

с 343

Б-90

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

1 - 3888

Э.Г.Бубелев

МЕТОДЫ АНАЛИЗА ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ
В ОБРАЗАХ ПРОСТРАНСТВА СКОРОСТЕЙ

Автореферат диссертации на соискание ученой
степени кандидата физико-математических наук

Специальность 041 - теоретическая и
математическая физика

Дубна 1968

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук Н.А.Черников

Официальные оппоненты:

член-корреспондент АН СССР, профессор Д.В.Ширков,
кандидат физико-математических наук, старший научный
сотрудник А.Ф.Писарев

Будущее научно-исследовательское учреждение: Физический институт АН СССР им. П.Н.Лебедева

Автореферат разослан " " 1968 года

Защита диссертации состоится " " 1968 года на заседании Ученого совета Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований, г.Дубна, Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Объединенного института ядерных исследований.

Учёный секретарь Лаборатории
высоких энергий,
кандидат физико-математических наук

А.А.Кузнецов

1 - 3888

Э.Г.Бубелев

5452 89

МЕТОДЫ АНАЛИЗА ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ
В ОБРАЗАХ ПРОСТРАНСТВА СКОРОСТЕЙ

Автореферат диссертации на соискание ученой
степени кандидата физико-математических наук

Специальность 041 - теоретическая и
математическая физика

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Современная физика элементарных частиц изучает их взаимодействия как при высоких энергиях на ускорителях, так и при сверхвысоких энергиях в космических лучах. В последние годы в области энергий от нескольких единиц до десятков ГэВ открыто много квазичастиц — мезонных и барионных резонансов, и теперь быстрыми темпами идет подробное изучение их свойств и ведутся поиски новых квазичастиц с еще большей массой. При космических энергиях в сотни и тысячи ГэВ получены определенные указания на образование массивных возбужденных тел — "файерболов" и сильно возбужденных нуклонов.

Из-за малых времен жизни указанных выше объектов ($\approx 10^{-24}$ — 10^{-22} сек) основным методом их обнаружения и исследования является изучение особенностей кинематики ядерных реакций и, в частности, детальный анализ корреляций между продуктами многочастичных неупругих реакций. Однако с увеличением энергии реакции растет множественность образующихся частиц и число возможных физических каналов реакции, что затрудняет извлечение из экспериментальных данных полезной информации о кинематике и динамике образования и распада квазичастиц и подобных им тел. Поэтому физика высоких и сверх-

высоких энергий особенно нуждается в простых и ясных представлениях и методах, существенно облегчающих анализ ядерных реакций.

Главным источником таких представлений и методов является важное понятие пространства скоростей материальной точки ^{/1-4/}. В релятивистском случае это пространство является пространством Лобачевского с радиусом кривизны, равным (с точностью до мнимой единицы) скорости света с. Релятивистская кинематика в образах этого пространства впервые сформулирована и подробно рассмотрена Черниковым ^{/3-6/}. В этой формулировке она выглядит особенно просто и наглядно и свободна от несущественных особенностей, связанных с выбором какой-либо системы отсчета.

В реферируемой диссертации рассмотрены методы анализа ядерных реакций при высоких и сверхвысоких энергиях в образах пространства скоростей Лобачевского. Изложение рассчитано главным образом на физиков-экспериментаторов и не предполагает у читателя знания геометрии Лобачевского. Необходимые сведения по этой геометрии приведены попутно.

Результаты, на основе которых написана диссертация, опубликованы в работах ^{/12-22/}, а также докладывались и сообщались на международных конференциях по физике высоких энергий (Краков, 1963 г. - конф. социалист. стран; Дубна, 1964 г. - XII Междунар. конф.) и по космическим лучам (Москва, 1959 г.), на всесоюзных совещаниях по физике космических лучей (Москва,

1963 и 65 г.г.), на сессиях Отделения ядерной физики АН СССР (Дубна, 1964 г. и Москва, 1966 г.), на республиканских межвузовских конференциях по физике элементарных частиц (Ужгород, 1964 г. и 1967 г.) и на рабочем семинаре "Проблемы физики элементарных частиц" (Москва, март 1968 г.), проведенном Отделением ядерной физики АН СССР и Советом по комплексной проблеме "Космические лучи".

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и приложений.

Во введении приведен краткий исторический обзор и отмечена роль пространства скоростей в релятивистской физике.

Еще в первых работах при освоении специальной теории относительности отмечалось, что при решении релятивистских задач полезна неевклидова интерпретация этой теории в терминах геометрии Лобачевского. Это направление в теории относительности, начатое в работах Ф.Клейна, А.Зоммерфельда, В.Варичака и др., развивавшееся В.Варичаком и отмеченное В.Паули, завершилось замечательной работой А.П.Котельникова ^{/1/}, который впервые сформулировал в 1923 г. понятие пространства скоростей, доказал методами проективной геометрии, что оно обладает внутренней геометрией пространства Лобачевского и является бесконечно удаленным пространством в 4-мерном мире Минковского. В дальнейшем эти важные результаты выпали из поля зрения физиков и были возрождены фактически заново лишь спустя 30 лет В.А.Фоком ^{/2/} и независимо Н.А.Чер-

никовым ^{/3,4/}. В последнее время понятие пространства скоростей находит все более широкое применение в релятивистской физике и особенно в кинематике релятивистских частиц ^{/5-11/}.

В первой главе на примерах нерелятивистской и релятивистской реакций превращения двух частиц в две $D + T \rightarrow He + n + 17,6 \text{ Мэв}$ и $K^- + p \rightarrow \Lambda + \pi^0 + 182 \text{ Мэв}$ пояснены: понятие пространства скоростей, абсолютная, то есть справедливая как в нерелятивистском, так и в релятивистском случае, формулировка кинематики в его образах ^{/3,4/} и непрерывный переход от евклидова пространства скоростей в нерелятивистском случае к пространству скоростей Лобачевского в релятивистском случае, а также понятие кинематических фигур ^{/7/} (непрерывной - для данного типа реакции и дискретной - для отдельного события). Указан геометрический смысл известных экспериментальных методов типа "метода якобианного пика" (Б.Маглича).

Выведены формулы трех конформных отображений пространства Лобачевского в евклидово пространство, приводящих к моделям Пуанкаре I, II ^{/5,12/} и к "полосной" модели плоскости Лобачевского ^{/13/} (табл. 1). На этих моделях основаны удобные графические методы ^{/12-14/}, рассмотренные и использованные в диссертации.

Таблица 1

Модель	Преобразование	Метрика (dS^2)
Пуанкаре I	$w/c = \omega = \text{th}(r/2c)$	$\frac{4c^2}{(1-\omega^2)^2} \{ d\omega^2 + \omega^2 (d\theta^2 + \sin^2\theta d\phi^2) \}$
Пуанкаре II	$\zeta = \exp(z/c)$	$\frac{c^2}{\zeta^2} \{ d\zeta^2 + (dx/c)^2 + (dy/c)^2 \}$
"полосная"	$\xi = (\pi/2) - \Pi(r^\perp/c)$	$\frac{c^2}{\cos^2\xi} \{ d\xi^2 + (dr^\parallel/c)^2 \}$

Здесь $\Pi(r^\perp/c)$ - функция Лобачевского $\Pi(r^\perp/c) = 2 \text{ arctg} \exp(-r^\perp/c)$; r - расстояние в пространстве скоростей, называемое "быстротой" ^{/7,14/}, r^\parallel - продольная быстрота вдоль выделенной прямой \tilde{B} , называемой базой, r^\perp - поперечная быстрота вдоль перпендикуляра к \tilde{B} ; w - "полускорость" ^{/5,6/} $w = T/p$ (T - кинетическая энергия, p - импульс частицы); x, y и z - декартовы координаты соответственно на орисфере (предельной сфере радиуса $R = \infty$) в пространстве Лобачевского и на ортогональной к ней прямой - одной из осей орисферы ^{/12/}.

Отображения Пуанкаре I и II плоскости Лобачевского на евклидовы круг и полуплоскость связаны ^{/14/} с "полосной" моделью конформными преобразованиями, которые осуществляются простыми функциями комплексного переменного $\bar{\chi} = \eta + i\xi$, заданными на полосе, $\bar{\omega} = \text{th}(\bar{\chi}/2)$ - для отображения на круг, $\bar{\zeta} = \exp \bar{\chi}$ - для отображения на полуплоскость (рис. 1).

"Полосная" модель ^{/13-14/} сохраняет аддитивную быстроту \parallel вдоль V и инвариантна относительно параллельных переносов, изоморфных лоренцевым преобразованиям кинематических характеристик частицы при переходе из одной системы отсчёта в другую, безотносительные скорости которых представлены точками прямой V (рис. 1а, б и 2в, г).

Во второй главе рассмотрены методы и способы графического решения различных задач релятивистской кинематики. На основе модели Пуанкаре II пространства Лобачевского получен ^{/12/} простой графический метод определения импульса p_γ фотона в зависимости от его угла вылета θ в лабораторной системе отсчёта и связи между углами θ и θ^* вылета фотона в этой системе и в системе центра масс (рис. 2а и б).

На основе "полосной" модели плоскости Лобачевского ^{/13/} построена наглядная диаграмма скоростей релятивистских частиц L - диаграмма (рис. 3 б-ж) ^{/14/}. Рассмотрены ^{/13,14/} методы и способы решения при помощи этой диаграммы и подвижной координатной сетки (рис. 3а) простейших релятивистских задач: лоренцевых преобразований угла вылета $\theta_1 \rightarrow \theta_2$ и импульса $p_1 \rightarrow p_2$ для частиц с положительной и нулевой массой покоя (рис. 2 в, г), построения угловых и импульсных распределений в движущейся системе отсчёта, определения модуля переданного импульса. Точность решения $\delta(\xi)$ составляет обычно 1,7-4,5%, если координатная сетка выполнена в масштабе $c = 10 \text{ см}$ ^{/13,14/}, и остается приемлемой ($\approx 3-9\%$)

(рис. 3в справа) при масштабе $c = 5 \text{ см}$, более удобном при сверхвысоких энергиях ^{/15-17/}.

Как естественное развитие результатов работ ^{/5,12/} рассмотрена задача о соединении двух частиц в одну и распаде одной частицы на две. Для трех возможных случаев сочетания в этой задаче положительной и нулевой масс покоя обеих частиц предложены соответствующие графические методы решения, являющиеся продолжением работ ^{/12-14/}.

Указана связь с номографией и предложен новый удобный прибор типа логарифмической линейки для расчётов по релятивистской кинематике, существенно упрощающий и ускоряющий такие расчёты.

Пригодность рассмотренных методов для кинематического анализа результатов физического эксперимента показана на конкретном примере. Эти методы могут применяться также для обработки небольших серий событий. Часть из них была эффективно использована в группах 50-сантиметровой пропановой камеры ЛВЭ при подготовке к международным конференциям по физике высоких энергий 1962 и 64 г.г.

В третьей главе на основе L - диаграммы развит ^{/14-17/} удобный метод анализа ливней и струй частиц (включая фотоны) с энергией $10^2 - 10^4$ Гэв и выше. Указана связь частных случаев применения L -диаграммы с известными методами анализа таких ливней и струй. На характерных примерах анализа ливней и струй с наиболее полной информацией о вторичных частицах показано, что эта диаграмма удобна для определения различных

типов взаимодействия между нуклонами, существование которых вытекает из гипотезы Д.И.Блохинцева о структуре нуклона^{/23/}. Обсуждено^{/17/} применение для такого определения известного критерия отношения правдоподобия.

В терминах Л-диаграммы рассмотрен^{/16,18/} переход от образования двух фajerболов^{/24/} (рис. 3б, в) к образованию одного фajerбола^{/25/} (рис. 3 г-ж) при уменьшении переданной им энергии, что следует из предложенной Г.Т.Зацепиным модели множественного образования мезонов с N- π и π - π взаимодействиями, ограниченными по величине переданного 4-импульса^{/22,26/}. Рассмотрена также обнаруженная группой Н.А.Добротина^{/25/} асимметрия вылета фajerбола по отношению к столкнувшимся нуклонам и показано, что она кинематически связана с неодинаковым возбуждением нуклонов^{/16/} (рис. 3 д,е).

Получено указание^{/15,17/} на существование в области энергий $E_0 \geq 3 \cdot 10^3$ Гэв специфического процесса сильного возбуждения столкнувшихся нуклонов (сопровождающегося образованием двух фajerболов с массой 3-4 Гэв/с²) и последующего испускания ими тяжелых мезонов типа ρ, ω с энергией в тысячи Гэв в лабораторной системе (табл. 2). Анизотропный распад этих мезонов может приводить к передаче одному нуклону до 30-50% энергии первичного нуклона. Недавно это указание было подтверждено группой М.Кошибы^{/27/}, обнаружившей испускание ϕ -мезонов ($\phi \rightarrow K^+ K^-$) сильно возбужденными нуклонами мишени.

На основе Л-диаграммы и диаграммы удвоенных поперечных полускоростей $2\omega^\perp$ (ω^\perp -диаграммы) построена^{/19/} цилиндрическая квазиконформная евклидова модель пространства скоростей (рис. 4 а-г). Показана применимость ее к изучению формы фajerболов в пространстве скоростей, эллипсоидальность которой (см. ω^\perp диаграммы на рис. 4-П) может указывать на наличие у них больших собственных моментов и на возможную корреляцию между последними в случае двух фajerболов^{/19/}.

На основе идей работы^{/7/} выяснен кинематический смысл феноменологических понятий фajerболов и "факелов" (продуктов распада сильно возбужденных нуклонов) с точки зрения пространства скоростей и указан физический смысл этих понятий. Это указание восходит к известным гипотезам Ферми-Янга, Д.И.Блохинцева, М.А.Маркова, Б.С.Неганова и перекликается с обобщенным подходом В.Вайскопфа к квазичастицам - мезонным и барионным резонансам.

В четвертой главе рассмотрен (в порядке постановки задачи) метод анализа кинематики неупругих реакций при энергиях, доступных современным ускорителям.

При помощи цилиндрической модели пространства скоростей рассмотрены^{/18-20/} характерные особенности кинематических фигур для реакций с образованием известных квазичастиц: непрерывной фигуры - для реакции данного типа и дискретных фигур - для отдельных событий. Кинематическая фигура для отдельного события реакции есть инвариантный геометрический образ его кинематики, содержащий всю информацию о кинематике события.

В качестве примеров на рис. 5 приведены ω^1 - и L^2 -проекции кинематических фигур для характерных событий из следующих подтипов $\pi^- p$ - и pN - реакций бинарного типа:

$$\left. \begin{array}{l} \text{а) } \pi^- p (7,5 \text{ ГэВ}) \rightarrow N^* \pi + A \rightarrow (p\pi) + (\pi \rho) \\ \text{б) } \end{array} \right\} \left(\begin{array}{l} m(\rho) = 0,76 \text{ ГэВ}/c^2 \\ m(B_1) \approx 1,04 \text{ ГэВ}/c^2 \end{array} \right)$$

$$\text{в) } \pi^- p (7,5 \text{ ГэВ}) \rightarrow N^{**} + \rho(B) \rightarrow (N^* \pi) + (2\pi),$$

$$\text{г) } \pi^- p (17 \text{ ГэВ}) \rightarrow N^{**} + A \rightarrow (N^* \pi) + (\pi \rho),$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{д) } p \bar{p} (24 \text{ ГэВ}) \\ \text{е) } p \bar{p} (5-8 \text{ ГэВ}) \end{array} \right\} \rightarrow N^{**} + N^{**} \rightarrow (N^* \pi) + (N^* \pi).$$

Для наглядности точки-скорости квазичастиц - партнеров в реакции и их продуктов распада изображены на верхней и нижней половинах развернутой L -диаграммы и соединены стрелками - "проекциями" отрезков в пространстве скоростей для соответствующих элементов кинематической фигуры, точечными стрелками показаны изменения Δp быстрот при превращении столкнувшихся частиц в результате взаимодействия. Отношения между частицами (превращения, распады), представленные этими элементами фигур, пояснены графами Фейнмана для указанных подтипов реакций.

Приведенные примеры иллюстрируют "сходство" элементов фигур для однотипных распадов квазичастиц: для распада изобар N^* и N^{**} , соответственно прямого - а, б и каскадного - в-е, для двухчастичного распада мезонов типа ρ - мезона ρ (обозначенных в случае большей массы как $\chi(B)$ -мезоны) - в-и для каскадного распада A - мезонов $A \rightarrow \pi + \rho(B)$ - а, б, г- с возможным участием $\chi(B)$ - мезонов в случае $A_2(A_3$ и т.д.) - б.

Эти элементы похожи с точностью до их ориентации в пространстве скоростей: для N^* - а и б, для A - а и г, для $N^{**} \rightarrow (\rho 3^- 4^+)$ - д и е, и с точностью до их размеров, связанных с массами однотипных квазичастиц: для $A_{1,2}$ - а и б, для N^{**} (1,5 и 1,9 - 2,2 ГэВ/ c^2) - е и д. Указанное сходство сохраняется при изменении энергии реакции - а, б, в и г; д и е, - а для фигуры распада медленной изобары (слева на рис. 5а-е), образовавшейся при возбуждении нуклона-мишени, и при изменении природы налетающей частицы - в, г и д, е, - а также типа реакции - рис. 3 б, в, д - ж и рис. 5 а, б.

Обсуждены: принцип "сходства" кинематических фигур и их элементов для однотипных событий при одной и разных энергиях реакции и возможность выделения из всей информации о кинематике реакции физически существенной ее части посредством сравнительного анализа этих фигур на основе принципа их сходства.

Закономерным развитием этих результатов явилась постановка задачи о разделении событий по типам и физическим каналам реакций, как задачи распознавания образов в пространстве скоростей, которая опирается на известные способы формализации понятия "сходных" (близких) образов. Обсуждено применение критерия отношения правдоподобия, как количественного критерия для статистического отделения физически существенной информации от несущественной. Рассмотрены также ^{/28/} способы применения непараметрической статистики для обработки ^{/20/} выделенной полезной информации с возможно меньшими потерями.

Применение понятий и принципа, лежащих в основе рассмотренного метода, проиллюстрировано при анализе части событий из π^-p - реакций при энергии 7,5 и 17 Гэв и из pN -реакции при энергии 24 Гэв^{/18,20/}. Кратко обсуждены перспективы развития метода.

В пятой главе на основе ранее известных результатов, а также новых, полученных автором^{/15-22/}, проведен сравнительный анализ основных особенностей кинематики неупругих NN - и πN -реакций в широком интервале энергий ($\approx 10-10^4$ Гэв).

На основе модели^{/23/} структурного нуклона, имеющего "кern" и пионную оболочку, уточнена^{/21/} первая оценка^{/236/} эффективного сечения $\sigma_{pp, p\pi}$ и относительных потерь энергии $K = \Delta E/E$ для неупругих периферических столкновений нуклонов при энергии 1-10 Гэв. Расчёты проведены по методу Вейцзеккера-Вильямса в нерелятивистском приближении для нуклона; в качестве сечений рассеяния виртуальных пионов на нуклоне использованы экспериментальные полные сечения $\sigma^{\pm}(E)$ для $\pi^{\pm}p$ - рассеяния. Наилучшее согласие результатов расчёта с экспериментальными данными (рис. 6а), известными к моменту получения этих результатов (1957г.) из экспериментов на ускорителях - чёрные точки (σ_{pp}) и из опытов в космических лучах - белая точка (σ_{NN}), достигнуто при радиусе ядра $r_K = \hbar/m_K c \approx 2\hbar / M_N c$ и константе связи $g^2 = 15 (f^2 = = g^2 (\frac{m}{2M})^2 = 0,08)$.

На основе модели^{/26/} с $N-\pi$ и $\pi-\pi$ -взаимодействиями, ограниченными по величине переданных импульсов $\Delta_{N\pi}$ и $\Delta_{\pi\pi}$,

рассчитана^{/22/} кинематика образования фибрилов в NN - и πN - столкновениях при энергии $\approx 10^2-10^4$ и $\approx 10-10^3$ Гэв, соответственно. Показано, что два фибрила вместо одного образуются, когда переданные мезонегенирующей системе импульсы q_c в ее системе покоя превышают характерный импульс $\pi-\pi$ взаимодействия $\bar{\Delta}_{\pi\pi} = \mu c$.

На рис. 6б показана полученная^{/22/} зависимость множественности n_s заряженных пионов от величины импульса $q_c \approx \bar{K}_2 \gamma_{c\pi} M c \approx \sqrt{K_1 \bar{K}_2} \gamma_{cN} M c$ при разных значениях μ/M , где M - масса нуклона, K_1, \bar{K}_2 - коэффициенты неупругости налетающего и покоящегося нуклонов, $\gamma_{c\pi}$ - лоренц-фактор мезонегенирующей системы (т.е. с.ц.м. одного или обоих фибрилов как целого) и γ_{cN} - лоренц-фактор с.ц.м. нуклонов (в случае NN -столкновений). Там же приведены известные к моменту получения этих результатов (1959 г.) фотоэмульсионные данные для первичных NN -струй с энергией $\approx 10^2 - 10^4$ Гэв (1 и 2) и для вторичных, преимущественно πN -струй с энергией $\approx 10 - 10^2$ Гэв (3), а также данные для NN -ливней с энергией $1-5 \cdot 10^2$ Гэв из работ^{/25/} (4).

Из экспериментальных данных получена оценка для величины $\mu c = \bar{\Delta}_{\pi\pi} \approx (1,1 \pm 0,6) M c$ ^{/22/}.

При сравнении бинарных и тернарных NN - и πN -реакций с образованием квазичастиц в интервале энергий 5-30 Гэв, а также бинарных, тернарных (тройных) и тетрарных (четверных) реакций с образованием возбужденных нуклонов и фибри-

болов при энергии в сотни и тысячи Гэв выделены общие для этих явлений кинематические особенности (см. рис. 3-5). Обсуждена возможная связь указанного в гл. III специфического возбуждения нуклонов с гипотезой Д.И.Блохинцева^{/23/} о нуклонном "кjerne". На основе вышеизложенного указаны некоторые физические задачи по выяснению природы фajerболов и сильно возбужденных нуклонов и их кваркового состава. Эти задачи могут быть изучены, например, на Серпуховском ускорителе (70-100 Гэв), на ускорителе со встречными пучками ($\approx 10^3$ Гэв = 1 Тэв) и на многотэвном линейном ускорителе.

В приложениях даны приемы графического решения рассмотренных в диссертации задач релятивистской кинематики и приведено описание линейки для релятивистских расчётов.

Основные результаты и выводы диссертации.

1. Предложен новый графический метод в кинематике реакций с участием фотона, основанный на известной модели Пуанкаре II пространства Лобачевского. Он проще метода эллипсоидов Блаттона, поскольку роль эллипса в нем выполняет окружность.

2. Впервые применена конформная "полосная" модель плоскости Лобачевского к решению задач релятивистской кинематики. На ее основе предложена продольная диаграмма скоростей частиц, участвующих в реакции (Л - диаграмма).

Рассмотрены методы графического решения при помощи этой диаграммы различных задач кинематики. Эти методы отличаются большой наглядностью, что существенно облегчает анализ результатов и выбор условий экспериментов по изучению неупругих реакций. При обработке малых серий событий, когда невыгодно использовать электронные машины, они обеспечивают достаточную скорость и точность расчётов.

3. На основе Л - диаграммы предложен метод анализа ливней и струй частиц с энергией $10^2 - 10^4$ Гэв и выше, удобный при изучении особенностей кинематики множественной генерации частиц. Применение метода проиллюстрировано при анализе особенностей образования фajerболов.

С помощью этого метода впервые получено указание на существование специфического процесса сильного возбуждения нуклонов (при образовании двух массивных фajerболов) с последующим испусканием ими тяжелых мезонов типа ρ, ω с энергией $\geq 1 \cdot 10^3$ Гэв в л.с. В случае анизотропного распада таких мезонов этот процесс может быть ответственен за передачу одному из продуктов их распада до 30-50% энергии налетающего нуклона.

4. На основе Л - диаграммы и ω^\perp -диаграммы удвоенных поперечных полускоростей $2\omega^\perp$ предложена квазиконформная евклидова цилиндрическая модель пространства скоростей, удобная для анализа формы фajerболов и факелов в пространстве скоростей.

При помощи цилиндрической модели рассмотрены характерные особенности кинематических фигур для πN - и NN -реакций при энергиях 7-24 Гэв - инвариантных геометрических образов их кинематики. Поставлена задача о разделении типов и физических каналов реакций, как задача распознавания образов в пространстве скоростей с применением критерия отношения правдоподобия.

5. На основе модели структурного нуклона получена оценка для эффективного сечения генерации мезонов и для коэффициента неупругости при столкновении нуклонов с энергией $\cdot 1-10$ Гэв. Рассчитана кинематика образования фэйрболов в NN - и πN - столкновениях с энергией $\approx 10^2-10^4$ Гэв и показано, что образование одного и двух фэйрболов может быть объяснено одним и тем же процессом возбуждения мезонного поля при столкновении частиц высокой и сверхвысокой энергии, который характеризуется ограниченными переданными импульсами.

На основе сравнительного анализа характерных особенностей бинарных, тернарных и тетрарных NN - и πN -реакций в указанном интервале энергий предложены некоторые физические задачи для изучения природы фэйрболов и сильно возбужденных нуклонов при энергиях 70-100 Гэв, $\approx 10^3$ Гэв = 1 Тэв и >1 Тэв.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах /12-22/ тах .

Л и т е р а т у р а

1. А.П. Котельников. Принцип относительности и геометрия Лобачевского. Сб. "In memoriam N.J.Lobačevski", 2, 37-66, Казанское физ.-мат. общество, Казань. 1927.
2. В.А.Фок. Теория пространства, времени и тяготения, 8816-17, ГИТТЛ, М., 1955.
3. Н.А.Черников. Стохастическое движение релятивистской частицы, кандидатская диссертация, Дубна, 1957.
4. Н.А.Черников. Научные доклады высшей школы; физ.-мат. науки, № 2, 158 (1958).
5. Е.В.Майков, Н.А.Черников. Научн. докл. высшей школы, физ.-мат. науки, №4, 129 (1958).
6. Н.А.Черников. Препринт ОИЯИ, P-723, Дубна, 1961; Сб. "Гравитация и теория относительности", вып. II стр. 9, Казань, 1965.
7. Н.А.Черников. Лекции в Зимней школе теор. физики при ОИЯИ, т. 3, стр. 151, Дубна, 1964.
8. А.В.Ефремов, В.А.Мешеряков, Д.В.Ширков. ЖЭТФ, 39, 438 (1960).
9. G.C.Wick. Annals of Physics (USA), 18, N1, 65 (1962).
10. Н.А.Черников. Кинетическая теория релятивистского газа, докторская диссертация, Дубна, 1963.
11. Я.А.Сморodinский. Атомная энергия, 14, 110 (1963); Вопросы физики элементарных частиц III стр. 242, Ереван, 1963.
12. Э.Г.Бубелев и Н.А.Черников. Препринт ОИЯИ, P-1407, Дубна, 1963; Acta Phys. Pol., 26, N1 (7), 155 (1964).
13. Э.Г. Бубелев. Труды Международной конференции социалистических стран по физике высоких энергий, 1963, Краков; Nucleonica, v.IX, №4-5, 409 (1964).
14. Э.Г.Бубелев. Препринт ОИЯИ, P-1320, Дубна, 1963. Acta Phys. Pol., 26, №2 (8), 279 (1964).
15. E.G.Bubelev. Proc. of the Internat. Conf. on Cosmic Rays. 1963, Jaipur, 5, 577 (1964); Buletinul Institutului Politehnic din Iași, Serie nova, XIII (XVII) N3-4, 169 (1967).

16. Э.Г.Бубелев. Изв. АН СССР, сер. физ., 28, № 11, 1829 (1964).
17. Э.Г.Бубелев. Изв. АН СССР, сер. физ., 28, № 11, 1835 (1964).
18. Э.Г.Бубелев. Труды Международной конференции по физике высоких энергий, 1964, Дубна, т.1, стр. 209, 581, М., Атомиздат, 1966. (Дискуссия - тезисы докладов, представленных на конференцию).
19. Э.Г.Бубелев. Изв. АН СССР, сер. физ., 31, № 9, 1487 (1967).
20. В.А.Беляков, Э.Г.Бубелев. Изв. АН СССР, сер. физ., 31, № 9, 1491 (1967).
21. Э.Г.Бубелев. ЖЭТФ, 33, № 2 (8), 539 (1957).
22. Э.Г.Бубелев. Труды Международной конференции по космическим лучам, 1959, Москва, т.1, стр. 284, Изд. АН СССР, М., 1960.
23. Д.И.Блохинцев. а) ЖЭТФ, 29, 33 (1955); б) Proc. CERN Symposium, 2, 155, Geneva, 1956.
24. P. Ciok, T. Coghren, J. Gerula, R. Holinski, A. Jurak, M. Miesowicz, T. Saniewska, O. Stanicz, J. Pernegr. Nuovo Cim., 8, 166, 1238 (1958); 10, 741 (1958).
25. Н.Л. Григоров, В.В. Гусева, Н.А. Добротин, А.М. Лебедев, К.А. Котельников, В.С. Мурзин, П.Д. Раппопорт, С.В. Рябиков, С.А. Славатинский. Труды Международной конференции по физике космических лучей, 1959, Москва, т.1, стр. 140, Изд. АН СССР, М., 1960; В.В. Гусева, Н.А. Добротин и др. Изв. АН СССР, 26, № 5, 549 (1962).
26. Г.Т. Зацепин. Suppl. Nuov. Cim., № 2, 746 (1958); Изв. АН СССР, 26, № 5, 674 (1962).
27. M. Koshiba, T. Nozaki, Y. Totsuka, S. Yamada, Journ. Phys. Soc. of Japan, 22, N6, 1321 (1967).
28. Г.С. Себестян. Процессы принятия решений при распознавании образов. Перев. с англ., Киев. "Техника", 1965; В.П. Соичивко. Распознавание образов при помощи вычислительных машин. Сб. "Итоги науки". Теория вероятностей. Матем. статистика. Теоретич. кибернетика. 1964, ВИНТИ, М., 1966.

Рукопись поступила в издательский отдел
22 мая 1968 года.

Таблица 2

№	Струя	E_0 (Тэв)	m_{i1}^{**}	m_{i1}^{**}	m_{i1}^*	$m_B(B)$	$M_{i,b}^*$	Δ_{i1}	Δ_{i1}	$\Delta_{\pi\pi}$
1	0+4p+2 π^0	20	2,4	2,2	$\left\{ \begin{array}{l} 1,3-t \\ 1,4-t \end{array} \right.$	$\left. \begin{array}{l} 0,73(\rho^+) \\ 1,04(\chi^0) \end{array} \right\}$	-	0,5	0,5	-
1'	5+7 π^+ (втор.)	0,12	-	-	-	-	2	0,1	-	1
2	0+16 α	3,8	2,0	2,5	1,5	0,78(ω^0)	2,5	>1,3	2	0,7
3	0+20p	2,7	2,2	2,6	1,5	1 (χ^0)	3,3	1,8	1,9	0,9
3'	0+20 π (втор.)	0,7	1,9	1,6	-	-	3,0	1,2	1,2	1,2
4	4+27p+ 2 π^0	3,3	≥ 2	3,0	1,4-1,5	≥ 1 (χ^0)	4,2	$\geq 1,5$	2	1,8

Здесь величина E_0 - энергия налетающей частицы в Тэв (10^3 Гэв), остальные величины есть массы (в Гэв/с²): m_{i1}^{**} - сильно возбужденного нуклона ("факела") t - мишени, i - налетающего; m_{i1}^* - слабо возбужденного нуклона (изобар); m_B - испущенного факелом тяжелого мезона ($\rho^+ + \pi^+ \pi^0$, $\omega^0 + \pi^0 \gamma + 3 \gamma$, $\chi^0 (-1,04) + \pi^+ \pi^-$ и $2\pi^0$) и $M_{i,b}^*$ - факелов, и переданные 4-импульсы (в Гэв/с): Δ_{i1} - для π - n_{i1} взаимодействия, $\Delta_{\pi\pi}$ - для π - π - взаимодействия.

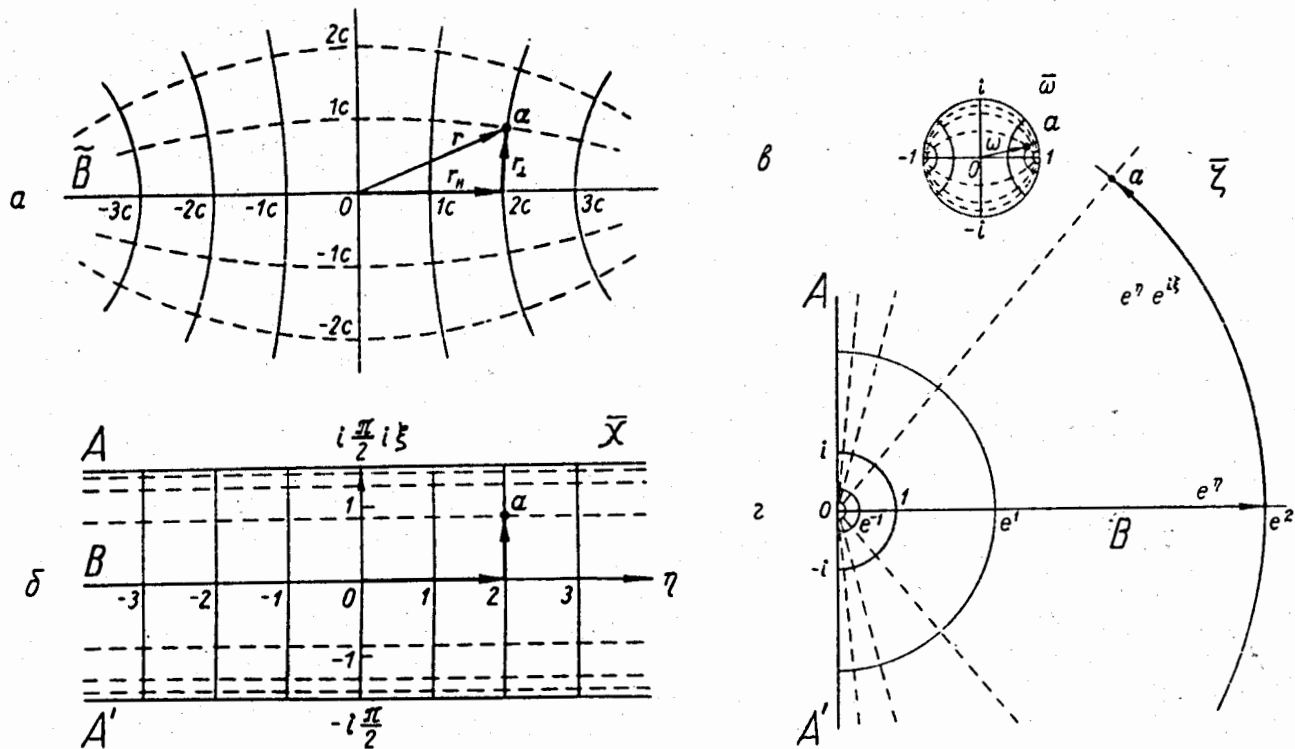


Рис.1. Гиперболическая координатная сетка на плоскости Лобачевского (а) и ее конформные отображения в евклидову плоскость: на полосу (б), на единичный круг (в), на полуплоскость (г). Эквидистанты к базе \tilde{B} и их образы показаны пунктиром, ортогональные к ним прямые гиперболического пучка, база \tilde{B} и их образы – сплошными линиями.

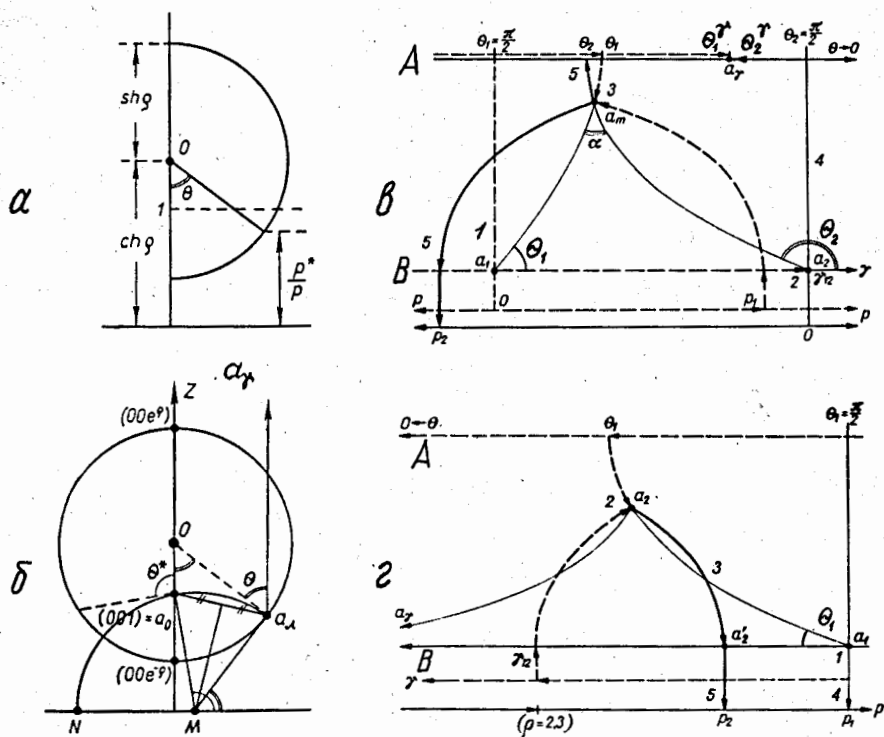


Рис. 2. Графические методы в модели Пуанкаре II (а,б) и в "полосной" модели (в,г).
а - определение ρ^*/ρ в зависимости от угла θ , ρ^* и ρ - импульсы фотона в с.ц.м. и в л.с.;
б - определение связи между углами θ и θ^* вылета фотона в л.с. и в с.ц.м., безотносительные скорости которых представлены соответственно бесконечно удаленной точкой $a_\gamma(z=\infty)$ и точками a_1 и a_0 ;
в - схема лоренцевых преобразований угла θ вылета частицы с $m \geq 0$ и импульса частицы с $m > 0$;
г - то же для импульса ρ^γ фотона ($m = 0$); скорости систем отсчёта 1 и 2 представлены точками a_1 и a_2 , пунктирными стрелками показано определение положения на диаграмме скоростей точки a_2 (в соответствии с относит. лоренц-фактором $\gamma_{12} = ch \rho_{12}$ систем отсчёта) и точки $a_m(a_\gamma)$ (в соответствии с импульсом ρ_1 и углом θ_1 вылета частицы в системе 1), сплошными стрелками - считывание результата (θ_2, ρ_2), последовательность этапов решения указана цифрами; криволинейный треугольник $a_1 a_2 a_m(a_\gamma)$ есть евклидов образ треугольника быстрот в пространстве скоростей.

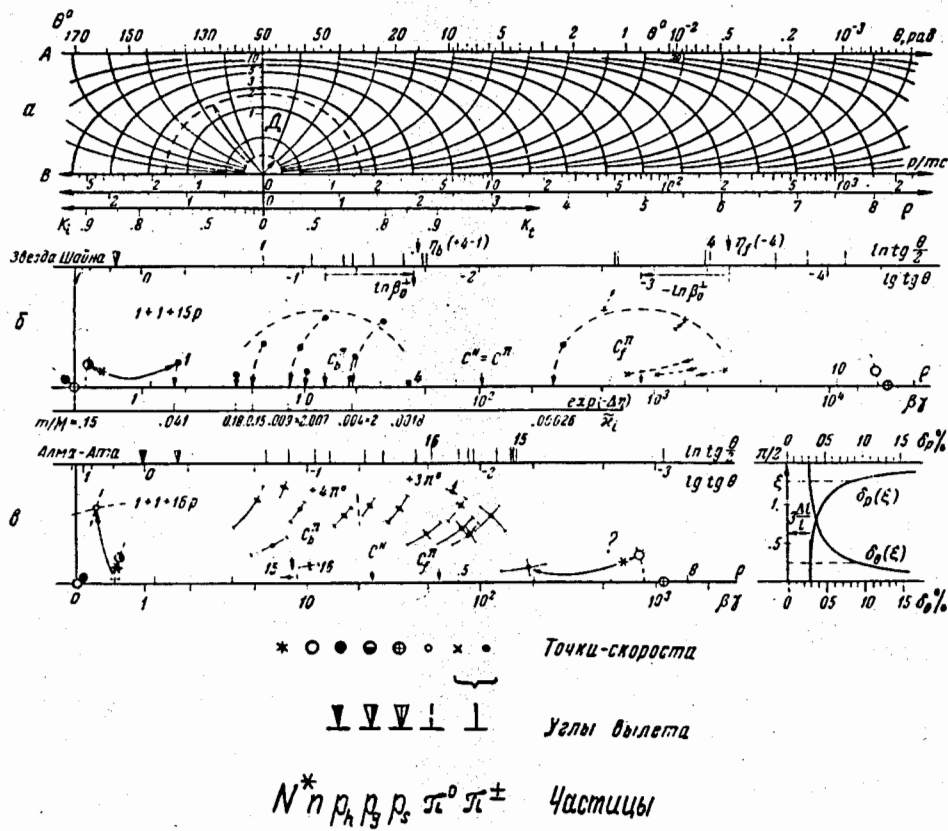


Рис. 3 а-в. а - "Полярная" координатная сетка в "полосной" модели со шкалами угла вылета θ^0 , импульсов p/mc , "быстроты" γ (в единицах c), $p = v/c = \text{arsh}(p/mc)$, коэффициентов неупругости нуклонов $K_{1,t} = \Delta E_{1,t}/E_0$ и поперечных импульсов p^\perp/mc ; б, в - Л-диаграммы (скоростей) для двух струй с энергией 20 и 1 Тэв (10^3 Гэв), представляющих тетрарные (четверные) реакции с образованием двух фибрболов, центры масс которых указаны стрелками и символами S_b^π - для медленного, S_f^π - для быстрого в л.с.. Нуклоны до взаимодействия изображены на оси В: справа - налетающий, слева - покоящийся в л.с..

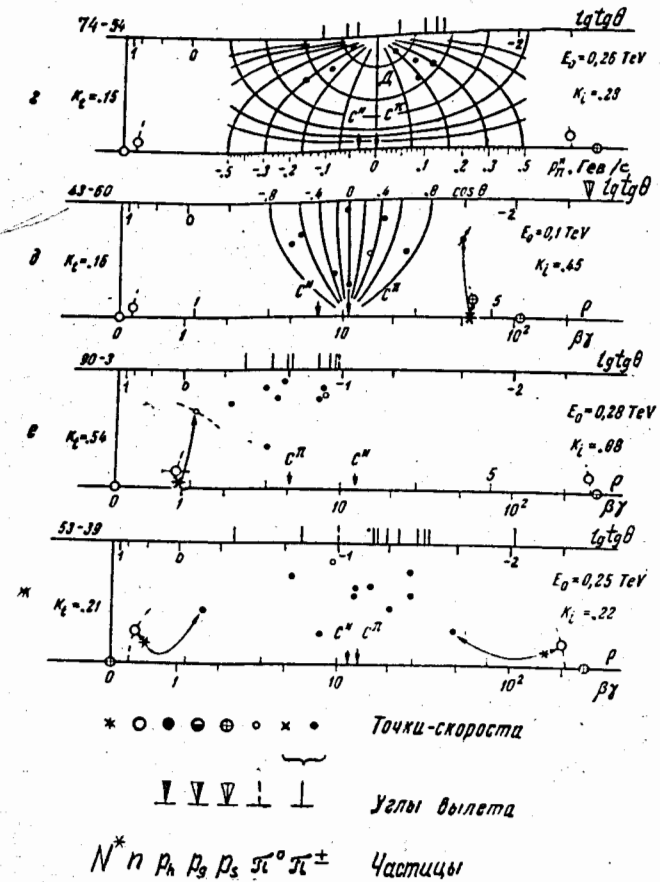


Рис. 3 г-ж. г - сетка "эквидагант" к перпендикулярно Д (для определения положения с.ц.м. фибрбола $S_{f,b}^\pi$), Д - сетка "изоклин" с равномерным по $\cos \theta$ шагом (для проверки изотропии углового распределения при распаде фибрбола с $P_{f,b}^\perp/M_{f,b}^* = v_{f,b}^\perp = 0$); г-ж - Л-диаграммы для ливней с энергией 0,1- 0,3 Тэв, представляющих тернарные (тройные) реакции, в которых образуется один фибрбол, с.ц.м. которого указана точкой S^π ; точкой S^N указана с.ц.м. столкнувшихся нуклонов.

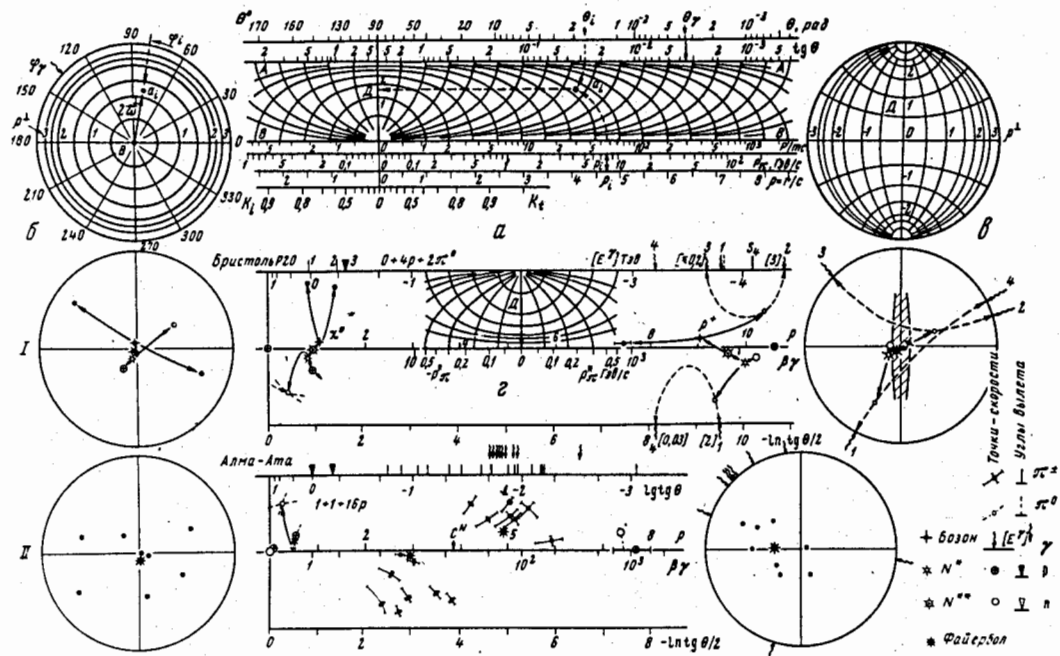


Рис. 4. Координатные сетки для L - и ω^+ -диаграмм: а - основные - "полярные"; в, г - вспомогательные - "прямоугольные", или "эквидистантные". 1-2 - L - и ω^+ - "проекции" кинематических фигур для двух струй с $E_0=20$ и 1 Гэв: 1 - бинарная реакция с сильным возбуждением обоих нуклонов (см. табл. 2(1)), 2 - тетрарная реакция, по-видимому, со слабым возбуждением нуклона-мишени; эллиптичность ω^+ - "проекции" файберболов указывает на приплюснутость последних к продольной плоскости в пространстве скоростей.

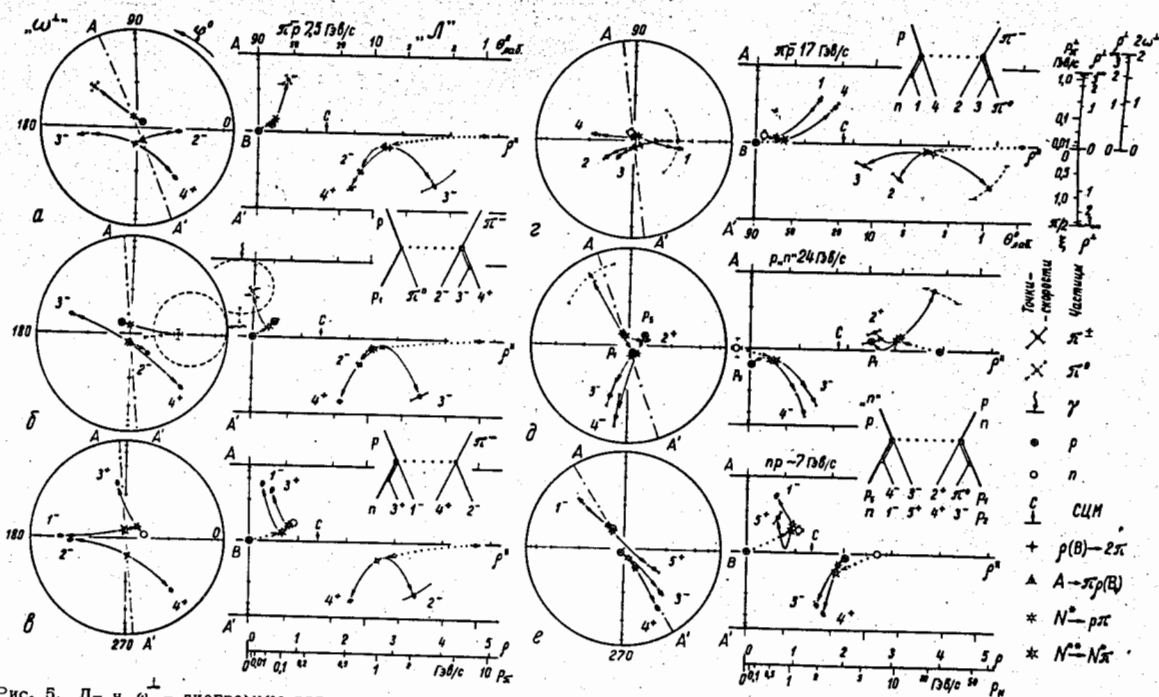


Рис. 5. L - и ω^+ - диаграммы для характерных событий из реакций бинарного типа: а-в $\pi^+ p$ при импульсе $7,5 \pm 0,6$ Гэв/с, г - $\pi^+ p$ при $17 \pm 0,5$ Гэв/с, д - $\pi^+ p$ при $24 \pm 0,7$ Гэв/с на квазисвободном нейтроне n^0 (при $34 \pm 2,7$ Гэв/с в его системе покоя), е - $\pi^+ p$ при $\approx 7(5-8)$ Гэв/с. Пунктирный круг и овальная область - б - представляют ω^+ и L - "проекции" геометрического места всех возможных положений точки - скорости недостающего π^0 -мезона, а именно; "проекции" орисферы (стр. 7), соответствующей углам вылета θ, ϕ и импульсу зарегистрированного γ -кванта в л.с..

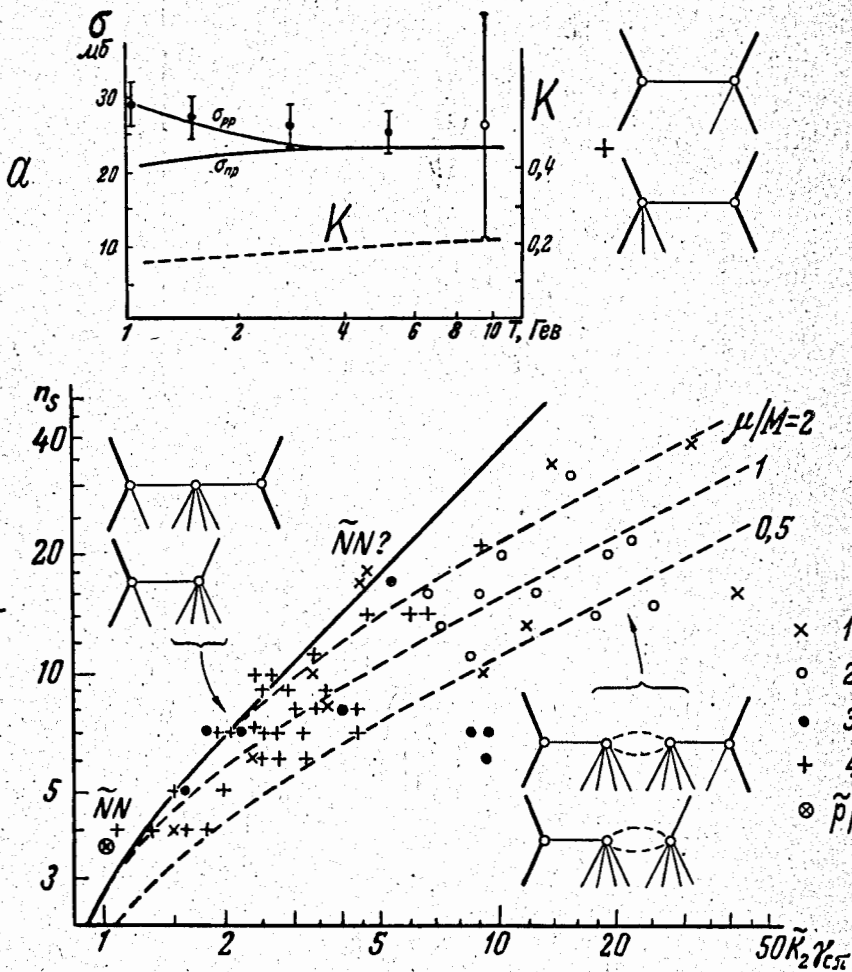


Рис. 6. а - эффективное сечение σ образования мезонов и коэффициент неупругости K в периферических столкновениях нуклонов с кинетической энергией $T = 1-10$ Гэв, б - зависимость множественности мезонообразования от импульсов $q_s = K_2 u_{с\pi}$ Мс, переданных мезоногенерирующей системе в ее с.ц.м. в NN - и πN -столкновениях при $E \geq 10-10$ Гэв: для двух фибрболов - пунктир и для одного фибрбола - сплошная кривая (при $\Delta_{t,1}^2 / (\text{Мс})^2 = 0,4$ и $\bar{\Lambda}_{\pi\pi} / \text{Мс} = 0,5-2$); экспериментальные точки: 1,2 - для первичных NN -струй, 3 - для вторичных, преимущественно πN -струй, 4 - для NN -ливней из работ/25/. Типы кинематики рассмотренных реакций пояснены графами Фейнмана.