

УДК 539.27

НЕОБЫЧНЫЕ СВОЙСТВА НЕЙТРОНОВ И ЯДЕР¹

А. А. Бергман

Профессор П. Клеве С. Аррениусу: "У Вас новая теория!... Прощайте. Я с Вами больше не знаком!"

В статье описаны необычные факты, полученные в экспериментах с нейтронами с энергиями от тепловых до 30 кэВ. Эти факты показывают, что нейтроны, протоны и дейтоны, испытав некоторые взаимодействия или пребывая в определенных структурах, приобретают необычные свойства и пространственные формы. Получены указания на возможность необычного использования ядерных сил для изменения свойств твердых тел.

В разделах 1 и 2 описан необычный захват нейтронов ядрами, проявившийся в экспериментах на нейтронном спектрометре по времени замедления в свинце (СВЗ) [1 – 3] Института ядерных исследований РАН. А в разделах 3 и 4 описаны необычные воздействия слабых потоков тепловых нейтронов на процессы электролиза (3А, 3Б) и фазовый переход в сегнетоэлектрике (4), которые сопровождались многократным увеличением захвата нейтронов.

Эксперименты с тепловыми нейтронами были проведены в Институте физической химии РАН (3А, 4) и позже в Институте прикладной энергетики в Саппоро в Японии (3Б), с участием сотрудников трех институтов. Мы не согласны с трактовкой результатов экспериментов, описанных в разделах 3А, 3Б и 4, данной авторами, и предлагаем

¹ "Работу следует опубликовать в дискуссионном порядке" (из рекомендаций рецензентов настоящей статьи).

свое видение, полученное на основе экспериментов на СВЗ.

1. На нейтронном спектрометре СВЗ при измерении сечений захвата нейтронов ядрами марганца и кобальта с образцами их окислов, содержащих водород в необычных структурах, было обнаружено слишком большое увеличение захвата нейтронов ядрами марганца и кобальта [3]. Сравнение производилось с результатами измерений с прокаленными образцами, не содержащими водород. Это увеличение было в несколько раз больше, чем расчетное². В то же время в образцах, содержащих водород в виде тонких полиэтиленовых пленок, увеличение захвата было расчетное. Добавление влаги к образцам, не изменяющее при этом их структуру, давало только расчетное увеличение захвата. При энергии нейтронов выше 13 эВ формы энергетической зависимости увеличения захвата нейтронов, вызываемые замедлением на водороде и влиянием необычных водородосодержащих структур, резко отличались. Так суммарное увеличение захвата в образце окисла марганца MnO_2 имело сильный максимум при энергии нейтронов 30 эВ, равный 26%, в то время как из-за замедления нейтронов на водороде образца увеличение захвата не превышало 6%.

Увеличение захвата нейтронов на резонансе 4.9 эВ в золотой фольге, помещаемой между образцами и гамма-счетчиком, во всем использованном интервале энергий нейтронов (от 10 до 40 эВ), падающих на образцы, точно соответствовало содержанию водорода в образцах, определенному другими методами. Отсюда следует, что аномальное, т.е. превышающее расчетное увеличение захвата, не вызывалось излишним замедлением нейтронов. Это следует также из того, что относительное аномальное увеличение захвата не зависит от толщины образца. Аномальное увеличение захвата для соединений марганца и кобальта было прослежено с высокой точностью до энергий 150 и 50 эВ соответственно.

При энергиях меньших 1 эВ наступает как резкое уменьшение влияния водорода на захват нейтронов ядрами за счет замедления нейтронов в полиэтиленовых пленках, помещаемых внутри образцов, так и очень похожее по энергетической зависимости уменьшение аномального захвата нейтронов.

Влияние водорода на захват нейтронов ядрами марганца и кобальта полностью прекращалось для термализованных нейтронов, получаемых в графитовой призме СВЗ. Это говорит о том, что ни гипотетические нейтронные ловушки, которые могли бы

²Эксперименты с C_2O_3 были проведены с интервалом 3 года и дали одинаковые результаты.

образовываться на внешних дефектах кристаллов (бахрома), ни акустические фононы не причастны к аномальному захвату нейтронов. Это тем более ясно, т.к. при энергии нейтронов 150 эВ, когда велик аномальный захват, длина волны Де Бройля равна $2.3 \cdot 10^{-10}$ см.

Аномальное увеличение захвата для соединений марганца и кобальта было прослежено с высокой точностью до энергий 150 и 50 эВ соответственно [3].

Из проведенных экспериментов однозначно следует, что нейтроны в СВЗ делокализованы до эффективных размеров порядка или более размеров необычных водородосодержащих структур, при взаимодействии с которыми происходит увеличение захвата нейтронов ядрами марганца и кобальта. И это увеличение прекращается при выходе нейтронов из этих структур. Это взаимодействие следует назвать временным замедлением нейтронов, т.к. при энергиях нейтронов от тепловых до 10–13 эВ энергетическая зависимость аномального увеличения захвата нейтронов такая же, как вызываемая замедлением на атомах водорода, входящих в состав воды и полиэтилена.

Нам представляется (гипотеза), что в этих необычных водородосодержащих структурах, вызывающих аномальное увеличение захвата нейтронов, имеет место делокализация протонов. Тогда из-за взаимодействия протяженных структур нейтрона и протона может происходить временное увеличение длин волн Де Бройля нейтронов и, соответственно, увеличение захвата нейтронов ядрами. Эти делокализованные протоны не свободны и участвуют в тепловом движении. Поэтому взаимодействие нейтрона с одним делокализованным протоном должно давать указанную энергетическую зависимость.

Водород, являющийся компонентой молекул и строгих кристаллических структур, не должен вызывать аномального увеличения захвата из-за того, что он там строго локализован. Это видно из сравнения аномального увеличения захвата, вызываемого водородосодержащими структурами в образцах Co_2O_3 и $CoOOH$. Это увеличение было либо одинаковым (при одних энергиях нейтронов), либо большим в Co_2O_3 , хотя количество водорода в $CoOOH$ было в 3.7 раза больше, чем в Co_2O_3 [3]. Количество кобальта в образцах было одинаковое.

Окиси и гидроокиси кобальта и марганца могут быть получены только в мелкодисперсном состоянии, хотя в этом виде они дают характерные рентгенограммы [4]. Эта дисперсность говорит о нарушениях кристаллической структуры на границах частиц, что и приводит к образованию водородосодержащих структур, где имеет место делокализация протонов. Поэтому в мелкодисперсном $CoOOH$ также имеет место аномальное увеличение захвата нейтронов.

В пользу представления о делокализации протонов говорит также то, что соединение Co_2O_3 не существует, если оно не содержит воды. Но вода в Co_2O_3 не образует гидроокиси кобальта [5]. В нашем образце на одну молекулу воды приходилось 4.6 молекул Co_2O_3 ³. Устойчивость Co_2O_3 обусловлена протонами, находящимися в делокализованном состоянии.

Нами был проведен опыт по захвату нейтронов тонким образцом марганца, состоящим из мелких частиц металлического марганца, смоченных водой. При этом количество водорода в образце убывает по мере того, как образуется гидроокись и улетучивается водород. Однако аномальное увеличение захвата не изменилось при увеличении количества гидроокиси вдвое. Т.е. за аномальный захват нейтронов с энергиями до 150 эВ ответственны не молекулы гидроокиси, а та структура, которая возникла на границе металл-гидроокись. Если наблюдавшееся аномальное увеличение захвата отнести к этой структуре, то оно составляет сотни процентов. Из вышеизложенного следует, что надо отказаться от представления, что элементарные частицы всегда являются сугубо компактными образованиями, проявляющими волновые свойства на расстояниях, сравнимых с длиной волны Де Бройля. Следует считать, что квадрат модуля волновой функции описывает не только вероятность обнаружения частицы, как компактного образования, но и ее пространственную плотность. Но тогда при последовательном замедлении нейтрона на ядрах свинца будет возникать делокализация нейтрона. Можно думать, что делокализация нейтронов в нейтронных спектрометрах другого типа будет иная. Поэтому желательно провести в этих спектрометрах исследование аномального захвата на образце Co_2O_3 , т.к. наши исследования показали, что аномальный захват в нем не зависит от количества воды при соотношении от 4.6 до 2.7 молекул Co_2O_3 на одну молекулу воды.

Вопрос о разной делокализации нейтронов в разных спектрометрах возникает также потому, что, как показано в разделе 2, сечения захвата нейтронов на СВЗ и других спектрометрах могут быть разными.

2. При измерении радиационного захвата нейтронов алюминием на спектрометре СВЗ проявился интенсивный захват не только в хорошо известных резонансах при энергии нейтронов 5.9 и 35 кэВ, но и при энергиях 8 и 28 кэВ [6]. На фторе (образцы

³По предварительным данным Co_2O_3 существует и при существенно большем количестве молекул Co_2O_3 на одну молекулу воды.

фторопласта), кроме захвата в известных резонансах 27 и 49 кэВ, проявился слабый захват при энергиях 4.2 и 7.5 кэВ⁴. Причем, если первый с большой натяжкой мог быть объяснен аппаратурным эффектом, то второй был бесспорным. Радиационные ширины известных резонансов алюминия и фтора, полученные на СВЗ, хорошо согласуются с данными, полученными на спектрометрах по времени пролета нейтронов (СВП).

Г. В. Мурадян на спектрометре СВП Факел на образце алюминия (9999), изготовленном из той же отливки, что и образец на СВЗ, зарегистрировал захват нейтронов только при энергиях 5.9 и 35 кэВ. Причем им были приняты меры, чтобы не допустить гипотетического пропуска резонансов 8 и 28 кэВ.

Эксперименты на СВЗ проводились с образцами алюминия, начиная от технического и кончая пятью девятками. Результаты измерений были одинаковые. Следовательно, примеси не имеют отношения к появлению этих резонансов. Кроме того, на спектрометре СВЗ проявился интенсивный радиационный захват марганцем при энергии нейтронов 1.1 кэВ. Для него, в предположении что нейтронная ширина много больше радиационной, мы получили радиационную ширину 0.17 ± 0.03 эВ. На спектрометрах СВП в резонансе с энергией 1.098 кэВ и нейтронной шириной 18 эВ не проявился радиационный захват. Это не может быть объяснено ошибками эксперимента, т.к. для резонанса с энергией 17.8 кэВ (где условия определения радиационной ширины более сложные) и нейтронной шириной 12.8 эВ на СВП определена радиационная ширина, равная 0.740 ± 0.032 эВ.

Расхождения в резонансном захвате на алюминии могут быть объяснены только в предположении, что свойства нейтронов, полученных разными способами, могут быть разными. И соответственно в компаунд-ядре есть уровни, которые возбуждаются только при захвате нейтронов, обладающих какими-то дополнительными характеристиками, приобретаемыми в процессе замедления в свинце. Косвенным подтверждением такого объяснения служат расхождения в данных по энергетической зависимости отношения радиационного захвата к делению для плутония 239 (параметр альфа) в области энергий 5–30 кэВ. На ядерных взрывах в США и на СВЗ в Москве были получены самые большие значения альфа, намного превышающие значения, полученные на СВП, работающих на базе линейных ускорителей электронов. А сечения захвата нейтронов ураном 238, полученные на СВЗ и СВП Факел, использующем линейный ускоритель электронов, – блестяще совпали. К этому можно добавить, что в Дубне на нейтронном

⁴Повторные измерения Медведева дали те же результаты.

спектрометре на импульсном быстром реакторе Ю. В. Рябов и позже С. И. Сухоручкин, используя разные методы, получили самые маленькие значения альфа в этой области 5–30 $\kappa\text{эВ}$.

3А. В работе [7] проводилось исследование взаимодействия слабого потока тепловых нейтронов с медными катодами в процессе электролиза в растворе КОН. Анод платина. Оказалось, что при потоке тепловых нейтронов около 20 нейтронов в секунду на квадратный сантиметр происходит деформация катода толщиной 0.2 мм и интенсивное выкрашивание поверхности (чего не наблюдается в отсутствие нейтронного облучения). Через несколько часов на дне катодной ячейки образуется осадок мелкодисперсной меди. Медь содержала 0.25% молярных кремния и катоды перед электролизом нагартовывались ударами текстолитового молотка. При использовании ненагартованного катода выкрашивание было слабым.

Вплотную к электролизеру помещался детектор из сверхчистого германия, которым регистрировались кванты с энергией 2225 $\kappa\text{эВ}$ от захвата нейтронов водородом электролита, водородом общей защиты из полиэтилена и полиэтилена, окружавшего нейтронный источник калифорний 252. Источник находился примерно в 10 см от катода. Во время электролиза интенсивность регистрации уменьшалась на $(12.8 \pm 2.1)\%$. Авторы работы подсчитали, что сечение захвата тепловых нейтронов медью возросло почти в 20 раз.

Вместо германия в ряде экспериментов помещались борные счетчики, прикрытые кадмием. Они регистрировали уменьшение счета на $(2.3 \pm 0.6)\%$. Альbedo надкадмиевых нейтронов во много раз меньше, чем для тепловых нейтронов. Поэтому при электролизе сечение захвата надкадмиевых нейтронов возросло не в меньшее количество раз, чем для тепловых нейтронов.

Авторы объяснили увеличение захвата нейтронов оптическими фононами, которые возникали в процессе деформации катода. Кроме того они исследовали жесткий участок гамма-спектра при электролизе и без него и не нашли разницы. На этом основании они решили, что при электролизе энергия связи в компаунд-ядрах меди передается прямо кристаллической решетке в виде фононов и структурных повреждений.

По нашему мнению наличие оптических фононов должно приводить в основном к увеличению энергии диффундирующих тепловых нейтронов и не может вызвать увеличение захвата в 20 раз. Тем более нельзя объяснить уменьшение потоков надкадмиевых нейтронов при электролизе. Прямая передача энергии связи нейтрона кристаллической

решетке крайне маловероятна. Поэтому интенсивное выкрашивание можно объяснить только интенсивным внедрением протонов в места нарушения кристаллической структуры, возникшие при нагартовке. Это может происходить только за счет одновременного взаимодействия отдельного нейтрона с ядрами атомов катода и со многими протонами (не входящими в состав молекул), находящимися у катода в процессе электролиза. Такое взаимодействие может происходить, если тепловые нейтроны делокализованы до размеров много больших размеров атомов. Эту делокализацию они приобретают в процессе замедления и термализации.

Наблюдаемое увеличение захвата тепловых нейтронов несомненно происходит вследствие их взаимодействия с протонами большой концентрации, внедренными в дефекты кристаллической структуры. Очень важно выяснить, происходит ли аномально большой захват нейтронов во всей толще катода или только на шелушащейся поверхности. Это можно сделать, исследуя активность бета-распада мелкодисперсного осадка меди. Кроме того, надо исследовать зависимость увеличения захвата нейтронов от величины их потока, т.к. от этого может зависеть концентрация внедренных протонов. Необходимо также провести эксперименты по поглощению нейтронов после того, как в процессе электролиза произошла деформация катода, а сам электролиз прекращен. Кроме того, надо исследовать это явление при больших интенсивностях источника. Тогда можно будет определить: зависит ли захват нейтронов от времени облучения.

ЗБ. В работе [8] проводился аналогичный опыт с палладиевыми катодами при электролизе в растворе КОД в тяжелой воде. При электролизе интенсивность регистрации линии 2225 кэВ от захвата тепловых нейтронов водородом защиты из полиэтилена уменьшалась на $(5.5 \pm 0.7)\%$, а деформация изгиба катода толщиной 0.1 мм возрастала в три раза по сравнению с электролизом той же длительности в отсутствие нейтронного облучения. На поверхности катодов появлялись трещины. Поток тепловых нейтронов на катод составлял ~ 200 нейтронов в секунду на квадратный сантиметр. Авторы подсчитали, что поглощение нейтронов в катодах при электролизе возросло в 7.5 раза. Эти палладиевые катоды в количестве 20 штук предварительно нагартовывались ударами текстолитового молотка. Другие катоды отжигались и для них эффект увеличения захвата нейтронов в катодах при электролизе не наблюдался.

Увеличение деформации нагартованного палладиевого катода свидетельствует о том, что под влиянием слабого нейтронного облучения при электролизе происходит более интенсивное внедрение водорода в катод. Наше объяснение увеличения внедрения

водорода и увеличения захвата нейтронов такое же, как и в разделе 3А.

Авторы не объяснили причин более интенсивного внедрения дейтерия в поверхность катодов при нейтронном облучении. А увеличение захвата нейтронов объяснили оптическими фонами.

В работе проводилось исследование изотопного состава поверхности катодов на глубину 150 нм при распылении палладия пучком ионов кислорода (O_2) с энергией 8 кэВ. Использовались 400 секунд распыления, что вызывало распыление на глубину ~ 150 нм в образце, только облученном нейтронами или подвергнутом электролизу после окончания облучения. Оказалось, что последовательное раздельное воздействие нейтронного облучения и электролиза не привело к существенному изменению зависимости скорости распыления от времени распыления. А одновременное воздействие привело к радикальному изменению. Ток ионов палладия примерно через 20 секунд распыления уменьшился в 10–20 раз. Это говорит о глубоких структурных изменениях, возникающих в нагартованных палладиевых катодах при одновременном воздействии электролиза и слабого нейтронного облучения. Более того, в самом начале процесса распыления изменился изотопный состав ионов палладия. Структурная перестройка, вызвавшая упрочнение палладия, вызвана одновременным взаимодействием делокализованных нейтронов с ядрами атомов палладия и дейтонами. Этот факт означает, что возможно использование ядерных сил для существенного изменения структурных характеристик веществ.

4. В работе [9] проводилось исследование воздействия слабого потока тепловых нейтронов на свойство сегнетоэлектрика триглицинсульфата (ТГС) $(NH_2CH_2COOH)_3H_2SO_4$, частично дейтерированного (D-60%). Исследования проводились при плавном изменении температуры кристалла ТГС в окрестности точки Кюри ($T_K = 330.9$ K). Поток тепловых нейтронов внутри общей защиты из полиэтилена и кадмиевой фольги регистрировался борными счетчиками. Источником тепловых нейтронов служил полиэтилен, окружавший источник нейтронов Cf-252, и силиконовое масло, окружавшее борные счетчики. Кристалл ТГС размером $10 \times 10 \times 2$ мм³ помещался в термостате малого размера на расстоянии 10 см от источника Cf-252. Интенсивность потока тепловых нейтронов, пересекающих образец, составляла ~ 20 нейтронов в секунду. Интенсивность счета борных счетчиков во время фазового перехода сопоставлялась с интенсивностью счета при температурах 283–303 K и 353–373 K, т.е. тогда, когда фазового перехода нет. При фазовом переходе интенсивность счета уменьшалась на $(6.7 \pm 1.7)\%$. При отсутствии источника нейтронов интенсивность счета фоновых ней-

тронов (в основном это солнечные нейтроны) уменьшалась на $(29 \pm 11)\%$. Но из-за большой ошибки нельзя утверждать, что фоновые нейтроны (их в 100 раз меньше) захватывались сильнее.

По расчетам авторов, при работе с источником во время фазового перехода поглощается почти треть нейтронов, падающих на кристалл. По их мнению сечение захвата нейтронов водородом возросло на три порядка.

Во время фазовой перестройки в интервале температур шириной 40 K , при использовании источника нейтронов резко возрастала термостимулированная деполяризация (ТСД), как при нагреве (\sim в 2.5 раза), так и при охлаждении (\sim в 5 раз), и ее максимум сдвигался на 3.5 K в область низких температур. Это говорит о глубокой структурной перестройке, возникающей под действием нейтронов.

Авторы объясняют эти эффекты тем, что при захвате нейтронов водородом энергия связи нейтрона в ядре может прямо передаваться кристаллической решетке, и это увеличивает интенсивность фоонов в решетке. А это, в свою очередь, приводит к увеличению захвата нейтронов и генерации заряженных дислокаций в поверхностном слое кристалла ТГС. По нашему мнению вероятность прямой передачи энергии связи при захвате нейтрона крайне мало вероятна. Кроме того, для тепловых нейтронов сечение реакции $N(n, p)$ в 6 раз больше сечения захвата нейтронов водородом. Следовательно, захват нейтронов азотом в 2.7 раза более вероятен, чем водородом. Поэтому уменьшение счета борных счетчиков во время фазового перехода объясняется увеличением захвата нейтронов азотом и, отчасти, водородом.

Авторы отмечают, что облучение нейтронами ниже или выше фазового перехода и последующего перехода через точку Кюри в отсутствие источника нейтронов не приводит к изменению спектров ТСД в отличие от гамма облученных образцов ТГС [10]. Из этого следует, что создание радиационных повреждений не является причиной изменения спектров ТСД во время облучения слабым потоком тепловых нейтронов. Следовательно, интенсивная структурная перестройка при фазовом переходе может быть объяснена только делокализацией тепловых нейтронов, которые одновременно взаимодействуют с ядрами атомов водорода и другими ядрами. Во время фазового перехода создаются сильнонеравновесные условия из-за разрыва водородных связей и ядра атомов водорода (и дейтерия) не находятся в локализованном состоянии. И их взаимодействие с делокализованными нейтронами приводит к огромному увеличению захвата нейтронов. В этом опыте концентрация не локализованных в молекулы ядер водорода во время фазового перехода значительно больше, чем в опыте раздела 3А, поэтому увеличение

вероятности захвата тепловых нейтронов оказалось существенно большим, чем в ЗА.

Показано, что нейтроны, замедляющиеся в свинце спектрометра СВЗ, делокализованы с размерами более размеров молекул. Их взаимодействие с протонами, не локализованными в молекулах кристаллических структур твердых тел, приводит к аномальному увеличению их захвата ядрами атомов за счет временного замедления нейтронов, которое не проявляется после выхода нейтронов из соответствующих водородосодержащих структур.

Нейтроны, замедленные и термализованные в воде и полиэтилене, также сильно делокализованы. Их взаимодействие с нелокализованными протонами и дейтонами большой плотности, полученными в вышеописанных экспериментах, приводит к огромному увеличению захвата этих нейтронов ядрами атомов соответствующих структур. Кроме того, это взаимодействие при слабых потоках нейтронов приводит к структурным изменениям твердых тел, что свидетельствует о необычной возможности использования ядерных сил для изменения свойств твердых тел.

Исходя из результатов вышеописанных экспериментов высказано убеждение, что квадрат модуля волновой функции частиц описывает пространственную плотность частиц, а не только пространственную плотность вероятности их обнаружения, как компактного образования.

Уже сейчас *некоторые* физики согласны с тем что:

1. В атоме водорода в S состояниях, когда электрон не имеет орбитального момента количества движения, он образует сферически симметричную стоячую волну.
2. Нуклоны, имеющие орбитальный момент количества движения в стабильных плотно упакованных ядрах, существуют в виде волн.

Высказаны гипотезы, объясняющие временное замедление нейтронов в необычных водородосодержащих структурах и резонансный захват нейтронов алюминием и фтором при таких энергиях, когда в других спектрометрах не наблюдается никакого резонансного взаимодействия.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ш а п и р о Ф. Л. Труды ФИАН, 24, 3 (1964); И с а к о в А. И. Там же, 68; П о п о в Ю. П. Там же, 111; Б е р г м а н А. А. Там же, 169.

- [2] Бергман А. А., Маликжонов А. Краткие сообщения по физике ФИАН, N 4, 71 (1972).
- [3] Бергман А. А., Самсонов А. Е. Краткие сообщения по физике ФИАН, N 1, 3 (1998).
- [4] Овчинникова Т. М., Иоффе Э. Ш., Ротинян А. Л. ДАН, 100, N 3, 469 (1955).
- [5] Смирнов В. И., Абдеев М. А. Известия КазССР, серия Metallургия, вып. 1(12), 97 (1957).
- [6] Bergman A. A., Samsonov A. E., Malikjanov A., et al. Proceedings of the Second International Symposium on Nuclear Excited States, Lodz, Poland, June 1992, p. 152.
- [7] Липсон А. Г., Бардышев И. И., Кузнецов В. А., Ляхов Б. Ф. Физика твердого тела, 40, N 2, 254 (1998).
- [8] Lipson A. G., Miyashita S., Asami N., et al. J. Phys. Cond. Mett., to be published.
- [9] Липсон А. Г., Саков Д. М., Саунин Е. И. Письма в ЖЭТФ, 62, вып. 10, 805 (1995).
- [10] Иона Ф., Ширане Д. Сегнетоэлектрические кристаллы. М., Мир, 1965.

Институт ядерных исследований РАН

Поступила в редакцию 26 сентября 2002 г.