

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория высоких энергий

P - 291

В.С. Пантуев, М.Н. Хачатурян, И.В. Чувило

ЧЕРЕНКОВСКИЙ СПЕКТРОМЕТР
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭНЕРГИИ
ГАММА-КВАНТОВ

ЖТЭ, 1960, № 1, с 19 - 24.

Дубна, 1969 год

P - 291

В.С.Пантуев, М.Н.Хачатурян, И.В.Чувилло

ЧЕРЕНКОВСКИЙ СПЕКТРОМЕТР
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭНЕРГИИ
ГАММА-КВАНТОВ

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Дается описание конструкции и принцип работы черенковского γ -спектрометра, рассчитанного для измерения энергии γ -квантов в интервале от 100 Мэв до нескольких Бэв. Гамма-квант в радиаторе из свинцового стекла образует электронно-фотонную лавину, значительная доля энергии которой поглощается в радиаторе. За меру энергии начального γ -кванта берется количество черенковского света, излученное заряженной компонентой лавины. Спектрометр был испытан и прокалиброван моноэнергетическими электронами в интервале от 100 Мэв до 230 Мэв. Энергетическое разрешение спектрометра при энергии 200 Мэв равно $\pm 40\%$. Спектрометр обладает 100% эффективностью и линеен в рассматриваемом интервале энергий.

В в е д е н и е

При изучении процессов взаимодействия элементарных частиц с веществом часто возникает необходимость измерения энергии γ -квантов. Обычно используемые для этой цели парные спектрометры имеют ряд существенных недостатков. Основными из них являются: чрезвычайно низкая эффективность /порядка 10^{-5} /, необходимость магнита, размеры и вес которого быстро возрастают с увеличением энергии γ -квантов и др.

Применение сцинтилляционных спектрометров в области энергий, превышающих 100 Мэв, лимитируется их высокой стоимостью, техническими трудностями, связанными с получением кристаллов соответствующих размеров, большим временем высвечивания, что ограничивает их применение в быстрых схемах и чувствительностью к фону частиц малой энергии.

За последнее время в СССР и за границей получили распространение γ -спектрометры ^{1 - 7}, в которых для измерения энергии используется черенковское излучение частиц электронно-фотонной лавины, образованной γ -квантом в веществе с большим Z и прозрачным для черенковского света.

В результате развития лавины энергия γ -кванта распределяется среди большого числа частиц электронно-фотонной лавины. Это позволяет в небольшом объеме вещества поглотить значительную часть энергии первоначального γ -кванта. То обстоятельство, что интенсивность черенковского излучения электронов ливня практически остается постоянной вплоть до энергий порядка 0,4 Мэв позволяет надеяться, что полное число черенковских фотонов, генерируемых ливнем, должно быть пропорционально первоначальной энергии γ -кванта.

Описание спектрометра

При выборе радиатора для черенковского спектрометра был рассмотрен целый ряд как жидких, так и твердых веществ. Было найдено, что в области энергий свыше 1000 Мэв наилучшим материалом является тяжелое свинцовое стекло.

Радиатор счетчика был собран из цилиндрических блоков стекла марки ТФ-5, каждый диаметром 35 см и высотой 10 см. Все три блока сочленились полированными торцами, образуя цилиндр диаметром 35 см, высотой 30 см и весом 135 кг. Химический состав стекла: PbO - 66%, SiO_2 - 31%, K_2O - 2,5%, As_2O_3 - 0,5% по весу. Удельный вес $\rho = 4,77$ г/см³, коэффициент преломления для "Д" линии натрия $n = 1,755$, радиационная единица длины около 1,76 см, коэффициент светопоглощения для белого света 0,6% на пути 1 см. Выраженные в радиационных единицах размеры счетчика равны: длина - 17 рад.единиц и диаметр - 20 рад.единиц. Оптический контакт между отдельными блоками из свинцового стекла достигался с помощью фенилциклогексановой смазки под давлением. Коэффициент преломления смазки $n = 1,55$. Боковая поверхность цилиндра не полировалась. Черенковское излучение лавины регистрируется тремя спектрометрическими фотоумножителями типа 2Бс с диаметром катода 15 см, которые симметрично располагаются на одном из плоских торцов цилиндра. Фотоумножители, делители напряжения, схема, суммирующая амплитуды импульсов, и выходные катодные повторители жестко смонтированы на одной съемной панели, закрепленной на металлической оправе стекла.

Для оптического контакта между стеклом и фотоумножителями заливается дистиллированная вода.

Фотоумножители типа 2БС вследствие значительного расстояния между фотокатодом и умножающей системой очень чувствительны к рассеянным магнитным полям.

При расстоянии от фотокатода до диафрагмы порядка 12 см, диаметре отверстия диафрагмы 0,8 см и разности потенциалов между фотокатодом и диафрагмой в 300 вольт, магнитное поле напряженностью в доли эрстеда существенно сказывается на спектрометрических характеристиках фотоумножителя.

С целью защиты от рассеянного магнитного поля стекло и фотоумножители помещаются внутри полого цилиндра из мягкого железа диаметром 51 см, длиной 110 см и толщиной стенки 1,0 см. К торцам цилиндра с помощью болтов крепятся железные крышки. Железный экран одновременно служит для изоляции фотоумножителей от внешнего света.

Для дополнительной экранировки от слабых магнитных полей каждый из фотоумножителей помещается внутри двух concentрических экранов из пермалоя толщиной

0,5 мм, разделенных друг от друга слоем диэлектрика. Качество экранировки контролировалось как по амплитудным характеристикам фотоумножителей, так и путем снятия спектров от радиоактивного источника Cs^{137} с помощью кристалла $NaJ(Tl)$.

Электронная аппаратура

Амплитуды импульсов с 3-х фотоумножителей черенковского счетчика суммируются специальной схемой. Затем суммарный импульс через согласующее устройство и кабель РК-2 подается на линейный усилитель типа "УШ-10" с полосой $\Delta f = 5$ мгц. Усиленные импульсы далее поступают через схему пропускания с разрешающим временем 1 мксек на амплитудный анализатор. Схема пропускания управляется импульсом схемы двойных совпадений с разрешающим временем $2 \cdot 10^{-8}$ сек. В сцинтилляционных счетчиках этой схемы используются фотоумножители типа 19-M и пластиковые сцинтилляторы диаметром 3 см. Импульсы со сцинтилляционных счетчиков усиливаются широкополосными усилителями "УР-20" ЛВЭ с полосой пропускания 170 мгц и коэффициентом усиления 20. Для анализа амплитуд импульсов с черенковского счетчика использован 12-канальный амплитудный анализатор ЛВЭ с разрешающим временем 20 мксек.

Калибровка спектрометра

Счетчик калибровался электронами с энергией 100, 150, 200 и 280 Мэв. Схема расположения калибрационной аппаратуры приведена на рис.3.

Коллимированный пучок тормозных γ -квантов из синхротрона ФИАН им.Лебедева на 250 Мэв конвертировался в электронно-позитронные пары в свинцовой мишени толщиной 0,5 мм. Электроны заданной энергии выделялись магнитным полем. Траектория электронов определялась методом токнесущей нити. Правильность магнитной калибровки дополнительно проверялась по интенсивности счета сцинтилляционного телескопа при изменении верхней границы спектра тормозного γ -излучения из внутренней мишени синхротрона. Энергетический разброс электронов, определяемый коллимирующей системой и телескопическими счетчиками, не превышал $\pm 2,5\%$.

На рис.4 приведено распределение амплитуд импульсов с черенковского спектрометра, полученное при энергии первичных электронов 200 Мэв. Амплитудные распределения импульсов при других энергиях электронов имеют аналогичную форму.

Энергетическое разрешение спектрометра, определяемое как отношение полуширины кривой распределения амплитуды импульсов на полувысоте к амплитуде импульса в максимуме распределения, при энергии электронов 200 Мэв составляет величину порядка $\pm 40\%$. При уменьшении энергии разрешение ухудшается.

На рис.5 приведена зависимость амплитуды в максимуме распределения от энергии первичных электронов. Можно видеть, что /в пределах точности определения положения максимума распределения/ амплитуды зависят линейно от энергии электронов.

З а к л ю ч е н и е

Имеется целый ряд факторов, влияющих на энергетическое разрешение спектрометра. К числу основных факторов относятся:

- а/ флюктуации доли энергии лавины, поглощенной в радиаторе;
- б/ флюктуации числа фотоэлектронов;
- в/ флюктуации суммарного пробега электронов и позитронов ливня и др.

Относительный вклад того или иного фактора зависит, во-первых, от размеров радиатора и, во-вторых, от энергии первичных электронов или γ -квантов. В радиаторе длиной 17 рад.единиц и диаметром 20 рад.единиц в среднем поглощается примерно 97% энергии лавины, образованной электроном с энергией 200 Мэв, а флюктуация доли поглощенной энергии составляет примерно $\pm 2,5\%$. Вместе с тем при коэффициенте преломления $n = 1,755$ заряженная релятивистская частица в интервале длин волн от 4500\AA до 6500\AA излучает около 200 черенковских фотонов на 1 см.пути. Следовательно, полное число черенковских фотонов лавины, образованной электроном с энергией 200 Мэв, равно 6400. При квантовой эффективности фотокатода фотоумножителя порядка 5% должно образоваться примерно 320 фотоэлектронов. Однако, за счет поглощения света в стекле, большого числа отражений на границах, имеющих различные коэффициенты преломления, отсутствия отражателя на боковой поверхности радиатора, поверхности фотокатодов достигает около 2% черенковского света. Очевидно, что с увеличением энергии первичных γ -квантов разрешение спектрометра должно стать лучше. Так, например, при энергии 1 Бэв число черенковских фотонов возрастает примерно в 5 раз. Тогда можно ожидать, что разброс, обусловленный флюктуацией числа фотоэлектронов, станет порядка $\pm 18\%$, флюктуация лавины при той же энергии, не будет превышать $\pm 4\%$.

Работа поступила в издательский отдел 27 января 1959 года.

На рис.5 приведена зависимость амплитуды в максимуме распределения от энергии первичных электронов. Можно видеть, что /в пределах точности определения положения максимума распределения/ амплитуды зависят линейно от энергии электронов.

З а к л ю ч е н и е

Имеется целый ряд факторов, влияющих на энергетическое разрешение спектрометра. К числу основных факторов относятся:

а/флюктуации доли энергии лавины, поглощенной в радиаторе;

б/флюктуации числа фотоэлектронов;

в/флюктуации суммарного пробега электронов и позитронов ливня и др.

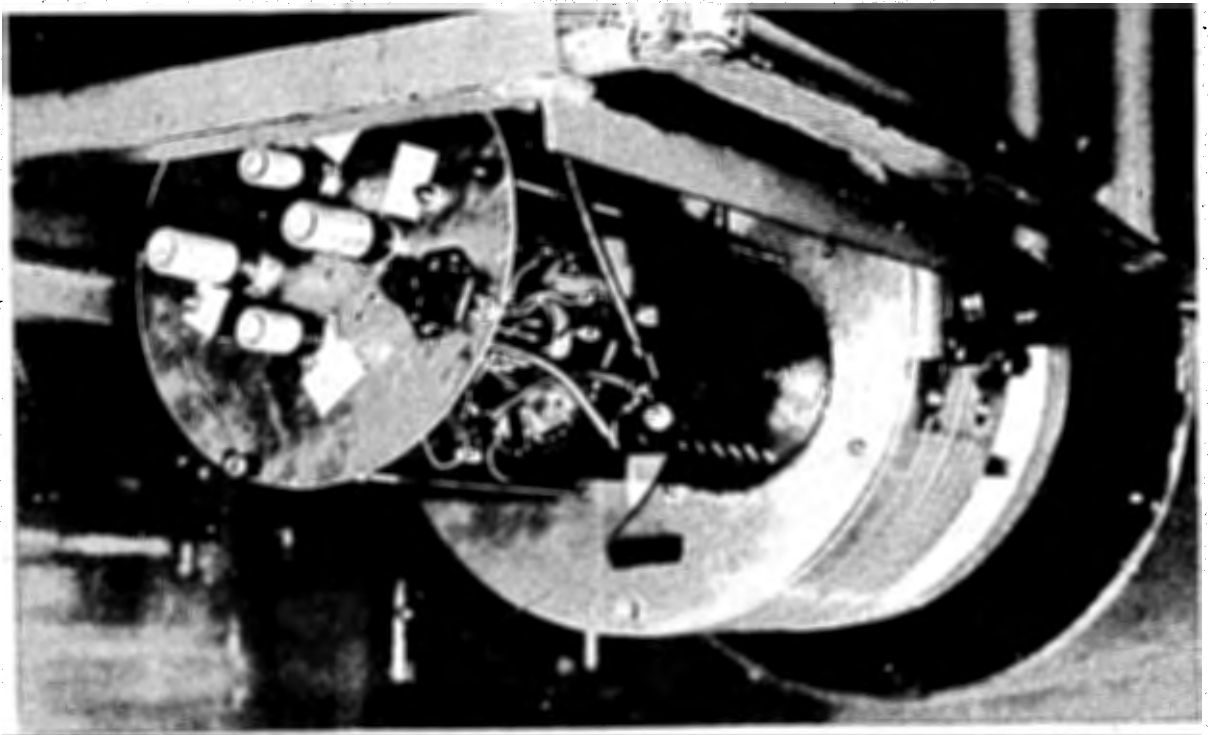
Относительный вклад того или иного фактора зависит, во-первых, от размеров радиатора и, во-вторых, от энергии первичных электронов или γ -квантов. В радиаторе длиной 17 рад.единиц и диаметром 20 рад.единиц в среднем поглощается примерно 97% энергии лавины, образованной электроном с энергией 200 Мэв, а флюктуация доли поглощенной энергии составляет примерно $\pm 2,5\%$. Вместе с тем при коэффициенте преломления $n = 1,755$ заряженная релятивистская частица в интервале длин волн от 4500\AA до 6500\AA излучает около 200 черенковских фотонов на 1 см.пути. Следовательно, полное число черенковских фотонов лавины, образованной электроном с энергией 200 Мэв, равно 6400. При квантовой эффективности фотокатода фотоумножителя порядка 5% должно образоваться примерно 320 фотоэлектронов. Однако, за счет поглощения света в стекле, большого числа отражений на границах, имеющих различные коэффициенты преломления, отсутствия отражателя на боковой поверхности радиатора, поверхности фотокатодов достигает около 2% черенковского света. Очевидно, что с увеличением энергии первичных γ -квантов разрешение спектрометра должно стать лучше. Так, например, при энергии 1 Бэв число черенковских фотонов возрастает примерно в 5 раз. Тогда можно ожидать, что разброс, обусловленный флюктуацией числа фотоэлектронов, станет порядка $\pm 18\%$, флюктуация лавины при той же энергии, не будет превышать $\pm 4\%$ ⁸.

Работа поступила в издательский отдел 27 января 1959 года.

Л и т е р а т у р а

1. A. Kantz and R. Hofstadter, *Nucleonics* 12, 3 (1954).
2. C.E. Swartz, *Nucleonics* 14, 4 (1956).
3. W.B. Jones, H.R. Kratz and J. Rouvina, *Rev. Sci. Instr.* 28, 167 (1957)
4. J.M. Brabant, B.J. Moyer and R. Wallace, *Rev. Sci. Instr.* 421 (1957).
5. J. Filosofo, *Nuovo Cimento* vol. 6 no. 3 (1957).
6. J. Moffatt and M.W. Stringfellow, *J. of Scient. Instr.* 35, 1 (1958).
7. В.Запелалов, Е.Лейкин /Частное сообщение/.
8. Т. Jamagata /Частное сообщение/.

Рис. 1. Общий вид спектрометра



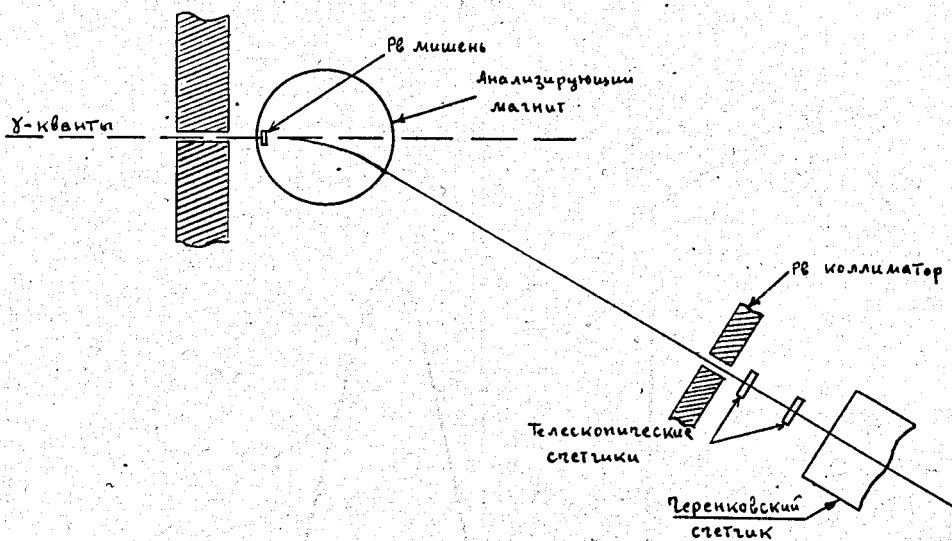


Рис. 2. Схема расположения калибровочной аппаратуры

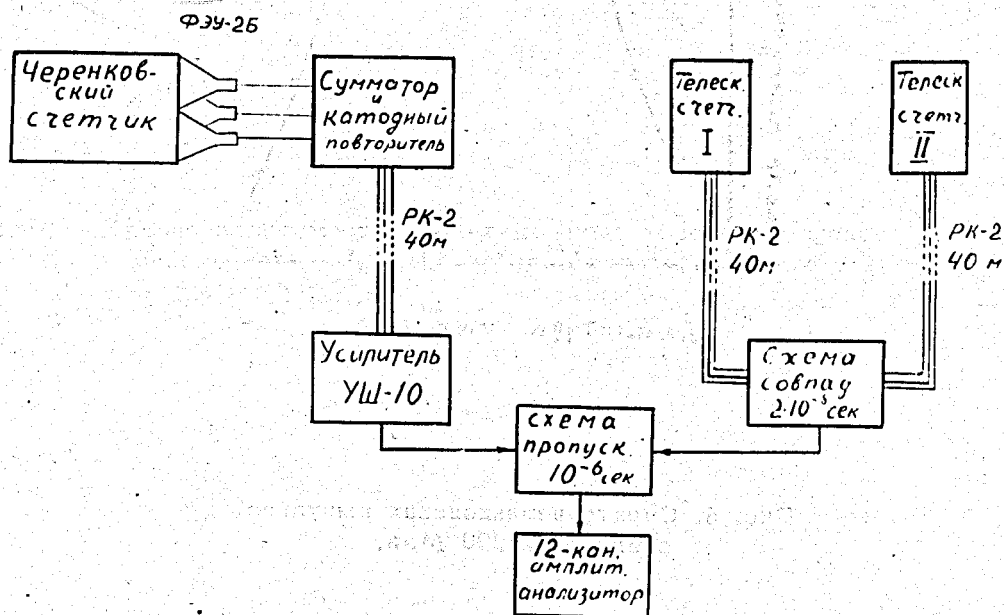
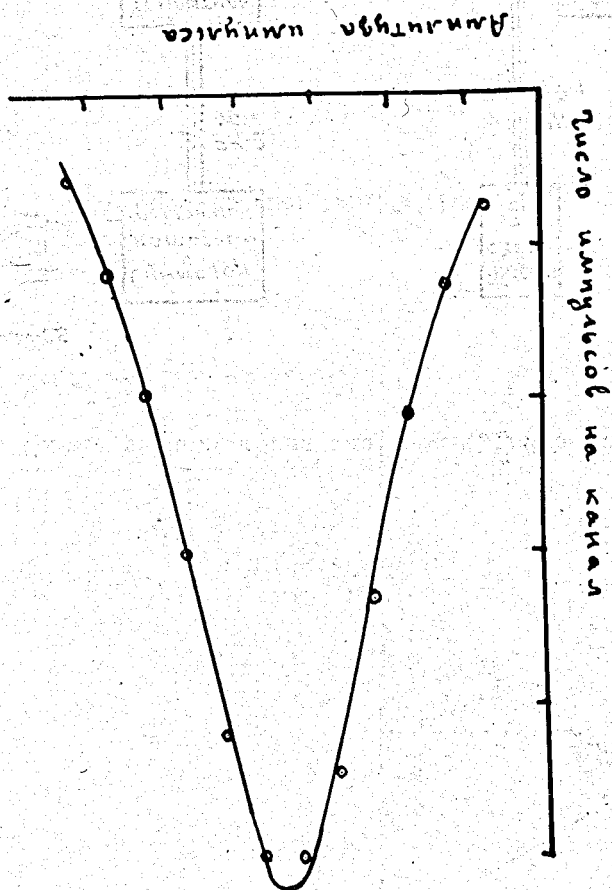


Рис. 3. Упрощенная блок-схема радиоаппаратуры.

Рис. 4. Спектр черенковских импульсов с энергией 200 Мэв.



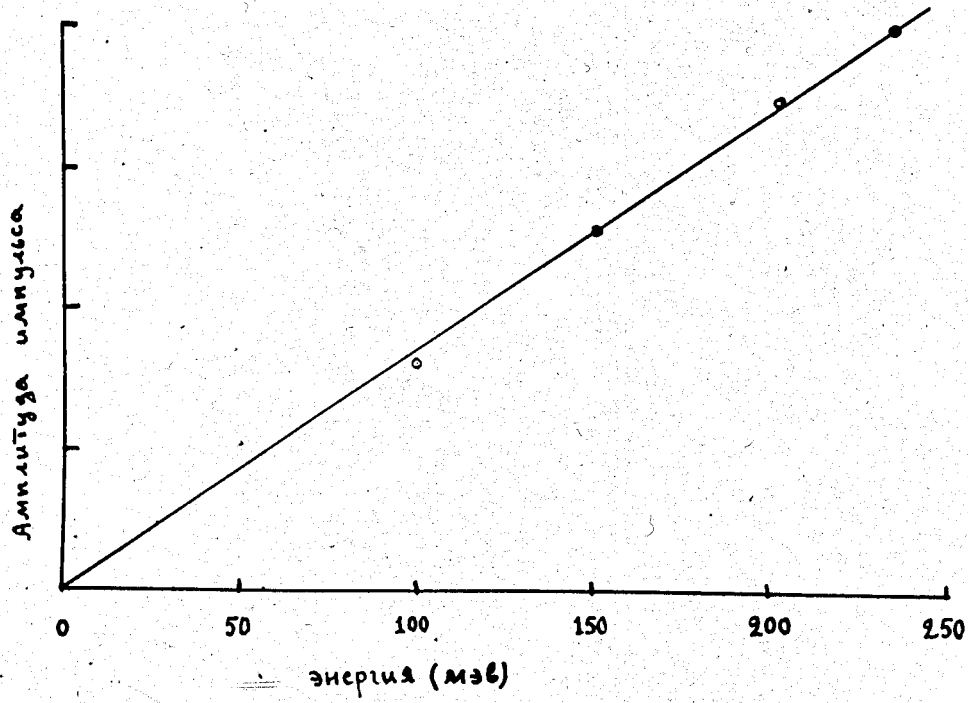


Рис. 5. Кривая зависимости амплитуды черенковских импульсов в максимуме распределения от энергии калибровочных электронов.