

Б-275

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория нейтронной физики

Лаборатория ядерных реакций

На правах рукописи

Б.Г.Басова

АППАРАТУРА И МЕТОДЫ
МНОГОМЕРНОГО АНАЛИЗА
ПРОЦЕССА ДЕЛЕНИЯ ЯДЕР

05.260. Приборы экспериментальной физики

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

ДУБНА-1973

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория нейтронной физики
Лаборатория ядерных реакций

На правах рукописи

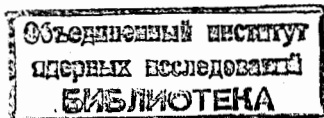
Б.Г.Басова

АППАРАТУРА И МЕТОДЫ МНОГОМЕРНОГО АНАЛИЗА
ПРОЦЕССА ДЕЛЕНИЯ ЯДЕР

05.260. Приборы экспериментальной физики

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



ДУБНА - 1973

Работа выполнена в Научно-исследовательском институте
атомных реакторов им. В.И.Ленина

Научный руководитель

кандидат технических наук

А.М.Шиманский

Официальные оппоненты:

доктор технических наук,
профессор

Л.А.Маталин

кандидат технических наук

В.А.Запелалов

Ведущее предприятие: Ленинградский институт ядерной
физики

Защита диссертации состоится "22" мая 1973 г.
в 14³⁰ часов на заседании Ученого совета ЛНФ и ЛЯР ОИЯИ
в конференцзале Лаборатории ядерных реакций (г. Дубна,
Московской области).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ

Автореферат разослан "18" марта 1973 г.

Ученый секретарь Совета


Э.Н.Каравина

Современная экспериментальная ядерная физика низких энергий характеризуется стремлением к проведению комплексных многопараметровых исследований ядерных процессов. Выявление временных, амплитудных, пространственных и других корреляций между событиями способствует развитию ядерной теории и различных направлений прикладной физики.

Проведение многопараметровых исследований стало возможным благодаря совершенствованию электронно-физической аппаратуры и развитию техники многоканального спектротрического анализа - созданию амплитудных и временных кодировщиков, запоминающих устройств интегрирующего и неинтегрирующего типов, различных систем вывода и визуального наблюдения накопленных данных.

В отличие от традиционных одномерных измерений при многомерном анализе существенно возрастает сложность и значение электронной аппаратуры для обработки информации. Многопараметровый анализ требует сложных устройств отбора событий, позволяющих из разнообразной информации от детекторов излучения, отличающихся по своим амплитудным и временным свойствам, выбрать лишь ту часть, которая комплексно характеризует исследуемое событие. Вследствие большого объема экспериментальной информации особенно важной является задача регистрации кодов событий и вопросы математической обработки с целью получения количественных оценок изучаемого явления. Современный многопараметровый физический экспери-

мент включает в себя комплексное решение всех этих проблем.

Диссертация посвящена разработке аппаратуры и методов кодирования, регистрации и обработки экспериментальных данных при многопараметровом импульсном анализе. Аппаратура предназначалась для исследования процесса деления, но её можно использовать и для многопараметрового изучения других ядерно-физических явлений.

Во введении проводится анализ физических задач, возникающих при изучении деления, с точки зрения требований, предъявляемых к электронной аппаратуре, и рассматриваются особенности построения входных и регистрирующих устройств многомерных анализаторов.

Деление ядер — принципиально многопараметровый процесс. Большое разнообразие способов деления, связываемое с образованием в делящемся ядре энергетически выгодных квантовых структур, приводит к рождению множества возбужденных ядер-осколков. Перед исследователями этого процесса прежде всего встает задача идентифицировать отдельные осколки, т.е. приписать им определенные значения заряда и массы. Вторая, не менее существенная задача, заключается в подробном исследовании излучения, испускаемого осколком по мере его перехода от возбужденного в основное состояние. Сюда следует отнести изучение выхода и энергетического спектра нейтронов и гамма-квантов, испускаемых отдельными осколками, временных характеристик этого излучения относительно момента деления и углового распределения продуктов деления. Решение этих задач требует корреляционного анализа нескольких параметров процесса.

Несмотря на разнообразный характер исследуемого излучения и его детекторов, анализируемый динамический диапазон параметров с учетом достигнутого в данный момент разрешения

требует, в основном, нескольких сотен каналов. Исключения составляют эксперименты по спектрометрии гамма-лучей деления (несколько тысяч каналов).

При проектировании аппаратуры для многомерного анализа возникает целый ряд специфических проблем.

1. Необходима сложная система отбора коррелированных событий.
 2. Стабилизация или коррекция характеристик спектрометрического тракта данного параметра необходима даже при сравнительно небольшом числе каналов, отведенных на его регистрацию, вследствие большой продолжительности эксперимента.
 3. В некоторых экспериментах оказывается полезным функциональное преобразование информации от детекторов излучения (предварительная обработка информации).
 4. Для хранения многомерной информации требуются регистрирующие устройства большой емкости.
 5. Большие объемы экспериментальной информации требуют автоматизации этапа обработки и представления данных.
- Для решения этих задач в НИИАР создан комплекс электронно-вычислительного оборудования, состоящий из набора входных устройств для многомерного анализа, регистраторов различных типов, связанных с ЭВМ устройством связи. Этот комплекс, измерительно-регистрирующий центр (ИРЦ), позволяет эффективно использовать оборудование и одновременно проводить несколько независимых экспериментов, в том числе и многомерных.

Разнообразие схемных решений при построении систем регистрации определяется доступностью того или иного оборудования, экономическими вопросами, возникающими при выборе объема и типа памяти, методов регистрации и обработки. Эти системы прошли путь от специализированных устройств, рабо-

таких по фиксированной программе, до ЭВМ, обеспечивающих наряду с регистрацией автоматическую обработку данных и получение результатов анализа.

Первая глава посвящена рассмотрению разработанных автором многомерных входных устройств (ВхУ) специализированного анализатора и ИРЦ.

Ограниченный объем запоминающих устройств специализированных многомерных анализаторов ставит перед входным устройством задачу представления экспериментальной информации в такой форме, которая (при имеющемся объеме памяти) позволила бы получить наиболее полные сведения об изучаемом процессе. Решение этой задачи может привести к значительному усложнению входной электронной аппаратуры. Но поскольку нет других вариантов постановки эксперимента, это вполне оправдано.

Автором в 1964 году была разработана необходимая входная электронная аппаратура для многомерного исследования угловой анизотропии мгновенного гамма-излучения осколков деления [1]. При проектировании постоянно учитывалась возможность применения ВхУ для проведения корреляционного анализа любых двух, трех и четырех параметров, характеризующих деление, при общем числе адресов - 10000 (емкость памяти на магнитном барабане).

Наиболее важными и оригинальными узлами ВхУ [1] являются схемы отбора событий и управления, предварительной математической обработки информации, калибровки.

Развитая система предварительной математической обработки позволяет наряду со сжатием информации от детекторов излучения выполнять ряд функциональных преобразований по её обработке. Например, если способ деления характеризовать суммой и отношением кинетических энергий осколков деления,

получаемых с помощью соответствующих электронных схем, то почти в 4 раза сокращается требуемый объем памяти. Измерение угла производится электронным способом [2] путем схемного вычисления математического соотношения:

$$\cos \theta = A \cdot \frac{T_0 - T_3}{E^{2/3}},$$

где

A и T_0 - постоянные, характеризующие ионизационную камеру,

T_3 - время задержки импульса осколка на собирающем электроде камеры,

E - энергия этого осколка.

Блок предварительной обработки информации построен на типовых элементах - операционном усилителе, инверторе, логарифматоре, антилогарифматоре.

Блок калибровки является автономной частью ВхУ и обеспечивает единую, быструю и надежную проверку и калибровку отдельных схем.

Для проведения многомерных исследований на ИРЦ автором в 1967 году было разработано универсальное ВхУ [3]. Выпускаемое промышленностью стандартное оборудование предназначено для одномерных исследований и применение его для многомерных исследований требует ряда дополнительных устройств и существенных изменений в схемах управления.

ВхУ [3] позволяет одновременно проводить два независимых эксперимента с передачей кодов событий на любой из имеющихся в ИРЦ систему регистрации. ВхУ имеет четыре взаимозаменяемых преобразователя амплитуда-код со свободным распределением их на каждый эксперимент. В зависимости от требуемого разрешения число каналов каждого преобразователя

может устанавливаться от 2^1 до 2^9 . Каждый преобразователь имеет систему стабилизации коэффициента усиления тракта релейного типа. Работа ВхУ с системой автоподстройки (САП) была промоделирована на ЭВМ методом статистических испытаний [4]. Моделирование позволило более обоснованно выбрать тип и характеристики системы автоподстройки.

ВхУ может работать как с внутренним, так и с внешним управлением. Конструктивно многомерное ВхУ выполнено в виде отдельных блоков, размещенных в стандартных стойках на ИРЦ. Непосредственно у физической установки размещены лишь предусилители и усилители импульсов от детекторов, как правило стандартные, для подготовки подачи амплитудной информации по кабелям на ВхУ (длина кабелей до 1,5-2 км).

При исследовании деления весьма часто возникает задача измерения наносекундных временных интервалов.

Стандартные образцы время-амплитудных конверторов наносекундного диапазона отечественная промышленность в настоящее время не выпускает. Поэтому автором разработан и изготовлен время-амплитудный конвертор, работающий в диапазоне от 60 нсек до 1 мксек [5]. Временная отметка производится по постоянной части переднего фронта импульса, что позволяет получить оптимальное временное разрешение, связанное со статистическим характером процессов в детекторе, а также устранить амплитудную зависимость момента появления события. В диссертации приводится принципиальная электронная схема формирования таймирующего импульса.

Временное разрешение конвертора составляет 2 нсек при $\alpha - \gamma$ совпадениях Sp-244 и 1,6 нсек при $\gamma - \gamma$ совпадениях Co-60. Дифференциальная нелинейность конвертора на участке, составляющем 95% всего диапазона, находится в пределах $\pm 2\%$.

Конструктивно время-амплитудный конвертор выполнен в виде автономного прибора, состоящего из четырех выдвижных

блоков - двух блоков формирования "старт" и "стоп" сигналов, собственно конвертора и блока питания.

Вторая глава посвящена вопросам использования ЭВМ для регистрации многомерной информации. Привлечение ЭВМ к эксперименту снимает необходимость проектирования специализированных систем регистрации и позволяет программными средствами осуществить различные методы запоминания с использованием внешних и оперативных ЗУ машин.

Вопросам методики использования вычислительных машин посвящено большое количество работ, в которых обобщается накопленный в нашей стране и за рубежом опыт использования вычислительных средств в эксперименте. На основе этого материала можно охарактеризовать структуру систем накопления и обработки экспериментальной информации на базе ЭВМ:

1. Системы, основанные на применении стандартных анализаторов. Оказалось разумным связать существующий парк многоканальных анализаторов с имеющимися ЭВМ в целях повышения автоматизации измерений и их производительности.

2. Системы сбора и обработки данных, использующие специализированные ЗУ, полностью совместимые с МОЗУ ЭВМ. Накопление данных происходит автономно, а ЭВМ в это время решает текущие задачи или обращается к этим же специализированным ЗУ в соответствии с программой.

3. Системы использования ЭВМ, как правило малых, для одного экспериментатора (один - в данный момент). Эти системы эффективны, если имеется несколько пользователей. Достоинством их является обеспечение гибкого взаимодействия между экспериментатором и системой в реальном масштабе времени.

4. Системы использования ЭВМ для одновременного обслуживания нескольких экспериментов в режиме разделения вре -

мени. Эти системы применяются в тех случаях, когда скорость поступления событий весьма низка, а эксперименты проводятся по достаточно простым программам. Они позволяют увеличить число пользователей, сделать ЭВМ доступной экспериментаторам, повысить общую производительность системы. Значительное распространение получили системы на базе малых машин третьего поколения, однако в ряде случаев создаются системы на основе ЭВМ среднего класса.

5. Сателлитные системы: несколько малых ЭВМ, обслуживающих экспериментальные установки, соединены с центральной ЭВМ с разделением времени для проведения окончательной обработки данных. Сателлитная система предоставляет экспериментатору все удобства и гибкость, характерные для систем, работающих на одного пользователя, в то же время она позволяет пользоваться сложным математическим и программным аппаратом при обработке данных благодаря центральной ЭВМ.

Работы по применению вычислительных средств для физического эксперимента в НИИАР были начаты в 1963 году при непосредственном участии автора. Первый этап был связан с использованием стандартных блоков и устройств ЭВМ для создания ИРЦ. На основе ЗУ на магнитном барабане был построен 10000 канальный анализатор, обеспечивающий проведение многомерных и одномерных измерений.

Следующий этап - это подключение к ЭВМ стандартной анализаторной техники, имеющейся в институте. В настоящее время к ЭВМ БЭСМ-3М могут подключаться анализаторы типов АИ-100, -256, -1024, -2048, -4096. Прием данных на машину осуществляется по программе; анализатор при этом используется как дополнительная внешняя память однонаправленного действия.

В 1968 году были завершены работы, в которых автор принимал активное участие, по разработке комплекса устройств,

обеспечивающих работу ЭВМ БЭСМ-3М в режиме "на линии" с измерительной аппаратурой только для ведения эксперимента [6]. Этот режим предполагалось использовать в основном для многомерных измерений, связанных с исследованием физики деления ядер. С учетом особенностей базовой ЭВМ (БЭСМ-3М) был разработан и создан комплекс необходимых дополнительных устройств и машинных программ обработки. Наряду с техническими вопросами были решены также некоторые принципиальные вопросы программирования, разработана методика проведения многомерных измерений с помощью данной системы [7].

Требования экономии машинного времени поставили задачу создания на базе универсальной ЭВМ БЭСМ-3М системы коллективного пользования, т.е. системы, способной одновременно обслуживать эксперимент и решать текущие математические задачи.

По инициативе и при непосредственном участии автора было разработано и введено в эксплуатацию буферное запоминающее устройство на базе стандартного анализатора АИ-4096, что позволило эпизодически, по мере его заполнения, обращаться к ЭВМ с целью передачи и обработки данных. Обработка на ЭВМ массива данных, а не одного события существенно повышает эффективность использования машинного времени для экспериментальных целей. В промежутках между работой с экспериментальной информацией ЭВМ занята решением очередных математических задач.

В диссертации проводится анализ работы системы коллективного пользования, на основе которого предложена программа взаимосвязи параметров системы [8]. С помощью дополнительно изготовленных устройств и набора программ система обеспечивает следующие режимы работы:

1. Передачу и математическую обработку на ЭВМ данных, накопленных автономно на АИ-4096.

2. ЭВМ "на линии" с одновременным решением текущих математических задач. АИ-4096 используется в качестве буферного накопителя, ЭВМ — в качестве основной памяти со следующими методами регистрации: интегрированное запоминание с прямой или ассоциативной адресацией и последовательная запись событий. В режиме интегрированного запоминания удается получить емкость памяти, превышающую объем оперативной памяти БЭСМ-3М за счет использования внешнего накопителя на МБ, (до 2^{15}).

Метод последовательной записи событий был применен при исследовании энергетического распределения осколков деления калифорния-252 (512x512 каналов) и плутония-239 (256x256 каналов).

В третьей главе рассматриваются некоторые вопросы математической обработки многомерных спектров на ЭВМ.

Известен целый ряд специализированных систем и устройств, предназначенных для автоматической обработки вероятностных спектров определенного вида. Широкого развития подобные системы не успели получить вследствие бурного наступления вычислительной техники и создания универсальных ЭВМ, обеспечивающих большую гибкость при переходе от одного эксперимента к другому.

Первые опыты использования ЭВМ для обработки экспериментальных данных связаны с заменой ручного подсчета распределений, накопленных в многоканальных анализаторах, на машинный. Однако применение ЭВМ для эксперимента делает возможным подход к задаче обработки поступающей информации с точки зрения максимального упрощения входного оборудования с целью повышения его надежности, облегчения настройки и

пуска с сохранением за ним лишь принципиально необходимых функций кодирования.

Автором были рассмотрены наиболее часто встречающиеся вопросы обработки экспериментальной информации, предложены алгоритмы их решения и на основе последних составлены процедуры на α -языке [9]. В диссертации рассматриваются лишь те из них, которые позволяют ослабить требования к входной электронной аппаратуре и тем самым облегчить постановку и проведение эксперимента.

Во-первых, эта задача изменения масштаба по координатным осям многомерного распределения или перехода к новым координатам. Алгоритмически она распадается на два этапа. Первоначально точке исходного координатного поля с помощью некоторого математического выражения однозначно ставится в соответствие точка нового координатного поля. В общем случае координаты точки не кратны новым ценам каналов и один канал в исходных координатах может перекрыть несколько каналов в новых координатах или оказаться внутри канала. Следующий шаг связан с необходимостью произвести разбивку числа событий, соответствующих полученным координатам, по целочисленным каналам. Это облегчит дальнейшую обработку и обеспечит привычное графическое представление полученного распределения.

Из-за дискретности исходного и перестроенного распределений их характеристики, приведенные к одной размерности, вообще говоря, могут отличаться. Характер возникающей методической ошибки для среднего значения и дисперсии распределения исследован в диссертации.

Возможность расчетным образом изменять координаты распределения, выравнивать масштабы преобразования позволяет исключить схемы аналоговой предварительной обработки данных

из входного устройства и освобождает экспериментатора от необходимости подстройки коэффициента усиления и порога преобразования между сериями, если эти изменения не выводят сигналы от детекторов за динамический диапазон линейного тракта.

Во-вторых, необходимо уметь оценивать вклад случайных совпадений в каждый канал многомерного распределения. Временной отбор коррелированных событий занимает конечное время, определяемое самим физическим процессом и временными характеристиками используемых детекторов. В связи с этим, наряду с истинными событиями, неизбежно будут регистрироваться и случайные. Автором показано, что скорости счета случайных совпадений могут быть однозначно определены из сравнения одномерных распределений по каждому из параметров, снятых для случая совпадений с другим параметром и без совпадений. Знание этих скоростей и разрешающего времени совпадений позволяет рассчитать число истинных событий в каждом канале. Реализация этого вида обработки позволяет менее критично подходить к выбору разрешающего времени схем быстрого временного отбора событий.

В-третьих, одной из важнейших задач при проведении физического эксперимента, а для многомерного, длящегося не сколько суток, в особенности, является контроль за состоянием аппаратуры.

Известны различные способы схемного контроля с помощью систем автоподстройки коэффициента усиления и порога преобразования по исследованию эталонного излучения или импульса от генератора точной амплитуды. При постановке многомерных экспериментов возникает осложнение для введения систем автоподстройки в связи с трудностями получения эталонного источника, регистрируемого всеми используемыми детекторами. Автором проанализирована возможность получения информации об изменении коэффициента усиления (КУ) и порога преобразо-

вания (П) из анализа самого регистрируемого распределения [10]. Как показано в диссертации, среднее значение распределения и его дисперсия однозначно характеризуют изменения КУ и П, если на границах распределения содержится малая часть информации, такая, что изменения КУ и П не приводят к её потере. Если распределение имеет явно выраженные пики, то из анализа их среднего значения и дисперсии также можно получить представление об изменении коэффициента усиления и порога преобразования. Чувствительность предложенного метода определяется принятой точностью вычислений, а статистическая точность или достоверность может быть сделана весьма высокой за счет набора достаточно большого числа отсчетов.

В качестве примера в диссертации приводится алгоритм обработки энергетических спектров осколков деления на ЭВМ, использующий описанные процедуры и ряд дополнительных, в том числе и специальных, также разработанных автором [9].

В диссертацию включены шесть приложений, поясняющих выводы формул основного текста.

С помощью ВхУ специализированного анализатора в 1965-1967 годах были проведены многопараметровые исследования анизотропии гамма-квантов деления. Результаты этой работы качественно подтверждают теоретические оценки влияния углового момента осколков, приобретаемого ими в процессе разделения, на механизм испускания гамма-квантов [11]. Полученные экспериментальные оценки находятся в согласии с данными работы [12]. С помощью ВхУ ИРЦ были проведены исследования энергетических распределений осколков деления различных делящихся изотопов, которые показали нормальную работоспособность ВхУ в целом [13]. Обработка спектров проводилась по предложенным автором программам. Высокое значение отношения пик/провал (18 для U^{235}) в энергетическом распределении находится на уровне разрешения, получаемого с помощью полу-

проводниковых детекторов. Интересны результаты определения дисперсии суммарной кинетической энергии осколков: полученное значение $\sigma_E = 9,56$ Мэв оказалось меньше, чем в работе [14] ($\sigma_E = 10,9$ Мэв), что, видимо, может быть объяснено наличием "хвостов" в амплитудных спектрах осколков, полученных с помощью полупроводниковых детекторов.

Основной итог работы автора, изложенной в диссертации, сводится к следующему:

1. Автором разработано и изготовлено ВхУ специализированного анализатора. Впервые проверена возможность электронно-коллимации для частиц с разной энергией. Разработана оригинальная схема калибровки узлов ВхУ [1,2].

2. Автором разработано универсальное многомерное входное устройство для измерительного центра НИИАР. Оно обеспечивает проведение разнообразных экспериментов в области физики деления [3]. Автором разработан время-амплитудный конвертер наносекундного диапазона [5].

3. Автором была предложена и опробована методика моделирования ВхУ с системой автоподстройки (САП) с целью исследования основных характеристик САП [4].

4. Автором был предложен один из возможных вариантов регистрирующей части системы коллективного пользования, позволяющий при её построении использовать стандартную аналитическую аппаратуру ИРЦ НИИАР и ранее изготовленного оборудования [8].

5. Автором предложен алгоритм изменения масштаба по различным параметрам многомерного распределения, просто реализуемый на ЭВМ. Вносимая при этом в распределение методическая ошибка в большинстве случаев невелика и может быть учтена [10].

6. Автором разработан алгоритм оценки вклада случайных совпадений в каналы многомерного спектра, основанный на вычислении распределения скоростей счета случайных совпадений. Эти скорости могут быть однозначно определены из сравнения двух одномерных спектров, снятых для каждого параметра в случае совпадения с другими параметрами и без совпадения [10].

7. В отличие от известных способов автоматической коррекции спектров на ЭВМ по эталонному излучению, автором обоснована методика коррекции распределения из анализа его среднего значения и дисперсии [10].

8. Автором предложен алгоритм и составлен комплекс программы автоматической обработки энергетических спектров осколков деления [9]. По этим программам были обработаны энергетические распределения U^{233} , U^{235} , Cf^{252} , Pu^{239} и получена обширная информация, частично опубликованная в работе [13].

Основные материалы диссертации изложены в работах [1-10].

ЛИТЕРАТУРА

1. Басова Б.Г. и др. Труды УН конференции по ядерной электронике. Атомиздат, 1970, М., т. I, часть IV, I34.
2. Басова Б.Г., Иванов О.И., Кушнир Ю.А., Шиманский А.М., ПТЭ, 5, 53 (1968).
3. Басова Б.Г., Качалин В.А., Шиманский А.М., препринт НИИАР, П-58, Мелекесс (1969).
4. Басова Б.Г., Рабинович А.Д., ПТЭ, № 4 (1970) 64.
5. Басова Б.Г., Качалин В.А., Старостов Б.И., ПТЭ, № 4 (1970) 69.
6. Басова Б.Г. и др., препринт НИИАР, П-16, Мелекесс (1968).
7. Басова Б.Г. и др., препринт НИИАР, П-42, Мелекесс (1969).
8. Басова Б.Г. и др., препринт НИИАР, П-162, Дмитров - град (1972).
9. Басова Б.Г., Рабинович А.Д., препринт НИИАР, П-127, Мелекесс (1971).
10. Басова Б.Г., Рабинович А.Д., Рязанов Д.К., Шиманский А.М., препринт НИИАР, П-161, Дмитровград (1972).
11. Струтинский В.М., ЭТФ 37 (1959) 861.
12. Вельский Г.В., Петров Г.А., Плева Ю.С.. Ядерная физика 5 (1967) 734.
13. Захарова В.П., Рязанов Д.К., Басова Б.Г., Рабинович А.Д., Коростылев В.А. Ядерная физика, т. 16, 4 (1972) 649.
14. Schmitt H.W., Neiller G.H., Walter F.G., Phys.Rev. 131, N 3, II46.

Отпечатано в Научно-исследовательском институте атомных реакторов
им. В.И.Ленина

ЗМ № 00569 от 21.02.73 г.

Тираж 150.

Март, 1973 г.