



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РФ
Институт теоретической и
экспериментальной физики

FERMILAB
LIBRARY
JUN 12 1997

57-96

Акимов Д.Ю., Афонин В.Н., Бармин В.В.,
Герасимов А.С., Гусев Л.Н., Демехин В.И.,
Долголенко А.Г., Зомбовский С.М., Кузичев В.Ф.,
Панов Г.В., Поваров Ю.И., Смирнов Г.Н.,
Соколов Л.И., Соловьев А.П., Соловов В.Н.,
Туманов Г.К., Шебанов В.А.

Система очистки и электроника считывания
прототипа жидкоксенонового детектора
для измерения магнитного момента нейтрино.



Москва 1996

ИТЕФ-57-96

СИСТЕМА ОЧИСТКИ И ЭЛЕКТРОНИКА СЧИТЫВАНИЯ ПРОТОТИПА ЖИДКО-
КСЕНОНОВОГО ДЕТЕКТОРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МАГНИТНОГО МОМЕНТА
НЕЙТРИНО: Препринт ИТЭФ 57-96/

Д.Ю.Акимов,В.Н.Афонасьев,В.В.Бармин и др. - М., 1996 - 12с.

С целью проверки возможности создания большого жидкоксенонового детектора для измерения магнитного момента нейтрино с чувствительностью $(3-5) \cdot 10^{-11} \mu_B$ построен 30 л прототип детектора для отработки методических вопросов и уточнения параметров будущего большого детектора. Прототип представляет собой времяпроекционную дрейфовую камеру, использующую для съёма информации электролюминесцентное усиление и матрицу фотоумножителей. Приведены схема прототипа, система газового обеспечения и электроника считывания информации.

A 30 liter prototype of the large liquid Xenon detector for measurement the neutrino magnetic moment with sensitivity about $(3-5) \cdot 10^{-11} \mu_B$ has been created.

The prototype was built for methodical studies and to specify parameters of the future large detector.

The prototype represens a time projection drift chamber, which uses a matrix of photomultipliers and electroluminescent amplification for data readout. The schemes of the prototype, the gas system and the readout electronics are given.

Рис. - 4, список лит. - 7наим.

© Институт теоретической и экспериментальной физики, 1996

ВВЕДЕНИЕ.

Исследование $\bar{\nu}_e e^-$ - рассеяния при низких энергиях чрезвычайно интересно с точки зрения предсказания Стандартной Модели, касающегося магнитного момента нейтрино, величина которого в рамках модели равна $\mu_\nu = 3.2 \cdot 10^{-19} \mu_B$ (μ_B - электронный магнетон Бора).

Однако в теоретической работе [1] высказано предположение, что величина магнитного момента нейтрино может быть $> 1 \cdot 10^{-11} \mu_B$, позволяя объяснить наблюдаемый поток нейтрино от Солнца.

В настоящее время лучшее экспериментальное ограничение на величину магнитного момента нейтрино $\mu < 1.8 \cdot 10^{-10} \mu_B$ [2]. Работы по созданию детекторов способных зарегистрировать магнитный момент нейтрино на уровне $\sim 10^{-11} \mu_B$ ведутся в различных лабораториях мира [3].

В нашей работе [4] рассмотрена возможность создания жидкоксенонового (LXe) детектора с массой LXe ~ 800 кг чувствительного к наблюдению магнитного момента нейтрино на уровне $(3 - 5) \cdot 10^{-11} \mu_B$.

Измерение магнитного момента нейтрино предполагается проводить в эксперименте на мощном промышленном ядерном реакторе (поток антинейтрино $\sim 2 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$), анализируя энергетический спектр электронов отдачи, образовавшихся в $\bar{\nu}_e e^-$ - рассеянии. Используется различие в поведении сечений слабого и электромагнитного взаимодействий нейтрино в зависимости от кинетической энергии электронов отдачи.

Детектор должен регистрировать электроны с энергией от 100 кэВ и определять координату возникновения электрона с точностью (2 - 3) мм.

ПРОТОТИП ДЕТЕКТОРА.

С целью проверки возможности создания детектора, обеспечивающего вышеуказанные параметры регистрации электронов, нами построен прототип детектора объемом 30 л (~ 100 кг жидкого ксенона). Прототип детектора, показанный на рис.1, представляет собой времяпроекционную камеру (1),

дрейфовое поле в которой формируется системой кольцевых электродов (2) и внутреннего делителя напряжения (3). Жидкий ксенон заливается в камеру до уровня, покрывающего лишь нижнюю сетку группы сеток (4). Возникающие в объеме детектора электроны ионизации дрейфуют к поверхности жидкого ксенона (между сетками а и b), откуда вытягиваются в электролюминесцентный зазор (сетки b и с), где происходит электролюминесцентное усиление [5].

Электролюминесцентный сигнал регистрируется матрицей из семи фотоэлектронных умножителей ФЭУ - 139 (5), позволяя определить x, y координаты электрона и его энергию. Предполагается, что той же матрицей ФЭУ будет детектироваться сцинтилляционный сигнал от возникновения электрона в объеме детектора, а по времени дрейфа электронов ионизации будет определяться z координата точки его возникновения.

СИСТЕМА ОЧИСТКИ И ХРАНЕНИЯ ГАЗА ПРОТОТИПА ДЕТЕКТОРА.

Газовая система детектора (рис. 2) предназначена для хранения и очистки рабочего газа от электроотрицательных примесей и от примесей, влияющих на прозрачность газа к собственному сцинтилляционному излучению. Очистка газа проводится как при заполнении детектора, так и в процессе его экспозиции.

В состав газовой системы входят:

- 1) баллоны высокого давления (1), предназначенные для хранения ксенона и размещенные в термостатах (2) (для их охлаждения при возврате газа путем переохлаждения по окончании экспозиции детектора);
- 2) высоковакуумная система откачки детектора перед его заполнением ксеноном (7, 8, 9, 10, 11);
- 3) мембранный насос для обеспечения замкнутой циркуляции газа в системе в процессе эксплуатации детектора (3);
- 4) кальциевый горячий геттер (4) и холодные молекулярные сита (5), служащие для предварительной очистки газа;
- 5) электроискровой очиститель [6] с титановыми электродами, работающий в жидкой фазе (6).

При заполнении детектора ксеноном будут использоваться все типы очистителей. В процессе проведения низкофонового эксперимента предполагается использование только электроискрового очистителя, как наиболее эффективного и вносящего минимальное радиоактивное загрязнение газа.

Высоковакуумная система состоит из форвакуумных насосов (7 и 8) со своими азотными ловушками (9), адсорбционного насоса (10) предварительной высоковакуумной откачки и электроразрядного титанового насоса "НОРД - 250" (11) для

окончательной высоковакуумной откачки детектора и газовой системы перед заполнением детектора ксеноном. Система обеспечивает откачку детектора и всех коммуникаций до уровня 10^{-7} торр.

ЭЛЕКТРОНИКА ПРОТОТИПА.

Блок-схема электроники прототипа представлена на рис.3. В состав электроники входят следующие элементы:

1. Семь ФЭУ-139, просматривающих рабочий объем прототипа.
2. Семь усилителей анодных сигналов ФЭУ-А1 - А7 и усилитель суммарного сигнала А8 (лаборатория).
3. Блок сумматора - SUM (лаборатория).
4. Семь формирователей - дискриминаторов FD (два блока 4Ф-115, Дубна).
5. Мажоритарная схема совпадений МС (158 МСС2, Дубна).
6. Преобразователь заряд-код(КА013, Дубна, либо ChADC 4300 FERA, LeCroy).
7. Два счетчика (КС-018, Дубна).
8. Блок селектора люминесцентных сигналов SLG (лаборатория).
9. Генератор TTL CG (Clock generator 730В POLON).

Все блоки схемы выполнены в стандарте САМАС. В скобках указан изготовитель блока.

ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИИ ЭЛЕКТРОНИКИ.

Электроника прототипа оцифровывает и передает в компьютер семь величин заряда люминесцентного сигнала от каждого ФЭУ, а также два значения промежутков времени от момента возникновения сцинтилляционного импульса до начала и конца люминесцентного импульса. В процессе набора данных схема обеспечивает непрерывное измерение пьедестала преобразователя заряд-код и служебной временной информации с частотой, устанавливаемой на генераторе CG. Вышеперечисленных данных достаточно для определения следующих величин:

1. X и Y координаты люминесцентной вспышки в люминесцентном зазоре камеры, что соответствует X и Y координатам события в рабочем объеме камеры. Этот параметр определяется из соотношения величин сигналов от люминесцентной вспышки, соответствующей данному событию, полученных от каждого из ФЭУ.
2. Z координату события, определяемую временем дрейфа электронного кластера от места образования до середины люминесцентного зазора камеры прототипа и скоростью дрейфа электронов в камере. Последнюю можно определить экспериментально из измерения времени дрейфа событий максимально удаленных от люминесцентного зазора

камеры, т. е. возникших у нижней границы рабочего объема камеры (нижнего электрода дрейфового объема).

3. Размер электронного кластера по оси Z в области люминесцентного зазора. Данный параметр определяется шириной люминесцентного импульса и временем дрейфа в люминесцентном зазоре.

4. Энерговыведение для данного события, по суммарному заряду люминесцентного импульса от всех ФЭУ камеры.

РАБОТА ЭЛЕКТРОННОЙ СХЕМЫ.

Импульсы, соответствующие сцинтилляционной или люминесцентной световспышкам в рабочем объеме камеры прототипа, на аноде каждого из ФЭУ-139 разделяется на два канала.

В первом канале, сигнал поступает непосредственно на соответствующий аналоговый вход зарядовоцифрового преобразователя, где производится оцифровка люминесцентных импульсов. Делитель, размещенный в блоке SUM, согласует максимально возможный заряд люминесцентного импульса с полной шкалой преобразователя и подбирается после подбора напряжения на каждом из ФЭУ. На выходе каждого канала делителя имеется также возможность подстройки смещения нулевого уровня сигнала для установки уровня пьедестала в преобразователе.

Во втором канале сигнал поступает на соответствующий усилитель (A1 - A7) с выхода которого подается на сумматор и, параллельно, на формирователь FD. Входное сопротивление сумматора на порядок выше входного сопротивления формирователя для исключения смещения сцинтилляционных импульсов на входах формирователей. Сумматор смонтирован на пассивных элементах и расположен в блоке SUM.

Выходы всех семи формирователей поступают на входы мажоритарной схемы совпадений, выход которой соединен со входом START схемы SLG (Рис.4). Кратность и время совпадений (последнее задается длительностью сигналов с выходов формирователей) определяются при настройке схемы на сцинтилляционные совпадения. Таким образом на вход START схемы SLG приходят сигналы совпадений как от сцинтилляционного сигнала, так и от переднего (и заднего, в некоторых случаях, при "дребезге") фронтов люминесцентного сигнала.

Суммарный сигнал с выхода сумматора в блоке SUM, усиленный усилителем A8, приходит на вход IM блока SLG.

Блок SLG является диспетчером вывода необходимой информации о событии и осуществляет следующие функции:

1. Из всех сигналов, поступивших с выхода мажоритарной схемы совпадений выделяет в качестве стартовых импульсы, соответствующие сцинтилляциям. Для этого, в блоке SLG входные импульсы START задерживаются и посылаются на антисовпадение с выходным импульсом компаратора и

логического интегратора LM входа. Таким образом импульс START, образованный либо в момент нарастания люминесцентного импульса, либо на его спаде не образует внутреннего стартового импульса. Выделенный стартовый импульс является стартовым сигналом для внутренних схем блока и выходит на отладочный выход START OUT.

2. Выставляет сигнал ворот GATE ST по переднему фронту стартового сигнала на линию GT ST ECL порта управления аналогоцифрового преобразователя 4300В, а также на разъем LEMO на передней панели блока в стандарте NIM для подачи на вход ворот блока KA 013. Длительность GATE ST регулируется потенциометром на передней панели блока и должна превышать максимальную длительность сцинтилляционного сигнала, заряд которого требуется измерить преобразователем заряд-код (В приведенной блок-схеме режим измерения заряда сцинтилляционных импульсов не предусмотрен.) Одновременно, длительность GATE ST является и временем задержки сигнала START, необходимой для отбора сцинтилляций, который формируется задним фронтом GATE ST.

3. Выставляет сигнал ворот GATE LM по переднему фронту люминесцентного сигнала на линию GT LM ECL порта управления преобразователя 4300В и на разъем LEMO на передней панели блока. Длительность GATE LM регулируется потенциометром на передней панели блока SLG и должна превышать максимально возможную длительность люминесцентного сигнала.

4. Выдает последовательности счетных импульсов с частотой 50 МГц COUNT 1 и COUNT 2 на соответствующие выходы и длительностью равной времени появления фронта и спада люминесцентного сигнала от момента регистрации соответствующего ему сцинтилляционного импульса. Т. к. импульс START OUT, от которого ведется отсчет времени, отстает от входного START IN импульса на время задержки старта, то это время необходимо прибавлять при окончательных расчетах.

5. Проводит аппаратный отбор событий и выставляет сигнал LAM на соответствующую шину крейта SAMAC в случае, если такие временные параметры как пауза между сцинтилляционным и люминесцентным импульсами, так и длительность последнего укладываются в пределы, задаваемые геометрией камеры и временем дрейфа электронов. В противном случае, блок SLG выдает импульс сброса CLEAR, который сбрасывает показания двух счетчиков временных последовательностей и преобразователя KA013 (LEMO- выход), либо 4300В (выход на ECL порт). Сигналы LAM или CLEAR выдаются блоком через фиксированное время (TV), определяемое как сумма времен дрейфа электронного кластера в дрейфовом и люминесцентном объемах камеры, а также времени преобразования в зарядовоцифровом преобразователе. Фиксированное время TV задается

внутренним одновибратором схемы SLG и отсчитывается от начала импульса START OUT.

Сигнал LAM выдается схемой SLG при одновременном соблюдении всех следующих условий отбора события (переключатель SELECT в положении ON):

а) за время TV после появления импульса START OUT обязательно должен появиться люминесцентный импульс, отвечающий приведенным ниже временным условиям;

б) при установленной в положение OFF перемычке Z1, люминесцентный импульс должен быть единственным за время TV, если же перемычка Z1 установлена в положение ON, то сигнал LAM возможен при наличии за это время и последующих люминесцентных импульсов;

в) пауза между началом импульса START OUT и фронтом люминесцентного импульса не превышает время заданное схемой TP;

г) длительность люминесцентного импульса (плюс интегрирующая добавка) превышает время заданное схемой TD;

д) длительность люминесцентного импульса (плюс интегрирующая добавка) не превышает время заданное схемой TU;

При несоблюдении хотя бы одного из этих условий блок SLG выдает сигнал сброса CLEAR OUT.

Одновременно с выдачей сигнала START OUT блок SLG блокирует свой вход START, а после выдачи сигнала LAM блокируется и вход LM. Входы START и LM разблокируются как внутренним сбросом R, так и общими командами SAMAC - C и Z или функцией сброса NA(0)F(9).

6. Позволяет проводить измерение пьедестала преобразователя заряд-код, времени задержки стартового импульса и времени интегрирующей добавки к длительности люминесцентного импульса. Данные измерения проводятся по приходу на вход PED блока спада импульса TTL от внешнего генератора CLOCK GEN. Если в момент прихода импульса PED блок SLG был заблокирован на обработку события, то измерение пьедестала откладывается до прихода импульса сброса R, как внутреннего так и вызванного командами SAMAC.

В "пьедестальном" событии блок SLG выдает ворота GATE ST и GATE LM, а также временные последовательности COUNT 1 и COUNT 2, измеряющие времена задержки старта и интегрирующей добавки, соответственно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Прототип жидкокислородного детектора, системы откачки, заполнения и очистки рабочего вещества, блоки электроники для считывания информации изготовлены, испытаны и подготовлены для отработки методических (контроль прозрачности рабочего вещества, пространственное и энергетическое разрешение) вопросов, связанных с созданием жидкокислородного детектора для измерения

магнитного момента нейтрино с чувствительностью $(3-5) \cdot 10^{-11} \mu_B$. Конструкция прототипа детектора предусматривает также и "традиционный" способ съёма x, y координат на сетках с последующим съёмом сигнала с использованием зарядочувствительных предусилителей [7]. Следует отметить также, что, если удастся в представленном прототипе получить более низкий порог регистрации электронов, например, начиная с 10-20 keV, это позволит повысить чувствительность к магнитному моменту нейтрино, а также использовать детектор для поиска тёмной материи.

Авторы благодарят Российский Фонд Фундаментальных Исследований за поддержку данного проекта (грант №96-02-18979а).

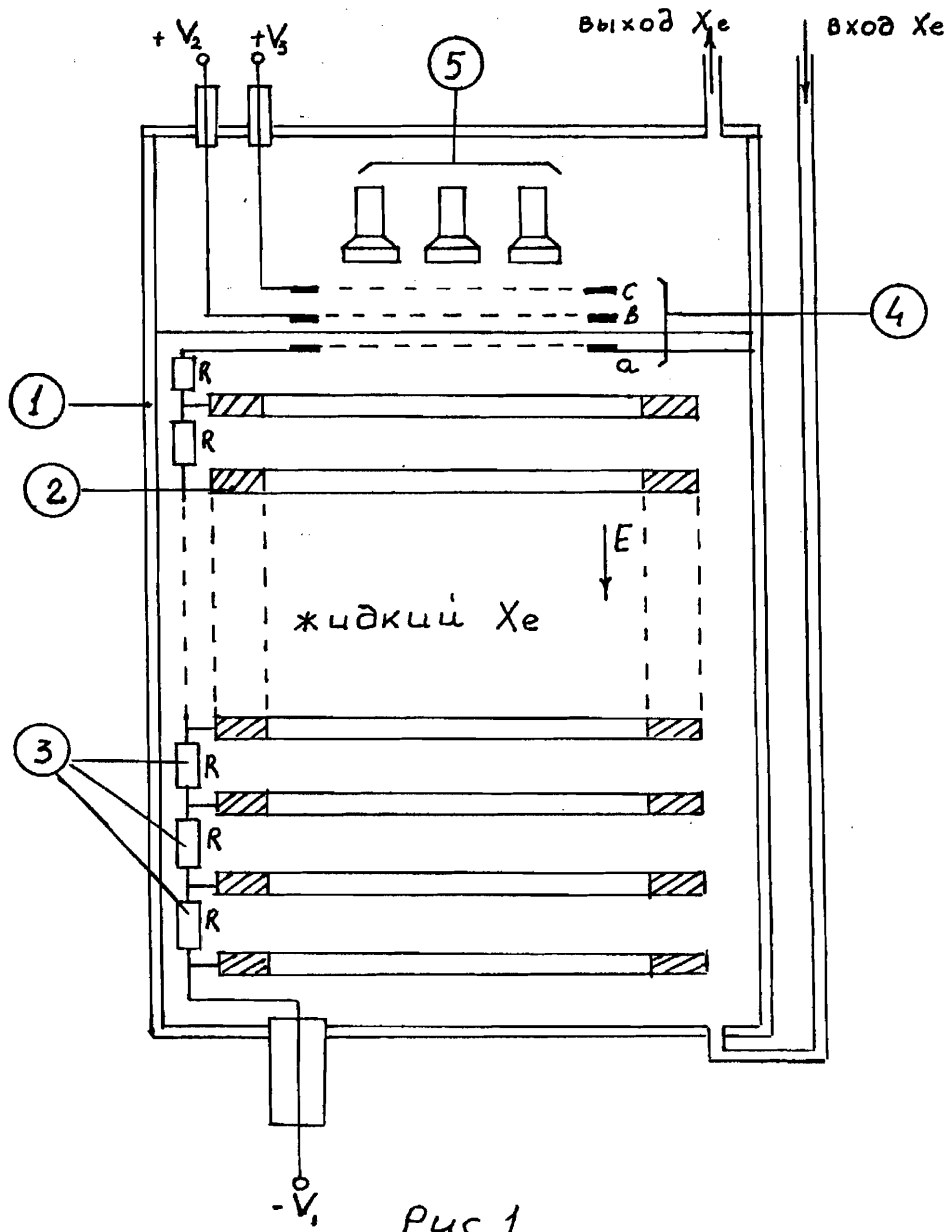


Рис. 1

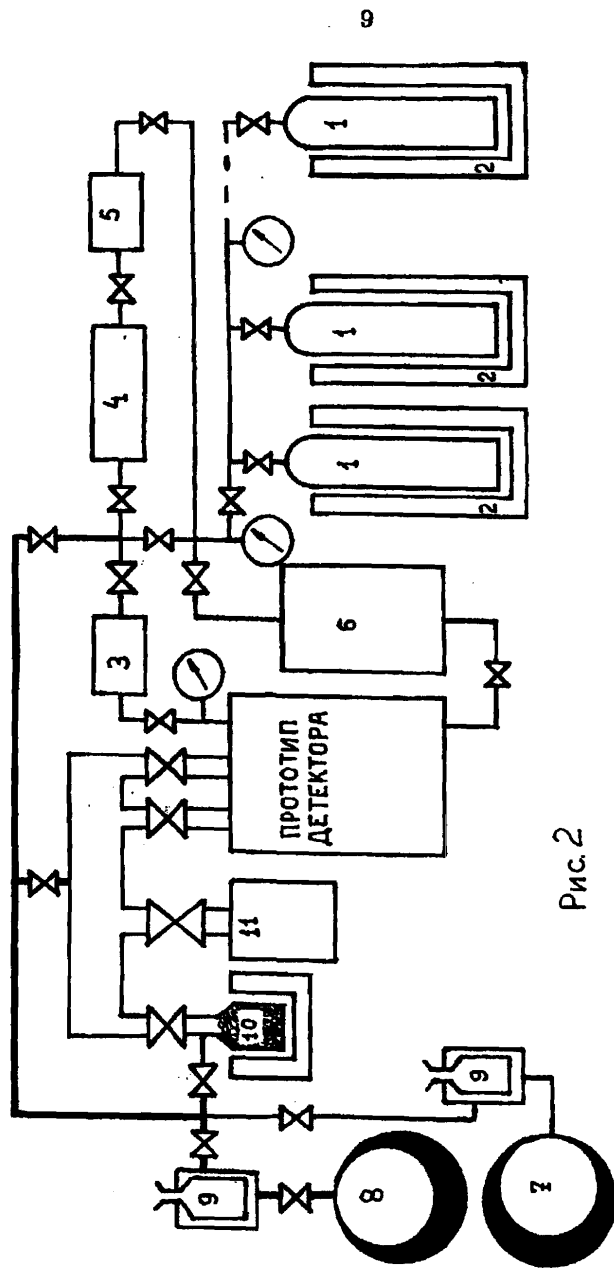
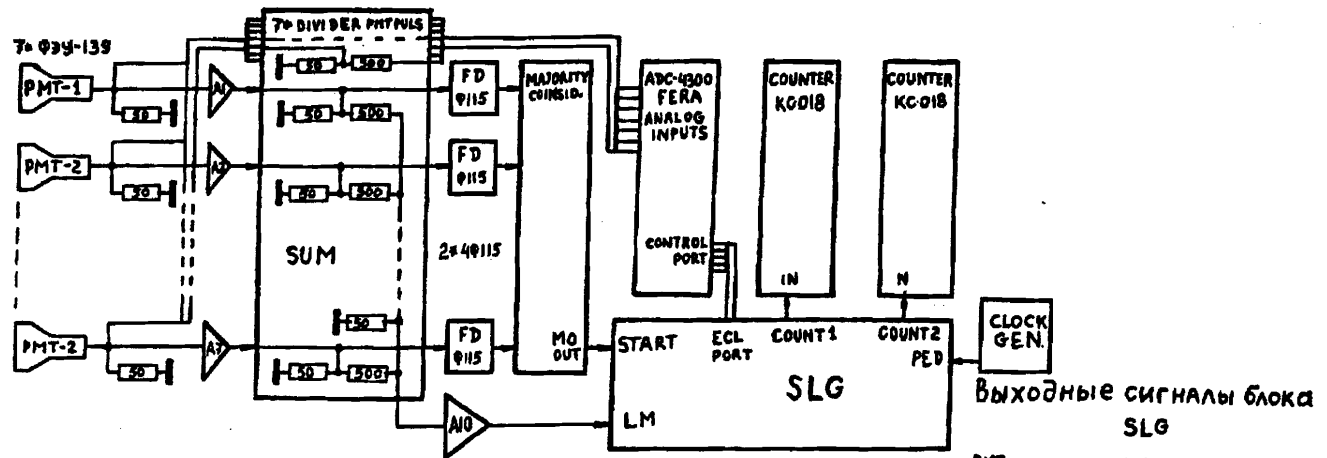
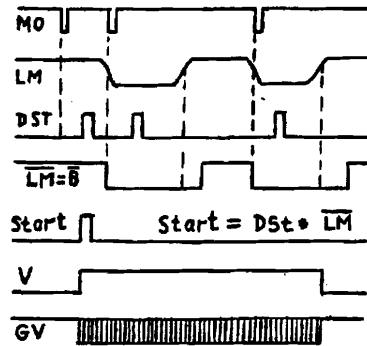


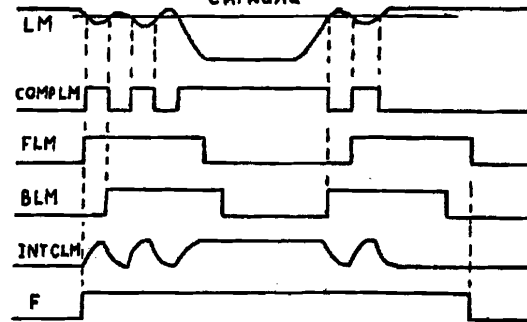
Рис. 2



Отбор стартового импульса.



Логическое интегрирование люминесцентного сигнала



Выходные сигналы блока SLG

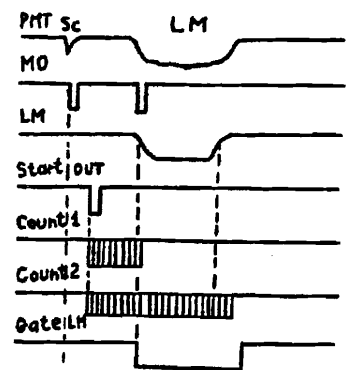
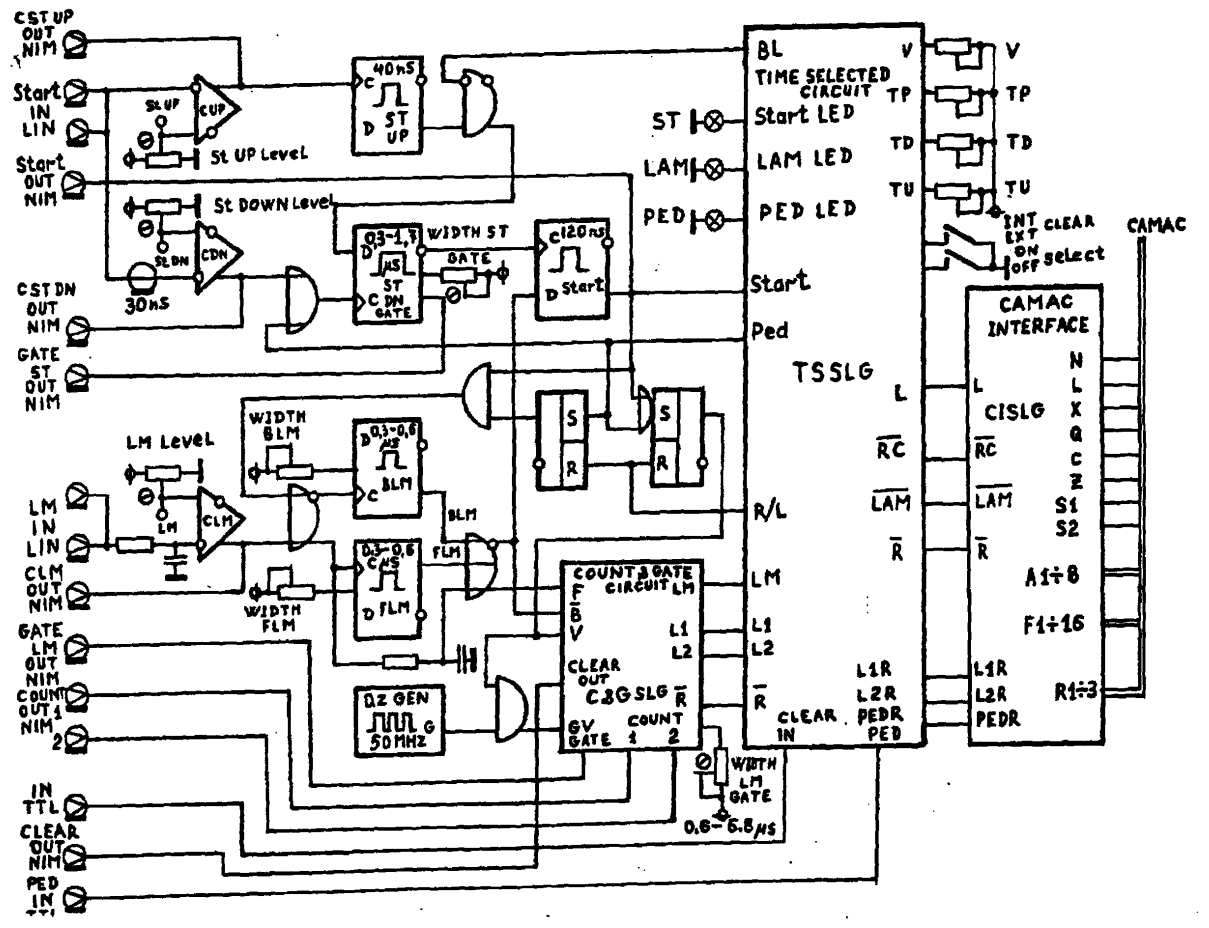


Рис. 3

Page 4



ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

Рис.1 Схема прототипа детектора. 1. Криостат с жидким ксеноном. 2. Кольца, на которые через делитель подается напряжение от высоковольтного источника. 3. Сопротивления (R) составляющие делитель напряжения. 4. Сеточные электроды (a, b и c). 5. Матрица из семи ФЭУ-139.

Рис.2 Газовая система прототипа детектора. 1. Баллоны высокого давления. 2. Термостаты. 3. Мембранный насос. 4,5 Фильтры очистки рабочего газа. 6. Электронскровой очиститель. 7,8 Форвакуумные насосы. 9. Азотные ловушки. 10. Абсорбционный насос. 11. Титановый насос "Норд-250".

Рис.3 Блок-схема электроники прототипа.

Рис.4 Блок-схема блока ворот SLG.

ЛИТЕРАТУРА

1. М.Б.Волошин, М.Н.Высоцкий, Л.Б.Окунь, // ЖЭФ, 1986 Т.91 С.754.
 2. А.В. Дербин, // ЯФ Т.57 (1994) С.236
 3. C.Broggini et al., // NIM, 1992, V.A311, P.319.
 4. M.Baldo-Cheolin et al. // Proc. of III Intern. Symp. on Weak and Electromagnetic Interaction in Nuclei, / ed. Ts.D.Vylov (World Scientific Singapore 1992, P.753 Preprint ITEP, 1992 N36.
 5. V.V.Egorov et al., // NIM, 1983, V.205, P.373.
 6. S.G.Pokachalov et.al. Spark discharge Method of Rare Gas Liquid purification. // Proc.Int.Conf. on Liquid Radiation Detectors; Their Fundamental Properties and Applications 1992 Japan, Tokio, P.185.
 7. A.Betini et al., // NIM, 1992, V. A315. P. 223.
-