

**SIMULATION OF THE INTERACTION  
OF THERMAL NEUTRONS WITH CATALYTIC COMPOSITION  
(Pb, Bi, Po) IN AN INFINITE MEDIUM**

**M.Abishev<sup>1</sup>, M.Khassanov<sup>1</sup>, D.Utepova<sup>1</sup>, T.Aitasov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Kazakh National University named after Al-Farabi, Almaty, Kazakhstan  
manas\_khassanov@mail.ru

**Key words:** Catalytic composition, Monte-Carlo method, cyclic reaction.

**Abstract.** The purpose of this work is to simulate the interaction of thermal neutrons with catalytic composition in an infinite medium which consist of isotopes  $Pb^{206}$ ,  $Pb^{207}$ ,  $Pb^{208}$ ,  $Pb^{209}$ ,  $Bi^{209}$ ,  $Bi^{210}$ ,  $Po^{210}$ . During the simulation the concentration of neutrons is constant and does not depend on time.

For simulating the process the cod was based on C++ using Monte-Carlo method for transporting and reactors problem. Using this code we calculated the part of absorbed neutrons by each isotopes of catalytic composition. The initial concentrations of each isotope of the catalytic composition was calculated in work [1]. The results of simulation showed that the catalytic composition mentioned in work [1] is able to be simplified by excepting the isotope  $Po^{211}$  from catalytic composition initially.

УДК 342.7(574)

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ  
С КАТАЛИТИЧЕСКИМ СОСТАВОМ (Pb, Bi, Po)  
В БЕЗГРАНИЧНОЙ СРЕДЕ**

**М.Абишев<sup>1</sup>, М.Хасанов<sup>1</sup>, Д.Утепова<sup>1</sup>, Т.Айтасов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>КазНУ им. аль-Фараби, физико-технический факультет, г. Алматы, Республика Казахстан

**Ключевые слова:** каталитический состав, метод Монте-Карло, циклическая реакция.

**Аннотация.** В работе рассматривается моделирование взаимодействия тепловых нейтронов с элементами каталитического состава, состоящих из изотопов  $Pb^{206}$ ,  $Pb^{207}$ ,  $Pb^{208}$ ,  $Pb^{209}$ ,  $Bi^{209}$ ,  $Bi^{210}$ ,  $Po^{210}$ . Заполняющую безграничную среду. Концентрация нейтронов в данной среде считается постоянным и не зависит от времени.

Для моделирования данного процесса была написана программа на языке C++ с применением метода Монте-Карло для транспортных и реакторных задач. С помощью этой программы была рассчитана доля поглощения тепловых нейтронов каждым изотопом каталитического состава. Начальные концентрации элементов каталитического состава были вычислены в работе [1]. При сравнении результатов работы [1] и результатов моделирования, проведенных в данной работе, было обнаружено, что элементы каталитического состава, предложенные в работе [1] можно сократить, исключив изотоп  $Po^{211}$ , если изначально исключить  $Po^{211}$  из каталитического состава и сделать перерасчет начальных концентраций для оставшихся изотопов каталитического состава.

**Введение.** На сегодняшний день одной из актуальных проблем в реакторной физике является улучшение качеств конструкционных материалов в активной зоне реактора и увеличение срока их

эксплуатации. После долгого облучения в них накапливается водород и гелий, образуя набухание и приводя к уменьшению конструкционных качеств, а также появляется наведенная радиация из-за нейтронной активации. Возможный способ увеличения срока эксплуатации дает нейтронно-каталитический состав, свойства и содержание элементов которого не меняется во время облучения нейтронами. В работе [1] в качестве такого материала был предложен каталитический состав. Данный состав состоит из изотопов  $Pb^{206}$ ,  $Pb^{207}$ ,  $Pb^{208}$ ,  $Pb^{209}$ ,  $Bi^{209}$ ,  $Bi^{210}$ ,  $Po^{210}$ ,  $Po^{211}$ . На рисунке 1 - схема каталитической реакции, предложенная в работе [1].-

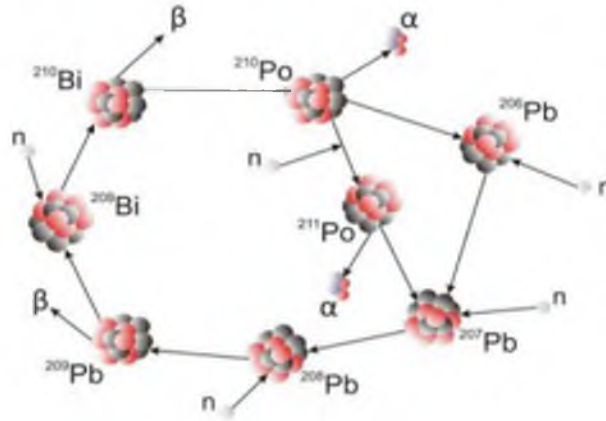


Рисунок 1 – Схематический вид цепочки ядерных реакций нейтронного катализа.

Как видно из рисунка 1, в схеме существует разветвление на изотопе  $Po^{210}$  по двум каналам реакций. Один из этих каналов реакций обусловлен тем, что  $Po^{210}$  имеет сечение поглощения нейтронов, равный 0.0300126 барн для тепловых нейтронов. Но при компьютерном моделировании второй канал давал пренебрежимо малый вклад, таким образом, мы исключили изотоп  $Po^{211}$  из каталитического состава, предложенного в работе [1]. На рисунке 2 показана схема каталитической реакции без изотопа  $Po^{211}$ .

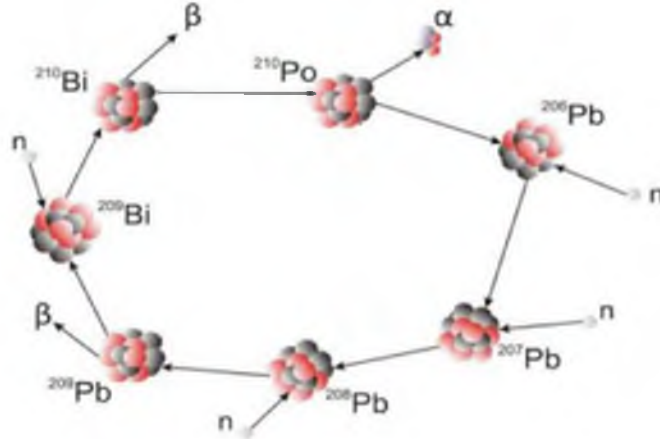


Рисунок 2 – Схематический вид цепочки ядерных реакций нейтронного катализа без участия изотопа  $Po^{211}$ .

После упрощения схемы каталитической реакций, предложенной в работе [1], исключив изотоп  $Po^{211}$ , мы заново рассчитали начальные концентрации изотопов в каталитическом составе и проверили результаты путем моделирования данной схемы методом Монте-Карло в безграничной среде.

**Расчет начальных концентраций.** В работе [1] были найдены и изучены наиболее подходящие элементы для каталитического состава и вычислены концентрации элементов для этого состава. Для вычисления концентраций состава использовалась система уравнений Бэйтмана [5], которая описывает содержание и активность в цепной ядерной реакции в зависимости от времени, на основе скорости реакций и начальных содержаний:

$$\frac{dN_i}{dt} = -\lambda_i N_i + \lambda_{i-1} N_{i-1} \quad (1)$$

$$\frac{dN_k}{dt} = \lambda_{k-1} N_{k-1} \quad (3)$$

$$N_n(t) = \sum_{i=1}^n \left[ N_i(0) * \left( \prod_{j=i}^{n-1} \lambda_j \right) * \left( \sum_{j=i}^n \left( \frac{e^{-\lambda_j t}}{\prod_{p=i, p \neq j}^n (\lambda_p - \lambda_j)} \right) \right) \right] \quad (4)$$

Здесь  $\lambda_i$  – это постоянная распада или скорость реакций  $i$ -го изотопа. Все сечения поглощения нейтронов (т.е. реакций  $(n, g)$ ) и периоды полураспада элементов были взяты из базы данных ядерных реакций EXFOR. Результаты вычисления системы уравнения Бэйтмана сделанные в работе [1] приведены в таблице 1.

Таблица 1 – процентное соотношение изотопов

Изотоп	процентное содержание изотопов
$Po^{210}$	1,6 %
$Pb^{206}$	$0,0435 \cdot 10^{-7} \%$
$Po^{211}$	$0,0126 \cdot 10^{-7} \%$
$Pb^{207}$	0,0317 %
$Pb^{208}$	97,53 %
$Pb^{209}$	0,01898 %
$Bi^{210}$	0,673 %
$Bi^{209}$	0,07 %

Используя данную систему уравнений Бэйтмана, но исключив из состава  $Po^{211}$ , мы сделали перерасчет начальных концентраций изотопов каталитического состава. Результаты вычислений приведены в таблице 2.

Таблица 2 – процентное соотношение изотопов

Изотоп	процентное содержание изотопов
$Po^{210}$	$0.39 \cdot 10^{-3} \%$
$Pb^{206}$	0.78%
$Pb^{207}$	0,3489%
$Pb^{208}$	98,2993%
$Pb^{209}$	$3.8 \cdot 10^{-7} \%$
$Bi^{210}$	$1.410 \cdot 10^{-5} \%$
$Bi^{209}$	0,5718%

Из таблицы-1 и таблицы-2 видно, что наибольшую концентрацию обладает изотоп  $Pb^{208}$ . Это связано с тем, что сечение поглощения нейтронов этого изотопа очень мало ( $\sigma = 0.23$  мб) и чтобы скорость реакций был одинаковым с остальными изотопами, нужно, чтобы его концентрация была высокой.

**Процесс моделирования.** В качестве метода моделирования был выбран метод Монте-Карло для транспортных задач, которая основывается на розыгрыше длины свободного пробега частицы. Длина свободного пробега для нейтрона рассчитывается по формуле:

$$L = \frac{-1}{\Sigma} \ln(v) \quad (5)$$

здесь  $L$  -длина свободного пробега,  $\Sigma$  - макроскопическое сечение состава,  $v$  - случайное число. Сам процесс протекает в безграничной среде, заполненной каталитическим составом и тепловыми нейтронами. Для упрощения процесса моделирования считается, что концентрация нейтронов в среде не зависит от времени и составляет  $5 \cdot 10^8$  нейтронов на кубический сантиметр, также нейтроны находятся в термодинамическом равновесии с каталитическим составом, таким образом, средняя энергия нейтронов составляет 0.0253 электрон-вольт. При таких энергиях нейтрона у всех

изотопов каталитического состава существует только два канала реакций: это - реакция поглощения нейтрона изотопом с последующим выпуском гамма частицы и реакция упругого рассеяния нейтрона, все остальные каналы реакции для всех изотопов закрыты из-за малости энергии нейтронов. Но процесс захвата нейтрона тем или иным изотопом каталитического состава не только зависит от существования канала реакций и сечения реакций, но также зависит от концентраций того или иного изотопа в составе. Это означает, что уменьшая процентное соотношение изотопа, можно практически закрыть каналы реакций. Визуализация процесса моделирования показана на рисунке-3. Точками отмечены места взаимодействия нейтрона с изотопами каталитического состава.



Рисунок 3 – Визуализация процесса моделирования.

**Результаты моделирования.** Моделирование производилось для нейтронов (достаточно для набора статистики) для состава, заполняющую безграничную среду с процентными соотношениями указанный в таблице-2. В результате моделирования были получены следующие результаты:

- Средняя скорость поглощения нейтронов за единицу секунды каталитическим составом.
- Среднее число нейтронов, поглощенных каждым элементом состава за единицу времени
- Среднее количество нейтронов потерпевших распад за единицу времени в составе.

Таким образом, каталитический состав за единицу секунды в среднем поглощает 8252 нейтронов из 10000 нейтронов. Среднее количество нейтронов потерпевших распад за единицу времени составил 861 нейтронов из 10000 нейтронов. 887 нейтронов продолжают существовать за период времени одна секунда. В таблице3 показано распределение поглощенных нейтронов по изотопам состава.

Таблица 3 – среднее количество нейтронов поглощенных каждым изотопом

Изотоп	количество поглощенных нейтронов
$Po^{210}$	0
$Pb^{206}$	2060
$Pb^{207}$	2067
$Pb^{208}$	2062
$Pb^{209}$	0
$Bi^{210}$	0
$Bi^{209}$	2063

**Заключение.** Как видно из таблицы 3, радиоактивные изотопы не поглощают нейтронов, так как их макроскопическое сечение мало по сравнению с остальными изотопами, а стабильные ядра поглощают примерно одинаковое количество нейтронов, что свидетельствует о стабильности каталитической реакции, хотя и существуют малые отклонения, причиной которых могут быть статистические погрешности и неточность в сечениях реакций. Существенным

результатом моделирования оказалось то, что схему каталитической реакции, показанной в работе [1], можно упростить, убрав разветвление на изотопе  $Po^{210}$  и исключив из каталитического состава изотоп  $Po^{211}$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Абишев М., Хасанов М., Кенжебаев Н. О циклической реакции с участием тепловых нейтронов. // Вестник НАН РК. – 2013. – № 6. – С. 12.
- [2] Кунаков С., Кенжебаев Н. Моделирование накопления трития в бериллиевом материале при нейтронном облучении. // Известия НАН РК. – 2014. – №2. – С. 82-86.
- [3] Burbidge E., Burbidge G.R., Fowler W.A., Hoyle F. Synthesis of the Elements in Stars. // Reviews of Modern Physics 29. – 1957. – №4. – С.547.
- [4] Хаустов И.Н., Тихомиров С.Т., Бейзин С.Д. Функция возбуждения и выходы изотопов висмута и свинца в реакции  $^{203}Tl$  с ионами  $^3He$ . // Известия АН КазССР. – 1990. – №2. – С.3.
- [5] Bateman H. Solution of a System of Differential Equations Occurring in the Theory of Radio-active Transformations. // Proc. Cambridge Phil. Soc. IS. – 1910. – №423. – С.12-19.
- [6] Otto Schwerer. EXFOR Formats Description for Users. – IAEA Nuclear Data Section, 2014. P 3.

#### REFERENCES

- [1] Abishev M., Hasanov M., Kenzhebaev N. Cyclic reactions involving thermal neutrons. *Journal of National Academy of Sciences of Kazakhstan*. **2013**. 6. 12-16.
- [2] Kunakov S., Kenzhebaev N. Modelling the accumulation of tritium in beryllium materials under neutron irradiation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Kazakhstan*. **2014**. 2. 82-86. (in Russ)
- [3] Burbidge E., Burbidge G.R., Fowler W.A., Hoyle F. Synthesis of the Elements in Stars. *Reviews of Modern Physics*. **1957**. 4. 547-554.
- [4] Khaustov I.N., Tikhomirov S.V., Baisin S.D. The excitation function and outputs of bismuth and lead isotopes in  $^{203}Tl$  reactions  $^3He$  ions. *Proceedings of the Academy of Sciences of the Kazakh SSR*. **1990**. 2. 3-8.
- [5] Bateman H. Solution of a System of Differential Equations Occurring in the Theory of Radio-active Transformations. *Proc. Cambridge Phil. Soc.* **1910**. 423. 12-19.
- [6] Otto Schwerer. EXFOR Formats Description for Users. *IAEA Nuclear Data Section*, **2014**. 3-345.

#### ЖЫЛУЛЫҚ НЕЙТРОНДАРДЫҢ КАТАЛИЗДЫҚ ҚОСПАМЕН (Pb, Bi, Po) ШЕКСІЗ ОРТАДА ӘСЕРЛЕСУІН МОДЕЛЬДЕУ

М. Абишев, Н. Хасанов, Д. Утепова, Т. Айгасов

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, физика және технология факультеті,  
Алматы, Қазақстан Республикасы

**Түйін сөздер:** катализдік қоспа, Монте-Карло әдісі, циклдық реакция.

**Аннотация.** Жұмыстың мақсаты жылулық нейтрондардың  $Pb^{206}$ ,  $Pb^{207}$ ,  $Pb^{208}$ ,  $Pb^{209}$ ,  $Bi^{209}$ ,  $Bi^{210}$ ,  $Po^{210}$  изотоптарынан тұратын катализдік қоспамен шексіз ортада әрекеттесуін компьютерлік модельдеу. Бұл ортадағы нейтрондардың концентрациясы тұрақты және уақыттан тәуелсіз деп есептеледі. Бұл процессті компьютерлік модельдеу жүргізу үшін с++ бағдарлау тілі мен бөлшектерді тасмалдауға арналған Монте-Карло әдісі қолданылды. Компьютерлік модельдеу барысында катализдік қоспадағы әр изотоптың қанша нейтрон жығатыны есептелді. Бастапқы мезеттегі катализдік қоспадағы әр изотоптың концентрациясы [1] жұмыста есептелген. Компьютерлік модельдеу нәтижесі [1] жұмыста көрсетілген катализдік қоспадағы  $Po^{211}$  изотопын қоспағанда, катализдік реакциялар шебіндегі тармақталудан құтылуға болатынын көрсетті.

Поступила 16.05.2016 г.