

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

Д15-94-498

ОТРИЦАТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПО ПРОВЕРКЕ
ГИПОТЕЗЫ О СУЩЕСТВОВАНИИ «ХОЛОДНОГО»
И «ГОРЯЧЕГО» ЯДЕРНОГО СИНТЕЗА
В СИСТЕМАХ $Ti/(D-T)$ И $ZrNbV/(D-T)$

Направлено в журнал «Ядерная физика»

1994

Отрицательные результаты по проверке гипотезы о существовании «холодного» и «горячего» ядерного синтеза в системах $Ti/(D-T)$ и $ZrNbV/(D-T)$

Приводятся результаты эксперимента по проверке гипотезы о существовании явления низкотемпературного ядерного синтеза в системах металл/водород. В качестве исследуемых материалов выбраны титан и интерметаллическое соединение $ZrNbV$, насыщаемые дейтерий-тритиевой смесью. Не обнаружено в пределах ошибок измерений превышения счета нейтронов из исследованных материалов, насыщенных дейтерий-тритиевой смесью, над уровнем фона. Гипотеза о возможном существовании «горячего» ядерного dt -синтеза в системах металл/ $(D-T)$ также не имеет экспериментального подтверждения.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1994

Перевод авторов

Bystritsky V.M. et al.

D15-94-498

Negative Results on the Verification of Hypothesis for Existence of «Cold» and «Hot» Fusion in $Ti/(D-T)$ and $ZrNbV/(D-T)$ Systems

Results of experimental verification of low-temperature nuclear fusion phenomena in metal/hydrogen systems are presented. Titanium and intermetallic compound $ZrNbV$ were selected as saturated substances. Samples were saturated with a deuterium-tritium mixture. The neutron emission excess above the background level is not observed within the measurement error for substances under investigation, saturated with deuterium-tritium mixture. The hypothesis of possible existence of «hot» nuclear dt -fusion in metal/ $(D-T)$ systems has not been experimentally verified either.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

В.М.Быстрицкий, Н.И.Журавлев, С.И.Мерзляков, В.Т.Сидоров,
В.А.Столупин, А.В.Стрелков, В.Н.Швецов
Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

А.Бертин, М.Бруски, А.Веззани, С.Веччи, М.Вилла, А.Витале, Д.Галли,
Б.Джакоббе, Г.Заваттини, А.Зокколи, М.Каппони, С. де Кастро,
У.Маркони, И.Масса, Ч.Морони, М.Пиччинини, Н.Семприни-Чезари,
Р.Спиги, А.Ферретти, Б.Черета
Отделение физики университета г. Болонья и Национальный институт
ядерной физики, секция в г. Болонья, Италия

В.М.Быстрицкий
Отделение физики Калифорнийского университета, Ирвайн, США

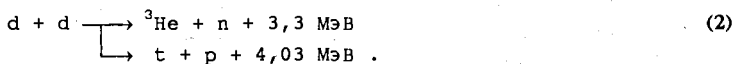
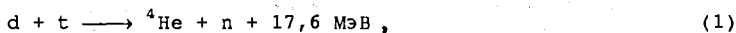
Я.Возняк
Институт физики и ядерной техники, Краков, Польша

В.Н.Дугар-Жабон, Н.В.Самсоненко
Российский университет дружбы народов, Москва

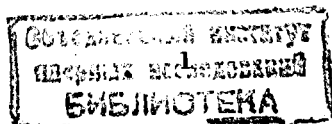
М.Поли
Отделение энергетики университета г. Флоренция и Национальный
институт ядерной физики, секция в г. Болонья, Италия

Л.А.Ривкис, Е.П.Старшин
Всероссийский научно-исследовательский институт неорганических ма-
териалов, Москва

К настоящему времени выполнено достаточно большое количество работ, посвященных исследованию явления низкотемпературного ядерного синтеза (НТС) при насыщении дейтерием Ti, Pd, интерметаллических соединений и кристаллов как в режиме электролиза тяжелой воды D₂O, так и в режиме газовой фазы^{1-5/}. Однако, на основании всей совокупности результатов данных исследований (многие из них противоречивы), как нам кажется, делать какие-либо однозначные утверждения о факте существования НТС является несколько преждевременным, даже в предположении того, что явление НТС носит спорадический характер. Отсутствие воспроизводимости результатов в большинстве случаев еще раз свидетельствует о том, что такого рода результаты, стимулирующие интенсивные дискуссии в широких научных кругах, должны подвергаться тщательной экспериментальной проверке несколькими группами с использованием принципиально отличных друг от друга методик. Обнаружение эмиссии нейтронов в виде нейтронных всплесков длительностью от десятков микросекунд до нескольких минут заслуживает особого внимания^{6,7/}. Причиной возможной эмиссии нейтронов, как следует из рассмотрения различных теоретических моделей, может являться возникновение локальных во времени и в пространстве неравновесных условий в системе металл/водород при насыщении металлов водородом^{4/}. Другими словами, в этих локальных микрообластях может протекать "горячий" ядерный синтез (образование высокотемпературной плазмы, появление микротрещин, между противоположными сторонами которых возникают сильные электрические поля $E \sim 10^8$ В/см), вероятность которого на много порядков превышает вероятность ядерного синтеза химически связанных дейтронов в Pd, Ti (расстояние между двумя дейтронами в дейтерированном Pd превышает расстояние между дейтронами в молекуле D₂). Если предположить, что наблюдаемая эмиссия нейтронов есть результат "горячего" синтеза, то, с точки зрения проверки этой гипотезы, наиболее привлекательным является исследование реакции dt-синтеза по сравнению с реакцией dd-синтеза:



Это обусловлено следующими обстоятельствами. Во-первых, в случае регистрации нейтронов с энергией 14,1 МэВ уровень нейтронного фона существенно ниже, чем в случае регистрации нейтронов с энергией 2,5 МэВ



(реакция (2)) (это, в свою очередь, позволяет получать достоверную информацию об интенсивности возможной эмиссии нейтронов за счет протекания реакции (1)). Во-вторых, согласно $\frac{v}{v'}$ отношение между сечениями dt- и dd-реакций, в случае образования высокотемпературной плазмы, есть:

$$\sigma_{d \rightarrow n} / \sigma_{d \rightarrow d} = \begin{cases} 11 (E_{cm} = 1 \text{ кэВ}) \\ 83 (E_{cm} = 10 \text{ кэВ}), \end{cases}$$

где E_{cm} - относительная энергия (в с.ц.м.). В случае возникновения трещин (ускорительный механизм) отношение $\sigma_{d \rightarrow n} / \sigma_{d \rightarrow d}$ практически не зависит от энергии дейтрона в лабораторной системе, вплоть до энергии ~1 кэВ, и составляет ≈ 178 . При энергии дейтронов $E_d^{lab} < 1$ кэВ данное отношение не является постоянным, если принять в рассмотрение эффект электронного экранирования.

В связи с этим целью настоящей работы являлась проверка гипотезы о протекании реакций "горячего" ядерного синтеза в ряде металлов и интерметаллических соединений, насыщенных смесью дейтерия и трития.

Экспериментальная установка

На рис.1 приведен схематический чертеж экспериментальной установки. Регистрация нейтронов осуществлялась сцинтилляционным детектором 1 и детекторами тепловых нейтронов, заполненными трехфтористым бором (BF_3). Детектор 1 был изготовлен в виде стакана из пластического сцинтиллятора с внутренним диаметром 120 мм, длиной 200 мм и с толщиной стенки 28 мм. Детекторы тепловых нейтронов 2 и 3, каждый из которых представлял собой сборку из пятнадцати BF_3 -детекторов типа СНО-5М, помещались в замедлитель из парафина 5 и располагались вокруг детектора 1 по образующим двух коаксиальных цилиндров. Сосуд 4 с исследуемым веществом, насыщаемым дейтерий-тритиевой смесью, помещался внутри полости детектора 1. Сосуд представлял собой цилиндр из нержавеющей стали диаметром 25 мм и длиной 300 мм, с толщиной стенки 3 мм. Измерение температуры сосуда производилось с помощью хромель-алюмелевых термопар, укрепленных на его корпусе. Сосуд 4 и нейтронные детекторы 1, 2, 3 находились внутри бокса из борированного полиэтилена. Толщина стенок бокса составляла ≈ 20 см. Это позволило уменьшить величину нейтронного фона, связанного с космическим излучением, примерно на два порядка.

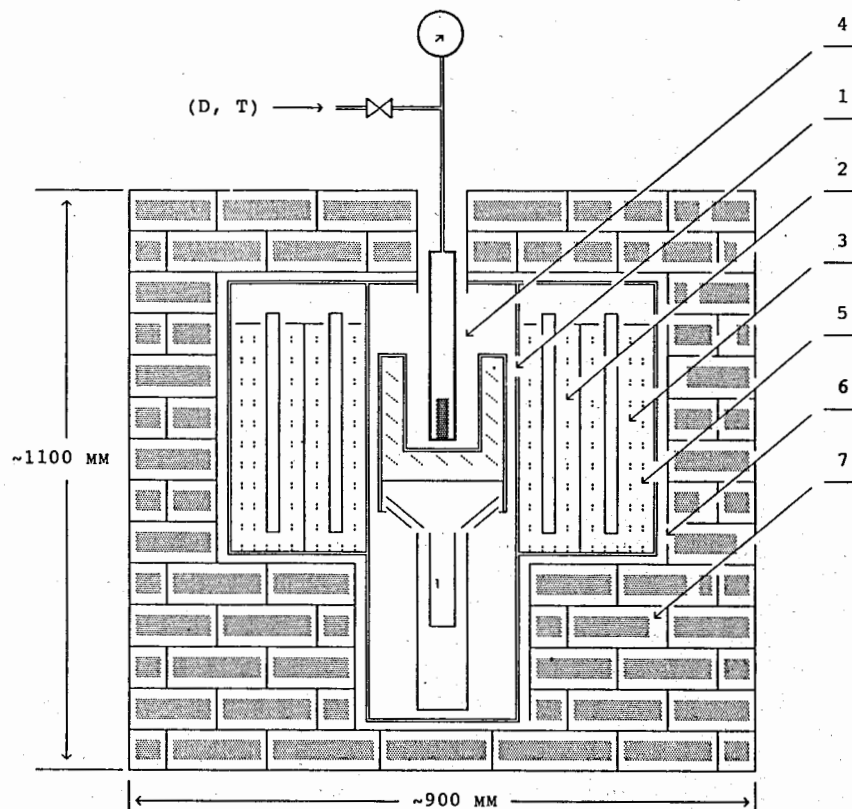


Рис.1.

Схема экспериментальной установки:

1 - сцинтилляционный детектор; 2, 3 - детекторы тепловых нейтронов, заполненные BF_3 ; 4 - сосуд; 5 - замедлитель из парафина; 6 - корпус парафинового замедлителя; 7 - борированный полиэтилен.



Рис.2. Блок-схема регистрирующей электроники.

Электроника

Блок-схема регистрирующей электроники, использованной в эксперименте, приведена на рис.2^{9/}. Электроника в таком варианте позволяла получать как амплитудную, так и временную информацию о каждом событии, зарегистрированном детекторами 1, 2 и 3.

Электроника включала в себя три независимых канала (1, 2, 3) регистрации событий сцинтилляционным детектором 1 и детекторами тепловых нейтронов 2 и 3. Каждый канал регистрации состоял из спектрометрического усилителя, аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и буферного накопителя. Измерение времени появления сигналов с детекторов 1, 2 и 3 осуществлялось с помощью таймера, общего для всей системы регистрации событий. Передача содержимого буферных накопителей в ПЭВМ AT-286 осуществлялась по заполнению любого из буферных накопителей или по окончании интервала времени, задаваемого таймером. Точность измерения временных интервалов между последовательно зарегистрированными событиями составляла 2 мкс.

Условия проведения опытов

Эксперимент включал в себя три опыта по проверке гипотезы о протекании реакций "горячего" ядерного синтеза в губчатом чистом титане (двух модификаций) и в интерметаллическом соединении ZrNbV при насыщении их дейтерий-третиевой смесью. Перед началом каждого опыта исследуемое вещество помещалось внутрь сосуда и проводилась вакуумно-термическая тренировка его по следующей технологии.

Производился нагрев вещества до температуры ~ 650 К при постоянно включенной вакуумной откачке сосуда. При достижении давления остаточных газов на уровне 10^{-3} мм рт. ст. температура вещества повышалась до 1050 К.

Критерием окончания откачки являлась степень газовой выделения из образца и стенок сосуда в его объем, которая при отключенной откачке не должна превышать величины 10^{-2} мм рт. ст. \times ч⁻¹. По достижении заданного уровня газовой выделения дальнейшая откачка сосуда прекращалась и температура вещества понижалась до комнатной (300 К). После этого производился напуск газовой смеси изотопов водорода в сосуд. В опытах использовалась тройная смесь изотопов водорода - смесь протия, дейтерия и трития в определенном процентном соотношении, указанном ниже в тексте (это было связано с тем, что для приготовления дейтерий-третиевой смеси нами использовался не чистый тритий, а смесь $H_2 + T_2$). Перед началом напуска смеси в сосуд производилась очистка ее от примесей (N_2 , O_2 , CO_2 и др.) на уровне 5×10^{-7} об. долей с использованием титановых поглотителей. Насыщение исследуемых веществ смесью изотопов водорода производилось в течение 3 + 5 мин при начальном давлении смеси ~ 2 атм. Что касается двух модификаций титана, использованных нами в эксперименте, то в одном случае сосуд заполнялся чистым губчатым титаном TG2 (0,3% Fe; 0,15% Si; 0,05% C; 0,07% Mg; 0,2% O; 0,03% N; 0,05% Ni; 0,07% Cl) - продуктом отечественной промышленности, а в другом - высокочистой титановой губкой, продукцией JINATTA TORINO TITANIUM SpA (10⁻⁴% Ni, 7·10⁻⁴% Cl, 4·10⁻⁴% O, 10⁻⁴% N, 3·10⁻⁴% Fe, 2·10⁻⁴% C, 10⁻⁴% Si). В частности, группой физиков из Турина^{10/} при исследовании НТС использовался именно этот материал, причем полученные ими результаты свидетельствуют не только о существовании явления низкотемпературного ядерного синтеза, но и о возможности воспроизводимости его. В дальнейшем в тексте используются обозначения этих двух модификаций титана - GTI и ITI соответственно, а интерметаллического соединения ZrNbV - MET.

В таблице 1 для каждого опыта приведены масса используемого вещества, количество поглощенного им газа, состав газовой смеси изотопов водорода, а также степень насыщения данного материала изотопами водорода ($\eta = N_H/N_m$, где N_H - число атомов изотопов водорода, поглощенных металлом; N_m - полное число атомов исследуемого вещества).

Таблица 1

Опыт	Вещество	Масса, г	Количество поглощенного газа, л × атм	Состав смеси, C _{H2} :C _{D2} :C _{T2}	η	Время опыта, ч
1	GTI	28	3,05	29:49:22	0,48	21
2	ITI	3,5	1,54	29:49:22	1,96	28
3	MET	5,4	1,28	29:49:22	1,66	22,5

Каждый опыт включал в себя проведение как рабочих экспозиций (сосуд с образцом, насыщенным газовой смесью, находился внутри полого объема детектора 1), так и фоновых (сосуд извлекался из бокса и удалялся в другое помещение; вместо рабочего сосуда в объем детектора 1 помещался аутентичный вакуумированный сосуд, заполненный исследуемым материалом).

Как перед началом эксперимента, так и по его окончании проводились достаточно длительные фоновые экспозиции (~ 50 ч). Полное время набора статистики в рабочих экспозициях составляло ~ 22 ч. В каждом опыте проводилась серия экспозиций при вариации температуры образца от 78 К до 280 К (термоциклы). Перед началом каждой экспозиции сосуд охлаждался до температуры жидкого азота и помещался внутрь объема детектора 1. Начиная с этого момента в процессе утепления сосуда до комнатной температуры производился набор статистики. В среднем время утепления сосуда составляло 4,5 ч. В течение каждого опыта производилось 4 + 5 температурных циклов.

В течение всего эксперимента производились проверка стабильности работы всей регистрирующей электроники, детекторов, а также калибровка спектрометрических нейтронных каналов с помощью стандартных источников ²⁵²Cf, ¹³⁷Cs, ⁶⁰Co. Кроме этого, нами были выполнены измерения эффективности регистрации нейтронов детекторами 2, 3 с использованием эталонного источника нейтронов ²⁵²Cf. Эффективность регистрации нейтронов детекторами BF₃, установленными в 1-м и 2-м кольцах (см. рис.1), составляла 5,2% и 3,5% соответственно. Эффективность регистрации нейтронов (E_n = 14,1 МэВ) детектором 1 определялась численным путем с помощью метода Монте-Карло. В результате расчетов найденное значение эффективности регистрации нейтронов детектором 1 при установленном амплитудном пороге в данном канале (соответствующем по световыходу энергии протонов отдачи 3 МэВ) оказалось равным 9,4%.

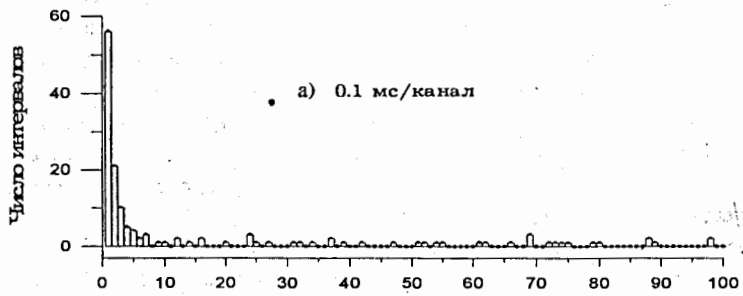
Введение указанного значения амплитудного порога в канале регистрации нейтронов детектором 1 позволило не только исключить из дальнейшего анализа зарегистрированные события, связанные с возможным протеканием реакций dd-синтеза (в случае, конечно, существования НТС), но и существенно уменьшить объем информации, поступающей в ПЭВМ по данному каналу (учитывая большую величину фоновой загрузки пластического сцинтиллятора детектора 1 и форму амплитудного распределения событий, зарегистрированных данным детектором).

Скорость счета фоновых событий, усредненная по всем фоновым экспозициям для детекторов 1, 2, 3, составляла 7,2 с⁻¹, 4 × 10⁻² с⁻¹ и 5 × 10⁻² с⁻¹ соответственно. Флуктуации фона в течение всего эксперимента описывались нормальным распределением со стандартными отклонениями 0,2 с⁻¹, 5,2 × 10⁻³ с⁻¹ и 5,5 × 10⁻³ с⁻¹ для детекторов 1, 2 и 3 соответственно.

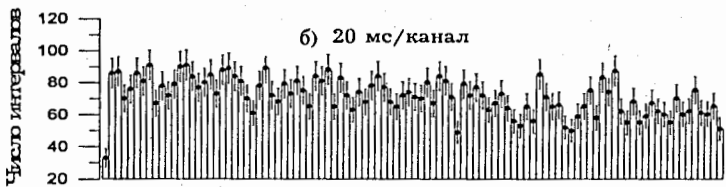
Анализ и обсуждение результатов

Методика обработки экспериментальных данных, полученных как в рабочих, так и в фоновых экспозициях, основана на анализе распределений временных интервалов между последовательно зарегистрированными событиями. В режиме off-line производилось построение распределений временных интервалов между событиями, зарегистрированными как детекторами 2, 3, так и порознь каждым из них. Анализируемый диапазон временных интервалов был разбит на три поддиагона: (Δt)₁ = 0 + 2 мс; (Δt)₂ = 2 мс + 2 с; (Δt)₃ = 2 + 200 с. На рис. 3 в качестве примера для диапазонов времени 0 + 10 мс, 10 мс + 2 с и 2 + 200 с приведены распределения временных интервалов между событиями, зарегистрированными детекторами 2 и 3, полученные как результат суммирования соответствующих распределений по всем фоновым экспозициям. Выбор диапазонов временных интервалов (Δt)₁, (Δt)₂ и (Δt)₃ между последовательно зарегистрированными событиями был обусловлен следующими соображениями.

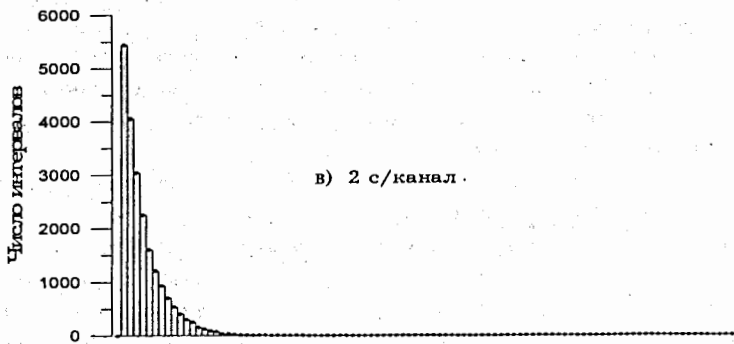
1) Сравнение рабочих и фоновых распределений в диапазонах (Δt)₁ и (Δt)₂ как по форме, так и по числу событий в них позволяет получить ответ на вопрос: носит ли импульсный характер процесс протекания реакций низкотемпературного синтеза (в случае его существования)? Кроме этого, имеется возможность определить длительность нейтронных всплеск и частоту их повторения.



а) 0.1 мс/канал



б) 20 мс/канал



в) 2 с/канал

Рис.3.

Распределения временных интервалов между событиями, зарегистрированными раздельно детекторами 2 и 3, соответствующие различным диапазонам измерения длительности интервалов:

а - 0 + 10 мс; б - 10 мс + 2 с; в - 2 + 200 с.

Распределения а, б, в соответствуют полному числу событий, зарегистрированных раздельно детекторами 2 и 3 в течение всех фоновых опытов.

2) В случае отсутствия проявления импульсного характера НТС сравнение распределений, соответствующих полному временному диапазону измерения интервалов между последовательно зарегистрированными событиями (0 - 200 с), может дать однозначный ответ на принципиально важный вопрос: существует ли, в принципе, низкотемпературный ядерный синтез?

3) Имеется возможность определять не только величину уровня фона, его флуктуации, но и получать столь необходимую информацию об изменении временной структуры фона на протяжении всего времени проведения эксперимента.

Для существенного подавления фона, с целью обнаружения реакций "горячего" dt-синтеза с образованием нейтронов с энергией 14,1 МэВ, нами также был проведен отбор событий, зарегистрированных детектором 1, при условии наличия в течение последующих 400 мкс сигналов с детекторов 2 или 3. Сравнение распределений временных интервалов между моментами появления сигналов со сцинтилляционного и нейтронных детекторов, полученных в рабочих и фоновых экспозициях, может также дать вполне однозначный ответ на вопрос: существует ли "горячий" синтез ядер дейтерия и трития при насыщении губчатого титана двух модификаций и интерметаллического соединения ZrNbV дейтерий-тритиевой смесью. С учетом всего сказанного выше, нами была осуществлена обработка экспериментальных данных в следующей последовательности.

1. Полное время каждого из рабочих и фоновых опытов разбивалось на равные промежутки длительностью 1,5 ч. Для каждого промежутка времени производилось построение распределений временных интервалов (в диапазоне времени 0 + 200 с) между последовательно зарегистрированными событиями по каналам 2 и 3. На рис.4 для каналов регистрации 2 и 3 и для каждого из исследуемых веществ приведены зависимости числа временных интервалов в распределении (соответствующем времени измерения 1,5 ч) от текущего времени (время измеряется от начала эксперимента). Линиями Н и L указан коридор значений изменения фона на 90%-м уровне достоверности. Линией А указано среднее значение фона, полученное путем усреднения данных по всем фоновым экспозициям, проведенным в течение эксперимента. Как видно, по каналам регистрации нейтронов 2 и 3 для исследуемых веществ GTI, ITI, MET при насыщении их газовой смесью изотопов водорода не наблюдается в пределах статистических ошибок превышения счета зарегистрированных нейтронов над уровнем фона. На основании сравнения полученных таким путем рабочих и фоновых распределений временных интервалов следует, что если и существует

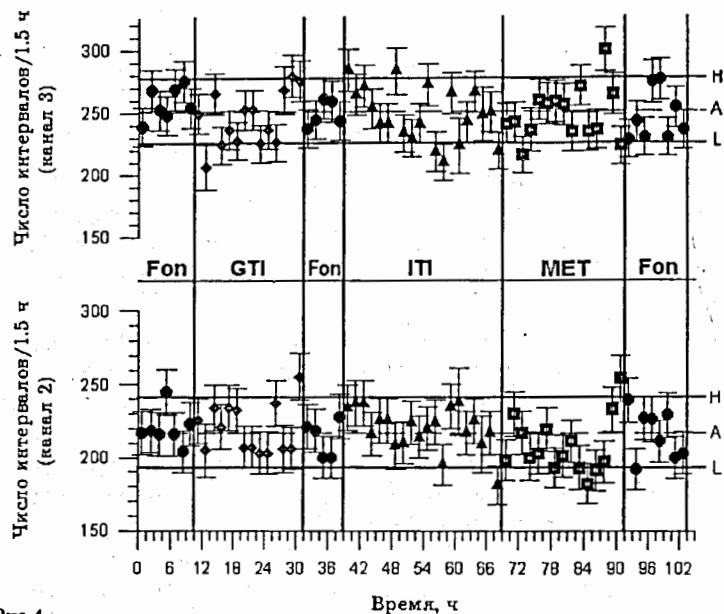


Рис.4. Зависимости числа временных интервалов между событиями, зарегистрированными порознь детекторами 2 и 3 (представляющего собой сумму чисел временных интервалов, соответствующих распределениям в диапазонах $(\Delta t)_1 = 0 + 2$ мс; $(\Delta t)_2 = 2$ мс + 2 с; $(\Delta t)_3 = 2 + 200$ с), от текущего времени, полученные для фоновых и рабочих опытов.

Линиями Н и L указаны верхние и нижние граничные значения фона на 90% уровне достоверности. Линия А отражает значения фона, усредненные по всем фоновым опытам.

низкотемпературный ядерный dd- и dt-синтез, то процесс протекания его во времени может носить только импульсный характер в виде испускания отдельных нейтронных вспышек. Кроме этого, характер изменения во времени фона свидетельствует о стабильной работе детекторов 2 и 3, а также регистрирующей электроники на протяжении всего эксперимента (флуктуации фона описываются нормальным распределением Гаусса).

2. В связи со сказанным в пункте 1 нами была проведена обработка данных рабочих и фоновых опытов с целью получения (для каждого промежутка времени 1,5 ч) распределений временных интервалов между последовательно зарегистрированными событиями по каналам 2 и 3 для

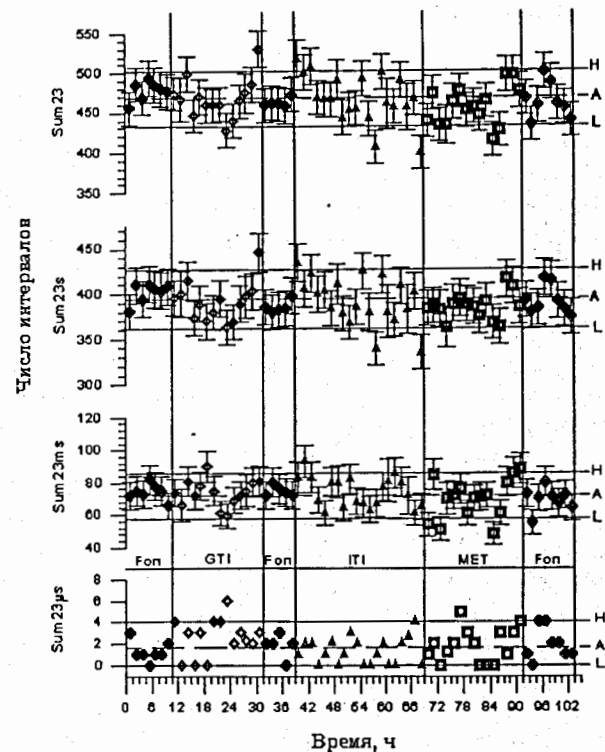


Рис.5. Зависимости полных чисел временных интервалов Sum23мкс, Sum23мс, Sum23с (между событиями, зарегистрированными детекторами 2 и 3, независимо от номера канала регистрации нейтронов), соответствующих временным диапазонам $(\Delta t)_1$, $(\Delta t)_2$ и $(\Delta t)_3$, от текущего времени ($Sum23 = Sum23мкс + Sum23мс + Sum23с$).

Обозначения на рисунке соответствуют обозначениям, приведенным на рис.4.

диапазонов времени $(\Delta t)_1$, $(\Delta t)_2$, $(\Delta t)_3$. Число интервалов в каждом из этих распределений, соответствующих диапазонам $(\Delta t)_1$, $(\Delta t)_2$, $(\Delta t)_3$ ($Sum23мкс$, $Sum23мс$, $Sum23с$), определялось суммарной скоростью счета событий, зарегистрированных детекторами 2 и 3. Такая процедура вполне обоснованна, т. к. на уровне большой статистики (результативная эффективность регистрации нейтронов по каналам 2 и 3 составляет $\approx 8,7\%$,

что примерно в два раза больше эффективности регистрации нейтронов по каждому из каналов в отдельности) появляется реальная возможность обнаружить временную структуру эмиссии нейтронов из различных образцов в процессе их насыщения газовой смесью изотопов водорода. На рис.5 для рабочих и фоновых опытов представлены зависимости чисел интервалов между последовательно зарегистрированными событиями Sum23мкс, Sum23мс, Sum23с, соответствующих диапазонам изменения длительности интервала $(\Delta t)_1$, $(\Delta t)_2$, $(\Delta t)_3$, от времени относительно начала эксперимента ($Sum23 = Sum23мкс + Sum23мс + Sum23с$ и представляет собой, в принципе, полное число событий, зарегистрированных детекторами 2 и 3 в течение времени измерения 1,5 ч).

Как видно из рис.5, для всех исследуемых веществ уровень счета нейтронов в пределах статистических ошибок совпадает с уровнем фона, что, в свою очередь, не подтверждает гипотезу о возможном импульсном характере протекания ядерных реакций НТС.

Следующим этапом анализа данных являлась попытка обнаружения возможной корреляции (в случае существования явления НТС) между интенсивностью эмиссии нейтронов и температурой исследуемого образца. Для этого полное время термоцикла $T = 4,5$ ч (время утепления сосуда от 78 К до 280 К) разбивалось на три интервала длительностью 1,5 ч (каждый интервал соответствовал следующим диапазонам изменения температуры: $(\Delta T)_1 = 78 + 170$ К; $(\Delta T)_2 = 170 + 235$ К; $(\Delta T)_3 = 235 + 280$ К), и производилось построение распределений временных интервалов между событиями, зарегистрированными детекторами 2 и 3 в указанных выше диапазонах $(\Delta t)_1$, $(\Delta t)_2$ и $(\Delta t)_3$ для каждого температурного интервала $(\Delta T)_1$, $(\Delta T)_2$, $(\Delta T)_3$ и для каждого термоцикла. Затем для каждого вещества производилось суммирование соответствующих временных распределений по всем термоциклам с данным образцом. На рис. 6 представлены значения величин Sum23мкс, Sum23мс, Sum23с и Sum23, соответствующие полученным временным распределениям для трех выбранных нами диапазонов температур $(\Delta T)_1$, $(\Delta T)_2$ и $(\Delta T)_3$. Линиями Н и Л на данном рисунке указана область флуктуаций значений нейтронного фона на 90%-м уровне достоверности. Нетрудно видеть, что для всех трех исследуемых веществ, насыщенных газовой смесью изотопов водорода, в пределах статистических ошибок не наблюдается превышения счета нейтронов в процессе вариации температуры от 78 К до 280 К над уровнем фона. Это свидетельствует о том, что нами экспериментально не обнаружена эмиссия нейтронов из систем Ti/(D-T) и ZrNbV/(D-T) в процессе термоциклирования.

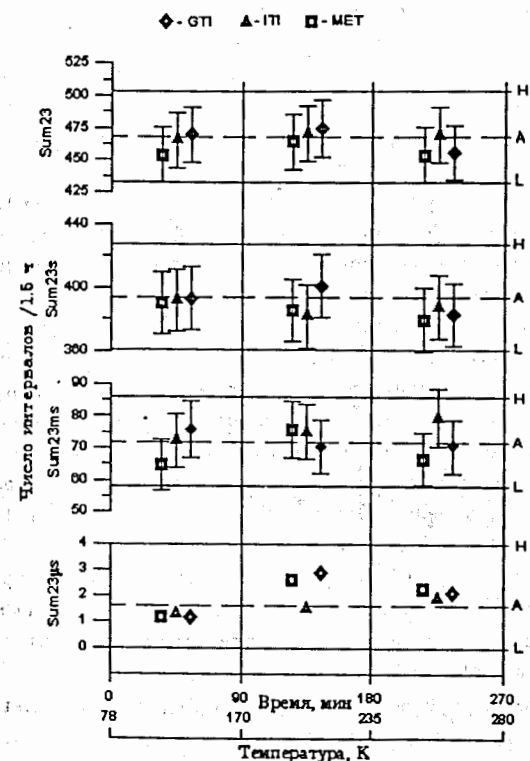


Рис.6. Зависимости значений Sum23мкс, Sum23мс, Sum23с и Sum23 от температуры образцов.

Полное время утепления образца от температуры 78 К до 280 К (время термоцикла) разбито на три интервала длительностью по 1,5 ч, что соответствует следующим диапазонам изменения температуры: $(\Delta T)_1 = 78 + 170$ К, $(\Delta T)_2 = 170 + 235$ К, $(\Delta T)_3 = 235 + 280$ К.

$$Sum23мкс = \sum_{i=1}^n (Sum23мкс)_i, \quad Sum23мс = \sum_{i=1}^n (Sum23мс)_i, \quad Sum23с = \sum_{i=1}^n (Sum23с)_i, \\ Sum23 = Sum23мкс + Sum23мс + Sum23с,$$

где n - число термоциклов с данным веществом. Приведенные значения Sum23мкс, Sum23мс, Sum23с и Sum23 нормированы на одно и то же число термоциклов.

Обозначения на рисунке соответствуют обозначениям, приведенным на рисунках 4 и 5.

Следует отметить, что все рассуждения и выводы, изложенные выше, касались экспериментальной проверки гипотезы о существовании низкотемпературного ядерного dd - и dt -синтеза в системах металл/(D-T) и базировались на анализе данных, полученных только с помощью детекторов 2, 3 без привлечения информации, полученной по каналу регистрации быстрых нейтронов (канал регистрации 1).

Для ответа на вопрос: возможно ли протекание ядерных реакций "горячего" синтеза при наводораживании различных материалов, нами проводился анализ данных согласно следующему алгоритму. Как было отражено во введении, наиболее чувствительными экспериментами, в плане обнаружения "горячего" ядерного синтеза, являются эксперименты по насыщению различных материалов дейтерий-тритиевой смесью (из-за существенно меньшего уровня фона при регистрации нейтронов из реакции dt -синтеза, по сравнению со случаем dd -синтеза, появляется реальная возможность четкого обнаружения превышения выхода нейтронов в рабочих экспозициях над уровнем фона). В связи с этим, как для рабочих, так и для фоновых экспозиций, отбор событий для дальнейшего анализа производился при выполнении следующих условий:

а) наличие сигнала от детектора 1 при амплитудном пороге в канале регистрации 1, соответствующем энергии нейтронов 3 МэВ (данное значение амплитудного порога позволило исключить из рассмотрения события, связанные с протеканием реакций dd -синтеза);

б) наличие в течение 400 мкс, относительно момента появления сигнала от детектора 1 (данное время заведомо больше времени от момента попадания нейтрона в парафиновый замедлитель, окружающий BF_3 -детекторы, до момента захвата его ядром ^{10}B в BF_3 -детекторе), сигнала от любого из детекторов тепловых нейтронов 2, 3.

Конечным этапом анализа экспериментальных данных являлось построение и сравнение между собой рабочих и фоновых распределений временных интервалов между моментами появления сигналов со сцинтилляционного детектора 1 и детекторов тепловых нейтронов, при выполнении указанных: выше условий. На рис.7 приведены распределения временных интервалов, полученные в результате проведения как фоновых, так и рабочих опытов с исследуемыми веществами. Линиями Н и L ограничена область флуктуаций значений фона на 90%-м уровне достоверности. Как видно из рис.7, в пределах статистических ошибок измерений не наблюдается никакого различия между распределениями временных интервалов, полученных в рабочих и фоновых опытах, как по форме, так и по числу событий в них.

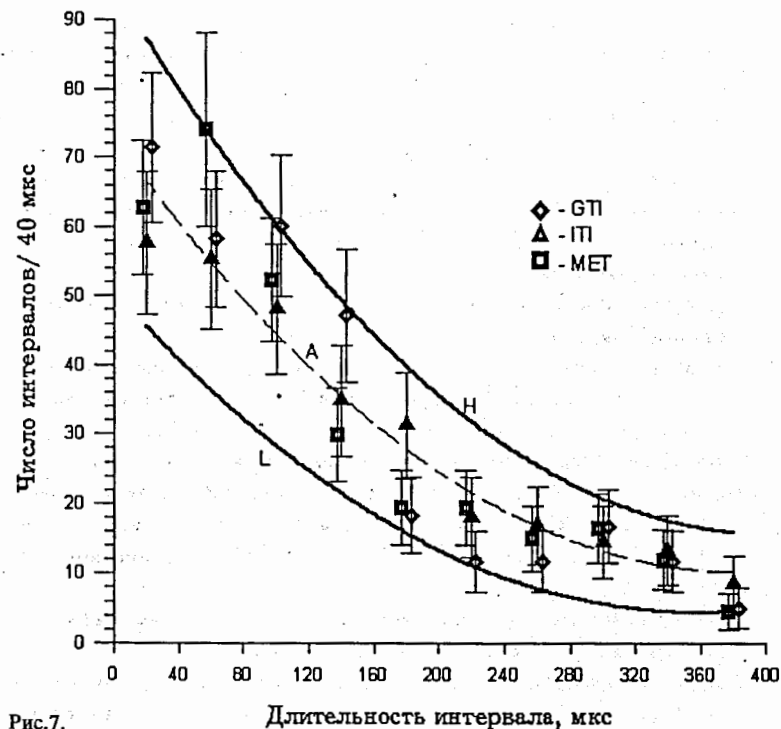


Рис.7. Длительность интервала, мкс

Распределения временных интервалов между моментами появления сигналов со сцинтилляционного детектора 1 и детекторов тепловых нейтронов 2 и 3, полученные в рабочих и фоновых опытах. Диапазон измерения временных интервалов составлял: 0 + 400 мкс.

Обозначения на рисунке соответствуют обозначениям, приведенным на рисунках 4, 5 и 6.

Для большей достоверности того, что отобранные для дальнейшего анализа события соответствуют именно факту регистрации нейтронов детекторами 2, 3; нами была также проведена обработка всей совокупности данных по полному алгоритму, описанному выше, но с введением определенного амплитудного критерия. При построении распределений временных интервалов между последовательно зарегистрированными событиями отбирались только такие события (зарегистрированные детекторами 2, 3), для которых амплитуда сигналов от детекторов

6. H.O. Menlov et al., LANL Report LA-UR 89-1974, Los Alamos, 1989; J. Fusion Energy 9 (1990) 4; Nucl. Inst. Meth. A-299 (1990) 10.
7. A. De Ninno et al., Europhysics Letters 9 (1989) 221.
8. J.S. Cohen and J.D. Davies, in: Proc. Int. Symp. on Muon Catalyzed Fusion 89, ed. J.D. Davies, RAL-90-022 (Rutherford Appleton Laboratory, 1990) p. 108.
9. В.М. Быстрицкий и др. — Направлено в печать.
10. T. Bressani et al., Nuovo Cimento 104A (1991) 1413;
M. Agnello et al., Proc. of the Third Int. Conf. on Cold Fusion, Nagoya, Japan, October 21 - 25, 1992, p. 433.
11. В.И. Артюхов и др., Сообщение ОИЯИ, D13-91-200, Дубна, 1991.
12. V.B. Brudanin et. al., Phys. Lett. 146 (1990) 347.
13. V.B. Brudanin et. al., Phys. Lett. 146 (1990) 351.
14. V.B. Brudanin et. al., Phys. Lett. 151 (1990) 543.

Рукопись поступила в издательский отдел
23 декабря 1994 года.