

СЗУЧ. 12

В-529

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



1819 / 2-78

24/16-78

13 - 11276

Н.М.Вилясов, Э.В.Козубский, Е.П.Устенко

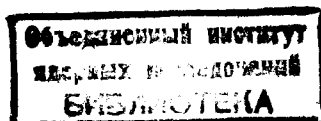
ВЫБОР СХЕМ И ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ
ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИИ
ПУЗЫРЬКОВОЙ ВОДОРОДНОЙ КАМЕРЫ
“ЛЮДМИЛА”

1978

13 - 11276

Н.М.Вирясов, Э.В.Козубский, Е.П.Устенко

ВЫБОР СХЕМ И ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ
ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИИ
ПУЗЫРЬКОВОЙ ВОДОРОДНОЙ КАМЕРЫ
“ЛЮДМИЛА“



Вирясов Н.М., Козубский Э.В., Устенко Е.П.

13 - 11276

Выбор схем и основных параметров оптической системы для реконструкции пузырьковой водородной камеры "Людмила"

Изложены основные соображения относительно выбора схем и основных параметров оптической системы для реконструкции пузырьковой водородной камеры ЛВЭ ОИЯИ "Людмила". Дается описание схемы фотографирования, приводятся варианты параметров этой схемы. Рассматривается авторефлекторная схема темнопольного освещения, обеспечивающая устранение блика источника света от стекла-иллюминатора. Обсуждаются требования к конструкции стереофотограмметрической и осветительной аппаратуры пузырьковой камеры и реперной системе ориентирования.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1978

Viryasov N.M., Kosubsky E.V., Ustenko E.P.

13 - 11276

The Choice of Schemes and Basic Parameters of Optical Systems for Reconstruction of the LUDMILA Hydrogen Bubble Chamber

Principal considerations as to the choice of schemes and basic parameters of optical system for reconstruction of the LUDMILA hydrogen bubble chamber of the Laboratory of High Energies, JINR are presented. Optical systems and versions of its parameters are described. The retrodirective system of a backfield illumination is considered which provides for the removal of a highlight from the light source caused by a glass-illuminator. Specification for the construction bubble chamber and orientation mark system are discussed.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1978

Проект реконструкции установки "Людмила" сохраняет неизменными электромагнит МС-7 и вакуумный кожух, имеет целью улучшение ряда технических характеристик установки, в том числе: увеличение фотографируемого объема, расширение набора наполняющих объем сред /жидкостей/, снижение уровня гидродинамических и систематических искажений, повышение качества снимков, увеличение быстродействия фоторегистрирующей аппаратуры, размещение в объеме следочувствительной мишени и пластин, и в связи с этими целями обуславливает обновление оптических систем и фоторегистрирующей аппаратуры. Ниже описываются основные соображения и некоторые альтернативные решения, касающиеся выбора схем и значений основных параметров оптических систем для проекта реконструкции установки "Людмила".

ОБЩАЯ СХЕМА КОНСТРУКЦИИ КАМЕРЫ

Общая схема конструкции установки остается прежней /1/ и отличается от своего прототипа, как это видно из рис. 1, тем, что корпус камеры имеет "подвижное" дно, подвешенное на тягах к силовому приводу механизма расширения, размещенному под крышкой вакуумного кожуха, при этом в камере сохраняется световой проем, необходимый для освещения и фотографирования ее объема. Такое конструктивное решение позволяет разместить в старом вакуумном кожухе новый корпус камеры, длина которого в ~1,4 раза больше прежнего.

Освещение и фотографирование следов в объеме камеры планируется осуществить через два стекла-иллю-

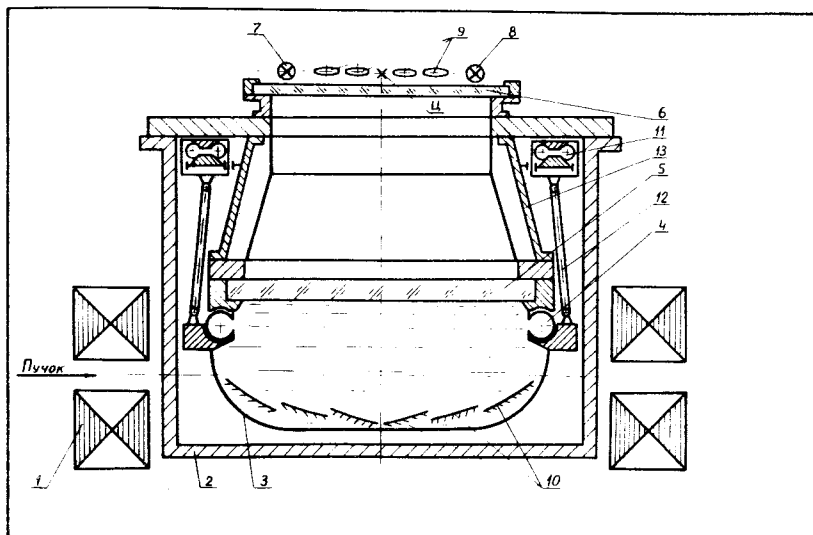


Рис. 1. Схема установки "Людмила" /проект реконструкции/. 1 - электромагнит МС-7; 2 - вакуумный кожух камеры; 3 - корпус камеры "подвижное дно"; 4 - омега-сильфон; 5 - стекло-иллюминатор корпуса камеры; 6 - стекло-иллюминатор вакуумного кожуха камеры; 7 и 8 - источники света; 9 - объективы фотокамер; 10 - расстровые элементы отражательного устройства камеры; 11 - силовой привод механизма расширения; 12 - тяги и 13 - опоры.

минатора: стекло-иллюминатор корпуса и стекло-иллюминатор вакуумного кожуха. Стекло-иллюминатор корпуса камеры ограничивает фотографируемый объем на расстоянии в ~ 300 мм от зоны пучковых частиц. Стекло-иллюминатор вакуумного кожуха планируется разместить над крышкой вакуумного кожуха в пределах до 700 мм в зависимости от выбора значения высоты фотографирования.

СИСТЕМА ФОТОГРАФИРОВАНИЯ

Проект реконструкции установки "Людмила" сохраняет схему фотографирования прежней ^{1/}, а именно:

для съемки планируется применить четыре фотокамеры, оси которых должны быть параллельны между собой и ортогональны плоскостям стекол-иллюминаторов. Изменение вносится в расположение фотокамер. Схема фотографирования представлена на рис. 2а - б, 3.

В табл. 1 представлены варианты предварительных значений основных параметров системы фотографирования. Задача следующего этапа работы - это выбор окончательных значений масштаба фотографирования, ширины пленки /50 или 35 мм/, высоты фотографирования и соответственно угла поля зрения объективов /больше или меньше 60 °/.

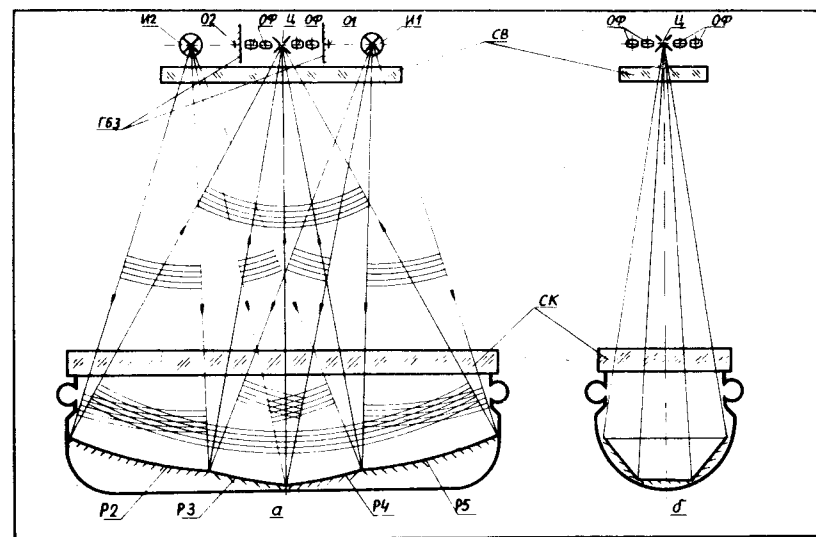


Рис. 2. Схема освещения и фотографирования. Разрез вдоль пучка /а/ и поперек пучка /б/. СК - стекло-иллюминатор камеры; СВ - стекло-иллюминатор вакуумного кожуха; И1 и И2 - источники света; ОФ - объективы фотокамер; Ц - центр блока фотокамер; P2, P3, P4 и P5 - расстровые элементы отражательного устройства; O1 и O2 - центры кривизны расстровых элементов P3, P5 и P2, P4 соответственно; ГБЗ - границы безбликовой зоны.

Передний план фотографируемого объема 2570x570		Глубина - 600 мм				
Высота Σ съемки Нп, Нн, Нз ^{жж})	Нп=2012, Нн=2254, Нз=2562			Нп=2432, Нн=2679, Нз=2982		
Угол поля зрения объективов	70°		60°			
Фокусное расстояние объективов	125.8	110.6	92.3	152.0	133.6	111.6
масштаб изображения переднего плана	1/15	1/17.2	1/20.8	1/15	1/17.2	1/20.8
плоскости наведения заднего плана	1/16.9	1/19.4	1/23.4	1/16.6	1/19.5	1/23.0
	1/19.4	1/22.2	1/26.8	1/18.6	1/21.3	1/25.7
Ширина пленки (мм)	50	50	35	50	50	35
Размер кадра (мм)	171x38	149x33	123.4x27.4	171x38	149x33	123.4x27.4
Критическая апертура	1/23.6	1/20.7	1/17.3	1/24.2	1/21.3	1/17.8
ϕ кружка размытия (мм)	0.032	0.028	0.023	0.033	0.029	0.024
проекция кружка на плоскость переднего плана (мм)	0.54	0.54	0.54	0.55	0.55	0.55

Σ Редуцированная к воздуху. Нп - над передним планом, Нн - над плоскостью наводки, Нз - над задним планом.

При выборе системы фотографирования для реконструкции установки "Людмила" были рассмотрены следующие варианты.

Оси фотокамер должны быть параллельны или конвергентны? Выбрано параллельное расположение осей фотокамер, потому что в установке "Людмила" из-за габаритных ограничений величина поперечного базиса фотографирования не может быть более 460 мм. В таких условиях конвергенция осей не даст существенного выигрыша в угле поля зрения объективов и в то же время существенно усложнит конструкцию фотоаппаратуры, процедуру ее юстировки и геометрическую программу обработки данных измерения изображения следов.

Для фотографирования планируется применить специальные объективы, откорректированные с учетом искажений, вносимых стеклами-иллюминаторами камеры, поскольку такие искажения носят систематический характер. Это решение дает возможность не только упростить поправки в геометрической программе и соответственно снизить затраты счетного времени, но и повысить точность определения элементов ориентирования фотокамер относительно стекла-иллюминатора камеры, поскольку изображение плоскости реперных крестов на стекле-иллюминаторе будет иметь наименьшие искажения.

Число фотокамер и их расположение. Планируется фотографирование производить четырьмя фотокамерами с автономными лентопротяжными механизмами, поскольку в этом случае сохраняется возможность производить съемку с любым набором из четырех фотокамер; при этом, если съемка ведется тремя фотокамерами, то четвертая служит резервной. Необходимость в применении всех четырех фотокамер возникает в случае размещения в камере следочувствительной мишени или пластины с целью сократить потери в фотографируемом объеме за счет экранировки ^{1/2} или при наличии бликов от источника света.

Изменение плана расположения фотокамер /см. рис. 3/ обусловлено тем, что дает возможность расположить все четыре лентопротяжных механизма в параллельных плоскостях и тем самым ослабить габаритные ограничения на механизмы, что очень важно для размещения кассет

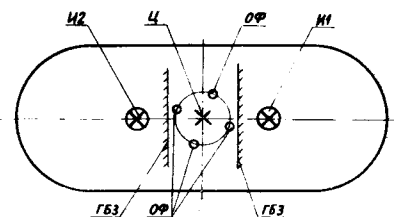


Рис. 3. План расположения объективов фотокамер. ОФ - объективы фотокамер; ИЗ и И2 - источники света; ГБЗ - границы безбликовой зоны; Ц - центр блока фотокамер.

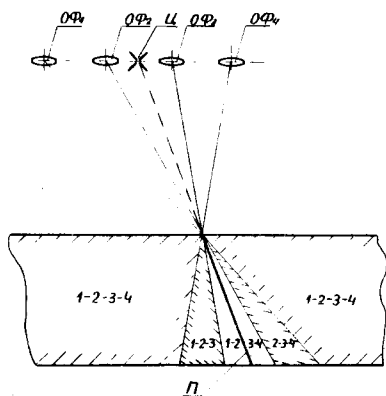


Рис. 4. Схема размещения пластины в объеме камеры. Ц - центр блока фотокамер; П - пластина в объеме камеры; ОФ1, ОФ2, ОФ3, ОФ4 - объективы фотокамер; 1-2-3-4 - зона объема камеры, фотографируемого четырьмя фотокамерами; 1-2-3 или 2-3-4 - зона объема, фотографируемого тремя фотокамерами; 1-2 или 3-4 - двумя фотокамерами.

повышенной вместимости; упростить схему устройства для впечатывания на снимки служебной информации; сократить потери фотографируемого объема на теневых зонах от пластины в объеме камеры /см. рис. 4/.

При выборе окончательного значения масштаба изображения и, следовательно, ширины пленки планируется учесть требования, обуславливаемые частотой фото-

графирования: 4-6 снимков за один цикл ускорения частиц.

СИСТЕМА ОСВЕЩЕНИЯ

Проект реконструкции установки "Людмила" оставляет систему освещения камеры авторефлекторной, т.е. такой, при которой источник света располагается вблизи фотоаппарата, а на дне фотографируемого объема камеры устанавливается отражательное устройство.

Важное значение при выборе системы освещения камеры имеет альтернатива: освещение темнопольное или светопольное? Известно, что светопольное освещение на основе применения отражателя, известного под названием "скотч-лайт", существенно упрощает конструкцию пузырьковой камеры и процедуру юстировки системы освещения^{13/}. В то же время темнопольное освещение дает возможность достичь требуемого контраста в изображении следов при меньшем размере пузырьков и таким образом выиграть в точности регистрации событий. Решение этой альтернативы, возможно, потребует дополнительных исследований и разработок. На данном этапе реконструкции установки "Людмила" планируется создание темнопольной системы освещения с полосатым зеркальным растром в качестве отражателя, т.е. аналогичной впервые примененной на установке "Людмила"^{11/}, с учетом возможности перехода на светопольное освещение в будущем.

Схема темнопольного освещения установки "Людмила" представлена на рис. 2 и 5. Как видно из этих рисунков, освещение объема камеры производится четырьмя световыми потоками из двух позиций И1 и И2, равноотстоящих от центра блока фотокамер Ц вдоль камеры. На дне камеры размещено отражательное устройство, состоящее из ряда растровых элементов Р2, Р3, Р4, Р5 /рис. 2/. Центр кривизны растровых элементов Р2 и Р4 находится в точке О2, посредине между центром блока фотокамер Ц и позицией И1, а центр кривизны - Р3 и Р4 - в точке О1, посредине между Ц и И2. Световые потоки из И1 проецируются на элементы Р3 и Р5 и после

отражения сходятся в точке Ц, а световые потоки из И2 - на элементы Р2 и Р4 и также сходятся в точке Ц.

В целях экономии полезного объема камеры с учетом конфигурации ее корпуса по ширине камеры устанавливаются два боковых наклонных элемента, а число элементов вдоль камеры при этом увеличено до 6-ти /см. рис. 5/.

Преимущество этой схемы освещения ^{4/} перед ее прототипом ^{1/} состоит в том, что она дает возможность избавиться от блика первого порядка, если выполнено условие

$$B \leq 2A(H - P) / (H + P), \quad /1/$$

где Н - высота источников света над плоскостью стекло-иллюминатора /см. рис. 5/; Р - глубина камеры в центре; 2А - расстояние между позициями И1 и И2, а В - продольный базис стереосъемки.

При условии /1/ световые потоки из И1 и И2, падающие на стекло-иллюминатор и отраженные назад, не попадают в полосу шириной В в центре, т.е. в фотокамеры. В то же время световые потоки, отраженные растровыми элементами, заполняют объем камеры в обратном ходе полностью и фокусируются при этом в центр блока фотокамер Ц.

Такая схема освещения не устраняет бликов более высокого, чем первый, порядка, например образуемых последовательностью отражений от растра, стекла и вновь от растра. Однако эти блики ослабляются полосатым растром в той же мере, что и мнимые изображения следов.

Некоторое упрощение отражательного устройства возможно путем сокращения числа элементов за счет соответствующего увеличения их площади, но это ведет к увеличению полостей под растром или требует изменения конфигурации корпуса камеры.

Отражательное устройство устанавливается на "подвижном" дне камеры, величина хода которого не превышает ~ 6 мм. Движение отражательного устройства повлечет смещение и изменение изображения источника

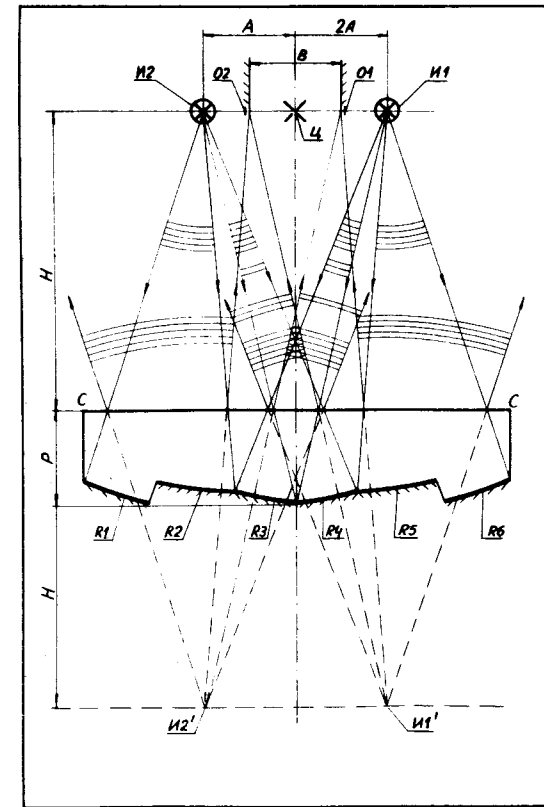


Рис. 5. СС - стекло-иллюминатор камеры; И1 и И2 - источники света; Ц - центр блока фотокамер; О1 и О2 - центры кривизны растровых элементов отражательного устройства камеры Р3, Р5, Р6 и Р1, Р2, Р4 соответственно; И'1 и И'2 - изображения в СС источников света И1 и И2 соответственно; Н - высота источников света над стеклом-иллюминатором; А - расстояние между центром блока фотокамер Ц и источником света И1 или И2; Р - глубина объема камеры в центре, расстояние от стекла-иллюминатора до растровых элементов Р3 и Р4; В - ширина безбликовой зоны.

света в центре блока фотокамер. Источник света изображается отражательным устройством с масштабом 1:1. При таком масштабе смещение изображения по вертикали

будет соответствовать удвоенной величине смещения отражательного устройства, т.е. 12 мм, что является незначительной величиной по сравнению с фокусным расстоянием отражательного устройства - 1280 ± 1480 мм. Предельный угол наклона отражательного устройства - $6/600$, и соответственно предельное поперечное /относительно камеры/ смещение изображения источника света при таком наклоне составит $2 \times 0,01 \times 2 \times 1500 = 60$ мм, что меньше половины базиса съемки. Продольное смещение изображения источника света будет еще меньше, ~15 мм. Таким образом, эти оценки показывают допустимость крепления отражательного устройства на "подвижном" дне камеры.

Движение отражательного устройства во время экспозиции, главным образом неплоскопараллельное, повлечет "размазывание" мнимых изображений следов. Интересно сделать оценку величины углового смещения зеркала, достаточного для удаления мнимых изображений следов. Пусть изображение источника света пузырьком составит 0,2 мм и пусть пузырек находится в плоскости пучка, т.е. на удалении в 300 мм от зеркала. Пусть при этом поворот зеркала приведет к 10-кратному увеличению площади изображения источника света пузырьком. Тогда соответствующий угол поворота зеркала составит $0,2 \times 10/2 \times 300 = 1/300 = 10$ мин.

СИСТЕМА РЕПЕРОВ ОРИЕНТИРОВАНИЯ

Как известно, точность привязки геометрии следа к топографии магнитного поля обеспечивается системой реперов ориентирования, которая также используется и для коррекции систематических ошибок в определении геометрии следа.

Проектом реконструкции установки "Людмила" предусматривается нанесение реперных крестов на стекло-иллюминатор камеры, на обе поверхности. С целью повышения точности определения положения входных зрач-

ков объективов над стеклом-иллюминатором за счет съемки системы реперов из нескольких положений проектом предусматривается возможность перемещения стереофотоаппарата относительно стекла-иллюминатора в пределах глубины фотографируемого объема /600 мм/. Это условие приводит к необходимости иметь на крышке вакуумного кожуха стекло-иллюминатор с большим световым окном и соответствующую конструкцию крепления фотоаппарата, допускающую поступательное перемещение с точным отсчетом величины перемещения /0,01 ± 0,05 мм/.

Одно из преимуществ большого стекла-иллюминатора вакуумного кожуха состоит в том, что оно позволяет сделать точные замеры усадки или смещения в плоскости, параллельной стеклу-иллюминатору корпуса камеры, посредством компарирования реперных крестов.

Заслуживает быть отмеченной целесообразность подсветки входных зрачков объективов во время тестовых съемок реперных крестов с целью получения их изображений на снимках одновременно с изображением крестов /5/, поскольку задача тестовых съемок - это определение положения входных зрачков объективов.

БЛОК ВПЕЧАТЫВАНИЯ СЛУЖЕБНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Автоматизация обработки снимков с пузырьковых камер сделала необходимым элементом каждого снимка служебную информацию: номер снимка, марки Бренера и некоторые другие данные об условиях эксперимента. Поскольку проектом реконструкции предусматривается съемка объема камеры посредством четырех фотокамер с автономными лентопротяжными механизмами, то становится важным обеспечение взаимного соответствия служебной информации на всех четырех снимках одного стереокадра. Проще всего задача соответствия может быть решена посредством съемки служебной информации с одного табло и разнесения его изображения на четыре снимка.

ЗРИТЕЛЬНЫЕ ТРУБЫ. ВИЗУАЛЬНЫЙ ОБЗОР

Проектом реконструкции предусматривается обеспечение возможности обзора полностью или по частям объема камеры оператором посредством зрительных труб при различных увеличениях и с возможностью подсветки объема как темнопольной, так и светопольной.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проект реконструкции оптико-механических систем установки "Людмила" базируется на опыте разработки и эксплуатации пузырьковых водородных камер⁶ и главным образом камер ЛВЭ ОИЯИ^{1,7}. Различные аспекты данного проекта авторы обсуждали со многими известными специалистами.

Авторы выражают глубокую благодарность за полезные советы М.М.Русинову, Э.М.Лившицу, Д.М.Румянцеву, А.А.Гулюгину, И.М.Граменицкому, С.Выскочилу, И.С.Саитову, Ю.Д.Зернину, А.Г.Зельдовичу, Е.И.Дьячкову, И.И.Скрылю, В.Г.Иванову, В.И.Морозу, В.А.Жукову, А.И.Филиппову и В.М.Горбункову. Авторы благодарят В.Н.Глущенко и И.А.Муравьеву за техническую помощь.

ЛИТЕРАТУРА

1. Батюня Б.В. и др. ОИЯИ, 13-7615, Дубна, 1973.
Батюня Б.В. и др. ОИЯИ, 13-9441, Дубна, 1976.
2. Алешин Ю.Д. и др. Препринт ИТЭФ, 30 /1975/.
3. Александров Г.М. и др. ОИЯИ, 13-3322, Дубна, 1967.
4. Козубский Э.В. Авторское свидетельство №570862, кл. G1T 5/06, от 14.01, 1976 г. Бюллетень ОИПОТЗ, 1977, № 32, стр. 125.

5. Козубский Э.В. Авторское свидетельство №570861, кл. G1T 5/06, от 08.08.1975 г. Бюллетень ОИПОТЗ, 1977, №32, стр. 125.
6. Александров Ю.А. и др. Пузырьковые камеры. Госатомиздат, Москва, 1963.
7. Глаголев В.В. и др. ОИЯИ, 13-3031, Дубна, 1966.
Глаголев В.В. и др. ОИЯИ, 13-3633, Дубна, 1967.

Рукопись поступила в издательский отдел
20 января 1978 года.