

ИЗМЕРЕНИЕ ТОЛЩИНЫ ЛИТИЕВОГО СЛОЯ

© 2008 г. **Б. Ф. Баянов***, **Е. В. Журов****, **С. Ю. Таскаев*****

**Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера
Россия, 630090, Новосибирск, просп. Акад. Лаврентьева, 11*

***Новосибирский государственный университет
Россия, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2*

Поступила в редакцию 03.05.2007 г.

В Институте ядерной физики СО РАН проводится работа по созданию источника эпитепловых нейтронов на основе компактного тандемного ускорителя, предназначенного для проведения нейтронозахватной терапии рака в онкологической клинике. В качестве источника нейтронов планируется использовать литиевую нейтроногенерирующую мишень. Предложена оригинальная методика определения толщины литиевого слоя и измерено радиальное распределение толщины напыленного литиевого слоя.

PACS: 06.30.Vp

Проведенные на ядерных реакторах клинические испытания нейтронозахватной терапии злокачественных опухолей [1] показали ее перспективность [2], и в настоящее время в Институте ядерной физики СО РАН разрабатывается компактный источник эпитепловых нейтронов на основе протонного ускорителя [3], предназначенный для размещения в онкологической клинике. Генерация нейтронов осуществляется при сбросе пучка протонов с энергией 2–2.5 МэВ на литиевую мишень в результате пороговой реакции ${}^7\text{Li}(p, n){}^7\text{Be}$. Мишень представляет собой охлаждаемый водой тонкий металлический диск [4], на который со стороны протонного пучка нанесен тонкий слой лития. Известно, что протоны с начальной энергией 2.5 МэВ тормозятся до пороговой энергии генерации нейтронов 1.882 МэВ в толщине слоя лития 88 мкм, а с начальной энергией 1.915 МэВ – в слое толщиной 4.3 мкм [5]. Следовательно, для генерации нейтронов требуется напылять литиевый слой толщиной от 10 до 100 мкм. Более толстый слой будет приводить к повышенному испарению лития, опасному из-за распространения образующегося радиоактивного изотопа бериллия, и к существенному увеличению сопутствующего нежелательного потока γ -квантов с энергией 0.477 МэВ в результате неупругого рассеяния протонов на ядрах лития.

В данной работе предлагается новая методика определения толщины литиевого слоя и приводятся результаты измерений радиального распределения толщины слоя по мишени.

НАПЫЛЕНИЕ ЛИТИЯ

Напыление литиевого слоя на мишень осуществляется специально созданным устройством на основе промышленно производимого шибера. На тарелку шибера помещен нагреватель, а под тарелкой установлен испаритель с круговой щелью, в который закладывается контейнер с литием. Перед напылением тарелку шибера вводят в протонопровод и, используя механизм уплотнения шибера, сдвигают ее в направлении к мишени на 5 мм. В результате такого сдвига тарелка упирается в сильфон, что ограничивает объем напыления. Затем включают нагреватель и осуществляют процесс напыления. Поскольку сильфон теплоизолирован и в процессе напыления сильно нагревается, то напыления на сильфон не происходит. Литий напыляется только на мишень, которая охлаждается водой.

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ЛИТИЕВОГО СЛОЯ

Для измерения радиального распределения толщины напыленного литиевого слоя разработана специальная методика. Это связано с тем, что, во-первых, литий – очень активный металл, моментально образующий соединения при помещении его в воздушную среду, а во-вторых, многие стандартные методики измерений в вакууме здесь неприменимы, поскольку в непосредственной близости от охлаждаемой мишени расположен горячий испаритель. Например, известный метод определения массы напыленного на пьезокерамику лития по изменению собственной частоты колебаний керамики непригоден, так как процесс напыления на керамику существенно отличается от напыления

на охлаждаемую подложку мишени вследствие большой разницы в температурах.

Суть предлагаемого метода состоит в измерении проводимости дистиллированной воды, в которой растворяются слои лития, напыленные на тонкие пластинки-“свидетели”, изготовленные из того же материала, что и мишень. “Свидетели” расположены на поверхности мишени и находятся в хорошем тепловом контакте с ней во время напыления. Очевидное преимущество этого метода, как будет показано ниже, состоит в том, что проводимость образующегося водного раствора зависит только от массы растворенного лития и не зависит от того, является ли литий чистым или находится в составе какого-либо соединения (гидрида, нитрида или оксида лития). Измерения проводимости проводили на стандартном оборудовании – иономере-кондуктометре Анион 410.

Для калибровки метода проведен следующий эксперимент. Из сильфона, в котором хранится литий, выдавлена порция лития в виде стержня диаметром 4 мм и длиной 34.5 мм. Стержень завернут в алюминиевую фольгу известной массы и взвешен. Поскольку рассчитанная по известному объему стержня масса лития совпала с взвешенной, можно утверждать, что значительная часть лития за непродолжительное время нахождения на воздухе не превратилась в нитрид или оксид лития, о чем свидетельствовал и внешний вид стержня. Весь литий (0.234 г) был растворен в 100 мл воды. Затем брали часть этого раствора, объем довели до 250 мл и измеряли удельную электрическую проводимость при контролируемой температуре (табл. 1). Результаты измерений показали, что удельная проводимость раствора пропорциональна массе растворенного лития.

Было исследовано влияние и других факторов на проводимость, а именно: зависимость проводимости раствора от вида соединения лития и возможный вклад в проводимость раствора индий-галлиевой пасты, которая используется для обеспечения надежного теплового контакта между “свидетелем” и мишенью и некоторое количество которой неизменно остается на обратной поверхности “свидетеля”.

Для выявления влияния вида соединения лития на проводимость воды, в которой он растворяется, был проведен следующий эксперимент. Из сильфона, в котором хранится литий, был выдавлен стержень, и специальным устройством отрезаны три одинаковых образца. Первый образец, который сохранял металлический блеск, был растворен сразу. Второй образец был растворен через 4 ч, и к этому времени его цвет стал черным, что, возможно, связано с появлением на поверхности нитрида лития. Третий образец был помещен в воду через сутки и выглядел на тот момент беловато-серым, что может быть связано с замещением азота кис-

Таблица 1. Зависимость удельной проводимости воды (250 мл) от объема первоначального раствора лития

| Объем первоначального раствора, мл | Удельная электрическая проводимость, мкСм/см | Температура раствора, °С |
|------------------------------------|--|--------------------------|
| 1 | 320 | 19.5 |
| 2 | 643–646 | 19.5 |
| 3 | 942–946 | 19.5 |
| 4 | 1240–1247 | 19.4 |
| 5 | 1548–1558 | 19.4 |
| 10 | 3040 | 19.1 |

Таблица 2. Зависимость проводимости воды от времени нахождения лития на воздухе перед растворением

| № образца | Время экспозиции на воздухе | Проводимость воды, мкСм/см |
|-------------|-----------------------------|----------------------------|
| 1 | 5 мин | 2000 |
| 2 | 4 ч | 2000 |
| 3 | 28 ч | 2020 |
| Без образца | – | 1 |

лородом и превращением всего лития или его значительной части в оксид лития. Результаты измерений проводимости воды с растворенным в ней литием (табл. 2) показывают, что проводимость не зависит от состава литиевых образцов, что делает применение этого метода безусловно привлекательным.

Очень важным преимуществом данной методики также является то, что нанесенное с обратной стороны “свидетеля” индий-галлиевое покрытие не вносит никакого вклада в проводимость и поэтому не влияет на результаты измерения количества растворенного лития. Для проверки этого утверждения 1 г индий-галлиевой пасты был помещен в 250 мл воды. Проводимость воды практически не изменилась, хотя внесенное количество пасты почти на порядок больше того, что может присутствовать на “свидетеле”.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

Толщина литиевого слоя определялась следующим способом. На поверхности охлаждаемой мишени диаметром 10 см в два ряда (крестом) предварительно устанавливались медные диски-“свидетели” толщиной 0.5 мм, площадью 1 см²

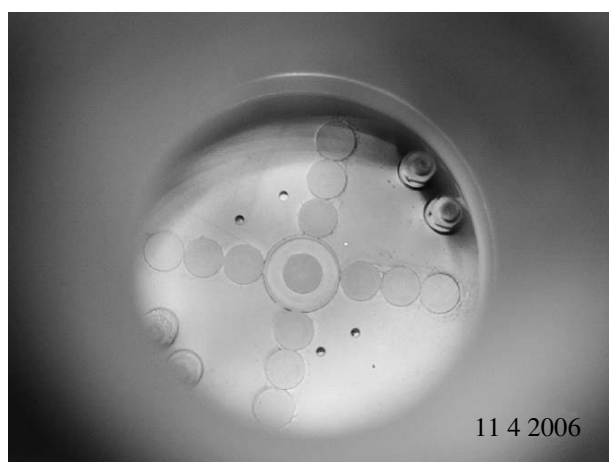


Рис. 1. Фотография мишени с установленными на поверхности “свидетелями”, сделанная через окно в вакуумной камере сразу после напыления лития.

каждый. Надежный тепловой контакт с мишенью обеспечивался индий-галлиевой пастой. Следует заметить, что если “свидетель” просто положить на поверхность мишени, то на него напыляется значительно более тонкий слой, что связано с повышением температуры “свидетеля”. Контейнер с литием помещали в испаритель на тарелку шибера, затем систему откачивали до давления 10^{-5} Торр и включали нагреватель. Время напыления лития составляло 40 мин. На рис. 1 приведена фотография мишени с расположенными на поверхности “свидетелями”. Фотография сделана по окончании процедуры напыления. После напыления рабочий объем заполнялся воздухом. Мишень с напыленным литием снималась, от нее отделялись диски “свидетели” и опускались в сосуд с дистиллированной водой. Количество лития, напыленного на “свидетеля”, рассчитывали по проводимости образующегося раствора.

Таблица 3. Результаты измерений толщины литиевого слоя микрометром и по проводимости воды

| № “свидетеля” | Толщина Li-слоя при измерении микрометром, мкм | | | Толщина Li-слоя по проводимости воды, мкм |
|---------------|--|-----------------------|---------------|---|
| | “свидетель” с литием | “свидетель” без лития | литиевый слой | |
| 1 | 825 | 735 | 90 | 97.6 |
| 2 | 855 | 745 | 110 | 94.7 |
| 3 | 825 | 730 | 95 | 94.5 |

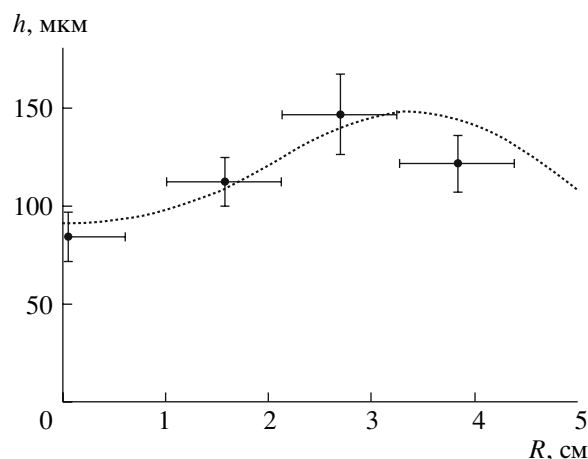


Рис. 2. Радиальное распределение литиевого слоя: точки – измеренные значения, штриховая кривая – расчетные.

На рис. 2 показано измеренное распределение толщины литиевого слоя по радиусу мишени. Видно, что результаты измерений достаточно хорошо согласуются с простым расчетом, выполненным в предположении бесстолкновительного разлета паров лития из кругового отверстия напылителя.

Были проведены также прямые измерения толщины литиевого слоя. Микрометром измерялась толщина “свидетеля” до и после растворения слоя в воде, после чего эти показания сравнивались. Результаты этих измерений и результаты определения толщины слоя по проводимости воды представлены в табл. 3. Их совпадение указывает на то, что при напылении образуется сплошной слой лития, и его плотность соответствует плотности металлического лития 0.54 г/см^3 . В работе [6], посвященной изучению влияния остаточного газа на состав литиевого слоя, было выяснено, что напыленный слой состоит из чистого лития.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Locher G.* // Am. J. Roentgenol, Radium Ther. 1936. V. 36. P. 1.
2. *Hatanaka H.* // Basic Life Sci. 1990. V. 54. P. 15.
3. *Bayanov B., Belov V., Bender E. et al.* // Nucl. Instrum. and Methods. in Phys. Res. A. 1998. V. 413. № 2–3. P. 397.
4. *Bayanov B., Belov V., Kindyuk V. et al.* // Applied Radiation and Isotopes. 2004. V. 61. № 5. P. 817.
5. Hydrogen stopping powers and ranges in all elements / Ed. by Andersen H. N.Y.: Pergamon Press Inc., 1977.
6. *Баянов Б.Ф., Ободников В.И., Таскаев С.Ю., Тишковский Е.Г.* Препринт ИЯФ 2007–2. Новосибирск, 2007.