

A-91

1026 / 2-77

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



21/3-77

13 - 10282

Р.Г.Аствацатуров, С.Г.Басиладзе, В.И.Иванов, Е.Кнапик,  
В.А.Крамаренко, А.И.Малахов, Г.Л.Мелкумов,  
А.Н.Парфенов, Б.М.Старченко, М.Н.Хачатурян

СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКАЯ АППАРАТУРА  
90-КАНАЛЬНОГО  
ЧЕРЕНКОВСКОГО МАСС-СПЕКТРОМЕТРА

**1976**

13 - 10282

Р.Г.Аствацатуров, С.Г.Басиладзе, В.И.Иванов, Е.Кнапик,  
В.А.Крамаренко, А.И.Малахов, Г.Л.Мелкумов,  
А.Н.Парфенов, Б.М.Старченко, М.Н.Хачатурян

СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКАЯ АППАРАТУРА  
90-КАНАЛЬНОГО  
ЧЕРЕНКОВСКОГО МАСС-СПЕКТРОМЕТРА

*Направлено в ПТЭ*

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

Аствацатуров Р.Г. и др.

13 - 10282

Спектрометрическая аппаратура 90-канального черенковского масс-спектрометра

Описана регистрирующая спектрометрическая аппаратура 90-канального черенковского гамма-спектрометра. Приведены ее основные характеристики, а также характеристики реперных систем контроля.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований

Дубна 1976

© 1976 Объединенный институт ядерных исследований Дубна

### Введение

Исследование процессов рождения частиц электромагнитной природы, то есть электронов и гамма-квантов, является одним из актуальных разделов физики элементарных частиц. Работы последних лет<sup>1,2</sup> наглядно показали, что имеется обширная и еще малоисследованная область явлений, связанных с существованием нового квантового числа "charm", в которых распады резонансов происходят в основном по электромагнитным каналам. Одной из эффективных методик, позволяющих проводить исследования указанных процессов, является методика черенковских масс-спектрометров<sup>3,4</sup>. Ниже дается описание электроники и систем контроля 90-канального черенковского масс-спектрометра /установка "Фотон"/, созданного в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Для измерения энергии гамма-квантов в установке используются черенковские спектрометры полного поглощения из свинцового стекла<sup>5</sup>. Общее количество спектрометров - 90. Спектрометры работают независимо и группируются по 45. К радиатору гамма-спектрометра клеится фотоумножитель типа ФЭУ-49Б. Информацию об энергии гамма-кванта, поглощенного в спектрометре, несет заряд - "площадь" импульса тока с анода фотоумножителя.

Накопление, контроль поступающей информации, а также управление работой спектрометрической электроники в рабочем и тестовых режимах осуществляются с помощью ЭВМ типа ИР2116В. Каждый спектрометр имеет свой измерительный канал, в котором используется аналоговое запоминание информации с последовательным преобразованием ее в цифровой код.

### Блок-схема спектрометрической аппаратуры

На рис. 1 представлена блок-схема спектрометрической аппаратуры. Импульсы тока с фотоумножителей черенковских детекторов  $C_1 \div C_{90}$  поступают на усилители ЛУ  $1 \div 90$ , снабженные аттенуаторами на входе и целью пассивного разветвления сигналов на выходе, и далее через блоки задержек БЗ - на 23-канальные блоки аналоговой памяти АП  $1 \div 4$  с параллельной записью и последовательным чтением [6]. В блоках АП после прохождения в каждом из каналов

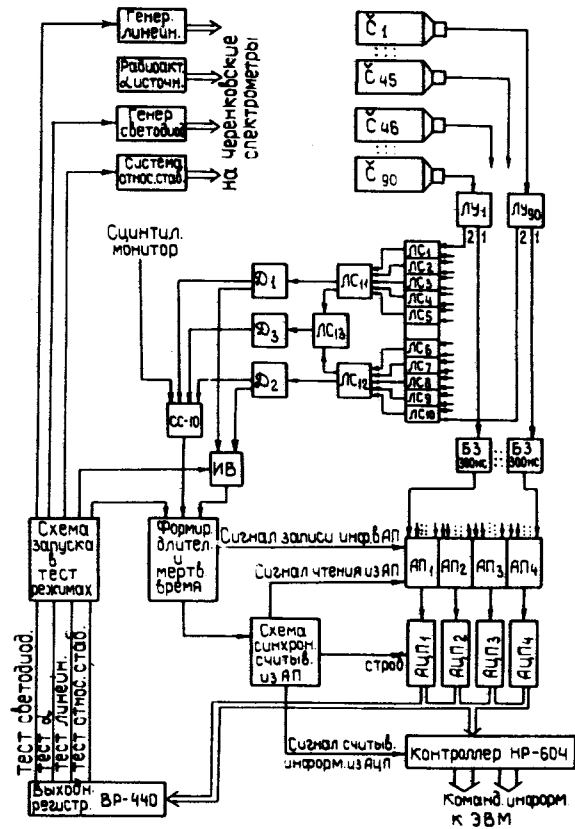


Рис. 1. Блок-схема спектрометрической аппаратуры установки "Фотон".

токовым сигналом входных линейных "ворот" производится его интегрирование на запоминающей емкости. Входные и выходные линейные ворота АП имеют суммарный "пьедестал", который составляет ~20% от максимальной величины сигнала. Такая величина "пьедестала" позволяет избежать нелинейной области при регистрации малых амплитуд и тем самым существенно расширить динамический диапазон всего спектрометрического канала.

Каждый блок АП /группу каналов/ обслуживает свой амплитудно-цифровой преобразователь /АЦП/. Передача информации в ЭВМ ведется параллельно по всем четырем группам. В результате этого принципиально достижимый уровень скорости передачи информации со спектрометров в ЭВМ всего лишь в 1,5 раза ниже максимальной скорости передачи данных по каналу прямого доступа ЭВМ типа ИР2116В.

Сигналы со вторых выходов усилителей ЛУ  $1 \div 90$  в спектрометрических каналах поступают на 90-входный линейный сумматор /блоки ЛС  $1 \div 13$  /, который состоит из отдельных 10- и 5-входовых суммирующих усилителей ЛС  $1 \div 12$  с коэффициентом передачи 1. Суммирование производится отдельно для каждого плеча черенковских детекторов, с 1 по 45 и с 46 по 90, а затем блоком ЛС  $13$  осуществляется окончательное суммирование. Все блоки усилителей и сумматоров представляют собой модификацию стандартного блока ЛУ100 [7], который переведен на пониженную величину питающих напряжений  $\pm 6, \pm 12$  В для повышения стабильности "нуля".

Для того чтобы обеспечить постоянство коэффициента передачи 90-входового сумматора по всем каналам, введена дополнительная независимая цепь регулирования сигнала по выходу 2 /рис. 2/.

Цепь регулировки выполнена таким образом, что сопротивление нагрузки 2ЛУ100 всегда близко к 50 Ом. Аттенуатор на входе усилителя служит для выравнивания амплитуд сигналов и установки требуемого энергетического диапазона спектрометра.

Дискриминаторы  $D_1$  и  $D_2$  производят отбор сигналов по амплитуде в каждом из плеч спектрометра, а

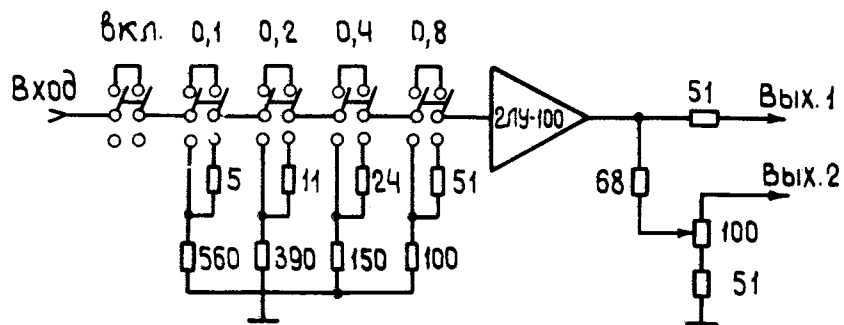


Рис. 2. Схема модифицированного блока усилителя.

Д<sub>3</sub> производит выделение событий по сумме энергий. Дискриминация производится по импульсам тока с фотоумножителей, что повышает точность привязки по времени прохождения частицы. Следует заметить, что дискриминация непосредственно импульсов тока, в отличие от дискриминации по величине заряда, приводит к некоторому размытию отсечки в энергетических спектрах /~ 3%/. Дискриминаторы являются модификацией блока ДИ100<sup>8/</sup>. Их чувствительность увеличена до 5 мВ, введена цепь дифференцирования входного сигнала на кабеле, позволяющая ликвидировать влияние дрейфа "нуля" и загрузок в 90-входном сумматоре на порог срабатывания дискриминаторов.

Сигналы с выходов дискриминаторов подаются на схему совпадения СС-10, на которую также поступает сигнал со сцинтилляционного монитора, соответствующий моменту прохождения пучковой частицы, испытавшей взаимодействие в мишени. Для обеспечения надежного совпадения сигналов на схеме СС-10 длительности выходных импульсов дискриминаторов увеличены до 180 нс. Это связано с наличием зависимости момента срабатывания дискриминатора от меняющейся величины амплитуды спектрометрического сигнала. Максимальный разброс времени срабатывания дискриминаторов равен 100 нс и обусловлен временем нарастания импульсов с ФЭУ-49 в рабочем режиме<sup>9/</sup>.

Установка запускается при одновременном выполнении следующих условий:

1. Совпадение по времени моментов прохождения частиц через детекторы установки /сцинтилляционные и черенковские счетчики/.

2. Превышение энергосуммы в каждом плече черенковских спектрометров заданного порогового значения /дискриминаторы Д<sub>1</sub> и Д<sub>2</sub>/.

3. Превышение суммарного энергосуммы во всех черенковских спектрометрах заданного порога /дискриминатор Д<sub>3</sub>/.

После схемы совпадения СС-10 сигнал формируется по длительности и блокируется на мертвое время установки, которое определяется наибольшим из времен считывания информации в ЭВМ со всех детекторов установки и восстановления характеристик искровых камер после пробы. "Триггерным" сигналом осуществляется запуск искровых камер, запись информации со всех 90 черенковских спектрометров в блоки АП и запуск схемы синхронизации считывания спектрометрической информации в ЭВМ. Считывание информации с искровых камер имеет самостоятельную организацию и осуществляется после окончания приема всей спектрометрической информации<sup>10/</sup>.

Считывание спектрометрической информации производится по каналу прямого доступа /КПД/ в память ЭВМ<sup>11/</sup>. Схема синхронизации по сигналу "триггер" выдает две серии синхронизирующих импульсов: сигналы для синхронизации чтения из АП и сигналы для считывания информации с АЦП. По каждому сигналу чтения четыре импульса из АП параллельно поступают в АЦП, и после окончания преобразования аналог-код /25 мкс/ формируется сигнал считывания информации, который поступает в контроллер. По этому сигналу контроллер последовательно считывает информацию с четырех АЦП и передает ее в ЭВМ.

На рис. 3 изображена временная диаграмма работы при считывании спектрометрической информации. Общее время считывания для 90 спектрометрических каналов равно 1,22 мс.

Для контроля характеристик спектрометрической электроники, фотоумножителей, а также для энергетиче-

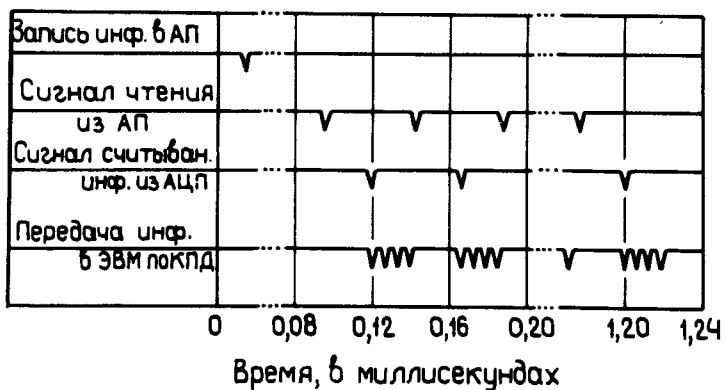


Рис. 3. Временная диаграмма работы установки при считывании спектрометрической информации.

ческих калибровок детекторов в аппаратуре предусмотрены следующие системы контроля:

1. Система для определения коэффициентов передачи, "пьедесталов" и коэффициентов нелинейности 90-канальной спектрометрической электроники <sup>12/</sup>.

2. Система абсолютной проверки и контроля энергетических калибровок спектрометров и учета во времени дрейфа характеристик всех спектрометрических каналов, включая детектор. Система состоит из 90 радиоактивных альфа-источников <sup>241</sup>Am с кристаллами NaJ(Tl) <sup>9/</sup> и генератора реперных световспышек с термостатируемыми светодиодами /СД/ <sup>13/</sup>.

3. Система относительного контроля стабильности ОС. Система состоит из импульсного источника света /искровой разрядник/ и световодов, которые одновременно экспонируют все 90 черенковских детекторов от одной световой вспышки <sup>14/</sup>.

Работой всех систем управляет ЭВМ через выходной регистр, расположенный в крейте КАМАК, и схема запуска, которая осуществляет включение требуемой системы контроля и логическую коммутацию в цепи запуска установки.

### Долговременная стабильность спектрометрической аппаратуры

С помощью систем контроля проводились измерения долговременной стабильности аппаратуры в течение пяти суток. На рис. 4 приведены распределения максимумов дрейфов сигналов от реперных  $\alpha$ -источников /а/ и светодиодов /б/ для всех спектрометрических каналов. Их средние значения находятся на уровне  $\pm 1,3\%$  и определяются в основном дрейфом фотоумножителей. Как видно из рисунка, максимальный дрейф может достигать  $\pm 3,5\%$ .

Для выяснения собственных нестабильностей реперных световспышек производился учет дрейфов фото-

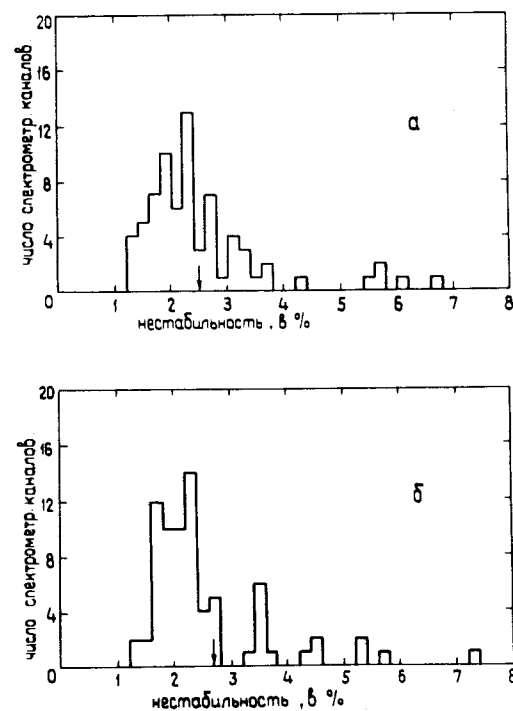


Рис. 4. Распределение дрейфов сигналов от реперных  $\alpha$ -источников /а/ и светодиодов /б/ при непрерывной регистрации в течение пяти суток.

умножителей и электроники отдельно в каждом спектрометрическом канале по формулам:

$$(A_{CD}^i)' = (A_{CD}^i - \Pi^i) \frac{A_a^0 - \Pi^0}{A_a^i - \Pi^i}, \quad /1a/$$

$$(A_{CD}^i)' = (A_{CD}^i - \Pi^i) \frac{A_{0C}^0}{A_{0C}^i \frac{A_a^i(5) - \Pi^i(5)}{A_a^0(5) - \Pi^0(5)}}, \quad /16/$$

где  $A_a$  - амплитуда  $\alpha$ -источника,  $A_{CD}$  - амплитуда светодиода,  $\Pi$  - значение "пьедестала",  $A_{0C}$  - положение пика относительной стабильности с учетом "пьедестала";  $i, 0$  - индексы, соответствующие текущему и начальному времени измерения;  $A_a(5)$  и  $\Pi(5)$  - амплитуды  $\alpha$ -источника и положение "пьедестала" в пятом спектрометрическом канале.

Аналогично /16/ проводилась коррекция данных от  $\alpha$ -источников по системе относительной стабильности.

При учете дрейфов фотоумножителей и электроники по системе относительного контроля в качестве абсо-

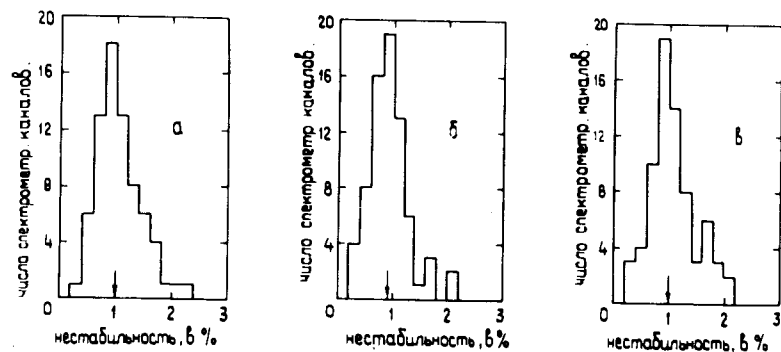


Рис. 5. Распределение нестабильности сигналов от реперных  $\alpha$ -источников /а/ и светодиодов /б/, скорректированных по системе относительной стабильности. Распределение дрейфов сигналов от светодиодов относительно  $\alpha$ -источников /в/ за 5 суток.

лютного репера был выбран  $\alpha$ -источник пятого спектрометрического канала. Затем были взяты максимальные величины отклонений за 5 суток и построены их распределения, рис. 5. Ясно, что в случае абсолютной стабильности реперных источников эти распределения должны быть нулевыми либо иметь среднюю величину, связанную только с погрешностями измерений /ошибки квантования, неодновременность измерений, статистическая неопределенность и проч./. Как видно из рисунка, распределения имеют приблизительно одинаковую среднюю величину на уровне  $\pm 0,5\%$ , из чего можно сделать вывод о сопоставимости величин дрейфа различных реперных сигналов\*. Следовательно, величина собственного дрейфа реперных источников, по крайней мере, в  $\sqrt{2}$  раз меньше, чем среднее значение распределений, т.е. ограничена сверху значением  $\pm 0,35\%$ .

#### Характеристики измерительной спектрометрической системы

1. Чувствительность спектрометрической электроники составляет 300 пКл.

2. Длительность сигнала записи в аналоговую память выбрана равной 600 нс. При этом потери в величине измеряемого заряда не превышают 1% /рис. 6/.

3. Нестабильность коэффициентов передачи электроники для всех 90 спектрометрических каналов не хуже 0,5% за 5 суток.

4. Динамический диапазон регистрирующей электроники - 400 и определяется числом градаций при цифровом кодировании. В этом динамическом диапазоне интегральная нелинейность не превышает 1%. Средняя нелинейность по всем каналам равна 0,6% /рис. 7/.

\* Это может означать также, что дрейф реперных источников существенно меньше средних значений распределений, которые определяются указанными выше ошибками измерений.

Рис. 6. Зависимости доли собранного с ФЭУ заряда /а/ и амплитудного разрешения /б/ от длительности сигнала записи входных ворот.

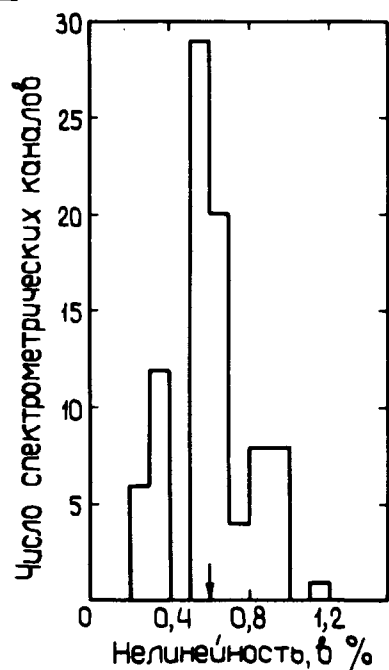
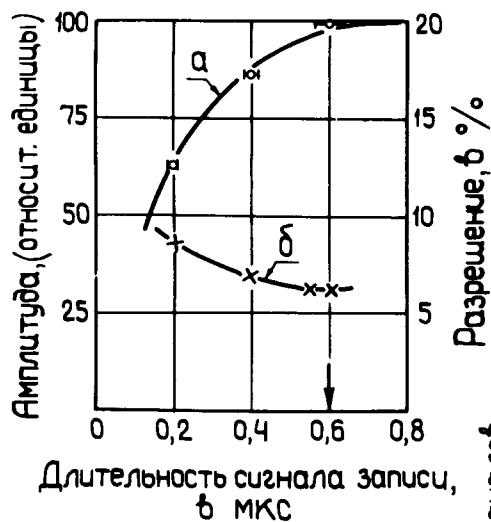


Рис. 7. Распределение значений интегральной нелинейности для всех спектрометрических каналов электроники.

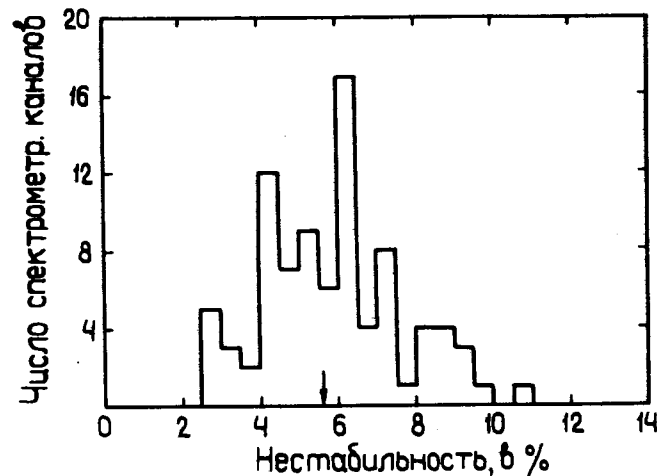


Рис. 8. Распределение нестабильностей "пьедесталов" по всем спектрометрическим каналам за 5 суток.

5. Величина "пьедесталов" во всех 90 спектрометрических каналах составляет ~ 20% от динамического диапазона. Различие величин "пьедесталов" для всех каналов не превышает 10%. Средняя нестабильность "пьедесталов" по всем каналам за 5 суток  $\pm 2,8\%$ . /рис. 8/ и определяется дрейфом "нулей" усилителей ЛУ.

6. Разрешающее время спектрометрической системы составляет 180 нс.

7. Мертвое время спектрометрической части установки равно 1,22 мс. Общее мертвое время установки /~10 мс/ определяется временем передачи информации с системы искровых камер<sup>/10/</sup>.

8. Суммарная задержка на запуск системы равна 490 нс. Она складывается из времени нарастания сигналов с ФЭУ-49, длительности задержек в блоках сумматоров, дискриминаторах и задержек в соединительных кабелях.

9. Собственная нестабильность примененных систем контроля не хуже  $\pm 0,35$  за 5 суток.



В заключение авторы выражают благодарность В.В.Архипову и В.И.Прохорову за помощь при монтаже электроники.

### *Литература*

1. J.J.Aubert et al. *Phys.Rev.Lett.*, 33, 1404 /1974/.
2. J.E.Augustin et al. *Phys.Rev.Lett.*, 33, 1406 /1974/.
3. M.N.Khachaturyan et al. *Nucl.Instr. and Meth.*, 51, 309-314 /1967/.
4. R.G.Astvacaturov et al. *Phys.Lett.*, vol. 27B, No. 1, 45 /1968/.
5. Р.Г.Аствацатуров и др. ОИЯИ, Р1-7309, Дубна, 1973.
6. С.Г.Басиладзе. ПТЭ, 4, 95 /1973/.
7. В.А.Арефьев и др. ОИЯИ, 13-5447, Дубна, 1970.
8. С.Г.Басиладзе и др. ОИЯИ, 13-6383, Дубна, 1972.
9. Нго Куок Быу, В.А.Крамаренко, А.И.Малахов, М.Н.Хачатурян, М.С.Хвастунов. ОИЯИ, 13-7673, Дубна, 1974.
10. Ю.В.Заневский и др. ОИЯИ, Р13-8668, Дубна, 1975.
11. И.Ф.Колпаков, Н.М.Никитюк, В.А.Смирнов, Е.В.Черных. ОИЯИ, 10-7920, Дубна, 1974.
12. С.Г.Басиладзе и др. ОИЯИ, 13-10299, Дубна, 1976.
13. С.Г.Басиладзе и др. ОИЯИ, 13-8386, Дубна, 1974.
14. А.И.Малахов, М.Н.Хачатурян. ОИЯИ, Р13-8365, Дубна, 1975.

*Рукопись поступила в издательский отдел  
8 декабря 1976 года.*