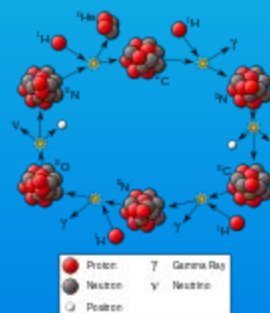


ЯДРОЛЫҚ РЕАКТОР. НЕЙТРОННЫҢ АШЫЛУЫ. БАЙЛАНЫС ЭНЕРГИЯСЫ. ЯДРОЛЫҚ ТЕХНИКАДА ҚОЛДАНЫЛАТЫН МАТЕРИАЛДАР



Орындаған: Абдуait Д.
Оқытушы: Мукамеденкызы В.
5B071700

Нейтронның ашылуы

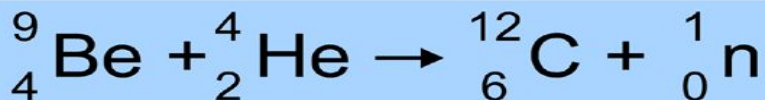
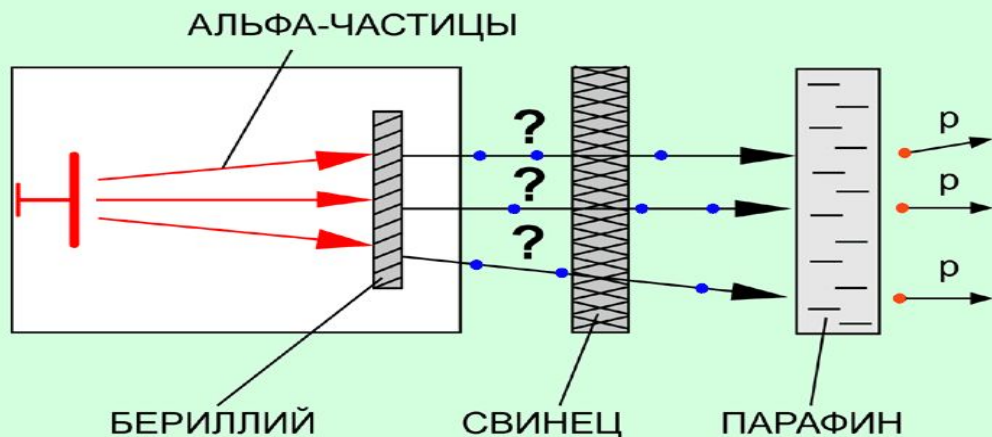
1930 жылы жасаған тәжірибелерінде литий 1930 жылы жасаған тәжірибелерінде литий мен бериллийді а-бөлшектермен атқылағанда, протонның орнына өте нашар жұтылатын бөлшектер ұшып шығатынын байқайды. Бұл бөлшектер қалыңдығы 20 см болатын қорғасын қабатынан өтіп кеткен.



Ирен
Жолио-Кюри
(1897-1956)



Фредерик
Жолио-Кюри
(1900-1958)



Олар бериллийді Олар бериллийді а-бөлшектермен атқылағанда пайда болатын сәуле жолына парафин Олар бериллийді а-бөлшектермен атқылағанда пайда болатын сәуле жолына парафин пластинасын қойғанда, суретте көрсетілгендей сүтөгіе қашыққан

Ағылшын ғалымы Дж. Чедвик осы жылы берилийді а-бөлшектермен атқылағанда одан бөлінетін табиғаты белгісіз сәуленің қасиеттерін зерттеу жұмыстарын жүргізеді.

Энергияның Энергияның және импульстің сақталу заңдарына сүйене отырып, жүргізілген есептеулер нәтижесінде белгісіз бөлшектің массасын анықтайды.



Чедвик бұл сәуленің электрлік бейтарап бөлшектер ағыны екенін дәлелдеген. Белгісіз бөлшектің массасы жуықтап алғанда протонның массасына тең болып шыққан. Атом ядросының құрамында протон сияқты ауыр, бірақ бейтарап бөлшектің бар болуы мүмкін деген батыл болжамды 1920 Чедвик бұл сәуленің электрлік бейтарап бөлшектер ағыны екенін дәлелдеген. Белгісіз бөлшектің массасы жуықтап алғанда протонның массасына тең болып шыққан. Атом ядросының құрамында протон сияқты ауыр, бірақ бейтарап бөлшектің бар болуы мүмкін деген батыл болжамды 1920 жылы Э. Резерфорд Чедвик бұл сәуленің электрлік бейтарап бөлшектер ағыны екенін дәлелдеген. Белгісіз бөлшектің массасы жуықтап алғанда протонның массасына тең болып шыққан. Атом ядросының құрамында протон сияқты ауыр, бірақ бейтарап бөлшектің бар болуы мүмкін деген батыл болжамды 1920 жылы Э. Резерфорд айтқан және оны нейтрон деп атауды ұсынған



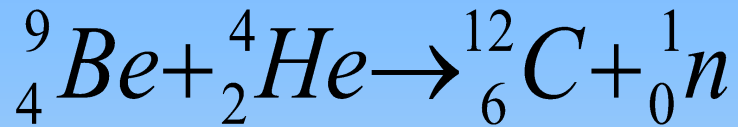
Джон Чедвик
(1920-1998)

Энергия мен импульстің сақталу заңынан нейтронның зат атомдарымен соқтығысу нәтижесінде

$$v_{\text{я}} = \frac{2m_n}{m_n + M_{\text{я}}} v_n;$$

где m_n -нейтрон массасы;
 v_n – нейтронның соқтығысуға дейінгі жылдамдығы;
 $M_{\text{я}}$ – ядро массасы.

А бөлшектерінің бериллий атомымен соқтығысу реакциясы:



Массалық сандары A бірдей, зарядтық сандары Z әр түрлі нуклидтерді изобаралар (бірдей ауыр деген сөз) деп атайды.

Ядроның құрамына кіретін нейтрондар санын N анықтауға болады:

$$N = A - Z$$

Ядролық зарядтары (реттік нөмірлері Z) бірдей, ал массалық сандары A әр түрлі элементтер атомдарын изотоптар (грекше *isos* – бірдей және *topos* – орын) деп атайды.

Атом ядросының құрылымы

Д. Д. Иваненко және В. Гейзенберг ядронның протонно-нейтронды моделін ұсынады: ядро екі түрлі бөлшектен: протон және нейтронан тұрады.

- атом нейтраль болғандықтан протондар саны электрондар санына тең болады.
- Протон және нейтрон – нуклондар деп аталады.



Дмитрий Дмитриевич
Иваненко
(1904-1994)



Вернер Карл
Гейзенберг
(1901-1976)

Атом ядросының өлшемдері

- Ядролар үшін кванттық заңдар тән болғандықтан олар белгіленген шекараға ие емес. Сондықтан ядроның орташа радиусы туралы айтуға болады. Ядроның радиусы оған соқтығысқан бөлшектердің шашырау бұрышынан анықталады.
- Массалық сан өскен сайын ядроның радиусы өседі:

$$R = 1,2\sqrt[3]{A} * 10^{-13} \text{ см};$$

- Ядроның көлемі нуклондар санына тура пропорционал
- Есептеулер жуықтап алғанда ядролық заттың орташа тығыздығы

$$\rho = \frac{M_{\text{я}}}{\frac{4}{3}\pi R^3} = 10^{14} \text{ г / см}^3 \quad 2,7 \cdot 10^{17} \text{ кг/м}^3$$

Байланыс энергиясы — байланысқан жүйені (мысалы, атом — байланысқан жүйені (мысалы, атом, молекула, атом — байланысқан жүйені (мысалы, атом, молекула, атом ядросы, т.б.), оны құрайтын бөлшектерге (құраушыларға) жіктеуге және оларды бір-бірінен арасында өзара әсер болмайтындай қашықтыққа алыстату үшін жұмсалатын

Байланыс энергиясы — теріс таңбалы шама. Өйткені түзілуі кезінде энергия бөлініп шығады.

$$\Delta E_{сө} = \Delta M c^2 = (Zm_p + Nm_n - M_{я}) c^2$$

НЕГЕ?

Ядроның массасы $M_{я}$ оны құрайтын протон мен нейтрондардың массасының суммасынан аз:

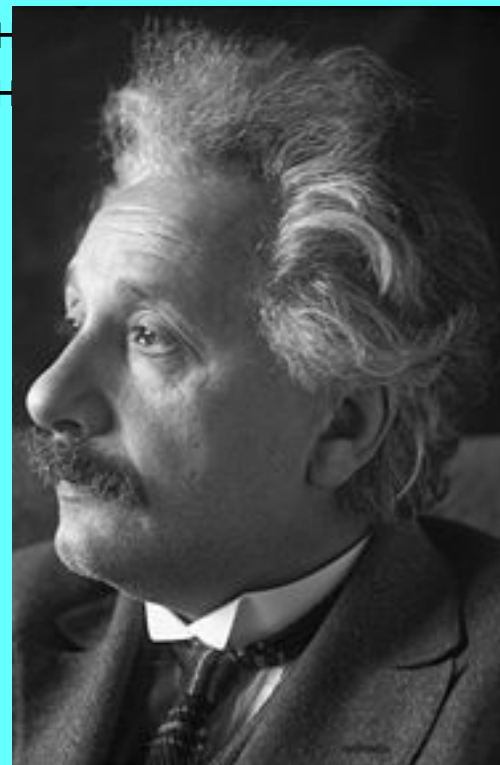
$$M_{я} < Zm_p + Nm_n$$

-Масса ақауы

$$\Delta M = Zm_p + Nm_n - M_{я}$$

$$\Delta M > 0$$

$$E = mc^2$$



Альберт Эйнштейн
(1879 - 1955)

Радиоактивтіліктің ашылуы

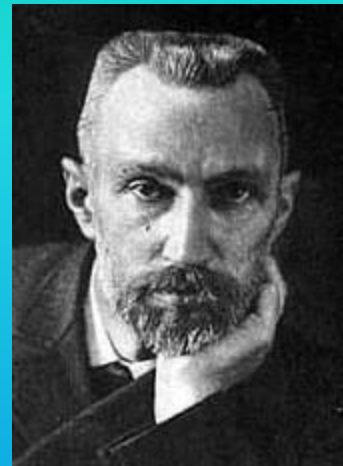


Склодовская-Кюри



А. Беккерель

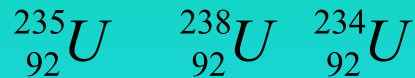
Ядролық физиканың Ядролық физиканың даму тарихына көз жүгіртсек, оның қайнар көзі 1886 Ядролық физиканың даму тарихына көз жүгіртсек, оның қайнар көзі 1886 жылы француз ғалымы А. Беккерель ашқан табиғи радиоактивтік құбылысынан басталады. Атомдардың тұрақты еместігі XIX ғасырдың ақырында ашылғанды. 46 жыл өткен соң 1898 ж. Францияда Мария Склодовская-Кюри 1898 ж.



Пьер Кюри

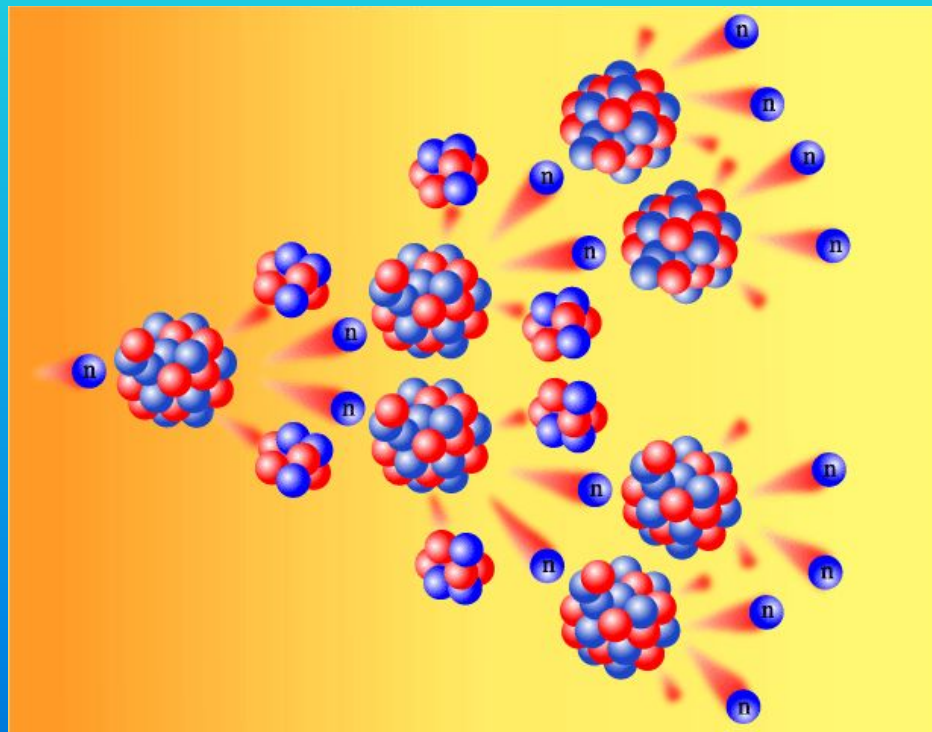
Францияда Мария Склодовская-Кюри және басқа да ғалымдар торийдің сәуле шығаратынын байқаған. Бұдан әрі жаңа элементтері іздеуде негізгі күш салған Мария Склодовская-Кюри мен оның ері Пьер Кюри 1898 ж. Францияда Мария Склодовская-Кюри және басқа да ғалымдар торийдің сәуле шығаратынын байқаған. Бұдан әрі жаңа элементтері іздеуде негізгі күш салған Мария Склодовская-Кюри мен оның ері Пьер Кюри болды. Уран мен торий 1898 ж. Францияда Мария Склодовская-Кюри және басқа да ғалымдар торийдің сәуле шығаратынын байқаған. Бұдан әрі жаңа элементтері іздеуде негізгі күш салған Мария

• Ядролық тізбекті реакциялар жүру үшін нейтрондармен бөлінетін элементтер қажет. Ондай элементтердің бірі – уран. Табиғи уранның үш түрі бар



• 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 жүремейді

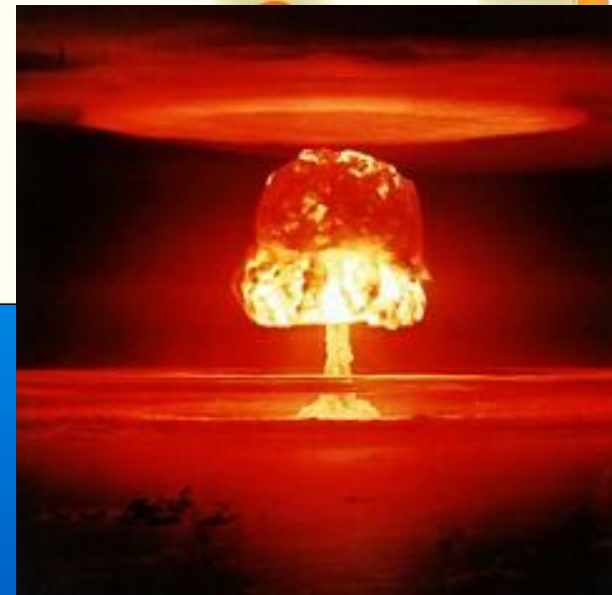
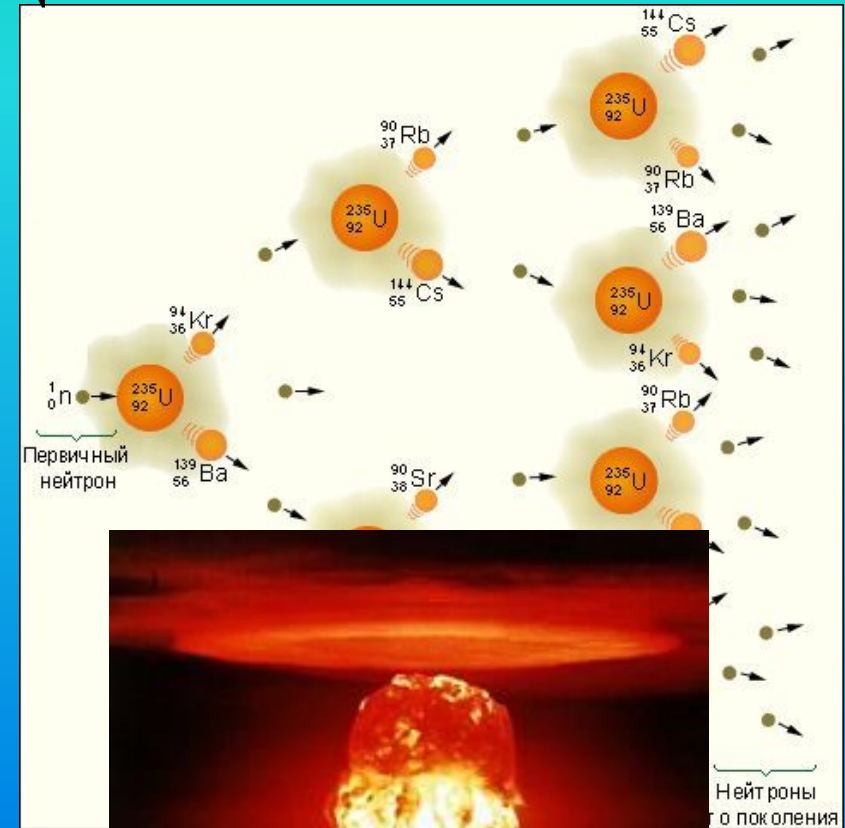


Нейтрондардың көбею коэффициенті

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

К 1ден үлкен немесе тең	$k < 1$ для
Нейтрондар саны көбейеді немесе тұрақты болып қалады, ядролық реакция жүреді	Нейтрондар саны азаяды, ядролық реакция жүрмейді

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

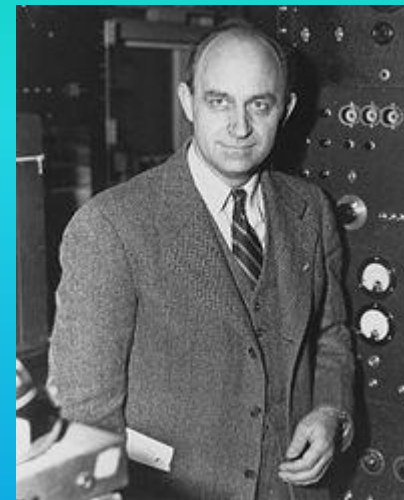


Алғашқы ядролық реакторлар

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



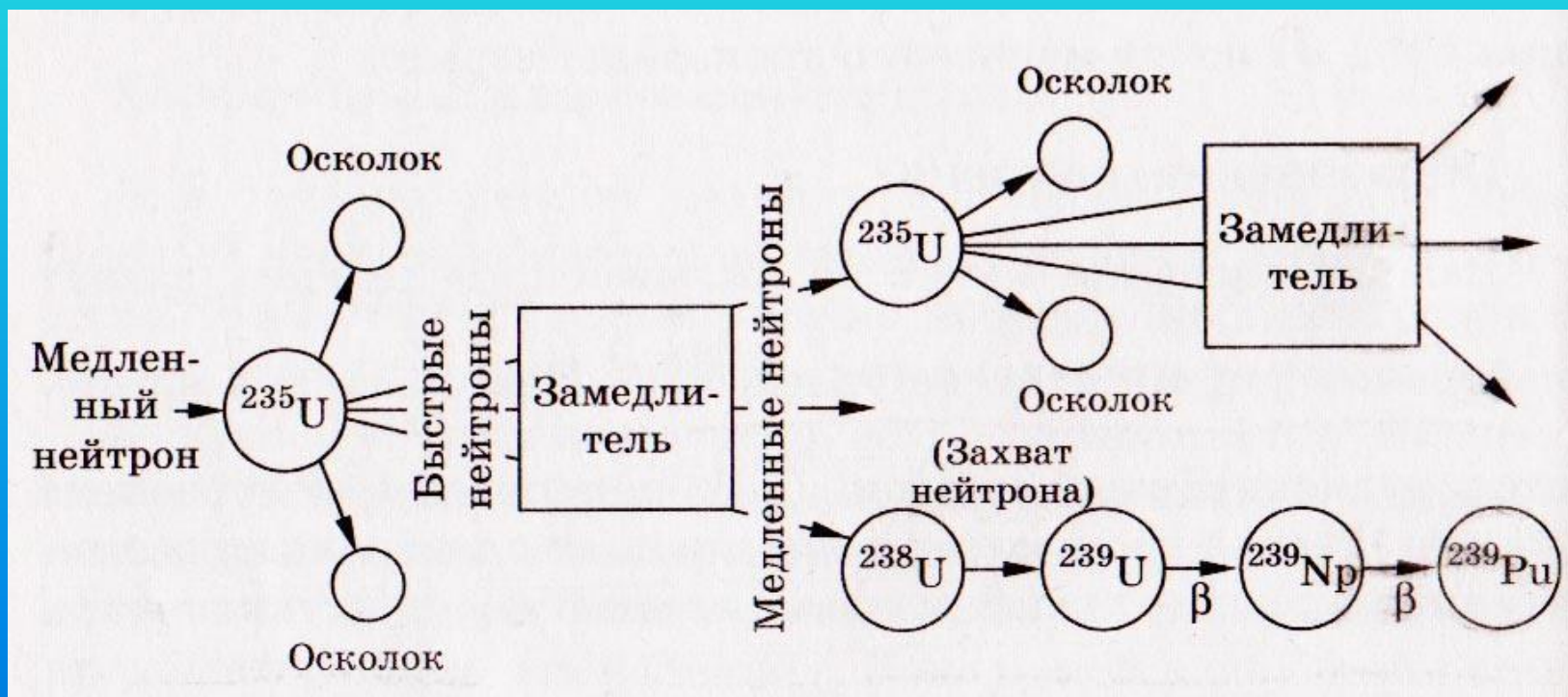
Игорь Васильевич
Курчатов
(1903-1960)



Энрико Ферми
(1901-1954)

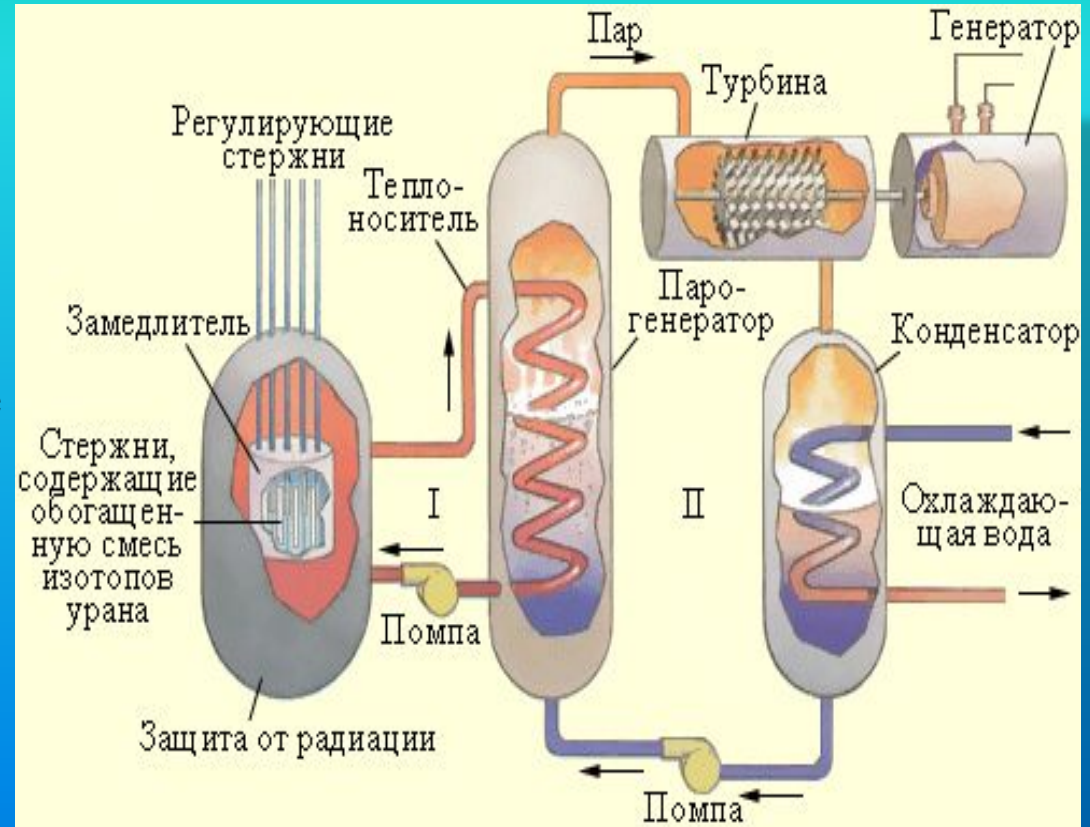
КСРО-да 25 желтоқсанда 1946 жылы К И.В. Курчатовтың басшылығымен жасалды

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.

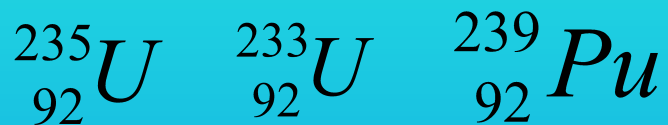


Нейтрондардың энергиясына байланыты реакторды
екі түрге бөледі: жылдам нейтронды реактор және баяу
нейтронды реакторлар

- 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

$$T_{\text{бал}} = 1400 \text{ К}$$

$$\rho = 19,05 \text{ г/см}^3$$

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

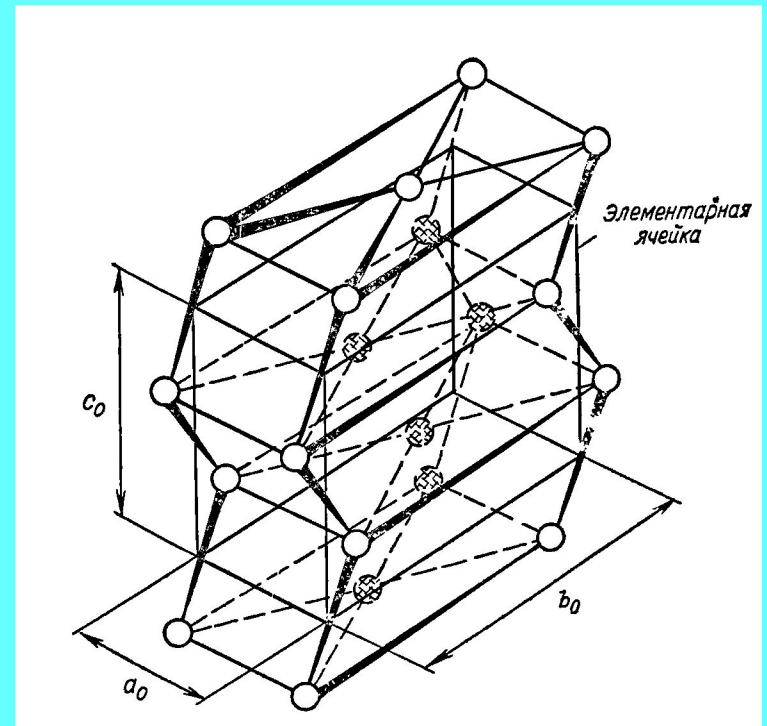
$${}_{92}^{238}\text{U} \quad 4,5 \times 10^9 \text{ ЖЫЛ}$$

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

α 667,7 °С ромбическая

β 667,7 °С - 774,8 °С тетрагональная

γ 774,8 °С –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,

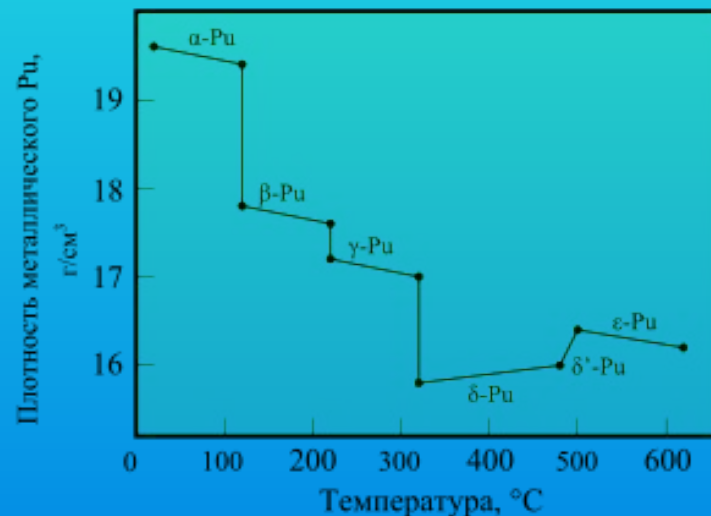
Плутоний

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

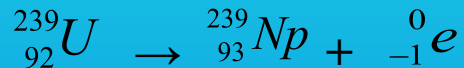


Плутоний уранға қарағанда химиялық активті, оттегі, сутегі және азотпен жақсы әсерлеседі. Механикалық қасиеті өте төмен сондықтан таза күйінде ядролық отын ретінде жарамсыз.

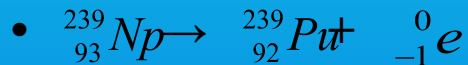
Плутонийдің түзілуі

${}_{92}^{238}\text{U}$ уранның ядросының нейтронмен әсерлесуі нәтижесінде радиактивті жартылай ыдырау периоды 23 минут ${}_{92}^{239}\text{U}$ 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- 1968К, 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

Уранный 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	Атомредметзолот о
7	Зоовч Овоо	Монголия	50 000	АРЕМА
8	Моинкум	Казахстан		
9	Мардай	Монголия		

№	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 радиолизге 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:

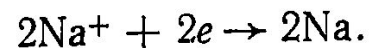
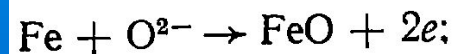
$$\lg (n_{\infty} \cdot 10^4) = 1,8266 - 558,5/T.$$

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

Жылуусыйымдылық 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 натриймен салыстырғанда төмен. Азотпен, сумен, оттегімен, көмірқышқыл газымен әрекеттеседі. Балқу температурасы 453К



Висмут

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

Қорғасын

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

Галлий

Өте қымбат, балқу температурасы 302К, сумен әрекеттеспейді.

Органикалық және газдық жылу тасымалдағыштар

Артықшылығы

Органикалық сұйықтардың бу қысымдары сумен салыстырғанда төмен;

Коррозияға тұрақтылығы жоғары;

Радиоактивтілігі төмен;

Кемшілігі:

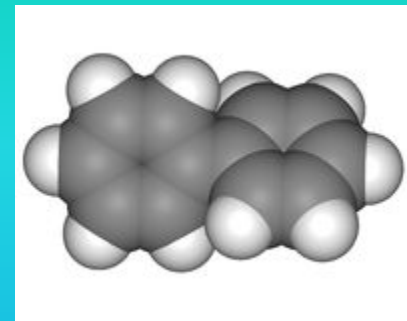
Термиялық және радиациялық қасиеттері төмен; сәулелену нәтижесінде қасиеттері өзгереді және пиролизге ұшырайды, пиролиз өнімдері ТВЭЛ-де жиналып жылу өткізгіштікті төмендетуі мүмкін.

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

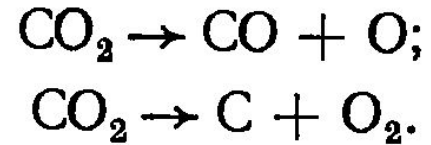
Газдық жылу тасымалдағыштар

жылу өткізгіштігі мен жылу сыйымдылығы төмен және тығыздығы аз; алайда газдардың артықшылығы нейтронды қармау қимасы өте аз.

Түрлері: көмірқышқыл газы, гелий, ауа, диссоциялаушы газдар және т.б.



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