

42078

ЛТФ

СЗУБ
P-952

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

Р. М. РЫНДИН

О ПОЛНОМ НАБОРЕ ОПЫТОВ ПО УПРУГОМУ РАССЕЯНИЮ НУКЛОНОВ НУКЛОНАМИ

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Научный руководитель
проф. Я. А. СМОРОДИНСКИЙ

1957 год

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

Р. М. РЫНДИН

Р-952

О ПОЛНОМ НАБОРЕ ОПЫТОВ ПО УПРУГОМУ РАССЕЯНИЮ НУКЛОНОВ НУКЛОНАМИ

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Научный руководитель:
проф. Я. А. СМОРОДИНСКИЙ

ОИЯИ
БИБЛИОТЕКА

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

1957 год

Основным источником сведений о взаимодействии между нуклонами являются опыты по изучению простейших ядерных реакций с участием нуклонов и, в том числе, опыты по упругому рассеянию нуклонов нуклонами. Непосредственной целью последних является получение сведений об асимптотическом поведении волновых функций сталкивающихся нуклонов или, иначе говоря, восстановление матрицы рассеяния в системе из двух нуклонов.

Из-за сильной зависимости ядерных сил от спина опыты по рассеянию неполяризованных нуклонов не могут дать исчерпывающей информации о матрице нуклон-нуклонного рассеяния, поскольку измеряемое сечение является лишь некоторой комбинацией сечений рассеяния в различных спиновых состояниях. Для получения дополнительных сведений о матрице рассеяния рядом авторов [1, 2, 3] были предложены поляризационные эксперименты различной степени сложности (кратные рассеяния, корреляционные опыты). Однако, несмотря на очевидную необходимость поляризационных опытов, оставался неясным вопрос о том, в какой мере система предложенных опытов достаточна для однозначного определения матрицы нуклон-нуклонного рассеяния. В связи с этим представлялось существенным попытаться проанализировать все возможные опыты по рассеянию нуклонов нуклонами и выяснить, какие из них являются независимыми в том смысле, что полное восстановление матрицы рассеяния возможно, если известны их результаты.

Попытка выяснить этот вопрос и является целью настоящей диссертации.

Диссертация состоит из предисловия, четырех глав и двух приложений.

В первой главе, носящей вводный характер, излагается аппарат матрицы плотности и матрицы рассеяния, необходимый для описания поляризационных явлений.

Во второй главе рассматриваются все возможные опыты по рассеянию нуклонов нуклонами и доказывается ряд теорем, касающихся соотношений между результатами различных опытов и являющихся следствием свойств симметрии гамильтониана взаимодействия между нуклонами. Возможные опыты различаются как состоянием поляризации первичных пучка и мишени, так и характером измеряемых величин. Схематически эти опыты можно представить в виде следующей таблицы:

Начальное спиновое состояние	А. Неполяризованный пучок — неполяризованная мишень	В. Поляризованный пучок — неполяризованная мишень	С. Неполяризованный пучок — поляризованная мишень	Д. Поляризованный пучок — поляризованная мишень
Результат измерения				
1. Сечение	σ^*	$\sigma_i^{(1)}$	$\sigma_k^{(2)}$	σ_{ik}
2. Поляризация рассеянной частицы	$P_p^{(1)*}$	$D_{ip}^{(1)*}$	K'_{kp}	$T_{ikp}^{(1)}$
3. Поляризация частицы отдачи	$P_q^{(2)}$	K_{iq}^*	$D_{kq}^{(2)}$	$T_{ikq}^{(2)}$
4. Корреляция поляризаций	P_{pq}^*	$P_{ipq}^{(1)*}$	$P_{krq}^{(2)}$	T_{ikrq}^*

Здесь каждый столбец отвечает определенному спиновому состоянию сталкивающихся нуклонов, а в каждой строке указана подлежащая измерению характеристика процесса рассеяния. Индекс i указывает всюду направление поляризации падающих нуклонов, k — направление начальной поляризации ну-

клонов мишени, p отмечает измеряемую компоненту поляризации рассеянного нуклона, q — измеряемую компоненту поляризации нуклонов отдачи. Ряд этих опытов детально обсуждался в литературе [1, 2, 3]*.

Не все указанные в таблице опыты независимы. Можно показать, что благодаря свойствам симметрии результаты некоторых опытов дают одинаковые сведения о матрице рассеяния $M(k, k')$. Так, при отсутствии синглет-триплетных переходов [отсутствие слагаемого $(\sigma_1 - \sigma_2) k \times k'$ в $M(k, k')$] по существу одинаковы результаты следующих пар опытов: А2 и А3, В1 и С1, В4 и С4, Д2 и Д3, В2 и С3, В3 и С2. В случае тождественных частиц (принцип Паули) опыты В2 и В3 представляют собой опыты по определению одних и тех же величин (В2), но на дополнительных углах (θ и $\pi - \theta$). Таково же соотношение между опытами С3 и С2. Кроме того, показано, что в силу условий, накладываемых на матрицу рассеяния $M(k, k')$ инвариантностью гамильтониана взаимодействия при обращении времени, эквивалентны совокупности опытов, расположенные в клетках таблицы, симметричных относительно главной диагонали (эквивалентность опытов А2 и В1, А4 и Д1 и т. п.). Это утверждение является обобщением теоремы Вольфенштейна о соотношении между опытами А2 и В1.

Таким образом, различными являются лишь опыты, отмеченные в таблице звездочкой. Сразу видно, что поляризованная мишень нужна в принципе лишь для самого сложного из опытов. Однако, для реального определения матрицы рассеяния и эти опыты не нужны.

В третьей главе рассматривается вопрос о полном наборе опытов, необходимых для восстановления матрицы рассеяния нуклонов нуклонами при тех значениях энергии, когда возможны только упругие столкновения.

* Следует заметить, что под словом «опыт» понимается фактически совокупность опытов, необходимых для определения характеристик указанных в данной клетке таблицы. Так, опыт В2 представляет собой совокупность опытов по тройному и четырехкратному рассеянию, состоящих в измерении величин $D_{ip}^{(1)}$, которые определяют влияние i — компоненты начальной поляризации на p — компоненту поляризации рассеянной частицы.

В начале главы рассматриваются интегральные соотношения для элементов матрицы упругого рассеяния $M(k, k')$ частиц с произвольными спинами, вытекающие из требования унитарности S — матрицы. Число этих соотношений совпадает с числом скалярных комплексных функций, определяющих матрицу рассеяния. Показано, что в случае частиц со спином при $k' \rightarrow k$ (рассеяние под 0°) помимо оптической теоремы — соотношения между мнимой частью амплитуды рассеяния вперед и полным сечением — возникает еще ряд соотношений, связывающих исчезающие при $k' \rightarrow k$ элементы матрицы рассеяния с различными спиновыми характеристиками.

Далее показывается, что благодаря соотношениям унитарности число экспериментов, необходимых для восстановления матрицы упругого рассеяния при заданном значении энергии, равно числу комплексных функций, входящих в матрицу рассеяния. При этом предполагается, что измерения производятся при всех углах, и заранее известно, что имеет место только упругое рассеяние. В случае столкновений нуклонов с нуклонами полное восстановление матрицы упругого рассеяния может быть проведено на основании результатов пяти экспериментов: измерений сечения σ , поляризации P_p , нормальной компоненты тензора корреляции поляризаций P_{pp} и нормальных компонент D_{pp} и K_{pp} тензоров тройного рассеяния (для рассеянной частицы и частицы отдачи). Результаты этих экспериментов позволяют определить модули пяти комплексных функций, входящих в $M(k, k')$. Фазы этих функций определяются тогда интегральными уравнениями, вытекающими из соотношений унитарности.

Рассмотрение геометрии перечисленных выше опытов приводит к заключению, что при восстановлении $M(k, k')$ в случае рассеяния нуклонов нуклонами можно ограничиться опытами с тремя мишенями и параллельными плоскостями последовательных рассеяний. Заметим при этом, что совокупность опытов по кратным рассеяниям, выполненных в Калифорнийском университете [4], тоже представляет собой, с точки зрения соотношений унитарности, полный набор опытов при энергиях, меньших порога образования мезонов. Тем не менее, результаты этих

опытов не дали однозначных сведений о матрице рассеяния. Причина состоит в том, что опыты по тройному рассеянию и, в особенности, опыты с магнитным полем выполнены с недостаточной точностью, что не позволяет провести однозначных кривых (например, в опытах с магнитным полем измерения проведены лишь в трех точках и с очень большими ошибками).

В четвертой главе исследуется вопрос о возможных неоднозначностях при фазовом анализе данных по нуклон-нуклонному рассеянию. Пример подобной неоднозначности для случая рассеяния мезонов нуклонами был приведен Минами [5]. Показывается, что преобразование Минами является следствием инвариантности сечения рассеяния мезонов неполяризованными нуклонами при повороте спина на угол π вокруг направления рассеянного пучка. Затем выясняется существует ли инвариантность сечения относительно подобного рода преобразований в случае рассеяния нуклонов нуклонами. Для этого исследуется поведение амплитуд рассеяния как при поворотах полного спина системы, так и при поворотах спинов отдельных нуклонов. Показывается, что такие преобразования действительно существуют. Однако, рассматриваемые преобразования не удовлетворяют физическим условиям задачи. Именно: симметрия системы требует, чтобы фазы рассеяния не зависели от значений проекций полного момента системы m . Фазы же, получающиеся в результате рассматриваемых преобразований, оказываются зависящими от $|m|$. Причина этого кроется в различии весов, с которыми угловые волновые функции $Y^{m}_{jls} \left(\frac{k'}{k} \right)$ с различными значениями $|m|$ входят в разложение начальных плоских волн. Таким образом, в случае рассеяния нуклонов нуклонами невозможно из заданной совокупности фаз построить с помощью вращения спинов нового физически допустимого набора фаз. Однако, если в рассеянии принимают участие лишь 1S_0 — и 3P_0 — состояния (только нулевая проекция полного момента), то существует очевидная инвариантность сечения относительно замены фаз $\delta(^1S_0)$ и $\delta(^3P_0)$ друг другом (поворот спина одного из протонов на угол $\pm\pi$).

В имеющихся в работе приложениях получен ряд вспомогательных результатов.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах [6-11].

ЛИТЕРАТУРА

1. Wolfenstein L., Phys. Rev., 96, 1654, 1954.
2. Oehme R., Phys. Rev. 98, 147, 216, 1955.
3. Владимирский В., Смородинский Я., ДАН СССР, 104, 713, 1955.
4. Chamberlain O. et al, Phys. Rev. 105, 288, 1957.
5. Minami S., Progr. Theor. Phys., 11, 213, 1954.
6. Рындин Р., Смородинский Я., ДАН СССР, 103, 69, 1955.
7. Ryndin R., Smorodinsky J., Proc. CERN symposium, 2, 141, 1956.
8. Puzikov L., Ryndin R., Smorodinsky J., Nucl. Phys., 3, 146, 1957.
9. Пузиков Л., Рындин Р., Смородинский Я., ЖЭТФ, 32, 592, 1957.
10. Рындин Р., Смородинский Я., ЖЭТФ, 32, 1200, 1957.
11. Рындин Р., Смородинский Я., ЖЭТФ, 32, 1584, 1957.