

## Отзыв на проект

«Исследование глубоко подкритических электроядерных систем и возможностей их применения для производства энергии и трансмутации оработанного ядерного топлива и исследований в области радиационного материаловедения  
Квази-бесконечная урановая мишень»

### Часть III.

Руководитель: С.И. Тютюнников

В настоящее время развитие ядерной энергетики, использующей для выработки энергии, энергию деления урана-235 или плутония-239, сдерживается, во-первых, из-за проблем, связанных с постоянным накоплением долгоживущих радиоактивных отходов, и, во-вторых, из-за недостатка ресурсов природного урана с приемлемой стоимостью извлечения, необходимого для развития масштабной ядерной энергетики.

Для решения этих проблем и обеспечения условий неограниченного развития ядерной энергетики за счет использования урана-238 и тория-232, ресурсы которых на порядки превышают ресурсы органического топлива, создается концепция развития ядерной энергетики с замкнутым топливным циклом. С целью поддержания нейтронного потенциала такой системы ядерной энергетики необходимо ввести в эксплуатацию инновационные ядерные установки с внешним источником нейтронов, в качестве которых рассматриваются подкритические системы с сильноточным ускорителем заряженных частиц (протонов или легких ионов).

Требования к точности расчетов основных параметров (нейтронный выход из мишени, спектр нейтронов как внутри мишени, так и на ее поверхности, радиационная стойкость конструкционных материалов, окружающих мишень, параметры локального энерговыделения в мишени, «окне» и бланкете, и др.) инновационных ядерных установок с внешним источником нейтронов (ADS) были выработаны еще в начале этого века, однако до настоящего времени они не достигнуты. Причина - все высокоэнергетические транспортные программы, применяемые для расчета таких систем, создавались в различных лабораториях, под научные задачи, связанные, в основном, с областью физики высоких энергий. Поэтому при использовании их для расчета ядерно-энергетических установок, они должны быть верифицированы в широком диапазоне энергий и масс заряженных частиц, бомбардирующих как модели, только нейтронно-образующих мишеней из различных материалов, так модели «мишень+ подкритический бланкет».

С этой целью, в ЛФВЭ с 2010 по 2013 г. г., была создана экспериментальная установка с пучком ядер NUCLOTRON, в которую входила часть мишени "Квинта" из 500 кг природного урана и система контроля входного пучка, разработан и внедрен новый метод измерения нейтронов, генерируемых в мишенях, как в режиме «in situ», так и в пассивном режиме.



Выполненные исследования, связанные с определением основных параметров ADS, с различными мишенями, бомбардируемыми протонами и легкими ионами, показали новые и интересные экспериментальные результаты, в которые получены зависимости выхода энергии в урановой сборке от энергии падающих дейтронов, пространственное распределение реакции  $U^{238}(n,\gamma)Pu^{239}$ , жесткости нейтронного спектра вторичного излучения и спектров утечки нейтронов, измеренных на поверхности установки.

В предложенной части II проекта – исследования квази-бесконечной мишени «Buran», будет создана экспериментальная установка на основе сборки мишени из 20 т природного урана и комплекс измерительных приборов, которые позволят:

- определить число частиц, бомбардирующих мишень, в каждом сбросе;
- определить форму их пространственного распределения для каждого сброса;
- определить мощность пучка частиц, бомбардирующих мишень;
- проводить исследования со вставками, моделирующие мишени различного состава;
- проводить исследования распределения потоков нейтронов пороговыми детекторами и камерами деления в квази-бесконечной мишени «Buran» со вставками из различных мишеней;
- проводить измерения скоростей реакций образования остаточных ядер продуктов в экспериментальных образцах из  $natU$ ;
- определить коэффициент умножения энергии входного пучка.

Уникальность предложенной установки определяется ее размерами, которые превышают длину диффузии нейтронов в 5-6 раз, что, как показывают оценки, обеспечит их утечку на уровне 5-10%. При этом возможность замены нейтронно-образующей центральной вставки из  $natU$  диаметром 200 мм на вставки из  $^{232}Th$ ,  $natPb$ ,  $natPb+Bi$ ,  $natW$ ,  $natTa$ , ...,  $^{27}Al$  такого же диаметра, позволит, впервые измерить изменение спектральных индексов в квази-бесконечной мишени из  $natU$  диаметром 1200 мм.

Подобная установка будет впервые введена в эксплуатацию, как в Российской Федерации, так и в Европе и, несомненно, будет иметь большой международный потенциал, так как может быть использована для наработки спектра ядерных данных, необходимых для верификации высокоэнергетических транспортных программ, широко используемых в мировой практике для расчета ADS.

Отмечаю важность работ, связанных с радиационным материаловедением.

Считаю целесообразным реализацию предложенного проекта.

Профессор, д.ф.-м.н.



Ю.Е. Титаренко