


**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

13-88-636 

Ю.И.Романов

**19-КАНАЛЬНАЯ СВЕТОВОДНАЯ СИСТЕМА
ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ
С ВРЕМЕННЫМ УПЛОТНЕНИЕМ КАНАЛОВ**

1988

Проектом создания в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ сверхпроводящего ускорителя релятивистских ядер — нуклотрона^{1,2} предполагается размещение основных систем комплекса в существующих зданиях с максимальной загрузкой кабельных туннелей. При длине орбиты нуклотрона ~ 250 м кабельные и проводные линии связи систем контроля и управления характеризуются большой протяженностью (сотни метров), сложностью монтажных работ, параллельной организацией каналов передачи, достаточно малыми скоростями потоков информации в канале (десятки Кбит/с), значительными объемом и массой. Такие каналы коммуникаций потребуют тщательной экранировки линий связи от электромагнитных наводок и развязки заземленных элементов от блуждающих токов. Использование электронно-лучевого³ и лазерного⁴ источников с высокой степенью ионизации и малой длительностью импульса увеличит сложность борьбы с помехами из-за широкого спектра рабочих сигналов нуклотрона и, соответственно, сигналов паразитных наводок.

Кардинальное улучшение электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств ускорителя с одновременным упрощением монтажных работ может быть достигнуто за счет внедрения монтажных и внутриобъектовых волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) на наиболее ответственных участках кабельных коммуникаций⁵. Использование ВОЛС улучшит массово-объемные показатели устройств автоматики, существенно увеличит пропускную способность каналов связи, обеспечит их высокую помехозащищенность и гальваническую развязку. Мультиплексирование параллельных низкоскоростных потоков информации в один или несколько оптических каналов позволит в десятки раз снизить общее количество кабельных линий с одновременным повышением помехозащищенности.

Один из способов передачи данных по ВОЛС основан на временном уплотнении цифровых сигналов с применением специальных самосинхронизирующихся кодов, содержащих информационную последовательность и синхросигналы. Широко распространен для этих целей манчестерский код (код М). Необходимость в применении этого кода⁶ возникает из-за большого числа нулей или единиц подряд в передаваемой информации, это может привести к неоправданному расходу ресурса оптического передатчика. Временное уплотнение передаваемых данных и кодовые

преобразования выполняет волоконно-оптический мультиплексор¹⁷¹. Электрические сигналы, предназначенные для передачи, преобразуются в код М с помощью параллельно-последовательного регистра и шифратора. В оптическом передатчике эти сигналы формируют световые импульсы, вводимые в волоконно-оптический кабель (ВОК) для переноса информации на приемную часть схемы. В оптическом приемнике световые импульсы преобразуются в последовательность электрических сигналов в коде М. Дешифратор выделяет тактовые сигналы и биты информации для записи их в сдвиговый регистр. Полученный кадр записывается в выходной буфер в момент прихода синхроимпульса, который вырабатывается дешифратором в конце информационной последовательности.

Таким образом, можно выделить две основные особенности протяженных ВОЛС. Первая заключается в необходимости использования волоконно-оптического мультиплексора для преобразования параллельного входного кода в последовательный, а также жесткой привязки фронтов синхроимпульсов и информационных кадров на входе демultipлексора. Вторая особенность относится к схемам электронного обрамления и состоит в том, что в отсутствие информационных слов на модулятор оптического передатчика подается импульсная последовательность с частотой тактового генератора. Это позволяет держать передающий и приемный модули ВОЛС в рабочем состоянии и не пропустить информационный бит.

В описываемой системе с целью повышения помехозащищенности ВОЛС реализован метод повторной передачи информации, который компенсирует как возможные сбои в работе электронных блоков устройства, так и помехи, наводимые в ВОК в радиационных зонах. Все процессы синхронизации для приема информации выполняются на уровне разрядов, а также на уровне кадров. При этом сохраняется основной принцип асинхронного метода уплотнения: в отсутствие информационных слов на квантово-электронный модуль (КЭМ) передатчика поступает последовательность импульсов тактового генератора (информационный "0"), а каждое слово начинается с синхروпаузы (СП).

Волоконно-оптический мультиплексор (ВОМ) состоит из двух основных модулей: передающего оптического модуля (ПОМ), приемного оптического модуля (ПРОМ), и связующего их волоконно-оптического кабеля.

Структурная схема ПОМ (рис.1) включает в себя мультиплексор и квантово-электронный модуль передатчика.

Мультиплексор состоит из тактового генератора импульсов 1, формирователя знакопеременной синхروпаузы 2, формирователя сигналов управления 3, параллельно-последовательного регистра оперативной памяти (ОП) 4, формирователя полного сигнала 5. Временные диаграммы работы ВОМ приведены на рис.2.

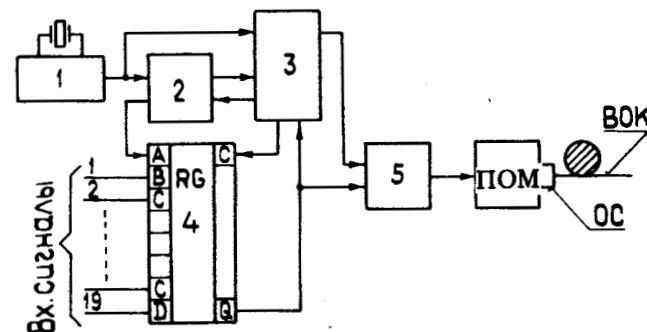


Рис.1. Структурная схема передающего оптического модуля.

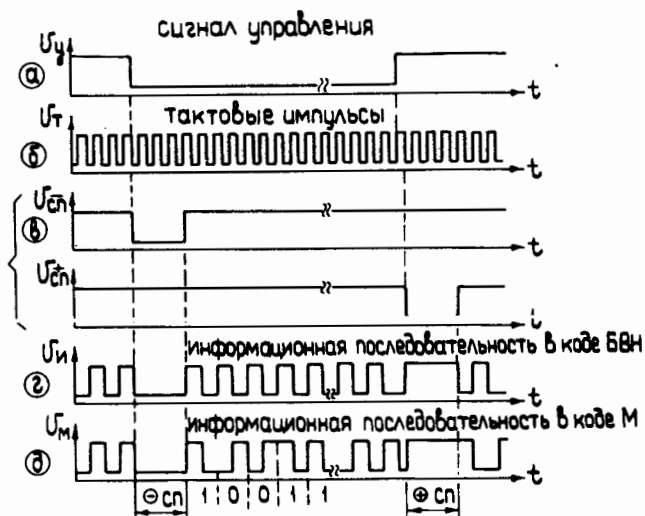


Рис.2. Временные диаграммы работы волоконно-оптического мультиплексора.

Тактовая частота генератора поступает на входы схем 2 и 3 и тактирующий вход формирователя 5. На вход параллельно-последовательного регистра ОП с электрического разъема, расположенного на лицевой панели блока, в параллельном коде поступают 19-разрядные слова. Моменты поступления кодовых слов на вход регистра ОП случайны. Эта информация заносится в регистр 4 по положительному фронту импульсов записи. Последние формируются в блоке управления 3 путем деления частоты тактового генератора на 40. Последовательный выход 20-разрядного регистра ОП соединен с первым параллельным входом этого же регистра через инвертор. После записи информационного пакета бит в регистр

ОП в последнем под действием тактовой частоты происходит сдвиг и инвертирование уровней информационных разрядов. Формирователь 2 вырабатывает сигналы, синхронизированные с передним (или задним) фронтом кодового слова и жестко привязанные по фазе к импульсам тактового генератора. Кроме того, в сигналах этого формирователя содержится информация о знаке синхروпаузы. Формирование знакопеременных СП, разделяющих информационные последовательности, производится в формирователе 3. Эти сигналы поступают на вход регистра ОП, где производится преобразование входного параллельного кода в последовательный "Без возвращения к нулю" (БВН), который, в свою очередь, в формирователе 5 преобразуется в код вида "Манчестер" (М-код). Прямое преобразование кода БВН в код М состоит в выполнении операции "Исключающее ИЛИ" над сигналами в исходном коде БВН и над симметричной тактовой последовательностью f_T . Для исключения возможности изменения входного сигнала в промежутках между изменениями сигнала кодируемый сигнал предварительно записывается в Д-триггер. Возникающие в результате "гонок" короткие паразитные импульсы устраняются с помощью RC-цепочки. Тактовая последовательность, поступающая от стабилизированного кварцем генератора ($f_T = 10$ МГц), имеет симметричную форму импульсов и служит для синхронизации узлов мультиплексора.

КЭМ передатчика (рис.3) предназначен для преобразования выходного сигнала мультиплексора в соответствующие ему по форме оптические импульсы и введения этих импульсов в волоконно-оптический кабель (ВОК). Функциональная схема КЭМ включает в себя согласующее устройство (СУ), амплитудный ограничитель (АО), эмиттерный повторитель (ЭП), генератор тока накачки (ГТН), электронно-квантовый преобразователь (ЭКП).

СУ необходимо для согласования передатчика с мультиплексором. СУ выполнено на базе микросхемы К531ЛР1. АО выполняет функцию ограничителя амплитуды, он собран на диодах КД 522. ЭП выполнен на транзисторе КТ 368, он необходим как буферный каскад согласования. ГТН предназначен для вырабатывания тока инжекции ЭКП, он построен на транзисторах КТ 363 и КТ 919. ЭКП преобразует электрический ток инжекции

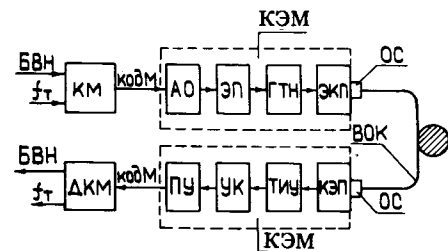


Рис.3. Структурная схема квантово-электронного модуля передатчика и приемника.

ции в световой поток. В качестве ЭКП использован суперлюминесцентный диод (СЛД) инфракрасного диапазона типа ИЛПН-301 с диаметром выходного согласующего элемента 60 мкм. На выходе последнего получаем световой поток, промодулированный импульсной последовательностью. Этот световой поток через юстируемый оптический соединитель (ОС) вводится в ВОК.

Максимальную частоту следования информационных слов для данной структуры мультиплексора (с повторной передачей информации) можно определить как^{18/}

$$F_{max} = f_T / [2 K (M + 1) + m] ,$$

где M — общее количество разрядов слова; f_T — тактовая частота генератора; m — длительность СП (равная числу периодов тактовой частоты); $K = 1, 1, \dots, 1, 4$ — коэффициент запаса.

При разработке юстируемого соединителя требование получения высокой точности сопряжения (единицы мкм) контактных пар (моноволоконного световода и оптических элементов в широком температурном диапазоне) привело к необходимости использования в качестве некоррозионного конструкционного материала нейзильбера. Учитывалась также возможность использования соединителя с различными типами излучателей и фотодиодов, отличающихся конструктивно и по габаритным размерам. Чтобы конструктивные изменения соединителя были минимальны, его приборная часть выполнена в виде двух основных узлов (рис.4). Один из них (фланцевый узел) обеспечивает сопряжение с кабельной частью, в другом (розеточный узел) размещаются излучатель или фотодетектор. Вилочная часть с оптическим кабелем используется для подключения к передающему или приемному модулю и обеспечивает практически безлюфтовое соединение. Заделка ВОК в вилочную часть производилась по стандартной методике^{19/}. Для исключения механических повреждений торца оптическое волокно имеет углубление в несколько микрон относительно торца наконечника соединителя. Совмещение световода и центра излучения оптического элемента, установленно в розеточном узле, достигается в результате перемещения фланцевой части соединителя относительно оптического элемен-

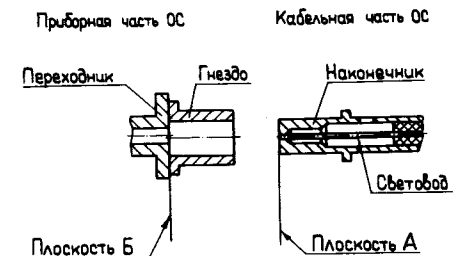


Рис.4. Сопряжение контактных пар оптического соединителя.

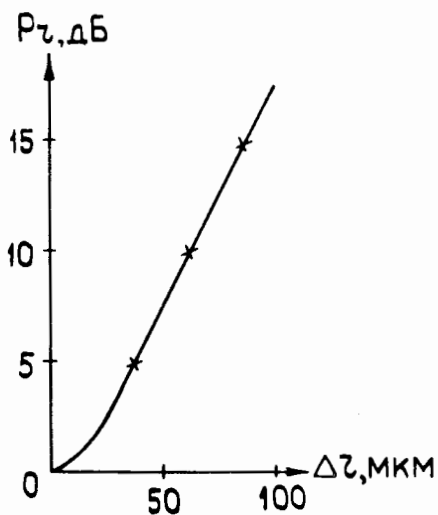


Рис. 5. График роста потерь в зависимости от радиального рассовмещения моноволоконного световода и источника излучения.

та с последующей фиксацией положения с помощью накидной гайки. На эффективность ввода излучения большое влияние оказывает точность такого механического совмещения. На рис. 5 показан график роста потерь P_τ при вводе излучения в зависимости от радиального рассовмещения Δr моноволоконного световода ($NA = 0,15$) со ступенчатым профилем

и центра излучения согласующего устройства на базе фокона со световедущей жилой диаметром 60 мкм суперлюминесцентного светодиода (СЛД). Из графика следует, что для получения потерь на стыке ≤ 1 дБ это рассовмещение должно быть меньше ± 20 мкм. Рассовмещение центра световода относительно центра излучения СЛД на ± 50 мкм приводит к увеличению потерь при вводе до 8 дБ.

Структурная схема ПРОМ (рис. 6) включает в себя КЭМ приемника и демультимплексор. КЭМ приемника предназначен для преобразования последовательного цифрового формата данных, поступающих из ВОК в виде оптических сигналов, в соответствующие им по форме электрические импульсы и подачи последних в демультимплексор.

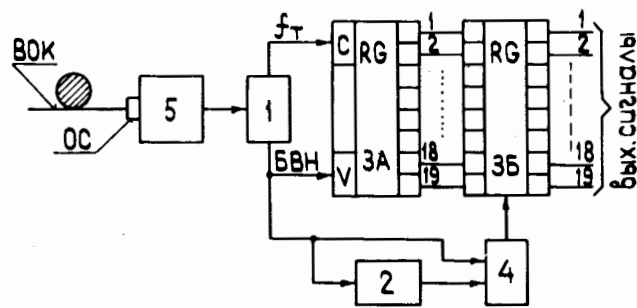


Рис. 6. Структурная схема приемного оптического модуля.

Функциональная схема КЭМ — приемника (см. рис. 3) состоит из квантово-электронного преобразователя (КЭП), трансимпедансного усилителя (ТИУ), усилителя — корректора (УК), порогового устройства (ПУ). Промодулированный световой поток попадает на светочувствительную площадку КЭП и преобразуется в электрический ток. В качестве КЭП использован серийный р-и-п фотодиод с полосой пропускания 30 МГц и темновым током 10 нА.

ТИУ необходим для преобразования сигнального тока КЭП в интегрированное напряжение. Он построен с использованием транзисторов типа КП312 и КТ368. УК является дифференцирующим усилителем. Он предназначен для усиления и восстановления формы сигнала. УК изготовлен с использованием микросхемы К171УВ2¹⁰. ПУ служит для формирования цифрового сигнала в уровнях ТТЛ на выходе устройства, а также для уменьшения изменения скважности выходного сигнала в динамическом диапазоне приемного КЭМ. Для изготовления ПУ использована микросхема КР521СА4, включенная по схеме триггера Шмидта с коммутируемым порогом.

Демультимплексор (рис. 6) состоит из устройства обратного преобразования кода М в код БВН 1, где происходит выделение тактовой частоты и последовательного кода, схемы выделения синхропаузы 2, последовательно-параллельного регистра памяти 3А, регистра считывания 3Б, схемы управления 4 регистром считывания.

Обратное преобразование кода М в код БВН осуществляется посредством записи в D-триггер входного сигнала в моменты времени, отстоящие на $\geq 0,5$ периода тактовой последовательности от начала каждого периода тактовой частоты. Чтобы отличить начало периода тактовой последовательности от середины, используется то обстоятельство, что в начале периода уровень сигнала в коде М изменяется всегда, а в середине периода — не всегда. Элементы "Исключающие ИЛИ" выделяют моменты изменения входного сигнала. С помощью одновибратора, настроенного на длительность импульса $\geq 0,5$ периода, выделяется тактовая частота, служащая для синхронизации работы демультимплексора. Этими же импульсами в D-триггер записывается входной сигнал, в результате чего на выходе декодера выделяются информационные сигналы в коде БВН. Они подаются на последовательный вход регистра памяти 3А и с помощью тактовых импульсов происходит его заполнение. Каждый двадцатый тактовый импульс, зафиксированный счетчиком схемы управления, служит сигналом занесения пакета информационных бит из регистра памяти 3А в регистр считывания 3Б. Обнуление этого счетчика производится импульсом от селектора СП2 в конце информационной последовательности. Выходной код затем сопоставляется в узле сравнения с кодом последующего кадра, записанного в регистр памя-

ти ЗА. Если коды идентичны, то после окончания информационной пачки на выходе узла сравнения появляется сигнал "Лог.0", разрешающий выход информации из регистра считывания ЗБ. С появлением на входе устройства очередного кадра описанный выше процесс повторяется только в том случае, если информационный код в нем такой же, как и в предыдущем. Если же это не так, сигнал "Лог.0" на выходе узла сравнения после окончания кадра не появляется. При этом информация из регистра памяти ЗА переписывается в регистр считывания ЗБ, но разрешения на выход регистра считывания от схемы управления она не получает. Таким образом, помехозащищенность системы обеспечивается тем, что принятый информационный пакет данных поступает на выход только в том случае, если соответствующая ему кодированная посылка будет принята приемником два раза подряд.

Основные технические характеристики мультимплексора:

1. Число параллельных входов-выходов	19
2. Уровни входных/выходных сигналов	ТТЛ
3. Тип последовательного кода	"Манчестер"
4. Скорость передачи информации, мбит/с	2,5
5. Длина волны излучателя, мкм	0,81±0,89
6. Мощность излучения передатчика, Вт	10 ⁻⁴
7. Чувствительность фотоприемника, Вт	10 ⁻⁷
8. Вероятность ошибки в линейном тракте, не более	10 ⁻⁹
9. Строительная длина ВОК, м	630
10. Коэффициент затухания ВОК, дБ, не более	12
11. Допустимый радиус изгиба ВОК при монтаже линейного тракта, мм, не более	50
12. Соединение модулей с ВОК —	разъемное
13. Стандарт кассеты для монтажа ВОМ.....КАМАК	2М
14. Напряжение источников питания модулей, В	±5; ±10

Для питания модулей ВОЛС использованы шины ±6 В и ±24 В магистралей крейта. Чтобы получить питание ±10 В для модуля ПРОМ использован конвертер напряжения. На лицевой стороне блоков КАМАК размещены юстируемые оптические соединители для подключения ВОК, электрические разъемы типа РП15-23 для входных/выходных сигналов, светодиоды для визуального контроля функционирования КЭМ (рис.7).

Организация световодной связи предполагает использование двух режимов работы: автономного и на линии с ЭВМ. В автономном режиме работы мультимплексора данные передаются по всем 19-ти каналам устройства. В режиме работы на линии с ЭВМ входные каналы можно использовать следующим образом: каналы 1÷16 — для передачи информа-

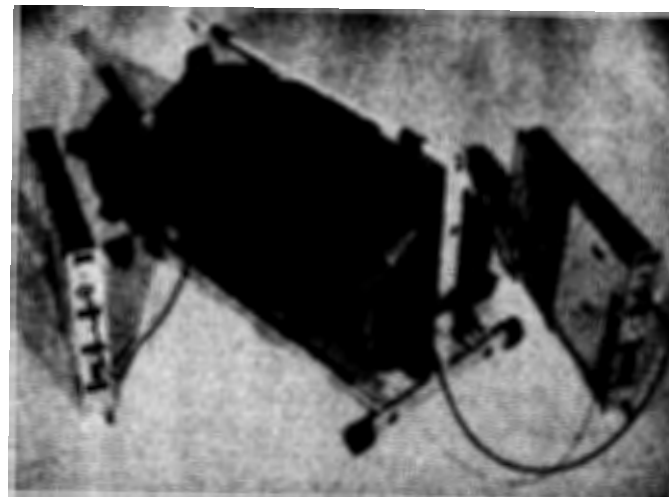


Рис. 7. Внешний вид волоконно-оптического мультимплексора

ции, каналы 17 и 18 — для передачи сигналов управляющих команд, канал 19 — резервный. Так как длительность цикла, указанная в стандарте КАМАК (1 мкс), меньше минимально допустимой длительности сигнала на входных каналах линии (10 мкс), сигналы этих команд могут формироваться одновибраторами.

При испытаниях на стенде волоконно-оптический мультимплексор успешно работал со счетчиками импульсов и АЦП в стандарте КАМАК, обеспечивая передачу их выходного кода на расстояние 630 м, что подтвердило правильность выбранных решений.

В заключение следует отметить, что реализация в системе метода повторной передачи заметно уменьшила частоту следования информационных слов, однако она вполне достаточна для обмена данными между терминалами ЭВМ в реальном масштабе времени.

Если квалифицировать описанную линию ВОЛС по ряду признаков (затухание, протяженность, условия прокладки ВОК и т.д.), то ее следует отнести к разряду внутриобъектовых¹¹¹.

Автор благодарит М.А.Воеводина и Л.П.Зиновьева за стимулирование данной работы, П.К.Маньякова за полезные обсуждения, Ю.В.Гусаква и В.В.Селезнева за разработку конструкции отдельных элементов ВОЛС, П.Н.Буйлова и В.Н.Кузнецова за монтаж блоков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балдин А.М. и др. – Труды 4-го Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. М.: Наука, 1974, т.2, с.4.
2. Василюшин Б.В. и др. ОИЯИ, 9-86-512, Дубна, 1986.
3. Донец Е.Д. Физика элементарных частиц и атомного ядра. М.: Энергоиздат, 1982, т.13, с.941.
4. Безногих Ю.Д. и др. ОИЯИ, Р9-84-246, Дубна, 1984.
5. Романов Ю.И. ОИЯИ, 13-86-533, Дубна, 1986.
6. Сандерс Л. – Электроника, 1982, № 15, с.47.
7. Ломбарди Ф. – Электроника, 1982, № 6, с.51.
8. Коровкин В.В. и др. – Радиотехника, 1986, № 6, с.81.
9. Андрушко Л.М. и др. Волоконно-оптические линии связи. М.: Радио и связь, 1984.
10. Аналоговые и цифровые интегральные микросхемы, справочное пособие (под ред. С.В.Якубовского). М.: Радио и связь, 1985.
11. Власов А.В. и др. – Электросвязь, 1980, № 12, с.7.

Рукопись поступила в издательский отдел
22 августа 1988 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

Д13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р. 50 к.
Д2-84-366	Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.	4 р. 30 к.
Д1.2-84-599	Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.	5 р. 50 к.
Д17-84-850	Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. (2 тома)	7 р. 75 к.
Д11-85-791	Труды Международного совещания по аналитическим вычислениям на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1985.	4 р. 00 к.
Д13-85-793	Труды XII Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна, 1985.	4 р. 80 к.
Д4-85-851	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1985.	3 р. 75 к.
Д3,4,17-86-747	Труды V Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1986.	4 р. 50 к.
—	Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984. (2 тома)	13 р. 50 к.
Д1.2-86-668	Труды VIII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1986. (2 тома)	7 р. 35 к.
Д9-87-105	Труды X Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1986. (2 тома)	13 р. 45 к.
Д7-87-68	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Дубна, 1986.	7 р. 10 к.
Д2-87-123	Труды Совещания "Ренормгруппа - 86". Дубна, 1986.	4 р. 45 к.
Д4-87-692	Труды Международного совещания по теории малочастичных и кварк-адронных систем. Дубна, 1987.	4 р. 30 к.
Д2-87-798	Труды VIII Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1987.	3 р. 55 к.
Д14-87-799	Труды II Международного симпозиума по проблемам взаимодействия мюонов и пионов с веществом. Дубна, 1987	4 р. 20 к.
Д17-88-95	Труды IV Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1987.	5 р. 20 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу: 101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79. Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.

**ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

Романов Ю.И.

13-88-636

19-канальная световодная система передачи данных с временным уплотнением каналов

Описана помехозащищенная волоконно-оптическая линия связи (ВОЛС) с использованием мультиплексора. Скорость передачи информации - 2,5 Мбит/с, число независимых входов/выходов - 19, уровни входных/выходных сигналов - ТТЛ, тип последовательного кода - "Манчестер". Максимальная строительная длина линейного тракта ВОЛС - 630 м.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1988

Перевод Л.Н.Барабаш

Romanov Yu.I.

13-88-636

19-Channel Light Optical Link for Data Transfer with a Channel Using Multiplexer

An optical line using a multiplexer is described. The rate of data transfer is 2.5 mBIT/s, the number of independent inputs/outputs is 19, the levels of input/output signals are TTL, and the type of a serial code is "MANCHESTER". The maximum length of the optical line is 630 m.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1988