

## Компактный генератор нейтронов

Источники нейтронов широко используются в фундаментальных и прикладных исследованиях. Для практического применения разработанных нейтронных методик и технологий требуются компактные и безопасные (нерадиоактивные) системы. Таким требованиям на сегодняшний день отвечают только D-D нейтронные генераторы – системы производящие нейтроны в результате реакции между двумя ядрами дейтерия, протекающей при бомбардировки насыщенной дейтерием мишени ускоренными пучками дейтронов. Схема такого нейтронного источника показана на рис.1. Остальные виды источников либо используют радиоактивные элементы для своей работы, либо имеют слишком большие габариты и стоимость, как ускорители и ядерные реакторы. Однако, основным недостатком существующих компактных систем является низкая плотность генерируемого нейтронного потока. Нейтронный выход с плотностью свыше  $10^9 \text{ с}^{-1}\text{см}^{-2}$  могут обеспечить лишь ускорители и реакторы. В то же время, компактные источники с такой производительностью наиболее востребованы.

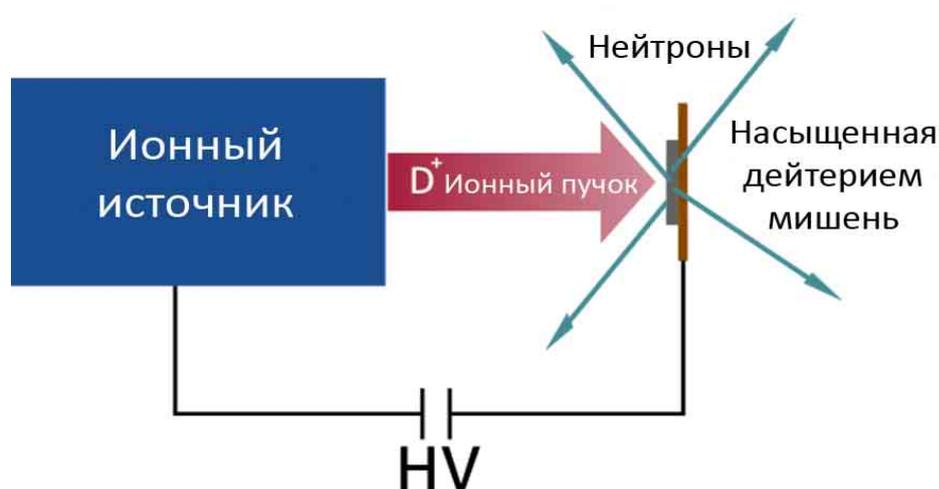


Рис. 1. Принципиальная схема D-D нейтронного генератора.

Одним из важных применений нейтронных генераторов является использование в медицине, а именно для бор-нейтрозахватной терапии онкологических заболеваний (БНЗТ). БНЗТ – метод лучевой терапии злокачественных новообразований, характеризующийся чрезвычайно высокой биологической эффективностью за счет направленного ионизирующего действия непосредственно на уровне опухолевых клеток. Принцип бор-нейтрозахватной терапии основан на взаимодействии атомов бора-10 с тепловыми нейтронами. Важнейшим радиобиологическим преимуществом нейтронной терапии перед лечением, основанным на других видах излучения, является возможность с успехом использовать ее в тех клинических ситуациях, когда фотоны, электроны или протоны малоэффективны. В настоящее время исследования в данной области проводятся в основном на реакторах, имеющих очень высокую стоимость изготовления и эксплуатации. Также ядерные реакторы не могут быть размещены в клиниках, поэтому новые мощные, компактные и менее дорогие источники нейтронов позволят ученым существенно продвинуться в разработке методик нейтронной терапии.

В последние несколько лет в Институте прикладной физики РАН Лабораторией ионных источников проводятся работы по созданию нейтронных генераторов нового поколения. Эти разработки основаны на ранее созданном нами новом типе сильноточных ионных источников на основе плазмы электронно-циклотронного резонансного (ЭЦР) разряда с квазигазодинамическим режимом удержания. Такие системы используют плотную плазму, поддерживаемую СВЧ излучением мощных гиротронов с частотой до 100 ГГц в условиях ЭЦР в открытой магнитной ловушке. За счет высокой частоты СВЧ излучения в магнитной ловушке источника создается плазма с уникальными параметрами

- плотность свыше  $10^{14}$  см<sup>-3</sup>, температура электронов на уровне нескольких десятков эВ. На разработанном источнике экспериментально продемонстрирована возможность формирования пучков ионов дейтерия с плотностью тока до 800 мА/см<sup>2</sup> при полном токе до 500 мА, что позволяет в схеме D-D генератора с ускоряющим напряжением 100 кВ, получать потоки нейтронов с рекордной для компактных систем плотностью на уровне  $10^{11}$  с<sup>-1</sup>см<sup>-2</sup>.

Фотографии импульсного прототипа нейтронного генератора приведены на рис.2. В перспективе такие генераторы смогут заменить ядерные реакторы и ускорители в качестве нейтронных источников для нейтронографии, систем безопасности, медицины, обогащения редких изотопов.



Рис.2. Импульсный прототип нейтронного генератора на основе сильноточного ЭЦР ионного источника SMIS 37.

*В.А. Скалыга, к.ф.-м.н.,  
заведующий лабораторией ионных источников*