

4848

Л-221

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ**

10 - 5908

И. Ланг

**ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ
МЕТОДОВ НАКОПЛЕНИЯ И ОБРАБОТКИ
ФИЗИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ
С ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ**

Специальность 05-260 - приборы экспериментальной физики

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Дубна 1971

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:

кандидат технических наук

Б.В. Фефилов

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор

И.В. Штраних

кандидат технических наук

Г.П. Жуков

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Институт атомной энергии АН СССР им. И.В. Курчатова.

Автореферат разослан

1971 г.

Защита диссертации состоится

1971 г.

на заседании Объединенного Ученого совета ЛНФ и ЛЯР ОИЯИ,
Дубна, Московской области, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ

Ученый секретарь Совета

Э.Н. Каржавина

10 - 5908

И. Ланг

ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ
МЕТОДОВ НАКОПЛЕНИЯ И ОБРАБОТКИ
ФИЗИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ
С ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ

Специальность 05-260 - приборы экспериментальной физики

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

7922/8

ОИЯИ
БИБЛИОТЕКА

КАБЛЕТНИК
И О

Характерной чертой современной экспериментальной ядерной физики является тенденция к изучению все более редких процессов ядерных взаимодействий с малыми сечениями на фоне более вероятных процессов, а также стремление к проведению комплексных многопараметровых измерений амплитудных, временных и пространственных корреляций. Указанные черты в полной мере присущи большинству экспериментов, проводимых на двух циклических ускорителях тяжелых ионов в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ ^{/1/}. Синтез и идентификация новых далеких трансурановых элементов, применение быстродействующих масс-сепараторов на линии с ускорителем, необходимость сверхнадежности и достоверности регистрации экспериментальных данных, экспрессная обработка сложных многомерных спектров от полупроводниковых детекторов ядерных излучений в опытах по изучению деления ядер, реакций передачи, протонной радиоактивности и изомерии выдвигают задачу резкого повышения эффективности и уровня автоматизации экспериментов.

За последнее время неотъемлемой частью экспериментальной аппаратуры стали малые электронно-вычислительные машины. Для накопления и оперативной обработки физической информации, визуального представления промежуточных и окончательных резуль-

татов и оперативного воздействия на ход эксперимента выдвигаются специфические требования к используемым средствам современной электроники и вычислительной техники. Несколько лет тому назад таким требованиям удовлетворяли только малые ЭВМ западных фирм. В качестве ЭВМ для работы на линии с экспериментальной аппаратурой в научных центрах социалистических стран использовались машины среднего типа (Минск-2, БЭСМ-3М, БЭСМ-4, Днепр-2 и т.д.), что неизменно приводило к определенным трудностям их переделки и модернизации. Сейчас положение дел с ЭВМ, максимально приспособленными для выполнения измерительных задач на линии с экспериментальной аппаратурой, значительно улучшилось. В 1968 г. в ЦИФИ ВАН была разработана первая такая малая ЭВМ ТРА-1001. В 1971-72 гг. будут выпущены современные малые ЭВМ третьего поколения в СССР и ВНР, не уступающие по своим параметрам лучшим образцам западных машин такого класса.

Благодаря тесному научному сотрудничеству между ЦИФИ ВАН и ОИЯИ, в конце 1969 г. в Лаборатории ядерных реакций был установлен один из первых серийных экземпляров ЭВМ ТРА-1001, явившейся пионером применения такого класса машин на линии с экспериментальной аппаратурой в ОИЯИ. Перед коллективом отдела радиоэлектроники Лаборатории ядерных реакций, членом которого был и автор данной диссертации, была поставлена задача исследовать возможность применения современных методов накопления и предварительной обработки физической информации, в том числе возможность наиболее эффективного использования минимального комплекта ЭВМ ТРА-1001 для экспериментов, проводимых на пучках ускоренных многозарядных ионов циклических ускорителей ЛЯР, разработать необходимые

устройства сопряжения (интерфейсы) с экспериментальной аппаратурой и соответствующее программное обеспечение приема, накопления и предварительной обработки информации, включая наиболее удобный и простой язык общения между экспериментатором и машиной. Результаты этих работ и являются темой настоящей диссертации.

Диссертация состоит из пяти глав.

В первой главе дается краткий обзор развития экспериментальной техники в ядерной физике, анализируется организация физических экспериментов с малой ЭВМ на линии с экспериментальной аппаратурой, описываются в общих чертах актуальные экспериментальные работы и их характерные требования к средствам измерительной и вычислительной техники, используемой в Лаборатории ядерных реакций для экспериментов на ускорителях тяжелых ионов.

Малая ЭВМ, как составная часть экспериментальной аппаратуры, выполняет следующие функции:

- 1) Накопление в ОЗУ информации, поступающей от детекторов. Контроль за ходом ввода информации.
- 2) Контроль аппаратуры, участвующей в эксперименте. Выявление неисправностей и определение степени надежности получаемой информации при отказах в отдельных звеньях экспериментального оборудования. Измерение параметров аппаратуры в реальном времени эксперимента и извещение экспериментатора в тех случаях, когда уход параметров или отказы могут существенно повлиять на качество результатов.
- 3) Анализ условий проведения эксперимента и оповещение экспериментатора, когда эти условия не соответствуют заданным.
- 4) Проведение простейшей предварительной обработки полученных результатов в ходе эксперимента.

5) Вывод принятых или обработанных данных на осциллограф, печать или на другие внешние устройства во время эксперимента.

6) Сортировка и отбор данных для дальнейшей обработки. Запись этих данных на долговременное запоминающее устройство или непосредственная трансляция по линии связи в более мощную ЭВМ вычислительного центра.

Рассмотренные в этой главе примеры использования ЭВМ в реальном масштабе времени относятся к экспериментам в области физики низких энергий. Однако основные требования к малым и мини-ЭВМ в экспериментах на линии достаточно общи для всей экспериментальной ядерной физики.

С точки зрения сложности программ приема, накопления, предварительной обработки и визуального представления информации в форме, удобной для восприятия экспериментатором, все эксперименты, проводимые в Лаборатории ядерных реакций, можно разделить на две категории:

1) Одномерные спектрометрические измерения на одном или нескольких детекторах (α , β или γ -спектрометрия продуктов реакций, опыты на масс-сепараторе, химия трансураниевых элементов и т.д.);

2) Многомерные измерения (идентификация трансураниевых элементов, изучение протонной радиоактивности, опыты по реакциям передачи).

Малая ЭВМ в достаточной мере обеспечивает предварительную обработку измерений первой категории, а в ряде случаев может также обеспечивать предварительную обработку и многомерных измерений.

При наличии в составе малой ЭВМ даже простейшего дисплея имеется возможность проводить такие важнейшие операции по

предварительной обработке и нормировке экспериментальных данных, как:

- 1) нормировка спектра к шкале истинной энергии и корреляции его;
- 2) идентификация характеристических линий спектра;
- 3) вычитание фона;
- 4) последовательное вычитание нормированных стандартных спектров;
- 5) определение интенсивности линий по их площадям;
- 6) сглаживание спектра;
- 7) разложение сложного спектра на составляющие с применением метода наименьших квадратов;
- 8) определение периодов полураспада компонент сложного спектра;
- 9) определение заданных значений или характеристических диапазонов в сложном распределении (например, вычисление $E \times \frac{dE}{dX}$).

Во второй главе рассматриваются основные характеристики базовой конфигурации ТРА-1001 ^{/2/}. Анализируются разные способы программного и автономного обмена информацией, общие вопросы, выбора типа передачи при разных условиях.

ТРА-1001 является малой ЭВМ (4096 каналов/12 бит) со средней скоростью. Максимальное число внешних устройств: 165. Для ввода-вывода имеются каналы с программным управлением (PDT) и каналы прямого (автономного) доступа к памяти с управлением от внешних устройств (ADT). Максимальная скорость передачи по программному каналу 1000000 дв.разряд/сек, по автономному каналу 1200000 дв.разряд/сек.

Основная конфигурация ТРА-1001 состоит, кроме процессора, ОЗУ и пульта оператора, из телетайпа ASR -33, быстрого фотосчитывающего устройства FS -1500 (1500 хар/сек) и быстрого ленточного перфоратора PE-1500 (150 хар/сек).

При программной передаче прерывание производится на разных уровнях, определяемых программным путем. Самая быстрая форма программной передачи происходит в случае, когда инициатором обмена является основная программа. Если инициатором прерывания является внешнее устройство, то время выполнения обмена зависит от числа используемых интерфейсов и от уровня приоритета данного интерфейса.

В режиме одноциклового автономной передачи временное прекращение программы происходит на 10 мксек, а трехцикловая автономная передача совершается за 30 мксек. При этом режиме последовательный перенос различных массивов осуществляется без внешнего регистра адресов и счетчика длины массива. Оба вида автономных передач выполняются на самом высоком уровне приоритета.

В дальнейшем анализируются общие вопросы выбора типа передачи и принципы построения интерфейсов. Анализ временных соотношений 15 различных форм программных и автономных передач показал, что автономная передача в большинстве случаев в 2-20 раз быстрее программной, но интерфейс одноциклового автономного режима требует специальных регистров и даже при использовании трехцикловых автономных интерфейсов функции мультиплексора реализуются только схемным путем. Так как большинство экспериментов в ЛЯР характеризуются небольшой нагрузкой на входе измерительной аппаратуры, целесообразно применять простые интерфейсы программного типа, и только при наб-

людении и анализе одномерных и двумерных γ -спектров необходимо использовать интерфейсы автономного и программно-автономного типа. С целью демонстрации многосторонних возможностей различных комбинаций режимов PDT и ADT приведено несколько примеров построения интерфейсов.

В третьей главе приводятся основные режимы измерений и описываются разработанные для них интерфейсы. Основной целью являлась разработка комплекса внешних устройств, который позволял бы осуществлять следующие измерения:

- 1) Прямой интегральный анализ спектрометрических данных на 1024 канала с емкостью в канале до 2^{24} .
- 2) Одновременный прямой интегральный анализ 8 спектров по 256 каналам (или 4×512 или 2×1024) с емкостью в канале 2^{12} .
- 3) Одновременный анализ $4+8$ спектров по 1024 каналам при помощи цифровой фильтрации (при индивидуальном выборе места и ширины окон) с емкостью в канале 2^{18} . Общее число каналов в окнах $1500+2000$ при 4К ОЗУ.
- 4) Прямой двумерный интегральный амплитудный анализ с общим числом каналов 2048 с емкостью в канале 2^{12} .
- 5) Измерение периода полураспада изотопов в режиме $A \times T$ (512×4 , 256×8 , 128×16 , 64×32) с длительностью временного интервала от 10^{-3} сек до 10^4 сек. Емкость канала 2^{12} .
- 6) Двухмерный 1024×1024 -канальный амплитудный анализ со сжатием информации в 4096 каналах (емкость канала 2^{18}).
- 7) Двухмерный 1024×1024 -канальный анализ со сжатием и со сложной обработкой информации при помощи предварительного моделирования эксперимента.

Для выполнения вышеуказанных режимов измерения были подключены 1024 x 1024 двойной амплитудный кодировщик СА-25, осциллоскоп RG-96 (INTERTECHNIQUE), восьмитрактовый (8 x 1024-канальный) стабилизированный спектрометр МАРС-12 (ЛЯР) и внешние накопители информации (анализаторы АИ-4096)^{/3/}. При разработке комплекса интерфейсов измерения и обработки учитывалась возможность подключения к ТРА светового карандаша NZ-612 (ЦИФИ) и графикостроителя (с целью изображения многомерных спектров в виде топографических карт^{/4/}). После анализа более двадцати вариантов интерфейсов в соответствии с вышеуказанными требованиями было разработано универсальное устройство измерения и обработки^{/5,6/}, состоящее из следующих блоков:

А) Центральный блок управления комплекса интерфейсов, который содержит кроме общего адресного регистра интерфейсов 1) клавиатуру режима работы, 2) клавиатуру определения начального адреса поля наблюдения и буфера автономной передачи и 3) клавиатуру алфавитно-цифровых символов и приказов.

Б) Интерфейс прямого интегрального анализа для проведения при помощи кодировщика СА-25 одномерного и двухмерного прямого анализа в течение одного или двух 10 мксек автономных циклов в зависимости от требуемой емкости канала (2^{12} или 2^{24}). При импульсном режиме ускорителя процент загрузки машины на регистрацию составляет порядка 5%, а около 95% машинного времени остается на выполнение программ визуального представления данных и их обработку.

В) Интерфейс буферного анализа осуществляет при помощи кодировщика СА-25 буферное накопление не более 20 разрядных кодов событий (дискрипторов) в течение одного или двух 10 мксек автономных циклов. Место и длина организуемого внутри ОЗУ

ТРА буфера выбираются клавишами соответствующей клавиатуры.

Г) Интерфейс спектрометра "МАРС-12" разработан для подключения к ТРА спектрометров типа МАРС^{/7-9/} или любых внешних кодирующих устройств, имеющих параллельный выход адресного кода. Для освобождения основной программы (наблюдение, обработка, вычисления во время измерения) от периодического контроля состояния внешнего спектрометра используется заложенная в ТРА система программного прерывания.

Д) Интерфейс визуального представления данных разработан для наблюдения и осциллографической обработки данных во время и после окончания измерения. Имеются два режима визуального представления данных^{/5/}. Программный режим наблюдения используется для изображения фигур, букв, цифр и символов, состоящих из индивидуальных растровых точек. Время подсвета одной точки равно (не более) 64 мксек, а среднее время подсвета расположенных вдоль одной вертикальной линии n индивидуальных растровых точек $T_{\text{ср}} = 32 + 32/n$ мксек. При программно-автономном режиме наблюдения максимальная длина и начальный адрес наблюдаемого массива ОЗУ определяются соответствующей клавиатурой, но могут управляться и программным путем. Время подсвета одной точки изображения - 22 мксек. Так как предварительная контрольная обработка или некоторое преобразование (изменение масштаба X и Y , применение логарифмического изображения, нормализация, сглаживание, определение полуширины и места пика, вычитание фона и т.д.) иногда нужны и во время измерения, интерфейс реализует и такой режим, когда визуальное представление спектральных данных производится при помощи специального поля наблюдения, где могут выполняться различ-

ные деформации спектра без изменения результата самого измерения.

Е) Интерфейс ионного источника служит для управления измерением тока движущегося перед дуантом коллектора ионов в режиме буферного накопления при программной передаче. Местоположение каналов измерения определяется при помощи фотодиода.

Ж) Интерфейс светового карандаша определяет место и тип выполняемого действия при помощи клавиатуры символов, клавиатуры ручного выбора на пульте оператора или с использованием символов, представленных на экране осциллографа.

З) Интерфейс внешних устройств осуществляет взаимную связь с внешними накопителями информации (в данном случае анализаторами типа АИ-4096) через программные каналы. При помощи трех периферийных команд происходит обмен информацией, очистка или интегральный анализ с длиной слова 18 разрядов. Время выполнения интегрального анализа по адресу аккумулятора ТРА во внешней памяти - 24 мксек.

И) Интерфейс визуального представления масок используется для наблюдения информации растрового характера и был разработан на основании опытов предыдущих работ /10/. С целью хранения необходимой информации вместо одного канала используется только один разряд. Таким образом, для хранения маски, состоящей из 4096 растровых точек, достаточно 432 канала.

В этой же главе описывается УНИВЕРСАЛЬНАЯ КЛАВИАТУРНАЯ СИСТЕМА ОСЦИЛЛОГРАФИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ("TCDS"), разработанная для гибкого программного обеспечения обработки /6,11-14/. При помощи светящихся маркеров и системы стандартных подпрограмм и приказов система "TCDS" упрощает общение

между экспериментатором и машиной. Она широко применялась в ряде экспериментов в ОИЯИ и ЦИФИ. Эта система решает следующие основные задачи:

- а) прием в ТРА информации, поступающей от внешних накопителей и преобразователей;
- б) сортировка и отбор данных для дальнейшей обработки;
- в) непрерывное визуальное представление данных во время анализа и выполнение разных вычислительных задач или операций ввода, вывода и обработки;
- г) различные способы вывода: на экран (сечение, сжатие, увеличение, сдвиг картины), печать, перфоленту и построение графика;
- д) различные виды предварительной обработки и деформации или преобразование данных (сглаживание по методу наименьших квадратов, вычитание фона, нормализация и т.д.).

При помощи таких клавиатурных команд реализуется непрерывное движение наблюдаемой части спектров и светящихся маркеров с желаемой скоростью или перенос с разными шагами сдвига. Маркеры же используются для определения диапазона действия разных приказов телетайпа. Система TCDS дает возможность экспериментатору активно оперировать с хранящейся в машине информацией, производить осциллографическую обработку данных, вмешиваться в ход обработки, оперативно оценивать результаты измерений.

В четвертой главе рассматриваются физические эксперименты, проведенные на линии с ЭВМ ТРА-1001. Описываются используемое оборудование и блок-схемы измерений:

А) Обычный прямой интегральный анализ в опытах по идентификации радиоактивных изотопов химических элементов. В этих

опытах определялась относительная летучесть элементов Sc , Na , Pd . Время регистрации события в ОЗУ 20 мксек, а максимальная загрузка по входу системы в основном зависит только от быстродействия аналого-цифрового преобразователя. При помощи разработанного автором программного пакета "ЮПИТЕР" при выводе определяются адреса каналов и соответствующие значения энергии с точностью 0,1 кэв.

Б) Эксперименты с γ - γ -совпадениями. Анализируется энергетическое распределение (КОРРЕЛЯЦИЯ ЭНЕРГИИ) параметра γ_1 только вдоль выбранных пиков (окон) параметра γ_2 . Имеется возможность производить описанным методом и миллионно-канальное измерение с одновременным использованием 4-16 окон.

В) Эксперименты на 8-трактовом спектрометре "МАРС-12". При помощи интерфейса, системы $TCDS$ и разработанных измерительных программ можно осуществлять предварительные контрольные измерения правильности работы системы (контроль работы системы стабилизации, блоков передачи кодов и т.д.), определять или изменять местоположение и ширину окон по шкале энергии, индивидуальный пуск и остановку измерения в трактах и окнах, выполнение разных форм обработок.

Г) Телескопическая идентификация частиц с повышенной точностью /15-17/. В данном эксперименте (который был реализован при помощи защитных программ и специального ручного пульта ввода данных на АИ-4096) и в результате разработанных преобразований поле квазигиперболических дескрипторов $x = \Delta E$, $y = E - \Delta E$ переходит в поле вертикальных прямых по форме дескрипторов $R(X, Y)$, где параметр Y - линейно пропорционален энергии E , а X - линейно пропорционален числу идентификации, значение которого характеризует разные изотопы.

Д) Измерение спектров тока ионного источника. Для изучения режимов ионных источников была поставлена задача автоматического измерения масс и зарядов ионов на испытательном стенде с последующей их обработкой. Измерение осуществляется при помощи программного пакета "ИСТОЧНИК", состоящего из стандартных элементов системы $TCDS$. Специальные команды служат для определения начального и конечного адреса анализа и для определения числа повторных измерений в одном канале, арифметическое среднее которых запоминается в ОЗУ ТРА. Местоположение каналов определяется при помощи фотодиода, положение подвижного коллектора ионов отмечается на экране в ходе эксперимента светящимся маркером.

В пятой главе суммируются результаты исследования сжатия экспериментальной информации. Так как самой тяжелой проблемой статистического анализа является эффективное использование ОЗУ (особенно для мини-ЭВМ), для сжатия физической информации широко применяется метод цифровых окон. Эффективность отбора, сложность необходимых для фильтрации алгоритмов зависит от формы распределения ценной информации. Показано, что метод преобразования кодов во многих случаях упрощает и ускоряет эффективную цифровую фильтрацию. Составлены простые алгоритмы для измерений, при которых поверхность информации линейного расположения пересекает оси координатной системы под произвольным углом, для расположения информации в виде лучей, для кольцеобразных и для гиперболических форм расположения.

Ассоциативный анализ является одним из современных методов для уменьшения избыточности информации, но анализ характерных экспериментов с тяжелыми ионами показал, что обычные формы ассоциативного анализа во многих случаях не являются

эффективными. Дается краткое описание разработанного автором метода, при котором после предварительной ориентации сам физик-экспериментатор определяет области безусловного и ассоциативного анализа, откуда по вероятным критериям выбираются события, и область информации, не представляющая интереса, исключается из анализа /18,19/.

При экспериментах с тяжелыми ионами возникла необходимость проведения некоторых предварительных расчетов и вычислений контрольного характера. С этой целью были разработаны программы для определения потери энергии в детекторах телескопов (**SEZAM**) и программы, полностью моделирующие эксперимент (**REKI**, **PEAK**). Выполненное моделирование дало возможность не только контроля правильности работы аппаратуры, но и значительно повысило эффективность использования памяти, автоматизировало сами измерения. Исследованы при помощи моделирования различные методы сжатия статистической информации, разработаны оригинальные алгоритмы для сжатого хранения табличных и измеряемых данных.

Основные результаты диссертации сводятся к следующему:

1. На основе анализа основных экспериментов, проводимых на ускорителях тяжелых ионов в Лаборатории ядерных реакций, исследованы методы накопления экспериментальной информации и необходимые виды ее обработки с помощью малой ЭВМ. Сформулированы общие требования и показана принципиальная возможность использования для этих экспериментов ЭВМ ТРА-1001 с ограниченным объемом ОЗУ (4К).

2. Исследованы оптимальные решения подключения ЭВМ ТРА-1001 к измерительному оборудованию для различных режимов анализа экспериментальных данных и необходимый минимальный состав периферийных устройств.

3. Разработаны логические и схемные проекты интерфейсов для основных экспериментальных задач. Разработаны и изготовлены: центральный блок управления интерфейсами, интерфейс прямого интегрального анализа, интерфейс 8-трактового специального спектрометра МАРС-12, интерфейс автоматики измерения ионного источника, интерфейс системы визуального представления и осциллографической обработки информации. На этапе подключения находятся интерфейсы для других внешних накопителей информации, для быстрого буферного накопления многомерных данных и для изображения масок.

4. Разработана универсальная система клавиатурных команд осциллографической обработки (**TCDS**), создан простой язык общения экспериментатора с машиной. Предложен элементарный набор малогабаритных стандартных подпрограмм и блоков предварительной обработки (сглаживание, интеграл области, вычитание фона, определение энергетического масштаба и т.п.).

5. Предложен оригинальный метод составления сложных программных пакетов из стандартных блоков и подпрограмм (**ORG-LOADER**) и программы ввода-вывода на перфоленту с хранением служебных заметок и с возможностями переадресации массива данных /20/.

6. Предложены основы метода моделирования экспериментов на ускорителях тяжелых ионов (программы "**SEZAM**", "**REKI**", "**PEAK**"), выполнено моделирование разных методов сжатия информации (программа "**PRESS**").

7. Разработаны методы уменьшения избыточности при вводе, выводе и хранении табличных данных в мини-ЭВМ с определенной точностью, методы ускорения ввода-вывода и экономия материальных средств при помощи сжатия информации. Разработан

новый вариант программно-ассоциативного анализа, ограничивающий механическое влияние распределения по вероятности.

8. На разработанной аппаратуре с малой ЭВМ ТРА-1001 на линии с экспериментальным оборудованием осуществлено накопление и обработка информации для пяти различных физических экспериментов. В настоящее время ведутся эксперименты по синтезу и идентификации α и γ -активных трансураниевых изотопов при непрерывных интервалах измерений от 20 до 150 часов.

Материалы диссертации докладывались на международных симпозиумах в *Versailles* и Варне, и опубликованы в работах /5,6,11-16,18-20/.

Л и т е р а т у р а

1. Г.Н. Флеров. Доклад на Международной конференции по физике тяжелых ионов. Дубна, 1971. Изд.-во ОИЯИ Д7-5769 (1971).
2. ТРА Small Scale General Purpose Computer. KFKI, Budapest, 1968.
3. С.С. Курочкин. Многомерные статистические анализаторы. Атомиздат, Москва (1968).
4. И. Ланг, А.М. Сухов, Л.П. Челноков. Труды седьмой конференции по ядерной электронике. Атомиздат, М., 1969, т.1, ч.2, стр. 32.
5. И. Ланг, О.К. Нефедьев, Б.В. Фефилов. Сообщения ОИЯИ, 10-5296, Дубна (1970).
6. И. Ланг, О.К. Нефедьев, Б.В. Фефилов. Сообщение ОИЯИ, 10-5536, Дубна (1970).
7. М.С. Бирулев, И. Ланг, А.Ф. Линева, А.М. Сухов, Л.П. Челноков. ПТЭ, 5 стр. 90 (1963).

8. B.V.Fefilov, L.P.Chelnokov. Proc. ISBRA Nucl. El. Symp. EUROATOM, Italy, 1969, p. 269.
9. Л.П. Челноков. Автореферат диссертации ОИЯИ, 13-4264, Дубна (1969).
10. B.V.Fefilov, I.Lang, F.Toro, L.P.Chelnokov. Proc. Intern. Symp. on Nuclear Electronics, Versailles, 1968, T. 2, p.145/1-11.
11. I.Láng. Teletype vezérelt display rendszer. (TCDS), KFKI, Budapest, 1970.
12. I.Láng. Teletype Controlled Display System. A "DISP-A" dispatcher program listingje. KFKI, Budapest, 1970.
13. I.Láng. Teletype Controlled Display System. Bázis-subroutine készlet. KFKI, Budapest, 1970.
14. I.Láng. Teletype Controlled Display System. Bázis-utasítás-block készlet, KFKI, Budapest, 1970.
15. И. Ланг, В.И. Вакатов, Я. Эре. Семинар по ядерной электронике. Варна, июнь, 1969, стр. 245.
16. J.Erö, I.Láng, V.I.Vakatov. Meres es Automatika, 12 (1970), p.453.
17. В.И. Вакатов, И. Ланг, Ф. Тере. Сообщения ОИЯИ, 11-4342, Дубна, 1969.
18. И. Ланг, Ф. Тере, Л. Сани, Б.В. Фефилов, Л.П. Челноков. Сообщения ОИЯИ, 10-3632, Дубна, 1967.
19. I.Láng, B.V.Fefilov, A.M.Suhov, L.Szanyi, F.Toro. Proc. Intern. Symp. on Nuclear Electronics. Versailles, 1968, T. 2, p. 146/1-9.
20. I.Láng. The Universal Bin Loader and Universal Bin Punch Programs, KFKI, Budapest, 1971.

Рукопись поступила в издательский отдел

30 июня 1971 года.