

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



8987

ЭКЗ. ЧИТ. ЗАЛА

P13 - 8987

С.А.Бунятов, Б.Ж.Залиханов, В.С.Курбатов,
А.Халбаев

ЧЕРЕНКОВСКИЙ ГАММА-СПЕКТРОМЕТР
ПОЛНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ

1975

P13 - 8987

С.А.Бунятов, Б.Ж.Залиханов, В.С.Курбатов,
А.Халбаев *

**ЧЕРЕНКОВСКИЙ ГАММА-СПЕКТРОМЕТР
ПОЛНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ**

* Институт ядерной физики АН УзССР

S U M M A R Y

The spectrometric and time characteristics of five Cherenkov γ -spectrometers of total absorption in the electron beam of 30-300 MeV have been investigated. Use of radiator of enhanced transmittance and thorough choosing of potential dividers for photomultiplier-49 provide better energy and time characteristics for a given type of spectrometers. The energy resolution of γ -spectrometers for 100 MeV electrons is equal on the average to $(28.0 \pm 2.6)\%$. The energy dependence of resolution is well described by the formula $\Delta E/E = A/\sqrt{E}$. The time resolutions of γ -spectrometers are in the range of (4-5) ns. The efficiency of the electron recording from 30 to 300 MeV is 100%.

Описываемые в данной работе пять черенковских γ -спектрометров полного поглощения предназначены для регистрации и спектрометрирования γ -квантов в диапазоне 30 ÷ 300 МэВ, образующихся в реакциях



в интервале энергий первичных π^- -мезонов 200-300 МэВ. Экспериментальная установка состоит из 4-канального годоскопа черенковских γ -спектрометров в сочетании со сцинтилляционными счетчиками. Высокие фоновые загрузки требовали включения спектрометров в быстрые схемы совпадений. Поэтому при конструировании спектрометров ставилась задача наряду с получением хороших спектрометрических характеристик обеспечить высокую временную разрешающую способность спектрометров. В данном варианте γ -спектрометра хорошие спектрометрические характеристики были достигнуты главным образом благодаря высокой прозрачности используемых радиаторов из свинцового стекла марки ТФ-1 и тщательному подбору делителей напряжения для ФЭУ. При этом использовались спектрометрические фотоумножители типа ФЭУ-49, которые, однако, имеют посредственные временные характеристики. Поэтому для получения хорошего временного разрешения использовался метод временной привязки импульсов по пересечению нуля.

Конструкция γ -спектрометров

Общий вид одного из γ -спектрометров показан на рис. 1. Радиатор был изготовлен из свинцового стекла марки ТФ-1 со следующими характеристиками:

радиационная длина	- 2,5 см,
плотность	- 3,86 г/см ³ ,
показатель преломления	- 1,65,
коэффициент поглощения белого света, отнесенный к одной радиационной длине	- 0,25%.

Радиаторы имеют форму правильной шестигранной призмы, высота которой равна 30 см /12 радиационных длин/, сторона основания - 10 см, расстояние между параллельными гранями - 17,5 см.

Боковая поверхность и торцы радиатора отполированы. Для более полного собирания излучения Вавилова-Черенкова боковая поверхность и входное окно обернуты алюминированной майларовой пленкой.

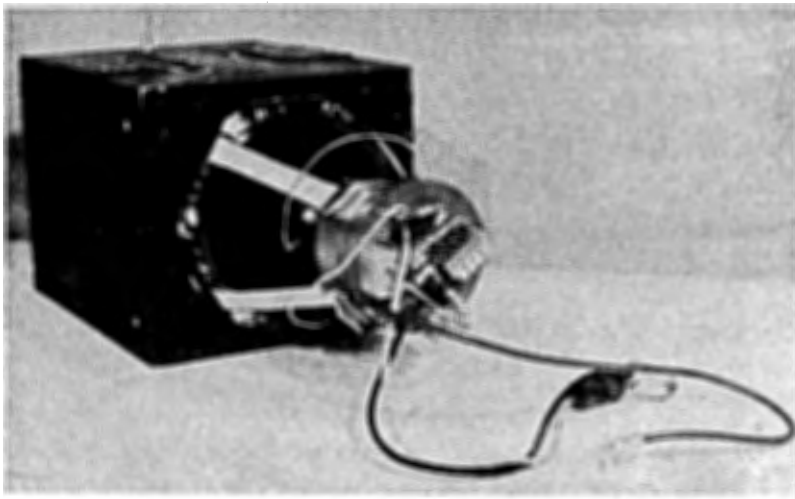


Рис. 1. Конструкция γ -спектрометра.

Черенковский свет регистрируется фотоумножителем ФЭУ-49 диаметром фотокатода 15 см и чувствительностью 110-120 мкА/мм. Эффективная площадь перекрытия фотокатода ФЭУ с торцом радиатора составляет 65%. Фотоумножитель вместе с делителем напряжения прижимается к торцу радиатора четырьмя резиновыми лентами силой 15 кг. Оптический контакт в месте соприкосновения ФЭУ с радиатором создается с помощью оптической силиконовой смазки.

Для защиты от рассеянного магнитного поля стекло и ФЭУ помещены внутри магнитных экранов из трансформаторного железа и пермаллоя.

Потенциалы для фокусирующих электродов фотоумножителей подбирались на специальном стенде такими, чтобы уменьшить влияние неоднородности чувствительности фотокатода по площади на амплитудное разрешение ФЭУ.

Спектрометрические характеристики

Характеристики спектрометров исследовались на пучке электронов с импульсами 30-300 МэВ/с на синхротроне Лаборатории ядерных проблем. Схема эксперимента и блок-схема электронной аппаратуры показаны на рис. 2.

Пучок γ -квантов, образовавшихся в результате распада π^0 -мезонов, конвертировался в электронно-позитронные пары в свинцовой мишени толщиной 5 мм^{1/1}. Электроны с заданным импульсом выделялись с помощью поворотного магнита с анализирующей способностью $\Delta P/P = 10\%$. Интенсивность электронного пучка перед спектрометром определялась тремя сцинтилляционными счетчиками размерами 10x10x1 см³.

Результаты измерений приведены на рис. 3-5. Как видно из рис. 3 амплитуда выходного сигнала ФЭУ является линейной функцией энергии во всем диапазоне измерений.

Амплитудные спектры /в области пика/ хорошо описываются распределением Гаусса. Для примера в табл. 1 приводятся результаты обработки амплитудных спектров

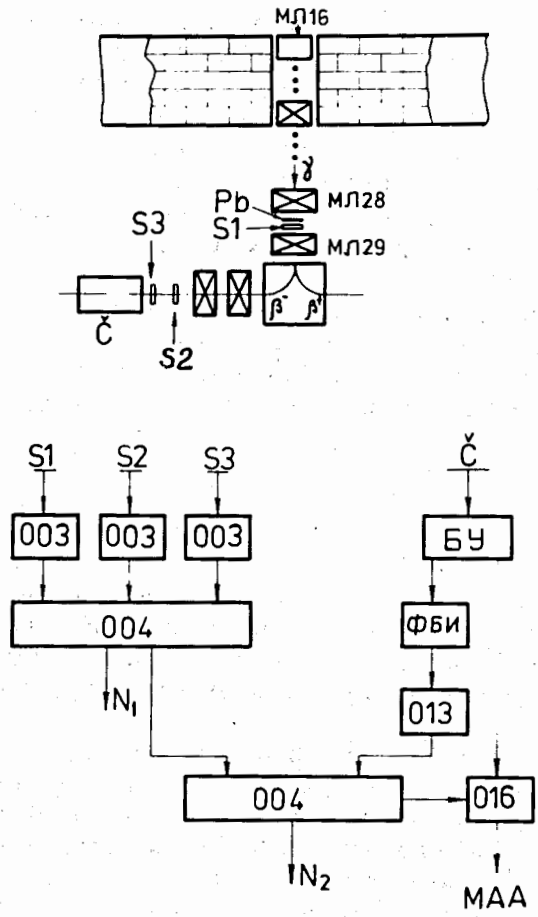


Рис. 2. Схема эксперимента и блок-схема электронной аппаратуры. S - сцинтилляционные счетчики, C - спектрометр полного поглощения, OO3 - формирователь, O13 - детектор нуля, OO4 - схема совпадения, O16 - удлинитель, Б.У. - быстрый усилитель, Ф.Б.И. - формирователь биполярного импульса.

Таблица 1
Результаты фитирования амплитудных спектров электронов распределением Гаусса

$$y = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}$$

№	Разрешение по энергии	$\Delta E \approx 2,35 \sigma$
30	57,3	6,47
70	99,3	10,45
100	122,4	11,85
150	172,5	16,07
200	230,5	17,4

№	Номер канала анализатора	σ^* МэВ	χ^2/N
30	23,8/25=0,95	6,47	23,8/25=0,95
70	44,4/38=1,17	10,45	44,4/38=1,17
100	55,5/39=1,29	11,85	55,5/39=1,29
150	62,4/39=1,09	16,07	62,4/39=1,09
200	53,5/48=1,11	17,4	53,5/48=1,11

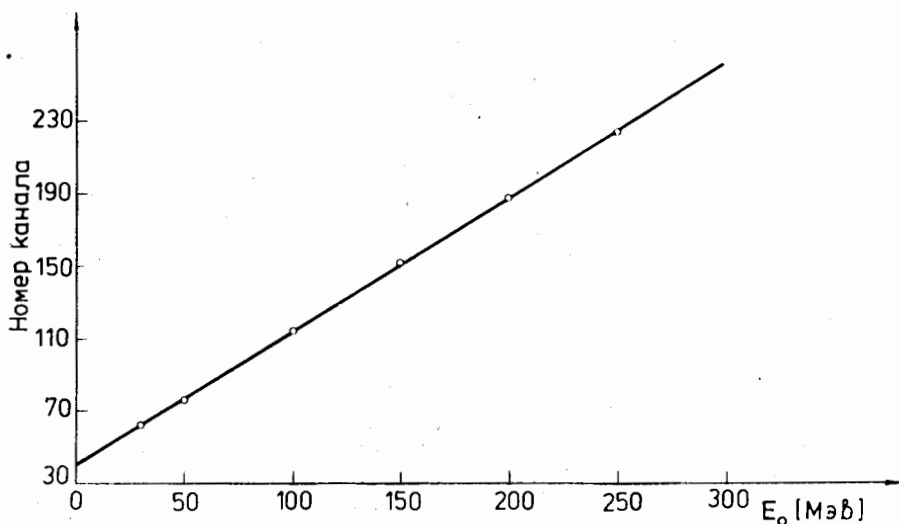


Рис. 3. Зависимость амплитуды выходного сигнала спектрометров от энергии электронов.

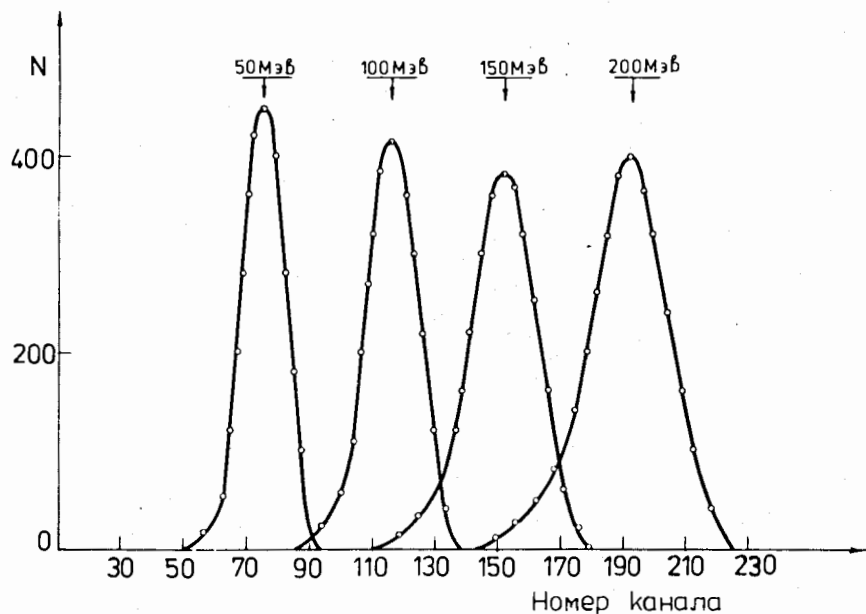


Рис. 4. Амплитудные распределения импульсов, полученные от электронов с различной энергией.

одного из спектрометров для электронов с энергиями 30, 70, 100, 150 и 200 МэВ.

Наблюдаемая асимметрия формы амплитудных распределений /рис. 4/ обусловлена влиянием выхода частиц ливня из радиатора вследствие его высокой прозрачности при ограниченных размерах^{2/}, и не превышает 5% от площади спектра.

Энергетическое разрешение γ -спектрометров для электронов с энергией 100 МэВ с учетом разброса пучка электронов по энергии /10%/ составляет $28,0 \pm 2,6\%$.

Зависимость величины энергетического разрешения спектрометров от энергии электронов показана на рис. 5. Полученная кривая хорошо описывается формулой

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{A}{\sqrt{E}} \cdot 100 [\%]. \quad /3/$$

Экспериментальные энергетические разрешения γ -спектрометров для энергии электронов 100 МэВ и значения коэффициентов А, вычисленные методом наименьших квадратов, приведены в табл. 2.

Для сравнения на рис. 5 приведены энергетические разрешения спектрометров, использованных в других работах для регистрации γ -квантов с энергиями до 300 МэВ.

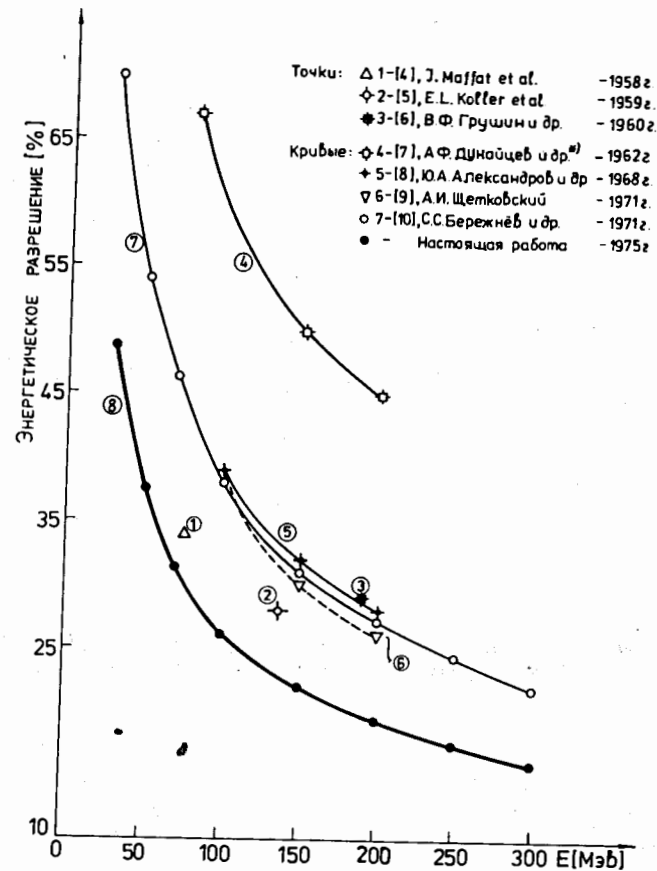
Как известно, энергетическое разрешение спектрометров ограничено флуктуациями черенковского излучения и флуктуациями числа фотоэлектронов^{3/}. Эти флуктуации могут существенно увеличиваться, если первичный электрон или γ -квант попадает в край радиатора или под углом к его оси.

Нами были измерены величины разрешения и эффективность регистрации в зависимости от точки попадания в радиатор первичного электрона с импульсом 100 МэВ/с. Для этих измерений сцинтилляторы счетчиков S2 и S3 /рис. 2/ заменялись другими, с размерами $3 \times 3 \times 2 \text{ см}^3$.

Таблица 2
 Экспериментальное энергетическое разрешение пяти
 спектрометров для энергии электронов 100 МэВ и
 значения коэффициентов А, определяющих зависимость
 разрешения от энергии по формуле /3/

χ	$(\frac{\Delta E}{E})_{\text{эсп.}} [\%]$	$A, (\text{МэВ})^{1/2}$
1	27,9	2,79
2	26,5	2,73
3	27,7	2,77
4	33,3	3,07
5	28,4	2,89

Рис. 5. Зависимость энергетического разрешения спектрометров от энергии.



Полученные результаты приведены на рис. 6 и 7. Эффективность регистрации слабо зависит от места попадания электрона в радиатор и составляет 100% во всем интервале энергии электронов от 30 до 300 МэВ, в то время как величина энергетического разрешения сильно зависит от угла и места попадания электронов в радиатор.

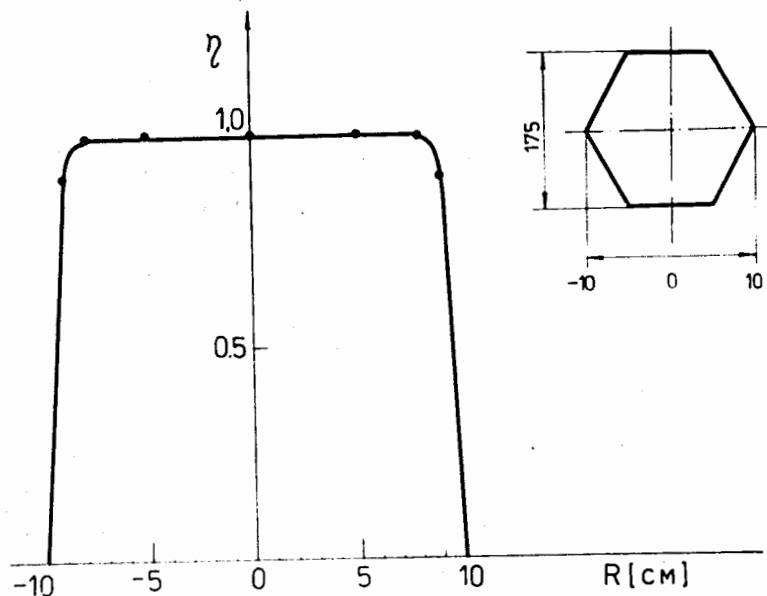


Рис. 6. Зависимость эффективности регистрации электронов с $E = 100$ МэВ от точки попадания в радиатор.

Временное разрешение γ -спектрометров

Как уже отмечалось, использование спектрометров в экспериментах при высоких фоновых нагрузках требует обеспечения высокой разрешающей способности по времени всей системы в целом.

Однако в первых работах с использованием спектрометрических фотоумножителей временные разрешения составляли 10-20 нс. Существенные улучшения были получены при использовании в спектрометрах фотоумножителей типа 58AVP^{7/7} с хорошими временными характеристиками. Но при этом практически трудно было использовать их для измерения энергий γ -квантов, в особенности при небольших энергиях ≤ 100 МэВ/ из-за посредственных спектрометрических характеристик ФЭУ.

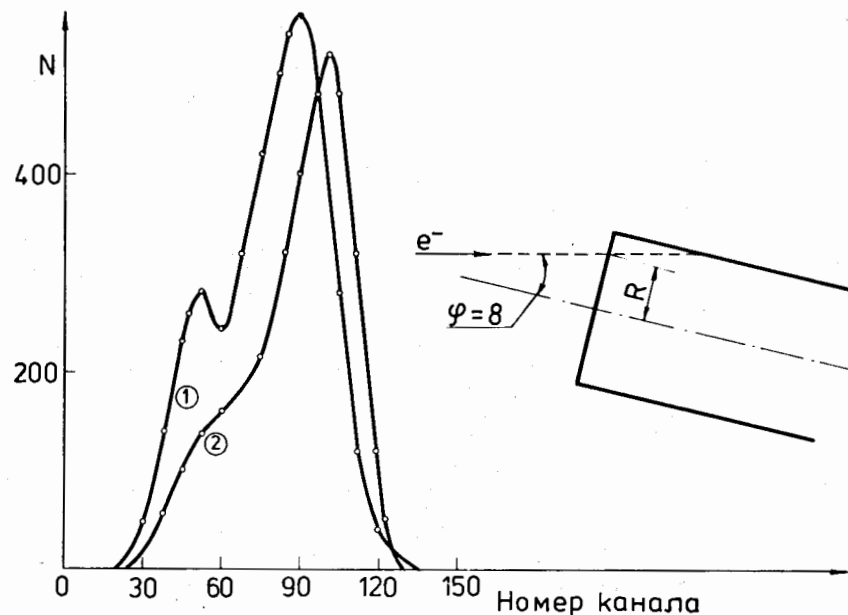


Рис. 7. Амплитудные распределения от электронов с $E = 100$ МэВ, падающих на край радиатора под углом 8° . 1. $R = 9$ см, 2. $R = 8$ см.

Поэтому в последующих работах^{8/} получение хороших временных характеристик было достигнуто благодаря использованию в одном спектрометре двух типов ФЭУ; спектрометрических ФЭУ-49 и временных ФЭУ-36.

В описываемом варианте γ -спектрометра была поставлена задача получения хороших временных характеристик при использовании спектрометрического фотоумножителя ФЭУ-49. С этой целью нами исследовались характеристики спектрометров с использованием метода временной привязки по пересечению нуля.

Разрешение по времени спектрометров при использовании привязки по переднему фронту в широком диапазоне амплитуд равно примерно времени нарастания сигнала на аноде фотоумножителя $\sim 15-18$ нс, рис. 8а/. При использовании метода пересечения нуля временное разрешение /рис. 8б/ спектрометров улучшается примерно в 4-5 раз.

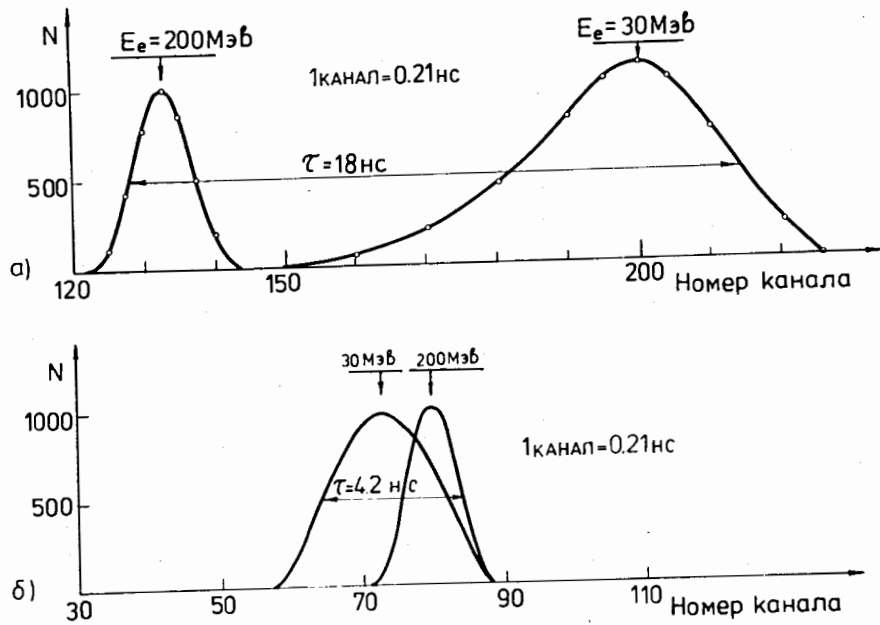


Рис. 8. Временное разрешение спектрометров а/ временная привязка по фронту, б/ по пересечению нуля.

Разрешение спектрометра при регистрации электронов с энергией /100-300/ МэВ равно 1,8 нс, а для электронов с энергией 30 МэВ - 3,8 нс. При регистрации спектра электронов в интервале 30-300 МэВ из-за увеличения диапазона амплитуд временное разрешение ухудшается и составляет /4,2-5/ нс. Такое же разрешение получается при регистрации γ -квантов в интервале 30-300 МэВ, возникающих от распада $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$ в реакции $\pi^- p \rightarrow \pi^0 n$.

В табл. 3 приведено разрешающее время спектрометров полного поглощения, использованных для регистрации γ -квантов в различных интервалах энергий.

Таблица 3
Разрешающее время γ -спектрометров полного поглощения

τ , нс	E_e , МэВ	Тип ФЭУ	ССЫЛКИ
20	300-600	ФЭУ-49	В.Ф. Грушин и др. /6/, 1960
2	20-300	58 АУР	А.Ф. Дунайцев и др. /7/, 1962
4+5	80+650	ФЭУ-36	Ю.А. Александров и др. /8/, 1968
5,5*	30-300	ФЭУ-49	С.С. Бережнев и др. /10/, 1971
(4,2-5)*	30-300	ФЭУ-49	Настоящая работа 1975.

*) Использован метод пересечения нуля.

Как видно из таблицы, использование временной привязки к анодному импульсу при пересечении им нуля позволяет получить хорошее временное разрешение у спектрометров с применением спектрометрических фотоумножителей.

Авторы выражают благодарность Н.Т.Грехову за содействие в получении радиаторов, В.Г.Зинову, В.П.Зрелову, А.В.Купцову за полезные обсуждения, В.С.Жилину и Н.А.Лебедеву за помощь в изготовлении спектрометров.

Литература

1. В.М.Кутьин, В.И.Петрухин, В.М.Цупко-Ситников. Препринт ОИЯИ, 13-2677, Дубна, 1966.
2. В.Ф.Грушин, Е.М.Лейкин. Сборник "Фотомезонные и фотоядерные процессы". Труды ФИАН, т. 34, 187 /1966/.
3. В.П.Зрелов. Излучение Вавилова-Черенкова и его применение в физике высоких энергий. ч. II, Атомиздат, 1968.
4. J.Moffat, M.W.Stringfellow. J.Scient.Instrum., 35, 18, 1958.
5. E.L.Koller, A.M.Sachs. Phys.Rev., 116, 760, 1959.
6. В.Ф.Грушин, В.А.Заневалов, Е.М.Лейкин. ПТЭ, 2, 27 /1960/.
7. A.F.Dunaitsev, V.I.Petrukhin, Yu.D.Prokoshkin., V.I.Ryukalin. Nuovo Cimento, 24, 405, 1962.
8. Ю.А.Александров, А.В.Куценко, В.Н.Майков, В.В.Павловская. Сборник "Методика физического эксперимента". Труды ФИАН, т. 40, 3 /1968/.
9. В.С.Бекренев, С.П.Круглов, А.И.Щетковский. Препринт ФТИ-197, Л., 1969.
10. С.С.Бережнев, А.А.Демьянов и др. Сообщение ОИЯИ, 13-6192, Дубна, 1971.

Рукопись поступила в издательский отдел
17 июня 1975 года.