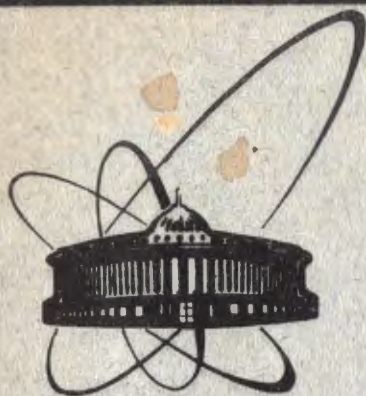


91-290



**сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна**

Д15-91-290

В.И.Артюхов*, В.М.Быстрицкий, А.И.Гилев,
А.И.Калинин, В.И.Кирпаль*, Э.В.Крумштейн,
А.Н.Перевезенцев*, Л.А.Ривкис*, Ю.В.Седых,
С.И.Сорокин*, В.А.Столупин, А.В.Стрелков,
В.В.Токменин, Н.Н.Хованский

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ
ЭМИССИИ НЕЙТРОНОВ
ПРИ НАСЫЩЕНИИ ТИТАНОВОЙ СТРУЖКИ
ДЕЙТЕРИЕМ ИЗ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ**

*Московский химико-технологический институт
им. Д.И.Менделеева

1991

В работе^{/1/} нами была предложена логика регистрирующей электроники и методика анализа экспериментальных данных по исследованию явления низкотемпературного ядерного синтеза (НТС). Это позволило, в свою очередь, обнаружить эмиссию нейтронов реакции dd-синтеза

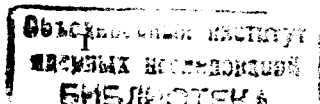


носящую характер отдельных вспышек, при насыщении титана, покрытого тонким слоем никеля толщиной 0,4 мкм, в режиме электролиза тяжелой воды D_2O . Найденное значение интенсивности испускания нейтронов во вспышке (при массе катода из Ti равной 26 г) оказалось равным $I_n = (3,6 \pm 0,9) \times 10^4 \text{ с}^{-1}$. При проведении опыта с катодом из чистого титана эмиссия нейтронов не обнаружена. Результаты работы^{/1/} подтверждают выводы работ^{/2-7/}, в которых также наблюдались нейтронные вспышки спорадического характера при насыщении Ti дейтерием как в режиме электролиза D_2O , так и из газовой фазы, и свидетельствуют о существовании явления НТС, природа которого до сих пор остается пока еще не ясной.

Анализируя данные, полученные в работе^{/1/}, можно сделать некоторое утверждение (которое несомненно требует более детальной проверки), что во многом процесс протекания реакций НТС определяют явления, возникающие при взаимодействии изотопов водорода с поверхностью металлов и их сплавов.

Поэтому, на наш взгляд, корректное сравнение результатов работ, выполненных в различных лабораториях даже с одними и теми же материалами возможно только в случае одной и той же технологии приготовления исследуемых образцов до начала проведения экспериментов. Это обстоятельство может являться одной из причин отсутствия воспроизводимости результатов целого ряда экспериментов по исследованию НТС.

В связи с этим, мы решили провести исследования с титановой стружкой (любезно предоставленной нам коллегами из Национальной лаборатории в Лос Аламосе) из той же партии, из которой была взята стружка для проведения экспериментов^{/3-5/}, в которых наблюдались нейтронные вспышки, обусловленные протеканием реакций (1a). Целесообразность проведения таких исследований была продиктована



рядом обстоятельств. Во-первых, необходимость проверки самого факта существования явления НТС независимым образом с применением методики и способа обработки экспериментальных данных, отличных от работ^{/3-5/}. Во-вторых (в случае протекания реакций dd-синтеза в дейтериде титана), необходимость проверки выводов данных работ, свидетельствующих о том, что эмиссия нейтронов носит характер отдельных нейтронных вспышек.

Ниже мы приводим описание условий проведения опыта с титановой стружкой, насыщаемой дейтерием из газовой фазы, а также результаты, полученные из анализа экспериментальных данных. Подробное описание регистрирующей электроники и методики анализа экспериментальных данных приведено в работе^{/4/}.

ПОСТАНОВКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Экспериментальная установка

На рис.1 приведена схема экспериментальной установки. Регистрация нейтронов реакции (1а) осуществлялась с помощью детекторов тепловых нейтронов 1, представляющих собой пропорциональные (BF_3)-счетчики, установленные вокруг газовой мишени 2 (во внутреннем кольце 16 счетчиков, во внешнем - 20). Газовая мишень 2 с титановой стружкой (массой 40 г) приготовленной из сплава 86% Ti + 6% Al + 6% V + 2% Sn помещалась внутри колодца 3, расположенного в центре бокса 4. Мишень представляла собой цилиндр из нержавеющей стали диаметром 28 мм и длиной 1000 мм. Измерение температуры мишени осуществлялось с помощью хромель-алюмелевой термопары, укрепленной на ее корпусе.

В эксперименте использовалась та же регистрирующая электроника, что и в работе^{/4/}, за одним лишь исключением - акустический канал был отключен, т. к. данный опыт проводился с титановой стружкой, а не с монолитным образцом. Электронная логика эксперимента позволяла одновременно получать информацию как о временах появления сигналов с нейтронных детекторов в течение 1мс (начиная с момента регистрации первого события), так и амплитудную информацию о первых и вторых зарегистрированных событиях в течение данного временного интервала.

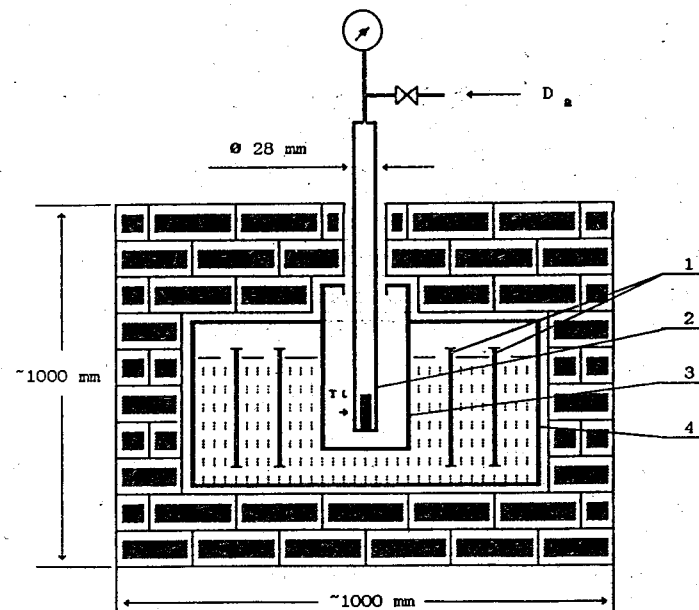


Рис.1. Схема экспериментальной установки.

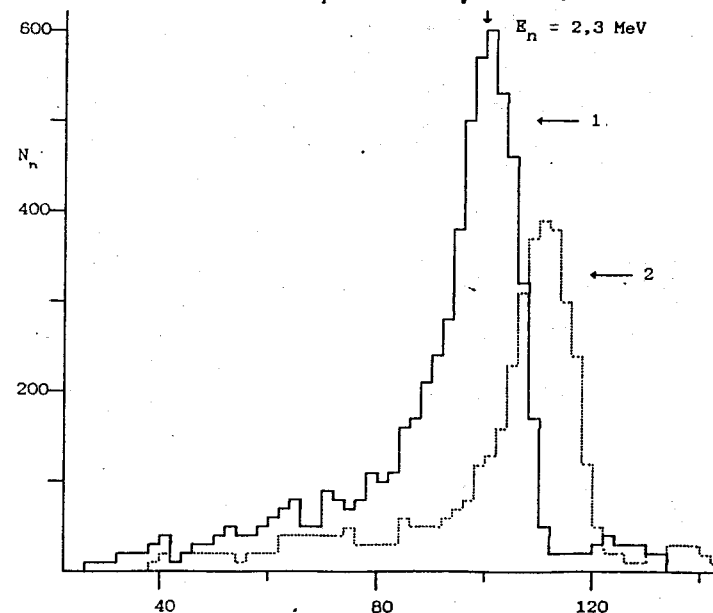


Рис.2. Амплитудные распределения 1-х и 2-х нейтронов, зарегистрированных нейтронными детекторами в случае их калибровки источником ^{252}Cf .

Условия проведения эксперимента

Перед началом эксперимента производилась вакуум-термическая тренировка титановой стружки находящейся в мишени. Режимы тренировки и насыщения титановой стружки дейтерием были аналогичны указанным в работе^{3/}. Мишень нагревалась до температуры 470 К при непрерывно включенной высоковакуумной откачке ее. По достижении вакуума порядка 10^{-4} мм рт.ст. нагрев прекращался, мишень промывалась чистым дейтерием и охлаждалась до комнатной температуры при включенной высоковакуумной откачке (остаточное давление газов не превышало 10^{-4} мм рт.ст.). После охлаждения мишени до комнатной температуры производилось заполнение ее предварительно очищенным дейтерием под давлением 48 ат. Количество дейтерия, первоначально поглощенного титановой стружкой, составило 3,2 л.ат. Очистка дейтерия осуществлялась с помощью цеолитовых адсорберов, помещенных в жидкий азот. Содержание примесей в очищенном дейтерии не превышало величины равной 2×10^{-7} об. долей.

Нами была проведена серия измерений с титановой стружкой, насыщаемой дейтерием, при вариации температуры ее от 78 К до 300 К. Перед началом каждого опыта мишень охлаждалась до температуры жидкого азота (78 К) и помещалась в колодец 3 (см рис.1). Начиная с этого момента, в процессе естественного утепления мишени до комнатной температуры, производился набор статистики. Для удлинения времени утепления мишени до ~14 ч, ее нижняя часть (область размещения титановой стружки) помещалась в массивный медный полый стакан массой ~3,5 кг. В течение эксперимента рабочие экспозиции ("а") (в процессе утепления мишень с титановой стружкой находилась внутри колодца 3) чередовались с фоновыми экспозициями (мишень извлекалась из экспериментальной установки, а вместо нее в колодец 3 устанавливалась идентичная мишень, но не заполненная дейтерием). Во время проведения фоновых экспозиций мишень находилась в дьюаре с жидким азотом. Полное время набора статистики в эксперименте составило 120 ч. В течение эксперимента было выполнено 11 температурных циклов с титановой стружкой (охлаждение мишени до температуры 78 К с последующим естественным утеплением ее до 300 К). По окончании проведения температурных циклов количество дейтерия, сорбированного титановой стружкой, составило 14 л.ат.

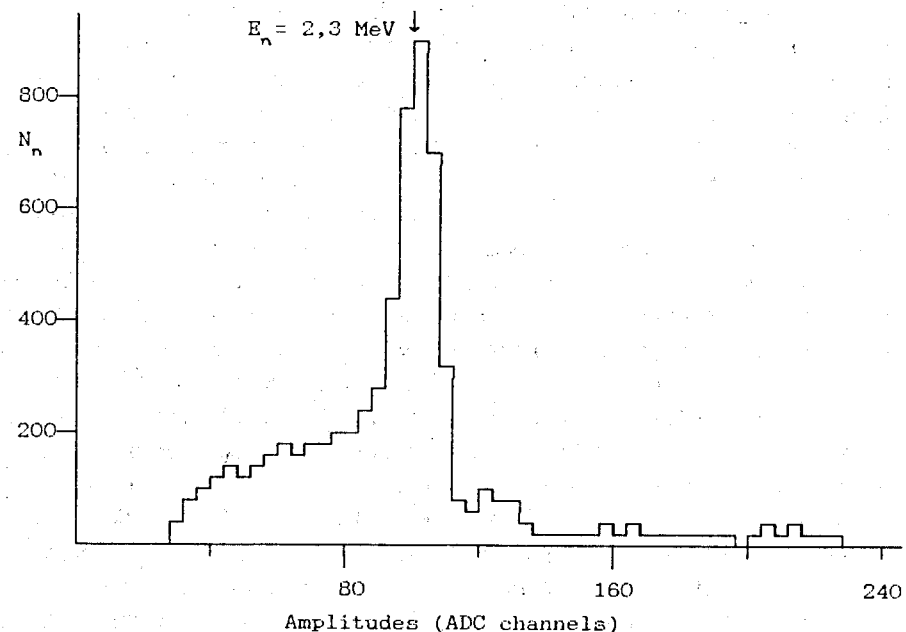


Рис.3. Амплитудное распределение событий, полученное в результате суммирования нескольких рабочих экспозиций.

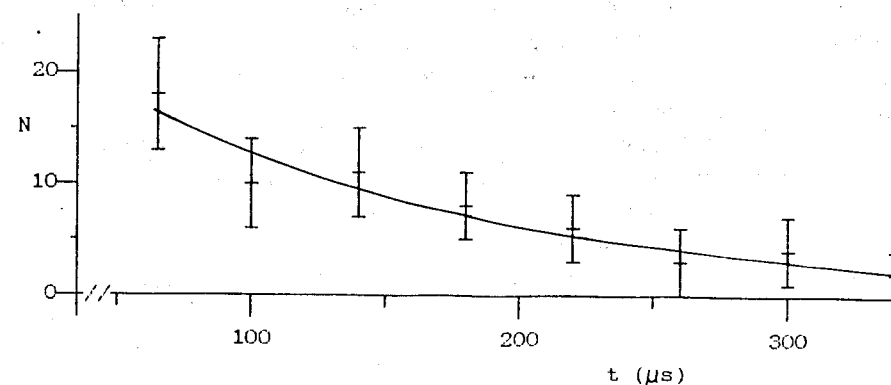


Рис.4. Результирующее распределение временных интервалов между последовательно зарегистрированными нейтронами за вычетом фона (N — число событий, приходящихся на интервал 40 мкс; сплошная линия — результат фитирования).

После завершения данной серии опытов мы приступили к так называемым термо-криоударам (экспозиции "б") с использованием этой же рабочей мишени. Суть их заключалась в следующем. Производился нагрев мишени до температуры ~1000 К (при этом, естественно, происходила диссоциация дейтерида титана и давление дейтерия в мишени повышалось до ≈ 40 ат), а затем резкое охлаждение ее до температуры жидкого азота. По достижении температуры 78 К мишень помещалась в колодец 3 (см. рис.1) и осуществлялся набор статистики в процессе естественного утепления ее до комнатной температуры (такие процедуры с мишенью проводились без массивного медного стакана; время утепления мишени составляло ~2 ч). В эксперименте было проведено 7 экспозиций типа "б".

С целью проверки стабильности работы всей регистрирующей электроники и нейтронных детекторов на протяжении всего эксперимента проводилась калибровка нейтронного канала с использованием стандартных источников Pu-Be и ^{252}Cf . На рис.2 приведены амплитудные распределения I-х и II-х событий, зарегистрированных нейтронными детекторами в случае калибровки их нейтронным источником ^{252}Cf (положение центра тяжести пика соответствует энерговыделению в нейтронном детекторе, в результате реакции $n + {}^{10}\text{B} \rightarrow \alpha + {}^7\text{Li}$, равному 2,3 МэВ). Сравнение этих распределений по форме и по положению центров тяжести пиков свидетельствовало о стабильной работе всей регистрирующей аппаратуры на протяжении всего эксперимента. Эффективность регистрации нейтронов определялась с помощью нейтронного источника ^{252}Cf , расположенного в месте установки мишени. Измеренное значение эффективности оказалось равным $(24 \pm 1)\%$.

На рис.3 приведено амплитудное распределение событий, зарегистрированных нейтронными детекторами в одной из рабочих экспозиций. Уровень фона, усредненный по всем экспозициям, составлял $\sim 7 \times 10^{-2}$ имп/с при флуктуациях его в отдельных экспозициях (относительно приведенной величины) порядка 2×10^{-3} имп/с.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Методика "off-line" анализа полученных экспериментальных данных ранее подробно была изложена нами в работе^{1/} и сводилась к следующему. Вначале, как для рабочих, так и для фоновых

экспозиций, производился отбор таких передач информации в ПЭВМ, когда в течение 1 мс наблюдались два и более событий, зарегистрированных нейтронными детекторами ("полезные" передачи). Затем, время каждой из рабочих экспозиций произвольным образом разбивалось на интервалы длительностью 0,5 ч таким образом, чтобы количество "полезных" передач в течение каждого из этих интервалов было не менее двух. На основании отобранных таким способом передач, для каждой из рабочих экспозиций, производилось построение распределений временных интервалов между последовательными событиями, зарегистрированными нейтронными детекторами. Результирующее распределение временных интервалов было получено путем суммирования временных распределений, соответствующих каждой из рабочих экспозиций. Для каждой фоновой экспозиции (из информации, полученной в результате предварительного отбора "полезных" передач, без разбиения времени экспозиции на отдельные интервалы длительностью 0,5 ч) производилось построение распределений временных интервалов между последовательными событиями, зарегистрированными нейтронными детекторами. Отсутствие различия (в пределах статистических ошибок) между распределениями временных интервалов, полученных в каждой из фоновых экспозиций и нормированных на одно и то же время измерений, свидетельствовало о том, что уровень фона не изменялся в течение всего эксперимента.

Вклад фона в результирующее распределение временных интервалов, полученное для рабочих экспозиций, составлял ~15%.

Окончательным этапом обработки экспериментальных данных являлось совместное фитирование распределений временных интервалов, полученных в рабочих экспозициях и в фоновых экспозициях за время $T = N_{\text{int}} t_{\text{int}}$ (N_{int} - число интервалов длительностью $t_{\text{int}} = 0,5$ ч, выбранных за полное время рабочих экспозиций) выражением вида:

$$\frac{dn}{dt} = A_1 \epsilon_n \exp(-I_n \epsilon_n t) + [A_2 \bar{\epsilon}_c \exp(-I_c \bar{\epsilon}_c t) + B] T / T_f, \quad (2)$$

где, A_1, A_2 - нормировочные константы;

ϵ_n - эффективность регистрации нейтронов реакции (1а) экспериментальной установкой;

I_n - интенсивность испускания нейтронов во вспышке с учетом процесса замедления нейтронов в гранулированном полиэтилене и последующего их захвата ядрами ^{10}B в нейтронных детекторах;

$\bar{\epsilon}_c$ - среднее значение эффективности регистрации нейтронов космической компоненты излучения;

I_c - интенсивность потока нейтронов, обусловленного существованием атмосферных ливней;

V - уровень фона случайных совпадений;

T_s - полное время набора статистики в фоновых экспозициях.

Формула (2) получена в следующих предположениях: а) длительность нейтронных вспышек гораздо больше среднего времени \bar{t} от момента попадания нейтрона в замедлитель, окружающий детекторы, до момента захвата его ядром ^{10}B (согласно оценкам, для геометрии данной экспериментальной установки $\bar{t} \approx 20$ мкс); б) нейтронные вспышки (в случае их существования) имеют прямоугольную форму. Следует отметить, что выражение (2) применимо для аппроксимации распределений временных интервалов, длительность которых больше величины \bar{t} .

Основные выводы работы.

1. Обнаружена эмиссия нейтронов, носящая характер отдельных вспышек в процессе утепления мишени с титановой стружкой (предварительно насыщенной дейтерием) от температуры жидкого азота до комнатной температуры.

2. В результате аппроксимации экспериментальных данных, полученных в опыте, найдено значение интенсивности нейтронов во вспышке:

$$I_n = (3,0 \pm 0,9) \times 10^4 \text{ с}^{-1}.$$

Получена также оценка длительности нейтронной вспышки:

$$t_{\text{всп}} \approx 300 \text{ мкс}.$$

На рис.4 приведено распределение временных интервалов между последовательно зарегистрированными нейтронами за вычетом фона (сплошная кривая - результат фитирования).

3. Распределение временных интервалов между нейтронными вспышками носит стохастический характер - от нескольких секунд до десятков минут.

4. Наблюдается уменьшение частоты нейтронных вспышек в процессе утепления титановой стружки от температуры жидкого азота до комнатной. По всей видимости, согласно полученным данным зависимость частоты нейтронных вспышек от температуры носит немонокотонный характер, проявляющийся в виде неких нерегулярностей в определенных диапазонах температур мишени. Однако, окончательное утверждение об этом можно сделать только лишь после проведения дальнейших, более тщательных исследований.

5. В пределах статистических ошибок измерений нет различия между результатами опытов "а" и "б".

6. В виду ограниченной статистики, нельзя сделать определенное заключение о характере зависимости частоты нейтронных вспышек от времени, прошедшего с момента начала эксперимента.

Полученные нами результаты не противоречат данным работ^{/3-5/}, выполненных с такого же типа титановой стружкой, если произвести нормировку на одно и то же количество вещества.

Наблюдение нейтронных вспышек при насыщении дейтерием титановой стружки одного и того же состава двумя физическими группами с использованием различных методик является достаточно сильным аргументом для утверждения того, что явление низкотемпературного ядерного синтеза существует.

Анализируя в совокупности результаты экспериментов по исследованию НТС, мы приходим к выводу о том, что следует продолжить детальное изучение явления НТС с большим количеством исследуемых образцов из одного и того же материала, чтобы статистика зарегистрированных событий была достаточной для определения параметров НТС с высокой точностью.

Безусловно заслуживает внимания изучение явления НТС в интерметаллических соединениях, обладающих высокой сорбционной емкостью по отношению к изотопам водорода.

Мы благодарны S. Jones за любезно предоставленную титановую стружку, что послужило своеобразным толчком к проведению данного эксперимента.

В заключение авторы выражают благодарность директору Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ Ц.Д.Вылову за постоянный интерес и поддержку при проведении данных исследований, В.Б.Беляеву за полезные дискуссии, Я.Рак за помощь при обработке результатов измерений, Г.В.Карпенко за помощь при проведении эксперимента.

Литература

1. Artyukhov V.I., Bystritsky V.N., Gilev A.I. et al. - Dubna, 1991 - (Сообщение ОИЯИ D-15-91-289).
2. De Ninno A., Frattolillo A., Lollobatista G. et al. // Nuovo Cim. - 1989. - v.101A. - p.841.
3. Menlove H.O., Fowler M.M., Garcia E. et al. - Los Alamos, 1989 - (LA-UR-89-1974);
4. Menlove H.O., Garcia E., Jones S.E. - NSF-EPRI Workshop, Washington, DC, Okt.16-18, 1989, NSF Workshop Proceedings.
5. Menlove H.O., Miller M.C. // Nuc. Instr. & Meth. - 1990.- v.A299. - p.10-16.
6. Celani F., De Felice M., Fabbri E.L. et al. - Frascati, September 1989. - (Frascati preprint, LNF-89/048).
7. Celani F., Spallone A., Pace S. et al. // Fusion Technology - 1990. - v.17, N.4. - p.718-724.

Рукопись поступила в издательский отдел
25 июня 1991 года.