

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ДЕСОРБЦИИ ТРИТИЯ ИЗ ОБРАЗЦОВ НЕКОТОРЫХ СТАЛЕЙ В ЗАМКНУТЫЙ ОБЪЕМ

В. М. Изгородин, А. П. Пепеляев

РФЯЦ – Всероссийский научно-исследовательский институт
экспериментальной физики, г. Саров, Россия
anton.pepelyaev@gmail.com

В статье рассматриваются особенности выделения трития из некоторых материалов, которые могли бы применяться в комплексах по изготовлению и доставке мишеней для инерциального термоядерного синтеза. Приведены результаты исследования кинетики выделения газообразного трития из образцов, изготовленных из сталей 30, 12X18H10T и сплава ЭП534У-ИД, предварительно насыщенных изотопами водорода. Регистрировались характеристические спектры аргона, возбужденных электронами, образующимися при распаде трития. Исследование показало, что выделение трития из образцов носит нелинейный характер, причем, в случае со сталью 30 этот процесс замедлен по сравнению с остальными материалами, что обусловлено особенностями поверхности образцов из этого материала.

Введение

Особую важность при использовании термоядерных реакторов имеет вопрос радиационной безопасности, в том числе, проблемы, связанные с наводороживанием конструкционных материалов, используемых в комплексах по изготовлению и доставке термоядерных мишеней в камеру зажигания. Как известно, при изготовлении мишеней для инерциального термоядерного синтеза, наполнение ключевого элемента мишени – стеклянной полый микросферы – дейтерий-тритиевой смесью происходит в специальной камере наполнения при высоких температуре и давлении (до 300 °С и 600 атм.). Элементы камеры, а также транспортировочный контейнер насыщаются тритием. При циклической работе термоядерного реактора возможно многократное использование этих узлов комплекса после детритизации или без таковой. Проведенное нами исследование заключалось в изучении характера выделения газообразного трития в замкнутый объем некоторыми конструкционными материалами при комнатной температуре, т. е. при условиях нахождения комплекса между операциями наполнения-транспортировки.

Эксперимент

Исследования проводились на образцах из трех материалов: сталь 30, нержавеющая сталь 12Х18Н10Т и сплав ЭП543У-ИД. Эти материалы были выбраны как возможные материалы для изготовления деталей камеры наполнения. Из этих материалов были изготовлены цилиндрические образцы длиной 10 мм и диаметром 4 мм. Насыщение образцов проводилось при температуре 250 °С в течение 5 суток в камере, заполненной смесью D-Т (0,5 : 0,5) до давления 40 атм.

После наводороживания проводился мониторинг скорости счета рентгеновских квантов – регистрировались рентгеновские спектры аргона, в среду которого происходила десорбция газообразного трития из образцов, с применением Si(Li)-детектора, для чего образцы по отдельности помещались в герметичный полый алюминиевый цилиндр (длина 80 мм, внутренний диаметр 25 мм), заполненный аргоном до 1 атм., в одном торце которого находилось приемное окно детектора (рис. 1). Образующиеся в результате распада трития β -электроны возбуждали рентгеновское излучение К-полосы аргона. Сигнал К-линий аргона накапливался в течение 30 мин для каждого измерения. Аналогичная методика использовалась в [1].

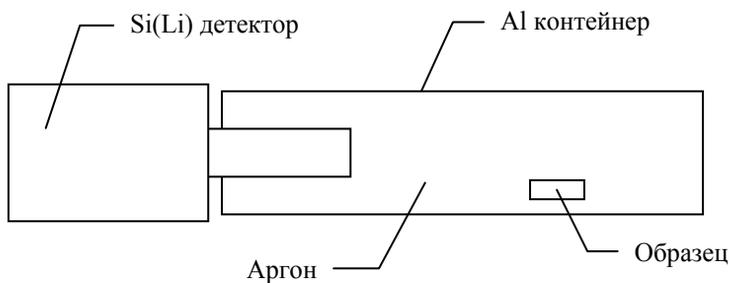


Рис. 1. Схема эксперимента

Результаты и их обсуждение

На рис. 2 приводятся результаты измерений скорости счета квантов рентгеновского излучения К-полосы аргона, возбуждаемого β -электронами выделившегося из образцов трития.

Из приведенных графиков видно, что в начальный период скорость счета растет и эта зависимость имеет нелинейный характер. Затем увеличение скорости счета происходит линейно. Изменение скорости счета от времени хорошо описывается уравнением

$$\dot{N} = a + bt + c \exp(-t/\tau). \quad (1)$$

Величины коэффициентов a , b , c , τ для образцов из разных материалов приведены в табл. 1, на рис. 2 сплошными линиями представлены вычисленные по формуле (1) зависимости $\dot{N} = f(t)$.

Таблица 1

Значения коэффициентов для образцов

| Образец | a , имп/мин | b , имп/(мин · сут.) | c , имп/мин | τ , сут. |
|------------------|------------------|---------------------------|------------------|------------------|
| Сталь 30 | 2,616 | 0,0655 | – 2,903 | 21,618 |
| Сталь 12Х18Н10Т | 12,74 | 0,247 | – 12,693 | 2,472 |
| Сплава ЭП543У-ИД | 36,4 | 0,692 | – 32,03 | 3,424 |

Скорость счета импульсов пропорциональна плотности частиц трития и аргона и определяется выражением

$$\dot{N} = n_T n_{Ar} A \sigma G, \quad (2)$$

где A и n_T – постоянная распада и плотность частиц трития в объеме; γ – эффективность флуоресценции; n_{Ar} – плотность атомов аргона; σ – коэффициент, определяющий количество возбуждений К-оболочки аргона одним β -электроном трития; G – геометрический фактор, учитывающий поглощение регистрируемого излучения в газе и эффективность детектора [2].

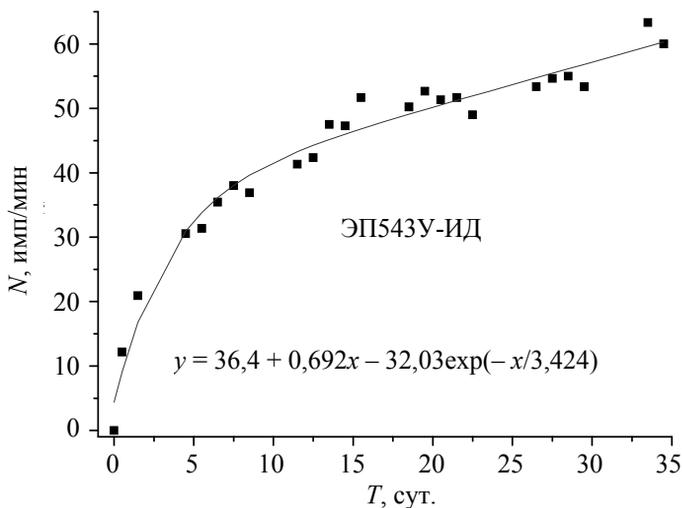
Из результатов, представленных на рис. 2 и в табл. 1, можно сделать следующие выводы.

Во-первых, количество трития десорбированного из образцов в замкнутой объем, наибольшее для сплава ЭП543У-ИД и наименьшее для стали 30. Из [2] следует, что при десорбции трития из образцов скорость уменьшения количества трития в приповерхностном слое наибольшая для образцов из сплава ЭП543У-ИД и наименьшая для стали 30. Таким образом, наиболее быстро дегазируется приповерхностный слой образцов из сплава ЭП543У-ИД, а медленней всего из изучаемых трех материалов - приповерхностный слой образцов из стали 30. Это связано, по-видимому, с наличием слоя окисла на поверхности стали 30, образовавшегося после выдержки образцов на воздухе.

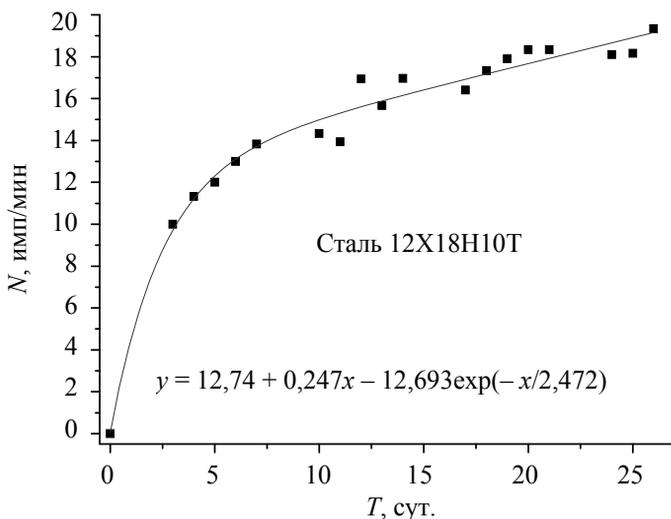
Во-вторых, линейный участок зависимости скорости счета квантов в области энергий К-полосы аргона, а следовательно и концентрации трития в газе, от времени для нержавеющей стали и сплава ЭП543У-ИД начинается примерно через один и тот же промежуток времени (через ≈ 10 суток), а для стали 30 значительно позднее (через 30–40 суток). Концентрация трития в газе в момент перехода к линейному характеру зависимости наибольшая для сплава ЭП543У-ИД и наименьшая для стали 30.

Выводы

В результате исследования было получено, что накопление в замкнутом объеме трития, вышедшего из цилиндрических образцов из сплава ЭП543У-ИД, сталей 12Х18Н10Т и 30 имеет сначала экспоненциальный характер, а затем становится линейным. При этом концентрация трития в газовой среде наибольшая в случае с ЭП543У-ИД и наименьшая в случае со сталью 30. Причина этого – наличие окисной пленки на поверхности образца из стали 30.



а



б

Рис. 2. Изменение скорости счета рентгеновских квантов К-полосы аргона, возбужденного β -электронами трития, вышедшем из образца: а – сплав ЭП543У-ИД; б – нержавеющая сталь 12Х18Н10Т; в – сталь 30 (см. также с. 43)

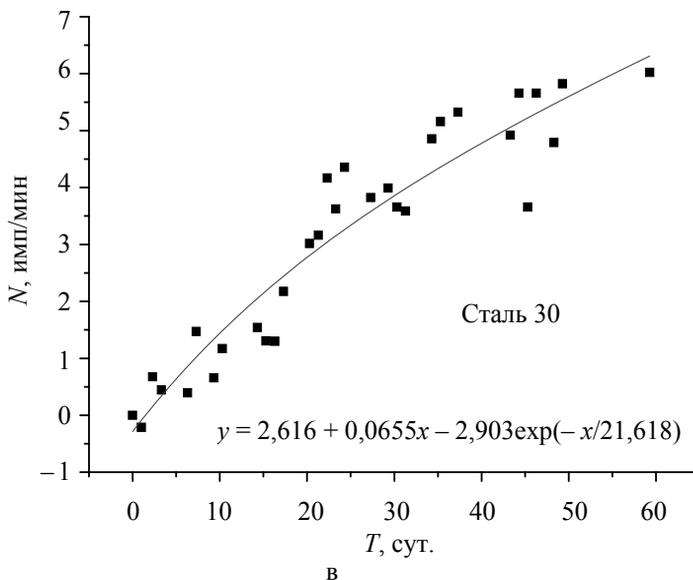


Рис. 2. Окончание

Список литературы

1. Shmayda C. R., Shmayda W. T., Kherani N. P. Monitoring tritium activity on surfaces: recent development // Fusion science and technology. May 2002. Vol. 41. P. 500.
2. Izgorodin V. M., Abzaev F. M., Balyaev A. P., Bessarab A. V. et. al. Target technology development for the research of high energy density physics and inertial fusion at the RFNC-VNIIEF. Laser and Particle Beams. Dec 2009. Vol. 27, N 4. P. 657–680.

RESEARCH OF TRITIUM DESORPTION KINETICS FROM SOME STEELS INTO CLOSED VOLUME

V. M. Izgorodin, A. P. Pepelyaev

RFNC-All-Russian Research Institute of Experimental Physics, Sarov
anton.pepelyaev@gmail.com

Peculiarities of tritium desorption from some materials that could be used in ICF targets fabrication and delivery systems are studied in the given work. Results of research of gaseous tritium desorption from samples made of steel 30, steel 12X18H10T and alloy EP543U-ID saturated with hydrogen isotopes are given. Characteristic spectra of argon excited with electrons being generated during tritium decay are used in the research. It is shown that tritium desorption character is linear, though that process in steel 30 is much more slower and that depends on samples surface features.