

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



7968

ЭКЗ. ЧИТ. ЗАЛА

13 - 7968

Р.Г.Аствацатуров, Я.Заберовски, В.А.Крамаренко,
А.И.Малахов, Г.Л.Мелкумов, М.Н.Хачатурян

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОУМНОЖИТЕЛЕЙ ТИПА 49Б

1974

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Р.Г.Аствацатуров, Я.Заберовски,* В.А.Крамаренко,
А.И.Малахов, Г.Л.Мелкумов, М.Н.Хачатурян

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОУМНОЖИТЕЛЕЙ ТИПА 49Б

Направлено в "Nucleonica"

* Институт ядерной физики, Лодзь, Польша

1. ВВЕДЕНИЕ

Значительный прогресс, наблюдающийся в улучшении параметров спектрометрической аппаратуры за последние годы, потребовал существенного пересмотра основных требований, предъявляемых к различным элементам спектрометрических систем.

Одним из важнейших элементов спектрометрической аппаратуры являются фотоумножители, параметры которых в значительной степени определяют основные характеристики спектрометрических трактов: амплитудное разрешение, временную стабильность коэффициентов усиления и др.

Выбор оптимальных режимов работы ФЭУ зависит от вида распределения потенциалов диодной системы, которые, в свою очередь, определяют такие параметры ФЭУ, как коэффициент усиления, линейность световой характеристики, неравномерность чувствительности фотокаатода, форма импульса и частотные свойства.

В настоящей работе представлены результаты исследования линейности спектрометрических фотоумножителей типа ФЭУ-49Б, используемых в черенковских гамма-спектрометрах полного поглощения.^{1/}

2. УСЛОВИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Блок-схема экспериментальной аппаратуры представлена на *рис. 1*. Исследуемые фотоумножители помещаются в светонепроницаемый стальной кожух, который одновременно служит и магнитным экраном. Для экранировки от слабых магнитных полей ~ 1 Э/ используется

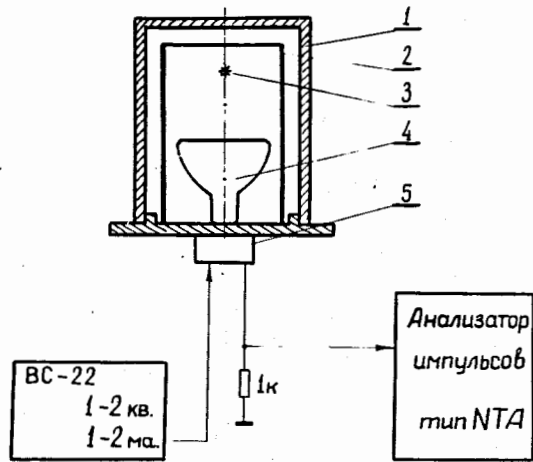


Рис. 1. Блок-схема измерений. 1. Стальной светонепроницаемый кожух. 2. Пермалловый экран толщиной 1 мм. 3. Источник импульсных световых вспышек. 4. Исследуемый фотоумножитель. 5. Делитель напряжения для диодной и фокусирующей систем ФЭУ.

пермалловый экран толщиной 1 мм. Источник импульсных световых вспышек помещается над фотокатодом на расстоянии, которое можно изменять в широких пределах от 0 до 20 см. В качестве импульсного источника света в эксперименте используются световые вспышки в кристалле NaJ(Tl) , образующиеся в результате облучения кристалла альфа-частицами радиоактивного изотопа ^{241}Am с энергией 5,5 МэВ. Интенсивность альфа-источника - около 100 распадов в секунду. Амплитудное разрешение - 5,2% /полная ширина на полувысоте/ [2].

Распределение потенциалов фокусирующей системы и на первых диодах было выбрано таким образом, чтобы при освещении световыми импульсами всей поверхности фотокатода обеспечить максимум амплитудного разрешения. Схема указанного делителя представлена на рис. 2. График зависимости амплитуды сигнала и амплитудного разрешения фотоумножителя от места освещения фотокатода для указанного делителя приводится на рис. 3.

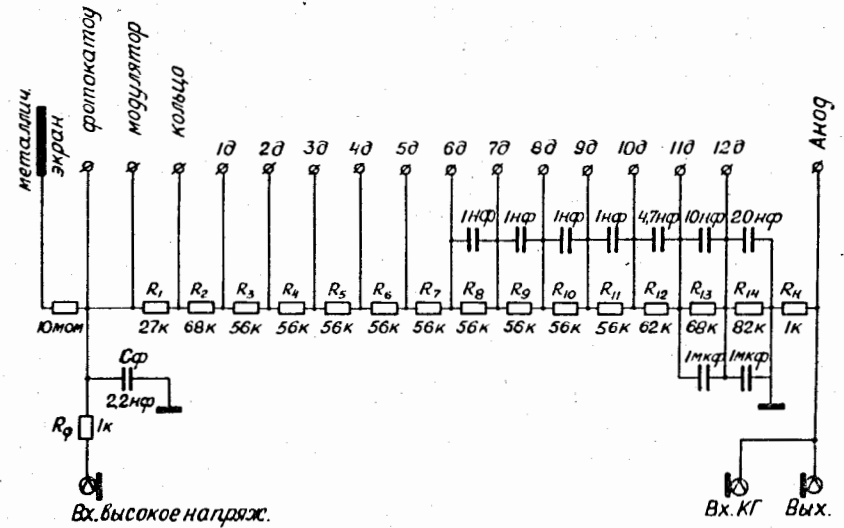


Рис. 2. Схема делителя для питания диодной системы ФЭУ-49Б.

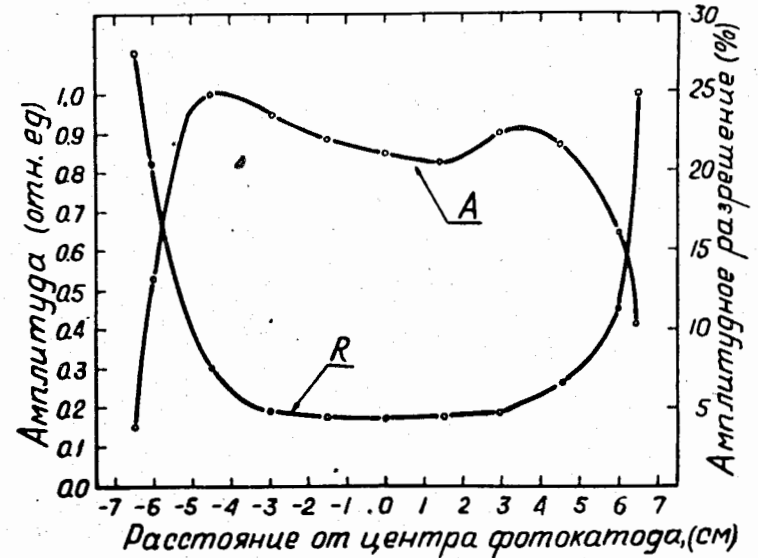


Рис. 3. Зависимость чувствительности и амплитудного разрешения ФЭУ от места освещения фотокатода.

Для выяснения влияния на коэффициент усиления, линейность световой характеристики и частотные характеристики ФЭУ распределения потенциалов на последних динодах были использованы делители трех типов. Эти делители представлены в табл. 1.

Таблица 1

Тип делителя	$R_{11}/\text{ком}/$	$R_{12}/\text{ком}/$	$R_{13}/\text{ком}/$	$R_{14}/\text{ком}/$
Делитель 1	56	56	56	56
Делитель 2	56	62	68	82
Делитель 3	56	68	82	150

Зависимость коэффициента усиления ФЭУ от напряжения для делителей, приведенных в табл. 1, иллюстрирует рис. 4. Эти данные получены с помощью фосфидгаллиевого светодиода, работающего в режиме соответствующем примерно 1300 световым квантам в импульсе в области спектральной чувствительности фотокатода /150 мкА/лм/.

Следует отметить, что наибольшее усиление для фотоумножителя получается с делителем 1, когда на последнем диноде R_{14} напряжение составляет около 0,7 от величины напряжения на предыдущих динодах R_{13} . Последнее связано с тем, что на аноде ФЭУ не происходит умножения электронной лавины и, следовательно, не требуется высокого динодного потенциала.

В то же время увеличение потенциала между анодом и последним динодом за счет уменьшения напряжения на остальных динодах приводит, при неизменном общем напряжении, к снижению коэффициента усиления фотоумножителя.

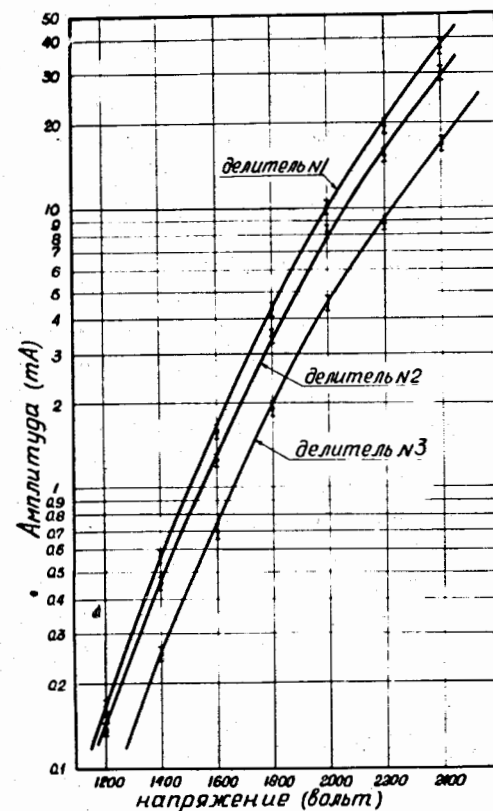


Рис. 4. Зависимость коэффициента усиления ФЭУ от типа делителя.

3. ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНЕЙНОСТИ СВЕТОВОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФОТОУМНОЖИТЕЛЯ

С увеличением числа световых квантов в импульсе до величин порядка 10^4 усиление фотоумножителя уменьшается из-за пространственного заряда, который накапливается у последних динодов.

Для определения линейности фотоумножителя необходимо иметь стабильный и регулируемый в широких пределах по интенсивности импульсный источник света. В качестве такого источника в измерениях используется фосфид-галлиевый электролюминесцентный диод, работающий в импульсном режиме. Количество света, излучаемое светодиодом, пропорционально напряжению. Однако эта зависимость не является линейной. Калибровка характеристик светодиода производилась с помощью фотоумножителя, работающего в заведомо линейном режиме. Так как при фиксированном световом сигнале зависимость амплитуды на выходе ФЭУ от напряжения имеет экспоненциальную форму, то при напряжениях порядка 1000 В пространственный заряд на последних динодах не должен накапливаться.

Зависимость анодного тока ФЭУ I_1 от амплитуды u импульса генератора, запускающего светодиод, была измерена при $V(\text{ФЭУ}) = 1000\text{ В}$. Ее можно выразить формулой:

$$I_1(u) = K_{\text{ФЭУ}}(\Phi) \cdot j \cdot \Phi(u), \quad /1/$$

где $\Phi(u)$ - интенсивность световой вспышки диода, $K_{\text{ФЭУ}}(\Phi)$ - усиление ФЭУ, j - постоянная величина.

Во втором измерении свет от диода с помощью фильтра ослаблялся примерно в десять раз. В этом случае имеем:

$$I_2(u) = K_{\text{ФЭУ}}\left(\frac{\Phi}{k}\right) \cdot j \cdot \frac{1}{k} \cdot \Phi(u) \quad /2/$$

Измерения показали, что величина $K = \text{const}$. Следовательно, при $V = 1000\text{ В}$ коэффициент усиления ФЭУ

Кв заданном диапазоне изменений амплитуд запускающих диод импульсов не зависит от величины световой вспышки. В этих изменениях стабильность световой вспышки от диода контролировалась световыми вспышками в кристалле NaJ(Tl) альфа-частиц $^{241}\text{Am}/\text{см}$. стр. 4/.

С помощью светодиода, откалиброванного указанным выше способом, были измерены световые характеристики ФЭУ при $V = 1600\text{ В}$ для делителей, приведенных в табл. 1.

Зависимость интегральной нелинейности фотоумножителя от величины импульса анодного тока ФЭУ представлена на рис. 5. Из рис. 4 и 5 видно, что делитель 3 обладает наименьшей интегральной нелинейностью и коэффициентом усиления по сравнению с двумя другими делителями.

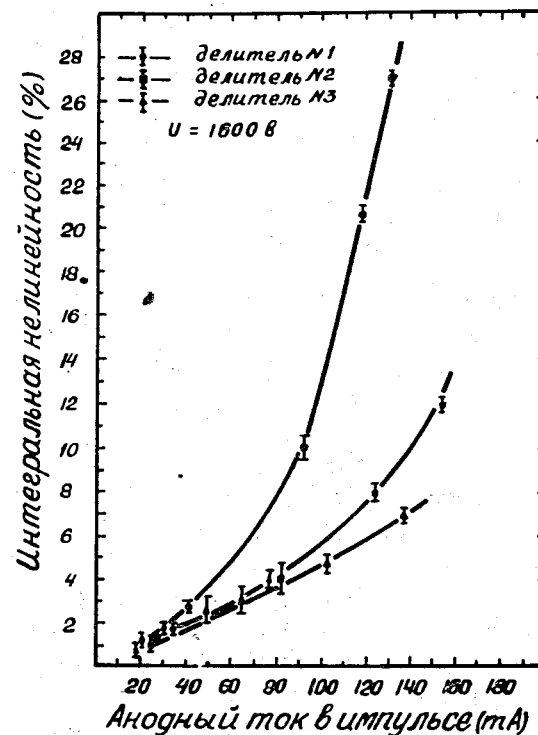


Рис. 5. Зависимость интегральной нелинейности от анодного тока ФЭУ для разных делителей.

В последующих измерениях был выбран делитель 2, обеспечивающий оптимальные величины интегральной нелинейности и коэффициент усиления. Результаты исследования этого делителя для различных напряжений питания ФЭУ представлен на рис. 6. Рассматривая эти

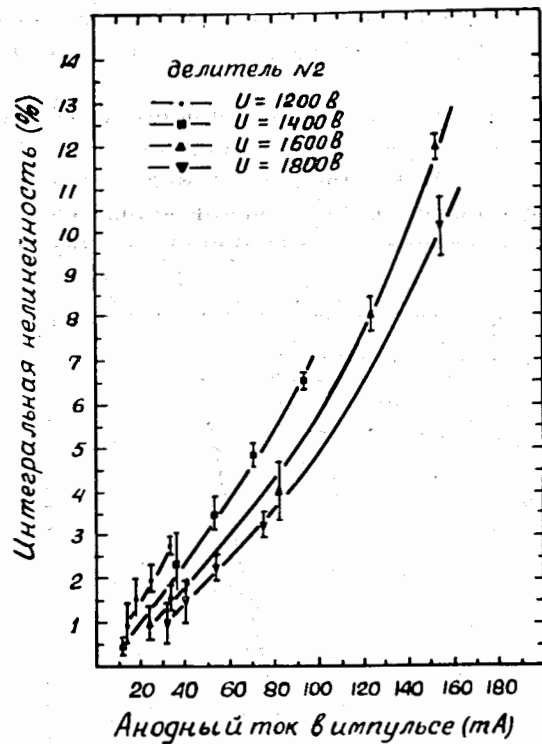


Рис. 6. Зависимость интегральной нелинейности от анодного тока для разных напряжений.

результаты, легко заметить, что при значениях анодного сигнала, не превышающих 10 мА, в широком диапазоне напряжений питания ФЭУ, интегральная нелинейность не превышает 0,5%.

На рис. 7 представлена световая характеристика ФЭУ для $V = 1800 В$. Количество света, равное 0,1, эквивалентно числу черенковских фотонов, которое излу-

чает электрон с энергией 7 ГэВ в черенковском гамма-спектрометре из свинцового стекла /3/.

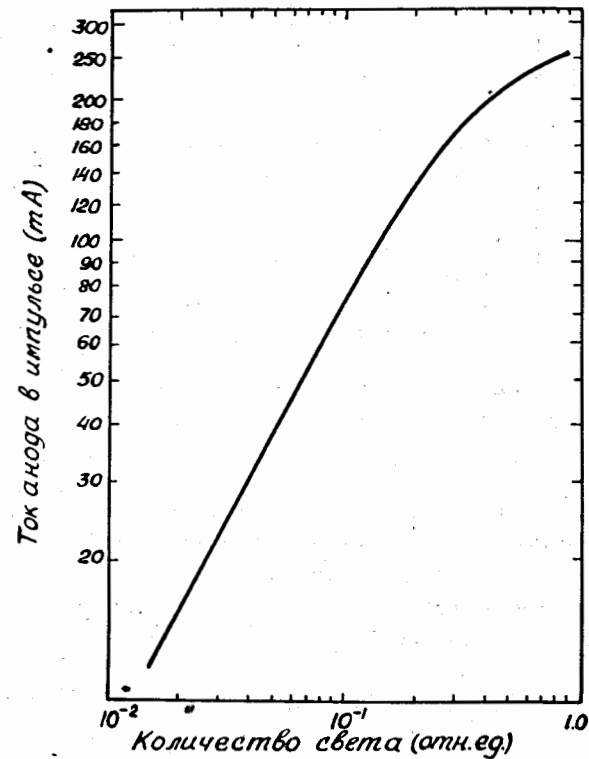


Рис. 7. Световая характеристика ФЭУ.

С целью выяснения зависимости амплитудной разрешающей способности ФЭУ от величины питающего ФЭУ напряжения было исследовано 100 фотоумножителей 49Б. Исследования показали, что изменения напряжения питания ФЭУ в диапазоне от 1200 до 2000 В не оказывает заметного влияния на величину амплитудного разрешения ФЭУ. Эти измерения производились при освещении всей поверхности фотокатода световыми вспышками в NaJ(Tl), возникающими в результате облучения

кристалла альфа-частицами ^{241}Am . Результаты испытаний представлены на рис. 8.

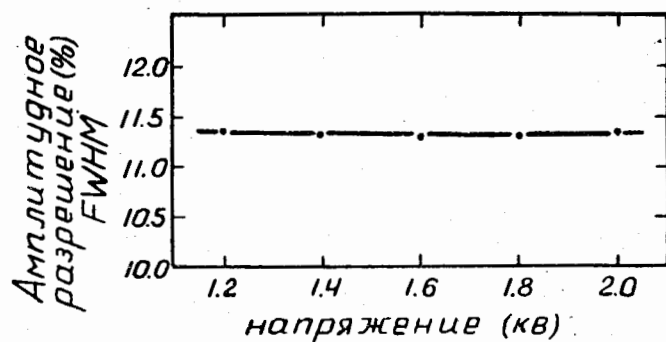


Рис. 8. Зависимость амплитудной разрешающей способности от напряжения питания ФЭУ.

Зависимость амплитудного разрешения фотоумножителя от величины квантовой эффективности фотокатода иллюстрируется рис. 9. Из рисунка видно, что с увеличением квантовой эффективности амплитудное разрешение возрастает по закону $R \sim \sqrt{\epsilon}$, где ϵ - чувствительность фотокатода /мкА/лм/.

В заключение авторы выражают благодарность Е. Власову за помощь в измерениях.

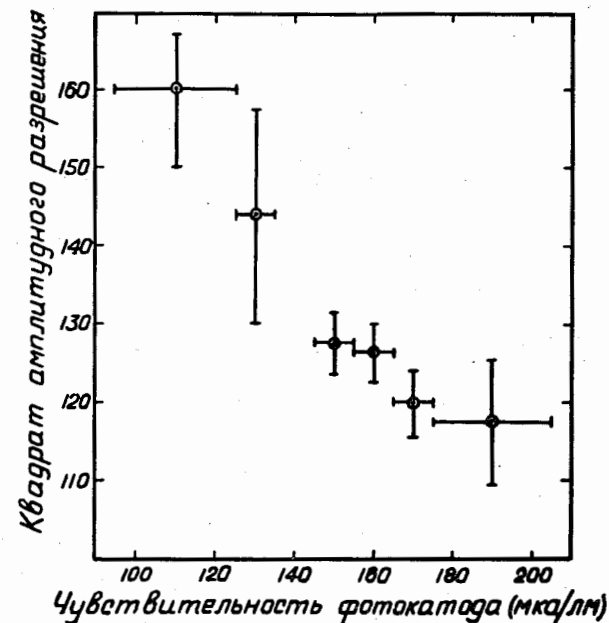


Рис. 9. Зависимость амплитудной разрешающей способности от чувствительности фотокатода.

Литература

1. Р.Г.Аствацатуров, В.И.Иванов, Е.Кнапик, В.А.Крамаренко, Б.А.Кулаков, Г.Л.Мелкумов, А.И.Малахов, М.С.Хвасунов, М.Н.Хачатурян. Сообщение ОИЯИ, Р1-7309, Дубна, 1973.
2. Нго Куок Быу, В.А.Крамаренко, А.И.Малахов, М.Н.Хачатурян, М.С.Хвасунов. Сообщение ОИЯИ, 13-7673, Дубна, 1974.
3. R.G.Astvatsaturov, V.I.Ivanov, M.N.Khachaturyan, V.A.Kramarenko, B.A.Kulakov, A.I.Malakhov, G.L.Melkumov. JINR Communication, EI-6633, Dubna, 1972.

Рукопись поступила в издательский отдел
22 мая 1974 года.