

**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

P1-86-464

К.Д.Толстов

**НЕУПРУГИЕ СТОЛКНОВЕНИЯ
РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЯДЕР
И ПРИНЦИП НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ**

1986

При исследовании неупругих столкновений релятивистских ядер в настоящее время нарастает число фактов, указывающих на коллективный характер протекающих процессов, и напротив, модель суперпозиции отдельных нуклон-нуклонных столкновений встречает трудности, в том числе и при ее последних усовершенствованиях ^{/1-5/}. В особенности это относится к следующему.

1. Наблюдается асимметрия вылета фрагментов ядра-снаряда - отскок (bounce-off) и ядра-мишени - боковой выброс (side-splash) /рис.1/. Асимметрия увеличивается с ростом атомного веса сталкивающихся ядер и сильнее выражена при большей множественности вторичных частиц, однако при полном перекрытии ядер, т.е. в центральных столкновениях, асимметрии нет. ^{/1/}.

2. Угол вылета быстрых вторичных частиц увеличивается с ростом центральности столкновений, и средний поперечный импульс достигает 650 МэВ/с ^{/2/}.

3. Обнаружены "особые" случаи среди центральных столкновений ядер ²²Ne с ядрами Ag и Br, в которых нет ливневых частиц, в ко-нусе с углом раствора 15° в направлении снаряда, хотя число ча-стиц превышает 40 ^{/6/}.

Будем искать объяснение этим фактам на основе принципа неопределенности, исходя из модели коллективного взаимодействия сталкивающихся ядер. На этот механизм в первую очередь указывает кумулятивный эффект, установленный в работах ^{/7,8/}, где было показано, что в столкновениях протонов и ядер с ядрами спектры вторичных частиц объясняются только в том случае, когда мишенью является центр масс нескольких нуклонов ядра-мишени. Это проявляется и в ряде других работ: при столкновении протонов с ядрами ⁹Be наблюдались случаи, когда мишенью являлись непосредственно 7 нуклонов бериллия ^{/9/}. В столкновениях протонов с энергией 200 ГэВ с ядрами свинца регистрировались ^{/10/} величины "поперечной энергии", достигавшие 56 ГэВ, что в 2,5 раза превышает предел, возможный в нуклон-нуклонных столкновениях, и соответствует из 8 нуклонов в ядре свинца. Поэтому при столкновении быстрых ядер можно ожидать проявления суммарного эффекта, т.е. коллективного взаимодействия групп нуклонов в каждом из сталкивающихся ядер.

В.Гейзенбергом показано ^{/11/}, что при гауссовом распределении составляющих импульса принцип неопределенности справедлив со знаком равенства: $\Delta x \cdot \Delta p_x = \frac{\hbar}{2}$. Векторно суммируя составляющие поперечного импульса, получим распределение Релея:

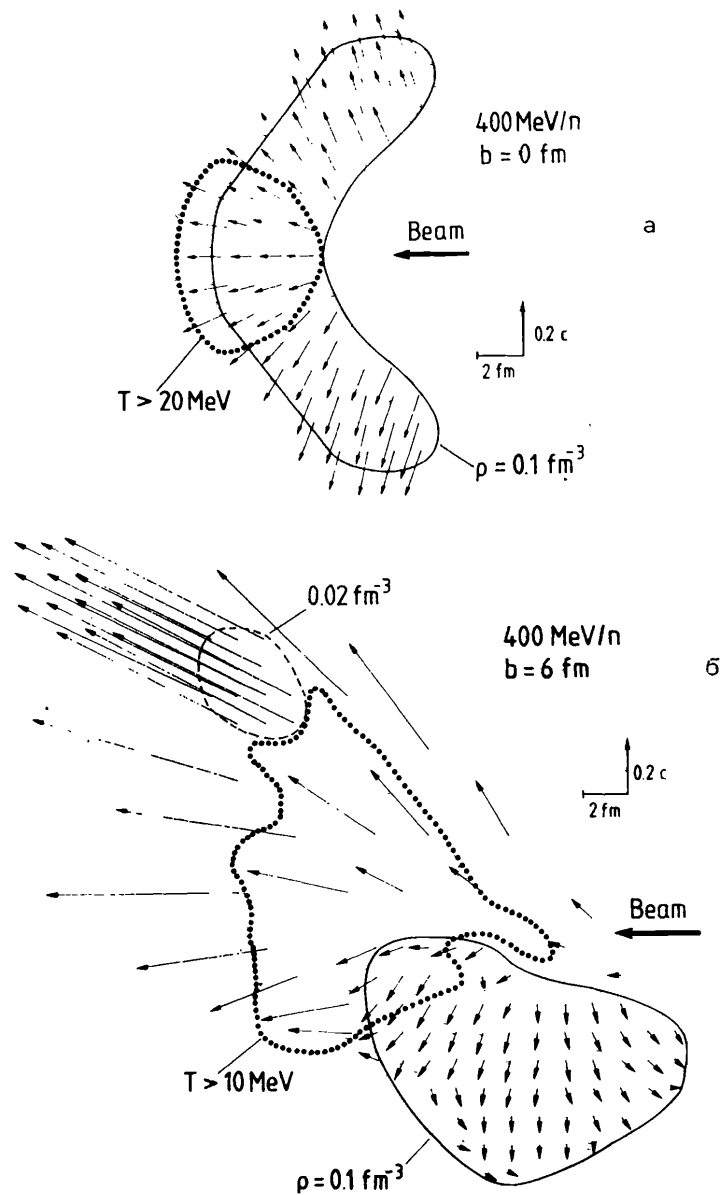


Рис. 1

$$W(P_{\perp}) = 2P_{\perp} \cdot \langle P_{\perp}^2 \rangle^{-1} \exp(-P_{\perp}^2 / \langle P_{\perp}^2 \rangle), \quad /1/$$

а также равенство: $\Delta\Gamma \cdot \Delta P_{\perp} = \hbar$.

В работах /12/ на основе принципа неопределенности сопоставлялась форма импульсных спектров и асимметрия вылета барионов в неупругих столкновениях адронов. Аналогично этому попытаемся объяснить указанные три особенности, наблюдающиеся при столкновении быстрых ядер.

1. За меру центральности столкновения ядер принимают число вторичных частиц N_h , выбиваемых из ядра, т.е. центральность растет с увеличением N_h , когда в столкновении участвует большее число нуклонов. Выполнение этого условия и одновременно условия, чтобы столкновение не было полностью центральным, с увеличением атомного веса ядер имеет место, когда растет расстояние между центрами ядер $\Delta\Gamma$. Если бы при больших N_h , т.е. малых $\Delta\Gamma$, имела место симметрия вылета фрагментов, то

$$\langle P_{\perp} \rangle = 0 \quad \text{и} \quad \Delta P_{\perp}^2 = [\langle P_{\perp}^2 \rangle - \langle P_{\perp} \rangle^2] = \langle P_{\perp}^2 \rangle.$$

С увеличением атомного веса снаряда и/или мишени число сталкивающихся нуклонов и N_h при фиксированном $\Delta\Gamma$ будет увеличиваться, а следовательно, оставаться большим и при увеличении $\Delta\Gamma$. Поэтому если $\langle P_{\perp} \rangle = 0$, то $\langle \Delta P_{\perp}^2 \rangle$ не будет уменьшаться с ростом $\Delta\Gamma$. Напротив, если при $\langle P_{\perp} \rangle \neq 0$ с ростом $\Delta\Gamma$ из-за увеличения атомных весов ядер увеличивается и асимметрия вылета частиц, то $\langle P_{\perp} \rangle$ будет увеличиваться, а $\langle \Delta P_{\perp} \rangle$ - уменьшаться в соответствии с принципом неопределенности. Баланс P_{\perp} обеспечивается фрагментами ядра-снаряда /рис.1б/.

2. Для снарядов с фиксированной массой с ростом N_h , т.е. центральности столкновения, $\Delta\Gamma$ уменьшается и, следовательно, $\langle \Delta P_{\perp}^2 \rangle$ должно расти. Для этого необходимо увеличение $\langle |P_{\perp}| \rangle$, т.к. при увеличении P_{\perp} $\langle P_{\perp}^2 \rangle^{1/2}$ растет сильнее: из формулы /1/ имеем

$$\langle P_{\perp}^2 \rangle = \frac{4}{\pi} \langle P_{\perp} \rangle^2 \quad \text{и} \quad \langle \Delta P_{\perp}^2 \rangle = 0,52 \langle P_{\perp} \rangle.$$

Отмеченное в п.2 увеличение угла вылета частиц соответствует увеличению P_{\perp} и $\langle \Delta P_{\perp}^2 \rangle^{1/2}$.

3. При исследовании неупругих столкновений ядер ^{22}Ne с ядрами фотоэмульсии /6/ при импульсе $4,1 \cdot A$ ГэВ/с было найдено 4309 взаимодействий. Из состава ядер фотоэмульсии и сечений следует, что из них около 2400 столкновений было с ядрами серебра и брома. Из этого количества в работе /12/ выделено 243 центральных столкновения, в которых отсутствовали заряженные фрагменты снаряда, т.е. все его протоны испытали неупругое соударение. В этом наборе наблюдались случаи, когда отсутствовали ливневые s-частицы с углами вылета θ от траектории снаряда $\theta \leq 7^\circ$. Вероятность W_i появления в событии i всех s-частиц с углами вылета больше θ_i есть

$$W_i = [1 - \omega(\theta_i)]^n,$$

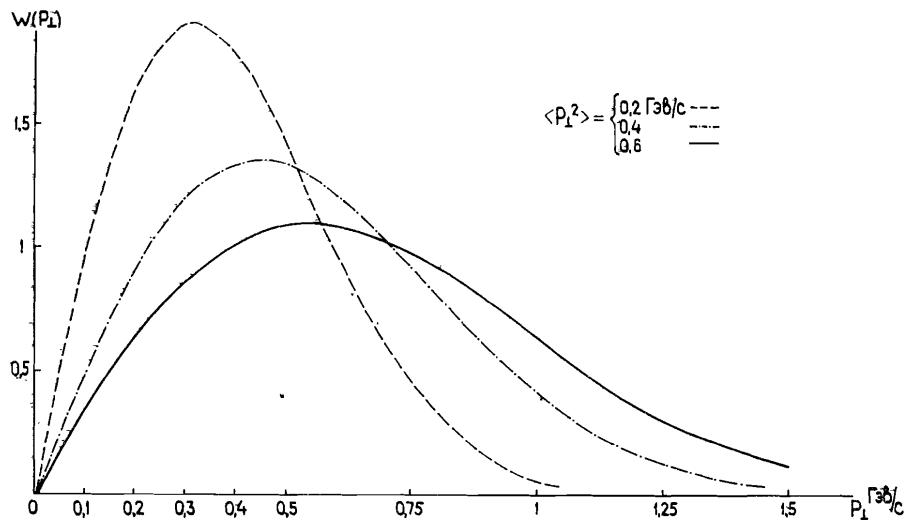


Рис. 2

где n - число v -частиц в событии i . $\omega(\theta_i)$ находится из углового распределения v -частиц во всех 243 центральных столкновениях. Если взять $W_i \leq 5\%$, то этому критерию удовлетворяет 18 случаев; для которых среднее число v -частиц $\langle n_s \rangle = 32 \pm 2$. Используя /2/, получим, что средняя вероятность для этих 18 случаев $\langle W \rangle = 0,025$. Следовательно, ожидаемое число случаев, т.е. фон, составит $\langle W \rangle \cdot 243 = 6$. В предположении пуассоновского распределения со средним 6 для вероятности появления 18 событий получим $\sim 10^{-5}$. Если уменьшить 18 особых событий на 6 фоновых, то их доля составит 0,005 от всех столкновений с ядрами Ag и Br. Из работы /13/ следует, что среднее сечение неупругих столкновений с этими ядрами равно $260 \cdot 10^{-28} \text{ см}^2$, тогда сечение 12 особых случаев $\sigma_{oc} = 1,3 \cdot 10^{-26} \text{ см}^2$. Принимая, что $\sigma_{oc} = \pi \cdot \Delta r_{oc}^2$, где Δr_{oc} есть расстояние между центрами ядер в столкновениях с особыми случаями, получим: $\Delta r_{oc} = 0,64 \text{ фм}$, откуда на основании принципа неопределенности $\langle \Delta P_{\perp}^2 \rangle^{1/2} = 0,32 \text{ ГэВ/с}$, а из /1/ получим

$$\langle P_{\perp} \rangle = \frac{\langle \Delta P_{\perp}^2 \rangle^{1/2}}{0,52} = 0,62 \text{ ГэВ/с} \text{ и } \langle P_{\perp}^2 \rangle = 0,5 \text{ ГэВ}^2/\text{с}^2, \text{ т.е. су-}$$

щественно больше, чем обычное значение $\langle P_{\perp}^2 \rangle = 0,2 \text{ ГэВ}^2/\text{с}^2$. В соответствии с этим и следует ожидать уменьшения доли частиц в области малых P_{\perp} . Это иллюстрирует рис.2, из которого видно, что, например, при $P_{\perp} \leq 0,1 \text{ ГэВ/с}$ замена $\langle P_{\perp}^2 \rangle = 0,2$ на $0,5 \text{ ГэВ}^2/\text{с}^2$ уменьшает долю частиц 0,06 до 0,02. Следовательно, повышается вероятность отсутствия частиц, вылетающих под малыми углами.

Таким образом, рассмотрение, проведенное на основе принципа неопределенности, качественно согласуется с закономерностями, отмеченными в трех исходных пунктах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Stock R. Nucl.Phys., 1985, A434, p.537.
2. Kapusta J. Nucl.Phys., 1984, A418, p.533.
3. Gustafsson H.A. et al. Phys.Rev.Lett., 1984, 52, p.1590.
4. Renford R.E. et al. Phys.Rev.Lett., 1984, 53, p.763.
5. Stocker H. et al. Phys.Rev.Lett., 1980, 44, p.725.
6. Краснов С.А. и др. Краткие сообщения ОИЯИ, № 16-86, Дубна, 1986, с.11.
7. Балдин А.М. и др. ОИЯИ, Р9-5442, Дубна, 1970; ОИЯИ, Р1-5819, Дубна, 1871; ЭЧАЯ, 1977, т.8, с.429.
8. Ставинский В.С. ЭЧАЯ, 1979, т.10, с.929.
9. Бояринов С.В. и др. Препринт ИТЭФ, № 130-86, М., 1986.
10. Akesson T. et al. Proc.Intern. Conf., N.E.Phys.Bari, 1985, p.633.
11. Гейзенберг В. Физические принципы квантовой теории. Гостехиздат, М., 1932.
12. Толстов К.Д. ОИЯИ, Р-1469, Дубна, 1963; ЯФ, 1965, т.1, с.832.
13. Ангелов В. и др. ОИЯИ, Р1-80-473, Дубна, 1980.

Рукопись поступила в издательский отдел
18 августа 1986 года.

Толстов К.Д.

P1-86-464

Неупругие столкновения релятивистских ядер
и принцип неопределенности

На основе принципа неопределенности рассматриваются эффекты, обнаруженные в столкновениях релятивистских ядер. Асимметрия вылета частиц - отскок фрагментов снаряда (bounce-off) и боковой выброс фрагментов мишени (side-splash). Рост поперечных импульсов быстрых частиц с увеличением центральности столкновений. Отсутствие релятивистских частиц в переднем конусе в некоторых случаях полного разрушения сталкивающихся ядер.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1986

Перевод Л.Н. Барабаш

Tolstov K.D.

P1-86-464

Inelastic Collisions of Relativistic Nuclei
and the Uncertainty Principle

The effects observed in relativistic nuclei collisions are considered using the uncertainty principle. The asymmetry of particle emission, i.e. the bounce-off projectile fragments and the side-splash of target fragments, is observed. The transverse momenta of fast particles increase with increasing the collision centrality. No relativistic particles are observed in the forward cone in some cases of the complete destruction of colliding nuclei.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1986