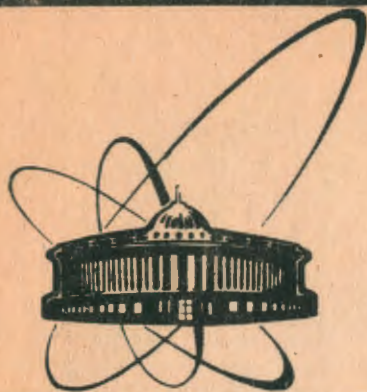


89-557



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

A 23

P1-89-557

Г.Н.Агакишиев¹, К.Й.Иовчев², Е.Н.Кладницкая,
Э.О.Оконов, Е.К.Хусаинов³, М.Я.Чубарян⁴

НЕКОТОРЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
КУМУЛЯТИВНЫХ Δ -ГИПЕРОНОВ,
РОЖДЕННЫХ В ЯДРО-ЯДЕРНЫХ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ

¹Институт физики АН АзССР, Баку

²Университет, София, НРБ

³ИФВЭ АН КазССР, Алма-Ата

⁴Ереванский физический институт

В исследованиях ядро-ядерных взаимодействий с целью изучения сильно возбужденного адронного вещества большой интерес представляют кумулятивные частицы. При выделении специфических особенностей динамики жестких соударений ядер возникают серьезные трудности из-за необходимости учета других ядерных эффектов, являющихся источниками "кумулятивных" частиц*, таких, как ферми-движение нуклонов в ядре, внутриядерное перерасеяние образовавшихся частиц, их рождение во вторичных процессах, проявления кварк-партонной структуры ядра, наблюдавшиеся при взаимодействии частиц с ядрами.

Эти трудности удастся в значительной мере преодолеть, если исследовать особенности жестких (центральных) соударений ядер на основе сравнительного анализа их характеристик и соответствующих характеристик нецентральных ядро-ядерных взаимодействий, в которых также проявляются упомянутые "побочные" эффекты, хотя, может быть, и по-иную (например, при перерасеянии).

Такой анализ был проведен для процессов пионообразования и рождения странных (Λ , K_s^0) частиц¹⁻⁵, являющихся эффективным "пробником" в исследованиях возбужденного адронного вещества и в поиске следов кварк-глюонной материи ("кварк-глюонной плазмы"), которая может образоваться в так называемом тормозном (барионном) режиме при центральных взаимодействиях ядер. В результате проведенного анализа было обнаружено, что с ростом степени центральности соударений близких по массе ядер (C, O, Ne) становятся более изотропными угловые распределения образовавшихся Λ -гиперонов (ЦМ-система), а их температура растет, достигая (при бoльцмановском спектре) больших значений (~ 150 МэВ), близких к критической для возможного фазового перехода в кварк-глюонную плазму.

В этих условиях наблюдался заметный рост выхода Λ -частиц (с большими поперечными импульсами p_T) в области средних быстрот, что предсказывается в ряде теоретических работ как сигнал образования кварк-глюонной плазмы. Как видно из приведенного p_T -Y-распределения (см. рис. 1), наиболее ярко этот эффект проявляется для кумулятивных

* Здесь термин "кумулятивные" использован для обозначения всех частиц, характеристики которых лежат за пределами кинематики NN-столкновений, независимо от их происхождения.

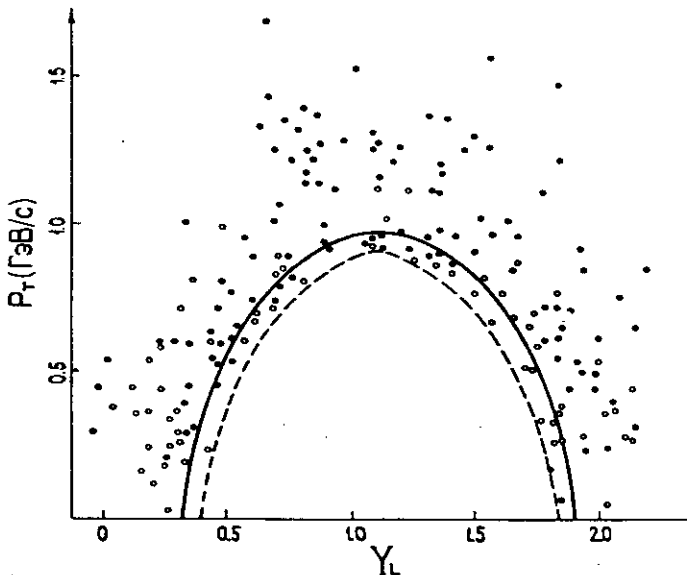


Рис. 1. p_T - Y_L -распределения для кумулятивных Λ -гиперонов, отобранных из общего числа 264 Λ , образовавшихся в нецентральных взаимодействиях ядер $HeLi$, $CC(^{\circ})$, и для центральных взаимодействий ядер CC , CNe , ONe , CCu , $CZr(^{\circ})$ — из 269 Λ , при энергии 3,36 АГэВ и 3,66 АГэВ с кинематическими границами для NN -соударений, отмеченными пунктирной и сплошной линиями соответственно.

Λ -частиц (с $p_T \geq 1$ ГэВ/с), т.е. когда фон от NN -взаимодействий практически отсутствует.

Было бы, однако, преждевременным считать обнаруженный эффект однозначным свидетельством в пользу существования квагмы, пока не будут исчерпаны другие возможные интерпретации, что требует более детальных исследований.

В этой связи представляет интерес провести дополнительный анализ экспериментальных данных, полученных в работах^{1, 2}, с целью получения новой информации о характеристиках кумулятивных Λ -гиперонов, а также π^- -мезонов, рожденных в центральных и нецентральных взаимодействиях.

Как было показано в работах³⁻⁷, p_T -спектры π^- -мезонов не обнаруживают существенных различий для нецентральных и центральных CC , CNe , ONe -взаимодействий (НВ и ЦВ — соответственно). Довольно устойчивыми к степени центральности ядерных соударений оказались также угловые и быстрые распределения образовавшихся пионов.

В противоположность такой устойчивости свойств пионов характеристики Λ -гиперонов — спектральные (температурные), угловые, быстрое — заметно меняются, что приводит, в частности, к более изотропным угловым распределениям и к росту $\langle p_T \rangle$ и T_0 с увеличением степени центральности соударений ядер (см. таблицу). Как видно из таблицы, для кумулятивных Λ -гиперонов рост $\langle p_T \rangle$ оказывается значительным (с 0,55 ГэВ/с до 0,91 ГэВ/с*), в то время как для кумулятивных пионов этот параметр практически не изменяется (при общем увеличении $\langle p_T \rangle$ для кумулятивных частиц по сравнению с соответствующими значениями для невыборочных ансамблей). Не претерпевает существенных изменений и сам характер p_T -распределений кумулятивных пионов.

Таблица

| Образовавшиеся частицы | Нецентральные взаимодействия | Центральные взаимодействия |
|------------------------|------------------------------|----------------------------|
| Λ | все | $0,42 \pm 0,01$ |
| | кумулятивные | $0,55 \pm 0,02$ |
| π^- | все | $0,24 \pm 0,01$ |
| | кумулятивные | $0,77 \pm 0,05$ |

Если же обратиться к рассмотрению кумулятивных Λ^K -гиперонов, то здесь обнаруживается резкое различие p_T -распределений для центральных и нецентральных взаимодействий ядер (см. рис. 2). Действительно, если p_T -распределение для ЦВ, характеризующее довольно жесткий p_T -спектр Λ^K -частиц, не имеет заметных особенностей ("структуры"), то в p_T -спектре Λ^K -гиперонов в НВ, несмотря на скромную статистику, четко проявляются 2 максимума (пика). Более детальный анализ показывает, что группы Λ^K -частиц, находящиеся в этих пиках, соответствуют разным быстрое областям: группа мягких Λ^K -частиц ($\langle p_T \rangle = 0,36 \pm 0,01$ ГэВ/с) лежит в областях фрагментации ядра-мишени ($Y < 0,4$), и налетающего ядра ($Y > 1,8$), другая группа ($\langle p_T \rangle = 0,78 \pm 0,02$ ГэВ/с) — в области средних

*Соответствующее значение для Λ^K -гиперонов из CCu - и CZr - взаимодействий еще больше: $\langle p_T \rangle = 0,99 \pm 0,09$ ГэВ/с, что соответствует росту T_0 почти в 2 раза.

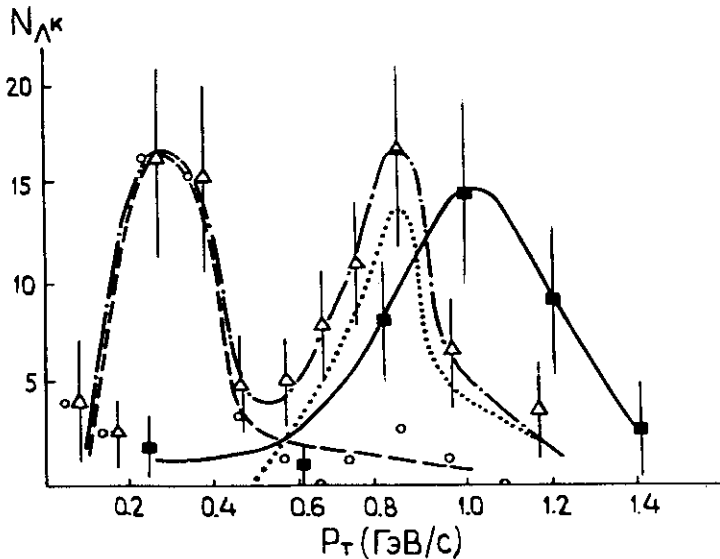


Рис. 2. Распределения по поперечному импульсу кумулятивных Λ -гиперонов, рожденных при нецентральных взаимодействиях ядер $HeLi$, CC ($-\Delta-\Delta-$), в том числе в области быстрот $Y < 0,4$ и $Y > 1,8$ ($-\circ-\circ-$) и в области $0,4 < Y < 1,8$ (\cdots), и при центральных соударениях ядер CC , CNe , ONe (\blacksquare).

быстрот ($0,4 \leq Y \leq 1,8$). Своим происхождением эти группы событий обязаны, по-видимому, разным механизмам: первая из них связана, скорее всего, с вторичными процессами в непрореагировавших остатках ядер, источником второй, возможно, является файербол, образовавшийся в области средних быстрот.

Ограниченная статистика не позволяет извлечь температуру этих предполагаемых источников из бальцмановских спектров Λ^K -частиц. Однако температурный параметр можно оценить из соотношения, выведенного в "бальцмановском" приближении¹⁸:

$$\langle P_T \rangle = \sqrt{\frac{\pi m T_0}{2}} K_{5/2} \left(\frac{m}{T_0} \right) / K_2 \left(\frac{m}{T_0} \right)$$

(где K_n — так называемые функции Мак-Дональда), что дает для этих источников $T_0 \sim 90$ МэВ и $T_0 \sim 200$ МэВ соответственно.

Если же источником кумулятивных Λ -гиперонов в ЦВ также является файербол, то его температура, оцененная таким способом, достигает величины $T_0 \sim 230$ МэВ ($\langle p_T \rangle = 0,91 \pm 0,06$ ГэВ/с).

Возможно, что существует корреляция между образованием кумулятивных Λ -гиперонов в центральных соударениях ядер и характеристиками π -мезонов, рожденных в тех же ядро-ядерных взаимодействиях.

Было получено указание на то, что для таких ассоциативно-рожденных пионов угловые распределения — как по числу частиц ($dN_{\pi}/d\cos\theta^*$), так и по их энергии ($dE_{\pi}^*/d\cos\theta^*$), — становятся более изотропными, так что характеризующая степень их изотропии дисперсия $D(\cos\theta^*)$ изменяется от $D = 0,64 \pm 0,01$ (распределение с четкими пиками "вперед-назад") до величины $D = 0,56 \pm 0,03$, совпадающей в пределах ошибки с $D = 0,577$, которая соответствует полностью равномерному распределению. При этом происходит, возможно, некоторое увеличение среднего поперечного импульса (от $\langle p_T \rangle = 0,234 \pm 0,006$ ГэВ/с до $0,279 \pm 0,021$ ГэВ/с). Можно искать объяснение этим коллективным эффектам в том, что во взаимодействиях с рождением Λ^K -гиперонов, которое требует большей энергии и участия нескольких нуклонов, происходит термализация адронного вещества в большей части области перекрытия взаимодействующих ядер. При таком механизме вызванные им эффекты будут, по-видимому, уменьшаться с ростом масс взаимодействующих ядер.

В любом случае подтверждение обнаруженных эффектов означало бы, что отмеченная выше устойчивость пионных характеристик не сохраняется во взаимодействиях ядер при более экстремальных условиях. В этой связи представляет большой интерес поиск и изучение других эффектов такого типа. Предположение о возможном термализующем влиянии значительного локального возбуждения на адронное вещество в области перекрытия взаимодействующих ядер может быть проверено не только в процессах образования кумулятивных Λ -гиперонов. На рис. 3а приведена зависимость величины $D(\cos\theta^*)$, которая характеризует степень изотропности π -мезонов, рожденных в СС-взаимодействиях, от максимального импульса протона, образовавшегося в том же ядерном столкновении. Эта зависимость указывает на то, что угловые распределения пионов становятся более изотропными с увеличением степени локального возбуждения, связанного с образованием протона с большим p_T вплоть до "кумулятивных" значений ($p_T \geq 1,25$ ГэВ/с).

Подобная закономерность проявляется и в зависимости $D(\cos\theta^*)$ от полной поперечной энергии всех заряженных частиц E_T (см. рис. 3б).

Такая же тенденция просматривается и при очень жестком отборе центральных (многонуклонных) соударений с предельно большими значениями: средней множественности π -мезонов $\langle n_{\pi} \rangle$ (рис. 3в) и числа провзаимодействовавших протонов Q_p (рис. 3г)*.

* Подобную тенденцию можно усмотреть и на рис. 17 работы ¹⁴.

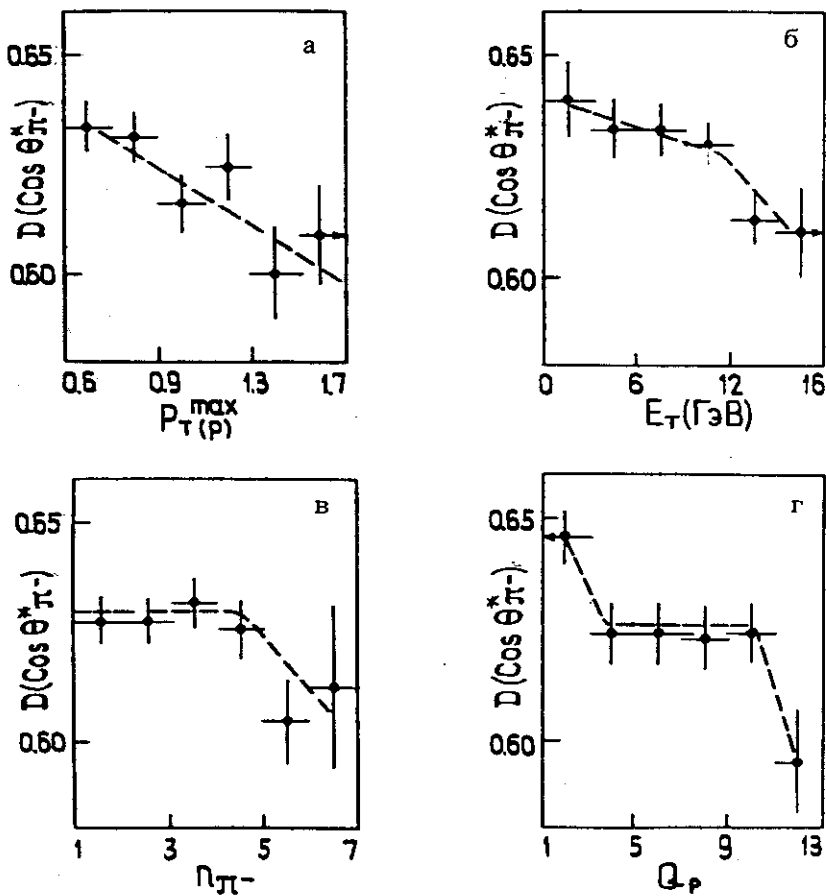


Рис. 3. Зависимость дисперсии $D(\cos \theta^*)$ угловых распределений π^- -мезонов, рожденных в CC -взаимодействиях, от различных параметров: а) от максимального поперечного импульса одного из протонов p_T^{\max} ; б) от поперечной энергии всех заряженных частиц E_T ; в) от множественности рожденных π^- -мезонов n_{π^-} ; г) от числа участвовавших во взаимодействии протонов Q_p .

Суммируя результаты проведенного анализа, следует отметить, что рассмотрение свойств кумулятивных Λ -гиперонов, рожденных в нецентральных CC -взаимодействиях, обнаружило 2 группы Λ^K -частиц, различающихся по своим характеристикам:

— образовавшихся в области средних быстрот ($0,4 < Y < 1,8$) и обладающих значительными поперечными импульсами $\langle p_T \rangle = 0,78 \pm$

$\pm 0,02$ ГэВ/с, что соответствует бoльцмановской температуре $T_0 \sim 200$ МэВ;

— образовавшихся в области фрагментации ядра-мишени ($Y < 0,4$) и налетающего ядра ($Y > 1,8$) — с $\langle p_T \rangle = 0,36 \pm 0,01$ ГэВ/с и $T_0 \sim 90$ МэВ.

В то же время подавляющее число Λ^K -гиперонов из центральных соударений ядер образуется преимущественно в среднебыстротной области и характеризуется существенно большими значениями $\langle p_T \rangle$ и T_0 ($\sim 0,91$ ГэВ/с и ~ 230 МэВ соответственно).

В противоположность характеристикам Λ^K -частиц, характеристики кумулятивных π^- -мезонов, рожденных в центральных и нецентральных взаимодействиях, не обнаруживают существенных различий. Только при очень жестком отборе центральных соударений ядер и при большом локальном возбуждении удалось получить указание на некоторое увеличение степени равномерности угловых распределений π^- -мезонов.

Авторы приносят благодарность всем сотрудникам, принимавшим участие в получении на установках ТПК-500 и СКМ-200 экспериментальных данных (DST), проанализированных в настоящей работе. Мы также признательны Ю.Лукстинышу, просмотревшему рукопись, за полезные замечания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Anikina M. et al. — *Z. für Phys.*, 1984, C25, p.1.
2. Армутлийски Д. и др. — ОИЯИ, P1-85-220, Дубна, 1985.
3. Anikina M. et al. — *JINR E1-84-785, Dubna*, 1984.
4. Anikina M. et al. — *Phys. Rev.*, 1986, C33, p.895.
5. Gazdzicki M. et al. — *Z. für Phys.*, 1986, G31, s.549.
6. Аникина М.Х. и др. — *Письма в ЖЭТФ*, 1982, т.36, с.270.
7. Агакишиев Г.Н. и др. — ОИЯИ, P1-89-488, Дубна, 1989.
8. Hagedorn R. — *CERN 71-12, Geneva*, 1971.

Рукопись поступила в издательский отдел
24 июля 1989 года.