СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
Дубна

Р2 - 6423

В.С.Барашенков, Э.С.Гаврилов, С.М.Елисеев

ОБ ОДНОМ ПРИБЛИЖЕННОМ МЕТОДЕ РАСЧЕТА ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ БЫСТРЫХ ИОНОВ С ЯДРАМИ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

1972

P2 - 6423

В.С.Барашенков, Э.С.Гаврилов,* С.М.Елисеев

ОБ ОДНОМ ПРИБЛИЖЕННОМ МЕТОДЕ РАСЧЕТА ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ БЫСТРЫХ ИОНОВ С ЯДРАМИ

* Московский государственный университет

В настоящее время теория Глаубера является фактически единственным методом, позволяющим вычислять сечения взаимодействий двух ядер без использования феноменологических подгоночных параметров. Однако, будучи связанными с вычислением сложных многократных интегралов, подобные расчеты весьма трудоемки и на практике удается довести их до конца лишь в некоторых специальных случаях.

Можно было бы существенно упростить вычисления, если считать, что столкновение двух ядер происходит таким образом, что одно из этих ядер как единое целое взаимодействует с отдельными нуклонами другого ядра. Сечение взаимодействия ядер выражается в этом случае через амплитуду нуклон-ядерного рассеяния $A_{\text{ня}}(q)$:

$$A_{AB}(q) = \frac{i}{2\pi\lambda\!\!\!^{-}} \int d^2\vec{b}\, e^{i\vec{q}\vec{b}}\, \Phi_A^*(\vec{r}_{A1},\ldots,\vec{r}_{AA})\{1 - \prod_{k=1}^{A}[1-\Gamma_{\text{ня}}(\vec{b}-\vec{s}_{Ak})]\}\times$$
$$\times\,\Phi_A(\vec{r}_{A1},\ldots,\vec{r}_{AA})\prod_{n=1}^{A} d^3\vec{r}_{An} \qquad (1)$$

$$\Gamma_{\text{ня}}(\vec{b}) = \frac{\lambda\!\!\!^{-}}{2\pi i}\int e^{-i\vec{q}\vec{b}}\, A_{\text{ня}}(q)\, d^2\vec{q}.$$

Здесь $\Gamma_{\text{ня}}(\vec{b})$ – профилирующая функция взаимодействия нуклона ядра A с ядром B, все остальные обозначения стандартные (см., например, обзор /1/). Амплитуду $A_{\text{ня}}(q)$, в свою очередь, с помощью соотношения, аналогичного (1),можно выразить через амплитуду нуклон-нуклонного рассеяния. Окончательное выражение для $A_{AB}(q)$ лишь видом профилирующей функции $\Gamma_{AB}(\vec{b})$ отличается от известной формулы Глаубера:

$$\Gamma_{AB}(\vec{b}) = 1 - \int \prod_{k=1}^{A} d^2\vec{s}_{Ak}\, \rho_A(s_{Ak}) \{ \prod_{i=1}^{A} \int d^2\vec{s}_B\, \rho_B'(s_B) [1 - \Gamma_{\text{нн}}(\vec{b} - \vec{s}_{Ai} + \vec{s}_B)] \}^B \quad (2)$$

$$\Gamma_{AB}(\vec{b})_{\text{гл}} = 1 - \int \prod_{k=1}^{A} d^2\vec{s}_{Ak}\, \rho_A(s_{Ak}) \{ \int d^2\vec{s}_B\, \rho_B(s_B) \prod_{i=1}^{A} [1 - \Gamma_{\text{нн}}(\vec{b} - \vec{s}_{Ai} + \vec{s}_B)] \}^B, \quad (3)$$

где

$$\Gamma_{\text{нн}}(\vec{x}) = [\sigma_t (1 - i\alpha)/4\pi\beta] \exp(-x^2/2\beta)$$

– нуклон-нуклонная профилирующая функция (мы предположили, что ядерные плотности факторизуются).

Из сопоставления выражений (2) и (3) следует, что рассматриваемым приближением можно пользоваться, когда ядро B значительно меньше ядра A, т.к. в этом случае при интегрировании по переменной $\vec{s}_B$ относительно медленно изменяющиеся функции $[1 - \Gamma_{\text{нн}}]$ можно по теореме о среднем значении вынести за знак интеграла в точке $\vec{s}_B \approx 0$ и выражения для $\Gamma_{AB}(b)$ и $\Gamma_{AB}(b)_{\text{гл}}$ приобретают один и тот же вид.

В частности, для гауссовских плотностей $\rho(s)$, когда все интегралы могут быть вычислены аналитически

$$A_{AB}(q) = \frac{i}{4\pi\lambda} \exp(\frac{q^2 R_A^2}{4A}) \{ AB\,\sigma_t (1 - i\alpha) \exp[-\frac{q^2}{4}(R_A^2 + R_B^2(1 - 1/B) + 2\beta)] -$$

$$- \frac{A!}{2!(A-2)!} [\frac{B!}{(B-1)!}]^2 \frac{[\sigma_t (1 - i\alpha)]^2}{4\pi[R_A^2 + R_B^2(1 + 1/B) + 2\beta]} \exp[-\frac{q^2}{8}(R_A^2 + R_B^2(1 - 1/B) + 2\beta)] - \quad (4)$$

$$- A \frac{B!}{2!(B-2)!} \frac{[\sigma_t (1 - i\alpha)]^2}{4\pi[R_B^2(1 - 2/B) + 2\beta]} \exp[-\frac{q^2}{8}(2R_A^2 + R_B^2(1 - 2/B) + 2\beta)] + \dots \}$$

(здесь R_A и R_B –радиусы ядер; для простоты мы выписали лишь члены, относящиеся к одно- и двукратным столкновениям). Легко видеть, что если $R_B \ll R_A$, то это выражение переходит в соответствующее выражение теории Глаубера x/.

$$A_{AB}(q)_{\text{гл}} = \frac{i}{4\pi\lambda} \exp\left(\frac{q^2 R_A^2}{4A} + \frac{q^2 R_B^2}{4B}\right)\Big\{AB\sigma_t(1-i\alpha)\exp\left[-\frac{q^2}{4}(R_A^2+R_B^2+2\beta)\right] -$$

$$-\frac{A!\,B!}{2!(A-2)!(B-2)!}\,\frac{[\sigma_t(1-i\alpha)]^2}{4\pi(R_A^2+R_B^2+2\beta)}\exp\left[-\frac{q^2}{8}(R_A^2+R_B^2+2\beta)\right] -$$

$$-A\frac{B!}{2!(B-2)!}\,\frac{[\sigma_t(1-i\alpha)]^2}{4\pi(R_B^2+2\beta)}\exp\left[-\frac{q^2}{8}(2R_A^2+R_B^2+2\beta)\right] - \tag{5}$$

$$-B\frac{A!}{2!(A-2)!}\,\frac{[\sigma_t(1-i\alpha)]^2}{4\pi(R_A^2+2\beta)}\exp\left[-\frac{q^2}{8}(R_A^2+2R_B^2+2\beta)\right] + \ldots\Big\}.$$

Можно думать, что приближение (1), (2) будет особенно хорошо описывать взаимодействие α + ядро, поскольку размеры α –частицы мало отличаются от размеров нуклона. Из рис. 1 видно, что расчетные значения среднего пробега α –частиц в фотоэмульсии действительно хорошо согласуются с известными экспериментальными данными. (Следует, однако, иметь в виду, что экспериментальные ошибки пока еще весьма велики).

---

x/ В импульсном приближении выражения (4) и (5) совпадают при любых значениях R_A и R_B, однако точность этого приближения весьма незначительна.

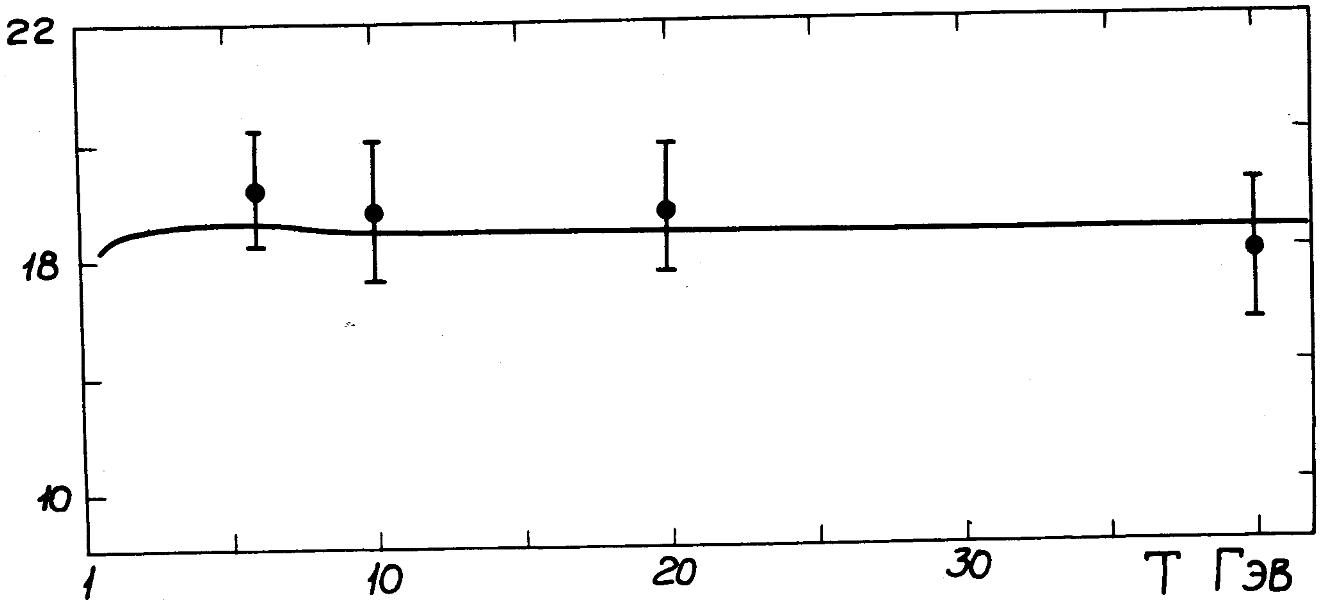

Рис. 1. Средний свободный пробег α -частиц до неупругого взаимодействия в фотоэмульсии L_{in} (см.). Кривая - расчет, экспериментальные точки взяты из работ /4-6/.

Поскольку в основе рассматриваемого приближения лежит глауберовский расчет нуклон-ядерных взаимодействий, применимый в области энергий, больших нескольких сотен Мэв /2/, это ограничение остается, вообще говоря, и для формул (1), (2): энергия налетающего ядра в лабораторной системе координат $T \gtrapprox$ (200 - 300) Мэв/нуклон. Поскольку, однако, взаимодействие двух ядер характеризуется сильным поглощением, основной вклад дают периферические столкновения, где требования на применимость приближения ослабляются, поэтому не исключено, что формулы (1), (2) окажутся применимыми и при значительно меньших энергиях. Этот вопрос требует еще изучения.

Глауберовское выражение (3) применимо лишь при существенно больших энергиях налетающего ядра, чем формулы (1), (2).

Литература

1. В.С. Барашенков, В.Д. Тонеев. УФН, 100, 42 (1970).
2. С.М. Елисеев. Acta Phys. Polon., B1, 83 (1970).
3. C.J.Waddington. Phil. Mag., 45, 1312 (1956).
4. E.Lohrmann, M.W.Teucher. Phis.Rev., 115, 636 (1959).
5. F.F.Hanny. Helv.Phys.Acta., 29, 281 (1959).
6. M.M.Shapiro, B.Stiller, R.W.O'Dell. Bull.Amer.Phys. Soc., 1, 319 (1956).

Рукопись поступила в издательский отдел
27 апреля 1972 года.

P2 - 6423

В.С.Барашенков, Э.С.Гаврилов,* С.М.Елисеев

ОБ ОДНОМ ПРИБЛИЖЕННОМ МЕТОДЕ РАСЧЕТА ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ БЫСТРЫХ ИОНОВ С ЯДРАМИ

* Московский государственный университет