

Р-887

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1-83-691

РУСИШВИЛИ

Нодар Самсонович

**СОЗДАНИЕ КАМЕР ВИЛЬСОНА
И ШИРОКОЗАОРНЫХ ИСКРОВЫХ КАМЕР
БОЛЬШИХ ОБЪЕМОВ
ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ
ПРОЦЕССОВ ЯДЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ
В ИНТЕРВАЛЕ ЭНЕРГИЙ 10^{11} - 10^{16} эВ**

**Специальность 01.04.16 - физика атомного ядра
и элементарных частиц**

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Дубна 1983

Работа выполнена в ордена Трудового Красного Знамени институте
физики Грузинской ССР

Научный руководитель

доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник

Д.М.КОТЛЯРЕВСКИЙ

Официальные оппоненты:

доктор технических наук
кандидат физико-математических наук

А.И.ФИЛИПОВ
Б.И.ЛУЧКОВ

Ведущая организация:

Институт ядерных исследований АН СССР, Москва

Защита диссертации состоится "17 ноября 1983 года в
"___" часов на заседании Специализированного совета Д.047.01.03 при
Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследо-
ваний, г. Дубна, Московской области.

Автореферат разослан "18 октября 1983 г.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета

доктор физико-математических наук

Д.А.БАТУСОВ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Создание качественных трековых детекто-
ров установок для изучения ядерных взаимодействий в интервале
 10^{11} - 10^{16} эВ является одной из наиболее актуальных проблем совершен-
ствования технических средств ядерной физики.

Цель работы. Создание изотропных условий в рабочих объемах тре-
ковых детекторов для достижения максимально возможного простран-
ственного разрешения треков, регистрации максимально измеряемого им-
пульса и получения качественных треков заряженных частиц.

Научная новизна. В данной работе впервые получены следующие ре-
зультаты:

1. Обеспечен оптимальный скоростной график движения диафрагмы
"время-путь" в 180-, 340- 1000-литровых камерах Вильсона (КВ) для дости-
жения однородного пересечения в рабочем объеме с целью создания опти-
мальных условий получения неискаженных четких треков (рис. 1).

2. Для компенсации отрицательного влияния большого вертикально-
го температурного градиента на работу камеры разработан метод и вы-
полнен механизм, позволяющий создавать разные степени расширения по
вертикали 1000-литровой КВ (рис. 2).

3. Создан электродинамический клапан большой пропускной способ-
ности, не нуждающийся в магнитных экранах, с временем задержки откры-
тия $\sim 2 \cdot 10^{-3}$ с. (рис. 3).

4. Предложен упрощенный расчет прямоугольных пластин, загружен-
ных равномерным давлением, опирающихся по трем сторонам на жесткие
опоры, а по четвертой - на упругую.

5. Создана конструкция широкоазорной искровой камеры (ШИК)^{9/} без
краевого эффекта, путем размещения за пределами чувствительного объе-
ма несущих дюралевых рам корпуса, одновременно служащих "крыльями"
и наперед заданным допустимым провисанием проволок электрода путем
применения для конкретной задачи предварительной деформации корпуса
камеры, поддерживающей натяжение проволочных электродов.

Практическая ценность. Проведенная работа позволила решить воп-
росы, связанные с получением неискаженных треков в КВ и ШИК.

Полученные результаты могут найти применение и в других облас-
тях науки и техники. Принцип суммирования внешнего и внутреннего маг-
нитных полей в электродинамическом клапане можно использовать в уста-

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

новках, связанных с сильными магнитными полями. При этом тот факт, что конструкция клапана исключает выделение тепла, позволяет применять ее в криогенной технике.

Автор защищает:

Методику достижения однородного пересыщения по всему рабочему объему КВ с большими вертикальными размерами в сильных магнитных полях.

Методику сведения оптических искажений к минимуму при фоторегистрации треков в КВ, в частности, связанных с проектированием иллюминаторов.

Методику обеспечения одинакового электростатического потенциала в рабочем объеме, устранения краевого эффекта, сохранения постоянства состава газовой смеси, обеспечения натяжения проволочных электродов.

Структура диссертации. Работа состоит из предисловия, введения, четырех глав и выводов, содержит 188 страниц машинописного текста, 56 рисунков и 9 таблиц. Библиографический список состоит из 73 наименований.

Апробация работы. Результаты исследований были доложены на семинарах отдела широких атмосферных ливней Института физики АН СССР; в Институте высоких энергий при Тбилисском государственном университете; на республиканских конференциях: в Сухуми (1968 г.), в Батуми (1968 и 1969 гг), на союзных космических конференциях в 1963, 1968, 1969 годах; на международных конференциях: в Лондоне в 1965 г., в Париже в 1981 г.

Публикации. Основные результаты исследований, изложенные в диссертации, опубликованы в 12 работах, включая 1 авторское свидетельство.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В предисловии обоснована актуальность темы, определяются цель и задачи, стоявшие перед автором диссертации и тем коллективом, в котором он работал.

Во введении описана история использования трековых приборов и определено их место в современных экспериментах, показана практическая ценность выполненных работ.

В первой главе дается краткий обзор детекторов элементарных частиц и особенностей узлов визуальных трековых детекторов.

История работ по созданию КВ начинается с 1899 года, когда У.Вильсоном был построен первый прибор, способный обнаруживать тре-

ки, оставляемые движущимися заряженными частицами. Первоначально рабочие объемы этих приборов исчислялись в кубических сантиметрах. Рабочие объемы современных КВ измеряются кубометрами, поэтому реализация предъявляемых к ним физических и технических требований связана с большими трудностями. Так, например, из-за большой траектории движения диафрагмы при резком ее торможении возникают ударные аэродинамические волны, образующие в рабочем объеме камеры слой неоднородного пересыщения газа; из-за большой высоты камеры возникают трудности, связанные с необходимостью поддерживать отрицательный температурный градиент; большие площади диафрагмы требуют соответствующих больших иллюминаторов.

Существенным становится влияние прогиба стекла на точность вильсонограмм. Большие количества выхлопываемого из-под диафрагмы воздуха требуют создания быстродействующих клапанов большой пропускной способности, четко срабатывающих в сильных магнитных полях.

Другими детекторами частиц, применяемых на установке в ЦХР-Цкаро им. Г.Е. Чиковани^{1/71}, являются широкоазорные искровые камеры. Такие камеры, изобретенные японскими физиками в 1959 г., претерпели значительные физические и технические модификации благодаря работам советских физиков и в дальнейшем обеспечили возможность выполнения ряда блестящих экспериментов. Наиболее простой и надежной разновидностью этих камер является ШИК, которая явилась практически изотропным прибором, проста и надежна в эксплуатации.

В 1967 г. Г.Е. Чиковани предложил конструкцию ШИК, которая обладала способностью автоматической регистрации координат треков посредством проволочных электродов².

Особенности конструирования ШИК сводятся к рациональному подбору материала для корпуса камеры (не выделяющего газов), обеспечивающего чистоту газа, параллельность электродов, малый вес и т.д.

К электродам предъявляются требования взаимной параллельности, не меняющейся с изменением давления, с допускаемой погрешностью не более 1% расстояния между ними. При сплошном электроде необходимо предусмотреть рациональное назначение ребер жесткости при оптимальном избыточном давлении рабочего газа в камере.

Во второй главе содержатся расчет и экспериментальные разработки основных узлов, обеспечивающих однородное пересыщение по всему рабочему объему, для чего было необходимо осуществить движение диафрагмы по расчетному графику - вначале, в быстром адиабатическом режиме, необходимым для достижения нужного пересыщения, и далее с плавным переходом в изотермический режим для компенсации притока тепла от стенок камеры (рис. 1). Торможение диафрагмы на последних миллиметрах

² Михайлов В.А. и др. ЭТФ, 1963, 45, в.9, с.818.

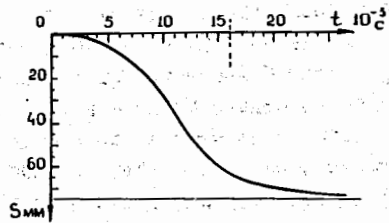


Рис. 1

Теоретический график движения диафрагмы "время-путь" 100-литровой КВ

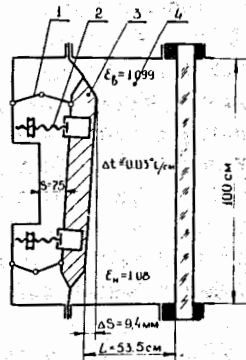


Рис. 2

Механизм, позволяющий создавать разные степени расширения по вертикали 100-литровой КВ.

1. Пантографический механизм
2. Ограничитель исходного положения диафрагмы
3. Диафрагма
4. Рабочий объем

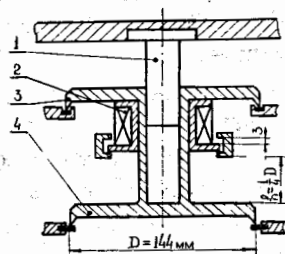


Рис. 3

Схема электродинамического клапана 100-литровой КВ.

1. Сердечник неподвижный
2. Дестабилизирующая катушка
3. Тарелка стопорная
4. Тарелка, закрывающая нижний объем

пути должно быть плавным и время торможения должно превышать время движения возмущений в газе от диафрагмы к иллюминатору и обратно для исключения ударной аэродинамической волны. Для обеспечения начального быстрого движения диафрагмы необходимо обеспечить выхлоп массы сжатого воздуха из-под диафрагмы наружу. Воздух выхлопывается через управляемые клапаны, причем на качество треков влияет временная задержка между прохождением частицы через камеру и моментом открытия клапана, т.е. необходимо быстрое действие клапанной системы ($t = 2 \cdot 10^{-3}$ с). Величина проходного сечения клапанов должна обеспечивать необходимую скорость движения диафрагмы на адиабатическом участке.

В этой же главе дается подробный расчет суммарного сечения клапанов и определяется экспериментально коэффициент их пропускной способности (для клапанов щелевого типа $A=0,25$, для тарельчатых клапанов $A=0,70$).

На основании предлагаемых в диссертации расчетов была сконструирована и испытана в рабочих условиях выхлопная система камер. Снята кинограмма движения диафрагмы 1000-литровой КВ (рис. 4). Эта кинограмма в достаточной мере совпадает с оптимальным теоретическим графиком, предложенным физиками-экспериментаторами. Точками указаны расчетные координаты диафрагмы. Для сокращения времени задержки открытия $t = 2 \cdot 10^{-3}$ с, времени полного открытия клапана $t = 5 \cdot 10^{-3}$ с, и обеспечения его работы в сильном магнитном поле, нами был изобретен электродинамический клапан (рис. 3) /4/, который характеризуется быстрым действием и не нуждается в электромагнитных экранах. Принцип работы клапана основан на нарушении равновесия между силами, действующими на тарелки 3 и 4 при ударе по тарелке 3 катушкой 2, которая приходит в движение при пропускании по ней тока в результате взаимодействия магнитных полей катушки и электромагнита установки.

Детали клапана из-за ограничения габаритов тщательно рассчитывались и проверялись на усталостную прочность.

В этой главе подробно описываются особенности термостатирования КВ большой высоты. Согласно существующим методикам, исключение конвекционных потоков в рабочем объеме перед расширением достигается созданием отрицательного градиента порядка $0,03^\circ\text{C}/\text{см}$. При большой высоте камер возникает большая разность температур в рабочем объеме у крышки и у дна, что исключает однородность пересыщения пара в этих областях и получение одинаковых треков по всей высоте камеры. Для предотвращения разности температур после расширения по всей высоте камеры нами была предложена новая методика, сводящаяся к созданию разных степеней расширения посредством первоначального фиксированного перегиба диафрагмы.

На рис. 2 показан механизм, позволяющий создать перекося диафрагмы, что существенно улучшило качество вильсонограммы.

В третьей главе содержатся расчеты и рекомендации по подбору иллиминаторов. Подбор производится таким образом, чтобы довести до минимума оптические искажения для получения наиболее высокого измеримого импульса частиц.

Критерием пригодности стекол иллиминатора больших (1000-литровых) КВ являются определенное значение радиусов искривления стекла при съемке вильсонограмм ($R \geq 800$ м) и величина максимального напряжения в них (от действия разности давления на стекло).

Кроме того, существует ряд технических вопросов, связанных с удобством эксплуатации камер и изготовлением оптических стекол больших размеров. В зависимости от этого иллиминаторы могут иметь два варианта конструктивного решения - перекрытие одним стеклом или несколькими. При сопоставлении этих вариантов для 1000-литровой камеры был избран составной иллиминатор (из двух стеклянных пластин).

При расчете и выполнении этого варианта нами были изучены и описаны в диссертации следующие теоретические вопросы.

1. О влиянии упругих прокладок на характер "опирания" стеклянных пластин по контуру.

Было установлено, что изгибающий момент в контуре стеклянной пластины, вызываемый упругими резиновыми прокладками стандартных размеров, составляет не более 2,6% величины такого же момента, но при заземленном "опирании" пластины. Поэтому пластины с такими прокладками можно считать свободно опирающимися.

2. Определены степень сжатия резиновых прокладок и вызываемые этим контактные напряжения в стеклах в зоне прокладок в зависимости от давления газа в уплотняемом объеме.

3. Предложен упрощенный расчет пластин, опирающихся по трем сторонам на жесткие опоры, а по четвертой - на упругое ребро. Сопоставление расчетных и экспериментальных данных дает приемлемые для инженерной практики результаты.

Произведен расчет радиусов искривления стекол с учетом прогиба ребра жесткости. Полученные радиусы искривления в момент фотографирования в плоскости стереофотоаппаратов равны 1100+1700 м.

В четвертой главе описаны теоретические предпосылки, методы расчета и изготовления фимльных широкозахватных искровых камер, предназначенных для изучения взаимодействия частиц космического излучения с энергиями выше 400 ГэВ.

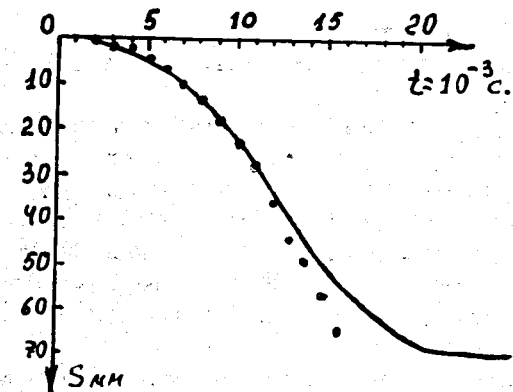


Рис. 4
Кинограмма движения диафрагмы 1000-литровой камеры Вильсона.

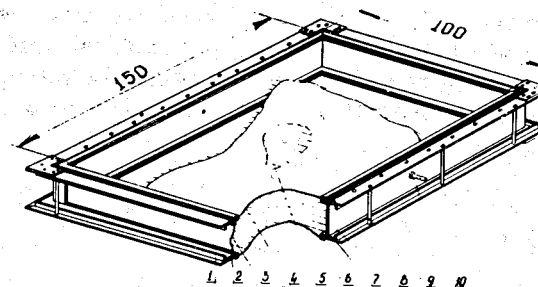


Рис. 5.
Широкозахватная искровая камера. 1 - прижимная рама, 2 - эпоксидная смола, 3 - лавсан-иллиминатор, 4 - лавсан, 5 - электрод, 6 - прижимная рама, 7 - рама корпуса, 8 - винилпластовая стенка, 9 - стойка дистанционная, 10 - штуцер.

К основным требованиям, предъявляемым к этим камерам, относятся следующие:

1. Большие площади сечения
2. Возможность регистрировать четкие треки в любой области рабочего объема камеры.

Для решения первой задачи из множества испытанных материалов наиболее подходящим является винипласт, а электроды применяются "прозрачные" (проволочный вариант), перекрытые поверху лавсановой пленкой. Так как максимальное провисание проволоки электрода должно быть не больше 1% от расстояния между верхним и нижним электродами, нужное натяжение проволок было обеспечено за счет предварительной деформации винипластового корпуса, который после фиксации проволок натягивал их с заданной расчетной силой.

В случае применения сплошных металлических электродов для соблюдения тех же условий на прогибы электродов мы применяли нагартованные четырехмиллиметровые листы из алюминиевых сплавов.

Листы подкреплялись угольниками, которые служили как для монтажа больших ($2 \times 2 \text{ м}^2$) камер, так и для жесткости конструкции.

Необходимая разность давлений газа в камере в зависимости от допускаемого прогиба электрода и его жесткости поддерживалась компенсирующим объемом.

Камеры выполнялись по разработанной нами методике (винипластовый корпус в сочетании с лавсановой пленкой и дюралюминиевыми профилями). Такая композиция исключала микротрещины и выделение газов, что способствовало длительному сохранению чистоты и постоянства газовой смеси (Ne и He). На рисунке 5 показан один из удачных вариантов ШИК.

В выводах излагаются основные результаты, которые могут быть сделаны из данной работы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. В результате проведенных исследований созданы детекторы больших объемов - камеры Вильсона и широкоазорные искровые камеры, которые являются основными частями многих установок для изучения взаимодействий элементарных частиц с веществом на ускорителях и в космических лучах. 180-литровая КВ работала на синхрофазотроне ОИЯИ в течение 5 лет; 340-литровая КВ - на модельно экспериментальной установке $1/1$, и две 1000-литровые КВ работали в магнитном зазоре на установке "Цхра-цхаро" около шести лет; широкоазорные искровые камеры разных типов по конструкционному исполнению работают на разных модификациях установки "Цхра-цхаро" по изучению ядерных взаимодействий адронов и в экспериментах для исследования свойств широких атмосфер-

ных ливней. Вышеуказанными детекторами были получены уникальные физические результаты.

2. Создана возможность обеспечить изотропные условия в рабочем объеме камеры Вильсона посредством однородного пересыщения по всему рабочему объему, необходимые для получения неискаженных и четких треков, и фотографирование треков без оптических искажений.

Однородное пересыщение было достигнуто путем обеспечения движения диафрагмы по запрограммированной кривой "время-путь" и исключения конвекционных потоков.

Для достижения желаемого режима движения диафрагмы создана расширительная система и разработаны следующие узлы:

- а) пантографический механизм для обеспечения плоскопараллельного передвижения диафрагмы;
- б) безотказные амортизаторы, плавно и без отскока останавливающие диафрагму;
- в) быстродействующий электродинамический клапан большого пропускного сечения ($\Phi_y = 144 \text{ мм}$), способный работать при большом внешнем магнитном поле без экранировки.

Исключение конвекционного потока в рабочем объеме камеры было достигнуто созданием отрицательного градиента ($\Delta t = 0,03^\circ\text{C}/\text{см}$), в нашем случае - при метровой высоте камеры $t = 3^\circ\text{C}$. Компенсация вредного воздействия большой разности температур у дна и крышки камеры посредством однородности пересыщения была достигнута за счет создания разных степеней расширения по высоте камеры методом перекоса исходного положения диафрагмы.

В результате в КВ были получены четкие и неискаженные следы и рекордный максимально измеримый импульс ($P_{\text{max}} \approx 100 \text{ ГэВ/с}$ при $H = 6000 \text{ эрстед}$) при длине следа $\sim 1 \text{ метр}$.

3. Обеспечено фотографирование треков на используемых установках без оптических искажений с применением специально опроектированной оптической системы и осуществленного на основе оригинальных расчетов перекрытия иллиминатора смежными пластинами (площадь проема $F = 2 \text{ м}^2$), причем было выдержано условие допустимого отклонения от плоскостности стекол иллиминатора по критерию радиуса искривления ($R \geq 800 \text{ м}$).

4. В рабочем объеме широкоазорных искровых камер изотропные условия были обеспечены посредством создания в нем одинакового электростатического потенциала и чистой газовой смеси с сохранением постоянного ее состава.

Одинаковый электростатический потенциал был достигнут путем устранения краевого эффекта и обеспечения плоскопараллельности электродов. Для этого дюралевые рамы несущего каркаса камеры размещаются за пределами чувствительного объема и служат "крыльями", устраняющими

краевой эффект, а желаемое натяжение проволоки электродов (150 г), обеспечивающее их плоскопараллельность (допустимое провисание не больше 1% величины зазора) при "прозрачном" варианте, было достигнуто применением следующих устройств и приемов:

а) натяжного приспособления, представляющего собой жесткую раму, одна сторона которой перемещается для натяжения проволок ($P = 50$ кгс);

б) предварительной деформации корпуса камеры до закрепления на нем проволок, который прогибается с силой 60 кгс и после окончательной сборки, стремясь выпрямиться, натягивает проволоки.

Чистота газовой смеси и сохранение постоянства ее состава обеспечиваются применением для постройки камер, не выделяющих газа материалов (лавсана и винипласта), и надежной герметизацией камер, которой способствуют следующие факторы:

а) применение лавсановой пленки ($\delta = 100$ мкм) в качестве стенок, позволяющих "дышать" при малых перепадах давления (~ 7 мм вод. ст.);

б) наполнение камер рабочим газом в барокамере, чем исключаются перепады давления;

в) непосредственный контакт газа с электродами, исключающий повреждение уплотняющего материала (лавсана) на пути разряда.

В результате были получены яркие и неискаженные следы и высокая эффективность регистрации многих частиц: $\sim I$ для числа треков заряженных частиц (~ 100 на квадратный метр).

5. В процессе исследований решен ряд малоизученных инженерных вопросов, представляющих самостоятельный интерес, поэтому результаты работы могут найти применение в различных областях науки и техники.

Конструкцию электродинамического клапана можно использовать в установках, связанных с сильными магнитными полями. При этом тот факт, что клапан предлагаемой конструкции не выделяет тепла, позволяет применять подобную конструкцию в криогенной технике.

Основные положения диссертации изложены в следующих опубликованных работах:

1. Гогитидзе О.А., Русисвили Н.С. и др. 340-литровая расширительно-конденсационная камера для исследования взаимодействия частиц высоких энергий. Физика частиц высоких энергий, "Мецниереба", 1965, с. 91.
2. Гогитидзе О.А., Котляревский Д.М., Мествиришвили А.М., Манджavidзе З.Ш., Русисвили Н.С. и др. Метровая камера Вильсона с перекомпрессией. Сборник "Ядерные взаимодействия при высоких энергиях", изд. "Мецниереба", 1969, с. 122.

3. Бердзенишвили О.Я., Громов Ю.И., Котляревский Д.М., Манджavidзе З.Ш., Русисвили Н.С. и др. О точностях в камерах Вильсона с большим чувствительным объемом. Труды Всесоюзной конференции по физике космических лучей. Изд. АН УзССР, Ташкент, 1969, с. 122.
4. Русисвили Н.С. Авт. свид. СССР № 371542 М кл. G 01 5/04 от 22.02.73 г. УДК 621.384.6/088.8/ Электродинамический клапан для разрядно-конденсационной камеры и камеры Вильсона. Бюлл. № 12, с. 139, 1973.
5. Русисвили Н.С. Расчет монолитных концентрических колец с равноотстоящими перемычками на осевой удар. Труды ИПИ, № 8, Тбилиси, 1968, с. 144.
6. Гогитидзе О.А., Русисвили Н.С. и др. Шарнирный механизм, обеспечивающий параллельность сближения плит. Техн. информация, серия машиностроение и электропромышленность, № 46, изд. ИНТИ, Тбилиси, 1963.
7. Андроникашвили Э.Л., Гарибашвили Д.И., Какауридзе Д.Б., Котляревский Д.М., Манджavidзе З.Ш., Русисвили Н.С. и др. Сообщение о работе установки "Цхра-Цкаро" и предварительные данные о свободном пробеге радиоактивных частиц с энергией 10^{11} - 10^{12} эВ в углероде. Известия АН СССР, серия физическая, т. XXXI, 1967, Москва, с. 1455.
8. Андроникашвили Э.Л., Гарибашвили Д.И., Какауридзе Д.Б., Котляревский Д.М., Русисвили Н.С. и др. Установка "Цхра-Цкаро", предназначенная для исследования взаимодействия высокоэнергичных частиц космического излучения с веществом. Сборник "Ядерные взаимодействия при высоких энергиях", Изд. "Мецниереба", 1969, с. 88.
9. Gromov Yu.A., Kotlyarevsky D.M., Morozov I.V., Rusishvili N.S., Taglanov I.M., Tsomaya P.V., Stemanetyan G.Z., 17-th IGRC Paris-France Wide Gap Spark Chambers for Cosmic Experiments. ТЗ-6, 1981, p. 332.
10. Манджavidзе З.Ш., Русисвили Н.С. и др. Динамика шарнирного механизма, обеспечивающего параллельное сближение плит. Сообщения АН ГССР, т. 51, № 2, 1968.
11. Манджavidзе З.Ш., Русисвили Н.С. и др. Пантографический механизм для параллельного перемещения поршня камеры Вильсона. АН СССР, ПТЭ, № 3, 1969, с. 223.
12. Гогитидзе О.А., Русисвили Н.С. и др. О пропускной способности целевых клапанов. Труды ИПИ им. В.И.Ленина, № 1 Тбилиси, 1964, с. 94.

Рукопись поступила в издательский отдел
03 октября 1983 года