_{\text{ph-d1}}/V_{\text{d1-d2}} = 5,2$

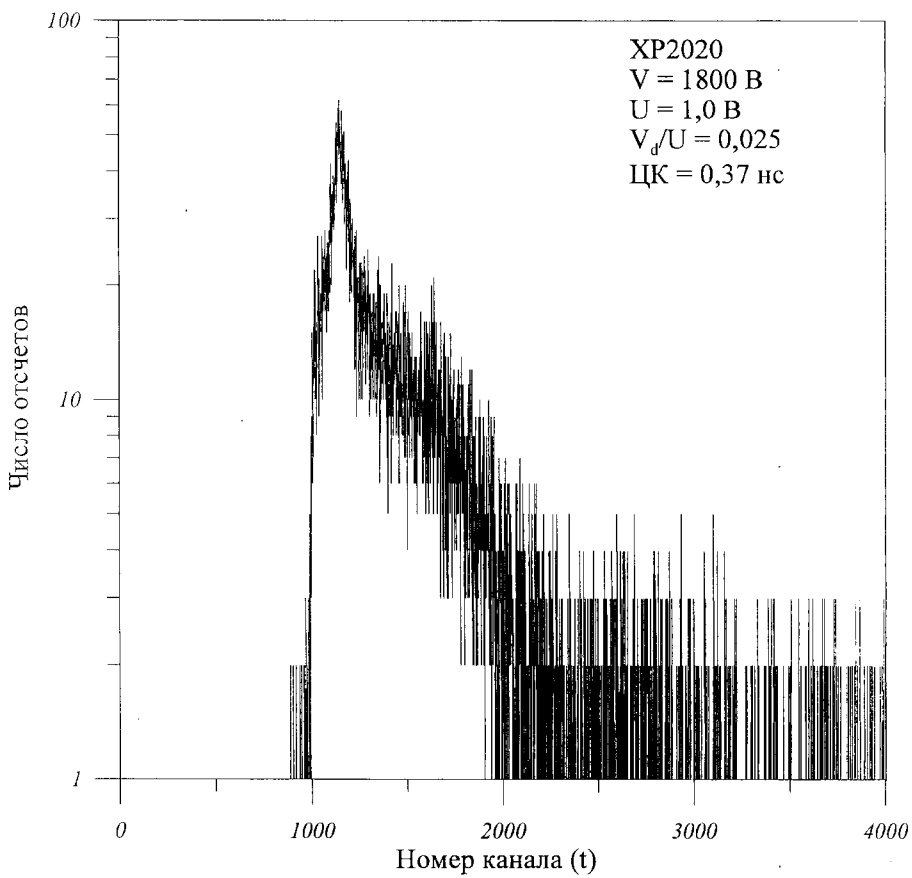


Рис. 11. Спектр временного распределения ПИМ XP2020

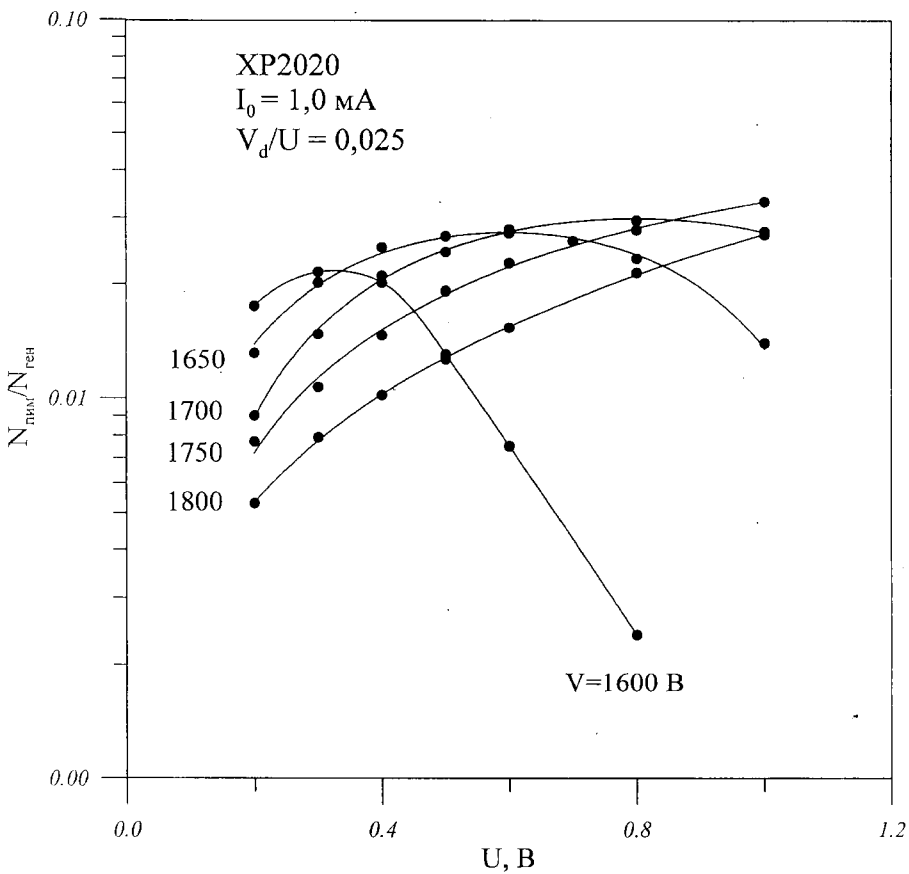


Рис. 12. Интенсивности ПИМ XP2020 в зависимости от U и V

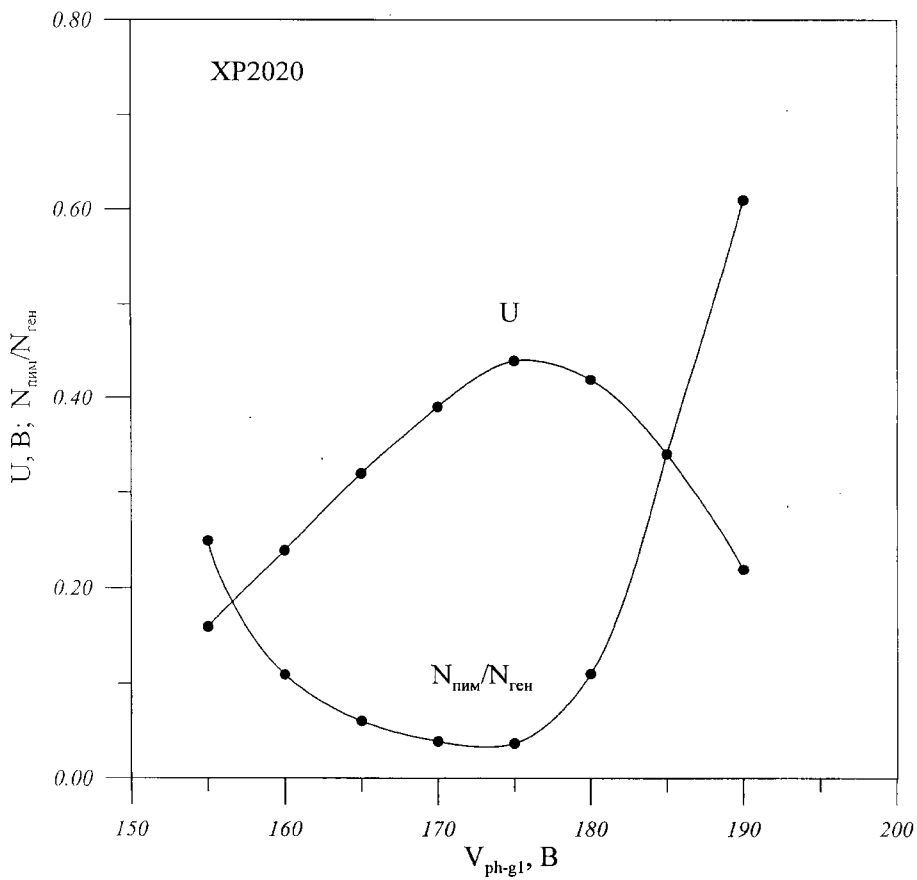


Рис. 13. Зависимость интенсивности ПИМ и амплитуд ОИМ ФЭУ XR2020 от разности потенциала $V_{\text{ph-g1}}$

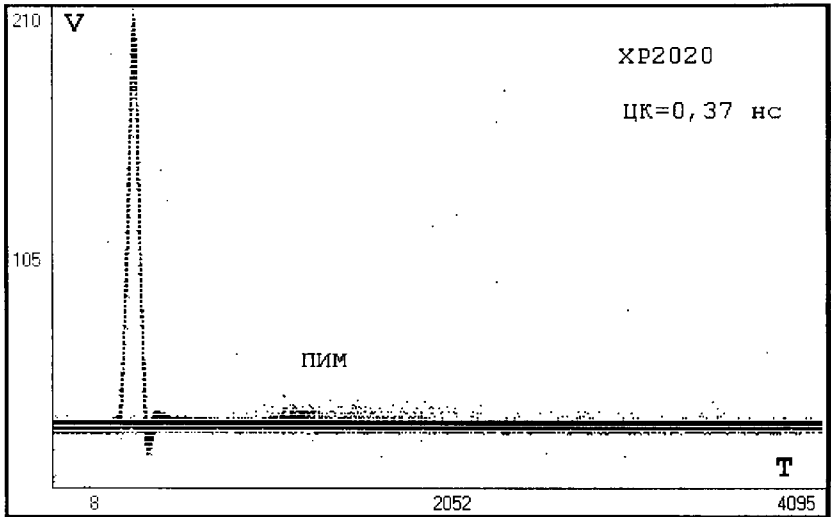


Рис. 14. Амплитудно-временное распределение ОИМ и ПИМ ФЭУ XR2020

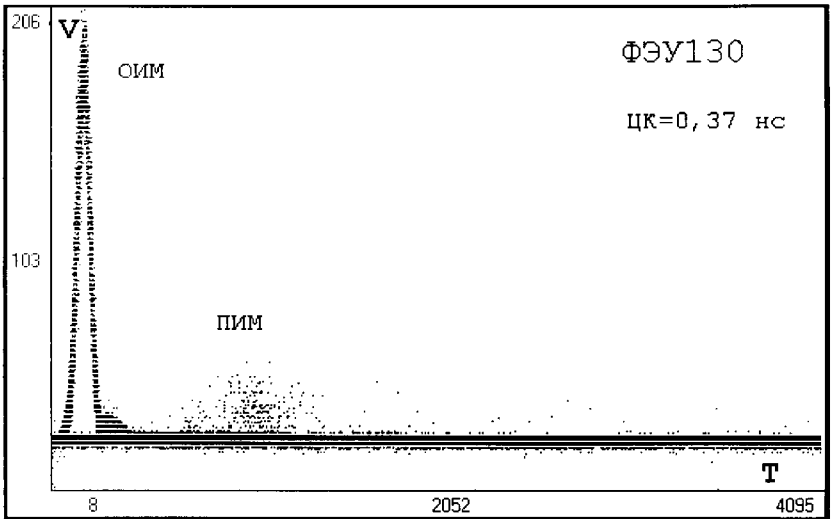


Рис. 15. Амплитудно-временное распределение ОИМ и ПИМ ФЭУ-130

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Морозов В.А., Морозова Н.В. – ЭЧАЯ.2001.т.32,вып.2,с.377
2. Морозов В.А., Морозова Н.В. – ПТЭ.1997. №4, с.97
3. Mirzoyan R.,Ferenz D.,Lorenz E. – Nucl. Instrum. and Methods. 2000.V. A442. P.140
4. Морозов В.А., Чурич И.Н., Морозова Н.В. – ПТЭ.1998. №5, с.21
5. Морозов В.А., Морозова Н.В. – ПТЭ.2002. №5, с.108
6. Бруданич В.Б., Морозов В.А., Морозова Н.В. – Препринт ОИЯИ Р13-2003-98. Дубна.2003.

Получено 26 декабря 2003 г.

Бруданин В. Б., Морозов В. А., Морозова Н. В.
Послеимпульсы ионной обратной связи
в фотоумножителях ФЭУ-130 и XP2020

P13-2003-242

Проведено изучение интенсивностей и спектров временных распределений послеимпульсов от ионов обратной связи в зависимости от разности потенциалов между фотокатодом и первыми динодами ФЭУ-130. Установлено существенное превышение интенсивности и амплитуд послеимпульсов ФЭУ-130 по сравнению с XP2020, что может ограничить возможность применения ФЭУ-130 в ряде экспериментов с использованием автокорреляционных спектрометров задержанных совпадений.

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

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2003

Перевод М. И. Потапова

Brudanin V. B., Morozov V. A., Morozova N. V.
Ion Feedback Afterpulses
in FEU-130 and XP2020 Photomultipliers

P13-2003-242

Intensities and time distributions of ion feedback afterpulses are studied as a function of the difference of potentials between the photocathode and the first dynodes in FEU-130. The intensities and amplitudes of afterpulses in FEU-130 are found to be appreciably larger than in XP2020, which may limit the use of FEU-130 in some experiments with autocorrelation delayed-coincidence spectrometers.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2003

Редактор *М. И. Зарубина*
Макет *Н. А. Киселевой*

Подписано в печать 26.01.2004.

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

Усл. печ. л. 1,37. Уч.-изд. л. 1,44. Тираж 305 экз. Заказ № 54272.

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

E-mail: publish@pds.jinr.ru

www.jinr.ru/publish/