

2 Goldberg D.A., Smith S.M. Resolving Ambiguities in Heavy-Ion Potentials // Phys.Rev.Lett. – 1974.-V. 33. - P. 715-718.

3 Yukawa H. On the Interaction of Elementary Particles // PTP.-1935. - Vol. 17. - P. 48.

ӘӨЖ 539.173.84

Ядролық реактордағы баяу нейтрондардың әсерімен болатын процестерді зерттеу

Дауыл Кеңес, Болат Нұрсолтан

Kenes.2094@mail.ru

Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Ядролық физика, жаңа материалдар және технологиялар мамандығының магистранты, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
Ғылыми жетекші – Амангелді Н.

Баяу нейтронды реакторлар әдетте баяулатқыштары бойынша жіктеледі. Реакторда жалпы түрде баяулатқыш ретінде нейтрондарды жұту қабілеті төмен, баяулатқыштық қасиеті жоғары бірнеше материалдар қолданылады. Олар сутегі (кәдімгі немесе жеңіл су), дейтерий (ауыр су), бериллий немесе көмртегі (графит түрінде). Бұл баяулатқыштардың бәрі өндірісте энергетикалық реакторларда қолданылады, бериллийден басқасы. Бериллийдің нейтрондарды жұту қабілеті төмен болғанына қарамастан ол өте қымбат, энергетикалық реакторларды қолдану тиімсіз [1, 322 с].

Жеңіл сулы реакторлардың екі түрі болады: қысымдағы ауыр сулы реактор(PWR) және қайнайтын сулы реактор (BWR). Бұл реакторлардың жұмыс істеу принципі бірдей, баяулатқыш пен жылу тасымалдағыш рөлін жеңіл су атқарады. Белсенді аймақта орналасқан суға нейтрондардың жұтылуы үшін 2-2,5 % байытылған $^{235}_{92}\text{U}$ отыны пайдаланылады. Конструкциясы бойынша екі реакторда үлкен қысымға шыдайтын болат корпуспен қапталады.

PWR-де жылу тасымалдағыш каналдың қысымы өте жоғары болады, шамамен 15,8 МПа, бұл қысымда су 320 °С температурада тұрса да қайнамайды. Белсенді аймақтан шыққан жылу тасымалдағыш жылуалмастырғышқа келіп түседі және энергиясын екінші контурдағы суға береді де оны қыздырады, бұл жерде су 5,5 МПа қысымда буға айналдырылады. Бу генераторларындағы бу турбинаға енеді, содан кейін сыртқы су көздерімен суытылатын конденсатордағы суға айналады, мысалы, өзен немесе көл сулары. Егер жылу беру жүйесі бірінші контурдағы жылу екінші контурдың жылуалмастырғышындағы жылу тасымалдағышқа берілетіндей етіп жасалынса онда екі циклды немесе жанама циклды жүйе деп аталады [2, 209 с].

Кесте 1. Жылулық нейтронды энергетикалық реакторлардың негізгі типтері

Жылулық нейтронды реакторлар	Жылу тасмалдағыштары бойынша жіктелуі	Пайдаланылатын отын түрі
Баяулатқышы жеңіл су(LWR)	1. Жылу тасмалдағышы жеңіл су (BWR)	Байытылған уран
	2. Жылу тасмалдағышы жеңіл су(PWR)	Байытылған уран
Баяулатқышы ауыр су (HWR)	1. Жылу тасмалдағышы ауыр су (CANDU-BHW)	Табиғи уран
	2. Жылу тасмалдағышы жеңіл су	Табиғи уран (CANDU-BLW)
		Байытылған уран (SGHWR)
Баяулатқышы графит	1. Жылу тасмалдағышы газ	Табиғи уран (magnox)
		Байытылған уран(AGR)
	2. Жылу тасмалдағышы гелий	Жоғары байытылған уран (HTGR)

Баяулатқышы ауыр су болатын ауыр сулы энергетикалық реакторлар (HWR) жылу тасмалдағышы жоғары қысымды каналда циркуляцияланатын каналды реактордың түріне жатады. Ал жабық корпуста орналасқан ауырсулы баяулатқыш төменгі қысымға йе. Энергетикалық реактордың бұл түрін өндірісте кең қолданатын мемлекет Канада (CANDU-PHW). Реактордың бұл түрі екі контурлы циклда жұмыс істейді. Жұмысы осыған негізделген жылу тасмалдағышы жеңіл су болып табылатын реакторлар да жасалды, олар CANDU-BLW (Boiling Light Water), реактор SGHWR(Steam Generating Heavy Water Reaktor) Ұлыбритания [2, 227 с].

Кесте 2. Баяу нейтрондардың энергиялар бойынша жіктелуі

Нейтрондар тобы	Энергия Эв	Жылдамдық м/с	Толқын ұзындығы ангстрем
Ультрасуық	$E < 3 \cdot 10^{-7}$	$v \leq 7,7$	$\lambda \geq 530$
Өте салқын	$10^{-7} < E < 10^{-4}$	$7,7 < v < 140$	$530 < \lambda < 30$
Салқын	$10^{-4} < E < 10^{-2}$	$140 < v < 1400$	$30 < \lambda < 3$
Жылулық	$10^{-3} < E < 10^{-1}$	$1400 < v < 4,4 \cdot 10^3$	$3 < \lambda < 0,9$
Резонансты	$10^{-1} < E < 10^4$	$4,4 \cdot 10^3 < v < 14 \cdot 10^5$	$0,9 < \lambda < 3 \cdot 10^{-3}$
Жылдам	$E > 10^4$	$v \geq 14 \cdot 10^5$	$\lambda \leq 3 \cdot 10^{-3}$

Шапшаң нейтрондардың энергиялар бойынша жіктелуі:

Аралық - $10 \text{ кэВ} < E < 1 \text{ МэВ}$,

Жылдам - $1 \text{ МэВ} < E < 100 \text{ МэВ}$,

Релятивтік - $E > 100 \text{ МэВ}$,

Жоғары энергиялық - $(10^8 \text{ эВ} < E < 10^{10} \text{ эВ})$ [3, 303 с].

Баяу нейтрондардың жылдамдығы салыстырмалы екенін атап өтеміз. Тіпті 0,025 эВ энергиясы бар нейтрондар жылдамдығы 2 км / сек.

Суық нейтрондар деп энергиясы 0.025 эВ төмен нейтрондарды атайды:

$$E_{\text{суық}} < 0.025 \text{ эВ.}$$

Суық нейтрондардың өте күшті толқындық қасиеттері бар, суық нейтронның толқын ұзындығы атомаралық қашықтықтан әлдеқайда көп.

Энергияның ≈ 1 эВ-тан 10 кэВ дейін болатын нейтрондары резонанстық деп аталады, өйткені осы аймақта орта және ауыр ядролардың жалпы нейтронды қимасы үлкен

10 кэВ-ден 1 МэВ-ға дейінгі энергияларға ие нейтрондар аралық нейтрондар деп аталады. Аралық нейтрондар резонанстық нейтрондарды қамтиды. Бұл энергетикалық диапазонда жеке резонанстар біріктіріледі (жеңіл ядролар - қоспағанда) және энергияның өсуімен орташа көлденең қималары төмендейді [4, 733 с].

Әр түрлі баяулатқыштар үшін нейтронның траекториясының созылуы әр түрлі. Нейтрондар траекториясын зерттеу үшін біз Reactor программасын пайдаланамыз. Ол үшін реактор программасын іске қосамыз. Мониторда есептеу параметрлері көрсетілген терезе пайда болады.

Label	Input Field
Размер ячейки	<input type="text"/>
Размер ячейки топлива	<input type="text"/>
Обогащение урана в %	<input type="text"/>
Вещество замедлителя	<input type="text"/>
Процент примеси В	<input type="text"/>
Энергия нейтрона	<input type="text"/>
Конечная энергия нейтрона	<input type="text"/>
Число историй	<input type="text"/>
Вывод траектории	<input type="text"/>
Положение раздела	<input type="text" value="D:\STUDENT\KLV\"/>

Ввод и счет

Сурет 1- Reactor бағдарламасының параметрлерді енгізу сұлбасы

Ашылған терезеге қажетті өлшемдерді енгіземіз. Келесі параметрлерді енгізу ұсынылады: Размер ячейки 20 см, размер ячейки топлива 5 см; обогащение урана 2,5%, вещество замедлителя өзіңіздің қалауымен; процент примеси В 0; энергия нейтрона 0; конечная энергия нейтрона 0,252E-7; число истории 50 ден аспауы тиіс; вывод траекторий 1. Толтырылған терезе төмендегідей толтырылуы керек.

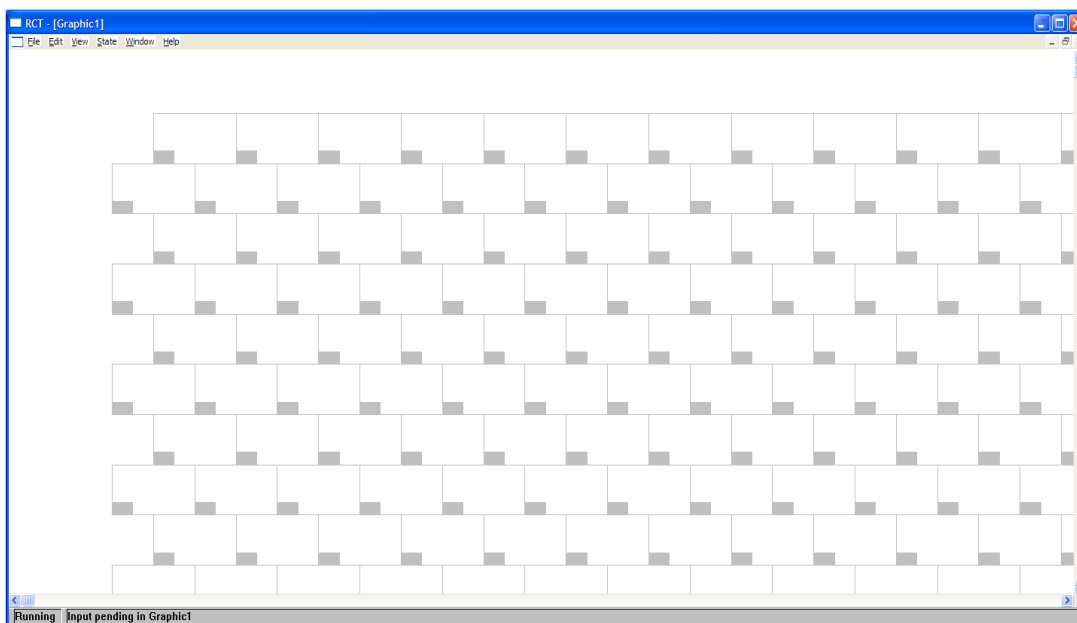
The 'input' dialog box contains the following parameters and values:

Размер ячейки	20
Размер ячейки топлива	5
Обогащение урана в %	2.5000
Вещество замедлителя	LW
Процент примеси В	0.0000
Энергия нейтрона	0.0000
Конечная энергия нейтрона	0.250E-07
Число историй	50
Вывод траектории	1
Положение раздела	C:\STUDENT\KLW\

A button labeled 'Ввод и счет' is located in the top right corner.

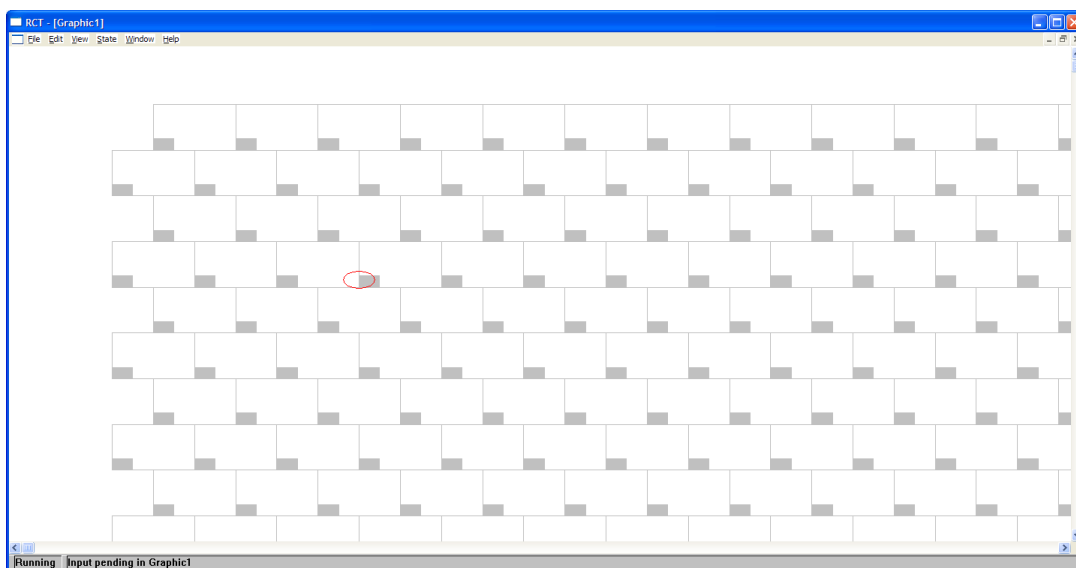
Сурет 2 - Reactor бағдарламасының енгізілген параметрлері

Кетені толтырған соң енгізу және есеп деген батырманы басамыз. Егер параметрлерді дұрыс енгізбесе программа жұмысын тоқтатады.



Сурет 3 - Reactor бағдарламасымен көрсетілген белсенді аймақтың горизонтальді қимасы

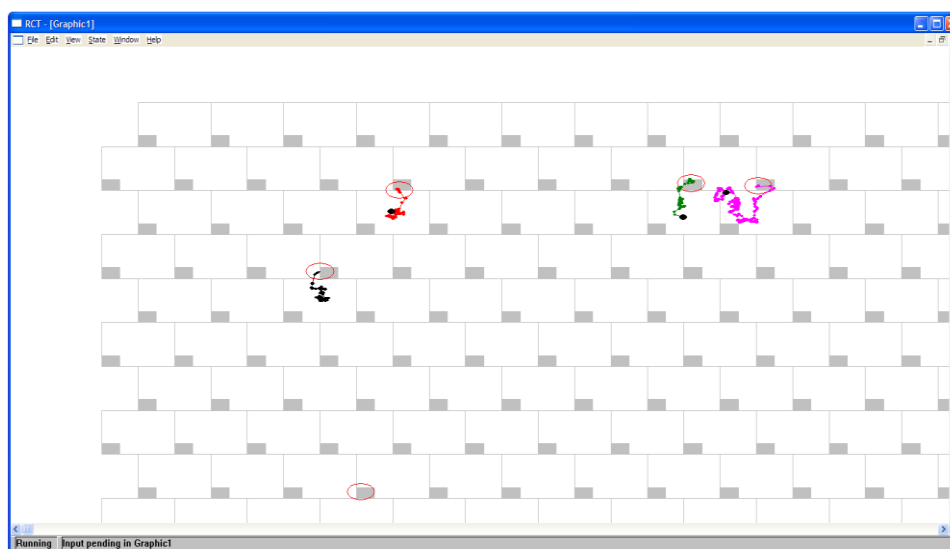
Мониторда жоғарыдағы терезе ашылады. Бұл реактордың горизонтальды қимасының суреті. Жанармайлық ұяшық ашық сұр түсті шаршымен көрсетілген. Бағдарламаның жұмысы өзіндік дыбыспен ілеседі, ол дыбыстың пайда болуы келесі нейтронның траекториясын есептеудің басталуын білдіреді.



Сурет 4 - Нейтрон траекториясын есептеудің басталғандығын көрсететін терезе

Бір уақытта экранда қызыл түсті эллипстің суреті шығады, центрінен траектория басталады. Есептеуді жалғастыру үшін клавиатурада Enter басу керек.

Мониторда нейтронның траекториясының суреті шығады. Траекториядағы майда нүктелердің координатасы, нейтронның ядромен соқтығысу координатасын береді. Траектория нейтрон жоғалып кеткенде бітеді. Егерде бұл ядроны қармау кезінде болса, онда траекторияның соңы қар шеңбермен, егер нейтрон бөлінуге себеп болса, онда траекторияның соңы қызыл шаршымен белгіленеді. Кезекті траектория өзінің түсімен боялады. Траекторияның түстері келесі реттілікпен өзгереді: қара, көк, жасыл, көгілдір, қызыл, күлгін, одан соң келесі траекторияларға түстер қайталанады.



Сурет 5 - Нейтрондардың траекториясы

Қолданылған әдебиеттер тізімі

1. Камеров И. Ядерные реакторы. – Москва: Энергоатомиздат, 1987, 322 с.
2. Бекунц К., Виртц Л. Нейтронная физика. – Москва: Атомиздат, 1968, 227 с.
3. Баранов В. Изотопы. Свойства, получение, применение. – Москва: Издат, 2000, 703 с.
4. Вейнберг А., Вигнер Е. Физическая теория ядерных реакторов. – Москва: ИЛ, 1961, 733 с.