

**ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ /
PHYSICAL CHARACTERISTICS AND THEIR STUDY**

Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники. 2024. Т. 27, № 4. С. 358—368.

DOI: 10.17073/1609-3577j.met202406.596

УДК 621.382.8, 615.849.12

**Формирование смешанного источника эпитепловых
нейтронов и сканирующего пучка протонов
на КПТ «Прометеус» для лечения опухолей
в режиме флэш-терапии**© 2024 г. В. В. Сиксин^{1,✉}, И. Ю. Щеголев²¹ *Физический институт имени П.Н. Лебедева Российской академии наук,
Ленинский просп., д. 53, Москва, 119991, Российская Федерация*² *АО «Авангард»,
ул. Октябрьская, д. 78, Сафоново, Смоленская обл., 215500, Российская Федерация*

✉ Автор для переписки: antktech@inbox.ru

Аннотация. На медицинском ускорителе «Прометеус» был сконструирован смешанный вторичный источник замедленных нейтронов и сканирующий высокоинтенсивный карандашный пучок протонов для облучения опухоли в режиме флэш-терапии дозой 50—70 Гр. Для получения быстрых нейтронов, а затем замедленных применялась нейтронообразующая мишень. Специальная конструкция нейтронопроизводящей мишени позволяла за несколько импульсов ускорителя облучать внешнюю поверхность опухоли сканирующими спотами протонов и одновременно всю область опухоли замедленными нейтронами. Применяя разработанные новые композиты для защиты от нейтронов, был сконструирован канал смешанного пучка — замедленных нейтронов и сканирующих протонных спотов. С помощью ионизационной падовой камеры на «теплой жидкости» измерены профили мощности эквивалентной дозы на выходе канала для нейтронной компоненты канала. Карандашный протонный пучок, сканируя всю внешнюю поверхность опухоли и последовательно изменяя глубину сканирования, должен разрушить поверхностные кровеносные сосуды на внешней поверхности опухоли. Нейтронный источник за один импульс ускорителя одновременно с протонами облучает всю внутреннюю область опухоли и усиливает общую дозовую составляющую при облучении опухоли. Предложено усилить действие сканирующего по поверхности опухоли протонного пучка за счет дополнительного дозообразования от радиосенсибилизаторов на основе наночастиц золота.

Ключевые слова: композитный наносфеопластик, комбинированная протонная и нейтронная флэш-терапия, наночастицы золота

Благодарности: Авторы выражают благодарности: В.А. Рябову и И.Н. Завестовской за обсуждение аспектов технического решения по проектированию исследовательского канала для комбинированного метода лечения для применения на КПП «Прометеус»; В.Е. Балакину за обсуждение аспектов проектирования исследовательского канала для комбинированного метода лечения методом флэш-терапии на ускорителе «Прометеус»; А.И. Львову за обсуждение новых методов флэш-терапии и испытания камеры МИК на ускорителе «Пахра» в 2023 г.

© 2024 National University of Science and Technology "MISIS".

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Финансирование: Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках Соглашения № 075–15–202.

Для цитирования: Сиксин В.В., Щеголев И.Ю. Формирование смешанного источника эпителиальных нейтронов и сканирующего пучка протонов на КПТ «Прометеус» для лечения опухолей в режиме флэш-терапии. *Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники*. 2024; 27(4): 358–368. <https://doi.org/10.17073/1609-3577j.met202406.596>

Formation of a mixed source of epithelial neutrons and a scanning proton beam at Prometheus CPT for the treatment of tumors in flash therapy mode

V. V. Siksin,¹✉, I. Yu. Shchegolev²

¹ *Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences,
53 Leninsky Ave., Moscow 119991, Russian Federation*

² *Avangard JSC, 78 Oktyabrskaya Str., Safonovo, Smolensk Region 215500, Russian Federation*

✉ Corresponding author: antktech@inbox.ru

Abstract. On a medical accelerator “Prometheus” at an energy of 200 MeV, a mixed secondary beam of delayed neutrons and a scanning high-intensity pencil beam of protons were designed to irradiate the tumor in flash therapy mode with a dose of 50–70 Gray. A neutron-forming target was used to produce fast neutrons and then delayed neutrons. The special design of the neutron-producing target allowed for several pulses of the accelerator to irradiate the outer surface of the tumor with scanning spots of protons and simultaneously irradiate the entire tumor area with delayed neutrons. Using the developed new composites for neutron protection, a mixed beam channel was constructed: delayed neutrons and scanning proton spots. The power profiles of the equivalent dose at the outlet of the channel for the neutron component of the channel were measured using an ionization pad chamber on a “warm liquid”. The pencil proton beam, scanning the entire outer surface of the tumor and sequentially changing the scanning depth, should destroy the superficial blood vessels on the outer surface of the tumor. The average radiation dose per session should be 50–70 Gray. A neutron beam simultaneously with protons during a flash therapy session irradiates the entire tumor area and has a combined value, working in the mode of the neutron capture dose-forming component of this treatment method, in the presence of the introduction of the desired sensitizer. It is proposed to enhance the effect of a proton beam scanning the tumor surface, due to additional dose generation from radio sensitizers based on nano-gold particles.

Keywords: composite nano-spheroplastic, combined proton and neutron flash therapy, nano-particles of gold

Acknowledgments: The authors thank V.A. Ryabov and I.N. Zavestovskaya for discussing aspects of the technical solution for designing a research channel for the combined treatment method for use at the Prometheus CPT; V.E. Balakina for discussing aspects of designing a research channel for the combined method of treatment using flash therapy on the Prometheus accelerator; and A.I. L'vov for discussing new methods of flash therapy and testing the MIC chamber on the Pakhra accelerator in 2023.

Funding: The work was carried out with the financial support of the Ministry of Education and Science of Russia under Agreement No. 075–15–202.

For citation: Siksin V.V., Shchegolev I.Yu. Formation of a mixed source of epithelial neutrons and a scanning proton beam at Prometheus CPT for the treatment of tumors in flash therapy mode. *Izvestiya vuzov. Materialy elektronnoi tekhniki = Materials of Electronics Engineering*. 2024; 27(4): 358–368. <https://doi.org/10.17073/1609-3577j.met202406.596>