

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

96-442

P13-96-442

В.А.Самсонов

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЙ ФОТОРЕГИСТРАТОР  
УСТАНОВКИ  
«СПЕКТРОМЕТР С ВЕРШИНЫМ ДЕТЕКТОРОМ»

Направлено в журнал «Приборы и техника эксперимента»

1996

## Введение

В Институте физики высоких энергий (г. Протвино) на установке гибридного типа "Спектрометр с вершинным детектором" (СВД) проводится эксперимент Е-161 по изучению образования очарованных частиц с временем жизни  $10^{-13} - 10^{-12}$  с (см. рис.1) [1]. Основным детектором этой установки является трекочувствительная мишень - прецизионная быстроциклирующая пузырьковая камера с жидководородным заполнением (БЦПК) [2,3], работающая с частотой 20 - 30 Гц во время медленного вывода пучка частиц ускорителя. Фотографирование треков частиц в объеме пузырьковой камеры производится быстродействующим фоторегистратором (БФР). Запуск БФР с частотой до 15 Гц осуществляется импульсом триггерной системы установки.

### 1. Устройство и работа фоторегистратора

Фоторегистратор предназначен для стереоскопического фотографирования следов частиц в объеме БЦПК. Для получения необходимой информации и восстановления координат треков в объеме камеры по условиям эксперимента достаточно двух проекций, двух стереофотографий.

Фоторегистратор (рис.2) состоит из двух платформ с лентопротяжными механизмами, расположенными в светонепроницаемом корпусе. Схема одной из платформ изображена на рис. 3. Из подающей кассеты 1 фотопленка поступает в накопитель запаса 8 неэкспонированной фотопленки и удерживается там вакуумным отсосом. Из накопителя фотопленка вытягивается фотостоликом 5, в это же время отснятая фотопленка поступает в накопитель 9 и далее на приемную кассету 7. Положение пленки в накопителях отслеживают емкостные ленточные датчики и выдают сигналы на блокировку запуска БФР в случае обрыва во время поворота фотостолика или отсутствия ее в подающей кассете 1. Полная емкость накопителей равна десяти кадрам при длине снимка 178 мм, но за время медленного вывода ускорителя, в течение которого БЦПК делает серию расширений, БФР может протянуть не более семи кадров. Жесткое фиксирование фотопленки на гранях фотостолика достигается вакуумным прижимом. Поворот фотостолика осуществляется шестипазовым мальтийским механизмом 4, приводом которого

является аксиально-поршневой гидромотор 11. За один оборот гидромотора фотостолок поворачивается на 60°.

К моменту подачи запускающего сигнала на электронную схему фоторегистратора накопитель 8 заполнен, накопитель 9 пуст. Фиксация фотопленки во время замены подающей и приемной кассет проводится включением электромагнитных клапанов 12.

Для автоматического поиска отобранных событий на фотопленку впечатывается информационное табло 3, выполненное на жидком кристалле. Размер снимка табло 50 × 33 мм.

В физическом эксперименте запуск эксимерного лазера 13, фоторегистратора и блока информационного табло производится сигналом электроники системы триггирования, т.е. фотографируются отобранные взаимодействия протонов в объеме камеры.

Работоспособность БФР обеспечивается гидравлической системой высокого давления и системой ротационных насосов для создания разрежения в накопителях фотопленки и на рабочих гранях фотостолов, а также электронными системами, осуществляющими синхронизацию работы фоторегистратора с БЦПК и ускорителем.

## 2. Мальтийский механизм

Преимущество механизма мальтийского креста перед другими устройствами шагового перемещения в том, что когда он трогается с места, его ускорение мало, затем оно увеличивается до максимального значения и плавно спадает к моменту останова креста. Отсутствие рывка при высокоскоростной съемке и точное позиционирование в фиксированном положении определило выбор его в качестве лентопротяжного механизма фоторегистратора установки СВД. Шаговые повороты фотостолика на 60° производятся шестипазовым мальтийским механизмом, приводимым в движение гидромотором. Ресурс механизма определяется качеством изготовления и сборки основных деталей. Все детали кроме корпусных сделаны из стали 38ХМЮА, после термической обработки (азотирования) и шлифовки трущиеся поверхности были подвергнуты ионной имплантации легирующими элементами. Точность шлифовки пазов и выемок креста определяется возможностями координатно-шлифовального станка. Для повышения противозадирной стойкости узел постоянно находится в масляной ванне, рис. 4.

На корпусе механизма установлены два вакуумных сепаратора, пазы которого совмещены с пазами воздушных распределителей фотостоликов так, что фотопленка прижата только к трем граням, расположенным со стороны камеры, остальные грани в момент поворота соединяются с атмосферой. С целью уменьшения влияния в момент фотографирова-

ния вибраций, вызываемых динамическими нагрузками в мальтийском механизме, он зажат фланцами массивной тумбы (см. рис. 5).

Подготовка механизмов к эксперименту сводится к их обкатке на стенде, сначала без нагрузки с частотой 50 Гц и затем с имитатором нагрузки с частотой 15 Гц.

## 3. Фотостолок

Фотостолики, армированные стальной арматурой (сталь ВНС), изготовлены из термореактивного пенопласта марки ПЭН. Пенопласт ПЭН представляет собой жесткую вспененную пластмассу, образующуюся при нагревании порошкового полуфабриката в пресс-форме до температуры 110 - 115 °С. Пресс-форма выполнена из сплава алюминия, ее обечайка обработана с высокой точностью. Внутренние вкладыши сделаны из фторопласта, тем самым отпадает необходимость в использовании антиадгезионной смазки. Форма засыпается порошковым полуфабрикатом из расчета получения заготовки массой ~1 кг.

Рабочие грани заготовки фрезеруются на глубину 5 мм, после чего она снова устанавливается в пресс-форму, в образовавшуюся щель засыпается порошок с кажущейся плотностью вспененного пенопласта 320 кг/м<sup>3</sup>. Полученный таким способом фотостолок имеет прочную износостойкую поверхность граней. Плотность поверхностного слоя ~600 кг/м<sup>3</sup>, тогда как плотность сердцевины ~180 кг/м<sup>3</sup>. Для обеспечения вакуумного отсоса в гранях фотостолика по кондуктору просверлены отверстия диаметром 0,8 мм с шагом 10 мм. Проверка готовых фотостоликов ведется на мальтийских механизмах, в случае неплоскостности одной из граней все они фрезеруются "как чисто" в один размер.

В нижнюю плоскость заготовки впекаются металлические шайбы, являющиеся частью индуктивного датчика положения, по которым следят за точностью позиционирования фотостоликов во время сеанса СВД. Готовые к эксперименту фотостолики выборочно проходят аттестацию на вибростенде. Диаметр фотостолика по граням информационного табло - 330 мм (рис. 6). Высота фотостолика - 61 мм. Масса фотостолика ~1,4 кг.

## 4. Накопитель фотопленки

В конструктивном отношении накопитель фотопленки представляет емкость в виде кармана шириной 100 мм, высотой 51 мм и длиной 1000 мм. Два накопителя для пленки, поступающей из подающей кассеты, всегда наполнены фотопленкой. Два накопителя для пленки, поступающей с фотостоликов в момент срабатывания фоторегистратора,

опустошаются двигателями подмотки приемных фотокассет. Положение пленки регулируется ленточным емкостным датчиком - это полоса шириной 20 мм, вырезанная из листа майлара толщиной 15 мкм. В месте, где кончается фотопленка, лента перегибается за счет разности атмосферного давления и давления отсоса. Емкость, образованная алюминированным покрытием на ленте и корпусом накопителя, меняется пропорционально перемещению фотопленки. Электронные усилители датчиков положения фотопленки тарируются перед началом эксперимента по граничным точкам на накопителях. Управляемые этими усилителями двигатели накопителей неэкспонированной и отснятой фотопленки постоянно отслеживают ее положение. Так как емкостный датчик все время находится в движении, алюминиевое покрытие изнашивается, поэтому в накопителях установлены концевики, блокирующие работу БФР в экстремальных случаях (см. рис. 7).

Давление отсоса контролируется электроконтактными манометрами.

## 5. Гидропривод

Привод БФР представляет собой электрогидравлический механизм, состоящий из гидромотора с гидроусилителем и насосной станции. Гидроусилитель типа "сопло - заслонка" служит для аналогового управления гидромотором. При подаче сигнала на магнитную катушку гидроусилителя рабочая жидкость поступает в гидромотор. Вал гидромотора, жестко связанный через кардан с мальтийским механизмом, поворачивается на один оборот. Вместе с валом перемещается движок потенциометра обратной связи. Сигнал с потенциометра обратной связи, пропорциональный ходу вала, поступает в систему управления БФР, где происходит суммирование его с задающим сигналом и формирование тока управления. Контроль положения вала ведется системой электронного слежения по фотодатчику, расположенному на стойке крепления гидромотора.

Насосная станция состоит из двух насосов с предохранительными и обратными клапанами на два давления и водяного маслоохладителя. Остальная часть, состоящая из манометров контроля, системы блокировок привода, выполненной на распределителях с электроуправлением, гидроаккумуляторов высокого и низкого давления, фильтров тонкой очистки масла, вентилей управления, расположена на фоторегистраторе.

Тип гидроусилителя ----- УЭГ.С-40

Давление в напорной линии, МПа:

максимальное ----- 28

Давление в линии управления, МПа: ----- 6,3

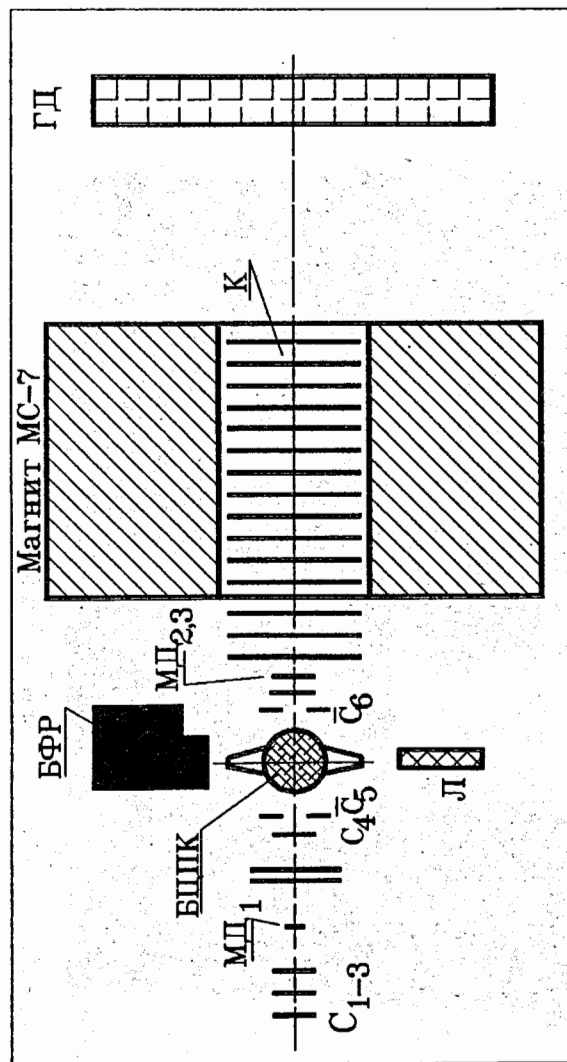
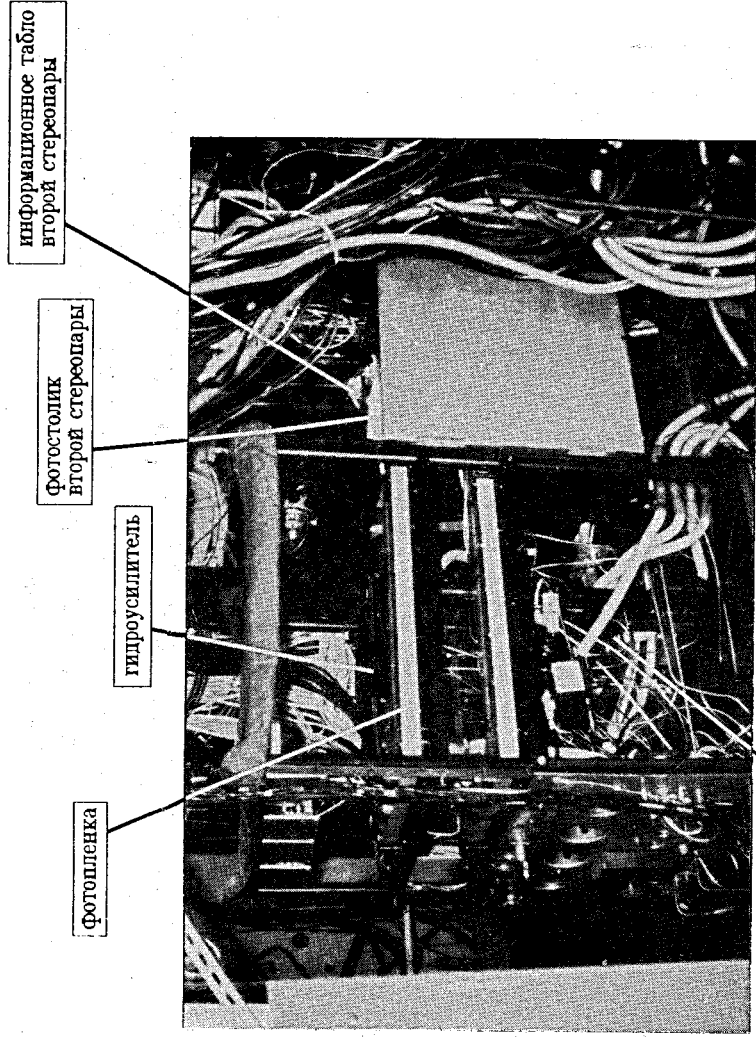


Рис. 1. Схематическое изображение установки СВД:

С-спинтиллиационные счетчики, МД-микростриповые детекторы, К-пропорциональные камеры, БЦК-быстроциклирующая пузырьковая камера, БФР-быстродействующий фоторегистратор, ГД-гамма-детектор, Л-лазер на красителе



гидравлическая и пневматическая системы БФР

Рис. 2. Быстродействующий фоторегистратор в экспериментальном зале установки СВД

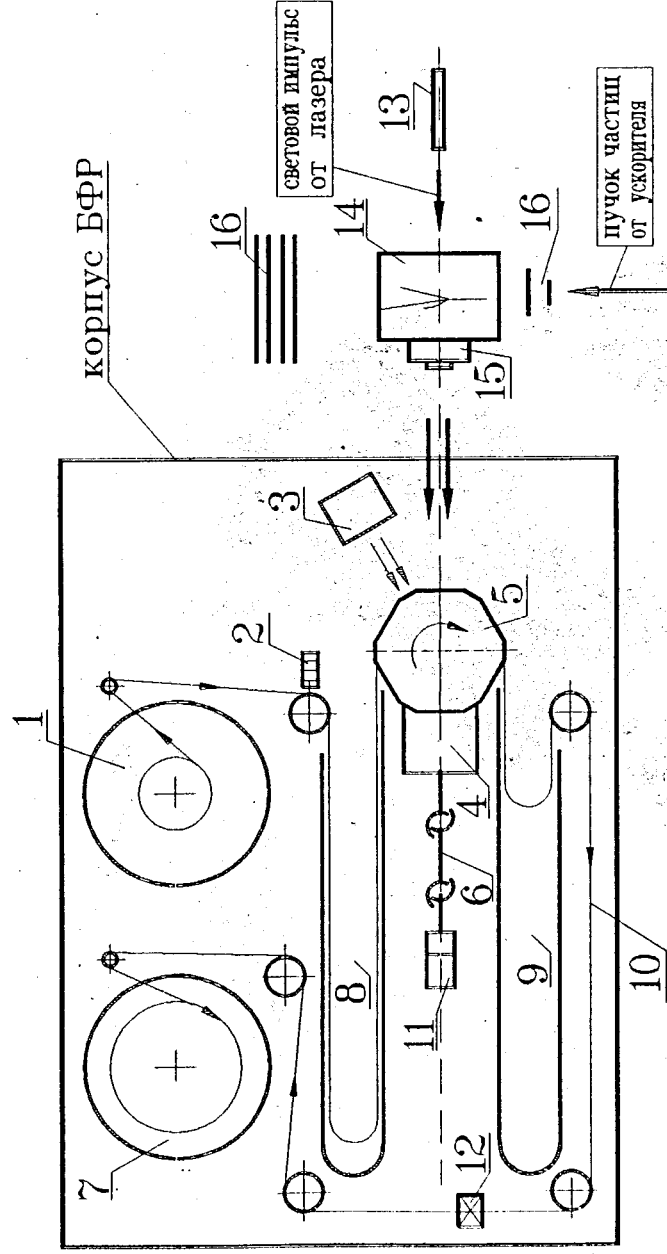


Рис. 3. Кинематическая схема фоторегистратора (БФР):

1, 7-подающая и приемная кассеты, 2, 12- клапаны фиксации фотопленки, 3-блок впе­чатывания информационного табло, 4-малы́й механизм, 5-фотостолы, 6-картанный вал, 8, 9-подающий и приемный накопители, 10-фотопленка, 11-гидропривод, 13-лазер, 14-рабочий объем БЦПК, 15-стереоподготовка БЦПК, 16-сцинтилляционные счетчики и микро­стрипы детекторы установки СВД



Рис. 4. Мальтийский механизм и мальтийский крест

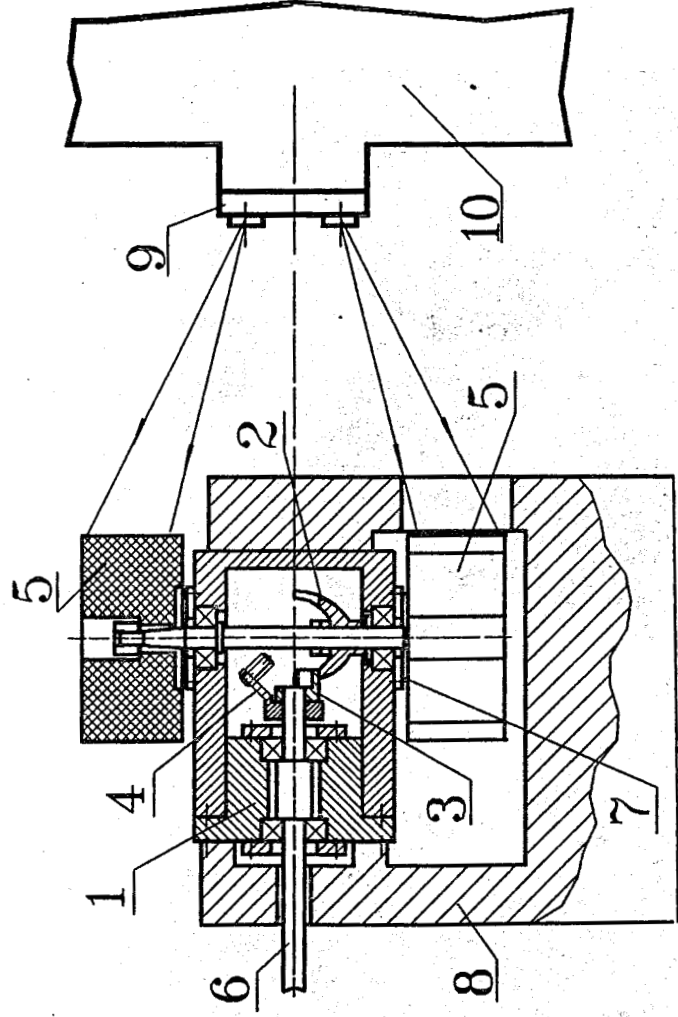


Рис. 5. Схематический чертеж мальтийского механизма  
 1-мальтийский механизм, 2-мальтийский крест, 3-фиксатор,  
 4-водило, 5-фотостолики, 6-ось механизма, 7-воздушный се-  
 паратор, 8-тумба, 9-стереоголовка быстроциклирующей пу-  
 зырьковой камеры, 10-корпус БЦК.

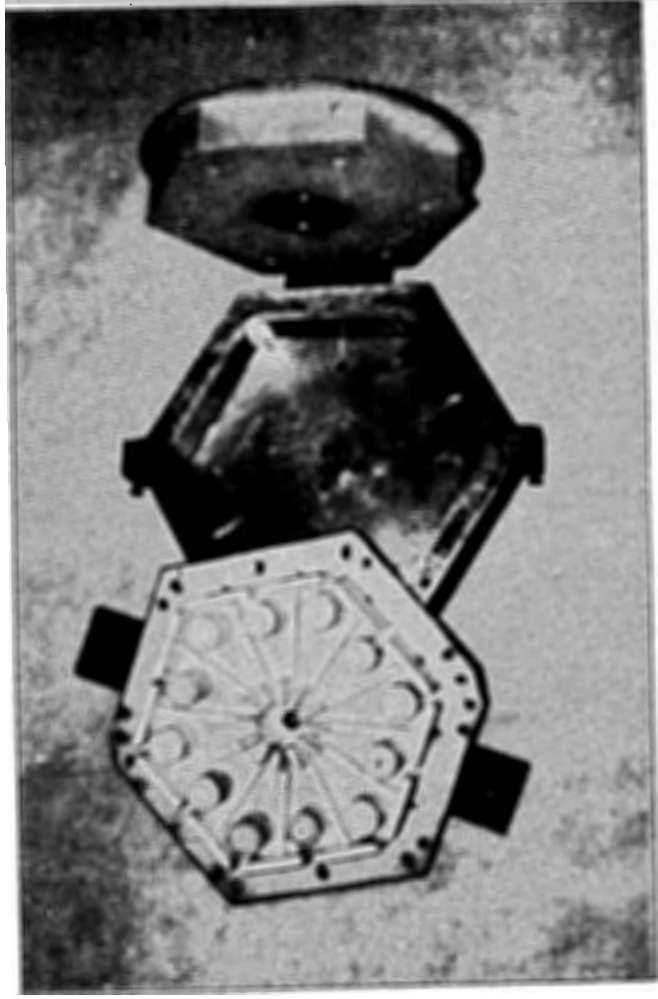


Рис. 6. Фотостолик и пресс-форма для его отливки

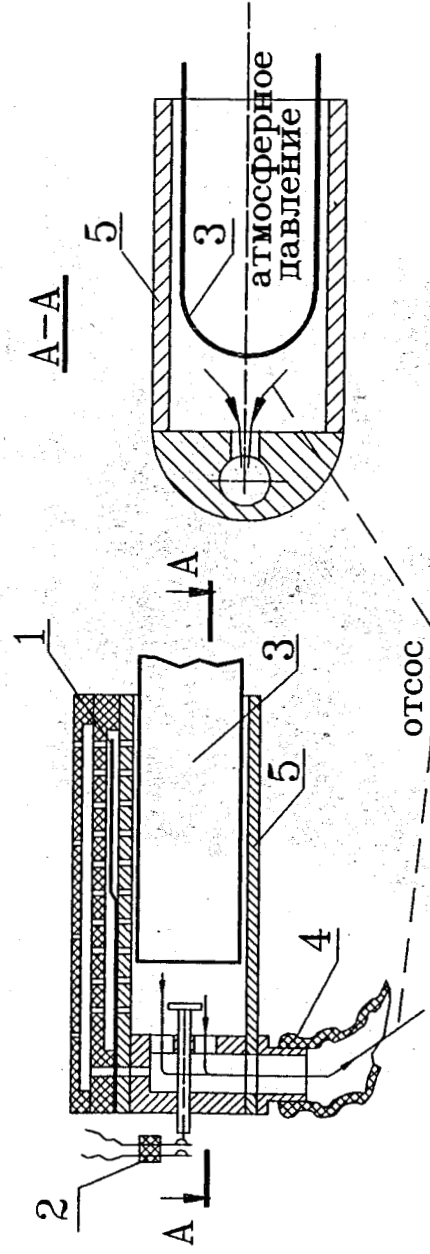


Рис. 7. Накопитель фотошленки БФР:

1-лента из майлара, 2-датчик переполнения накопителя,  
3-фотошленка, 4-шланг ротационного насоса, 5-корпус  
накопителя



Рис. 8. Блок информационного табло и жидкокристаллический индикатор

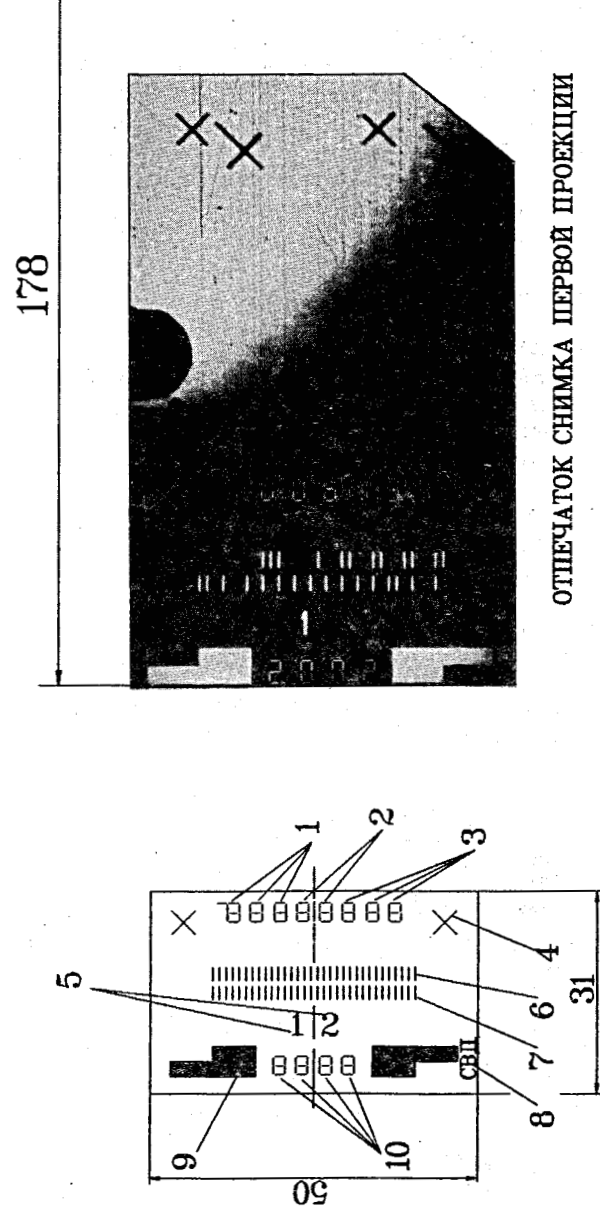


Рис. 9. Расположение знаков на жидкокристаллическом индикаторе информационного табло БФР:

1-тип триггера, 2-номер расширения БЦПК, 3-номер пленки, 4-реперные кресты, 5-номер стереопары, 6-номер пленки в двойном коде, 7-номер кадра в двойном коде, 8-название установок, 9-марки Бренера, 10-номер кадра



## 6. Информационное табло

Информационное табло (ИТ) выполнено на жидких кристаллах (рис.8), работающих на просвет, которые освещаются вспышкой импульсной лампы типа ИФК-2000. Изображение индикатора в масштабе 1:1 объективом впечатывается на каждый кадр фотопленки в момент освещения рабочего объема пузырьковой камеры эксимерным лазером. Так как фоторегистратор состоит из двух одинаковых платформ, табло ставится для каждой стереопары. Интенсивные световые вспышки к индикаторам транспортируются по световодам большого сечения  $28 \times 50 \times 800$  мм от импульсного осветителя, находящегося в корпусе БФР. Электронное управление блоком ИТ находится в пультовой быстроциклирующей камеры.

Для автоматической обработки снимков на сканирующем автомате НРД, просмотрово-измерительных столах и других полуавтоматических приборах ИТ, впечатываемое на фотопленку, содержит (рис.9):

- а) марки Бренера для остановки кадра на автомате,
- б) номер пленки и номер кадра в двоичном и двоично-десятичном кодах,
- в) реперные кресты,
- г) дополнительную информацию: номер эксперимента, номер пленки, дату, номер сеанса, тип триггера, номер проекции, название установки и проч.

Одним из требований по обработке फिल्मовых материалов является постоянный контраст элементов табло.

Тип используемой фотопленки - 38 Л, неперфорированная, шириной 50 мм, светочувствительность  $S_{0,85} = 250$  ед. ГОСТ 2817-50. Оптическая плотность знаков информационного табло  $> 2,8$ .

### Основные характеристики БФР

Размер снимка на фотопленке	50 × 178 мм
Размер снимка рабочего объема БЦПК	50 × 145 мм
Размер снимка информационного табло	50 × 33 мм
Масштаб фотографирования	1:1
Максимальная частота работы БФР в триггируемом режиме	15 Гц
Максимальное количество фотографируемых кадров за цикл ускорителя	7
Количество фотопленки в кассетах	600-800 м
Привод фоторегистратора	электрогидравлический
Габаритные размеры фоторегистратора	990 × 1130 × 1500 мм

Необходимое качество снимков пузырьков с диаметром  $15 \pm 20$  мкм обеспечивается точной юстировкой фоторегистратора относительно БЦПК - расположением фотопленки в плоскости изображения объектов стереоголовки камеры.

## 7. Юстировка фоторегистратора

Процесс настройки БФР проводят в такой последовательности: предварительно устанавливают грани, освещаемые эксимерным лазером, на расстоянии от стереоголовки  $L=600$  мм, равном двойному фокусу объективов вершинного детектора (используются объективы "Индустар 11",  $F=300$  мм, масштаб фотографирования 1:1). Далее идет прокрутка фотостолы в режиме  $f=10$  Гц в течение 15-20 мин. Точная установка грани параллельно фокальной плоскости проводится методом лазерной локации по юстировочным зеркалам, временно закрепленным на корпусе камеры и поочередно на каждой грани фотостолы. Поскольку фоторегистратор работает в режиме динамического удара, прокрутка повторяется несколько раз. Массивная тумба, на которой установлен мальтийский механизм с фотостолы, стоит на платформе с регулируемыми узлами, обеспечивающими перемещение в продольно-поперечных направлениях, что позволяет производить наклон и поворот вокруг оси вращения фотостолы. Юстировка БФР во время сеанса установки СВД проводится по мере надобности по результатам просмотра тестов и проявленных концов каждой отснятой фотопленки.

## Заключение

В течение всех экспериментов на установке СВД отснято с помощью быстродействующего фоторегистратора более 300 тыс. стереоснимков. В процессе обработки फिल्मовой информации получены точностные данные восстановления пространственной картины взаимодействий: для вершины 30 мкм в плоскости, перпендикулярной оптической оси, и 300 мкм вдоль оптической оси объективов стереоголовки [4].

Автор благодарит сотрудников ОИЯИ: И.В.Богуславского, И.М.Граменицкого, М.Д.Шаfranова за помощь в организации работ; В.А.Авдеева, О.И.Блинова, А.И.Савельева, А.В.Чижова за изготовление деталей и узлов БФР; В.А.Кузнецова за изготовление электроники для ИТ; В.Н.Алмазова, Н.В.Богомолова, В.В.Попова за участие в подготовке и обслуживании БФР во время сеансов СВД, а также сотрудников ИФВЭ (Протвино): Е.Н.Арда-

шева за разработку микропроцессорных систем, обеспечивающих управление и контроль за работой БФР; Е.А.Паршина и В.А.Хмельникова за разработку оптической системы юстировки БФР относительно БЦПК; Г.Я.Митрофанова за подготовку электротехнического оборудования.

Техническое совершенствование БФР проводилось при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант N96-02-17927).

## Литература

1. Андрищин А.М. и др. Препринт ИФВЭ 84-3, Протвино, 1984.
2. Ardashev E.N. et al. Precision liquid hydrogen rapid cycling bubble chamber, Nucl. Instr. and Meth., 1995, A 356, p.210-219.
3. Benichou J.L. et al. A rapid cycling hydrogen bubble chamber with high spatial resolution for visualizing charmed particle decays, Nucl. Instr. and Meth., 1981, v.190, p.487-502.
4. Кравцов В.Д. и Кутов А.Я. Сообщение ОИЯИ P10-93-354, Дубна, 1993.

Рукопись поступила в издательский отдел  
3 декабря 1996 года.

Самсонов В.А.

P13-96-442

Быстродействующий фоторегистратор установки  
«Спектрометр с вершинным детектором»

Для фотографирования рабочего объема быстроциклирующей пузырьковой камеры на две стереопроекции изготовлен быстродействующий фоторегистратор, рассчитанный на работу с неперфорированной пленкой шириной 50 мм при длине кадра 178 мм. В конструктивном отношении он представляет светонепроницаемый корпус с двумя лентопротяжными механизмами. Шаговые повороты фотостолов производятся мальтийским механизмом, приводимым в движение гидромотором. Максимальная частота работы фоторегистратора в триггеруемом режиме 15 Гц. К постоянному времени снято более 300 тыс. стереоснимков.

Работа выполнена в Лаборатории сверхвысоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1996

Samsonov V.A.

P13-96-442

Rapid Photoregistrator for the Spectrometer with Vertex Detector

A rapid photoregistrator intended for operation with a nonperforated film with width 50 mm and picture length 178 mm is manufactured for photographing of the active volume of the rapid cycling bubble chamber on two stereoprojections. As to the construction, it's a light opaque box with two film-advanced mechanisms. Step turns of the phototables are made by the maltese mechanism set in motion by hydromotor. The maximum frequency of the photoregistrator operation in the triggering regime is 15 Hz. More than 0.3 million stereopictures have been taken.

The investigation has been performed at the Laboratory of Particle Physics, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 1996