

сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
Дубна

*С343а*

*У-335*

*2/IV-79*

P2 - 12079

*1228/2-79*

В.В.Ужинский, Ч.Цэрэн

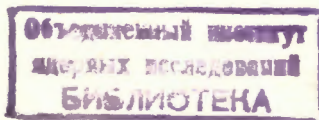
ЯДЕРНО-ЯДЕРНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ  
В ПРИБЛИЖЕНИИ ГЛАУБЕРА

1979

P2 - 12079

В.В.Ужинский,\* Ч.Цэрэн

ЯДЕРНО-ЯДЕРНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ  
В ПРИБЛИЖЕНИИ ГЛАУБЕРА



---

\* ИЯФ АН УзССР

Ужинский В.В., Цэрэн Ч.

P2 - 12079

Ядерно-ядерное взаимодействие в приближении Глаубера

Рассмотрены упругое ядерно-ядерное рассеяние, возбуждение ядер, поправки на конечность атомных номеров.

Приводится конкретная процедура расчета. Проверяется гипотеза факторизации полных сечений.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1979

Uzhisky V.V., Tseren Ch.

P2 - 12079

Nucleus-Nucleus Interaction in the Glauber Approximation

The nucleus-nucleus elastic scattering processes, the nucleus excitation reaction and the correction due to finiteness of atomic numbers are considered. The concrete method of calculation of these processes is given. The hypothesis of the total cross-section factorization is tested.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Вопросы ядерной физики, ядерной химии, ядерной геологии, биомедицины и, наконец, физики космических исследований обусловили быстро растущий интерес к соударениям ядер с ядрами при высоких энергиях. Надо отметить, что ядерно-ядерные взаимодействия с энергией порядка нескольких сот или тысяч МэВ на нуклон являются совершенно новой областью физики высоких энергий, ставшей доступной благодаря созданию пучков релятивистских ионов в Дубне, Сакле и Беркли. Как новая область, она, с одной стороны, характеризуется относительно небольшим объемом экспериментального материала, с другой - недостаточно разработанной теорией этих реакций. Все это позволяет выделить намечающиеся тенденции и дать им краткую характеристику.

Сначала рассмотрим экспериментальную сторону проблемы. Здесь происходит пересечение двух мощных направлений исследований. Первое из них имеет свои корни в изучении взаимодействий ионов при низких энергиях. Поэтому рассматривается все то, что может говорить о ядерной структуре, в частности, выход различных фрагментов как ядра-снаряда <sup>/1-6/</sup>, так ядрамишени <sup>/7-20/</sup>, образование новых изотопов, гипер-<sup>/18/</sup> и изо-ядер и т.д. Второе же является продолжением изучения процессов множественного рождения в адрон-адронных и адрон-ядерных столкновениях. Основное внимание при этом уделяется импульсным и угловым характеристикам <sup>/21-25/</sup>, распределениям по множественности рожденных частиц <sup>/25-28/</sup> и т.д.

Безусловно, невозможно в работе такого объема со всей полнотой перечислить все возможные вопросы, возникающие в их

рамках. Кроме того, выяснение "разумности" постановки вопроса нуждается в предварительном теоретическом анализе. Разумеется, создание всеобъемлющей теории для описания взаимодействий составных систем является исключительно трудной задачей. Однако попытаемся выделить наиболее перспективные и плодотворные, на наш взгляд, теоретические подходы. Естественно, наше мнение не является абсолютным, а отражает существующее положение на данный момент без претензий на полноту обзора.

Наиболее простыми являются борновское приближение и приближения "жестких" /29,30/ и "мягких" /31/ сфер, которые позволяют оценить полные сечения и не в состоянии описать как упругие, так и неупругие процессы. Модель ядерного фейербола /32-38/ статистическая /39-45/ и гидродинамическая /15, 33, 46-53/ модели, модель "когерентной" ядерной трубки /54, 55/ и другие феноменологические модели /22, 56-63/ из-за ограниченной области их применения не могут претендовать на качественное объяснение экспериментальных данных, что в настоящее время вызывает определенные трудности в их рассмотрении /см. например, /37, 64-66/ /. Более разработана модель внутриядерного каскада /67-69/, позволяющая анализировать и получать различные характеристики. Она успешно описывает адрон-ядерное рассеяние при энергиях адрона до  $10 \text{ ГэВ}$  /70/. При еще больших энергиях она входит в противоречие с экспериментом, в чем, по-видимому, сказывается незавершенность модели, неучет многочастичных взаимодействий и, возможно, рождение частиц через промежуточные резонансы. В настоящее время все-таки это - единственная модель, дающая наиболее полное описание. Однако упругие реакции затруднительно рассматривать в рамках ее исходных предположений. Знание же их необходимо для определения полного, неупругого и упругого сечений. Эти величины можно рассчитать в приближении оптического потенциала /71,72/ и в "folding" - модели /73-76/, нуждающихся в исходных значениях параметров, которые могут быть найдены только в сравнении с экспериментом /75, 76/. При этом всегда остается открытым вопрос о справедливости потенциального подхода к ядерно-ядерным взаимодействиям, который отчасти снимается в глауберовском или эйкональном приближении, первоначально полученном в рамках потенциальной теории, но имеющем форму, не зависящую

от потенциала, что позволило применять его для описания высокоэнергетического рассеяния. Отметим, что наибольшее число попыток решить задачу упругого рассеяния было предпринято именно в глауберовском подходе.

Как известно, эйкональное приближение к проблеме рассеяния частиц сложными системами - теория многократного рассеяния /ТМР/, развитая в работах /77-82/, послужила основой для расчета широкого класса процессов адрон-ядерного взаимодействия, которая успешно объясняет экспериментальные данные при промежуточных и высоких энергиях. Формальное применение схемы ТМР к ядерно-ядерному рассеянию не представляет принципиальной сложности, и было осуществлено рядом авторов /83-87/. Основная возникшая на этом пути трудность, долгое время не позволявшая продвинуться вперед, связана с суммированием ряда ТМР. Попытка решить ее "в лоб", предпринятая с использованием предположения о гауссовском распределении плотности вещества в сталкивающихся ядрах, которое позволяет вычислить каждый член ряда ТМР, увенчалась успехом только для рассеяния легких ядер /83-85, 87-99/ где число членов ряда невелико. При переходе же к средним и тяжелым ядрам это число катастрофически растет, кроме того, становится неприменимым приближение гауссовского распределения для плотностей ядер. Поэтому полученные результаты могут претендовать лишь на приближенное описание характеристик ядерно-ядерного рассеяния, точно так же, как и достигнутые в приближении "жесткого" налетающего ядра /100,101/ трактующего ядро-снаряд В как элементарную частицу с эффективной амплитудой ВN-рассеяния.

Другим методом оценки суммы ряда ТМР является переход к оптическому пределу по атомным номерам сталкивающихся ядер. По аналогии с адрон-ядерным рассеянием можно ожидать, что при этом будет заметное упрощение. Действительно, результат работ /102-105/ позволил не только корректно учесть эффекты затенений и перерассеяний в упругом ядерно-ядерном рассеянии, но и трактовать неупругие реакции, в частности, реакции возбуждения и стрипинга, перезарядки и квазиупругого рассеяния и многие другие. По-существу, в них заложены основы количественной теории ядерно-ядерных столкновений.

Многие из возможностей, даваемых этим подходом, еще не реализованы и не разработаны, однако достигнутые резуль-

таты позволяют выделить его из всех других. Учитывая теоретическую сложность подхода, мы сконцентрируем внимание на конечных результатах и практических приложениях. В разделе 2 приведено решение задачи упругого рассеяния. В следующем рассматривается амплитуда возбуждения одного из ядер и поправки на конечность атомных номеров. В 4 разделе проверяется гипотеза факторизации полных сечений и даются формулы для расчета полного, полного упругого и неупругого сечений ядерно-ядерных взаимодействий.

## 2. ОПТИЧЕСКИЙ ПРЕДЕЛ В УПРУГОМ ЯДЕРНО-ЯДЕРНОМ РАССЕЯНИИ

В работах<sup>/102-106/</sup> для амплитуды упругого ядерно-ядерного рассеяния ( $F_{AB \rightarrow AB}(\vec{q})$ ) в оптическом пределе по атомным номерам сталкивающихся ядер /В - ядро-снаряд, А - ядро-мишень/ было получено следующее выражение:

$$F_{AB \rightarrow AB}^{opt}(\vec{q}) = \frac{ip}{2\pi} K(q) \int d^2b [1 - e^{-\chi(b)}] e^{iqb}, \quad /1/$$

где  $p$  - импульс налетающего ядра В,  $\vec{q}$  - переданный ему поперечный импульс,  $K(q) = \exp\left[\frac{q^2}{4}\left(\frac{R_A^2}{A} + \frac{R_B^2}{B}\right)\right]$  - множитель,

связанный с поправками на движение центра масс ядер<sup>/84,85/</sup>,  $R_A, R_B$  - радиусы ядер А и В соответственно.  $\chi(b)$  - фазовая функция, которая дается двойным рядом сверток функций толщин  $T_A$  и  $T_B$ <sup>/102, 103/</sup>, определяемых, как обычно, через одночастичные плотности  $\rho_{A(B)}(r)$ .

$$T_{A(B)}(b) = A(B) \int \rho(\sqrt{b^2 + z^2}) dz \quad /2/$$

$$\int \rho(r) d^3r = 1$$

$$\chi(b) = \frac{2}{\sigma} \int d^2s \sum_{m,n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{m+n}}{m!n!} \rho^{m+n-1} x^m y^n \rho^{m-1}. \quad /3/$$

Здесь введены обозначения

$$x = \frac{\vec{\sigma}}{2} T_A(s) \quad y = \frac{\vec{\sigma}}{2} T_B(b-s)$$

$$\sigma = \sigma(1 - i\rho) \quad \rho = \frac{\text{Re} f_{NN}(0)}{\text{Im} f_{NN}(0)},$$

где  $\sigma$  - полное сечение NN-взаимодействия,  $\rho$  - отношение реальной части амплитуды упругого NN-рассеяния ( $f_{NN}(q)$ ) к мнимой при нулевой передаче.

В них очень просто записываются ранее достигнутые результаты<sup>/85, 100, 101, 107/</sup>. Например, фазовая функция Чжа-Максимона<sup>/85/</sup> дается выражением

$$\chi_{CM}(b) = \frac{2}{\sigma} \int d^2s xy, \quad /4/$$

а в приближении "жесткого" налетающего ядра<sup>/100, 101/</sup> она имеет вид:

$$\chi_{PRA}(b) = \frac{2}{\sigma} \int d^2s (1 - e^{-y}) x. \quad /5/$$

Для недавно полученной В.Франко и Г.К.Вармой<sup>/107/</sup> фазы имеем, что

$$\chi_{FV}(b) = \frac{2}{\sigma} \int d^2s \sum_{\substack{m,n=1 \\ m+n \leq 5}} \frac{(-1)^{m+n}}{m!n!} \rho^{m+n-1} x^m y^n. \quad /6/$$

Как видно, все эти приближения даются учетом только некоторых членов ряда /3/, впервые полученного И.В.Андреевым<sup>/102/</sup>. Для такого ограничения в общем случае нет никакого обоснования, т.к. сходимость ряда /3/ весьма слабая /ряд диагональных элементов  $x^n y^n$  может или сходиться или расходиться в зависимости от значения  $x$  и  $y$ /. Поэтому очень важно иметь замкнутое выражение для суммы ряда /3/, которое было найдено в работах<sup>/104, 105/</sup>.

$$\chi(b) = \frac{2}{\sigma_1} \int d^2 s [z(e^u - 1) + u(e^z - 1) - uz] =$$

$$= \frac{2}{\sigma_1} \int d^2 s [x + y - u - z - uz] = \frac{2}{\sigma_1} \int d^2 s \phi(x, y), \quad /7/$$

где  $u, z$  - решение системы трансцендентных уравнений,

$$\begin{cases} u = x e^{-z} \\ z = y e^{-u} \end{cases} \quad /8/$$

единственное, если  $x$  /или  $y$ / меньше  $e/e$  - основание натурального логарифма/, что выполняется, если  $A$  /или  $B$  / < 64. В этом случае для численного решения системы /8/ можно использовать следующую итерационную процедуру

$$\begin{aligned} u_1 &= x & u_2 &= x e^{-z_1} \dots u_n &= x e^{-z_{n-1}} \\ z_1 &= y & z_2 &= y e^{-u_1} \dots z_n &= y e^{-u_{n-1}}, \end{aligned} \quad /9/$$

которая, как показывают конкретные расчеты, довольно быстро сходится. Для большей экономии счетного времени на ЭВМ желательно параметризовать функции толщин следующим образом:

$$T(b) = c(a_1 + a_2 b^2 + a_3 b^4) e^{-a b^2}. \quad /10/$$

Такая параметризация неплохо описывает функции толщин, вычисляемые с использованием саксон-вудсовского распределения для ядерных плотностей. Параметры  $c, a_1, a_2, a_3, a$  даны в таблице.

Всего изложенного достаточно для определения фазовой функции и амплитуды упругого АВ-рассеяния. Посмотрим, как выражаются через них амплитуды других реакций.

Таблица

Ядро	$a$	$c$	$a_1$	$a_2$	$a_3$
$^4\text{He}$	1	$a/\pi$	4	0	0
$^{12}\text{C}$	0,4	$a/\pi$	20/3	16/3	0
$^{16}\text{O}$	0,34	$a/\pi$	8	8	0
$^{24}\text{Mg}$	0,28	$a/\pi$	168/15	104/15	44/15
$^{28}\text{Si}$	0,275	$a/\pi$	12	8	4
$^{32}\text{S}$	0,27	$a/\pi$	192/15	136/15	68/15
$^{40}\text{Ca}$	0,25	$a/\pi$	16	8	8

### 3. АМПЛИТУДА ВОЗБУЖДЕНИЯ ОДНОГО ИЗ ЯДЕР. ПОПРАВКИ К ОПТИЧЕСКОМУ ПРЕДЕЛУ

Согласно работе /104/, амплитуда возбуждения одночастичного уровня ядра  $A$  связана с функциональной производной амплитуды упругого рассеяния по функции  $T_A$

$$F_{if}(q) = \int \rho_{if}(r) \frac{\delta F_{AB \rightarrow AB}^{\text{opt}}(q)}{\delta T_A(s_1)} d^3 r_1 = \frac{i p}{2\pi} \int d^2 b e^{iqb} \int \rho_{if}(r) \frac{\delta(1 - e^{-\chi(b)})}{\delta T_A(s_1)} d^3 r_1 =$$

$$= \frac{i p}{2\pi} \int d^2 b e^{iqb} e^{-\chi(b)} \int \rho_{if}(r_1) \frac{\delta \chi(b)}{\delta T_A(s_1)} d^3 r_1. \quad /11/$$

Здесь  $\rho_{if}(r)$  - так называемая одночастичная переходная плотность из состояния  $|i\rangle$  в состояние  $|f\rangle$ , а функциональ-

ная производная определяется явной зависимостью фазы /7/ от функции толщин

$$\frac{\delta \chi(b)}{\delta T_A(s_1)} = \frac{\delta}{\delta T_A(s_1)} \frac{2}{\sigma} \int d^2 s \phi(x(s), y(b-s)) = \frac{2}{\sigma} \int d^2 s \frac{\partial \phi(x, y)}{\partial x} \frac{\delta x}{\delta T_A(s_1)} =$$

$$= \int d^2 s \frac{\partial \phi(x, y)}{\partial x} \delta(s - s_1) = \frac{\partial \phi(x(s_1), y(b-s_1))}{\partial x} \quad /12/$$

Используя выражение для суммы ряда /7/, а также дифференцируя систему /8/, легко можно найти производную  $\frac{\partial \Phi}{\partial x}$ :

$$\begin{cases} u = x e^{-z} & u'_x = e^{-z} - u z'_x \\ z = y e^{-u} & z'_x = -z u'_x \end{cases} \quad /13/$$

$$u'_x + z'_x + (uz)'_x = e^{-z}$$

$$\frac{\partial \phi(x, y)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} [x + y - u - z - uz] = 1 - e^{-z} \quad /14/$$

$$x = x(s_1) \quad y = y(b - s_1).$$

Окончательно получим, что амплитуда возбуждения имеет вид

$$F_{if}(q) = \frac{i p}{2\pi} \int d^2 b e^{iqb} e^{-\chi(b)} \int \rho_{if}(r) (1 - e^{-z}) d^3 r_1 \quad /15/$$

Подобным образом находятся поправки на конечность атомных номеров реально взаимодействующих ядер ( $\delta_{B(A)} F(q)$ ). В частности, для поправки порядка  $1/B$  к амплитуде упругого рассеяния  $F_{AB}^{opt}(q)$ , согласно работам /104, 105/, дается соотношение

$$\delta_B F(q) = \frac{1}{2B} \int T_B(s_1) T_B(s_2) \frac{\delta^2 F_{AB}^{opt}(q)}{\delta T_B(s_1) \delta T_B(s_2)} d^2 s_1 d^2 s_2 = \frac{i p}{2\pi} \frac{1}{2B} \int d^2 b e^{iqb} e^{-\chi(b)} \times$$

$$\times \left\{ \frac{\delta \chi(b)}{\delta T_B(s_1)} \frac{\delta \chi(b)}{\delta T_B(s_2)} - \frac{\delta \chi(b)}{\delta T_B(s_1) \delta T_B(s_2)} \right\} = \frac{i p}{4\pi B} \int d^2 b e^{iqb} e^{-\chi(b)} \times$$

$$\times \left\{ \left[ \int d^2 s_1 T_B(s_1) (1 - e^{-u}) \right]^2 + \frac{2}{\sigma} \int d^2 s_1 \frac{u z^2}{1 - uz} \right\}, \quad /16/$$

10

где возникающая вторая производная от фазовой функции определяется как

$$\frac{\delta^2 \chi(b)}{\delta T_B(s_1) \delta T_B(s_2)} = \frac{2}{\sigma} \int d^2 s \frac{\partial^2 \phi(x, y)}{\partial y^2} \frac{\delta y}{\delta T_B(s_1)} \frac{\delta y}{\delta T_B(s_2)} =$$

$$= \frac{\sigma}{2} u'_y e^{-u} \delta(s_1 - s_2) = -\frac{\sigma}{2} \frac{u e^{-u}}{1 - uz} \delta(s_1 - s_2). \quad /17/$$

Аналогично можно записать поправки произвольного порядка. Тем самым знание фазовой функции упругого рассеяния в оптическом пределе по атомным номерам дает возможность рассчитывать как реакции возбуждения, так и поправки на конечность атомных номеров. Функциональные соотношения для других реакций и поправок приведены в работах /104, 105/.

#### 4. ПРОВЕРКА ГИПОТЕЗЫ ФАКТОРИЗАЦИИ ПОЛНЫХ СЕЧЕНИЙ

В качестве одного из приложений описанного выше подхода мы рассчитали полные сечения ядерно-ядерных взаимодействий и подвергли проверке гипотезу факторизации, выдвинутой в физике адрон-адронных столкновений /108-100/. Как известно, в предположении, что адрон-адронное взаимодействие осуществляется посредством обмена одним вакуумным полюсом Померанчука с интерсептом  $a_p(0) = 1$ , были установлены связи между амплитудами различных процессов /111/, которые приводят к следующему соотношению между полными сечениями взаимодействий частиц C, D, E, G.

$$\frac{\sigma_{CD}}{\sigma_{CE}} = \frac{\sigma_{GD}}{\sigma_{GE}} \quad /18/$$

В частном случае адрон-ядерных и ядерно-ядерных столкновений имеем:

$$\frac{\sigma_{AA}^2}{\sigma_{NA} \sigma_{NN}} = 1, \quad /19/$$

11

$$\frac{\sigma_{AB}^2}{\sigma_{AA} \sigma_{BB}} = 1. \quad /20/$$

Если  $\sigma_{NA} \sim A^{2/3}$ , то  $\sigma_{AA}$ , согласно /19/, должно быть пропорционально  $A^{4/3}$  /112/.

Используя выражение /1/ и оптическую теорему, определим полное сечение ядерно-ядерного взаимодействия

$$\sigma_{AA} = \frac{4\pi}{p} \text{Im} F_{AB}^{\text{opt}}(0) = 2 \int d^2 b (1 - e^{-\chi(b)}), \quad /21/$$

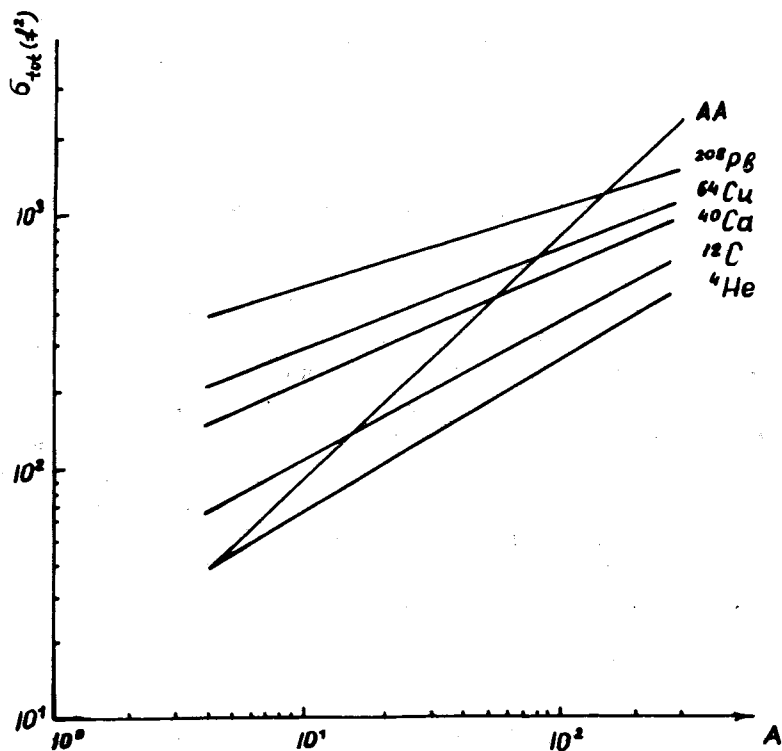


Рис.1. Полные сечения ядерно-ядерных взаимодействий в зависимости от атомных номеров сталкивающихся ядер, кривые - расчет по формуле /21/, налетающие ядра указаны на картинке. Кривая AA представляет A-зависимость  $\sigma_{AA}$ ;  $\sigma_{NN} = 45$  мб.

а интегрируя квадрат модуля амплитуды упругого рассеяния, найдем полное упругое сечение.

$$\sigma_{AB}^{\text{el}} = \int d^2 q |F_{AB}^{\text{opt}}(q)|^2 = \int d^2 b \{ 1 - 2 \text{Re} e^{-\chi(b)} + e^{-2 \text{Re} \chi(b)} \}. \quad /22/$$

Тогда сечение всех неупругих процессов /сечение реакции/ равно

$$\sigma_{AB}^{\text{R}} = \sigma_{AB} - \sigma_{AB}^{\text{el}} = \int d^2 b [ 1 - e^{-2 \text{Re} \chi(b)} ]. \quad /23/$$

Расчеты полных сечений по формуле /21/ представлены на рис. 1. Как видно,  $\sigma_{AA}$  имеет показатель A-зависимости

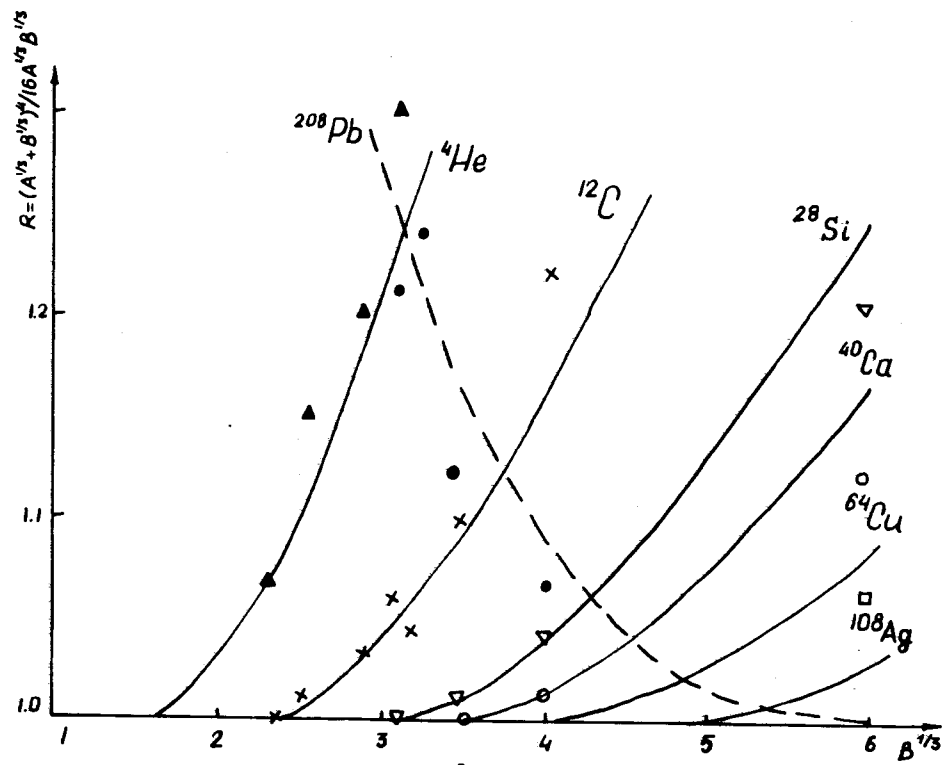


Рис.2. Отношение  $R = \frac{(\sigma_{AB}^2)}{\sigma_{AA} \sigma_{BB}}$  для разных сталкивающихся ядер, указанных на рисунке. Точки-расчет по формуле /21/, нарисованные кривые рассчитаны в модели жестких сфер.



примерно единицу, а не  $4/3$ , что свидетельствует не в пользу гипотезы факторизации. О том же говорят и расчеты  $R = \frac{(\sigma_{AB}^R)^2}{\sigma_{AA}^R \sigma_{BB}^R}$

/рис. 2/, согласующиеся с результатами работ /30,113,114/, где с использованием фазы /4/ было найдено, что факторизация имеет место в пределах 20%, когда радиусы сталкивающихся ядер отличаются не более, чем на 50%. Надо заметить, что многократные перерасеяния и ветвления нарушают выполнение факторизации /115/. Однако отклонение от единицы еще не говорит в пользу малости эффектов перерасеяний, которые больше всего сказываются на дифференциальных характеристиках. Резюмируя все вышесказанное, приходим к заключению о том, что в ядерно-ядерном взаимодействии факторизация в общем не имеет места. Конечно, окончательное слово в этом вопросе принадлежит эксперименту, сравнение с которым проведено в работе /104/, а также на рис. 3.

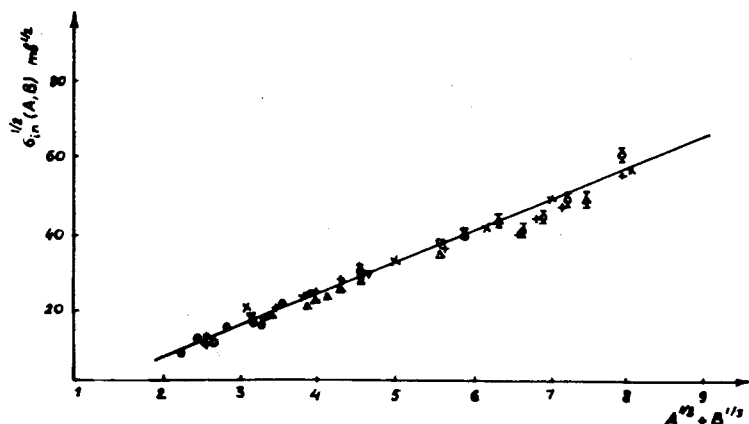


Рис. 3. Полное неупругое сечение для разных взаимодействующих ядер. Экспериментальные точки взяты из работ /116-119/. Кривая - расчет по формуле /23/.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Корректный переход к оптическому пределу по атомным номерам сталкивающихся ядер позволил решить не только

задачу упругого ядерно-ядерного рассеяния, но и рассмотреть некоторые неупругие реакции.

Авторы благодарят Л.И.Лapidуса, А.В.Тарасова, А.С.Пака, Ж.Ж.Мусульманбекова за полезные дискуссии и интерес к работе.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Heckman H.H. et al. *Phys.Rev.Lett.*, 1975, 35, p. 152.
2. Cheshire D.L. et al. *Phys.Rev.* 1974, C10, p. 25.
3. Lindstrom P.J. et al. *Report LBL-3650*, 1975.
4. Price P.B., Stevenson J. *Phys.Rev.Lett.*, 1975, 34, p. 409.
5. Greiner D.E. et al. *Phys.Rev.Lett.* 1975, 35, p. 152.
6. Heckman H.H., Lindstrom P.J. *Phys.Rev.Lett.*, 1976, 37, p. 56.
7. Lestringuer J. et al. *Phys.Lett.*, 1971, 36B, p. 331.
8. Raisbeck G.M., Lestringuer J., Yion T. *Phys.Rev.*, 1972, C6, p. 685.
9. Sullivan J.D. et al. *Phys. Rev.Lett.*, 1973, 30, p. 136.
10. Shaski L., Merker M., Shen B.S.P. *Phys.Rev.Lett.*, 1973, 30, p. 51.
11. Cumming J.B. et al. *Phys.Rev.*, 1974, C10, p. 739.
12. Rudy C.R., Porile N.T. *Phys.Lett.*, 1975, 59B, p. 240.
13. Raisbeck G.M., Yion T. *Phys.Rev.Lett.*, 1975, 35, p. 155.
14. Paskanzer et al. *Phys.Rev.Lett.*, 1975, 35, p. 1701.
15. Crawford H.J. et al. *Phys.Rev.Lett.*, 1975, 34, p. 329.
16. Guthrod H.H. et al. *Phys.Rev.Lett.*, 1976, 37, p. 667.
17. Frankel K., Stevenson J. *Phys.Rev.*, 1976, C14, p. 1455.
18. Nield K.J. et al. *Phys.Rev.*, 1976, C13, p. 1263.
19. Loveland W. et al. *Phys.Lett.*, 1977, 69B, p. 284.
20. Stevenson J., Price P.B., Frankel K. *Phys.Rev.Lett.*, 1977, 38, p. 1125.
21. Балдин А.М. и др. *ЯФ*, 1973, 18, с. 179.
22. Papp J. et al. *Phys.Rev.Lett.*, 1975, 34, p. 601.
23. McNulty P.J. et al. *Phys.Rev.Lett.*, 1977, 38, p. 1519.
24. Kullberg R., Oskarsson A., Otterlung I. *Phys.Rev.Lett.*, 1978, 40, p. 289.
25. Fung Y. et al. *Phys.Rev.Lett.*, 1978, 40, p. 292.
26. Аникина М.Х. и др. *ОИЯИ*, 1-9280, Дубна, 1975.
27. Baldin A.M. In: *Proc. of the Seventh Int. Conf. on High-Energy Physics and Nuclear Structure, Zurich, Switzerland 1977*, edited by M.P.Locker (Birkhauser-Verlag, Basil and Stuttgart, 1977).
28. Аникина М.Х. и др. *ЯФ*, 1978, 27, с. 724.

29. Fishbane P.M., Trefil J.S. *Phys.Rev.*, 1974, D10, p. 3128.
30. Wang W.L. *Phys.Lett.*, 1974, 52B, p. 143.
31. Karal P. *Phys.Rev.*, 1975, C11, p. 1205.
32. Bowman J.B. et al. *Report LBL-2908*, 1973.
33. Chapline G.F. et al. *Phys.Rev.*, 1973, D8, p. 4302.
34. Hafflied R., Karant Y. *Report LBL-50-75*, 1975.
35. Westfall G.C. et al. *Phys.Rev.Lett.*, 1976, 37, p. 1202.
36. Gosset J. et al. *Phys.Rev.*, 1977, C16, p. 629.
37. Lovelang W. et al. *Phys.Lett.*, 1977, 69B, p. 284.
38. Kapusta J.I. *Report LBL-6504*, 1977; *Phys.Rev.*, 1977, C15, p. 1580; 1977, C16, p. 1493.
39. Feshbach H., Huang K. *Phys.Lett.*, 1973, 47B, p. 300.
40. Goldhaber A.S. *Phys.Lett.*, 1974, 53B., p. 306.
41. Lukyanov V.K., Titov A.I. *Phys.Lett.*, 1975, 57B, p. 10.
42. Kitazoe Y., Sano M., Toki H. *Lett.Nuovo Cim.*, 1975, 13, p. 139.
43. Hufner J. et al. *Phys.Rev.*, 1975, C12, p. 1888.
44. Abul-Magd A., Hufner J., Schurmann B. *Phys.Lett.*, 1976, 60B, p. 327.
45. Otto R. et al. *Phys.Rev.Lett.*, 1976, 36, p. 135.
46. Glassgold A.E., Heckratte W., Wapstra K.M. *Ann of Phys.*, 1959, 6, p. 1.
47. Wong C.Y., Welton T.A. *Phys.Lett.*, 1974, 49B, p. 243.
48. Scheid W., Muller H., Greiner W. *Phys.Rev.Lett.*, 1974, 32, p. 741.
49. Amsden A.A. et al. *Phys.Rev.Lett.*, 1975, 35, p. 905.
50. Sobel M.I. et al. *Nucl.Phys.*, 1975, A251, p. 502.
51. Bertsch G.F. *Phys.Rev.Lett.*, 1975, 34, p. 697.
52. Jakobsson B., Kullberg R., Otterlung I. *Nucl. Phys.*, 1977, A276, p. 523.
53. Baumgart H.G. et al. *Z.Phys.*, 1975, A237, p. 359.
54. Berlag G. et al. *Phys.Rev.*, 1976, D13, p. 161.
55. Afek Y. et al. *Phys.Rev.Lett.*, 1978, 41, p. 849.
56. Cocconi G. *Nuovo Cim.*, 1968, 57A, p. 837.
57. Artry X., Yodh G.B. *Phys.Lett.*, 1972, 40B, p. 43.
58. Pruess K., Greiner W. *Phys.Lett.*, 1970, 33B, p. 197.
59. Bialas A., Czyz W. *Phys.Lett.*, 1975, 58B, p. 325.
60. Bialas A., Bleszynsky M., Czyz W. *Nucl.Phys.*, 1976, B111, p. 461.
61. Jackson D.F. *Phys.Lett.*, 1977, 71B, p. 57.
62. Kooni S.E. *Phys.Rev.Lett.*, 1977, 39, p. 680.
63. Schmidt I.A., Blankenbecler R. *Phys.Rev.*, 1977, D15, p. 3321.
64. Басова Е.С. и др. "Письма в ЖЭТФ", 1976, 24, с. 257.
65. Иванюк М.Ю. и др. ЯФ, 1977, 25, с. 1293.
66. Azimov S.A. et al. *Phys.Lett.*, 1978, 73B, p. 339.
67. Вихров А.И. и др. ЯФ, 1970, 11, с. 36.
68. Барашенков В.С., Тонеев В.Д. "Взаимодействие высокоэнергичных частиц и атомных ядер с ядрами", Атомиздат, М., 1972.
69. Гудима К.К., Тонеев В.Д. ЯФ, 1978, 27, с. 658.
70. Барашенков В.С. УФН, 1973, 109, с. 91.
71. Donnelly T.W., Dubach J., Walecka J.D. *Nucl.Phys.*, 1974, A232, p. 355.
72. Dymarz R., Malecki A. *Report IP-1021/PH*, 1978, Krakow.
73. Vary J.P., Dover C.B. *Phys.Rev.Lett.*, 1973, 31, p. 1510.
74. Wang W.L., Lipes R.G. *Phys.Rev.*, 1974, C9, p. 814.
75. Kirzon Z., Dar A. *Nucl.Phys.*, 1975, A237, p. 319.
76. Vitturi A., Zardi F. *Lett.Nuovo Cim.*, 1977, 20, No. 7, p. 640.
77. Glauber R.J. In: *High-Energy Physics and Nuclear Structure. Proc. of 2nd Int. Conf. Rehovoth*, 1967, ed. G.Alexander, North-Holland, Amsterdam, 1967, p. 311.
78. Glauber R.J. In: *Lectures in Theoretical Physics. ed. W.E.Brittin et al. v. 1*, Inter. Science Publishers, N.Y., 1959, p. 315.
79. Glauber R.J., Matthiae G. *Nucl.Phys.*, 1970, B21, p. 135.
80. Глаубер Р. УФН, 1971, 103, с. 641.
81. Drell S.P., Trefil J.S. *Phys.Rev.Lett.*, 1966, 16, p. 832.
82. Formanek J., Trefil J.S. *Nucl.Phys.*, 1967, 63, p. 155. 1968, B4, p. 165.
83. Franco V. *Phys.Rev.*, 1968, 175, p. 1376.
84. Kofoed-Hansen O. *Nuovo Cim.*, 1969, 60A, p. 621.
85. Czyz W., Maximon L.C. *Ann. of Phys. (N.Y.)*, 1969, 52, p. 59.
86. Formanek J. *Nucl.Phys.*, 1969, B12, p. 441.
87. Kanada H., Sakoi K., Yasuno M. *Prog.Theor.Phys.*, 1971, 46, p. 1071.
88. Zamick L. *Ann. of Phys. (N.Y.)*, 1963, 21, p. 550.
89. Goshaw A.T. et al. *Phys.Rev.Lett.*, 1969, 23, p. 990.
90. Harrington D.R., Pagnamenta A. *Phys.Rev.*, 1969, 184, p. 1908.
91. Kofoed -Hansen O. *Nucl.Phys.*, 1969, B111, p. 455.
92. Alberi G. et al. *Lett.Nuovo Cim.*, 1970, 3, p. 108.
93. Alberi G. et al. *Nucl.Phys.*, 1970, B17, p. 621.
94. Czyz W., Maximon L.C. *Ann. of Phys. (N.Y.)*, 1970, 60, p. 484.
95. Faldt G. *Phys.Rev.*, 1970, D2, p. 846.
96. Faldt G., Pilkun H. *Ann. of Phys. (N.Y.)*, 1970, 58, p. 454.
97. Mullensiefen A. *Nucl.Phys.*, 1971, B28, p. 368.
98. Tikon A. *Nucl.Phys.*, 1972, B46, p. 141.

99. Fishbane P.M., Trefil J.S. *Phys.Rev.Lett.*, 1974, 32, p. 396; *Phys.Rev.*, 1974, D10, p. 3005.
100. Alkhasov G.D. et al. *Nucl.Phys.*, 1977, A280, p. 365.
101. Барашенков В.С., Мусульманбеков Ж.Ж. ОИЯИ, P2-11453, Дубна, 1978.
102. Andreev I.V., Lebedev P.N. *Physical Institute, Preprint No. 92, M.*, 1976.
103. Андреев И.В., Чернов А.В. Препринт ФИАН, 1977, № 190, Москва.
104. Пак А.С. и др. "Письма в ЖЭТФ", 1978, 28, с. 314.
105. Pak A.S. et al. *JINR, E2-11939, Dubna*, 1978.
106. Пак А.С., Ужинский В.В., Цэрэн Ч. ОИЯИ, P2-12066, Дубна, 1979.
107. Franco V., Varma G.K. *Phys.Rev.*, 1978, C18, p. 349.
108. Грибов В.Н., Померанчук И.Я. ЖЭТФ, 1962, 42, с. 1141.
109. Gribov V.N., Pomernanchuk I.Ya. *Phys.Rev.Lett.*, 1962, 8, p. 343.
110. Gell-Mann M. *Phys.Rev.Lett.*, 1962, 8, p. 263.
111. Грибов В.Н. ЖЭТФ, 1962, 41, с. 1961.
112. Грибов В.Н. ЯФ, 1969, с. 640.
113. Barshay S., Dover C.B., Vary J.P. *Phys.Lett.*, 1974, 51B, p. 5.
114. Barshay S., Dover C.B., Vary J.P. *Phys.Rev.*, 1975, C11, p. 360.
115. Rimplin J., Hane C.L. *Phys.Rev.Lett.*, 1974, 32, p. 963.
116. Бокова Л.Н. и др. ОИЯИ, P1-9364, Дубна, 1975.
117. Аникина М.Х. и др. ОИЯИ, P1-10592, Дубна, 1977.
118. Аблеев В.Г. и др. ОИЯИ, P1-10565, Дубна, 1977.
119. Jaros J.A. et al. *Preprint LBL-3849, Berkeley*, 1975.

Рукопись поступила в издательский отдел  
13 декабря 1978 года.