

ЛЕКЦИЯ 11. АТОМ РЕАКТОРЫНЫҢ ЖҰМЫС ПРИНЦИПІ ЖӘНЕ НЕГІЗГІ КОМПОНЕНТТЕРІ

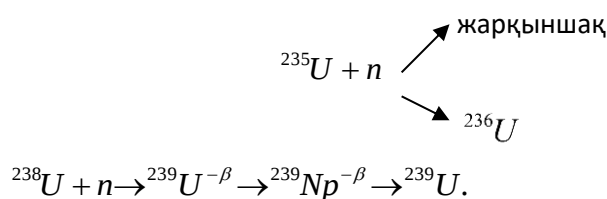
Лекцияның мақсаты: Атомдық реактордың жұмыс істеу принципін, оның негізгі компоненттерін және ядролық энергияның бөліну тізбегін басқару механизмдерін түсіндіру. Реакторлардың типтері, отын түрлері, салқындатқыш және баяулатқыш жүйелерінің рөлін ашу.

Негізгі сұрақтар

1. Ядролық реакцияның физикалық негіздері.
2. Атом реакторының негізгі компоненттері және олардың қызметі.
3. Тізбекті реакцияның критикалық жағдайы және көбейту коэффициенті.
4. Реактор типтері (бір тізбекті, екі тізбекті, үш тізбекті жүйелер).
5. Реактордың басқару және қорғаныс жүйелері.
6. Ядролық отын түрлері және отын элементтерінің (ТВЭЛ) құрылысы.
7. Салқындатқыш, баяулатқыш және шағылыстырғыштардың рөлі

Қысқаша мазмұны.

Ядролық реактор-бұл кейбір ауыр элементтердің ядролық бөлінуінің басқарылатын тізбекті реакциясын ұйымдастыруға және сақтауға арналған құрылғы, нәтижесінде ядролық энергия жылу энергиясына айналады, содан кейін оны сыртқы тұтынушы пайдаланады. Табиғи ядролық отын ретінде уран қолданылады. Табиғи уранда үш изотоп бар: ^{235}U , ^{238}U және ^{234}U . Соның ішінде тізбекті реакцияға тек ^{235}U изотоп жарайды. Бұл изотоптың үлесі тек 0,714% құрайды, 99% - дан астамы бөлінбейтін изотопқа ^{238}U келеді. Үшінші изотоптың үлесі өте аз болғандықтан екерілмейді. Уранды нейтрондармен сәулелендіру кезінде келесі ядролық реакциялар жүреді:



Осылайша, ^{235}U нейтронды жұту кезінде екі ықтимал оқиға болуы мүмкін: не ядроның екі жеңіл жарқыншаққа бөлінуі (ең ықтимал реакция) немесе бөлінбейтін ^{236}U изотоп түзу үшін нейтронның радиациялық қармауы. Уранның қалыңдығында бір бөлінуге есептегенде ~ 200 МэВ энергиясы бөлініп, 2-3 еркін нейтрон түзіледі. Бөлінген жылу энергиясы сыртқы контурға бөлінеді. Пайда болған жаңа нейтрондар кейінгі ядролық реакцияларда, соның ішінде тізбекті бөліну реакциясын сақтау үшін қолданылады.

Бақылау сұрақтары

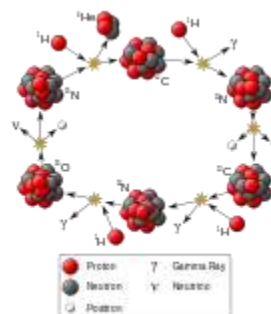
1. Ядролық реакцияның физикалық негіздерін түсіндіріңіз.
2. Атом реакторының негізгі компоненттерін атаңыз.
3. Критикалық масса және көбейту коэффициенті нені білдіреді?
4. Реакторлардың тізбекті жүйелерінің айырмашылығын сипаттаңыз.
5. Басқару және қорғаныс штангалары қандай мақсатта қолданылады?
6. Ядролық отынның қандай түрлері пайдаланылады?

Ұсынылатын әдебиеттер

- Мукашев К.М, Мархабаева А.А. Яр Мухамедова Г.Ш. Радиационное материаловедение. Алматы. Қазақ университеті. 2016 ж;
- Асабина Е.А. Дефекты в твердых телах и их влияние на свойства функциональных материалов. Новгород, 2012;
- Углов В.В. Радиационные эффекты в твердых телах. 2011;
- 2.Кирсанов В.В., Суворов А.Л., Трушин Ю.В. Процессы радиационного дефектообразования в металлах. - М.: Энергоатомиздат, 2003. -272 с;
- 3.Ахиезер И.А., Давыдов Л.Н. Введение в теоретическую радиационную физику металлов и сплавов. - Киев: Наукова Думка, 2001. - 142 ;

АЛЬ-ФАРАБИ АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ
ФИЗИКА ТЕХНИКАЛЫҚ ФАКУЛЬТЕТІ
ҚАТТЫ ДЕНЕ ЖӘНЕ БЕЙСЫЗЫҚ ФИЗИКА КАФЕДРАСЫ
РАДИАЦИЯЛЫҚ МАТЕРИАЛТАНУ

АТОМ РЕАКТОРЫНЫҢ ЖҰМЫС ПРИНЦИПІ ЖӘНЕ НЕГІЗГІ
КОМПОНЕНТТЕРІ

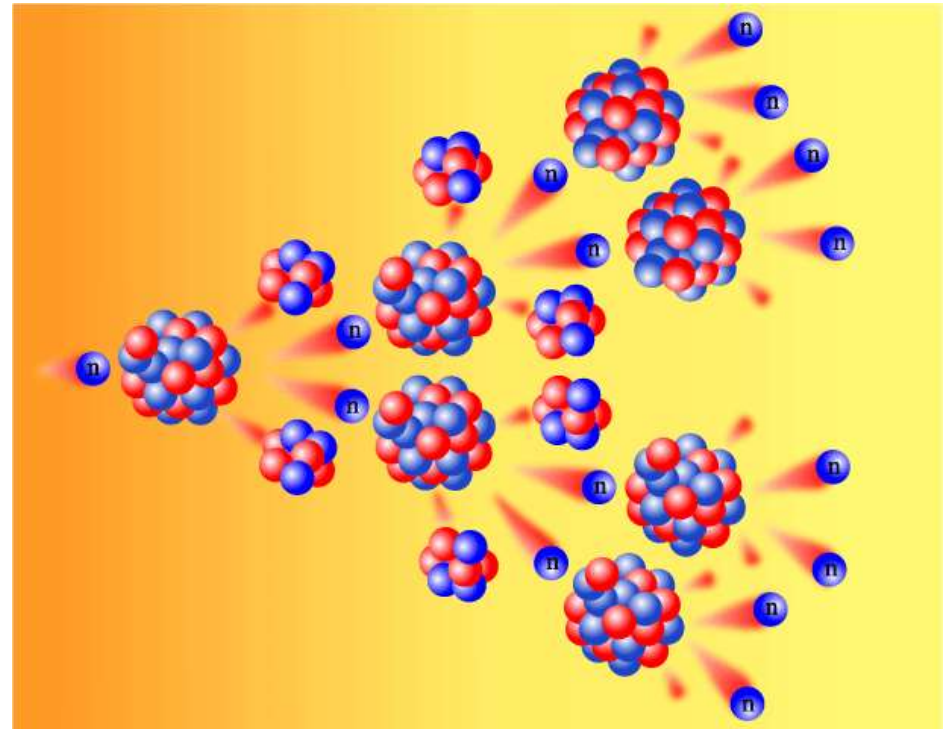


ОҚЫТУШЫ: МАРХАБАЕВА А.А

• Ядролық тізбекті реакциялар жүру үшін нейтрондармен бөлінетін элементтер қажет. Ондай элементтердің бірі – уран. Табиғи уранның үш түрі бар ${}_{92}^{235}\text{U}$ ${}_{92}^{238}\text{U}$ ${}_{92}^{234}\text{U}$

• Соның ішінде тек ${}_{92}^{235}\text{U}$ нейтрондармен бөлінеді.

${}_{92}^{235}\text{U}$	${}_{92}^{238}\text{U}$
Жылдам және баяу нейтрондармен бөлінеді	Энергиясы 1 МэВ тан жоғары нейтрондармен бөлінеді
Тізбекті ядролық реакция жүреді	Тізбекті ядролық реакция жүрмейді



Нейтрондардың көбею коэффициенті

Нейтрондардың көбею коэффициенті бір ұрпақтағы нейтрондар санының алдыңғы ұрпақтағы нейтрондар санына қатынасы.

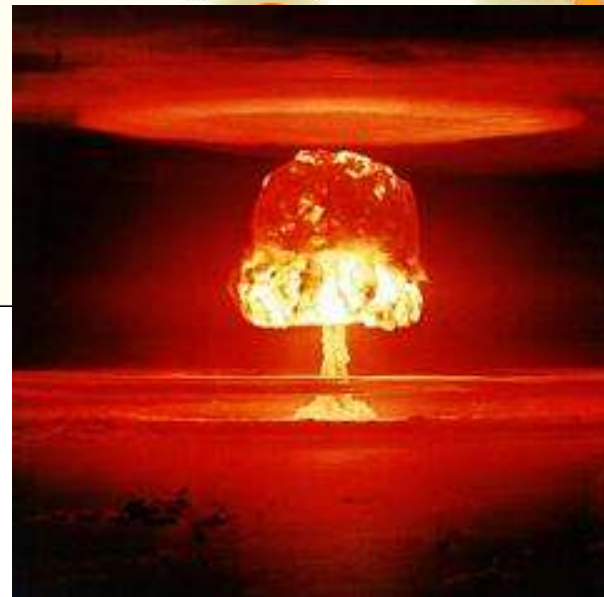
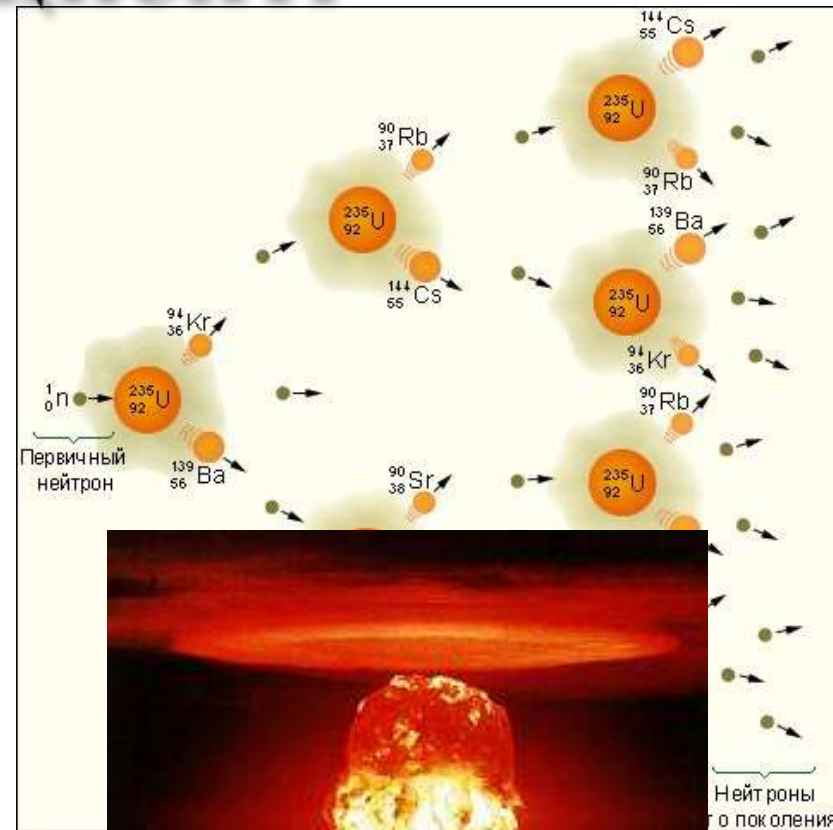
$K \geq 1$ ден үлкен немесе тең

Нейтрондар саны көбейеді немесе тұрақты болып қалады, ядролық реакция жүреді

$k < 1$ для

Нейтрондар саны азаяды, ядролық реакция жүрмейді

Ядролық реакцияның жүру үшін $k = 1$.
Егер $k = 1,01$ болса жарылыс болады.



Алғашқы ядролық реакторлар

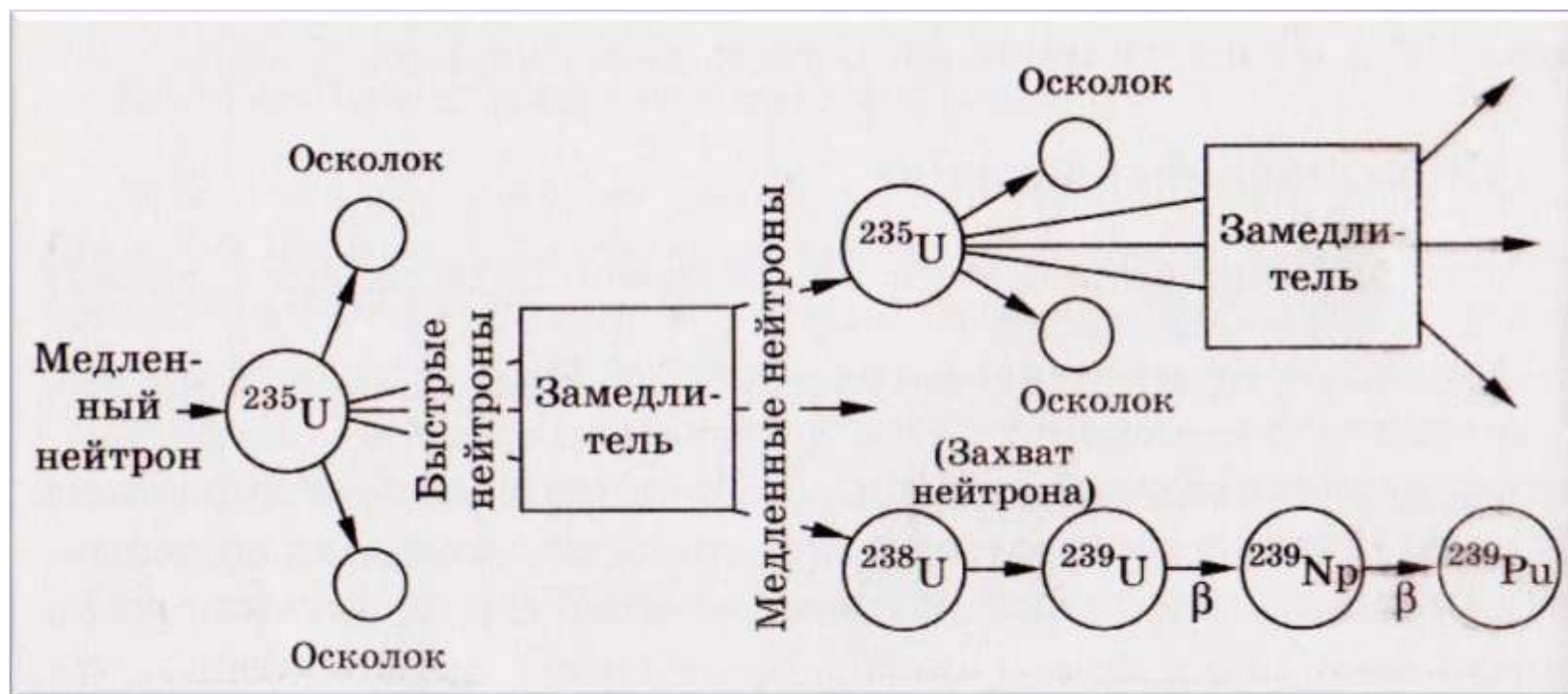
Э.Фермидің басшылығымен 1942 ж. 2 желтоқсанда алғашқы реактор АҚШ-та алынды.



Энрико Ферми

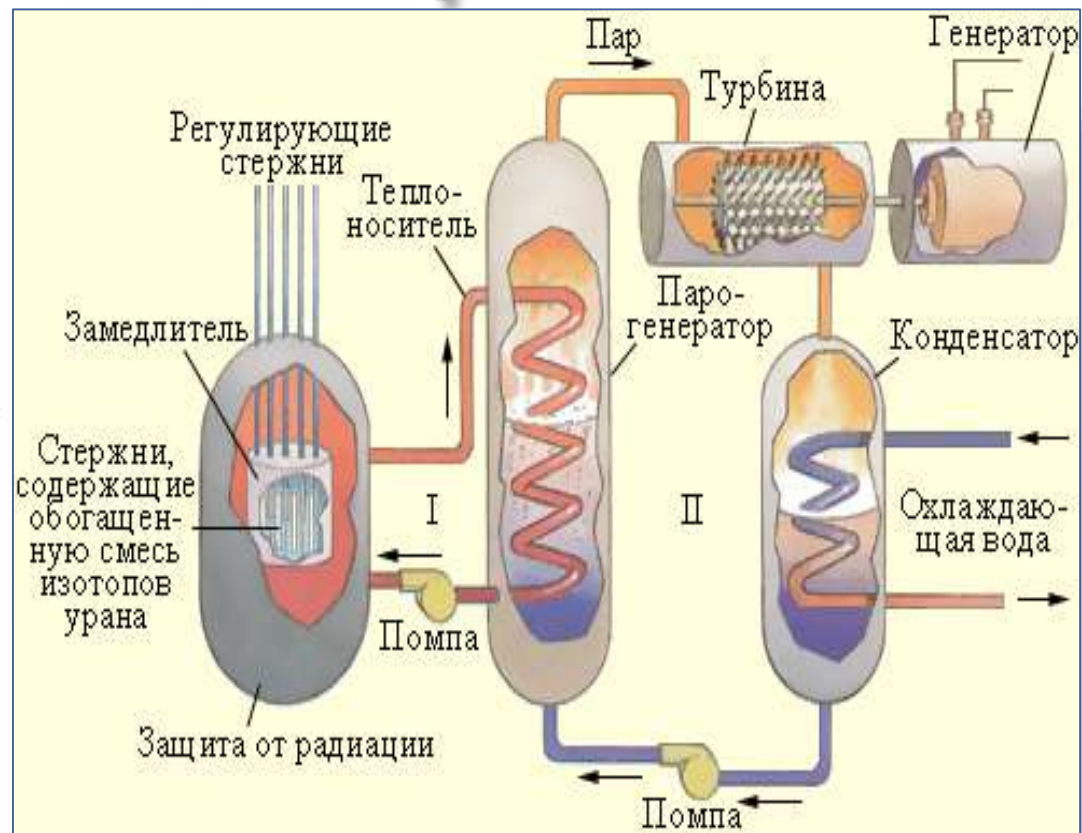
СРО-да 25 желтоқсанда 1946 жылы К И.В. Курчатовтың басшылығымен жасалды

Ядролық реактордағы тізбекті ядролық реакция:



Ядролық реактордағы негізгі элементтер

- 1) Ядролық отын $^{235}_{92}\text{U}$ $^{238}_{92}\text{U}$ $^{239}_{94}\text{Pu}$
- 2) Нейтрондарды баяулатқыштар (ауыр су, графит);
- 3) Жылутасығыштар (су, сұйық натрий);
- 4) Реакцияны бақылап отырушы қондырғылар (вводимые в рабочее



Ядролық реактор дегеніміз ядролық тізбекті реакция жүретін қондырғыны айтады.

Уранның ядросы ${}_{92}^{235}\text{U}$
баяу нейтрондарды
жақсы қармайды

Баяу нейтрондардың
қармалу ықтималдығы
жылдам нейтрондарға
қарағанда 100 есе көп.

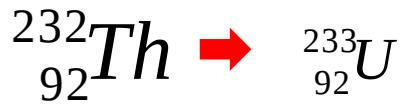
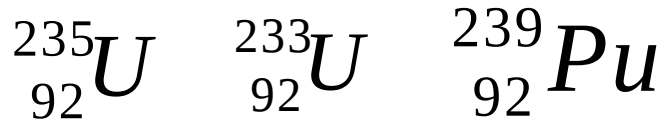


Нейтрондардың энергиясына байланыты реакторды
екі түрге бөледі: жылдам нейтронды реактор және баяу
нейтронды реакторлар

- Жылдам нейтрондармен жұмыс жасайтын және баяулатқышы жоқ реакторды жылдам нейтрон реакторлары деп атайды.
- Жылдам нейтрондармен ядросының бөліну ықтималдығы өте аз, алайды егер қаныққан уран қолданса мәселені шешуге болады. Қаныққан уран дегеніміз құрамында ${}_{92}^{235}\text{U}$ 15% изотопы бар уранды айтады Бұл реакторлардың артықшылығы – реакция нәтижесінде біршама плутоний бөлінеді. Сондықтан да бұл реакторларды көбейткіштер деп атайды, себебі олар бөлінетін (ядерное горючее) материал түзеді.
- Баяу нейтрондармен жұмыс жасайтын реакторларда баяулатқыш (замедлители) қолданылады.
- (Ядерное горючее) отынның орналасуына байланысты ядролық реакторлар **гомогенді** және **гетерогенді** болып екіге бөлінеді.
- Гомогенді реакторларда ядролық отын баяулатқышпен бірге сұйық немесе суспензия күйінде болады. Гетерогенді реакторларды ядролық отын баяулатқыштан бөлек арнайы ТВЭЛ-де (жылушығарғыш элементте) орналасады.

Ядролық отын

Ядролық реакторларды ядролық отын ретінде қолданылатын изотоптар



Екінші ретті отындар



Диаметрі 6-14 мм болатын жылушығарғыш (ТВЭЛ) таблеткалар касетада орналасады. Жылушығарғыш элементтер дегеніміз құрамында ядролық отыны бар қондырғы.

Ядролық отын 2

$$T_{\text{бал}} = 1400 \text{ K}$$

$$\rho = 19,05 \text{ г/см}^3$$

$${}_{92}^{235}\text{U} \quad 6,85 \times 10^8 \text{ жыл}$$

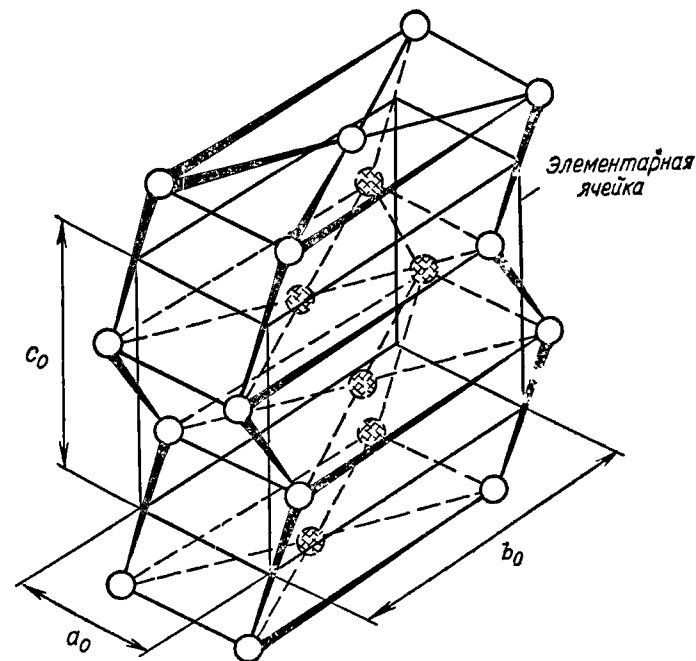
$${}_{92}^{238}\text{U} \quad 4,5 \times 10^9 \text{ жыл}$$

$${}_{92}^{234}\text{U} \quad 2,44 \times 10^5 \text{ жыл} \quad \gamma - \text{U}$$

α 667,7 °C ромбическая

β 667,7 °C - 774,8 °C тетрагональная

γ 774,8 °C –балқу нүктесіне дейін, ОЦК



Уран

Сәулелену нәтижесінде уранның өлшемдері өзгереді. 673 К температурадан төмен оның барлық бағыттар бойынша өлшемдері өзгеріске ұшырайды. Уранның радиациялық өсуі

$$G_i = \ln (l/l_0)/(\Delta m/m),$$

Сәулелену нәтижесінде уранның өлшемдерінің өзгеруінен басқа газдық үрлену (газовое распухание) болуы мүмкін. Ол көбіне ядролық реакция кезінде бөлінетін ксенон мен криптон себебінен болады. Температура өскен сайын газ жиынтығы үлкен қысым тудырады, соның нәтижесінде уранның кристалдық тұрақтысы үлкейеді.

Таза уранның механикалық қасиеттері нашар болғандықтан қоспаалар қосады.

Қоспаларға қойылатын талаптар:

- Нейтрондарды қармау қимасы аз болу керек;
- Беріктілігі мен пластикалық қасиеттері жоғары;
- Қоспа ТВЭЛ-дің сыртымен сәйкес болу керек;
- Коррозиялық қасиеттері жоғары болу керек;

Al, Fe, Si, Cr, Mo, Zr,

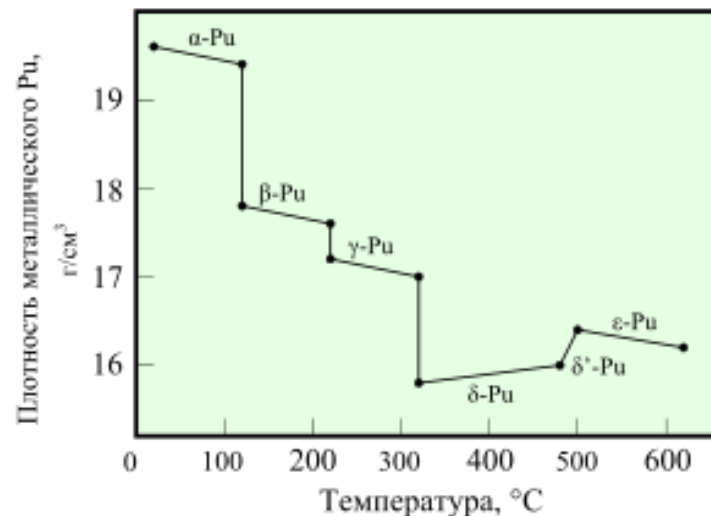
Плутоний

Плутоний кестедегі 94-ші элемент, салыстырмалы атомдық массасы 239. Табиғатта кездеспейді. Металдық плутонийдің балқу температурасы-913К, қайнау температурасы- 3500К. Оның 6 кристалдық модификациясы бар.

Структура модификаций плутония

Таблица 7.3

Фаза	Температурный интервал существования, К	Плотность, г/см ³	Элементарная ячейка		Число атомов в ячейке
			Тип решетки	Параметры	
α	Ниже 392	19,816 (298 К)	Моноклинная простая	$a=0,61835$ нм (294 К); $b=0,48244$ нм; $c=1,0973$ нм; $\beta=101,81^\circ$	16
β	392—491	17,82 (406 К)	Объемноцентрированная моноклинная	$a=0,9284$ нм (463 К); $b=1,0463$ нм; $c=0,7859$ нм; $\beta=92,13^\circ$	34
γ	491—583	17,14 (508 К)	Гранецентрированная орторомбическая	$a=0,31587$ нм (506 К); $b=0,57682$ нм; $c=1,0162$ нм	8
δ	583—723	15,92 (593 К)	Гранецентрированная кубическая	$a=0,46371$ нм (593 К)	4
η	723—745	16,0 (720 К)	Гранецентрированная тетрагональная	$a=0,4701$ нм (738 К); $c=0,4489$ нм; $c/a=0,955$	4
ε	745—913	16,48 (783 К)	Объемноцентрированная кубическая	$a=0,36361$ нм (763 К)	2

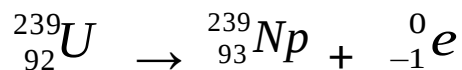


Плутоний уранға қарағанда химиялық активті, оттегі, сутегі және азотпен жақсы әсерлеседі. Механикалық қасиеті өте төмен сондықтан таза күйінде ядролық отын ретінде жарамсыз.

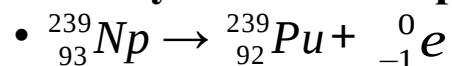
Плутонийдің түзілуі

$^{238}_{92}\text{U}$ уранның ядросының нейтронмен әсерлесуі нәтижесінде радиоактивті жартылай ыдырау периоды 23 минут $^{239}_{92}\text{U}$ изотоп түзіледі

- Оның ыдырауы нептуний мен электронның бөлінуімен жүреді:



- Нептунийдің ыдырауы плутонийдің түзілуіне әкеледі:



- Плутоний арқылы ядролық тізбекті реакция жүргізуге болады, бөліну кезінде өте үлкен энергия бөлінеді

$$\rho = 11.73 \text{ г/см}^3$$

Торий

Торий атомдық нөмері 90, плутоний мен ураннан айырмашылығы бөлінетін материал емес, алайда U233 уран изотопын алуға қажет материал.

Балқу температурасы- 1968K, пластикалық қасиеті жоғары, оттегі мен азот оның механикалық қасиеттеріне әсер етпейді. Уран және плутониймен салыстырғанда коррозиялық қасиеті жоғары.

Ядролық отын үш түрлі болады: металдық, керамикалық және дисперстік. Уран, плутоний және торийдің метал еместермен (оттегі, азот, көміртегі) қосылысы керамикалық отын береді.

Дисперстік ядролық отын матрицадан және ядролық жанғыш заттан тұрады. Матрица ретінде *Al, Nb, Mg, Be, W*, дисперсті жанғыш зат ретінде уранның әр түрлі қосылыстарын қолданады.

Уран, торий және плутоний қосылыстарының сипаттамалары

Соединение	Тип кристаллической решетки	Параметры, им	Теоретическая плотность, г/см ³	Температура плавления, К	Содержание U, (Pu, Th)		Сечение, 10 ²⁸ м ²	
					массовое, %	г/см ³	деления	поглощения (включая сечение деления)
UO ₂	Кубическая, типа CaF ₂	$a = 0,54704$	10,97	3153	88,2	9,68	1,40	2,56
U ₃ O ₈	Орторомбическая	$a = 0,67198$ $b = 0,3983$ $c = 0,41462$	8,38	2773	84,8	7,11	1,16	2,11
PuO ₂	Кубическая, типа CaF ₂	$a = 0,539$	11,46	2513	88,0	10,11	240	339
ThO ₂	Кубическая, типа CaF ₂	$a = 0,55597$	9,82	3573	87,8	8,62	—	2,31
UC	Кубическая, типа NaCl	$a = 0,49610$	13,63	2643	95,2	13,00	2,10	3,85
UC ₂	α -UC ₂ (до 2100 К) тетрагональная, типа CaC ₂	$a = 0,3524$ $c = 0,5999$	11,68	2743	90,8	10,60	1,39	2,54
	β -UC ₂ (>2100 К) кубическая, типа CaF ₂	$a = 0,545$	—	—	—	—	—	—
PuC	Кубическая, типа NaCl	$a = 0,4970$	13,60	2123	95,0	12,91	358	505
ThC	То же	$a = 0,5338$	10,64	2898	95,1	10,11	—	3,51
ThC ₂	Моноклинная	$a = 0,653$ $a = 0,424$ $c = 0,656$ $\alpha = 1040$	9,3	2928	90,8	8,45	—	2,36
UN	Кубическая, типа NaCl	$a = 0,48891$	14,32	3123	94,4	13,50	2,10	4,79
PuN	То же	$a = 0,4905$	14,23	3123	94,5	13,92	366	517
US	»	$a = 0,54905$	10,87	2723	88,1	9,60	2,10	4,14

Уранның қоры



№	Название месторождения	Страна	Запасы	Оператор месторождения
1	МакАртур-Ривер	Канада	200 000	Cameco
2	Северный Хорасан	Казахстан	160 000	KazAtomProm
3	Сигар-Лейк	Канада	135 000	Cameco
4	Южное Эльконское	Россия	112 600	
5	Инкай	Казахстан	75 900	KazAtomProm
6	Стрельцовское	Россия	50 000	Атомредметзолото
7	Зоовч Овоо	Монголия	50 000	AREVA

№	Страна	2005 год	Страна	2009 год	Страна	2012 год
1	Канада	11 628	Казахстан	14 020	Казахстан	19 451
2	Австралия	9516	Канада	10 173	Канада	9145
3	Казахстан	4020	Австралия	7982	Австралия	5983
4	Россия	3570	Намибия	4626	Нигер	4351
5	Намибия	3147	Россия	3564	Намибия	3258
6	Нигер	3093	Нигер	3234	Узбекистан	3000
7	Узбекистан	2300	Узбекистан	2429	Россия	2993
8	США	1039	США	1453	США	1537
9	Украина	800	КНР	1200	КНР	1500
10	КНР	750	Украина	840	Украина	890

Критикалық масса

Критикалық масса – тізбекті ядролық реакция жүретін минималды бөлінетін элементтің массасы. Өлшемдер өскен сайын реакцияға қатысқан нейтрондардың саны көбейеді.

Уран-235 изотопы үшін сындық масса 23 килограмдай болады.



Ядролық реакцияны басқарып отыру үшін құрамында кадмий және боры бар элементтер қолданылады.

Жылу тасығыштар

Қойылатын талаптар

- Коррозиялық және эрозиялық төзімділігі жоғары;
- Жоғары жылуөткізгіштігі мен жылусыйымдылығы;
- Қайнау температурасы жоғары және еру температурасы төмен болу керек;
- Температураға және радиацияға төзімділігі жоғары;
- Жылу нейтрондарын қармау қимасы аз болу керек;
- Улы емес, жарылғыш емес болу керек;
- Дефицит емес болу керек;
- Активациясы аз болу керек.

Сұйық металды жылу тасығыштар

Артықшылығы:

- Сұйық металдарды температураның қысымға тәуелділігі жоқ;
- Сұйық металдарды сәулелендіру радиализге алып келмейді;
- Термиялық және радиациялық төзімділігі жоғары.

Кемшілігі

- Жылусыйымдылығы аз;
- Кейбір сұйық металдар сумен әрекеттеседі (натрий), бұл жағдай реактордың қауіпсіздігін төмендетеді.
- Бөлме температурасында қатты куйде, бұл металдарды еріту үшін қосымша

Жылутасығыш ретінде қолданылатын материалдар: Bi, Na, Pb, Ga, Li, Hg, K
Сұйық металдардың тағы бір кемшілігі конструкциялық материалдармен әсерлесуі мүмкін, яғни массаның тасымалдануы байқалады.

Қатты металдың сұйық металда еруі келесі кинетикалық теңдеумен беріледі:

α - ерудің жылдамдығы

$$n = n_{\infty} \left[1 - \exp \left(-\alpha \frac{S}{V_m} t \right) \right],$$

Қанығу концентрациясының температурға тәуелділігі:

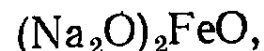
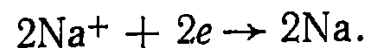
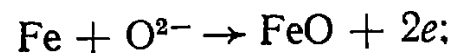
$$\lg (n_{\infty} \cdot 10^4) = 1,8266 - 558,5/T.$$

Сұйық металдар оттегімен әрекеттесе отырып, коррозияға ұшырауы мүмкін. Коррозиянын алдын алу үшін арнайы қабықшалар жабады немесе оттегімен жақсы әсерлесетін ерітінділерді сұйық металмен араластырады. Оттегімен жақсы әсерлесетін мұндай заттарды **ингибиторлар деп атайды.**

Натрий

Балқу температурасы 370К төмен, басқа сұйық металдардан айырмашылығы құйып алуға аз қуат кетеді, Na₂O қосылысына байланысты коррозиялық төзімділігі төмендеу, реакцияға түскіш элемент, балқу температурасына жақындағанда сутегімен әрекеттесіп гидрид түзеді, 673К температураға дейін азотпен әрекеттеспейді, 873 К де көмірқышқыл газымен әрекеттеседі, натрий сумен жақсы араласып жылу бөледі және сутегі түзеді, сондықтан жарылыс болу қаупі бар, конструкциялық материалдармен араласа отырып, олардың коррозиясын туғызады.

Калий – балқу температурасы 336 К, натриймен салыстырғанда реакцияға түскіш, азотпен әрекеттеспейді, натрий мен калийдің қосылысы бөлме температурасында сұйық күйде болады.



3
Li
6.94

Литий

Жылуsыйымдылық қасиеті өте жоғары, алайда литий құрамында жылулық нейтрондар жұтқыш тұрақты $Li6$ изотопы бар, оның концентрациясын азайту өте қымбатқа соғады. Литий жер бетіндегі ең жеңіл металл. Коррозияға төзімділігі калий және нариймен салыстырғанда төмен. Азотпен, сумен, оттегімен, көмірқышқыл газымен әрекеттеседі. Балқу температурасы 453K



Висмут

Жоғарыдағы металдармен салыстырғанда бөлме температурасында оттегімен, азот және сутегімен әрекеттеспейді. Балқу температурасы 544 K

Қорғасын

Жылулық қасиеттері төмен, бөлме температурасында тұрақты, 873 K дейін азот және сутегі қорғасынмен әрекеттеспейді. Көбіне висмут пен қорғасын қосындысын қолданады. Балқу температурасы 398K

Галий

Өте қымбат, балқу температурасы 302K, сумен әрекеттеспейді.

Органикалық және газдық жылуотасғыштар

Артықшылығы

Органикалық сұйықтардың бу қысымдары сумен салыстырғанда төмен;

Коррозияға тұрақтылығы жоғары;

Радиоактивтілігі төмен;

Кемшілігі:

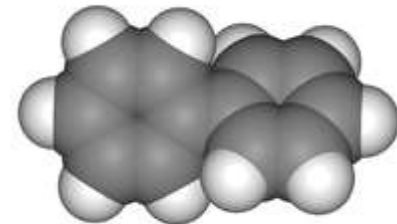
Термиялық және радиациялық қасиеттері төмен; сәулелену нәтижесінде қасиеттері өзгереді және пиролизге ұшырайды, пиролиз өнімдері ТВЭЛ-де жиналып жылуөткізгіштікті төмендетуі мүмкін.

Дифенил, моноизопрофинил, дефинил қосылыстары, терфинил- $C_{12}H_{10}$

Газдық жылуотасғыштар

жылуөткізгіштігі мен жылусыйымдылығы төмен және тығыздығы аз; алайда газдардың артықшылығы нейтронды қармау қимасы өте аз.

Түрлері: көмірқышқыл газы, гелий, ауа, диссоциялаушы газдар және тб.



Көмірқышқыл газы сәулелену нәтижесінде радикалдарға бөлінеді:



Сонымен қатар N16, O19, C14 нкулидтердің түзілуіне себеп болады.

Гелий сутегіден кейін ең жеңіл газ, сонымен қатар инертті болып келеді, өзінің ядролық қасиеттері бойынша ең қолданылатын газ. Жылуөткізгіштігі көмірқышқыл газымен салыстырғанда 10 есе көп. Гелий реактор материалдарының тотығуын туғызбайды.

Диссоциялаушы газдар ретінде N_2O_4 , Al_2Cl_6 , Al_2Br_6