

УДК 621.384.633:539.125.52

**ИССЛЕДОВАНИЕ УГЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПУЧКА НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
УСКОРИТЕЛЯ Р-7М**М.В. Гладких, Н.В. Смольников, А.Е. Овсенёв

Научный руководитель: к.ф.-м.н., А.Г. Наймушин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: mvg23@tpu.ru**INVESTIGATION OF THE ANGULAR CHARACTERISTICS OF THE NEUTRON BEAM
OF THE R-7M ACCELERATOR**M.V. Gladkikh, N.V. Smolnikov, A.E. Ovsenev

Scientific Supervisor: Ph.D., A.G. Naimushin

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

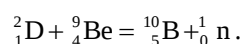
E-mail: mvg23@tpu.ru

Abstract. *In the present study, we performed the results of studies of the characteristics of the neutron beam of the R-7M accelerator. Neutron radiation spectra were obtained at various energies of the deuteron beam, and the average and most probable neutron energies were found. The angular distributions of the neutron radiation flux are found.*

Введение. Нейтрон-захватная терапия (НЗТ) – один из методов радиационной терапии для селективного лечения злокачественных новообразований головного мозга, шеи, легких и т.д. В основе метода лежит ядерная реакция радиационного захвата нейтрона сильнопоглощающими изотопами (B^{10} , Gd^{157}) [1, 2].

На сегодняшний момент в качестве источников нейтронного излучения для различных целей, в том числе в целях НЗТ, возможно использование ядерных реакторов, ускорителей, Cf^{252} . Среди упомянутых, наиболее функциональным в качестве источника нейтронов является использование ускорителя благодаря возможности реализации установок с заданными свойствами на базе экспериментальных устройств ускорителя, а также уменьшению дозовых нагрузок на здоровой ткани от гамма-излучения при проведении терапии.

В ТПУ в качестве установки по осуществлению НЗТ используется циклотрон Р-7М. Главными преимуществами циклотрона Р-7М является возможность ускорения ионов в широком диапазоне масс от протонов с массой 1 до аргона с массой 40 а.е.м. до любой энергии в диапазоне от 0,9 до 6 МэВ/нуклон для легких ионов и 0,65-1,37 МэВ/нуклон для тяжелых ионов. Для дейтронов, на данном ускорителе, максимальный ток пучка достигает 50 мкА, а диапазон энергий пучка от 9 до 14 МэВ [3]. Циклотрон служит источником ускоренных дейтронов для инициирования реакции:



Однако, на сегодняшний момент отсутствует модель источника нейтронов и экспериментального канала для данного ускорителя. Создание полноценной модели позволило бы существенно упростить работы, связанные с определением дозовых нагрузок на пациента. Но, прежде чем создавать полноценную

модель экспериментального канала, следует определить параметры источника нейтронов, а именно спектр нейтронов и угловые распределения.

Экспериментальная часть. Для определения параметров источника нейтронов сформирована модель бериллиевой мишени. Формирование модели проведено в программе PHITS (*Particle and heavy ion transport code system*), которая осуществляет моделирование переноса излучения методом Монте-Карло [4]. На рисунке 1 представлена модель, разработанная в PHITS.

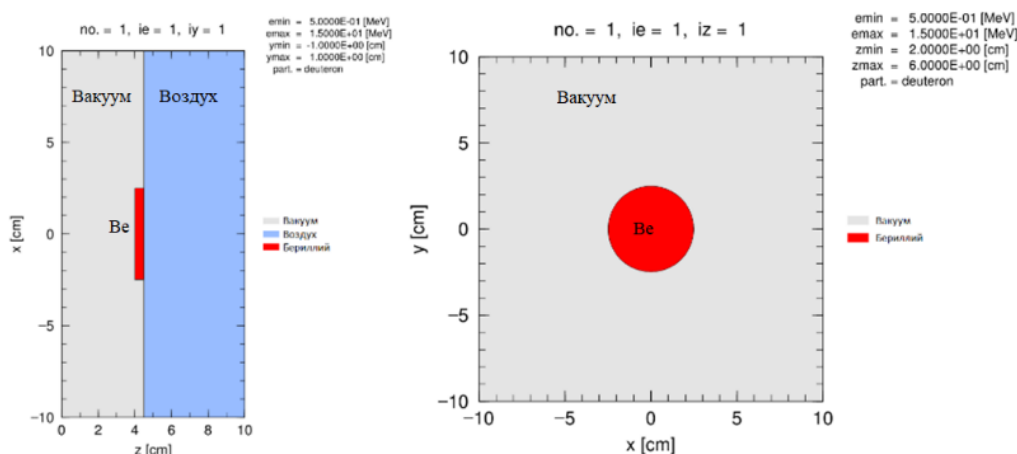


Рис. 1. Расчетная модель в PHITS

Мишень представляет собой диск диаметром 5 см и толщиной 5 мм, расположенный в точке $z=4$ см и перпендикулярный оси Z . Пучок ионов представляет собой цилиндр диаметром 2 см, расположенный в точке $z=-5$, а направление ионного пучка – направление вдоль оси Z перпендикулярно мишени. Регистрационная область находится на расстоянии 100 см от мишени.

На рисунке 2 представлена основная модель для определения угловых характеристик нейтронов на расстоянии 10 см от мишени. Смоделировано 20 секторов по 8 градусов в диапазоне от -76 до 76 градусов относительно нормали к поверхности мишени.

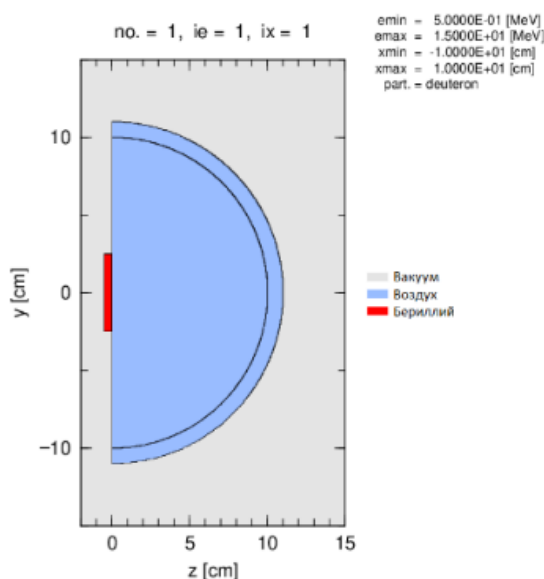


Рис. 2. Модель в программе PHITS с зоной регистрации угловых распределений

Результаты. В результате получены спектры потока нейтронов на расстоянии 1 м от источника в зависимости от энергии пучка дейтронов. Потоки нейтронов нормированы на максимальное значение. Также получены угловые распределения потока нейтронов на расстоянии 10 см от источника для энергии дейтронов 13,6 МэВ. Результаты расчетов представлены на рисунке 3.

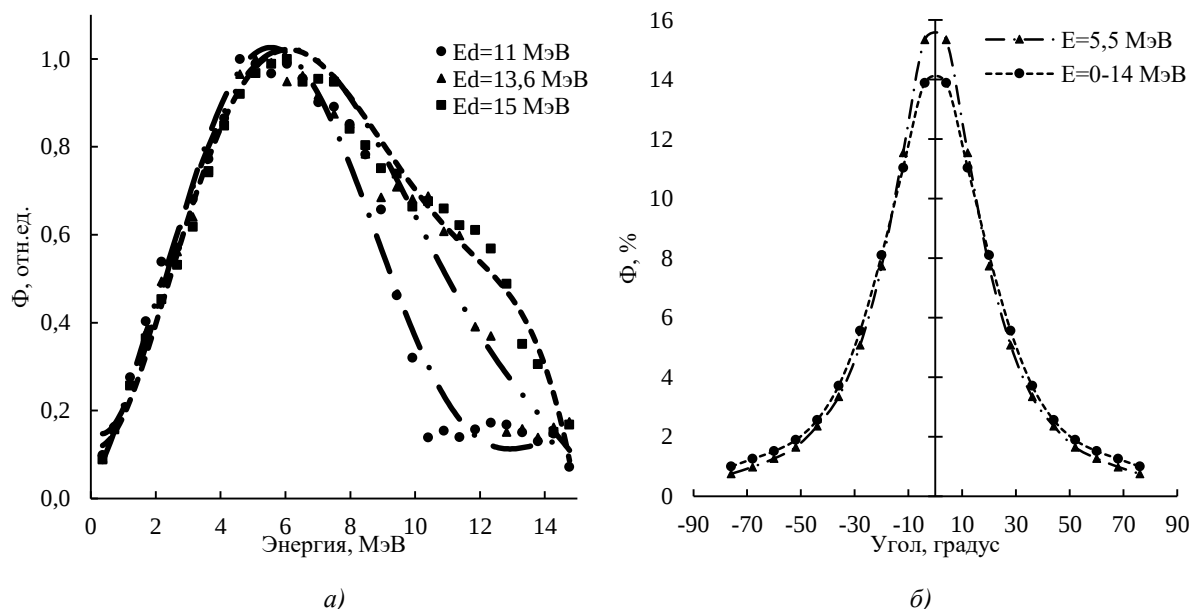


Рис. 3. Расчетные характеристики потока нейтронов: а – спектры потока нейтронов при различных энергиях пучка дейтронов; б - угловое распределение нейтронов

Закключение. Установлено, что с увеличением энергии дейтронов наиболее вероятная энергия нейтронов увеличивается с 4,98 МэВ до 6,06 МэВ, а средняя энергия увеличивается с 4,33 МэВ до 5,10 МэВ. Имеет место анизотропия рассеяния нейтронов всех энергий, однако анизотропия усиливается до наиболее вероятной энергии, а после уменьшается. При этом 66,02% излучения во всем диапазоне энергий и 69,2% излучения с энергией 5,5 МэВ распространяется в секторе ± 20 градусов. Можно отметить, что угловые распределения соответствуют нормальному распределению Гаусса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кулеников Э.Л., Довбня А.Н., Телегин Ю.Н., Цымбал В.А., Кандыбай С.С. Пучки нейтронов для терапии. – Харьков: ННЦ ХФТИ, 2011. – 31 с.
2. Locher G.L. Biological effects and the therapeutic possibilities of neutrons // Am. J. Roentgenol. – 1936. – V. 36. – С. 1-13.
3. НИИ ядерной физики при ТПУ. [Электронный ресурс] – <http://portal.tpu.ru/departments/laboratory/lprv/history> (дата обращения: 25.04.2018).
4. Sato T. et al. Recent improvements of particle and heavy ion transport code system: PHITS // EPJ Web of Conferences. – 2017. – V. 153. – P. 06008.