

## НЕЙТРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР

Г.Ф. Коняхин<sup>1</sup>, С.И. Клевец<sup>2</sup>, В.Л. Верещагин<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков,

<sup>2</sup>Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба,

<sup>3</sup>Херсонский государственный университет)

*Предложено устройство для создания нейтральных частиц, использующее электрический разряд в жидкости.*

*нейтральные частицы, электрический разряд, нейтронный генератор*

**Постановка проблемы и анализ литературы.** Для создания нейтральных излучений предложены различные устройства, основанные на распаде изотопов, бомбардировке трития или дейтерия ионами водорода [1]. Однако указанные устройства позволяют получить сравнительно невысокий выход нейтронов. Интенсивные потоки нейтронного излучения могут быть получены в устройствах, основанных на использовании электрических разрядов во взрывающихся проволочках [2]. Но в устройствах подобного типа коэффициент преобразования энергии в нейтронное излучение будет невелик, так как значительная доля энергии идет на нагрев плазмы до сверхвысоких температур. Большой практический интерес представляют устройства получения нейтронных излучений при возбуждении управляемой термоядерной реакции [3]. В этом случае при импульсном нагреве дейтериевых мишеней малых размеров (единицы миллиметров) при затратах энергии в  $10^7$  Дж удастся получить до  $10^{19}$  нейтр/имп. В некоторых работах показано, что при энергии импульса в 1 кДж из дейтериевой мишени можно получить до  $10^{13}$  нейтронов [4]. Опубликовано также устройство для получения нейтральных частиц [5], где основными элементами устройства являются мишень из изотопов водорода, ускоритель заряженных частиц (УЗЧ) и камера, внутри которой размещена мишень. В стенке камеры выполнены отверстия для инжекции потока заряженных частиц от УЗЧ. Недостатками такого устройства являются невысокий коэффициент использования вещества мишени, большие ускоряющие напряжения и мощность, что сложно реализовать практически.

**Целью работы** является разработка устройства для создания нейтральных частиц, которое позволяет повысить коэффициент использова-

ния вещества мишени при применении ускорителя с небольшими ускоряющими напряжениями и мощностью пучка.

**Описание структурной схемы.** Для устранения недостатков описанных выше устройств получения нейтральных частиц нами предлагается нейтронный генератор, структурная схема которого представлена на рис. 1.

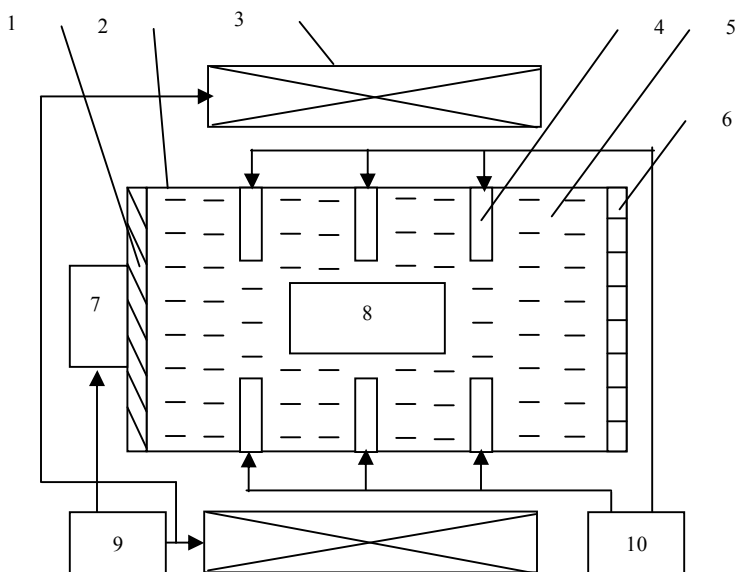


Рис. 1. Структурная схема измерителя звуковых колебаний:  
1 – металлическая фольга; 2 – камера взаимодействия; 3 – соленоид;  
4 – штыревые электроды; 5 – вода; 6 – графит;  
7 – ускоритель заряженных частиц; 8 – мишень; 9 – блок питания;  
10 – импульсный накопитель энергии.

Предложенное устройство состоит из герметической цилиндрической камеры, внутри которой соосно с ней установлена мишень из изотопов водорода. Один из торцов камеры совмещен с выходным окном камеры ускорителя заряженных частиц, размещенного соосно камере. Соленоид расположен вне камеры коаксиально ее наружной цилиндрической поверхности. Блок питания своими выходами соединен с ускорителем заряженных частиц и соленоидом. Внутри камеры, заполненной водой, радиально друг против друга закреплено минимум четыре штыревых электрода длиной, меньше радиуса камеры, и гальванически соединенных с импульсным накопителем энергии. Противоположный ускорителю торец камеры выполнен из графита.

Работа предлагаемого устройства происходит следующим образом. Ускоритель заряженных частиц, питающийся от блока питания формирует высокоэнергетический поток электронов. Одновременно с этим от импульсного накопителя энергии импульс напряжения подается на штыревые электроды, установленные внутри камеры. В результате этого внутри камеры между электродами формируется симметричный электрический разряд. При этом в жидкости, заполняющей внутреннюю полость камеры, возникает мощная сходящаяся ударная волна, сжимающая мишень в момент бомбардировки ее высокоэнергетическим потоком электронов ускорителя. В этом случае возбуждается интенсивная нейтронная вспышка. Образовавшиеся нейтроны через графитовый торец камеры выводятся в свободное пространство. Энергия, выделившаяся при реакции, воспринимается обмотками соленоида и частично возвращается (рекуперирована) в блок питания. При этом интенсивность нейтронного выхода оказывается в 5 ... 8 раз выше за счет лучшего использования вещества мишени и более длительного процесса взаимодействия частиц большой энергии с веществом.

Введение электронов и источника их питания обеспечило предварительное обжатие вещества мишени. При этом бомбардировка мишени осуществляется пучком в течение более длительного времени, а критичность системы оказывается выше, что также сопровождается увеличением интенсивности нейтронного излучения. Действительно, интенсивность нейтронного излучения при сжатии вещества мишени в момент облучения ее частицами равна [6]

$$J = \frac{15s\theta_0}{\Delta k} \exp\left\{\frac{\Delta k_0}{r_0} \theta_0 \left(\frac{8}{15} \frac{n_m}{n_0} + \frac{2}{15}\right)\right\} = c_1 e^{\rho_\Phi + c_2},$$

где  $\Delta k_0$  – максимальное значение избыточного коэффициента размножения;  $n_0$ ,  $n_m$  – критическое и максимальное значения плотности ядер мишени;  $\theta_0$  – время сжатия;  $s$  – интенсивность внешнего нейтронного облучения;  $\rho_\Phi$  – давление во фронте волны сжатия в момент облучения;  $c_1$ ,  $c_2$  – постоянные;  $r_0$  – среднее число вторичных электронов при делении.

Таким образом, интенсивность нейтронного излучения при прочих равных условиях экспоненциально зависит от степени сжатия мишени. В предлагаемом нейтронном генераторе сжатие осуществляется гидродинамическим воздействием при электрических разрядах в воде (жидкости). При этом можно получить большой уровень удельной энергии в канале сжатия ( $10^4$  Дж/см<sup>3</sup>), высокий КПД (отсутствует ионизация и диссоциация воды, нагрев воды, высокие давления) при сравнительно малых энергозатратах ( $p = 5$  атм при энергии накопителя  $\theta_n = 10^3$  Дж) [7]:

$$P = \beta \sqrt{\frac{p_0 Q'_H}{\tau_\phi \tau_0}},$$

где  $\beta = 0,7$  – для воды;  $Q'_H$  – полная энергия, выделившаяся на единицу длины канала за время  $\tau_0$ ;  $\tau_\phi$  – длительность фронта нарастания импульса;  $p_0$  – начальное давление.

Видно, что небольшие дополнительные энергозатраты ( $Q \sim 10^3$  Дж) по отношению к энергии потребления ускорителя ( $Q_y \sim 10^6$  Дж) позволяют увеличить интенсивность излучения нейтронов за счет эффекта предварительного сжатия мишени и повысить коэффициент использования вещества мишени. Соединение соленоида с блоком питания ускорителя обеспечивает рекуперацию энергии. Для разделения вакуумного тракта ускорителя от камеры используется фольга, которая не является препятствием для потока высокоэнергетических частиц [8]. Для вывода нейтронов целесообразны вещества с низким коэффициентом захвата (графит, окись бериллия), которые и используются в ядерной физике.

**Выводы.** Предложенное устройство для создания нейтральных частиц позволяет повысить коэффициент использования вещества мишени при применении ускорителя с небольшими ускоряющими напряжениями и мощностью пучка.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Краткий справочник инженера-физика. Ядерная физика.* – М.: Госатомиздат, 1961. – 300 с.
2. *Stephakis S.* // *Phys. Rev. Letters.* – 1972. – V. 29, № 9. – P. 568-569.
3. *Прохоров А.М. и др. Лазерный термоядерный синтез* // *УФН.* – 1976. – Т. 119, №3. – С. 401-435.
4. *Браттон Р. Физика высоких плотностей энергии.* – М.: Мир, 1974. – С. 414-435.
5. *Винтерберг Ф. Получение плотной термоядерной плазмы.* // *Физика высоких плотностей энергии / Под ред. П. Кальдиरोлы.* – М.: Мир, 1974. – С. 421-453.
6. *Стависский Ю.А.* // *Письма в ЖЭТФ.* – 1974. – Т. 19, № 8. – С. 548.
7. *Райнхарт Д. Взрывная обработка металлов.* – М.: ИЛ, 1966. – 286 с.
8. *Теория и расчет линейных ускорителей.* – М.: Атомиздат, 1962. – 452 с.

Поступила 13.01.2006

**Рецензент:** доктор технических наук, профессор Л.Ф. Купченко,  
Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба.