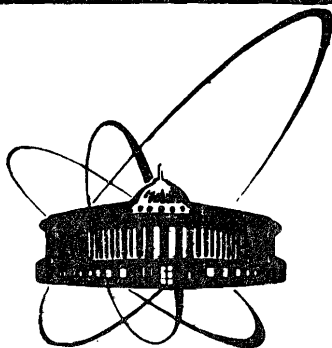




объединенный  
институт  
ядерных  
исследований  
дубна

P1-86-248

Б.Н.Гуськов, Е.Г.Девицин<sup>1</sup>, В.П.Джорджадзе<sup>2</sup>,  
М.В.Завертяев<sup>1</sup>, А.И.Зинченко, М.Н.Капишин,  
В.Н.Козлов<sup>1</sup>, М.Ф.Лихачев, А.Л.Любимов,  
В.В.Павловская<sup>1</sup>, Т.Б.Прогулова<sup>3</sup>,  
Г.Т.Татишвили<sup>2</sup>, В.Д.Чолаков, Е.А.Чудаков<sup>3</sup>

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ АДРОНОВ  
В СПЕКТРОМЕТРЕ БИС-2

Направлено в журнал  
"Приборы и техника эксперимента"

<sup>1</sup> Физический институт АН СССР им.П.Н.Лебедева,  
Москва

<sup>2</sup> Тбилисский государственный университет

<sup>3</sup> Московский государственный университет  
им.М.В.Ломоносова

1986

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

## ВВЕДЕНИЕ

Установка БИС-2/1/ - многочастичный спектрометр (рис.1), конфигурация которого обеспечивает преимущественную регистрацию вторичных частиц, соответствующих области фрагментации нейтронов пучка.

На первых этапах работы в БИС-2 не производилась идентификация заряженных адронов, поэтому круг задач, доступных для решения, был ограничен требованием, чтобы среди регистрируемых вторичных частиц наблюдались  $V^0$ -частицы, т.е.  $\Lambda^0$  ( $\bar{\Lambda}^0$ ) - гипероны и  $K_S^0$ -мезоны, распадающиеся вне мишени. Проводились эффективные поиски и исследования распадающихся с их участием очарованных частиц, узких барионных резонансов и странных частиц<sup>2/</sup>.

Введение в состав спектрометра системы идентификации заряженных адронов расширяет возможности установки: позволяет проводить исследования конечных состояний, не содержащих  $V^0$ -частиц, а также уменьшает уровень фона при изучении конечных состояний с  $V^0$ -частицами.

Аппаратура системы идентификации состоит из двух многоканальных пороговых газовых черенковских счетчиков (МПЧС-1 и МПЧС-2).

Задача системы идентификации - в многочастичных событиях разделять  $\pi^{\pm}/K^{\pm}/p(\bar{p})$  в интервале импульсов этих частиц (3+40) ГэВ/с.

Данная работа посвящена исследованию основных характеристик этой системы.

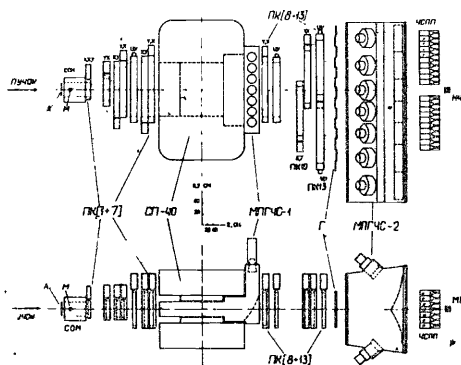


Рис.1 Схема спектрометра БИС-2.

ПК-пропорциональные камеры, А-сцинтилляционный счетчик антисовпадений, М-мишень, Г-годовоскоп сцинтилляционных счетчиков, МН-монитор нейтронов, ЧСП-годовоскоп черенковских счетчиков полного поглощения, СОМ-сцинтилляционные счетчики окружения мишени, МПЧС-1 и МПЧС-2 - многоканальные пороговые газовые черенковские счетчики, СП-40 - спектрометрический магнит.

### МППЧС и их расположение в установке БИС-2

Размещение и размеры счетчиков определялись условиями работы установки БИС-2 на канале  $4H/3$  серпуховского ускорителя: МППЧС-1 установлен между полюсами анализирующего магнита СП-40, МППЧС-2 – за координатными детекторами установки (рис.1). При таком размещении практически все регистрируемые спектрометром заряженные частицы проходят через оба счетчика.

МППЧС предназначались для исследования событий, содержащих 3+5 заряженных частиц, зарегистрированных спектрометром. В связи с этим счетчики были конструктивно разделены на секции (каналы). Каждый канал содержит собственное фокусирующее зеркало и ФЭУ. Счетчики заполнены разными газами при атмосферном давлении.

Конструкции, технология изготовления счетчиков и их физические характеристики подробно описаны в работах<sup>4,5/</sup>.

Количество каналов МППЧС и расчетные пороговые импульсы частиц для черенковского излучения приведены в таблице I.

Таблица I

| Счетчик | Газ      | Кол-во каналов | Порог (ГэВ/с) |      |      |
|---------|----------|----------------|---------------|------|------|
|         |          |                |               |      |      |
| МППЧС-1 | воздух   | 7              | 6,0           | 21,2 | 40,3 |
| МППЧС-2 | фреон-12 | 14             | 3,1           | 10,8 | 20,5 |

В идеальном случае система идентификации позволяет:

- в интервале импульсов  $3 < P < 10$  ГэВ/с – отделять  $\pi^+$  от  $K^+$ ,  $p(\bar{p})$ ;
- в интервале импульсов  $10 < P < 20$  ГэВ/с – полностью разделять  $\pi^+$ ,  $K^+$  и  $p(\bar{p})$ ;
- в интервале импульсов  $20 < P < 40$  ГэВ/с – отделять  $\pi^+$ ,  $K^+$  от  $p(\bar{p})$ .

Выбор газа с относительно высоким порогом черенковского излучения для МППЧС-1 обеспечивает меньшую загрузку этого счетчика, а также исключает из регистрации частицы с небольшими импульсами, испытывающие значительные отклонения в магнитном поле, что упрощает анализ полученной информации.

### Методика анализа экспериментальных данных

Идентификация заряженных частиц, регистрируемых установок БИС-2, осложнена следующими обстоятельствами:

– черенковский свет от одной частицы может попасть одновременно в несколько каналов МППЧС, в среднем – в 1,5 канала в каждом из счетчиков;

– свет от различных частиц может попасть в один и тот же канал МППЧС. Если предположить, что все вторичные частицы являются пионами, то относительное количество частиц, свет от которых полностью смешивается со светом от других частиц того же события, составляет около 30% в МППЧС-1 и 20% в МППЧС-2;

– наблюдаются фоновые сигналы от МППЧС. Их вероятность была определена путем исследования сигналов от каналов, в которые не мог попасть свет от зарегистрированных частиц, она составляет (15-25)% для МППЧС-1 и (10-15)% для МППЧС-2.

Эффективности отдельных каналов МППЧС были измерены в реальных условиях работы спектрометра БИС-2. Использовались события, содержащие только одну вторичную отрицательную заряженную частицу. Для зарегистрированных заряженных частиц рассчитывались характеристики возможного черенковского излучения, попадание света на фокусирующие зеркала и ФЭУ, среднее число фотоэлектронов. Полное число фотоэлектронов, образуемых частицей, определяется формулой:

$$N_{фз}^{tot} = AL \sin^2 \theta, \quad (1)$$

где  $A$  – константа счетчика, расчетное значение которой  $A=80 \text{ см}^{-1}$  для обоих счетчиков.  $L$  (см) – длина радиационной среды счетчика;

$\theta$  – угол черенковского излучения, который связан с массой  $m$ , импульсом  $P$  частицы и показателем преломления  $n$  газового радиатора счетчика следующим образом:

$$\sin^2 \theta = 1 - \frac{P^2 + m^2}{n^2 P^2} \quad (2)$$

Определялись эффективности отдельных каналов МППЧС в зависимости от вычисленного для данного канала числа фотоэлектронов  $N_{фз}$ . Эффективности каналов каждого счетчика оказались близкими и их можно параметризовать соотношениями:

$$\varepsilon_1(N_{\varphi 3}) = 1 - \exp(-0,8 N_{\varphi 3}) \quad (3)$$

и

$$\varepsilon_2(N_{\varphi 3}) = 1 - \exp(-0,3 N_{\varphi 3}) \quad (4)$$

для МПЧС-1 и МПЧС-2 соответственно /4,5/.

Алгоритм анализа многочастичных экспериментальных событий использует полученные значения эффективностей счетчиков.

Для всех заряженных частиц, траектории которых восстановлены, рассматриваются три гипотезы об их массе ( $j = 1, 2, 3$ ), соответствующие пиону, каону и протону (или их античастицам). В рамках каждой гипотезы вычисляется распределение черенковского света и соответствующего числа фотоэлектронов между различными каналами каждого счетчика.

Условная вероятность гипотезы  $j$  для каждой частицы при данной конфигурации сигналов от МПЧС-1 и МПЧС-2 в соответствии с теоремой Байеса пропорциональна условной вероятности наблюдения этой конфигурации сигналов  $W_j$  (при условии справедливости гипотезы  $j$ ) и "априорной" вероятности рождения частиц типа  $j$  в регистрируемых взаимодействиях. Подробное описание процедуры определения условных вероятностей  $W_j$  дано в приложении. Величину  $W_j$ , для удобства нормированную так, что  $\sum_{j=1}^3 W_j = 3$ , назовем "весом" данной гипотезы.

При отсутствии идентификации (импульс частицы - ниже порога свечения пиона, или частица не попадает в апертуру счетчиков):  $W_1 = W_2 = W_3 = 1$ . Значения  $W_j \ll 1$  означают, что вероятность гипотезы  $j$  подавлена, и если при этом две другие гипотезы равновероятны, то их "веса" близки к 1,5; при однозначном выделении гипотезы  $j$  значение "веса"  $W_j$  близко к 3.

#### Характеристики системы идентификации

Исследование возможностей системы идентификации заряженных частиц основано на анализе данных экспериментов на установке БИС-2 по изучению очарованных частиц и узких барьонных резонансов.

Частицы определенного типа отбирались по величинам соответствующих "весов". Эффективность правильной идентификации, связанная с потерями частиц нужного типа, а также уровень подавления частиц

других типов зависит от знака частицы и её импульса. При отборе  $K^-$  - мезонов необходимо подавить фон только от  $\pi^-$  - мезонов, поскольку количество антипротонов мало. При отборе  $K^+$  - мезонов вклад в фон дают как  $\pi^+$  - мезоны, так и протоны.

Для определения эффективности идентификации пионов и протонов использовались события, содержащие  $V^0$ :

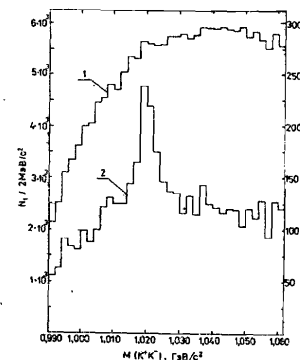
$$K_S^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-, \quad (5)$$

$$\Lambda^0 \rightarrow p \pi^-, \quad (6)$$

что позволило выделить положительные частицы:  $\pi^+$  в процессе (5), имеющие импульсы в интервале от 2 до 25 ГэВ/с, и протоны в процессе (6), имеющие импульсы от 5 до 30 ГэВ/с. Отбирались  $V^0$  - частицы, для которых выполнялись условия  $W_{\pi^+} > W$ ,  $W_p > W$  соответственно для процессов (5) и (6), где  $W$  варьировалось от 0 до 3.

При наложении этих условий, наряду с подавлением фона под массовыми пиками  $K_S^0$  и  $\Lambda^0$ , теряется некоторая часть полезного сигнала. В частности, при  $W = 0,4$  теряется около 2% и 4% полезных комбинаций из пика и "выбрасывается" около 35% и 25% фоновых комбинаций, соответственно в процессах (5) и (6). При увеличении  $W$  отношение сигнал/фон меняется слабо. При  $W = 2$  теряется около 15% и 25% полезного сигнала в процессах (5) и (6) соответственно. При изменении  $W$  от 0 до 1,4 импульсные спектры  $p$  и  $\pi^+$  практически не искажаются.

Рис. 2 Спектры эффективных масс комбинаций  $K^+ K^-$ . 1 - гистограмма, полученная без идентификации каонов ( $N_1$  - число событий), 2 - гистограмма, полученная с идентификацией каонов ( $N_2$  - число событий).



Идентификация заряженных каонов исследовалась с помощью процесса

$$\Phi(1020) \rightarrow K^+ K^- \quad (7)$$

выделение которого иллюстрирует рис.2. Массовое распределение

$M(K^+ K^-)$  без использования системы идентификации представлено кривой 1, а кривой 2 – то же распределение для частиц, удовлетворяющих условиям  $W_{K^+} > 1,4$ ,  $W_{K^-} > 1,4$ . В последнем распределении виден пик, соответствующий распадам (7), с отношением сигнал/фон около 1/2. Использование системы идентификации позволило снизить уровень фона приблизительно в 40 раз.

Наблюдение сигнала (7) при наложении ограничения на "вес" только кандидата в отрицательный каон  $W_{K^-} > 1,4$ , позволило исследовать эффективность идентификации положительного каона в зависимости от нижней границы его "веса"  $W_{K^+} > W$ . В частности, при  $W = 1,4$  теряется около 15% полезных комбинаций из пика и выбрасывается около 75% фоновых. При  $W > 1,5$  эффективность идентификации резко падает – теряется более 80% полезного сигнала. Кандидаты в положительный каон имеют импульсы в интервале (4+16) ГэВ/с, наложение условия  $W_{K^+} > 1,4$  практически не искажает их импульсный спектр.

Эффективность идентификации отрицательных и положительных каонов в одном импульсном интервале должны быть близкими. Из приведенных данных следует, что условие  $W_{K^-} > 1,4$  позволяет снизить уровень фона под пиком  $\Phi(1020)$  приблизительно в 10 раз.

Система идентификации заряженных адронов была применена при исследовании очарованных частиц и узких барионных резонансов, распадающихся с участием  $V^0$ - частиц:

$$\Lambda_c^+ \rightarrow K_s^0 p \pi^+ \pi^- \quad (8)$$

$$N_{\Phi(1960)} \rightarrow \Sigma^{*-} K^+ (\Sigma^-(1385) \rightarrow \Lambda^0 \pi^-) \quad (9)$$

Пик, соответствующий распаду (8), наблюдается в спектре эффективных масс комбинаций  $K_s^0 p \pi^+ \pi^-$  (рис.3, незаштрихованная гистограмма), полученных на части имеющейся статистики тем же методом, что и в предыдущем эксперименте на установке БИС-2<sup>6/</sup>.

События, из которых построены эти комбинации, подвергались дальнейшему анализу с помощью системы идентификации – отбраковались кандидаты в  $\pi^+$ , удовлетворяющие условию  $W_{\pi^+} > 0,1$ , и кандидаты в протон –  $W_p > 0,9$ , что соответствует незначительной потере сигнала в соответствии с результатами анализа  $V^0$ - частиц.

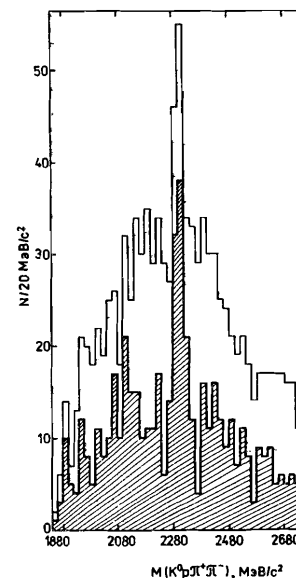


Рис.3 Спектры эффективных масс комбинаций  $K_s^0 p \pi^+ \pi^-$ , полученные без идентификации адронов (незаштрихованная гистограмма) и с идентификацией протона и  $\pi^-$ - мезона (заштрихованная гистограмма).

Спектр эффективных масс комбинаций, удовлетворяющих этим условиям, построен на рис.3 (заштрихованная гистограмма). При практически полном сохранении сигнала  $\Lambda_c^+$ , фон под пиком уменьшился примерно на 50%.

Распад узкого барионного резонанса (9) был обнаружен ранее в экспериментах на установке БИС-1<sup>7/</sup> и БИС-2<sup>8/</sup>. Так как распады  $\Sigma^{*-} \rightarrow \Lambda^0 \pi^-$  идентифицируются спектрометром, задача состояла в идентификации  $K^+$ - мезона.

Спектр эффективных масс комбинаций  $\Lambda^0 \pi^- K^+$ , при массе системы ( $\Lambda^0 \pi^-$ ) в области массы  $\Sigma^-$  (1385) резонанса, представлен на рис.4 (незаштрихованная гистограмма). Применение критерия отбора  $W_{K^+} > 1,4$  привело к подавлению уровня фона в ~3 раза (рис.4 заштрихованная гистограмма).

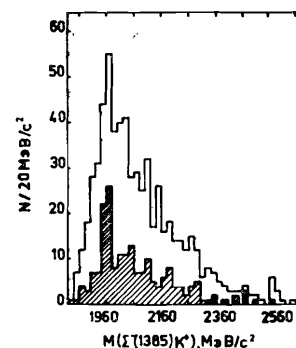


Рис. 4 Спектры эффективных масс комбинаций  $\Sigma^-(1385) K^+$ , полученные без идентификации каона (незаштрихованная гистограмма) и с идентификацией каона (заштрихованная гистограмма).

### Заключение

Создана система идентификации заряженных адронов для спектрометра БИС-2 на основе двух многоканальных пороговых газовых черенковских счетчиков. Разработан алгоритм анализа информации со счетчиков.

Результаты исследования показали, что система идентификации обладает достаточной эффективностью для идентификации заряженных адронов в многочастичных событиях. Она позволила выделить процессы с участием заряженных каонов (например  $\Phi(1020) \rightarrow K^+ K^-$ ) и существенно понизила уровень фона при исследовании процессов, содержащих  $V^0$  (в процессах  $\Lambda_c^+ \rightarrow K_s^0 p \pi^+ \pi^-$  приблизительно на 50% и  $N_{\Phi}(1960) \rightarrow \Sigma^-(1385) K^+$  на ~70%).

В заключение авторы благодарят Т.С.Григалашвили и сотрудников СНЭО ОИЯИ за помощь в монтаже и наладке черенковских счетчиков, а также всех участников сотрудничества БИС-2, принимавших участие в подготовке и проведении сеансов по набору статистики и участвовавших в обработке первичной экспериментальной информации.

Авторы благодарят В.Д.Кекелидзе за постоянный интерес к работе и полезные обсуждения.

### Литература

1. Айхнер Г. и др. ОИЯИ, I-80-644, Дубна, 1980.
2. Говорун Н.Н. и др. ОИЯИ, I-84-457, Дубна, 1984.
3. Алеев А.Н. и др. ОИЯИ, I-83-910, Дубна, 1983.
4. Гуськов Б.Н. и др. ОИЯИ, I3-84-373, Дубна, 1984; ПТЭ, 1985, № 5, с.49.
5. Войчишин М.Н. и др. ОИЯИ, I3-84-161, Дубна, 1984; ПТЭ, 1985, № 3, с.71.
6. Aleev A.N. et.al. Z.Phys. C23 (1984) 333.
7. Алеев А.Н. и др. ЯФ, 1981, 34, с.386.
8. Aleev A.N. et.al. Z.Phys. C25 (1984) 205.
9. Акерлоф К. и др. Препринт ИФВЭ 77-86, Серпухов, 1977.

### Вычисление вероятностей гипотез о типе частиц

Вычислим условную вероятность  $W_{nj}$  наблюдаемой конфигурации сигналов с МПЧС в предположении справедливости гипотезы номер  $j$  ( $j = 1, 2, 3$  - пион, каон или протон) для частицы номер  $n$  ( $n = 1, 2, \dots, N$ ;  $N$  - число зарегистрированных частиц в данном событии).

Обозначим условную вероятность наблюдаемого события в канале  $i$  (есть или нет сигнала), при условии выполнения гипотезы  $j$  относительно частицы  $n$ , через  $W_{nji}$ . При вычислении величин  $W_{nji}$  необходимо учесть:

- а) вероятность фоновое срабатывания канала -  $B_i$ ;
- б) эффективность регистрации частицы -  $\varepsilon(l_{nji})$ , зависящую от рассчитанного для данного канала числа фотоэлектронов  $l_{nji}$  и определяемую формулами (3 и 4).

С учетом этого условная вероятность отсутствия в канале сигнала равна:

$$W_{nji} = (1 - B_i)(1 - \varepsilon(l_{nji})) \prod_m (1 - \varepsilon(l_{mki}))$$

где  $m$  - номер ассоциативной частицы (другой частицы данного события), которая могла дать свет в канал  $i$  ( $m \neq n$ ).

В целях упрощения алгоритма для ассоциативных частиц рассматривается только одна - наиболее вероятная гипотеза об их массе, в данном случае гипотеза  $K$  для частицы номер  $m$ .

Условная вероятность наличия сигнала в канале  $i$  равна

$$W_{nji} = 1 - (1 - B_i)(1 - \varepsilon(l_{nji})) \prod_m (1 - \varepsilon(l_{mki}))$$

Принимая во внимание все каналы, в которые мог попасть свет от данной частицы, получаем значения трех условных вероятностей наблюдения определенной конфигурации сигналов:

$$W_{nj} = \prod_i W_{nji}$$

Процедура учета влияния ассоциативных частиц носит итерационный характер, вероятность частице номер  $m$  быть частицей типа  $K$

равна произведению условной вероятности  $W_{mk}$ , полученной на преддущем шаге, на "априорную вероятность" для данной частицы быть пионом, каоном или протоном. На первом шаге  $W_{mk} = 1$ . "Априорные вероятности" определялись с помощью измеренных инклюзивных спектров частиц в  $pN$  - взаимодействиях при 69 ГэВ/с<sup>19</sup>. Они зависят от знака и импульса частиц.

Рукопись поступила в издательский отдел  
25 апреля 1986 года.

# НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

|               |                                                                                                                                                              |             |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Д17-81-758    | Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.                                                              | 5 р. 40 к.  |
| Р18-82-117    | Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.                | 3 р. 80 к.  |
| Д2-82-568     | Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.                                                                       | 1 р. 75 к.  |
| Д9-82-664     | Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.                                                                                              | 3 р. 30 к.  |
| Д3,4-82-704   | Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.                                                                                              | 5 р. 00 к.  |
| Д11-83-511    | Труды совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1982.                                   | 2 р. 50 к.  |
| Д7-83-644     | Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.                                                                                    | 6 р. 55 к.  |
| Д2,13-83-689  | Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.                                                           | 2 р. 00 к.  |
| Д13-84-63     | Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.                                                                   | 4 р. 50 к.  |
| Д2-84-366     | Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.                                                                           | 4 р. 30 к.  |
| Д1,2-84-599   | Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.                                                                          | 5 р. 50 к.  |
| Д17-84-850    | Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. /2 тома/                                                    | 7 р. 75 к.  |
| Д10,11-84-818 | Труды V Международного совещания по проблемам математического моделирования, программированию и математическим методам решения физических задач. Дубна, 1983 | 3 р. 50 к.  |
|               | Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984 /2 тома/                                                                        | 13 р. 50 к. |
| Д4-85-851     | Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1985.                                                                                                   | 3 р. 75 к.  |

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:  
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79  
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований