



Рис. 3. Пример выполнения команды: “!гусь”



Рис. 4. Пример выполнения команды: “!iq”

Для реализации чат-бота был изучена документация на сайте [dev.twitch.tv](https://dev.twitch.tv/) и среда Visual Studio Code для редактирования кода и его компилирования. В дальнейшем планируется продолжать поддержку бота, параллельно добавляя новые команды и возможности для взаимодействия со зрителями.

#### Библиографический список

1. Официальный англоязычный сайт документаций для работы с Twitch.tv - <https://dev.twitch.tv/>
2. Англоязычная библиотека для работы с API Twitch.tv - <https://github.com/TwitchLib/TwitchLib>
3. Неофициальная русскоязычная документация с руководством по сетевому программированию в C# - [https://professorweb.ru/my/csharp/web/level1/web\\_index.php](https://professorweb.ru/my/csharp/web/level1/web_index.php)

УДК 53.043

Быков А.С.

### ВИЗУАЛИЗАЦИЯ НЕЙТРОННЫХ ПОТОКОВ ПРИ БОР-НЕЙТРОНОЗАХВАТНОЙ ТЕРАПИИ РАКА NEUTRON FLUX VISUALIZATION IN BORON NEUTRON CAPTURE THERAPY OF CANCER

Филиал «Протвино» государственного университета «Дубна»  
Секция «Естественные и инженерные науки»

**Автор:** Быков Артем Сергеевич, студент 4 курса направления «Физика» филиала «Протвино» государственного университета «Дубна».

**Научный руководитель:** Евдокимов Сергей Владимирович, старший преподаватель кафедры технической физики филиала «Протвино» государственного университета "Дубна"; младший научный сотрудник НИЦ «Курчатовский институт» - ИФВЭ.

**Author:** Bykov Artyom Sergeevich, 4d year student of the direction "Physics" of the branch "Protvino" state University "Dubna".

**Scientific adviser:** Evdokimov Sergey Vladimirovich, senior lecturer of the department of technical physics of the branch "Protvino" of the state university "Dubna"; Junior Researcher, National Research Center "Kurchatov Institute" - ИИЕР.

#### Аннотация

Бор-нейтронозахватная терапия (БНЗТ) – экспериментальный метод лечения онкологических заболеваний. В работе представлены теоретические и экспериментальные данные по работе этой терапии, а также визуализированы нейтронные потоки в программе GEANT4.

#### Abstract

Boron neutron capture therapy (BNCT) is an experimental method for the treatment of oncological diseases. The paper presents theoretical and experimental data of this therapy, as well as visualized neutron fluxes in the GEANT4 program.

**Ключевые слова:** бор-нейтронозахватная терапия, Geant4, моделирование Монте-Карло, визуализация.

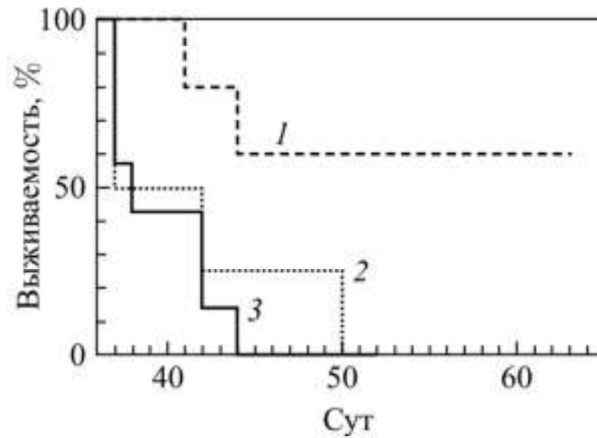
**Keywords:** boron neutron capture therapy, Geant4, Monte Carlo simulations, visualization.

#### 1. Введение

Бор-нейтронозахватная терапия (БНЗТ) [\[1\]](#) – экспериментальный метод лечения онкологических заболеваний. Принцип его действия основан на способности нерадиоактивного ядра бор-10 поглощать тепловой нейтрон. Поглощение нейтрона ядром  $^{10}\text{B}$  приводит к мгновенной ядерной реакции  $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ . В 6,1% случаев энергия распределяется только между ядрами лития и  $\alpha$ -частицей, а в 93,9% случаев ядро лития вылетает в возбужденном состоянии и испускает  $\gamma$ -квант с энергией. У продуктов данной ядерной реакции высокий темп торможения и малый пробег частиц в воде или в ткани организма, он сравним с характерным размером клеток млекопитающих. Следовательно, выделение основной части энергии ядерной реакции  $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ , а именно 84%, ограничивается размером одной клетки. Таким образом, накопление бора-10 внутри клеток опухоли и последующее облучение нейтронами должны приводить к разрушению клеток опухоли с относительно малыми повреждениями окружающих нормальных клеток. Такая терапия крайне эффективна при борьбе с опухолями, которые имеют высокую устойчивость к воздействию радиации, в отличие от адриной, лучевой или химиотерапии, где опухоль разрушается именно за счёт действия радиации.

#### 2. Экспериментальные данные.

Для подтверждения эффективности БНЗТ Институт ядерной физики СО РАН совместно Институтом цитологии и генетики СО РАН провели эксперимент по облучению мышей [\[2\]](#). В эксперименте использовали 3 группы мышей с клетками глиобластомы человека. Первой группе животных провели инъекции борфенилаланина, наркотизировали и поместили под пучок нейтронов на 60 минут. Второй группе животных провели инъекции борфенилаланина, но не облучали. Третью группу использовали в качестве интактного контроля и не подвергали какому-либо воздействию. Результаты эксперимента представлены на Рис. 1.



**Рис. 1.** График Каплана-Мейера: 1 – группа облученный мыши; 2 – группа мышей с инъекцией борфенилаланина, но без облучения; 3 - интактный контроль.

На данном графике видно, что все мыши, не подвергнутые облучению, умерли достаточно быстро. В случае же облученной группы только три из пяти мышей выздоровели, на четвертый день объем их опухоли снизился, а на седьмой опухоли уже не обнаружили. Эти мыши были усыплены на 92-й день без признаков заболеваний. Излечение мышей можно считать успешным экспериментом, так как ввиду малости размера мыши её пришлось облучать всю, у человека же область облучения будет локализована.

### 3. Лечение людей.

Так же были многочисленными исследования на людях, для которых в большинстве случаев не было вариантов дальнейшего лечения [3]. Като и др. в Японии сообщили [4] о серии из 26 пациентов с далеко зашедшим раком головы и шеи. В этой серии наблюдалось полное регрессирование в 12 случаях, 10 частичных регрессий и прогрессирование в 3 случаях. Среднее время выживания составило 13,6 месяцев, а 6-летняя выживаемость составила 24%. Значительные осложнения, связанные с лечением («нежелательные» явления), включали переходящий мукозит, алопецию и, в редких случаях, некроз мозга и остеомиелит.

Канкаанранта и др. в Финляндии сообщили [5] о своих результатах в перспективном исследовании с участием 30 пациентов с неоперабельными местно-рецидивирующими плоскоклеточными карциномами в области головы и шеи. Из 29 обследованных пациентов было 13 полных и 9 частичных ремиссий с общим уровнем ответа 76%. Наиболее частыми побочными эффектами были мукозит полости рта, боль в полости рта и утомляемость.

Группа на Тайване во главе с Лин-Вэй Ван и его коллегами из больницы общего профиля для ветеранов Тайбэя вылечила [6] 17 пациентов с местным рецидивирующим раком головы и шеи в реакторе открытого бассейна Цин Хуа (THOR) Национального центра. Университет Цин Хуа. Двухлетняя общая выживаемость составила 47%, а двухлетний локально-региональный контроль - 28%.

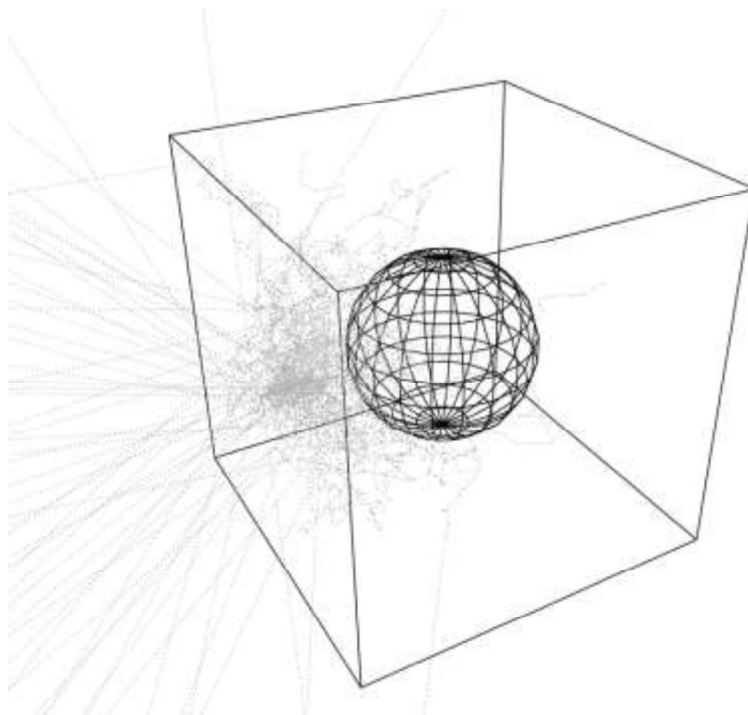
В университете Кобэ было пролечено 24 пациента с различными гистологическими типами меланом. При этом локальный контроль над опухолью достигнут в 60%, а общая 5-летняя выживаемость для 75% случаев первичных меланом [7].

### 4. Моделирование.

Зачастую поставить эксперимент не представляется возможным ввиду затраты огромных ресурсов, именно в таких ситуациях используется моделирование, ведь оно требует только наличия программы, имеющей возможность смоделировать и вывести данные, максимально приближенные к реальности. Geant4 – одна из таких программ, она охватывает все соответствующие физические, электромагнитные, адронные и оптические процессы для долгоживущих и короткоживущих частиц, в диапазоне энергий от десятков эВ до масштаба ТэВ. Благодаря данной программе можно визуализировать прохождение потока нейтронов при БНЗТ.

В данной работе использован Geant4 [8] в качестве транспортного кода и интерфейс Virtual Monte Carlo (VMC) [9], который входит в пакет программ Root [10].

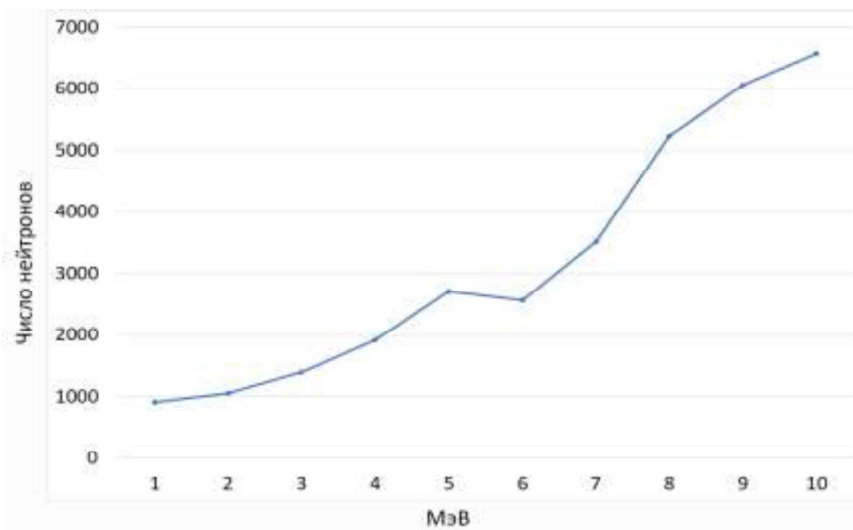
В качестве простой модели облучения опухоли выбран куб, химический состав которого приближен к человеческому, в котором находится шаровидная опухоль радиусом 2 см. Концентрация бора в опухоли составляет 5 мкг/г, что является характерным количеством бора, используемого при терапии опухолей мозга. Для получения визуальной картины в него были запущены 100 нейтронов с энергией 1 МэВ. Результат моделирования представлен на рис. 2.



**Рис. 2.** Визуализация пучка нейтрона

Как видно из рис. 2, движение нейтронов в веществе существенно отличается от траектории движения заряженных частиц. Они распространяются в моделируемом объеме хаотично, подобно броуновским частицам, часто вылетая обратно в окружающее куб пространство. До опухоли долетают лишь немногие. Это говорит о том, что такая терапия будет гораздо эффективнее для неглубоких опухолей, таких как рак кожи (меланома).

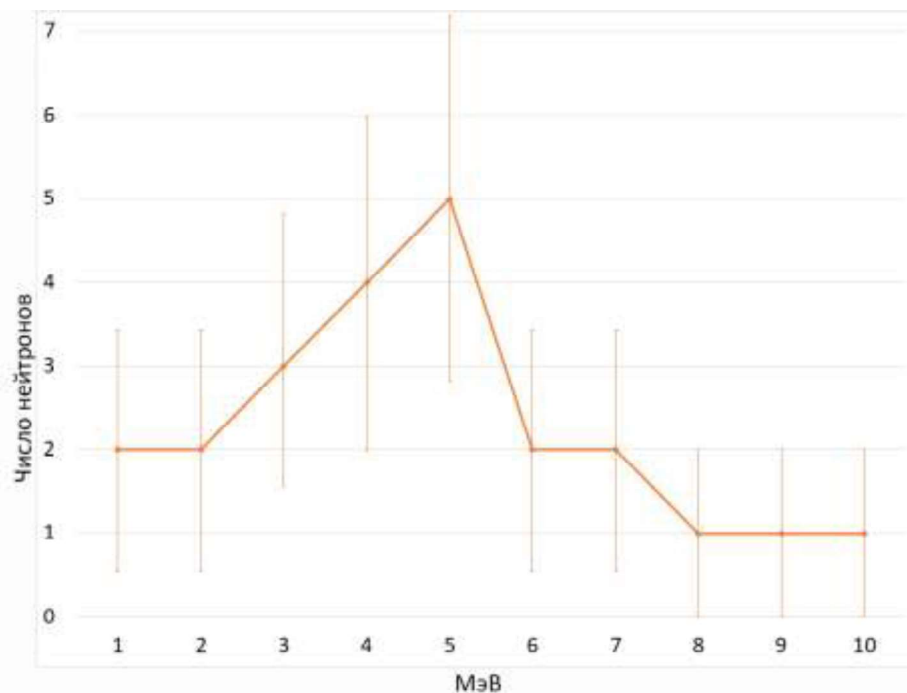
Для количественных оценок была проведена серия симуляций облучения тела с опухолью 100000 нейтронами с различной энергией от 1 до 10 МэВ. Начальное число нейтронов было подобрано так, чтобы иметь статистически значимый результат. На рис. 3 представлена зависимость числа нейтронов, остановившихся в опухоли, от начальной энергии.



**Рис. 3.** Остановившиеся в боре нейтроны

Из рис. 3 видно, что с увеличением энергии увеличивается и число нейтронов, достигших опухоли. Это связано с тем, что с ее ростом траектории движения нейтронов становятся менее хаотичны, и они в среднем проникают глубже в тело.

На рис. 4 представлена зависимость количества событий захвата нейтрона ядром бора.



**Рис. 4.** Захваченные бором нейтроны

Как мы можем наблюдать из данного графика, из тысяч нейтронов захватываются только единицы, это происходит из-за того, что опухоль может накапливать лишь малую дозу бора, в нашем случае его количество составляет 5 мкг/г или 0.0005%, что является характерным количеством бора, используемого при терапии опухолей мозга [2], а шанс рождения разрушающих частиц - 6,1%.

Для энергии 5 МэВ наблюдается максимальное число захватов, то есть эта энергия оптимальна для заданной геометрии тела и опухоли. Это объясняется тем, что, с одной стороны, количество нейтронов, попавших в нее, растёт с энергией, а с другой - падает сечение

захвата, и уменьшается его вероятность. Эти два конкурирующих эффекта приводят к появлению локального максимума на графике. Таким образом, с помощью моделирования можно подобрать самую подходящую энергию нейтронов для конкретной задачи облучения.

### 5. Заключение

Благодаря свойству бора поглощать нейтрон и распадаться на частицы, его можно использовать в лечении радиорезистентных опухолей, с которыми не могут справиться другие способы лечения. Проведенное моделирование показало, что нейтроны распространяются в теле хаотично, как броуновские частицы. Их поток резко ослабевает с увеличением расстояния от поверхности тела, поэтому такая терапия больше подходит для лечения не глубоко залегающих опухолей. Моделирование показало, что для выбранных геометрических параметров существует оптимальная энергия нейтронов, при которой происходит наибольшее число захватов. Малое количество бора в опухоли, достижимое на текущий момент, является основным недостатком терапии, так как хаотично движущиеся нейтроны создают заметную радиационную нагрузку на здоровые ткани.

### Библиографический список

1. С. Ю. Таскаев. Бор-нейтронозахватная терапия (2021)
2. С.Ю. Таскаев. Разработка ускорительного источника эпитепловых нейтронов для бор-нейтронозахватной терапии (2019).
3. [https://ru.vvikipedla.com/wiki/Neutron\\_capture\\_therapy\\_of\\_cancer](https://ru.vvikipedla.com/wiki/Neutron_capture_therapy_of_cancer)
4. Като и другие. Эффективность борной нейтронно-захватной терапии при рецидивирующих злокачественных новообразованиях головы и шеи (2009).
5. Канкаанранта и другие. «Боронейтронозахватная терапия в лечении местного рецидива рака головы и шеи: окончательный анализ исследования фазы I / II» (2012).
6. Ван, Лин-Вэй; Лю, Йен-Ван Сюэ; (2018). «Клинические испытания лечения рецидивирующего рака головы и шеи с помощью борной нейтронно-захватной терапии с использованием реактора с открытым бассейном Tsing-Hua» (2018).
7. Касатова А.И., Каныгин В.В. Исследование биологической эффективности бор-нейтронозахватной терапии на клетках глиомы и меланомы человека (2020).
8. <https://geant4.web.cern.ch/node/1>
9. <https://root.cern/>
10. <https://root.cern/root/vmc/>

УДК 004.423.24

Греченко В.В.

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕГУЛЯРНЫХ ВЫРАЖЕНИЙ В C# USING REGULAR EXPRESSIONS IN C#

*Филиал «Протвино» государственного университета «Дубна»  
Секция «Информационные технологии»*

**Автор:** Греченко Владимир Владимирович, студент 1-го курса направления «Информатика и вычислительная техника» филиала «Протвино» государственного университета «Дубна».

**Научный руководитель:** Кульман Татьяна Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий филиала «Протвино» государственного университета «Дубна».

**Author:** Grechenko Vladimir Vladimirovich, 1st year student of the direction "Informatics and computer engineering" of the branch "Protvino" state University "Dubna".

**Scientific adviser:** Kulman Tatiana Nikolaevna, candidate of technical sciences, associate professor of the department information technology of the branch "Protvino" state University "Dubna".