

4845 + СЗ44.3

ЖС-86

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ
ФИЗИКИ

Г.П. Жуков

2840

СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ С МАГНИТНОЙ ЛЕНТОЙ
И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ЗАДАЧАХ
МНОГОМЕРНОГО АНАЛИЗА

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель -
кандидат технических наук

Г.И. Забиякин

Ц 845
ЖЕ-86

Г.П. Жуков

2840

СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ С МАГНИТНОЙ ЛЕНТОЙ
И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ЗАДАЧАХ
МНОГОМЕРНОГО АНАЛИЗА

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель -
кандидат технических наук

Г.И. Забиякин

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

3824 в.р.

В в е д е н и е

Магнитная лента остается до настоящего времени основным элементом устройств регистрации данных физических экспериментов в задачах многомерного анализа электрических импульсов от детекторов ядерного излучения, когда регистрируемый спектр содержит более нескольких сотен тысяч каналов.

Многоканальные анализаторы с запоминающими устройствами на ферритовых сердечниках, которые широко применяются в ядерной спектроскопии, не удовлетворяют всем требованиям многомерного анализа из-за недостаточного количества ячеек "памяти".

Применение универсальных вычислительных машин в задачах многомерного анализа при наличии систем визуального представления данных и облегченных "языков", понятных экспериментатору, позволяет решить ряд проблем, связанных с обработкой результатов и проведением контроля за ходом эксперимента, а также осуществлять оптимизацию и управление экспериментом. Однако проблема запоминающего устройства большой емкости для накопления многомерной информации решается и в этом случае с помощью магнитной ленты. Поэтому вопросы, связанные с применением магнитной ленты в качестве ЗУ многомерных регистрирующих устройств, остаются актуальными. Ряд вопросов использования магнитной ленты, такие, как увеличение плотности записи, вопросы потерь регистрируемой информации, юстировка головок и ряд других, являются общими как для специализированных устройств регистрации на магнитной ленте, так и для магнитных накопителей универсальных вычислительных машин.

В настоящей работе наряду с рассмотрением общих вопросов применения магнитной ленты в качестве устройства регистрации многомерной информации дается теоретическая оценка вероятности потерь информации, регистрируемой на магнитную ленту, а также метод исследования причин, вызывающих потери информации.

Результаты проделанной работы легли в основу при разработках регистрирующих устройств на магнитной ленте, которые в течение ряда лет используются в экспериментах, проводимых на ИБФе Лаборатории нейтронной физики. Эти устройства являются частью оборудования лабораторного измерительного центра ЛНФ.

ГЛАВА I

Основные задачи, возникающие при многомерном анализе, и способы их решений

За последние годы начали бурно развиваться многопараметровые, или, как их чаще называют, многомерные анализаторы, с помощью которых одновременно измеряется несколько параметров изучаемого события. При этом число каналов должно быть не меньше произведения чисел каналов каждого из регистрируемых параметров. Требования, выдвигаемые экспериментальными задачами, обуславливают необходимость иметь запоминающее устройство многомерного анализатора с несколькими десятками миллионов каналов.

Наличие большого числа каналов при многомерном анализе требует в свою очередь большего (по сравнению с однопараметровым многоканальным анализом) времени накопления информации для получения необходимой статистической точности. Длительность измерений требует того, чтобы в накоплении информации использовались как можно более простые и надежные устройства.

Очевидно, что объем информации, получаемый при многомерном анализе, настолько велик, что вопрос ее обработки становится самостоятельной проблемой.

Таким образом, основными проблемами при конструировании многомерных анализаторов являются вопросы создания запоминающего устройства на большое число каналов, вопросы повышения долговременной стабильности и надежности блоков, участвующих в накоплении информации, а также вопросы быстрой обработки большого количества информации.

Коротко рассмотрены особенности многомерных анализаторов с разными типами запоминающих устройств (на электронно-лучевой трубке, бумажной ленте, перфоленте, на магнитных барабанах и дисках, ферритовых кольцах, потенциалоскопах и ряд других). Отмечается, что запоминание информации в аналоговой форме нашло менее широкое распространение из-за низкой (по сравнению с цифровыми) точности регистрации.

Рассматриваются основные направления в развитии техники многомерного анализа. Одно из них заключается в использовании обычных многоканальных анализаторов в задачах многомерного анализа. Запоминающее устройство анализатора разбивается в этом случае на отдельные группы. Отсюда вытекает стремление к увеличению емкости запоминающего устройства, что ведет к естественному усложнению аппаратуры.

Из-за недостатка количества каналов у запоминающих устройств обычных многоканальных анализаторов иногда производят выборочную регистрацию участков многомерного спектра. Задание границ регистрации участков спектра производится обычно либо с помощью специальных схем отбора, либо путем составления необходимых программ отбора информации.

В тех случаях, когда интересующие участки спектра представляют резко выраженные пики, может использоваться метод ассоциативного запоминания, который предполагает запись в запоминающее устройство как кода, характеризующего данное событие, так и числа, характеризующего количество таких событий. В общем случае здесь используют законы случайного поступления информации, а именно то, что большую вероятность регистрации будут иметь те события, которые относятся к пикам спектра.

Вторым направлением в развитии многомерных систем, позволяющим значительно увеличить число каналов, является использование запоминающих устройств, работающих в неинтегрирующем режиме, типа перфоленты, магнитной ленты и др. В этом случае в ходе измерений регистрируются коды отдельных событий без сортировки по каналам. Сортировка информации по каналам производится по частям после окончания эксперимента с помощью запоминающего устройства, работающего в интегрирующем режиме.

В работе рассмотрены основные достоинства и недостатки запоминающих устройств неинтегрирующего типа.

Третьим направлением в развитии техники многомерного анализа является применение универсальных вычислительных машин. На примере конкретных работ показываются те возможности, которые дает внедрение техники вычислительных машин в экспериментальную физику и, в частности, в многомерные измерения. Вычислительная машина может не только накопить и рассортировать по каналам информацию, но и провести нужную математическую обработку накопленной информации. Возможность менять программу работы машины дает гибкость при проведении эксперимента, позволяет работать с одним и тем же оборудованием при изменении методического направления. Однако проблема запоминающего устройства с большим числом каналов для задач многомерного анализа чаще всего решается и в этом случае с помощью магнитной ленты. Поэтому регистрирующие устройства с магнитной лентой и вычислительная машина не могут противопоставляться, так же как, например, многоканальный анализатор и вычислительная машина. Скорее наоборот, сочетание большой емкости магнитной ленты со счетными возможностями вычислительной машины позволит поднять технику многомерного анализа на новый, более высокий уровень. Поэтому вопросы использования магнитной ленты в задачах многомерного анализа по-прежнему остаются актуальными.

Во второй части первой главы дается обзор применения магнитной ленты в задачах экспериментальной ядерной физики.

Известные системы многомерного анализа с магнитной лентой для удобства рассмотрения классифицируются по нескольким признакам, а именно: по способу транспортировки ленты, расположению кодов на ленте и ширине используемой ленты. Исходя из этих признаков, существующие системы многомерного анализа на магнитной ленте можно разделить по способу транспортировки ленты на системы с равномерной, шаговой и

"старт-стойной" транспортировкой ленты. По способу расположения кодов - на системы с записью кода в одну строку и системы с записью кода кадром. Кроме того, отмечаются системы с узкой (8,35 мм) лентой и системы с широкой (25 ± 35 мм) магнитной лентой.

Приводятся обобщенные блок-схемы для каждой группы, с помощью которых рассматриваются особенности каждой системы в целом, а также особенности и назначение каждого из блоков в отдельности.

ГЛАВА II

Методы амплитудного и временного анализа для исследования накопителя на магнитной ленте /В/

Одной из особенностей регистрирующих устройств с магнитной лентой является наличие конечной вероятности потерь и искажений информации при записи и воспроизведении. Это связано прежде всего с наличием паразитной амплитудной модуляции и временных рассогласований импульсов, воспроизводимых с магнитной ленты.

Амплитудная модуляция импульсов вызывается рядом факторов. К ним можно отнести: неравномерность магнитных свойств и толщины активного слоя носителя, наличие переменного воздушного зазора между лентой и головками, перекосы магнитной ленты и ее перемещение в плоскости, параллельной рабочей поверхности блока магнитных головок, неравномерность движения магнитной ленты и т.п.

При многодорожечной записи временные рассогласования воспроизводимых импульсов строки и флюктуация периода следования строк определяют максимальную для данного накопителя плотность записи и являются, наряду с отмеченными выше факторами, причиной искажения информации.

Оценивается в общем виде вероятность потерь импульсов при записи и воспроизведении. Для этого определяются вероятности достоверного воспроизведения при наличии амплитудной модуляции, при наличии временных рассогласований передних фронтов импульсов i - той дорожки и тактовых импульсов, а также при наличии вероятности уменьшения периода следования строк t меньше критического значения $t_{кр}$. Делается предположение, что амплитуды импульсов каждой дорожки при воспроизведении распределены согласно произвольным функциям $f_1(A)$, временные рассогласования передних фронтов импульсов каждой дорожки относительно тактового импульса распределены согласно произвольным функциям $f_1(r)$, а расстояние между строками - согласно функции $f(t)$.

Показывается, что все основные характеристики многодорожечного цифрового ре-

регистратора на магнитной ленте являются той или иной функцией параметров считанных с магнитной ленты импульсов. Поэтому для определения параметров регистратора на магнитной ленте необходимо иметь спектральные распределения параметров импульсов по каждой дорожке. Делается вывод, что для определения параметров и настройки цифровых регистраторов на магнитной ленте целесообразно использовать многоканальные амплитудные и временные анализаторы.

Описывается предложенный автором метод настройки регистратора с магнитной лентой с использованием амплитудного и временного анализаторов импульсов.

С помощью амплитудного анализатора снимаются спектры амплитуд импульсов, считанных с магнитной ленты. С помощью этих спектров с высокой точностью определяют отблача головок, отношение сигнала к помехе, величина перекрестных помех, вероятность достоверного воспроизведения при наличии амплитудной модуляции, а также регулируются коэффициенты усиления усилителей воспроизведения.

С помощью многоканального временного анализатора импульсов производится регулировка порогов срабатывания формирующих устройств схемы воспроизведения, юстировка блоков головок, а также получаются распределения $f_1(r)$ и $f(t)$, необходимые для определения вероятности потерь импульсов.

Для регулировки порогов набираются распределения ширины импульсов формирующих устройств. Учитывая, что при изменении порога формирующего устройства максимум распределения будет перемещаться в соответствующую сторону, можно добиться, чтобы пороги всех формирующих устройств были равны между собой, т.е. максимумы всех распределений попадали в один и тот же канал анализатора. Описываются схемы, с помощью которых были проделаны эти измерения.

Приводится способ получения распределения $f_1(t)$, которое представляет собой функцию временных искажений строки под влиянием всех существующих факторов. При наличии функции $f_1(t)$ легко определить зависимость вероятности потерь из-за временных искажений воспроизводимых импульсов от плотности записи при заданной скорости воспроизведения.

Рассматривается способ и описываются схемы, с помощью которых с высокой степенью точности можно определить положение блока головок воспроизведения относительно блока головок записи, определить относительный разброс зазоров головок записи и воспроизведения, а также определить величину динамических перекосов ленты во время записи и воспроизведения.

Перед началом юстировки головок необходимо отрегулировать коэффициенты усиления усилителей и пороги срабатывания формирующих устройств. Это означает, что средние значения ширины импульсов всех формирующих устройств тракта воспроизведения

равны между собой, т.е. максимумы всех распределений попадают в один и тот же канал анализатора.

После этого стартовый импульс для временного анализатора будет всегда формироваться по переднему фронту импульса формирующего устройства первой дорожки регистратора, а детекторный импульс будет формироваться поочередно по заднему фронту импульсов формирующих устройств первой, второй и т.д. дорожек. Максимумы полученных распределений уже не будут попадать в один и тот же канал анализатора.

Чтобы выставить параллельно линии зазоров блоков головок записи и воспроизведения, необходимо повернуть один из блоков головок так, чтобы число каналов между первым и n -ным максимумам $\Delta n = 0$. Для этого под одну из соответствующих сторон основания одного из блоков головок нужно подложить прокладку толщиной δ

$$\delta = \frac{2V \cdot \Delta t \cdot \Delta n_0}{\sqrt{1 + \left(\frac{2h}{L}\right)^2}}$$

где V — скорость движения ленты при воспроизведении;

h — высота блока головок;

Δt — ширина канала временного анализатора;

L — ширина основания блока головок.

В Лаборатории нейтронной физики автором были проделаны измерения с использованием амплитудного и временного анализаторов импульсов. Объектом исследования являлся магнитный накопитель^{/8,7/}. При скорости движения ленты при воспроизведении 1 м/сек ширина временного канала в 0,25 мксек соответствует линейным смещениям в 0,25 мк. Такая точность позволяет не только выставить параллельно блок головок воспроизведения относительно блока головок записи, но также наблюдать кривизну линий зазоров блоков головок. Измерения позволили увеличить плотность записи накопителя с 10 до 16 имп/мм.

ГЛАВА III

Регистрирующие устройства на магнитной ленте — блоки "памяти" лабораторного измерительного центра ЛНФ

Специфика спектрометрических работ, проводимых на ИБРе, связанная с многоканальностью регистрирующей аппаратуры, длительностью измерений и большим объемом получаемой информации, требующей машинной обработки, привела к необходимости создания целого комплекса аппаратуры — лабораторного измерительного центра^{/8,10/}.

В работе коротко рассматривается структура лабораторного измерительного центра. Отмечается, что для проведения многомерных измерений используются регистрирующие устройства на магнитной ленте.

Настоящая глава диссертации посвящена рассмотрению регистрирующих устройств на магнитной ленте, разработанных в Лаборатории нейтронной физики, которые являются основными устройствами регистрации многомерных спектров с числом каналов от нескольких десятков до нескольких миллионов. Разработка этих устройств, начатая в 1960 году, явилась естественным развитием методов многоканального анализа применительно к работам, проводимым на ИБРе.

Первое из этих устройств, разработанное в Лаборатории нейтронной физики в 1961 году ^{/1,2/}, представляло собой регистрирующее устройство на 35-миллиметровой магнитной ленте, которое могло записывать коды по 25 дорожкам, имело амплитудный и временной кодировщик, промежуточную память на 8 слов, контрольное запоминающее устройство на 256 чисел и дешифратор для отбора информации. Это устройство явилось первым опытом использования магнитной ленты для многомерного анализа в Советском Союзе и странах-участниках ОИЯИ и включало в себя все основные блоки, применяемые в таких устройствах и в настоящее время.

Описывается 25-разрядное регистрирующее устройство на магнитной ленте для амплитудно-временного анализа ^{/2,4/}. Дается блок-схема системы. Рассматриваются режимы записи на ленту, считывание с ленты и обработка информации. Пояснения делаются с помощью временных диаграмм. Это устройство явилось прототипом последующих устройств, созданных в Лаборатории нейтронной физики.

В последующие годы методы многомерного анализа развивались в Лаборатории как с точки зрения физических методов, так и техники регистрирующих устройств.

В 1963 году ^{/3,5/} было разработано 20-разрядное регистрирующее устройство, которое имело более высокие параметры и возможности при проведении многомерного анализа, содержало два блока промежуточной памяти с общей емкостью 80 слов (кодов), более совершенные блоки аналого-цифрового кодирования, контрольное запоминающее устройство на 512 каналов и схему отбора, позволяющую произвольно устанавливать границы отбираемой информации при обработке.

Описывается 20-разрядное регистрирующее устройство на магнитной ленте для проведения многомерного анализа. Дается блок-схема. Приводятся основные характеристики отдельных блоков. Функциональная схема регистратора с магнитной лентой рассматривается одновременно с описанием следующих режимов работы: "запись на ленту", "контроль за набором информации", "воспроизведение", "обработка информации". Дается описание работы схемы "логики", штекерного коммутатора, устройства отбора, лентопротяжного механизма. Рассматривается работа схемы управления исходя из основных режимов работы устройства.

Регистрирующие устройства с магнитной лентой на протяжении ряда лет являлись и являются до настоящего времени основными устройствами регистрации при проведении

многомерных измерений с числом каналов до нескольких сотен тысяч. На ИБРе с использованием этих устройств был выполнен целый ряд экспериментальных работ. Проведение многих измерений было бы затруднительно, а в ряде случаев невозможно без устройств с магнитной лентой. В приложении коротко сообщается о некоторых из этих работ.

ГЛАВА IV

Устройство отбора многопараметровой цифровой информации

В первой части рассматриваются общие вопросы вывода многопараметровой цифровой информации, записанной на магнитной ленте.

Так как на магнитной ленте регистрируются коды параметров отдельных событий, то для получения многомерного спектра необходимо произвести операцию суммирования количества событий с одинаковыми значениями параметров. Суммирование обычно производится с помощью запоминающего устройства на ферритовых сердечниках (ЗУ обработки). Учитывая то, что количество каналов многомерного спектра намного превышает количество каналов ЗУ обработки, то за один прогон ленты можно получить только часть многомерного спектра, а для получения всего многомерного спектра требуется многократный прогон ленты, что приводит к значительным затратам времени на обработку.

Рассматриваются способы вывода информации с магнитной ленты по частям. Приводится пример вывода части двухпараметрового спектра с помощью дешифратора. Недостатком этого способа является то, что границы интервала суммирования участка многомерного спектра могут принимать значения, кратные 2^n , где n — любое целое положительное число. Это привело к созданию устройств отбора, в которых границы участка суммирования могут устанавливаться произвольно.

Устройство отбора состоит из двух схем сравнения кодов и схемы антисовпадения. На первую схему сравнения подается исследуемый код и код начала участка суммирования, а на вторую схему сравнения подается тот же исследуемый код и код конца участка суммирования. На выходе схемы антисовпадений появляется сигнал, если значение исследуемого кода соответствует участку суммирования.

Чтобы сократить время обработки, применяют несколько параллельно включенных устройств отбора. За один прогон ленты в этом случае выводятся несколько сечений многомерного спектра. Количество таких сечений равно числу параллельно включенных устройств отбора. Однако это ведет к увеличению оборудования.

Описывается устройство отбора кодов с программным управлением, разработанное автором в Лаборатории нейтронной физики. Устройство отбора содержит две схемы срав-

нения кодов и долговременное запоминающее устройство (ДЗУ), в котором хранятся программы работы схем сравнения. После прихода кода, считанного с магнитной ленты, поочередно выводятся из ДЗУ программы отбора участков многомерного спектра и производится сравнение этого кода с границами нескольких участков многомерного спектра. В ДЗУ может быть занесено до 12 программ, так что устройство отбора может производить одновременно до 12 сечений многомерного спектра.

Дается описание блок-схемы устройства отбора, схемы сравнения кодов и долговременного запоминающего устройства. Приводятся временные диаграммы, поясняющие работу. Показываются возможности использования устройства отбора.

Основные результаты диссертации состоят в следующем:

1. Рассмотрены основные требования, предъявляемые к аппаратуре при проведении многомерного анализа, а также способы построения многомерных анализаторов.

2. Рассмотрены и проанализированы основные вопросы применения магнитной ленты в задачах многомерного анализа. Систематизирован материал по этому вопросу. Показано, что в общем случае запись на магнитную ленту является одним из основных методов накопления информации при проведении многомерного анализа.

3. Рассмотрены вопросы потерь информации при многодорожечной записи на магнитную ленту. Проанализированы причины, вызывающие эти потери. В результате этого анализа сделан вывод, что для определения основных характеристик накопителей на магнитной ленте, применяемых в задачах многомерного анализа, целесообразно применять многоканальный анализ импульсов, воспроизводимых с магнитной ленты.

4. Предложен и разработан метод оценки вероятности потерь информации при записи на магнитную ленту, основанный на применении многоканальных анализаторов импульсов. Этот метод позволяет: определить вероятность потерь информации регистрирующего устройства с магнитной лентой в зависимости от величины плотности записи, произвести юстировку блоков головок, определить детонацию и величину динамических перекосов ленты, определить отдачу головок и отношение сигнала к помехе канала воспроизведения, идентифицировать коэффициенты усиления усилителей воспроизведения и пороги срабатывания схемы формирования.

5. Создано 25-разрядное регистрирующее устройство с магнитной лентой для многомерного анализа. Это устройство явилось первым опытом разработки многомерных анализаторов с магнитной лентой в СССР и странах-участниках ОИЯИ. На этом устройстве выполнен ряд физических работ.

6. Создано 20-разрядное регистрирующее устройство с магнитной лентой, которое является и в настоящее время основным инструментом при проведении многомерных измерений в измерительном центре ЛНФ ОИЯИ.

7. Рассмотрены способы отбора многомерной информации, записанной на магнитную ленту.

8. Создано устройство отбора с программным управлением, которое позволяет в значительной мере уменьшить трудности, возникающие при сортировке огромного количества информации, получаемой при многомерном анализе.

Рассматриваемые в диссертации устройства в составе измерительного центра ЛНФ экспонированы на Выставке достижений народного хозяйства СССР (1965 г.).

Значительная часть материалов диссертации докладывалась и обсуждалась на 5 и 6 всесоюзных конференциях по ядерной радиоэлектронике в Москве (1961 и 1964 гг.)^{/8-8/}, на международных симпозиумах по ядерной радиоэлектронике в Париже (1963 г.)^{/11/}, Будапеште (1963 г.)^{/10/}, Белграде^{/1/} и опубликована в работах автора^{/2-5,9/}.

Работы автора, имеющие отношение к теме диссертации

1. Г.П. Жуков, Г.И. Забиякин, В.Д. Шibaев, И.В. Штрапих. Многомерные системы регистрации на магнитной ленте с разравниванием статистики. Nuclear Electronics II, Vienna, 1961, p. 61; Препринт ОИЯИ, 731, Дубна, 1961.
2. Г.П. Жуков, Г.И. Забиякин, В.Д. Шibaев, А.В. Андросов, Ш.И. Барилко, Б.Е. Журавлев, В.Н. Замрий, Г.С. Самосват. Амплитудно-временная система регистрации с магнитной лентой. Препринт ОИЯИ, 1127, Дубна, 1962.
3. Г.П. Жуков, Г.И. Забиякин, В.Д. Шibaев. Некоторые особенности многомерного анализатора с магнитной лентой. Препринт ОИЯИ, 1419, Дубна, 1963.
4. Г.П. Жуков, Г.И. Забиякин, В.Д. Шibaев. Многодорожечная запись на магнитной ленте для амплитудно-временного анализа. ПТЭ, 1963, № 6, 66.
5. Г.П. Жуков, Ш.И. Барилко, Г.И. Забиякин, Ли Минь Вель, В.Г. Тишян, В.Д. Шibaев. Анализатор с магнитной лентой. Труды 6-й конференции по ядерной радиоэлектронике, 3, ч. 1, Атомиздат, М., 1965.
6. Г.П. Жуков, Б.Е. Журавлев, Г.И. Забиякин, В.Н. Замрий. Центр нейтронно-спектрометрических измерений. ПТЭ, № 6, 34, 1964; Труды 6-й конференции по ядерной радиоэлектронике, 3, ч. 1, 89, Атомиздат, М., 1965.
7. Г.П. Жуков, Г.И. Забиякин, В.Д. Шibaев. Общие характеристики регистратора с магнитной лентой. Труды 6-й конференции по ядерной радиоэлектронике 3, ч. 1, 191, Атомиздат, М., 1965.
8. Г.П. Жуков, Г.И. Забиякин, К.Г. Родионов, В.Д. Шibaев, И.В. Штрапих. Регистрирующая многомерная система. Труды 5-й научно-технической конференции по ядерной радиоэлектронике, 2, ч. 2, 115, Госатомиздат, М., 1963.
9. Г.П. Жуков. Методы амплитудного и временного анализа для исследования накопителя на магнитной ленте. Препринт ОИЯИ, 2703, Дубна, 1966.

10. Г.П. Жуков, Б.Е. Журавлев, Г.И. Забиякин, В.Н. Замрий. Лабораторный центр спектрометрических измерений. Материалы I симпозиума по ядерной радиоэлектронике, Будапешт, 1963. Препринт ОИЯИ, 1877, Дубна, 1964.
11. G.P. Zhukov, G.I. Zabyakia, V.D. Shibayev. Some Peculiarities of a Magnetic-Tape Multidimensional Analyzer. Electronique Nucleaire, 1963, Paris, p. 575.

Рукопись поступила в издательский отдел
1 августа 1966 г.