

УДК 530.145; 539.27

О МЕХАНИЗМЕ РАССЕЯНИЯ МЕДЛЕННЫХ НЕЙТРОНОВ НА ПРОТОНАХ

К. В. Владимирский

Присутствие легких ядер в свинцовом кубе нейтронного спектрометра по времени замедления искажает энергетический спектр нейтронов. В связи с результатами экспериментальных исследований этих эффектов обсуждается механизм рассеяния нейтронов на протонах в области энергий, близких к порогу радиационного разрушения вещества. Анализ экспериментальных данных в сопоставлении с теорией указывает на возникновение возбужденных состояний молекул при облучении медленными нейтронами.

В работах [1, 2] исследуется влияние водородосодержащих примесей на результаты измерений сечений радиационного захвата нейтронов ядрами марганца и кобальта. Измерения выполнялись на спектрометре по времени замедления Института ядерных исследований РАН [3 – 5]. Изучаемые эффекты возникают как следствие изменений энергетического спектра нейтронов за счет рассеяний на протонах примеси. Основные результаты получены путем сопоставления наблюдаемого выхода реакции, счета гамма-квантов, с теоретическими оценками влияния рассеяния на протонах. В решении задачи рассеяния протоны рассматривались как свободные, возможное влияние химических связей не учитывалось. Общий результат исследования – значительное, вне пределов возможных ошибок измерений, превышение обнаруженных экспериментально изменений выхода реакции над вычисленным в области энергий от 1 до 150 эВ.

Теория рассеяния нейтронов на свободных протонах для указанной области энергий не содержит неясностей со времен работы [6]. Решается задача двух тел в системе

центра масс, короткодействующий потенциал взаимодействия характеризуется логарифмической производной волновой функции вблизи рассеивающего центра. Результат таких вычислений известен. В широкой области энергий сечение рассеяния нейтронов не зависит ни от энергии, ни от угла рассеяния. Все это несовместимо с экспериментальными данными работ [1, 2]. Возможные уточнения в рамках модели свободных протонов ничего здесь не изменяют.

Экспериментальные результаты работы [1] относятся к области энергий 1 – 13 эВ. В качестве возможного источника расхождений с результатами вычислений в работе указываются изменения механизма рассеяния нейтронов на протонах, вносимые химическими связями, взаимодействием атомов водорода с их окружением. Цитируются исследования Э. Ферми [7], где рассматриваются процессы рассеяния, сопровождающиеся изменением состояния колебательных степеней свободы молекул. Результаты работы [7] дают правильный порядок величины изменения сечений, но энергии колебательных термов (десятые эВ) не укладываются в указанный выше диапазон энергий нейтронов.

В работе [2] обнаружены расхождения с предсказаниями модели свободных протонов в области еще больших энергий, порядка десятков эВ. Ссылка на работу Ферми отсутствует и заменена гипотезами, не вызывающими доверия. В то же время экспериментальные данные представляют, несомненно, большой интерес, поскольку они сопоставимы с результатами недавних теоретических исследований, в которых процесс рассеяния рассматривается как задача трех или, вообще, многих тел [8 – 10]. По существу, уже работа [7] представляет переход к такой постановке задачи. Но возможности последовательного анализа задачи многих тел охватывают и такие процессы, как рассеяние с изменением электронного состояния молекул, что в рассматриваемом здесь круге вопросов имеет решающее значение. Между энергиями первых колебательных уровней и энергиями, при которых можно вообще пренебречь межатомными взаимодействиями, простирается обширная область сложных, труднодоступных для теории процессов. Масштаб энергий здесь задается атомной единицей, удвоенной энергией ионизации гипотетического изотопа водорода с бесконечной массой, что составляет 27 эВ. Это уже вполне сопоставимо с максимумами рассеяния, представленными на рис. 1 в статье [2]. Учитывая чрезвычайную сложность соответствующих задач теории и, с другой стороны, неопределенность в структурах использованных в работах [1, 2] объектов, здесь имеет смысл говорить не об "объяснении" конкретных экспериментальных данных, а о выборе правильной модели явлений. Сопоставление экспериментальных данных, опубликованных в работе [2], с результатами продвинутой теории рассеяния подтверждает

высказанное в работе [1] предположение относительно основной роли химических связей атомов водорода в рассматриваемом круге вопросов.

Приведенные соображения позволяют считать, что форма зависимости рассеяния от энергии, обнаруженная в работе [2], свидетельствует о возникновении возбужденных состояний молекул как явления, сопутствующего рассеянию медленных нейтронов. При энергиях, соответствующих полному разрушению молекул, вряд ли можно ожидать появления выраженных максимумов рассеяния. Большое значение исследований рассеяния нейтронов в области энергий, близких к порогу разрушения, уже подчеркивалось в работе [1]. Это не только очень нетривиальная физика, но и биология, и медицина. Тем более необходимо привлечение в этой области результатов современной теории. Ценность возможных сопоставлений здесь трудно переоценить.

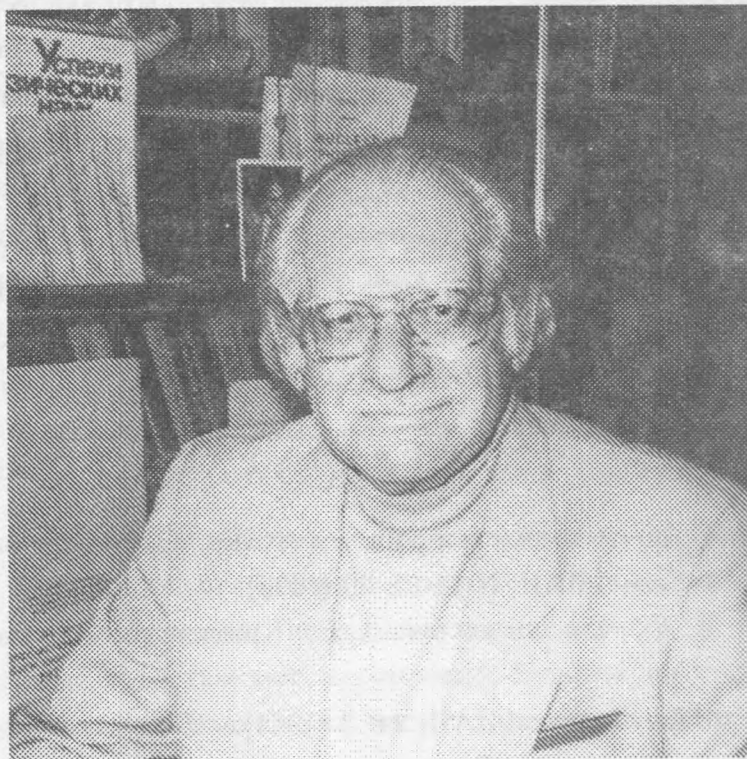
Автор благодарен К. А. Тер-Мартirosяну за весьма полезное обсуждение.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Бергман А. А., Владимирский К. В., Самсонов А. Е. Краткие сообщения по физике ФИАН, N 11-12, 29 (1995).
- [2] Бергман А. А., Самсонов А. Е. Краткие сообщения по физике ФИАН, N 1, 3 (1998).
- [3] Шапиро Ф. Л. Труды ФИАН, **24**, 3 (1964). Исаков А. И. *ibid.*, 68.
Попов Ю. П. *ibid.*, 111. Бергман А. А. *ibid.*, 169.
- [4] Бергман А. А., Маликжонов А. Краткие сообщения по физике ФИАН, N 4, 71 (1972).
- [5] Бергман А. А., Стависский Ю. А., Челноков В. Б. и др. Ядерные константы, Атомиздат, **7**, 50 (1971).
- [6] Bethe H. A., Peierls R. Proc. Roy Soc., **A 148**, 146 (1935).
- [7] Fermi E. Ric. Scientifica, **7(2)**, 13 (1936). Ферми Э. Научные труды, т.1, М., Наука, 1971, с. 741.
- [8] Базь А. И., Зельдович Я. Б., Переломов А. М. Рассеяние, реакции и распады в нерелятивистской квантовой механике, изд. 2, М., Наука, 1971.
- [9] Скорняков Г. В., Тер-Мартirosян К. А. ЖЭТФ, **31**, 775 (1956).
- [10] Фаддеев Л. Д. ЖЭТФ, **39**, 1459 (1960).

Поступила в редакцию 20 июля 1998 г.

Давид Абрамович Киржниц (1926 – 1998)



4 мая 1998 года скончался выдающийся физик-теоретик, член-корреспондент Российской академии наук, главный научный сотрудник Отделения теоретической физики Давид Абрамович Киржниц. Его работы оказали существенное влияние на развитие многих разделов теоретической физики, а в ряде случаев определили это развитие.

Он принимал активное участие в исследовании важных проблем физики конденсированного состояния, физики атомных систем, квантовой теории поля, космологии, астрофизики, теории фазовых переходов, теории сверхпроводимости, ядерной физики, физики экстремальных состояний вещества (когда параметры вещества – давление, температура или плотность имеют крайне большие значения). Полученные им результаты вошли в учебные руководства по самым разным разделам физики.

Уважение, которое питали к нему те, кто с ним был знаком, объясняется не только значением полученных им результатов. Он обладал глубокими и разносторонними знаниями и никогда не отказывал в совете тем, кто в этом нуждался. Нередко обсуждения

с его участием позволяли взглянуть на физическую проблему с совершенно новой и плодотворной точки зрения. Это обстоятельство высоко ценили многие физики, в том числе и такие выдающиеся, как Игорь Евгеньевич Тамм и Андрей Дмитриевич Сахаров. Когда А. Д. Сахаров был сослан в Горький, он в письмах неоднократно просил прислать к нему Д. А. Киржница для того, чтобы, как он писал, "... обсудить при личном общении животрепещущие научные вопросы, не отрываться от научной жизни Теоротдела..."

Д. А. Киржниц любил и знал физику – не отдельные ее разделы, а физику как нечто большее, чем совокупность отдельных разделов. Он был прекрасным рассказчиком. Его рассказы о новостях и достижениях в физике всегда были глубоки и увлекательны, а лицо его, когда он говорил об этом, освещалось счастливой улыбкой.

Д. А. Киржниц в совершенстве владел обширным математическим арсеналом теоретической физики, но считал, что математический аппарат играет подчиненную роль, а главное в научном исследовании – это физическая идея. Известно шутливое деление теоретиков на два класса: одни рассматривают то, что могут, и делают это на высоком математическом уровне – как надо. Другие же рассматривают, что надо и как могут. Д. А. Киржниц не принадлежал ни к одной из этих двух категорий. Он рассматривал что надо и как надо.

Д. А. Киржниц создал научную школу, к которой принадлежат многие физики, получившие уже мировую известность. Он был строгим и требовательным учителем. Много требовал от своих учеников, но и много им давал. Его лекции на физическом факультете МГУ были глубоки по содержанию и увлекательны по форме. Студенты не пропускали эти лекции, среди слушателей было немало студентов других кафедр, а также и преподавателей.

В последние годы Д. А. Киржниц тяжело болел, но не прекращал научной и педагогической работы. В частности, для студентов Отделения ядерной физики МГУ он прочел курс лекций, посвященный явлениям на стыке ядерной физики и физики твердого тела. В лекциях рассматривался материал, относящийся к точкам соприкосновения ядерной физики низких и высоких энергий с макроскопической физикой, в первую очередь, с физикой конденсированного состояния вещества. Значительная часть курса была основана на результатах, полученных самим Д. А. Киржницом. Этот курс вышел из печати в издательстве МГУ.

Для тех, кто был с ним знаком, Д. А. Киржниц был не только выдающимся физиком, но и привлекательным человеком, в поведении которого соединялись высокая культура, порядочность и редкие душевные качества. Таким он и останется в нашей памяти.