

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ РЕЗОНАНСЫ В УПРУГОМ РАССЕЯНИИ АНТИПРОТОНОВ НА ЯДРАХ

М.Б. Жалов, Л.Н. Савушкин

В настоящей работе выполнено исследование потенциальных резонансов в антипротон-ядерном рассеянии. Расчеты выполнены для ядер ^{12}C , ^{16}O , ^{40}Ca , ^{90}Zr , ^{208}Pb . Показано наличие резонансной структуры в силовой функции упругого рассеяния на большие углы и высокая чувствительность резонансного эффекта к выбору параметров потенциала. Величина резонансного сечения убывает с ростом A .

В настоящей работе проведено детальное исследование потенциальных резонансов, проявление которых в упругом антипротон-ядерном рассеянии на большие углы недавно было предсказано в работе ¹. Отметим, что интерес к изучению резонансных явлений при взаимодействии антипротонов с ядрами был вызван предсказанием ^{2,3} возможности существования резонансов в $N\bar{N}$ системе и их проявления при рассеянии антипротонов на ядрах.

В сравнении с протон-ядерным рассеянием взаимодействие антипротонов с ядрами имеет ряд специфических особенностей, которые могут привести к возникновению потенциальных резонансов при сравнительно высоких энергиях налетающих частиц $E > 10$ МэВ. В первую очередь это аномально большая глубина оптического потенциала $U(r) = V(r) + iW(r)$ для антипротонов. Мезонная структура его вещественной части исследовалась в ⁴ (см. также ⁵), где $V(r)$ построен сверткой $N\bar{N}$ потенциалов однобозонного обмена с распределением плотности нуклонов в ядре. Расчеты, проведенные в ⁴, показали, что $V(r)$ имеет глубину 500 – 600 МэВ (среднее значение $V(0) = -550$ МэВ использовано в данных расчетах), а спин-орбитальное взаимодействие примерно в 30 раз слабее, чем в нуклон-ядерном взаимодействии. По последней причине спин-орбитальная связь в данной работе не учитывалась. Так как радиус $N\bar{N}$ взаимодействия в мезонной теории ядерных сил определяется комптоновской длиной волны мезонов обмена, то параметры формы вещественной части оптического потенциала (радиус R и диффузность a) отличаются от соответствующих параметров, характеризующих распределение плотности нуклонов. В частности: $R_V = R + \Delta$, где среднее значение $\Delta = 0,17$ Ф, использовано в данной работе для всех ядер.

Из-за аннигиляционного взаимодействия антипротонов с ядерными нуклонами большую глубину может иметь и мнимая $W(r)$ часть оптического потенциала. Величина $W(0)$ в настоящее время не определена достаточно надежно; исследование ширин антипротонных атомов дают значение в пределах 100 – 200 МэВ ⁶. Ввиду малости радиуса аннигиляционного взаимодействия (величина порядка $1/M$, M – масса нуклона) можно ожидать, что радиус R_W и диффузность a_W мнимой части оптического потенциала будут совпадать с параметрами распределения ядерной плотности. В настоящей работе расчеты проведены для ядер: ^{12}C , ^{16}O , ^{40}Ca , ^{90}Zr и ^{208}Pb . Сечение рассеяния рассчитывалось методом парциальных волн (используемая программа ⁷ позволяет суммирование до $l \leq 200$). Оптический потенциал выбран в виде

$$U(r) = V \left[1 + \exp \left\{ \frac{r - r_V A^{1/3}}{a_V} \right\} \right]^{-1} + iW \left[1 + \exp \left\{ \frac{r - r_W A^{1/3}}{a_W} \right\} \right]^{-1}.$$

Результаты расчетов приведены на рис. 1 – рис. 3, где указаны все использованные значения параметров.

Силовая функция рассеяния на угол 180° (рис. 1 – рис. 2) рассчитана для энергий антипротонов $E < 100$ МэВ, что соответствует переданным импульсам $q < 5$ Ф⁻¹, характерным для глубин оптического потенциала 500 – 600 МэВ. При более высоких энергиях налетающих антипротонов, по-видимому, необходим учет двухчастичных короткодействующих

корреляций при рассмотрении рассеяния назад. Как видно из представленных результатов, силовая функция имеет характерную резонансную структуру. Анализ угловых распределений при резонансных энергиях антипротонов показывает значительный рост (примерно на порядок) сечения рассеяния на большие углы, что отличает резонансное рассеяние от обычной дифракционной картины.

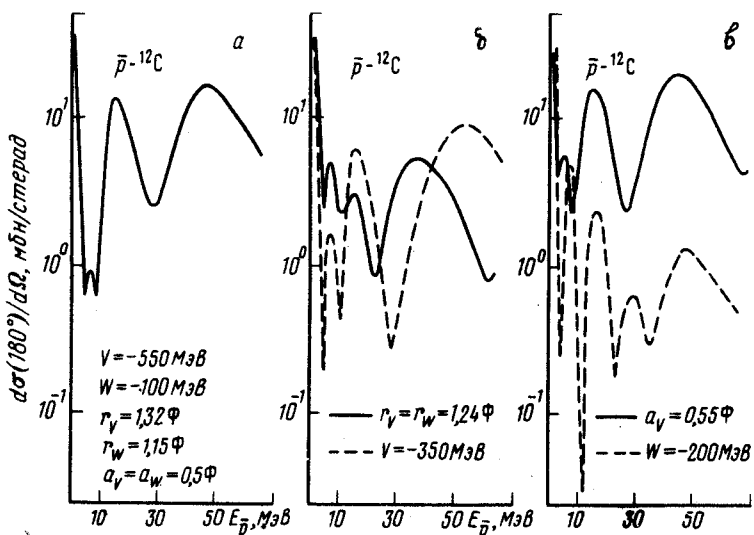


Рис. 1. *a* – Рассчитанная силовая функция упругого рассеяния антипротонов на угол 180° ядром ^{12}C . На рис. *б* и *в* – указаны только те параметры, которые варьировались по отношению к набору параметров на рис. *а*

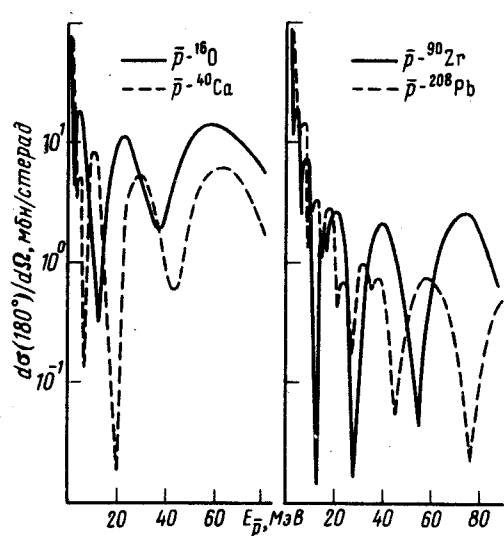


Рис. 2

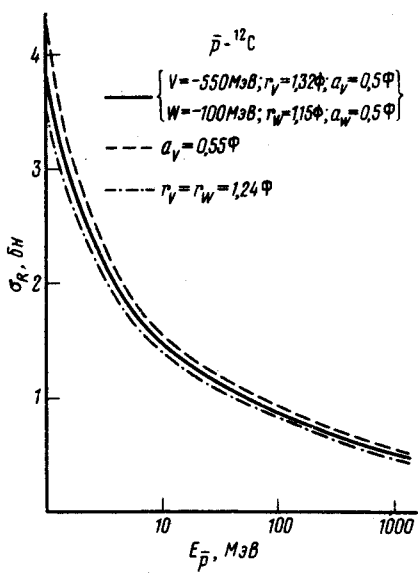


Рис. 3

Рис. 2. Силовая функция упругого рассеяния антипротонов на угол 180° ядрами ^{16}O , ^{40}Ca , ^{90}Zr и ^{208}Pb . Исползованные в расчетах параметры оптического потенциала приведены на рис. 1, *а*

Рис. 3. Рассчитанное полное сечение реакции при рассеянии антипротонов ядром ^{12}C

Основной причиной возникновения резонансов является сильное притяжение в вещественной компоненте оптического потенциала, что приводит к захвату антипротонов, их орбитированию вокруг ядра с последующим распадом резонансной системы. Как видно из рис. 1, резонансный эффект усиливается, если $R_V > R_W$ или $a_V > a_W$. В этих условиях возникает своеобразная антипротонная "ловушка"¹. В то же время увеличение глубины мнимой части оптического потенциала от 100 до 200 МэВ приводит к падению сечения рассеяния назад примерно на порядок, хотя резонансная картина еще сохраняется. Как отме-

чалось в ¹, для исчезновения резонансов необходимо иметь $R_V < R_W$, $a_V < a_W$ и очень сильное поглощение.

Расчеты показывают, что при использованных в данной работе значениях параметров оптического потенциала резонансный характер силовой функции рассеяния назад наблюдается для всех рассмотренных ядер, но ее величина уменьшается с ростом числа нуклонов в ядре. Такая A -зависимость отражает поведение ядерных формфакторов $F(q)$ при больших переданных импульсах: для прямоугольного распределения плотности вещества в ядре отношение формфакторов для двух ядер обратно пропорционально отношению квадратов радиусов этих ядер.

Так как упругое рассеяние назад определяется высокоимпульсными компонентами ядерного формфактора даже при сравнительно низких энергиях налетающих антипротонов, то релятивистское описание этого процесса представляется более оправданным.

В работе рассчитано также полное сечение реакции σ_R как функции энергии антипротонов (рис. 3). Эта величина слабо изменяется при варьировании параметров оптического потенциала. С другой стороны, резонансная структура силовой функции рассеяния на 180° существенно зависит от выбора параметров V , W , r_V , r_W , a_V , a_W , а сила спин-орбитального взаимодействия антипротонов с ядрами определяет¹ поляризацию вылетающих назад антипротонов.

Таким образом, экспериментальное исследование упругого рассеяния антипротонов на большие углы позволяет определить реалистичные значения параметров оптического потенциала, что важно для понимания процесса взаимодействия антипротонов с ядрами.

Авторы считают приятным долгом поблагодарить А.Б.Гриднева за полезные обсуждения.

Литература

1. Auerbach E.H., Dover C.B., Kahana S.H. Phys. Rev. Lett., 1981, 46, 702.
2. Шапиро И.С. УФН, 1973, 109, 431.
3. Shapiro I.S. Phys. Repts., 1978, С 35, 129.
4. Савушкин Л.Н. Изв. АН СССР, сер. физ., 1975, 39, 168.
5. Савушкин Л.Н., Фоменко В.Н. ЭЧАЯ, 1977, 8, №4.
6. Barnes P.D. et al. Phys. Rev. Lett., 1972, 29, 1132; Roberson P. et al. Phys. Rev., 1977, C16, 1945.
7. Амусья М.Я., Жалов М.Б., Рязанов В.И. Препринт ЛИЯФ им. Б.П.Константинова, 1977, №368.