

НЕЙТРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР

Г.Ф. Коняхин¹, С.И. Клевец², В.Л. Верещагин³

¹Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков,

²Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба,

³Херсонский 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.

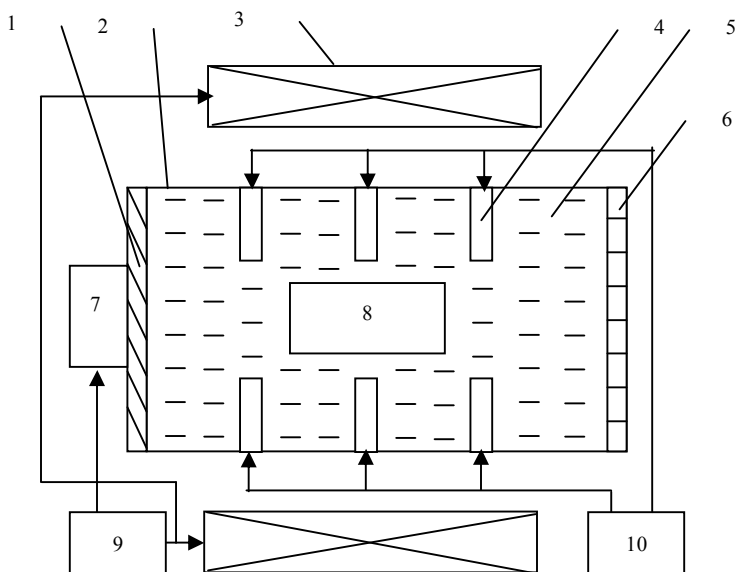


Рис. 1. Структурная схема измерителя звуковых колебаний:
1 – металлическая фольга; 2 – камера взаимодействия; 3 – соленоид;
4 – штыревые электроды; 5 – вода; 6 – графит;
7 – ускоритель заряженных частиц; 8 – мишень; 9 – блок питания;
10 – импульсный накопитель энергии.

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 Δk_0 – максимальное значение избыточного коэффициента размножения; n_0 , n_m – критическое и максимальное значения плотности ядер мишени; θ_0 – время сжатия; s – интенсивность внешнего нейтронного облучения; ρ_Φ – 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/см³), 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 τ_0 ; τ_ϕ – 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.