

Ереванский физический институт

На правах рукописи

УДК 539.12

РАВИНОВИЧ ИЛЬЯ МОИСЕЕВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНКЛЮЗИВНЫХ И КОРРЕЛЯЦИОННЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССОВ РОЖДЕНИЯ ПРОТОНОВ
В ЯДРО-ЯДЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ ИМПУЛЬСЕ
4.2 ГэВ/с НА НУКЛОН

О1.04.16 - Физика атомного ядра и элементарных
частиц

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Ереван-1989

Работа выполнена в Ереванском физическом институте и в
Объединенном институте ядерных исследований

Научный руководитель: кандидат физико-математических наук
ГУЛКНЯН Г.Р.

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук
КОПЕЛИОВИЧ Б.З. (ЛНП ОИЯИ)
кандидат физико-математических наук
ШАРАБЯН Ю.Г. (ЕрФИ)

Ведущая организация: Институт теоретической и эксперимен-
тальной физики (ИТЭФ), г. Москва.

Защита состоится "___" _____ 1989 г. в "___" ча-
сов на заседании Специализированного совета Д 034.03.01
при Ереванском физическом институте (г. Ереван, ул. братьев
Алиханян, 2).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
Ереванского физического института.

Автореферат разослан "___" _____ 1989 г.

Ученый секретарь
Специализированного совета, кандидат
физико-математических наук

В.А. Шахбазян

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Интерес к взаимодействиям реля-
тивистских ядер вызван, в первую очередь, тем, что в них
могут создаваться предпосылки для возникновения качественно
новых явлений, обусловленных коллективным характером взаи-
модействия вовлеченных в ядро-ядерное столкновение большого
количества нуклонов. Веским указанием на существование таких
явлений могло бы послужить экспериментальное наблюдение эф-
фектов, не сводящихся к простой суперпозиции нуклон-нуклон-
ных (нуклон-ядерных) столкновений. Для этого необходимы де-
тальные исследования множественных, инклюзивных, корреля-
ционных характеристик вторичных продуктов взаимодействия
(в основном пионов и протонов) в широкой области изменения
энергии и атомных весов сталкивающихся ядер.

Важным источником информации о структурных особенностях
ядер на малых расстояниях и о механизмах ядерных реакций при
высоких энергиях может служить изучение процессов кумулятив-
ного рождения частиц. Явление кумулятивного образования про-
тонов представляет собой, по-видимому, сложный процесс, в
который могут входить различные механизмы. Для их изуче-
ния особую важность приобретают корреляционные эксперименты,
в которых наряду с кумулятивным протоном регистрируются так-
же сопровождающие его частицы. Новые закономерности рожде-
ния кумулятивных частиц могут проявляться также при исполь-
зовании в качестве снаряда атомных ядер.

Целью настоящей диссертационной работы является получе-
ние новых экспериментальных данных о множественных, инклюзив-
ных и корреляционных характеристиках реакций образования
протонов (в том числе кумулятивных) в ядро-ядерных взаимо-
действиях при импульсе 4.2 ГэВ/с на нуклон, позволяющих осу-
ществить экспериментальную проверку предсказаний ряда теоре-
тических моделей и получить информацию о роли различных ме-
ханизмов в процессах множественного рождения в ядерных стол-
кновениях.

Новизна и научная ценность работы. При выполнении рабо-
ты получены следующие новые результаты:

1. Получены новые экспериментальные данные по инклюзивным сечениям образования кумулятивных протонов во взаимодействиях протонов, ядер дейтерия, гелия и углерода с ядрами углерода и тантала при импульсе 4.2 ГэВ/с на нуклон. Подтверждена предсказываемая моделью малонуклонных корреляций приближенная факторизуемость инклюзивных сечений образования кумулятивных протонов в зависимости от атомных весов сталкивающихся ядер.

2. Получены новые экспериментальные данные по инвариантным дифференциальным сечениям кумулятивных протонов во взаимодействиях протонов, ядер дейтерия, гелия и углерода с ядром углерода при импульсе 4.2 ГэВ/с на нуклон. Впервые наблюдается смещение угловых распределений кумулятивных протонов в сторону меньших углов при увеличении атомного веса ядра-снаряда. Показано, что предсказываемая моделью малонуклонных корреляций универсальность спектров кумулятивных протонов имеет место в области сравнительно небольших углов их вылета ($\theta_p < 130^\circ$). В области $\theta_p > 130^\circ$ наблюдаются отклонения от универсальности для случая углерод-углеродных взаимодействий.

3. Получены новые экспериментальные данные по корреляционным характеристикам реакций рождения кумулятивных протонов во взаимодействиях протонов и ядер с ядрами при первичном импульсе 4.2 ГэВ/с на нуклон. Впервые наблюдаются корреляции между выходом кумулятивных протонов и относительным выходом π^+/π^- -мезонов. Обнаружены кинематические корреляции между парой протонов (один из которых кумулятивный), обусловленные механизмом поглощения вторичных π^+ -мезонов на квазидейтронной паре в ядре, и впервые получена экспериментальная оценка вклада этого механизма в образование кумулятивных протонов в нуклон-ядерном взаимодействии при импульсах $4 + 10$ ГэВ/с. Получены новые экспериментальные данные по корреляциям между кинематическими переменными пионов и кумулятивных протонов; показано, что наблюдаемые корреляции не объясняются каскадной моделью, но могут быть интерпретированы в рамках модели малонуклонных корреляций.

4. Получены новые экспериментальные данные по множественным и корреляционным характеристикам процессов образова-

ния нерелятивистских протонов в ядро-ядерных столкновениях. Показано, что для тяжелой мишени (Ta) имеет место приближенная линейная связь между средним числом протонов из области фрагментации мишени и расчетным значением провзаимодействовавших нуклонов мишени. Впервые для ядро-ядерных взаимодействий исследованы корреляции между множественностями π^- -мезонов и нерелятивистских протонов; показано, что экспериментально наблюдаемые корреляции описываются в рамках моделей, основанных на предположении независимых нуклонных взаимодействий.

Практическая ценность работы заключается в следующем:

Полученные в диссертации результаты позволяют осуществить экспериментальную проверку предсказаний ряда теоретических моделей, могут быть использованы при планировании новых экспериментов.

Апробация работы. Вошедшие в основу диссертации работы /1-7/ были доложены на II, III, IV и V Всесоюзных рабочих совещаниях по предельной фрагментации ядер (ИТЭФ, Москва, 1982, 1986 гг.; Нор-Амберд, Ереван, 1984, 1988 гг.); на Совещании по исследованиям корреляционных эффектов в кумулятивном рождении частиц (ОИЯИ, Дубна, 1987 г.); на V и VI конференциях молодых ученых ЕрФИ (Нор-Амберд, Ереван, 1981, 1986 гг.); на Совещаниях международного сотрудничества по исследованиям на двухметровой пропановой камере ЛВЭ ОИЯИ; на семинарах ЕрФИ и ЛВЭ ОИЯИ.

Публикации. Основное содержание работы опубликовано в журнале "Ядерная физика", в препринтах и сообщениях ЕрФИ и ОИЯИ.

Объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав и заключения, содержит 105 страниц машинописного текста, включая 41 рисунок и 13 таблиц. Список литературы содержит 60 наименований.

Автор защищает:

1. Результаты обработки и анализа взаимодействий протонов, ядер дейтерия, гелия и углерода с ядрами углерода и тантала при первичном импульсе 4.2 ГэВ/с на нуклон.

2. Экспериментальные данные, полученные при исследова-

нии множественных и инклюзивных характеристик кумулятивных протонов во взаимодействиях протонов и легких релятивистских ядер d , He и C с ядрами углерода и тантала.

3. Экспериментальные данные, полученные при анализе корреляционных характеристик реакций рождения кумулятивных протонов в столкновениях протонов и легких релятивистских ядер с ядрами углерода.

4. Экспериментальные данные, полученные при изучении множественных и корреляционных характеристик в процессах образования нерелятивистских протонов в ядро-ядерных взаимодействиях при первичном импульсе 4.2 ГэВ/с на нуклон.

II. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность проведенных исследований, сформулирована цель диссертационной работы, научная новизна и ценность полученных результатов, приведено краткое содержание диссертации.

В первой главе диссертации описаны методические вопросы получения и обработки экспериментальных данных.

Экспериментальный материал был получен с помощью двухметровой пропановой пузырьковой камеры с внутренней мишенью из трех танталовых пластин, помещенной в магнитное поле напряженностью $H = 15$ кГс.

Камера экспонировалась в пучках протонов и легких релятивистских ядер d , 4He и ^{12}C на синхрофазотроне ЛВЭ ОИЯИ при первичном импульсе 4.2 ГэВ/с на нуклон. В диссертации приводятся общие характеристики камеры и системы фотографирования.

Просмотр стереоснимков проводился на просмотрных столах БПС-1 и БПС-2. Отобранные события измерялись затем на полуавтоматах типа ПУОС и САМЕТ. Математическая обработка измеренных событий производилась с помощью программы геометрической реконструкции ГЕОФИТ на ЭВМ CDC-6500 и БЭСМ-6. После проверки качества измерения и восстановления треков события записывались на ленту суммарных результатов.

Во второй главе диссертации исследуются множественные и инклюзивные характеристики кумулятивных протонов с импуль-

сами (250 + 750) МэВ/с, образующихся во взаимодействиях протонов, ядер дейтерия, гелия и углерода при импульсе 4.2 ГэВ/с на нуклон.

Получены инклюзивные сечения $\sigma_{A_p A_T}^k$ (проинтегрированные в угловом интервале $90 + 180^\circ$) образования кумулятивных протонов и показано, что их можно приближенно описывать факторизованным выражением $\sigma_{A_p A_T}^k = \sigma_0 A_p^{\alpha} A_T^{\beta}$ (где A_p - атомный вес ядра-снаряда, A_T - мишени) с параметрами $\sigma_0 = (1.86 \pm 0.16)$ мб; $\alpha = 0.66 \pm 0.02$, $\beta = 1.24 \pm 0.02$ (см. рис. 1).

Показано, что предсказываемое моделью малонуклонных корреляций универсальное правило для инклюзивных спектров для различных областей по кинематическим переменным кумулятивных протонов (т.е. независимость от атомного веса ядра-снаряда A_p при нормировке на полное неупругое сечение взаимодействия нуклона с ядром-снарядом $\sigma_{nA_p}^k$) имеет место в области сравнительно небольших углов их вылета ($\theta_p < 130^\circ$). В области $\theta_p > 130^\circ$ наблюдаются отклонения от универсальности для случая углерод-углеродных взаимодействий (см. рис. 2). Делается вывод о том, что на характер зависимости инвариантных спектров от A_p заметное влияние оказывают эффекты разрушения нуклонных корреляций в ядре-мишени и перераспределение кумулятивных протонов в ядре-снаряде. Последнее обстоятельство проявляется также в том, что при увеличении атомного веса налетающего ядра происходит смещение угловых распределений в сторону меньших углов (см. рис. 3).

Экспериментальные данные по множественностям и импульсным спектрам кумулятивных протонов сравниваются с предсказаниями Дубненской каскадной модели (ДКМ). Показано, что модель в целом неплохо описывает указанные распределения, хотя имеется некоторое превышение расчетных средних множественностей над экспериментальными, а импульсные спектры в модели предсказываются несколько более жесткими, чем на эксперименте.

В третьей главе исследуется ряд корреляционных характеристик в реакциях образования кумулятивных протонов.

Для исследования механизма поглощения сравнительно малоэнергичных пионов коррелированной (квазидейтронной) парой с вылетом протона в заднюю полусферу анализировались взаимодей-

ствия протонов, дейтронов, гелия и углерода с ядрами углерода при первичном импульсе 4.2 ГэВ/с на нуклон. События разделялись на две группы: с наличием и отсутствием кумулятивного протона. Для каждой группы вычислялось отношение импульсных спектров π^+/π^- -мезонов, представленное на рис. 4. Как видно из рисунка, рождение кумулятивного протона сопровождается уменьшением относительного выхода π^+ -мезонов в области импульсов, примерно соответствующих максимуму сечения реакции $\pi^+d \rightarrow pp$. Такая корреляция указывает на заметную роль механизма поглощения вторичных π^+ -мезонов в процессе образования кумулятивных протонов.

Для количественной оценки вклада вышеуказанного механизма исследуются кинематические корреляции между парой протонов, один из которых кумулятивный. Используется инвариантная переменная следующего вида:

$$\mu_1^2 = (T_1 + T_2)^2 - (\vec{P}_1 + \vec{P}_2)^2$$

где $T_1, T_2, \vec{P}_1, \vec{P}_2$ — кинетические энергии и импульсы протонов. Если механизм $\pi^+d \rightarrow pp$ дает заметный вклад в образование кумулятивных протонов, то в распределении по μ_1^2 должен наблюдаться пик в области $\mu_1^2 = \mu_{\pi}^2$ с небольшим смещением (примерно на $\Delta\mu_1^2 \sim 0.05$ (ГэВ/с²)²) в сторону меньших значений μ_1^2 из-за энергии связи пары нуклонов в ядре и расширением пика (примерно на 0.1 (ГэВ/с²)²) из-за ферми-движения квазидейтрона. На рис. 5 приведено экспериментальное распределение по величине μ_1^2 в нуклон-углеродных взаимодействиях при импульсах 4 + 10 ГэВ/с. Наблюдаемая кинематическая корреляция между парой протонов интерпретируется как проявление механизма поглощения на квазидейтронной паре. Приведенные экспериментальные данные неплохо согласуются с расчетами в рамках ДКМ (гистограмма на рис. 5), в которой учтен вклад указанного механизма.

Экспериментальная оценка вклада процесса $\pi^+d \rightarrow pp$ в образование кумулятивных протонов проводилась путем вычитания экспериментального и фонового распределений (фоновая кривая, изображенная пунктиром на рис. 5, получена путем перемешивания протонов из разных событий). Вклад этого процесса в

инклюзивное сечение образования кумулятивных протонов с импульсами (250 + 750) МэВ/с оказался равным (22 ± 3)%. С учетом другого канала поглощения $\pi^+d \rightarrow p\pi$ этот вклад может возрасти до (33 ± 6)%.

Исследовались также корреляции между кинематическими переменными пионов и кумулятивных протонов во взаимодействиях ядер дейтерия, гелия и углерода с ядрами углерода.

Наблюдена зависимость средней скорости пионов, вылетающих вперед в л.с.к., от поперечного импульса P_{\perp}^{π} и кумулятивного числа $\beta_{\perp}^{\pi} = (E^{\pi} - P_{\perp}^{\pi})/m_{\pi}$ протона (см. рис. 6). Такая зависимость не описывается в рамках ДКМ (гистограмма на рис. 6), однако она качественно объясняется в модели малонуклонных корреляций (пунктирная кривая на рис. 6).

В четвертой главе исследуется множественное образование нерелятивистских протонов (q -частиц) и коррелированное с ними рождение π^- -мезонов во взаимодействиях P, d, He и C с ядрами тантала и углерода.

На рис. 7 представлена зависимость средней множественности q -частиц $\langle n_q \rangle$ от среднего числа провзаимодействовавших нуклонов ядра мишени $\langle \nu_T \rangle = A_T \cdot b_{NA}^{2A} / b_{A,AT}^A$. Видно, что для тяжелой мишени тантала имеет место приближенная линейная связь между $\langle n_q \rangle$ и $\langle \nu_T \rangle$.

На рис. 8 приведена зависимость средней множественности π^- -мезонов от числа q -частиц во взаимодействиях p, d, He, C с ядрами тантала и углерода. Видна четко выраженная положительная корреляция между множественностями q -частиц и π^- -мезонов, усиливающаяся с увеличением размеров ядра-снаряда. Кривые на рис. 8 — результат расчетов в оптическом приближении по модели независимых взаимодействий нуклонов сталкивающихся ядер, гистограммы — расчет по ДКМ. Видно, что модели, основанные на предположении независимых нуклонных взаимодействий, описывают экспериментально наблюдаемые корреляции между множественностями π^- -мезонов и q -частиц. Даже при малых прицельных столкновениях ядер, когда количество вовлеченных во взаимодействие нуклонов достигает нескольких десятков (как в случае Ca -взаимодействий), не наблюдаются эффекты, свидетельствующие о заметном вкладе других механизмов генерации пионов.

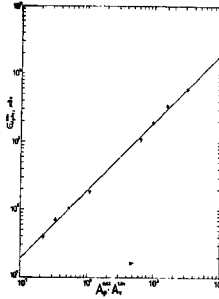


Рис. 1

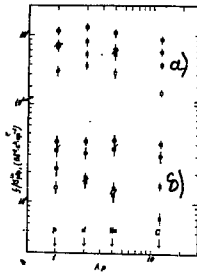


Рис. 2

10

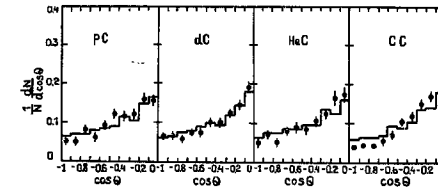


Рис. 3

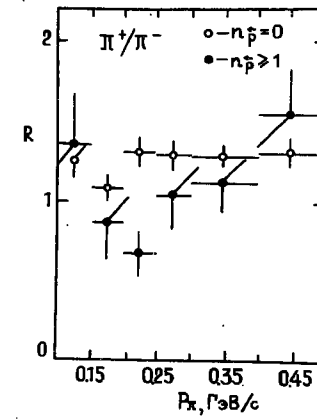


Рис. 4

11

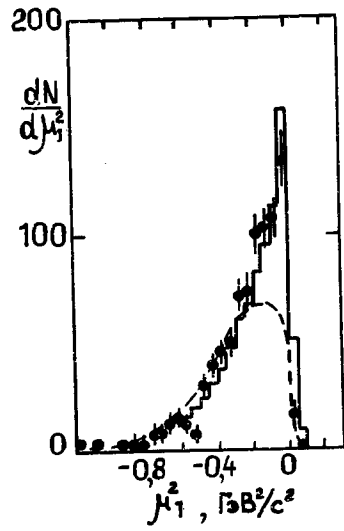


Рис. 5

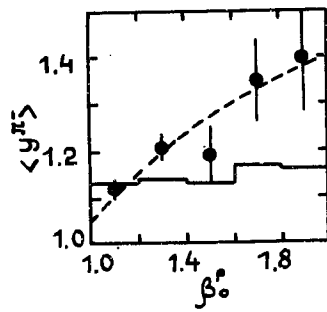


Рис. 6

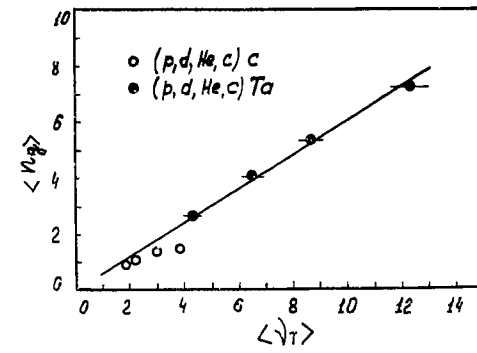


Рис. 7

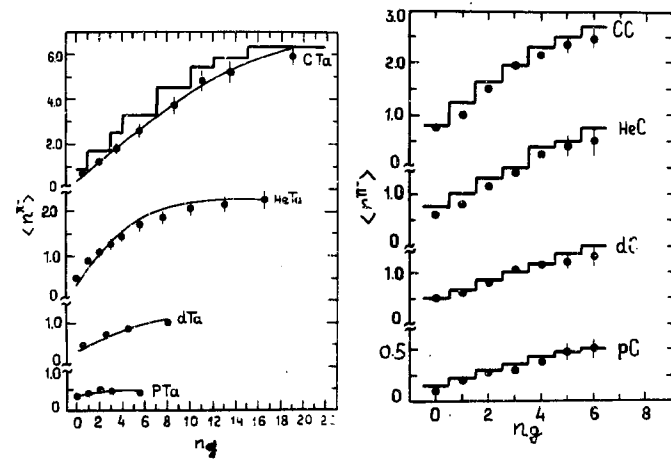


Рис. 8

В заключении сформулированы результаты, полученные в диссертации.

Подписи к рисункам

- Рис. 1. Зависимость инклюзивных сечений рождения кумулятивных протонов от атомных весов сталкивающихся ядер.
- Рис. 2. Инвариантные сечения кумулятивных протонов, нормированные на σ_{pAp} , в зависимости от A_p :
 а) для $T_p = 25 \div 75$ МэВ; б) для $T_p = 75 \div 275$ МэВ
 ● - для $\theta_p = 90 \div 100^\circ$; ■ - для $\theta_p = 100 \div 110^\circ$;
 ○ - для $\theta_p = 110 \div 130^\circ$; ▨ - для $\theta_p = 130 \div 180^\circ$
- Рис. 3. Угловые распределения кумулятивных протонов в pC-, dC-, HeC- и CC-взаимодействиях. Точки - эксперимент, гистограмма - расчет по ДКМ.
- Рис. 4. Отношение импульсных спектров π^+/π^- -мезонов в двух случаях:
 ○ - без наличия протона-назад;
 ● - с наличием протона-назад.
- Рис. 5. Распределение по величине M^2 . Точки - эксперимент; пунктир - фон; гистограмма - расчет по ДКМ.
- Рис. 6. Зависимость средней скорости π^- -мезонов от кумулятивного числа β_0^p -протонов. Пунктирная кривая - предсказание модели малонуклонных корреляций.
- Рис. 7. Зависимость среднего числа ψ -частиц от $\langle \nu \rangle_T$.
- Рис. 8. Зависимость средней множественности π^- -мезонов от числа ψ -частиц. Точки - эксперимент; кривые - расчет (см. текст); гистограммы - расчет по ДКМ.

Л и т е р а т у р а

1. Гулкянц Г.Р., Корчагин С.А., Равинович И.М. Описание корреляций между множественностями π^- -мезонов и нерелятивистских протонов в ядро-ядерных взаимодействиях при импульсе 4.2 ГэВ/с на нуклон. - Ереван, 1982. - 13 с. (Препринт/Ереванск. физич. ин-т: ЕФИ-552(39)-82).

2. Гулкянц Г.Р., Корчагин С.А., Равинович И.М. Экспериментальная оценка вклада вторичных неупругих взаимодействий во множественность π^- -мезонов в pA-взаимодействиях. - Ереван, 1982. - 10 с. (Препринт/Ереванск. физич. ин-т: ЕФИ-602(89)-82).

3. Гулкянц Г.Р., Киракосян В.А., Корчагин С.А., Равинович И.М. Наблюдение корреляций между выходом протонов-назад и относительным выходом π^+/π^- -мезонов в ядро-ядерных столкновениях при импульсе 4.2 ГэВ/с на нуклон. - Ереван, 1983. - 10 с. (Препринт/Ереванск. физич. ин-т: ЕФИ-643(33)-83).

4. Гулкянц Г.Р., Равинович И.М. Описание данных по сечениям поглощения малоэнергичных π^+ -мезонов ядрами. В сб. Шестая конференция молодых ученых ЕрФИ по актуальным проблемам электро- и фоторождения на нуклонах и ядрах. - Ереван, 1986, с. 25-26.

5. Армутлийски Д., Гаспарян А.П., Гришин В.Г. и др. Экспериментальная оценка вклада вторичных процессов поглощения в образование протонов, испущенных в заднюю полусферу, в нуклон-углеродных взаимодействиях при импульсах 4.2 и 10 ГэВ/с. - ЯФ, 1987, т. 46, вып. 6(12), с. 1712-1715.

6. Гулкянц Г.Р., Равинович И.М., Чеплаков А.П. Изучение корреляций между кинематическими переменными пионов и кумулятивных протонов в ядро-ядерных взаимодействиях при импульсе 4.2 ГэВ/с на нуклон. - Сообщение ОИЯИ, Р1-88-143, Дубна, 1988. - 5 с.

7. Гулкянц Г.Р., Равинович И.М., Чеплаков А.П. Инклюзивные и множественные характеристики кумулятивных протонов в ядро-ядерных взаимодействиях при импульсе 4.2 ГэВ/с на нуклон. - Дубна, 1988. - 14 с. (Препринт/Объедин. ин-т ядерн. исслед.: ОИЯИ-Р1-88-685).

Технический редактор А.С.Абрамян

Подписано в печать 24.03.89

ВФ-02020 Формат 60x84/16

Офсетная печать.

Тираж 170 экз.

Зак.тип.№ 294

Индекс 3624

Ипечатано в Ереванском физическом институте
реван 36, ул.Братьев Алиханян, 2