

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ ПРИ НАСЫЩЕНИИ LaNi_5 , НИКЕЛЯ И БЕРИЛЛИЯ ВОДОРОДОМ

Ю.Н. Бажутов¹, Е.О. Белоусова², В.П. Корецкий¹, А.Г. Пархомов², А.Д. Саблин-Яворский, Ю.А.Сапожников².

¹ *Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН (ИЗМИРАН), г. Троицк;*

² *МГУ им. Ломоносова, Москва*

Создана установка для исследования гамма, рентгеновского и нейтронного излучений веществ, насыщенных протий-дейтериевой смесью, при температурах до 700°C , давлениях до 100 бар и различных соотношениях дейтерий-протий. Обнаружено, что порошок никеля, а также никелевая и бериллиевая фольги в атмосфере водорода при давлении выше 50 бар и температуре выше 200°C испускают нейтроны и рентгеновское излучение в виде серий коротких всплесков продолжительностью до нескольких десятков минут. Рентгеновское и нейтронное излучение из LaNi_5 имеет вид одиночных всплесков, но происходит в более широком диапазоне температур (от комнатной до 650°C) и давлений (от атмосферного до 75 бар) при условии высокой насыщенности LaNi_5 водородом. Влияние на результаты экспериментов изменения соотношения дейтерий-протий от долей процента до 100% не обнаружено.

Исследование свойств системы никель-водород, сделанное F.Piantelli, S.Fokardi и другими исследователями, ясно показало, что в этой системе происходят не только химические, но и ядерные процессы холодной трансмутации [1-3]. На основе этих исследований создана установка, выделяющая сотни киловатт энергии при очень низком потреблении водорода [4,5].

Наши исследования имеют целью проверку наличия трансмутаций при насыщении никеля водородом путем регистрации излучений, которыми должны сопровождаться ядерные превращения. Помимо никеля, мы исследовали интерметаллид примерного состава LaNi_5 , который по способности поглощать водород многократно превосходит чистый никель [6]. Более точный его химический состав был определен на растровом электронном микроскопе Jeol JSM – 6480OLV: (Al-0,4; Ni-77,3; Cu-5,5; La-11,6; Ce-5,2) массовых %, что соответствует химической формуле $\text{La}_1\text{Ce}_{0,4}\text{Ni}_{6,7}\text{Cu}_{0,5}\text{Al}_{0,04}$. Кроме того, исследован бериллий как материал, способность которого к низкотемпературным трансмутациям предсказывает эрозионная модель этого явления [7-10]

Экспериментальная установка

Работа теплогенератора Росси-Фокарди происходит при давлении водорода до 55 атмосфер и температуре более 100°C [5]. Учитывая это, мы создали экспериментальную установку, позволяющую исследовать процессы, происходящие в легированном LaNi_5 при таких и более высоких давлениях и температурах. Установка (рис. 1) состоит из баллона с протий - дейтериевой смесью под давлением несколько десятков атмосфер, промежуточной трубки и цилиндрической ячейки, содержащей исследуемое вещество. Ячейка окружена электронагревателем, обеспечивающим нагрев до 700°C . Промежуточная трубка содержит отводы к манометру и к форвакуумному безмасляному насосу. Для измерения температуры ячейки используются закрепленные на ней термодпары. Изменение насыщенности исследуемого вещества водородом определялась по снижению давления водорода при известном объеме, из которого водород поглощался.



Рис. 1. Экспериментальная установка.

Слева – вид с комплексом измерительной аппаратуры. Справа – без аппаратуры.

1- баллон с водородом; 2 - манометр; 3 - ячейка с порошком; 4 – электронагреватель; 5 – коллиматор для гамма источника; 6 – отвод к форвакуумному насосу; 7 – регулятор мощности нагревателя

Особое внимание уделялось регистрации излучений, которые могут возникнуть в процессе ядерных трансмутаций (рис. 2). Для регистрации гамма излучения использован счетчик со сцинтиллятором $NaJ(Tl)$ размером ($\text{Ø}40 \times 40 \text{ мм}$). В ряде экспериментов был использован гамма спектрометр с кристаллом $NaJ(Tl)$ $\text{Ø}10 \times 10 \text{ см}$. Помимо этого, использовано 4 детектора на основе счетчиков Гейгера. Два счетчика имеют окно из тонкой слюды толщиной около 10 мкм. Такие счетчики способны регистрировать рентгеновское и гамма излучение, начиная с энергии квантов несколько кэВ , бета излучение и даже альфа частицы. Один из них прикрыт тефлоном толщиной 2 мм. Кроме того, использованы 2 счетчика Гейгера с металлическими стенками, причем один из них также заэкранирован тефлоном толщиной 2 мм. Эти счетчики способны регистрировать гамма излучение с энергией квантов выше 50 кэВ и бета частицы энергией выше 0,5 МэВ . Для регистрации нейтронов использован ${}^3\text{He}$ счетчик ($\text{Ø}30 \times 300 \text{ мм}$), размещенный в воде, служащей замедлителем. Такой детектор обладает высокой и примерно одинаковой чувствительностью к нейтронам в очень широком диапазоне энергий – от десятых долей эВ до нескольких МэВ в сочетании с крайне низкой чувствительностью к гамма излучению. Счетчик имеет эффективность регистрации нейтронов около 2%. Работоспособность счетчика проверялась источником нейтронов ${}^{252}\text{Cf}$.

Для проверки предположения о стимулирующем действии на изучаемые процессы ионизирующей радиации в установке предусмотрена возможность облучения ячейки источником гамма излучения ${}^{137}\text{Cs}$ активностью около 1 мКи . Для ослабления нежелательного воздействия радиоактивного источника на детекторы используется свинцовый коллиматор.

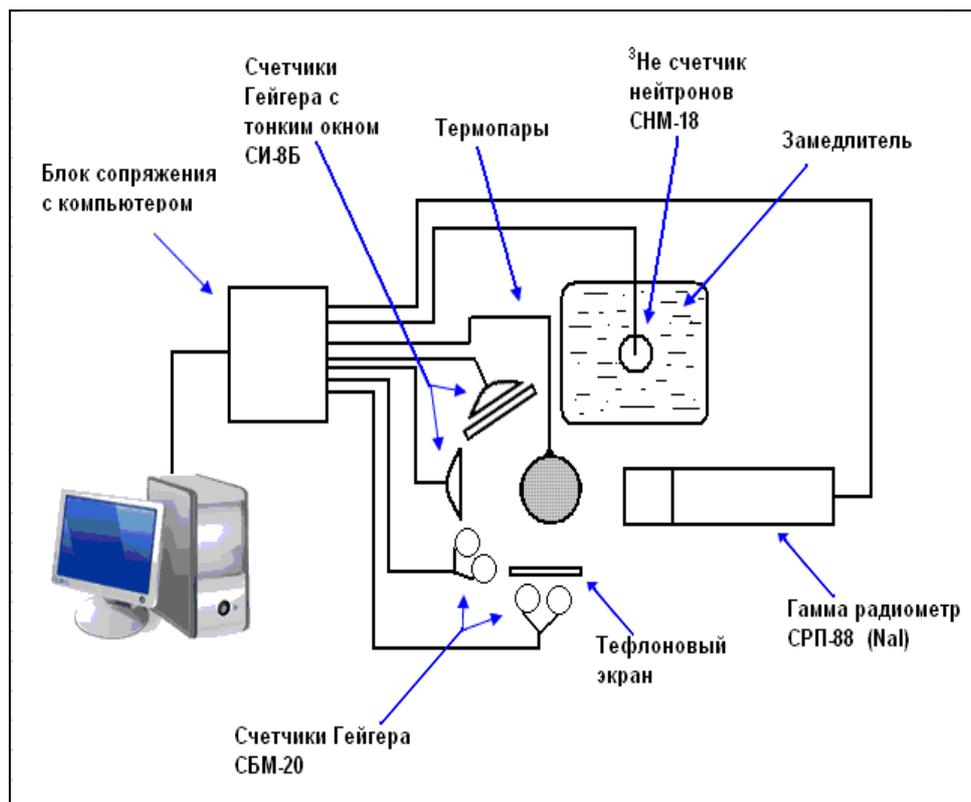


Рис. 2. Комплекс аппаратуры для регистрации излучений и температурных измерений.

Автоматическая регистрация информации о температуре и скорости счета радиационных детекторов осуществляется специально оборудованным компьютером. Особенностью использованной системы регистрации является возможность регистрировать короткие всплески.

Результаты исследований термодинамических свойств исследуемых веществ при насыщении протий - дейтериевой смесью

На рис. 3 показан типичный ход процесса насыщения легированного LaNi_5 водородом и высвобождения его при нагреве в неизменном объеме. Кратковременное открытие баллона с водородом приводит к скачку давления, которое сразу же начинает снижаться в результате поглощения водорода. При этом происходит повышение температуры ячейки на несколько градусов. После включения внешнего нагревателя при температуре около 80°C начинается бурное выделение поглощенного водорода, в результате чего быстро растет давление. После достижения температуры 250°C давление почти стабилизируется и даже может снижаться, несмотря на рост температуры. Этот эффект можно объяснить тем, что в этой области температур поглотительная способность порошка с ростом давления растет быстрее, чем высвобождение водорода, связанное с нагревом. После выключения нагревателя быстрое снижение давления начинается лишь после падения температуры до 200°C . После остывания до комнатной температуры давление возвращается к значению, близкому к исходному.

Диаграммы давления, полученные в экспериментах с никелем и бериллием, похожи на диаграммы, полученные в экспериментах с LaNi_5 , но изменения давления меньше, так как эти вещества по способности поглощать водород уступают LaNi_5 .

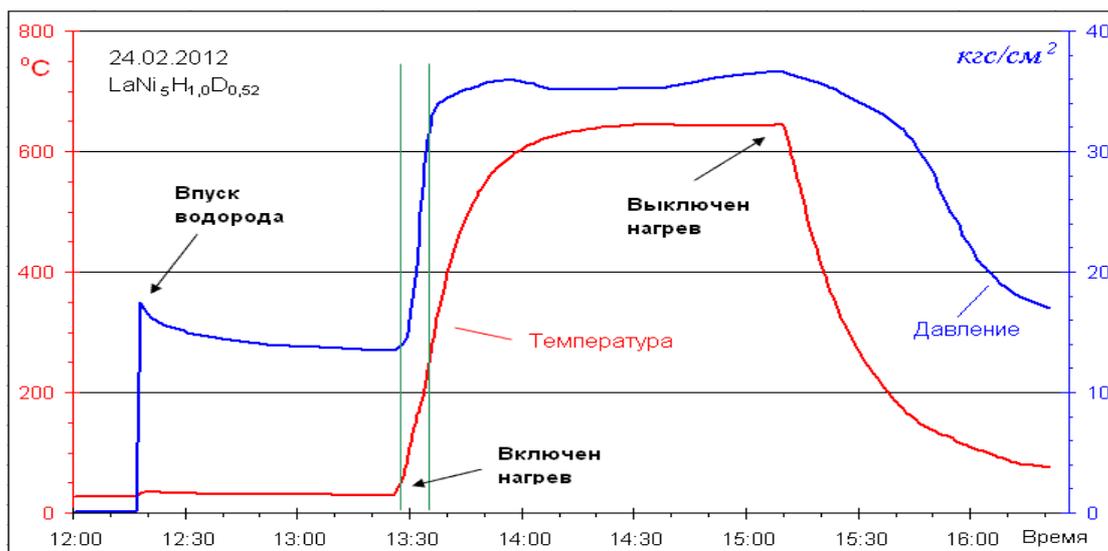


Рис. 3. Ход процесса насыщения легированного LaNi_5 водородом и высвобождения его при нагреве

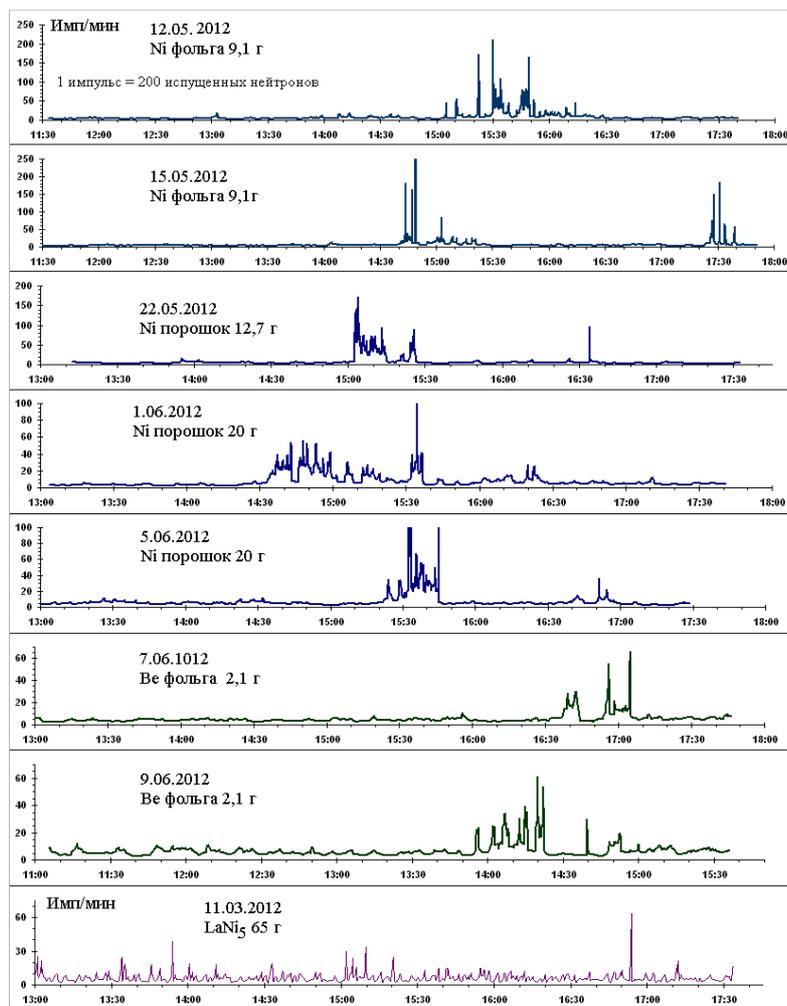


Рис. 4. Примеры сигналов с нейтронного счетчика СМ-18, зарегистрированных в экспериментах с никелевой и бериллиевой фольгой, с никелевым порошком и с порошком LaNi_5

Регистрация нейтронов

Характер сигналов со счетчика нейтронов СМ-18, зарегистрированных в экспериментах с никелевой и бериллиевой фольгой, а также с никелевым порошком, сходен (рис. 4). Регистрация нейтронов, достоверно превышающая фоновую, наблюдается лишь при температурах выше 200-300°C, причем скорость счета флуктуирует в широких пределах. Общее число испущенных нейтронов - от нескольких десятков тысяч до нескольких сотен тысяч (одному зарегистрированному импульсу соответствует примерно 200 испущенных нейтронов).

Иначе проявляет себя порошок LaNi_5 . Сигнал со счетчика нейтронов имеет вид отдельных коротких всплесков, появляющихся даже при комнатной температуре.

Рассмотрим некоторые из экспериментов внимательно.

Но рис 5 представлены результаты одного из экспериментов с порошком никеля. С 14:30 до 16:30 зарегистрировано 1230 импульсов сверх фона. Это соответствует 245600 нейтронам, испущенным из образца. Интенсивная регистрация импульсов нейтронного счетчика происходила при давлении 64 бар и температуре 250-350°C

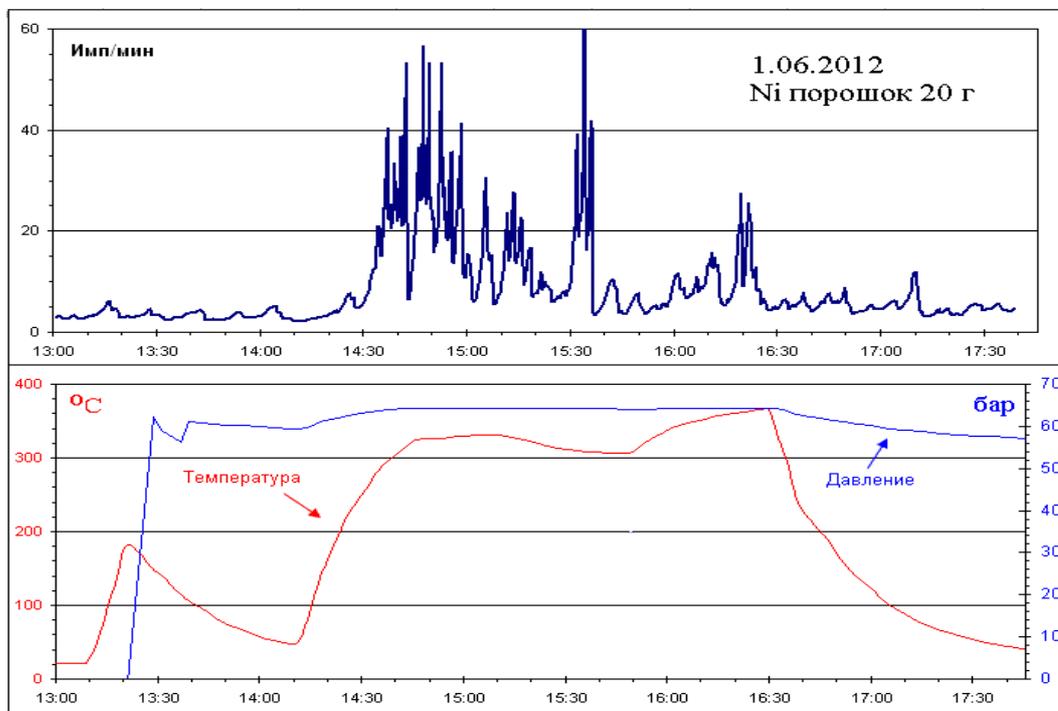


Рис. 5. Эксперимент с порошком никеля. Интенсивная регистрация импульсов нейтронного счетчика происходила при давлении 64 бар и температуре 250-350°C

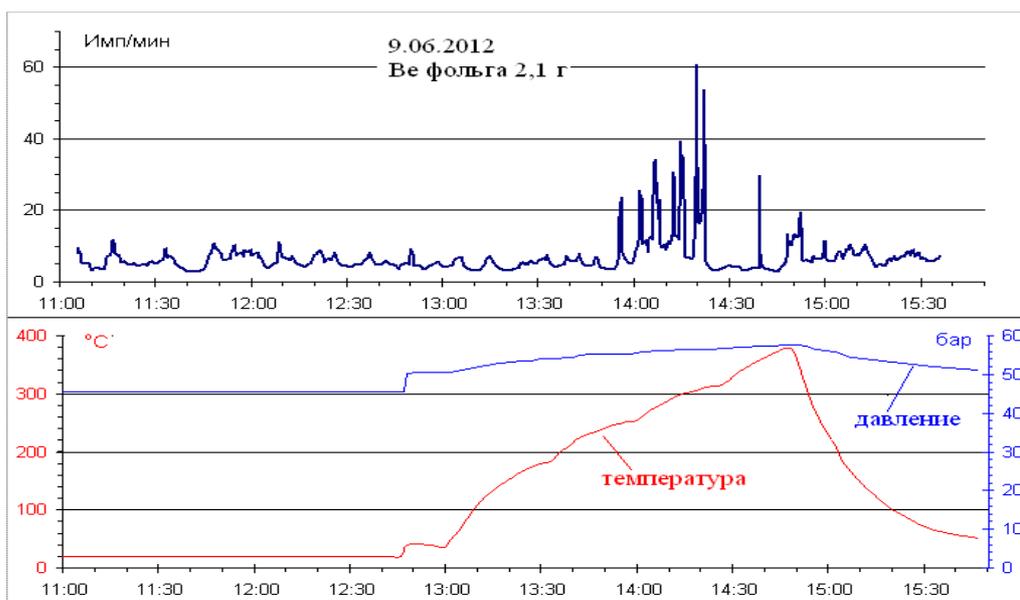


Рис. 6. Эксперимент с бериллиевой фольгой. Излучение нейтронов происходило при давлении около 56 бар и температуре 250-350°C

На рис 6 показаны результаты одного из экспериментов с бериллиевой фольгой. С 13:55 до 14:22 счетчик СНМ-18 зарегистрировал 232 импульса сверх фона. Это соответствует 46400 нейтронам, испущенным из образца. Излучение нейтронов происходило при давлении около 56 бар и температуре 250-350°C.

В одном из экспериментов была сделана проверка того, что нейтронный счетчик регистрировал именно нейтроны, путем применения альтернативной методики с использованием индиевого активационного детектора (рис. 7). С 15:21 до 15:44 5 июня счетчик СНМ-18 зарегистрировал 577 импульсов сверх фона. Это соответствует 115400 нейтронам, испущенным из образца. Излучение нейтронов происходило при давлении 61 бар и температуре около 350°C. В это время на расстоянии около 4 см от образца порошка никеля находилась индиевая фольга площадью 6,6 см² толщиной 0,35 мм. Измерение активности индия осуществлялось посредством торцового счетчика Гейгера. Измеренная скорость счета активированного индия с учетом распада с периодом полураспада 54 минуты $0,432 \pm 0,022$ имп/с. Фон $0,383 \pm 0,016$ имп/с. С учетом поглощения бета частиц в фольге и окне счетчика это соответствует активности индия $0,6 \pm 0,3$ Бк. Такую активность мог создать поток нейтронов 2000 н/см². С учетом геометрии полное число излученных нейтронов 400000 ± 200000 .

Учитывая слабость активационного эффекта и неизвестность нейтронного спектра, согласие результатов измерений двумя методами можно признать удовлетворительным, что подтверждает *нейтронную* причину появления импульсов нейтронного счетчика.

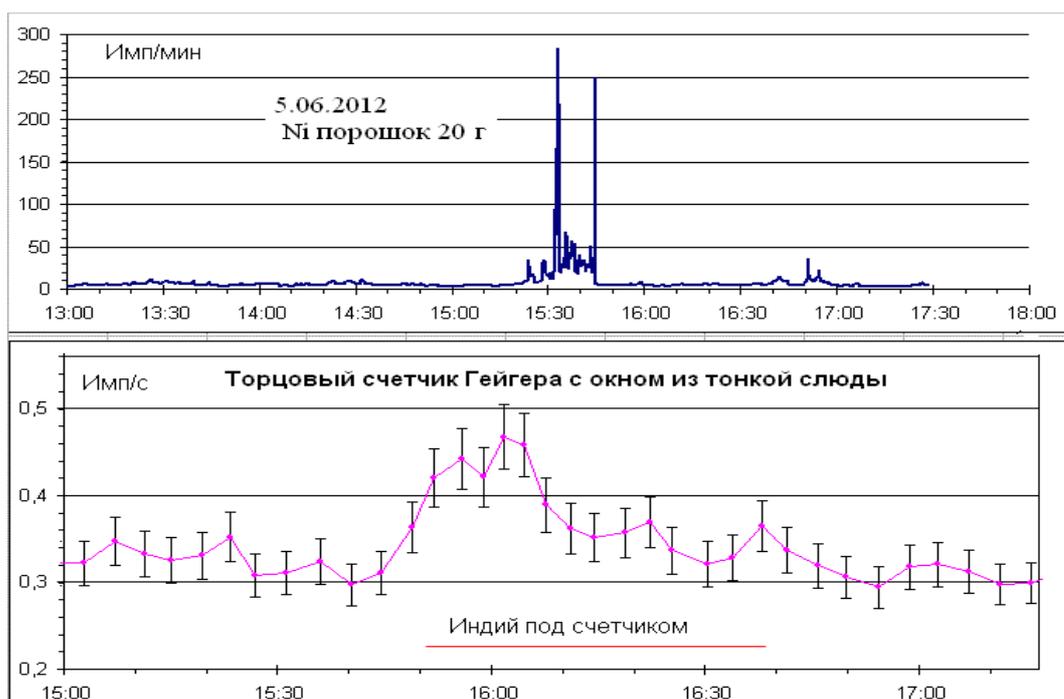


Рис. 7. Эксперимент с никелевым порошком. Измерение нейтронной радиации двумя различными методиками. Скорость счета нейтронного счетчика (вверху) и результат измерения активности индия (внизу).

Нейтроны в экспериментах с LaNi_5

В отличие от экспериментов с никелем и бериллием, в экспериментах с LaNi_5 сигналы с нейтронного счетчика имеют вид отдельных коротких всплесков (рис. 8), хорошо заметных при коротких циклах измерения, в которые укладывается лишь несколько импульсов. Важно отметить, что всплески скорости счета происходят не только при высоких температурах и

давлениях (эксперименты проводились при температурах до 650°C и давлениях до 75 бар), но и при комнатной температуре и даже в воздухе при атмосферном давлении. Это наглядно показал специально проведенный эксперимент (рис. 9). Счетчик нейтронов СМ-18 был обернут листом кадмия, что привело к уменьшению фонового счета примерно в 4 раза. Внесение под кадмий образца LaNi_5 , насыщенного дейтерием, как видно на рисунке 9, привело к значительному возрастанию частоты и амплитуды всплесков. Помимо обнаружения нейтронного излучения при комнатной температуре и обычном атмосферном давлении, этот эксперимент указывает также на то, что излучаются нейтроны низких энергий, поскольку чувствительность ^3He счетчика к нейтронам высокой энергии невелика, а замедлитель в этом эксперименте отсутствует.

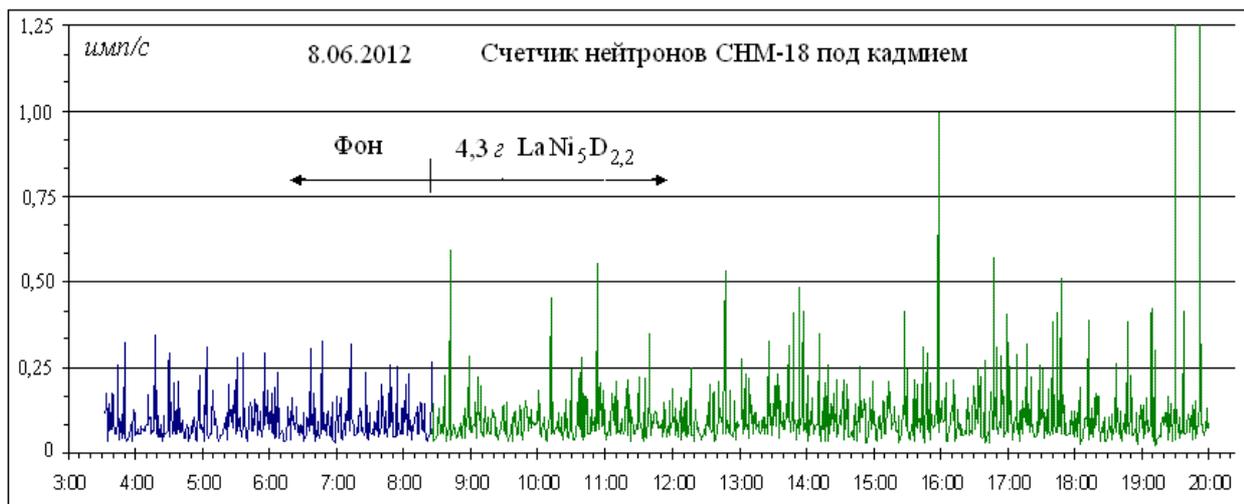


Рис. 9. Скорость счета импульсов нейтронного счетчика СМ-18, обернутого листом кадмия. Внесение под кадмий образца LaNi_5 , насыщенного дейтерием, приводит к значительному возрастанию частоты и амплитуды всплесков

Измерения с использованием детекторов гамма и рентгеновского излучений

Использованная радиометрическая аппаратура позволяет заметить эффекты на уровне естественного радиационного фона, даже если они имеют характер коротких всплесков продолжительностью доли секунды. Детекторы гамма излучения, имеющие порог по энергии квантов около 50 кэВ (металлический счетчик Гейгера, сцинтилляционный гамма-радиометр, а также гамма спектрометр с кристаллом NaI(Tl) $\varnothing 10 \times 10 \text{ см}$), не обнаружили эффектов. Наиболее результативными оказались счетчики Гейгера с тонким слюдяным окном, в том числе, счетчик, заэкранированный тефлоном. В большинстве случаев наблюдались короткие всплески продолжительностью меньше минуты.

Обычно всплески в различных детекторах не согласованы во времени, но были зарегистрированы и совпадения в двух и трех каналах. Пример одновременных всплесков скорости счета трех счетчиков Гейгера показан на рис. 10.

Совпадающих во времени всплесков скорости счета гамма-рентгеновских детекторов (счетчиков Гейгера) и счетчика нейтронов не зарегистрировано. На рис. 11 показан пример записи сигналов, иллюстрирующий это утверждение. Во время эксперимента с никелевой фольгой произошло два сильных всплеска скорости счета счетчика Гейгера с тонким окном и два всплеска сигнала с нейтронного счетчика. Как видно на рисунке, по времени они не совпадают. На двух счетчиках Гейгера с металлическими стенками в этом эксперименте заметных эффектов не обнаружено.

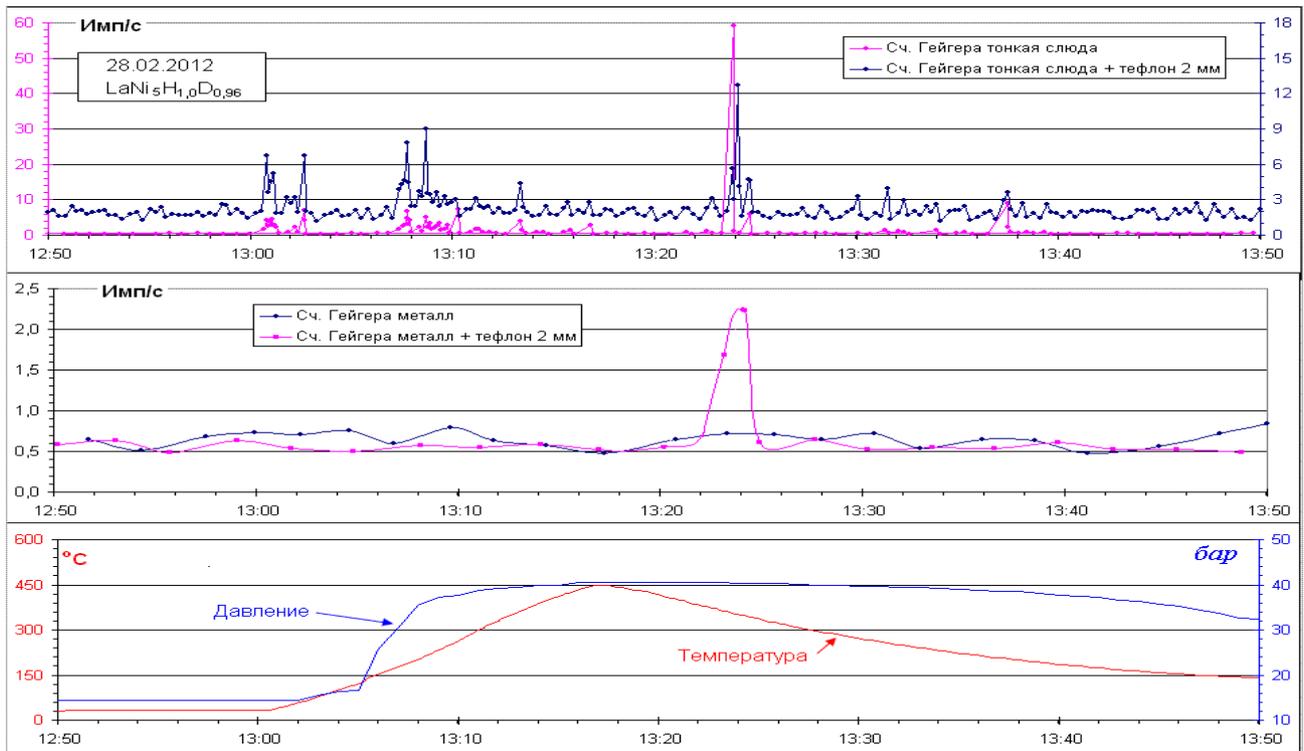


Рис. 10. Пример синхронных всплесков скорости счета. Счетчик с тонким слюдяным окном дал превышение над фоном до 200 раз. Счетчик, заэкранированный тефлоном, дал всплески, превышающие фон до 10 раз. Всплеск, превышающий фон в 4 раза, дал металлический счетчик, заэкранированный тефлоном, тогда как счетчик, не прикрытый тефлоном, не дал сигналов, возвышающихся над фоном.

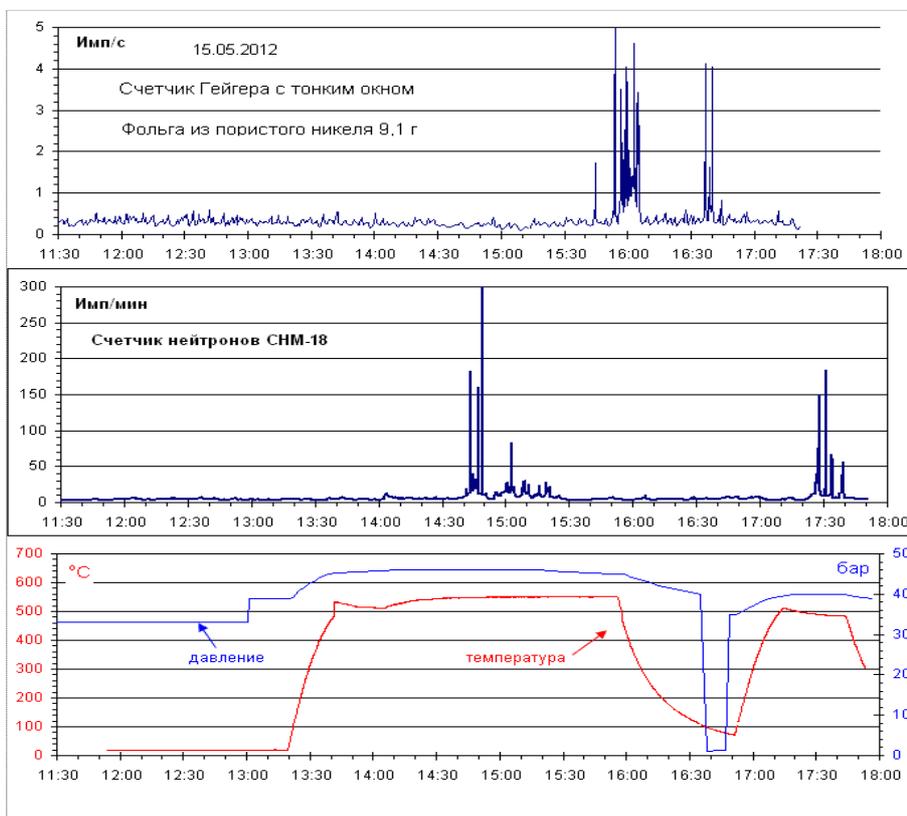


Рис. 11. Эффекты, зарегистрированные счетчиками Гейгера и счетчиком нейтронов во время экспериментов с фольгой из никеля

На что реагировали счетчики? Детекторы гамма излучения, имеющие порог по энергии квантов около 50 кэВ - металлический счетчик Гейгера и сцинтилляционный гамма-радиометр, как отмечено выше, эффектов не обнаружили. Следовательно, зарегистрированное излучение не может быть гамма излучением с энергией выше 50 кэВ . На такое

излучение откликнулись бы *все* счетчики. Предположение о том, что регистрируется бета

излучение тоже не проходит, так как бета частицы с энергией меньше $0,5 \text{ МэВ}$, которые не регистрируются металлическим счетчиком Гейгера, не регистрировались бы и счетчиками, прикрытыми тефлоном, толщина которого достаточна для полного поглощения таких бета частиц. А в них эффект наблюдался. По тем же причинам не подходит и любое сильноионизирующее излучение типа альфа частиц. Единственным излучением, свойства которого позволяют объяснить совокупность полученных результатов, является рентгеновское излучение с энергией квантов до $15\text{-}20 \text{ кэВ}$. Оно практически полностью поглощается тонкими слоями вещества с достаточно высоким атомным весом, такими как железо или медь, и мало ослабляется веществами с низким атомным весом, в том числе тефлоном. Стенки использованных нами металлических счетчиков Гейгера изготовлены из нержавеющей стали толщиной $0,1 \text{ мм}$. Такие стенки ослабляет рентгеновское излучение с энергией 20 кэВ более чем в 10 раз, тогда как слой тефлона толщиной 2 мм ослабляет его только в 2 раза. Понятно, что такое излучение практически не регистрируется счетчиками с металлическими стенками и регистрируется счетчиками с тонким окном.

Однако источником рентгеновского излучения с энергией менее 20 кэВ не может быть непосредственно исследуемый порошок, так как он находится в металлическом сосуде со стенками, имеющими толщину 2 мм , достаточную для практически полного поглощения этого излучения. Можно предположить, что порошок испускает некое излучение, обладающее достаточно высокой проникающей способностью, которое порождает рентгеновское излучение уже за пределами сосуда, взаимодействуя с тефлоном или другими веществами. Этим можно объяснить то, что всплески наблюдались в металлическом счетчике, только если он был прикрыт тефлоном.

Отметим, что всплески наблюдались при разных соотношениях дейтерий/протий в насыщающем никель или бериллий водороде и в составе насыщенного водородом LaNi_5 (от $0,5\%$ до 100%). Необходимым условием является достаточно высокая насыщенность LaNi_5 водородом (больше 1 атома на 1 кластер LaNi_5). Предположение о стимулирующем влиянии ионизирующей радиации не получило очевидного подтверждения, так как сходные результаты получаются как при наличии, так и при отсутствии облучения гамма квантами ^{137}Cs .

Возможность образования в процессе экспериментов радиоактивных нуклидов была проверена с использованием германий-литиевого полупроводникового детектора. Спектры LaNi_5 после экспериментов практически совпадают со спектром исходного образца и отличаются от фонового спектра лишь 6 линиями, из которых одну можно отождествить с долгоживущим радионуклидом ^{138}La .

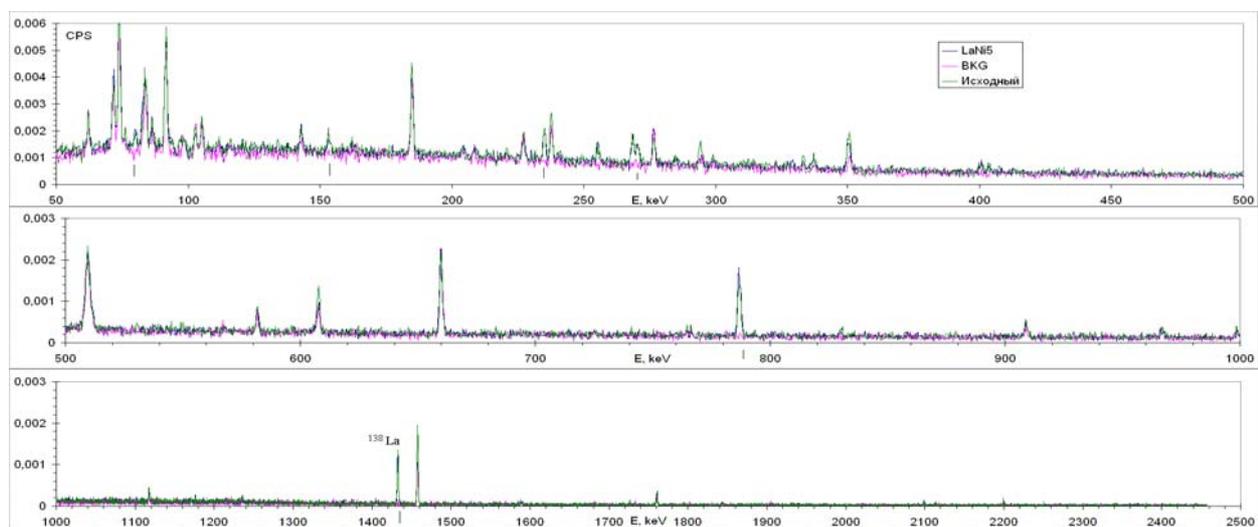


Рис. 12. Гамма спектры LaNi_5 , измеренные полупроводниковым детектором

ВЫВОДЫ

- Порошок LaNi_5 , насыщенный водородом, а также никель и бериллий в атмосфере водорода при повышенном давлении и температуре, излучают предположительно рентгеновские лучи и нейтроны. Это указывает на то, что в этих веществах при некоторых условиях происходят не только химические или структурные изменения, но и ядерные.
- Излучение происходит преимущественно в виде коротких всплесков или серий всплесков продолжительностью до нескольких десятков минут. Суммарный выход нейтронов достигал 500000.
- Всплески излучения из LaNi_5 происходят в широком диапазоне температур (от комнатной до 650°C) и давлений (от атмосферного до 75 атм)
- Всплески излучения из LaNi_5 происходят при достаточно высокой насыщенности водородом – больше 1 атома водорода на 1 кластер LaNi_5
- Всплески излучения из никеля и бериллия обнаружены при давлении выше 50 атмосфер и температуре выше 200°C
- Всплески сигналов со счетчиков Гейгера и нейтронного счетчика обнаружены при различном соотношении дейтерий-протий (от долей процента до 100%)
- Зарегистрированы синхронные всплески рентгеновского излучения двумя и тремя счетчиками Гейгера. Совпадений во времени рентгеновских и нейтронных вспышек не обнаружено.
- Гамма излучение с энергией выше 200 кэВ не обнаружено. Излучается, помимо нейтронов, рентгеновское излучение с энергией квантов не выше 20 кэВ.

Литература

1. Focardi S., Habel R., Piantelli F. Anomalous Heat Production in Ni-H Systems. *Nuovo Cimento* 107A (1993) 163
2. Focardi S. at al. Large excess heat production in Ni-H systems. *Nuovo Cimento* 111 A, N. 11 (1998) 1233
3. Focardi S., Rossi A. A new energy source from nuclear fusion. *Journal-of-nuclear-physics*, march 22, 2010
4. Rossi, A. Method and apparatus for carrying out nickel and hydrogen exothermal reactions. *World Intellectual Property Organisation*. Pub. No WO/2009/125444, Pub. Date 15.10.2009
5. Бажутов Ю.Н. Теплогенератор Росси и Фокарди и его теоретическая интерпретация. *Изобретательство*, т.12, №1, 2012, с. 49-59
6. Ажажа В.М. Тихоновский М.А., Шепелев А.Г. и др. Материалы для хранения водорода. ВОПРОСЫ АТОМНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ. Вопросы атомной науки и техники. *Серия: Вакуум, чистые материалы, сверхпроводники* № 1. (15), 2006, с.145 – 152 .
7. Бажутов Ю.Н., Верешков Г.М., Кузьмин Р.Н., Фролов А.М. // Сборник ФПИНВОФ, ЦНИИМаш, 1990, с. 67-70.
8. Бажутов Ю.Н., Верешков Г.М. «Новые стабильные адроны в космических лучах, их теоретическая интерпретация и возможная роль в катализе холодного ядерного синтеза» Препринт 1, ЦНИИМаш, 1990, с.1-56.
9. Vazhutov Yu.N., Vereshkov G.M. "A Model of ColdNuclear Transmutation by the Erzion Catalysis", Proceedings of ICCF-4, Hawaii, 1993, v.4, 8-1.
10. Бажутов Ю.Н., Кузнецов А.Б., Плетников Е.В. "Спектроскопия Эрзион-каталитической трансмутации ядер". Препринт № 1 НИЦ ФТП «Эрзион», ЦНИИМаш, с.1-172 (1993).