

## NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN  
PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 2, Number 312 (2017), 53 – 56

UDC 342.7(574)

M. Abishev<sup>1</sup>, M. Khassanov<sup>1</sup><sup>1</sup>Kazakh National University named after Al-Farabi, Almaty, Kazakhstan  
manas\_khassanov@mail.ru**SIMULATION OF THE THERMAL NEUTRONS INTERACTION WITH  
CATALYTIC COMPOSITION (Pb, Bi, Po) BY "IBUS" SOFTWARE**

**Abstract.** The purpose of this work is to simulate by the "IBUS" software the heat release during the interaction of thermal neutrons with catalytic composition 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 not depended by time.

For simulating the change of concentration process and for calculating the concentration of isotopes products the "IBUS" (Isotopes Burn Up Software) software was developed on C# using deterministic methods. Using this code we calculated heat density  $J/cm^3sec$  of catalytic composition (Pb,Bi,Po). The initial concentrations of each isotope of the catalytic composition were calculated in the work [1].

**Key words:** Catalytic composition, "IBUS" software, cyclic reaction.

УДК 342.7(574)

М.Абишев<sup>1</sup>, М.Хасанов<sup>1</sup><sup>1</sup>КазНУ им. аль-Фараби, физико-технический факультет, г. Алматы, Республика Казахстан**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТЕПЛОВЫХ  
НЕЙТРОНОВ С КАТАЛИТИЧЕСКИМ СОСТАВОМ (Pb, Bi, Po)  
С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА "IBUS"**

**Аннотация.** В работе приводятся результаты расчета количества тепла при взаимодействии тепловых нейтронов с элементами каталитического состава, состоящих из изотопов  $Pb^{206}$ ,  $Pb^{207}$ ,  $Pb^{208}$ ,  $Pb^{209}$ ,  $Bi^{209}$ ,  $Bi^{210}$ ,  $Po^{210}$ . в программном комплексе "IBUS". Концентрация нейтронов в среде считается постоянным и не зависит от времени.

Для моделирования процесса взаимодействия тепловых нейтронов с различными изотопами и для расчета изменения концентрации облучаемых изотопов в зависимости от времени, а также для расчета концентрации нарабатываемых продуктов и для многих других задач, связанных с облучением изотопов тепловыми нейтронами, был создан программный комплекс "IBUS" (Isotopes Burn Up Software) на языке программирования C# с применением детерминированного метода расчета. В данной работе с помощью программного комплекса "IBUS" было рассчитано количество тепла, испускаемого каталитическим составом (Pb, Bi, Po) в единичном объеме в единицу времени ( $Дж/см^3с$ ). Начальные концентрации изотопов каталитического состава, задаваемые как начальные входные параметры для программного комплекса "IBUS", были найдены в наших предыдущих работах.

**Ключевые слова:** каталитический состав, программный комплекс "IBUS", циклическая реакция.

В настоящее время в ядерной физике задачи на определение изменения концентрации изотопов, определение продуктов реакции, определение выделяемой энергии и т.д. при облучении нейтронами материалов, состоящих из различных элементов и изотопов в различных интервалах времени имеют важное прикладное значение.

Если речь идет о нескольких изотопах, то, применяя уравнение Бэйтмана

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

для каждого изотопа, можно построить систему дифференциальных уравнений и решить задачу аналитическим методом. Но если число изотопов достигает сотен или же когда число возможных продуктов реакций могут достигать сотен или тысяч, тогда процесс построения систем дифференциальных уравнений становится весьма затруднительным, не говоря уже о решении такой системы уравнений.

Для устранения этих трудностей нами был разработан программный комплекс "IBUS" (IsotopesBurnUpSoftware). Программный комплекс "IBUS" имеет очень удобный интерфейс (Рисунок1) и предоставляет возможность работать со всеми изотопами, которые определены в базе данных ENDF/BVII.1.

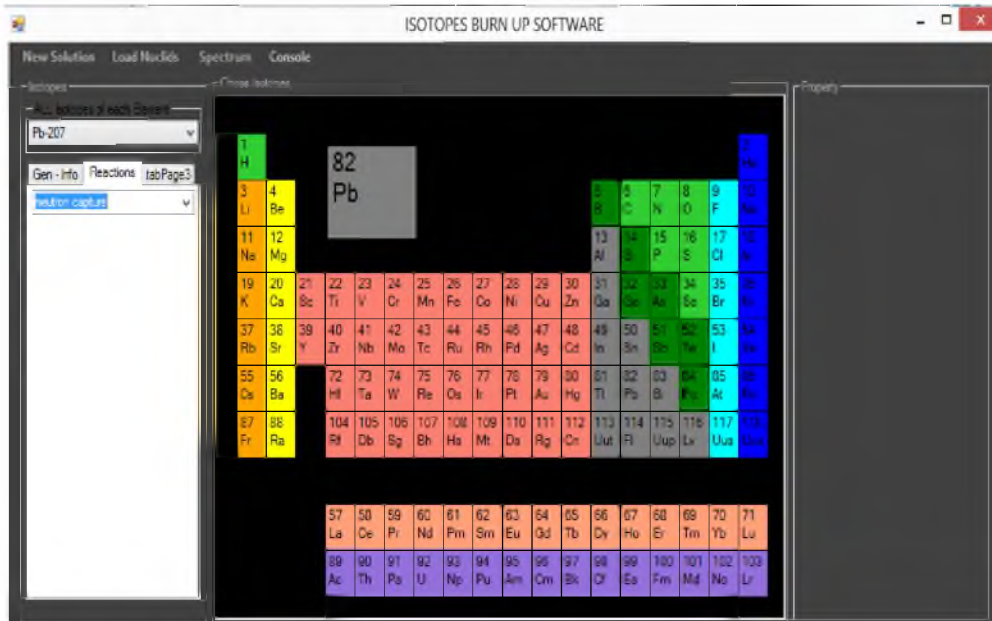


Рисунок 1 - Интерфейс программного комплекса "IBUS"

Данный программный комплекс предназначен для решения задачи определения изменения концентрации изотопов, для определения продуктов реакции под действием тепловых нейтронов. Для этого программный комплекс "IBUS" считывает данные из файлов ENDF/BVII.1.o всех существующих изотопов в базе данных и в автоматическом режиме строит матрицу сжигания (burnupmatrix) для всех изотопов (2).

$$A = \begin{pmatrix} -\lambda_1 - F\sigma_1 & \lambda_2 P_{2 \rightarrow 1} + Q_{2 \rightarrow 1} F\sigma_{2 \rightarrow 1} & \dots & \lambda_n P_{n \rightarrow 1} + Q_{n \rightarrow 1} F\sigma_{n \rightarrow 1} \\ \lambda_1 P_{1 \rightarrow 2} + Q_{1 \rightarrow 2} F\sigma_{1 \rightarrow 2} & -\lambda_2 - F\sigma_2 & \dots & \lambda_n P_{n \rightarrow 2} + Q_{n \rightarrow 2} F\sigma_{n \rightarrow 2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \lambda_1 P_{1 \rightarrow n} + Q_{1 \rightarrow n} F\sigma_{1 \rightarrow n} & \lambda_2 P_{2 \rightarrow n} + Q_{2 \rightarrow n} F\sigma_{2 \rightarrow n} & \dots & -\lambda_n - F\sigma_n \end{pmatrix} \quad (2)$$

После того как матрица сжигания построена, программа, пользуясь матричным уравнением (3) и используя метод PADE находит матрицу, элементы которой представляют концентрацию изотопов после облучения и концентрацию наработанных изотопов.

$$n(t) = n(0) \exp(At) \quad (3)$$

Также программный комплекс предоставляет возможность вычислять количество тепла, выделяемого при облучении изотопов нейтронами.

**Расчет тепла, испускаемого каталитическим составом.** В работе [1] были найдены и изучены наиболее подходящие элементы для каталитического состава и вычислены концентрации элементов для этого состава. В качестве входных параметров для программного комплекса "IBUS" были переданы начальные концентрации изотопов, обеспечивающие стационарный нейтронный катализ, процентное соотношение которых показано 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 %

После внесения входных параметров в программный комплекс "IBUS", программа была запущена для разных значений нейтронного потока, результаты которого приведены в рисунке 2.

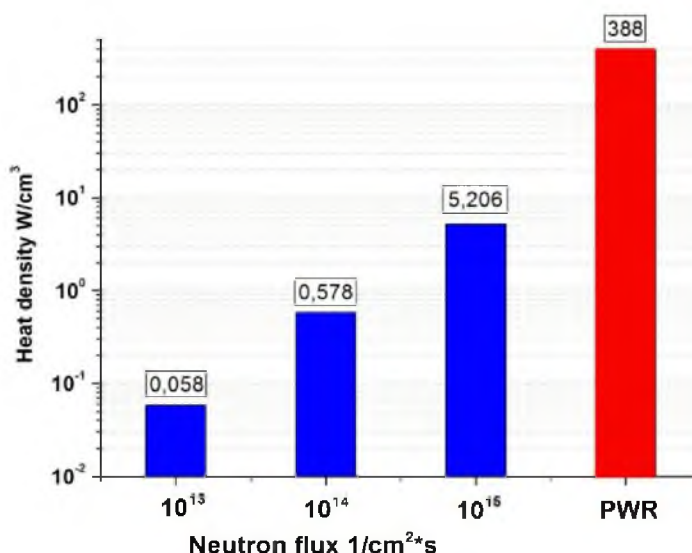


Рисунок 2 - Количество тепла, выделяемого каталитическим составом для различных значений потоков нейтрона

Как видно из Рис. 2, количество тепла, выделяемого каталитическим составом, растет линейным образом в зависимости от нейтронного потока. Также видно, что даже при потоке нейтронов  $10^{15}$  количество тепла, выделяемого каталитическим составом, почти на два порядка меньше, чем тепло, выделяемое в реакторах типа PWR. Поэтому рассматриваемый нами каталитический цикл целесообразно использовать с более интенсивными источниками нейтронов, плотность потока нейтронов от которого должен быть порядка  $10^{17}$ .

#### 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 реакциях  $^{203}\text{Tl}$  с ионами  $^3\text{He}$ . //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] S.Kunakov, N.Kenzhebaev. 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] E.Burbidge, G.R.Burbidge, W.A.Fowler, F.Hoyle. Synthesis of the Elements in Stars. *Reviews of Modern Physics*. **1957**. 4. 547-554.

[4] I.N. Khaustov, SV Tikhomirov, S.D.Baisin. The excitation function and outputs of bismuth and lead isotopes in  $^{203}\text{Tl}$  reactions  $^3\text{He}$  ions. *Proceedings of the Academy of Sciences of the Kazakh SSR*. **1990**. 2. 3-8.

[5] H. Bateman. Solution of a System of Differential Equations Occurring in the Theory of Radio-active Transformations. *Proc. Cambridge Phil. Soc. IS*. **1910**. 423. 12-19.

[6] Otto Schwerer. EXFOR Formats Description for Users. *IAEA Nuclear Data Section*, **2014**. 3-345.

ӘОЖ: 342.7(574)

**М.Абишев, Н. Хасанов**

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

#### **ЖЫЛУЛЫҚ НЕЙТРОНДАРДЫҢ КАТАЛИЗДІК ҚОСПАМЕН (Pb, Bi, Po) ӘСЕРЛЕСУІН "IBUS" КОМПЬЮТЕРЛІК БАҒДАРЛАМАЛАУ КЕШЕНІМЕН ЖОБАЛАУ**

**Аннотация.** Жұмыстың мақсаты жылулық нейтрондардың  $Pb^{206}$ ,  $Pb^{207}$ ,  $Pb^{208}$ ,  $Pb^{209}$ ,  $Bi^{209}$ ,  $Bi^{210}$ ,  $Po^{210}$  изотоптарынан тұратын катализдік қоспамен әрекеттесуі нәтижесінде бөлінетін жылуды "IBUS" компьютерлік бағдарламалау кешені арқылы есептеу. Бұл ортадағы нейтрондардың концентрациясы тұрақты және уақыттан тәуелсіз деп есептеледі. Нейтрондармен әрекеттесу нәтижесінде изотоптардың концентрациясының өзгерісін есептеу үшін және де әсерлесу нәтижесінде пайда болған жаңа изотоптардың концентрациясына есептеу жүргізу үшін C# бағдарламалау тілінде "IBUS" компьютерлік бағдарламалық кешені құрылды. Бастапқы мезеттегі катализдік қоспадағы әр изотоптың концентрациясы біздің бұрыңғы жұмыстарымызда есептелген.

**Түйін сөздер:** катализдік қоспа, "IBUS" компьютерлік бағдарламалық кешені, циклдық реакция.