

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



С 344.14

0-511

12/10-76

13 - 9483

1320/2-76

Э.О.Оконов

НЕКОТОРЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ  
РАЗВИТИЯ МЕТОДИКИ СТРИМЕРНЫХ КАМЕР

**1976**

13 - 9483

Э.О.Оконов

**НЕКОТОРЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ  
РАЗВИТИЯ МЕТОДИКИ СТРИМЕРНЫХ КАМЕР**



I. Способность стримерной камеры работать в значительных по интенсивности потоках заряженных частиц позволяет с успехом использовать этот трековый детектор для исследования взаимодействий ядерных частиц. При работе на ускорителях предельные загрузки стримерной камеры заряженными частицами определяются ее временем памяти, а также эффективной растяжкой ускоренного пучка и могут достигать  $10^6$  частиц в импульсе\*.

Такая загрузка при не очень малой эффективности избирательного запуска ( $\epsilon \geq 10^{-2} \div 10^{-3}$ ) дает возможность наблюдать в стримерной камере более редкие случаи взаимодействий, чем в пузырьковых камерах. Разработка специальных жидководородных мишеней /1,2/, а также создание системы, позволяющей помещать в рабочий объем стримерной камеры мишени из любого твердого /жидкого/ вещества/3/, значительно расширили возможности использования стримерных камер для изучения реакций взаимодействия ядерных частиц на различных ядрах.

К сожалению, ряд веществ, часто используемых в качестве мишеней /водород, дейтерий, гелий/, при нормальных условиях - газы, а их использование в сжиженном состоянии связано со значительными техническими трудностями. При достаточной интенсивности пучков исследуемых частиц /свыше  $10^3 \div 10^4$  в импульсе/

---

\* Предельная загрузка стримерных камер может быть увеличена по крайней мере на порядок, если точку взаимодействия восстанавливать по вторичным взаимодействиям.

наиболее простым и эффективным методическим решением является применение тонкостенных газонаполненных мишеней, позволяющих наблюдать более медленные продукты взаимодействия, чем при использовании твердых и жидких мишеней.

Кроме того, в газовых мишенях легче дискриминировать случаи со вторичными взаимодействиями уже провзаимодействовавшей частицы или продуктов ее взаимодействия.

Однако в обычной газовой мишени нельзя наблюдать непосредственно область взаимодействия внутри мишени, а ее восстановление по трекам частиц, выходящим из мишени, приводит к потере точности и информации при геометрической реконструкции зарегистрированного события\*.

При исследовании многих ядерных событий восстановление полной картины взаимодействия оказывается крайне затруднительным, особенно при вылете ядерных частиц и фрагментов, распадающихся в объеме мишени. К их числу относится большинство  $K_S^0$ -мезонов, гиперонов и гиперядер с импульсами до  $1 \div 2$  ГэВ/с, которые имеют распадные пробеги порядка нескольких сантиметров.

В подобных экспериментах оптимальным было бы использовать в качестве мишени газ, наполняющий стримерную камеру /как, например, при облучении 2-метровой стримерной камеры установки СКМ-200, в которой наблюдались взаимодействия  $\alpha$ -частиц с ядром неона<sup>3/</sup>/. Другие газы, пригодные в принципе для наполнения стримерных камер, требуют более сложных режимов импульсного высоковольтного питания и не обеспечивают, как правило, достаточно хорошего качества стримерных треков. В этой связи представляется перспективной разработка газонаполненной мишени с прозрачными тонкими стенками, в которой /так же как и в основном объеме камеры/ осуществляется стримерный /трековый/ режим. Создание такой системы оказывается возможным благодаря тому, что в большинстве

\*Это замечание в той или иной степени относится также к обычным жидким и твердым мишеням.

случаев в разных газах можно обеспечить стримерный /трековый/ режим при одних и тех же параметрах высоковольтного импульса, если подобрать соответствующим образом значения давления используемого газа.

Известно, что при осуществлении трекового режима в грубом приближении справедливо соотношение /см., например<sup>4/</sup> /:

$$\frac{E^2 T}{P} = C, \quad /1/$$

где  $E$  - напряженность электрического поля, создаваемого в стримерной камере импульсным генератором,  $T$  - длительность импульса,  $P$  - давление газа, а  $C$  - константа, которая имеет разную величину для различных газов и определяется, в основном, потенциалом зажигания.

Приведенная зависимость является отражением известного соотношения Ретера<sup>5/</sup>, характеризующего условия перехода лавины в стример\*

$$a \cdot z \approx 20, \quad /2/$$

где  $a$  - так называемый первый таунсендовский коэффициент ионизации,  $z$  - расстояние, пройденное лавиной до перехода ее в стример. Действительно, в грубом при-

ближении можно считать, что  $\frac{a}{P} = f\left(\frac{E}{P}\right)$ , а величина  $z \sim \frac{ET}{P}$ . Из соотношения /1/ видно, что при одних

и тех же параметрах высоковольтного импульса / $E$  и  $T$ / можно получить одновременно стримерный /трековый/ режим в мишени, содержащей газ 1, и в основном объеме камеры, наполненном газом 2, если давление в них устанавливается в соответствии с  $(P_1/P_2 = C_2/C_1)$ . Основным объемом стримерной камеры при этом может быть заполнен, как обычно, неоном, имеющим низкий потенциал зажигания, при нормальном давлении, а давление газа

\*На связь между соотношениями /1/ и /2/ мое внимание обратил В.Т.Матюшин.

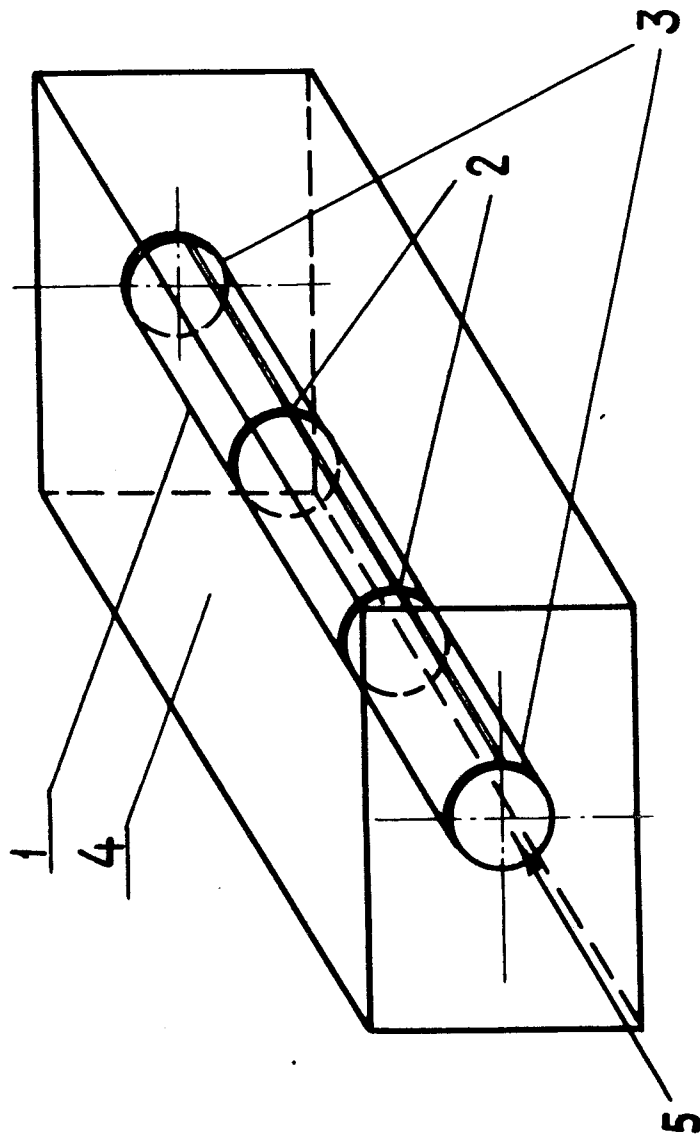
в мишени следует изменить /уменьшить/ настолько, чтобы сделать наблюдаемыми /фотографируемыми/ образовавшиеся в ней треки.

Очевидно, что конструктивное воплощение такой мишени-детектора должно определяться требованиями эксперимента. Можно указать, однако, общие особенности предполагаемой конструкции, схематически изображенной на *рис. 1*. Для того чтобы треки в газовой мишени можно было бы фотографировать, ее стенки следует изготовить из прозрачной диэлектрической пленки /лавсана/. Наиболее естественная форма оболочки мишени - цилиндр с кольцевыми ребрами жесткости, с помощью которых осуществляется крепление /подвеска/ ее внутри рабочего объема стримерной камеры, и с выводами на торцах для наполнения различными газами без разгерметизации самой камеры. Эти ребра жесткости обеспечивают также необходимую прочность при перепаде давления.

Диаметр цилиндра определяется поперечными размерами пучка взаимодействующих частиц /20-50 мм/, так что внутренний объем в сотни раз меньше основного, заполняемого неоном, который обеспечивает высокое качество стримерных треков и хорошую точность трековых измерений. Существенным является то, что благодаря прозрачным тонким стенкам, заключающим внутренний объем, оба они представляют для фотографирования оптически однородную среду.

Из газов - наполнителей мишени, в принципе, может быть осуществлен стримерный /трековый/ режим, следует отметить водород /дейтерий/, гелий, аргон, криптон, ксенон и некоторые другие.

Однако выяснение возможностей их использования для мишеней-детекторов, а также выбор оптимального режима /давления/ потребует, по-видимому, дополнительных методических исследований. Изменением давления в газовой мишени можно подобрать нужный по яркости треков режим, и это обстоятельство может быть с успехом использовано для улучшения качества треков медленных /сильно ионизирующих/ продуктов в области взаимодействия.



*Рис. 1. Схема размещения газовой мишени-детектора внутри рабочего объема стримерной камеры: 1 - корпус газовой мишени /прозрачный лавсан/; 2 - ребра жесткости; 3 - входное и выходное окна; 4 - рабочий объем стримерной камеры; 5 - пучок исследуемых частиц.*

Очень выгодным является использование газовой мишени-детектора при изучении взаимодействия на ядрах изотопов газов, которые используются для наполнения стримерных камер. Высокая стоимость изотопически чистых газов ограничивает их использование в качестве наполнителей больших стримерных камер. Так, только при одном заполнении путем продува камеры с рабочим объемом  $1 \text{ м}^3$  требуется около  $10 \text{ м}^3$  газа, что, например, в случае  $^3\text{He}$  составляет по стоимости более миллиона рублей.

Создание большой стримерной камеры, заполняемой путем откачки, могло бы уменьшить затраты на газ, но при этом значительно усложняется конструкция такой камеры и существенно возрастает стоимость ее изготовления, поскольку она должна выдерживать перепад давления  $\sim 1 \text{ атм}$ . С увеличением размеров камеры эти трудности, естественно, усугубляются. Таким образом, наполнение газовой мишени редким изотопом позволяет во много раз сократить расходы на эксплуатацию установки.

Созданная по предлагаемому принципу стримерная камера с водородной трековой мишенью могла бы успешно конкурировать с разрабатываемыми сейчас стримерными камерами с водородным наполнением. Методические исследования возможности создания установок с водородными стримерными камерами ведутся в ряде лабораторий. По-видимому, наибольший успех в этом направлении был достигнут в работах /6,7/, в которых были получены фотографируемые стримерные треки внутри стримерных камер объемом 3-5 л, наполненных водородом при давлениях ниже атмосферного. Это последнее обстоятельство усложняет проблему конструирования и изготовления камер большого объема требованиями необходимой жесткости и прочности\*. В то же время увеличение размеров камеры необходимо для обеспечения

\* В работе /7/ было показано, что при увеличении концентрации примеси  $\text{CH}_4$  рабочее давление в водородной стримерной камере в самошунтирующем режиме может быть увеличено до атмосферного, однако возможность использования этого режима для больших стримерных камер не исследована.

хорошей точности трековых измерений, которая значительно возрастает с увеличением длины трека в камере\*. С другой стороны, получение хорошей точности измерения углов вылета и импульсов затрудняется низким качеством стримерных треков в водороде. Отмеченные затруднения несущественны для стримерной камеры с водородной трековой мишенью, поскольку в таком детекторе водородом при пониженном давлении наполняется лишь небольшая по объему газовая мишень, а сама стримерная камера содержит неон /или гелий/ при атмосферном давлении, что обеспечивает достаточно четкие стримерные треки в большом объеме.

Анализ результатов работы /6/ показывает, что, например, при высоковольтном импульсе длительностью 9 нс, создающем поле  $35 \text{ кВ/см}$ , можно получить стримерный режим одновременно в гелии при атмосферном давлении и в водороде при давлении  $0,4 \text{ атм}$ .

Возможно, в принципе, использование разных генераторов для получения стримерных режимов в мишени и камере. Однако такой путь существенно усложнит конструкцию установки.

II. При использовании стримерных камер для изучения распадов и взаимодействий ядерных проблем повышение эффективности регистрации исследуемых процессов является одной из основных методических проблем. Особенно остро встает эта проблема в случаях работы в ограниченных по интенсивности пучках, когда оказывается малосущественным преимущество стримерных камер, позволяющее пропускать через них достаточно большие потоки частиц.

Для увеличения числа взаимодействий на ядрах газонаполнителя камеры можно пойти по пути увеличения давления рабочего газа, как это было сделано в работе /9/. Это приводит, однако, к необходимости увеличить амплитуду высоковольтного импульса. Кроме того, конструирование и сооружение стримерных камер такого

\* Ошибка в измерении импульса  $\Delta p/p \sim L^{-2,5}$ , а ошибка в измерении углов  $\Delta \theta/\theta \sim L^{-1,5}$ , где  $L$  - длина трека /см., напр., /8/ /.

типа значительно осложняется /особенно при больших рабочих объемах/ требованием повышенной прочности /толщины/ стенок. Это обстоятельство не только ведет к усложнению конструкции, но и к трудностям работы с внешними детекторами, осуществляющими запуск камеры.

Следует отметить также, что увеличение давления газа-наполнителя не может решить проблемы увеличения вероятности распада внутри рабочего объема, так как последняя определяется пробегом частицы в камере, т.е. ее размерами.

С другой стороны, увеличение длины стримерных камер /по пучку/ связано с очевидными техническими и экономическими трудностями, т.к. требует увеличения размеров анализирующего магнита и самой камеры, а также соответствующего увеличения числа и стоимости детекторов, окружающих камеру и осуществляющих ее избирательный запуск. Отмеченные обстоятельства вызывают необходимость поиска новых путей повышения числа распадов и взаимодействий внутри камеры. Ниже рассмотрен один из возможных методов, который может привести к значительному увеличению эффективности регистрации распадов и взаимодействий частиц в стримерных камерах и других трековых детекторах при средних энергиях исследуемых частиц /до 1 ГэВ/. Сущность предлагаемого метода иллюстрируется схемой, изображенной на рис. 2. Стримерная камера /СК/ помещается в электромагнит, который создает магнитное поле  $H$  с градиентом вдоль основной его составляющей  $dH/dZ$ . Сформированный пучок исследуемых частиц вводится в периферийную область камеры под небольшим углом к плоскости, перпендикулярной основной составляющей магнитного поля ( $H_z$ ) так, чтобы они двигались в направлении увеличивающегося магнитного поля. Если импульс частиц в пучке  $P_{MЭВ} = 0,3H \cdot D/2$ , где  $H$  - напряженность поля в периферийной области /в кГс/, а  $D$  - диаметр камеры /в см/, то частицы будут захвачены на спиральную траекторию (S) внутри камеры. При фотографировании камеры сверху трек исследуемой частицы будет достаточно равномерно заполнять площадь снимка, что облегчает его обработку. Кроме того,

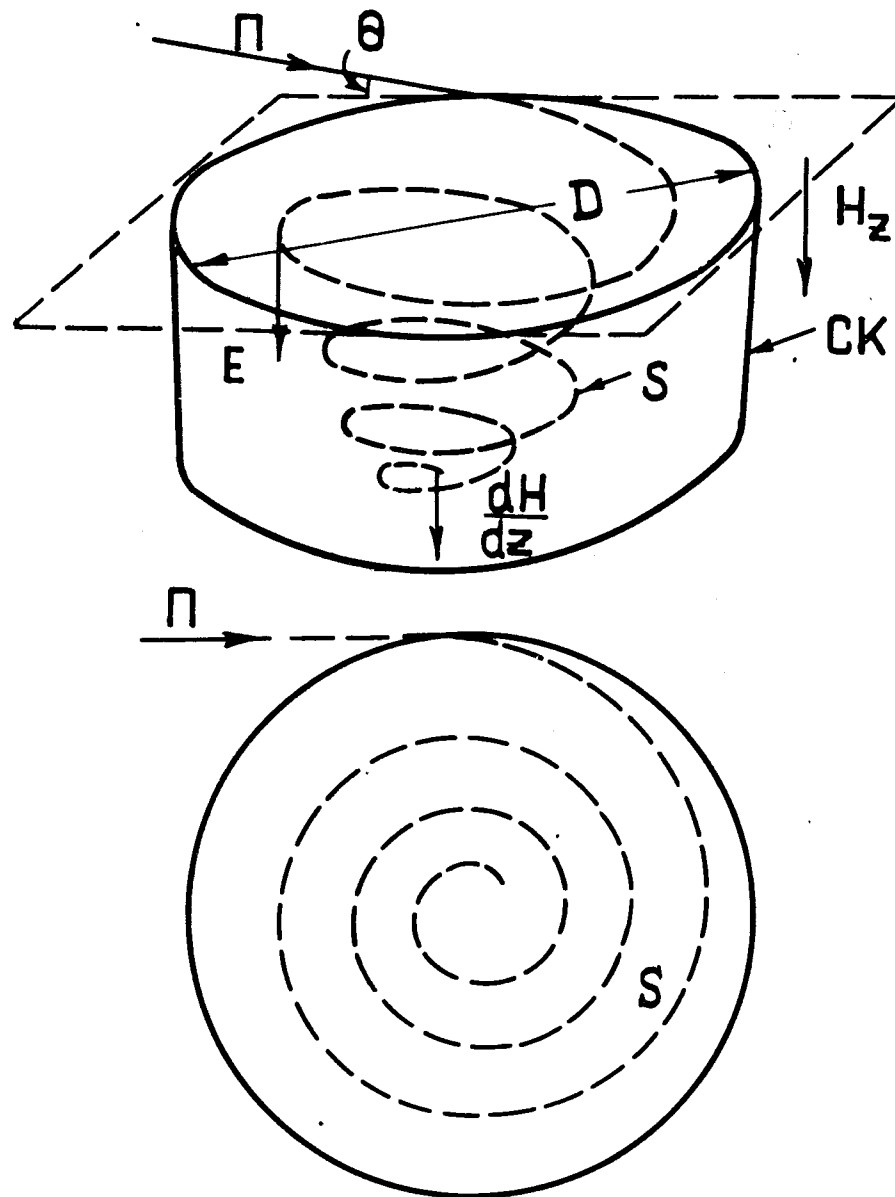


Рис. 2. Схема захвата пучка частиц (П) на спиральную траекторию (S) в стримерной камере /СК/.

градиент магнитного поля, вызывающий скручивание стримерного трека в спираль\*, предотвращает слияние стримеров соседних витков и предупреждает пробои вдоль электрического поля  $E$ .

Экспериментальные возможности предлагаемого способа определяются величиной напряженности магнитного поля и размерами рабочего объема, в котором оно может быть создано.

Приведем оценку этих возможностей для магнита с параметрами, какими обладает магнит большой европейской пузырьковой камеры /соленоид с внутренним диаметром 4,3 м и максимальным полем  $H = 35$  кГс/.

Если в таком магните образовать градиент  $dH/dZ = 0,25$  кГс/см и, поместив в него стримерную камеру, ввести под углом  $\theta = 0,2^\circ$  частицы, например, антипротоны, с импульсом  $p = 1000$  МэВ/с, то они при начальном поле 17 кГс будут захвачены на траекторию с первоначальным радиусом кривизны 2 м. Двигаясь по свертывающейся спирали вглубь камеры, они достигнут области поля  $H$ , близкого к максимальному, на глубине ~70 см, сделав около 20 витков. При этом общий пробег "захваченной" частицы в камере составит свыше 200 м, что обеспечивает в 100 раз большую вероятность взаимодействия, чем в самых больших из действующих сейчас стримерных магнитных спектрометров /длиной 2 м/ при обычном вводе в них частиц.

Таким образом, в рассматриваемом варианте использования предлагаемого способа вероятность взаимодействия в стримерной камере антипротона с импульсом 1 ГэВ/с будет: при наполнении неоном - свыше 0,5 и при наполнении гелием - более 0,2, в то время как в обычных условиях эта величина составляет в стримерных камерах десятые доли процента.

Для изучения распадов  $\pi(K)$ -мезонов целесообразно использовать стримерные "камеры-ловушки" меньших размеров, которые обеспечивают захват частиц со сравнительно небольшими импульсами, обладающих значи-

\* Тормозящее действие рабочего вещества-наполнителя также способствует скручиванию в спираль траектории частицы.

тельными распадными факторами. При максимальном значении  $H = 40$  кГс в камере размером 100 см можно осуществить захват частиц с импульсом до 300 МэВ/с, в этих условиях достигается практически стопроцентная вероятность распада или взаимодействия пиона /каона/ в стримерной камере.

III. Как известно, стримерная камера является управляемым трековым детектором, что позволяет с помощью системы триггера отбирать и регистрировать нужные редкие события. В триггер стримерной камеры могут быть включены детекторы /или система детекторов/, способные выработать управляющий импульс в пределах времени памяти камеры /1 ÷ 100 мкс/. Возможно также осуществление такого режима работы стримерной камеры /так называемого "режима запоминания"/, при котором время анализа событий, регистрируемых триггером, может быть увеличено до  $1 \div 2$  мс<sup>10/</sup>, что позволяет использовать для этой цели ЭВМ. При таком режиме "мягкий" триггер вырабатывает "предимпульс", не дающий видимых стримеров. После этого в течение 1-2 мс проводится предварительный анализ на ЭВМ кинематической и геометрической конфигураций события, зарегистрированного триггером. Если такой анализ выявит особенности нужного события, по сигналу с ЭВМ /или с быстрого процессора/ подается основной высоковольтный импульс, который делает видимыми треки частиц, и производится их фотографирование. Очевидно, что подобный режим работы стримерной камеры значительно расширяет возможности использования в триггере сложных систем, состоящих из различных детекторов.

Планы дальнейшего развития установки СКМ-200, основу которой составляет 2-метровая стримерная камера, предусматривают включение в систему триггера /наряду со сцинтилляционными счетчиками/ пропорциональных /дрейфовых/ камер<sup>11/</sup>. Пропорциональные камеры по своим временным характеристикам разрешения /40 ÷ 80 нс/ уступают большим сцинтилляционным счетчикам /5 ÷ 10 нс/. Однако ряд других особенностей пропорциональных камер делает весьма многообещающим



включение их в триггер стримерной камеры для решения широкого круга экспериментальных проблем.

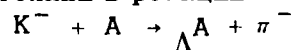
Рассмотрим основные из этих особенностей.

1/ Малая чувствительность пропорциональных камер к магнитному полю позволяет располагать их в непосредственной близости от стримерной камеры прямо в анализирующем магните. Это обстоятельство, а также относительная прозрачность пропорциональных камер дают возможность окружить ими стримерную камеру со всех сторон, в том числе и поверх окна, через которое обычно осуществляется фотографирование. Это может обеспечить геометрию, близкую к  $4\pi$ , для регистрации триггером энергичных частиц, вылетающих из рабочего объема установки.

2/ Небольшая /по количеству вещества/ толщина  $\sim 0,1 \text{ г/см}^2$  пропорциональных камер позволяет включать в триггер частицы с малой проникающей способностью, проходящие через несколько камер, с целью предварительного анализа по углу и импульсу. При этом благодаря пропорциональному режиму имеется в принципе возможность выделять регистрируемые частицы по заряду и по их ионизирующей способности.

3/ При использовании пропорциональных камер в качестве годоскопов объединение каналов /проволочек/ дает возможность произвольно задавать размеры и конфигурацию секций /чувствительных плоскостей/ \*.

Для ряда экспериментов перспективным представляется включение в триггер стримерной камеры магнитного спектрометра с пропорциональными камерами. Такой спектрометр может не только отбирать нужные события по кинематике продуктов реакции, но и обеспечить более высокую точность измерения их импульсов. Например, при изучении гиперядер и их возбужденных состояний в реакции



\* Здесь одной из методических проблем, требующих разрешения, является преодоление ухудшения параметров импульса при выводе сигнала с нескольких проволочек на один усилитель.

импульс вылетевшего вперед пиона, измеренный с высокой точностью, может дать сведения о возбуждении гиперядра. Сама же реакция, включая распад гиперядра, регистрируется стримерной камерой, запущенной, например, быстрым процессором.

Такая же постановка эксперимента может быть осуществлена также при изучении процессов с испусканием частиц с большими импульсами, которые вылетают, как правило, вперед /при исследовании кумулятивного рождения адронов, упругого и когерентного взаимодействия частиц с относительно малыми переданными импульсами, процессов фрагментации релятивистских ядер / $^{12}$ /и т.п./.

Выражаю признательность Ю.Лукстиньшу, В.Т.Матюшину, В.Д.Пешехонову, Д.Понтекорво, С.А.Хорозову за полезные обсуждения.

#### Литература

1. A. Ladaga et al. Материалы совещания по бесфильмовым искровым и стримерным камерам. ОИЯИ, 13-4527, стр. 41, Дубна, 1969.
2. F. Bulos et al. Report SLAC-74 /1967/.
3. М.Аникина и др. ОИЯИ, 1-9280, Дубна, 1975.
4. М.Дайон и др. Искровая камера, Атомиздат, 1967.
5. H. Raether. Arch Electrotechn., 34, 49 /1940/.
6. F. Rohrbach et al. Nucl. Instr. and Meth., 111, 485 /1973/.
7. Л.Буссо и др. ОИЯИ, P13-8867, Дубна, 1975.
8. F. Villa. Int. Conf. on Inst. for High Energy Phys., (p. 115). Frascati /1973/.
9. М.Кулюкина и др. ПТЭ №6, 10 /1965/.
10. V. Eckardt. Report DESY 70/60, Hamburg /1970/.
11. Э.Оконов. ОИЯИ, 8309, стр. 104, Дубна, 1974.
12. Э.Оконов. ОИЯИ, 1-8578, Дубна, 1975.

Рукопись поступила в издательский отдел  
23 января 1976 года.