

518001151

ЕФИ-740(55)-84

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ИНФОРМАЦИИ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ПО АТОМНОЙ НАУКЕ И ТЕХНИКЕ

Г.Л.БАЯТЯН, Л.Б.ПАРФЕНОВ, С.С.СТЕПАНЯН

СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ СТЕПЕНИ ПОЛЯРИЗАЦИИ
ДЛЯ ПОЛЯРИЗОВАННОЙ МИШЕНИ

ЕРЕВАН-1984

© Центральный научно-исследовательский институт информации
и технико-экономических исследований по атомной науке
и технике (ЦНИИатоминформ) 1984

BM-740(55)-84

G.L.BAYATIAN, L.B.PARFENOV, S.S.STEPANIAN

A SYSTEM FOR MEASURING THE DEGREE OF POLARIZATION
FOR A POLARIZED TARGET

The hardware for measuring the degree of polarization for a polarized target employing the nuclear magnetic resonance (NMR) method is described. To measure the NMR signal a successive voltage quantometer is applied. A wide-band measurement system, with an automatic fine tuning of the receiving circuit as well as a zero line compensator for the automatic control of the compensated line stability are constructed, and a charge-memory circuit is developed to store the NMR signal and to filter it of high frequency noise.

Yerevan Physics Institute

Yerevan 1984

Введение

В мишенях с ориентированными динамическим методом ядрами степень поляризации обычно измеряется по интегральной интенсивности спектра поглощения ядерного магнитного резонанса (ЯМР) [1]. В качестве детектора сигналов ЯМР используется Q-метр - прибор, регистрирующий изменение модуля импеданса настроенного радиоконтур, в катушке индуктивности которого помещен контейнер с веществом.

Обычно предполагается, что при выполнении условий ЯМР изменение индуктивной части комплексного сопротивления контура описывается формулой

$$j\omega L = j\omega L_0 (1 + 4\pi \eta \chi(\omega)),$$

где L_0 - собственная индуктивность катушки,

η - фактор заполнения катушки парамагнетиком,

$\chi(\omega) = \chi'(\omega) - j\chi''(\omega)$ - комплексная ядерная восприимчивость вещества мишени,

ω - циклическая частота.

Действительную и мнимую части восприимчивости называют соответственно дисперсией и поглощением. Дисперсия определяет приращение реактивной части полного импеданса катушки, а изме-

рение активной части обусловлено поглощением.

С поглощением связана величина ядерной поляризации [1]

$$P \sim \int_c^{\infty} \chi''(\omega) d\omega.$$

Сигнал ЯМР наблюдается в виде амплитудной модуляции высокочастотного напряжения, пропорционального изменению модуля импеданса контура при линейной девиации частоты питающего генератора в диапазоне от ω_1 до ω_2 , выбранном так, что $(\omega_2 - \omega_1) > 4\Delta\omega$, где $\Delta\omega$ - полуширина линии спектра поглощения.

Мерой ядерной поляризации служит интеграл

$$P' = \int_{\omega_1}^{\omega_2} \frac{|Z(\omega)| - |Z_0(\omega)|}{|Z_0(\omega)|} d\omega,$$

где $Z(\omega)$ - полный импеданс входного контура, $Z_0(\omega) = Z(\omega)|_{\chi' = \chi'' = 0}$ - импеданс контура в отсутствие парамагнитного поглощения.

Величина поляризации определяется отношением

$$E_{\text{изм}} = \frac{P'}{P'_0},$$

где P'_0 - значение, полученное при интегрировании сигнала ЯМР в тепловом равновесии системы ядерных спинов с решеткой при температуре T , когда поляризация может быть вычислена по формуле

$$P_0 = th \frac{\mu \cdot H}{kT},$$

μ - магнитный момент ядер, H - напряженность магнитного поля, k - постоянная Больцмана.

Значение $E_{\text{изм}}$ из-за влияния дисперсии в измерениях несколько отличается от истинного, поэтому вводится поправка:

$$E = E_{\text{изм}}(1 - \varepsilon),$$

ϵ - поправка на нелинейность [2-4]. Если найдено E , то искомое значение поляризации рассчитывается по формуле:

$$P = F_c E.$$

В работе [5] отмечается, что при применении последовательного резонансного контура с фазовой автоподстройкой принципиально возможно осуществить Q - метр практически без систематических ошибок.

Нами разработана система измерения степени поляризации с последовательным резонансным контуром с применением фазовой автоподстройки со схемой запоминания и фильтрации от высокочастотных помех с компенсатором дрейфа нулевой линии.

Блок-схема и общее описание системы измерения степени поляризации

Блок-схема системы измерения степени поляризации приведена на рис.1.

На приемный последовательный колебательный контур, состоящий из варикапа, подстроечного конденсатора, коаксиального кабеля длиной $\frac{3}{2} \lambda$ (подбирается кратной половине длины волны, соответствующей частоте наблюдения ЯМР) и катушки (внутри которой помещается контейнер с веществом), прикладывается радиочастотный сигнал через большое сопротивление. Высокочастотные колебания с контура, промодулированные сигналом ЯМР - поглощения и частотной характеристикой контура, усиливаются широкополосным услителем до уровня, необходимого для линейного детектирования.

В схеме предусмотрена автоматическая подстройка кс (АПК) для улучшения линейности Q-метра. Напряжение на выходе АПК вырабатывается в фазовом детекторе, на входы которого подаются через фазовращатель (элемент I4, рис. I) радиочастотный сигнал генератора (элемент I) и напряжение, снимаемое с УВЧ (элемент 2). С помощью напряжения обратной связи, подаваемого на варикал в цепи приемного контура, компенсируется расстройка контура, достигается равенство нулю фазового сдвига между колебаниями на контуре и радиочастотным генератором. При включении АПК частота контура всегда равна частоте радиочастотного генератора в диапазоне девиации частоты, что приводит к компенсации частотной характеристики контура. На элементе 3 осуществляется детектирование сигнала. Для полной компенсации остаточной частотной характеристики измерительного контура Q-метра ("дуга") проводится аналоговое суммирование на первом каскаде УНЧ (элемент 4 на рис. I) с сигналом из формирователя "дуги" (элемент 7). На элементе 6 сделан калиброванный аттенюатор, после него происходит усиление ($K_n = 400$) низкочастотного сигнала (элемент 9). БУ (элемент I2) обеспечивает синхронизацию элементов системы измерения поляризации с прохождением сигнала ЯМР. На элементе 5 осуществлена схема для автоматического поддержания формы скомпенсированной нулевой линии (названа она компенсатором дрейфа).

На элементе I6 показана схема зарядно-запоминающего устройства, в котором производится накопление результатов многих прохождений ЯМР-сигнала. В этой схеме используется метод временной фильтрации для улучшения отношения сигнал/шум всей

системы измерения.

На элементе IО производится интегрирование и передача сигнала на цифровую индикацию (элемент II). Точки а, б, в используются для наблюдения на осциллографе.

Сигнал ошибки на выходе АЦП содержит в себе X^2 дисперсии. Можно ввести сюда коррекцию в виде "дуги" и получить дисперсию в чистом виде для наблюдения.

Сигналы с точек "Вых." (рис.1) и "Вых.М" (рис.2) используются для выдачи информации на ЭВМ через стробируемый амплитудно-цифровой преобразователь (АЦП).

Описание отдельных каскадов

В качестве усилителя высокочастотного сигнала (УВЧ) были разработаны два варианта схем. В первом варианте за основу был взят усилитель широкополосный [6]. Усилитель сделан на транзисторах $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, T_7$ в виде двух троек с применением обратной связи в каждой из них (рис.3). В схеме для предотвращения автоколебаний применяются проходные конденсаторы в цепях питания. Для получения равномерной амплитудно-частотной характеристики в интервале от 20 до 150 мГц используются корректирующие дроссели и конденсатор C_5 . В качестве УВЧ можно применить также сделанный по гибридно-планарной технологии стандартный усилитель УТР-6, выпускаемый промышленностью.

ВЧ-сигнал после усиления детектируется на диодах D_4, D_5 . Постоянная составляющая напряжения на детекторе используется

для настройки Q - метра.

На операционном усилителе M_3 происходит первоначальное усиление ($K_u = 10$) детектированного сигнала и там же происходит вычитание из него составляющей частотной характеристики последовательного резонансного контура. В качестве фазового детектора используется усилитель M_2 на микросхеме I75УВЧ (пунктирная линия на рис.3). Она используется в качестве аналогового перемножителя [10]. ВЧ-сигнал через конденсатор C_{19} прикладывается к базе транзистора, включенного в общую эмиттерную цепь дифференциальной пары транзисторов.

На базу дифференциальной пары транзисторов, входящих в микросхему M_2 , подается сигнал радиочастотного генератора через конденсатор C_{14} и регулируемый фазовращатель (D_9 , D_{10} , R_{30} , R_{31} , R_{32} и коаксиальный кабель l_{3ag}). После усиления на M_1 сигнал ошибки прикладывается к варикапу приемного контура D_2 для автоматической подстройки контура. В качестве низкочастотного фильтра в фазовом детекторе используются монтажные и входные-выходные емкости M_1 , M_2 . Генератор развертки сделан на транзисторе T_8 по обычной трехточечной схеме. На резисторах R_{53} , R_{54} и R_{37} производится регулировка и девиация частоты. Частотная модуляция и регулировка средней частоты происходит с помощью варикапа D_6 . Формирование пилообразного напряжения для развертки частоты осуществлена на M_{6-1} , M_{6-2} , M_4 . Для этого в точку "d" подается прямоугольный сигнал Q (рис.2). Сделаны два генератора на одной монтажной плате со средними частотами 114 и 20 МГц соответственно для протонной и дейтериевой поляризованных мишеней. Пре-

дусмотрена также стабилизация амплитуды ВЧ-напряжения. Уровень поддерживается с помощью обратной связи на микросхеме M_5 и детектора, состоящего из D_7 , D_8 , C_{15} (рис.3); в качестве регулируемого элемента используется двухзатворный транзистор T_9 . Предусмотрен выход "контроль частоты" на частотомер.

Функционирование каскадов системы измерения происходит синхронно с прохождением сигнала ЯМР. Все временные привязки осуществляются от задающего кварцевого генератора на 10 мГц, который осуществлен на элементах $M4-1$, $M4-2$ (рис.2). На элементах $M5$, $M6$, $M7$, $M8$, $M9$ происходит деление частоты на десять, а на $M2$ - на два. $M3$ является триггером пуска системы измерения. На выходе формируется импульс с длительностью 2,5 мс с частотой повторения 50 Гц, обозначенный Q - сигналом. Этот сигнал подается на все точки системы измерения в качестве синхронизирующего сигнала (рис.1, выходы BV). На выходе $M11-3$ формируется "меандр" с частотой 50 кГц, входящий в эти 2,5 мс. На двух элементах $M12$ и $M13$ осуществлена возможность получения электронной пересматриваемой задержки Q - сигнала (рис.2). На регистрах сдвига $RG 1$, $RG 32$ организован кольцевой счетчик. С помощью S_1 в начальный момент на входах регистров сдвига устанавливается режим параллельного занесения, в связи с чем уровень логической единицы заносится в первый разряд $RG 1$, а во все остальные заносятся нули. Затем S_1 устанавливает режим работы, соответствующий сдвигу вправо. С каждым импульсом на входах C_1 и C_2 регистров сдвига происходит сдвиг информации на выходе кольцевого счетчика, когда логическая единица достигает последнего разряда

RG32, он перебрасывает триггер пуска (элемент М3). Этим заканчивается цикл измерения.

Выходы регистров сдвига подключены к управляющим входам электронных ключей, в результате чего поочередно открываются соответствующие ключи синхронно с прохождением развертки. ИМР-сигнал через М1-1 подается на эти коммутирующие ключи и накапливается на выходных конденсаторах с общим количеством 127 штук. Накопление практически осуществляется до амплитудного значения. Через ключи М1-2 и М1-3 снимается накопленный сигнал, очищенный от высокочастотных помех.

В работах [7 - 9] осуществлены устройства применения временной фильтрации.

В этих работах с применением АЦП и запоминания повторяющихся сигналов проводится выделение полезного сигнала от сопутствующих шумов. В нашем случае сделан независимый и простой по исполнению прибор для очищения и запоминания аналогового сигнала. Ясно, что на ЭВМ или цифровую индикацию лучше давать сигнал непосредственно с выхода зарядно-запоминающего устройства. Для компенсации резонансной характеристики входного контура происходит формирование компенсирующей "дуги" (часть 7, рис.4). Сигнал прямоугольной формы, поданный на точку "F" (Q - выход элемента М3, рис.2), дважды интегрируется. На выходе М11 получается сигнал пилообразной формы, а на выходе М12 - по форме, похожей на параболу. После суммирования этих сигналов получается сигнал компенсирующей "дуги". Схема позволяет регулировать характеристики компенсирующей "дуги". S3 является калиброванным аттенуатором. Оконечное усиление осуществ-

ляется на микросхемах М7 и М8. Между М7 и М8 включен последовательно-параллельный ключ. На части 15 сделан генератор синусоидального напряжения с частотой 10 кГц, служащий для настройки приемного контура на центральную частоту. На части 10 (рис.4) сделана схема интегратора.

Интересной особенностью системы измерения является компенсатор дрейфа нулевой линии (часть 5 рис.4), принцип работы которого заключается в следующем. В точку "е" подается сигнал Q (рис.2). От него формируется импульс, начинающийся практически во время окончания ЯМР-сигнала и задний фронт которого совпадает с окончанием сигнала Q (рис.2) на элементах М1-1, М1-2, М1-3, М1-4, М2, R1, R2, R3, С1, С2. С калиброванного аттенюатора измеряемый сигнал через развязывающий усилитель М4 подается на входы последовательно-параллельных ключей М5-1 и М5-2, управляющие входы которых отпираются формируемым импульсом с выхода М2. Через ключ М5-1 проходит (если она существует) составляющая напряжения, которая после пропорционально интегрального регулятора [10] на микросхеме М6 действует на приемный контур, в результате которого происходит коррекция нулевой линии.

Конструктивно система измерения степени поляризации сделана в виде единого блока на современных элементах с внутренним экранированием отдельных каскадов друг от друга.

Таким образом, разработанный прибор имеет следующие отличительные особенности:

- а) использование компенсатора дрейфа нулевой линии;
- б) схема зарядно-запоминающего устройства:

в) простая и своеобразная схема АПК;

г) широкополосность системы измерения дает возможность небольшими измерениями приспособить систему для работы с детерированной мишенью.

Проведены контрольные измерения с веществом дифенилпикрилгидрозил (ДФПГ) в переменном магнитном поле примерно 40 Э, создаваемом с помощью катушки Гельмгольца.

Авторы выражают признательность С.Б.Нурушеву за интерес к работе, С.Р.Шахазизяну и Ш.К.Широян за помощь в работе.

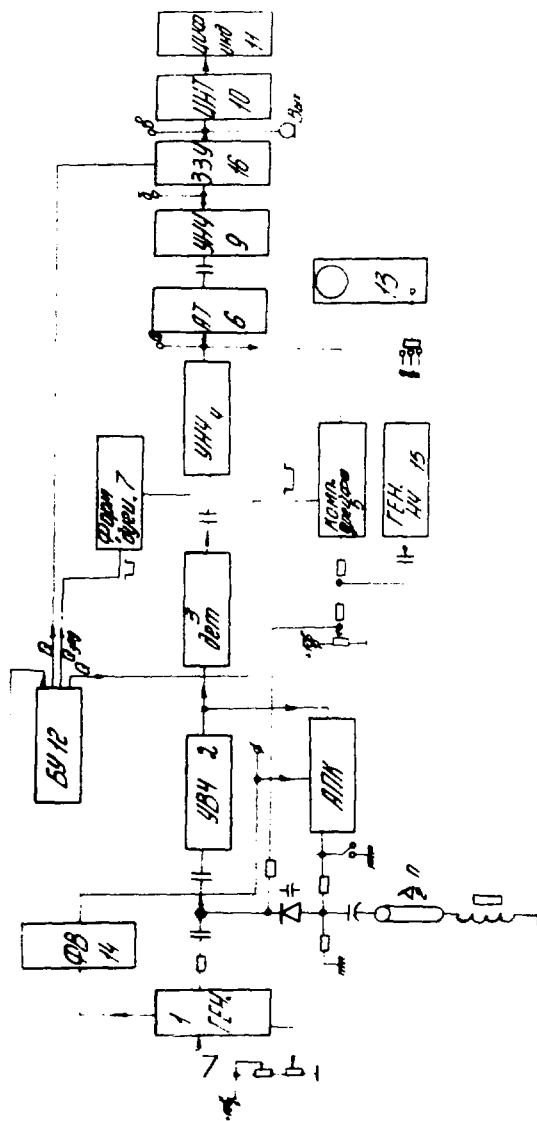
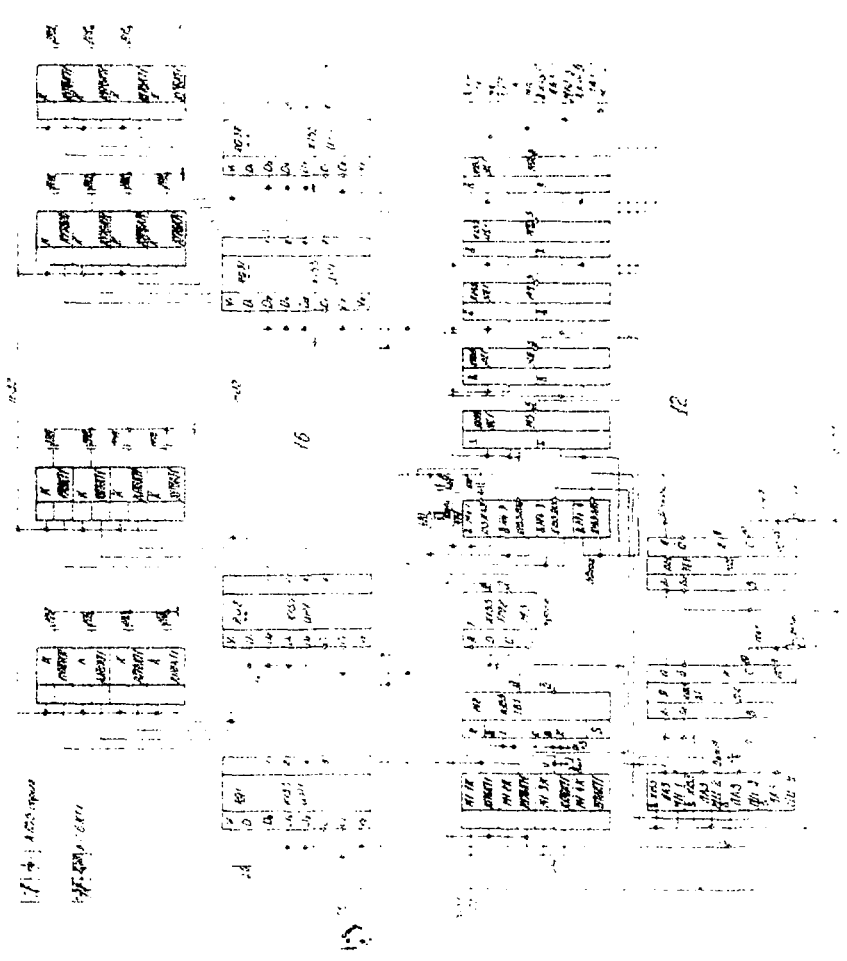


Рис.1 Блок-схема системы измерения поляризации



Р.И. Сабитов. Автоматизированное устройство 16. Блок управления 16.

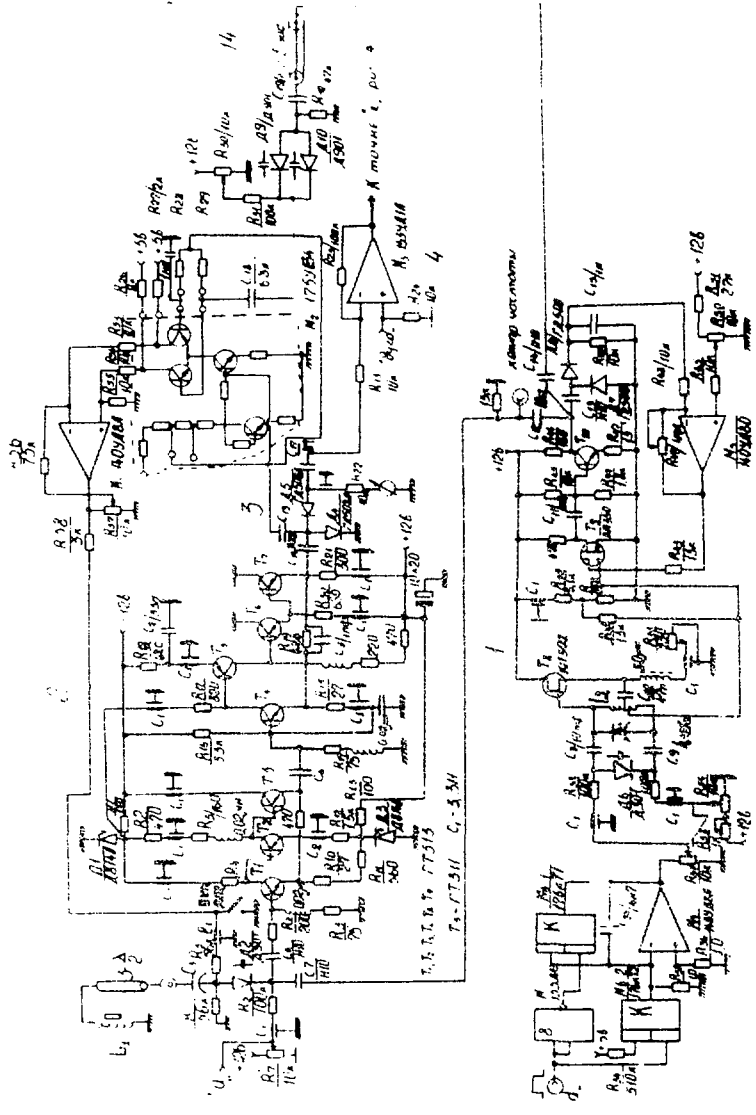


Рис.3 Генератор Г, УВЧ 2, детектор 3, УНЧ 4, АПК.
 фазовращатель Г4

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрагам А. Ядерный магнетизм. М.: ИЛ, 1963.
2. Petricek V., Jdehnal M. Analyse du Q-metre utilisee pour des mesures de polarisation nucleaire elevee.- Nucl.Inst. and Meth. 1967, vol.52, p.197-205
3. Petricek V. A linearized Q-meter circuit for measurements of high proton polarization in a target.-Nucl.Instr.meth., 1968, vol.58, p.111-116.
4. Киселев К.Ф., Матафонов В.Н. Аппаратура для измерения высокой ядерной поляризации поляризованных мишеней. Препринт, ОИЯИ, Р13-10101, Дубна 1976.
5. Либург М.Ф., Матафонов В.Н. Систематические погрешности при измерении поляризации протонных поляризованных мишеней методом Q - метра. Препринт ОИЯИ, Р13-81-365, Дубна, 1981.
6. Дражев М.Н., Иваненко А.И. Q -метр с автоподстройкой входного контура. Препринт ОИЯИ Р13-7176, Дубна, 1973.
7. Klein M.P. Enhancement of Signal to Noise Ratio by Continuous Averaging: Application to Magnetic Resonance - Rev. Sci. Instr., 1963, vol.34, p.754
8. Деркач А.Я., Луханин А.А., Карнаухов И.М. и др. Система измерения поляризации протонов в поляризованной мишени. Препринт ХФТИ АН УССР, ХФТИ 81-40, Харьков, 1981.
9. Прозоров С.П. Цифровой накопитель повторяющихся сигналов. Приборы и техника эксперимента 1984, № 2, с. 36.

10. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника. М.:
Мир, 1982.

Рукопись поступила 22 июня 1984 г.

Г. Л. БАЯТЯН, Л. Б. Парфенов, С. С. СТЕПАНЯН

СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ СТЕПЕНИ ПОЛЯРИЗАЦИИ ДЛЯ
ПОЛЯРИЗОВАННОЙ МИШЕНИ

Редактор Л. П. Мукаян

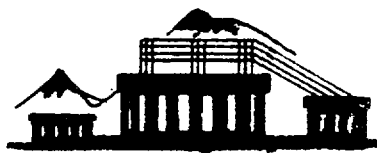
Технический редактор А. С. Абрамян

Подписано в печать 14/ХП-84г. ВФ-02986
Офсетная печать. Уч. изд. л. 1,5
Зак. тип. № 922

Формат 60x84/16
Тираж 299 экз. Ц. 22 к.
Индекс 3624

Отпечатано в Ереванском физическом институте
Ереван 36, Маржаряна 2

индекс 3624



ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ