

ЛЕКЦИЯ 12. Еркін радикалдардың теориясы. Су радиолізі. Ядролық реакторда қолданылатын конструкциялық материалдар

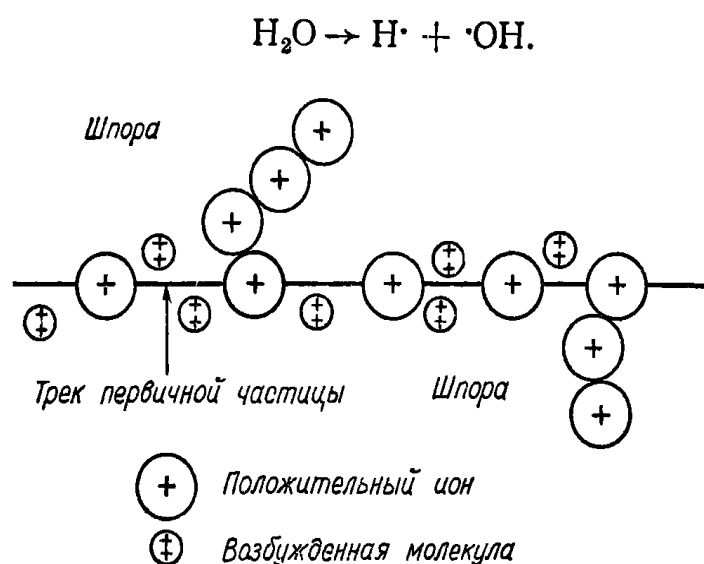
Лекцияның мақсаты: Судың радиолізі процесін еркін радикалдар теориясы негізінде түсіндіру; радиациялық әсер кезінде түзілетін химиялық өнімдердің табиғатын анықтау және ядролық реакторларда қолданылатын конструкциялық материалдардың қасиеттері мен радиациялық тұрақтылығын талдау.

Негізгі сұрақтар

1. Еркін радикалдардың түзілу механизмі және олардың қасиеттері.
2. Су радиолізінің сатылары мен өнімдері.
3. Самюэль–Маги және Ли–Грей теориялары.
4. Радиациялық әсердің материалдарға ықпалы.
5. Реактордың активті зонасындағы негізгі конструкциялық материалдар: бериллий, графит, бақылаушы стержендер.
6. Газдық ұлғаю, гелийдің жиналуы және трансмутация эффекті.

Қысқаша мазмұны:

Судың радиолізін түсіндіру кезінде еркін радикалдар теориясы қолданған ыңғайлы. Бұл теория бойынша су иондаушы сәулелермен әсерлесе отырып, еркін радикалдарға Н және ОН бөлінеді. Бұл процесс келесі түрде жүреді: бөлшектер су молекуласын иондайды, нәтижесінде судың оң ионы және электрон бөлініп шығады. Екінші ретті электрондар судың басқа молекулаларын иондайды. Бөлшектің трекінен ары тұрған молекулалар ионизацияға жетпейтін энергия алғандықтан қозып ғана қояды. Бұл процесстің схемалық түрі төмендегідей



2. Радиоліз процесінің теориялық түсіндірмесі

Самюэль мен Маги теориясы бойынша екінші ретті электрондар энергиясын жоғалтып, аналық иондармен бірігіп, қозған нейтрал молекулалар түзеді. Бұл молекулалар энергияны сіңіріп, кейін еркін радикалдарға бөлінеді.

Ли мен Грей теориясы бойынша екінші ретті электрондардың ионмен бірігуге энергиясы жетпей, ион диссоциацияланып кетеді.

Бұл процестер өте қысқа уақытта (10^{-18} – 10^{-16} с) өтеді

3. Радиоллиз өнімдері

Радиоллиздің соңғы өнімдеріне мыналар жатады:

- H_2 , H_2O_2 — тұрақты өнімдер,
- H , OH — еркін радикалдар,
- H_3O^+ , OH^- — иондар.

Бұл өнімдер реактордың салқындатқыш жүйесінде және химиялық процестерінде маңызды рөл атқарады.

4. Активті зонаның конструкциялық материалдары

Бериллий (Be)

- Периодтық жүйенің II тобының элементі, атомдық массасы 9,0122.
- Тығыздығы $1,816 \text{ г/см}^3$, балқу температурасы 1284°C .
- Нейтрондарды қармау қимасы аз болғандықтан, баяулатқыш және шашыратқыш материал ретінде қолданылады.
- Радиация әсерінен бериллийде **гелий және тритий** түзіледі:

Графит (C)

- Көміртектің гексагональдық полиморфтық түрі.
- Электр мен жылуды жақсы өткізеді, жоғары температураға төзімді.
- Нейтрондарды баяулатқыш ретінде қолданылады.
- Радиация әсерінен графиттің **электрөткізгіштігі артады, жылуөткізгіштігі төмендейді**.
- Жасырын **Вигнер энергиясы** жиналып, температура өскенде жылу түрінде бөлінуі мүмкін

Бақылаушы стержендер

- Нейтрондарды қармау қимасы жоғары элементтерден (B, Cd, Hf, Eu) жасалады.
- **Бор карбиді (B_4C)** – кең қолданылатын материал, бірақ сәулелену кезінде гелийдің бөлінуі газдық ұлғаюға әкеледі.
- **Гафний** жылулық нейтрондарды тиімді жұтады, сондықтан массивті стержендер дайындалады.
- **Күміс–индий–кадмий қорытпалары** нейтрон сіңіруде жоғары тиімділік көрсетеді

6. Радиациялық бұзылу және трансмутация

Серпімді және серпімсіз соқтығысу кезінде атомдар өз орындарынан ығысып, **Френкель жұптары** түзіледі.

Бөлшектердің энергиясы жоғары болғанда ығысу каскады дамып, кристалл торының бұзылуына алып келеді.

Сонымен қатар, радиациялық әсерден **трансмутация эффекті** байқалады — яғни жаңа элементтер (He, H, Li, Mn, V) түзіледі

Бақылау сұрақтары

1. Еркін радикалдардың теориясын түсіндіріңіз.
2. Су радиоллизінің негізгі өнімдері қандай?
3. Самюэль–Маги және Ли–Грей теорияларының айырмашылығы неде?
4. Бериллий мен графиттің радиациялық қасиеттерін салыстырыңыз.
5. Газдық ұлғаю процесінің салдары қандай?
6. Трансмутация эффекті нені білдіреді?

Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті. Қатты дене физикасы және жаңа материалдар технологиясы кафедрасы. Физика техникалық факультеті.
Радиациялық материалтану пәні. Мархабаева А.А.

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 ;

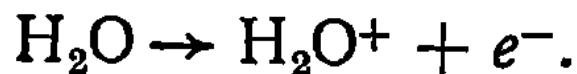
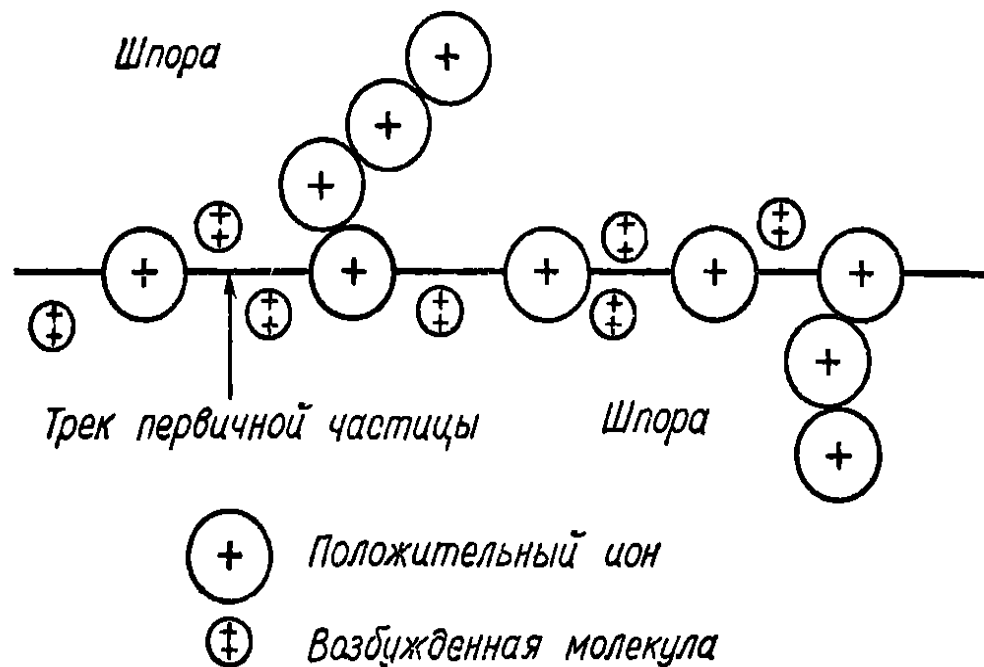
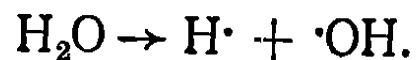
Әл Ғараби атындағы қазақ Ұлттық
университеті

Физика техникалық факультеті

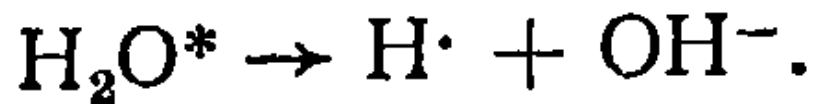
Еркін радикалдардың теориясы. Су
радиолизі. Ядролық реакторда
қолданылатын конструкциялық
материалдар

Мархабаева А.А

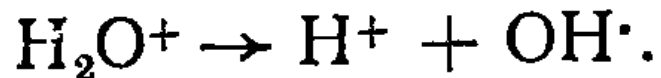
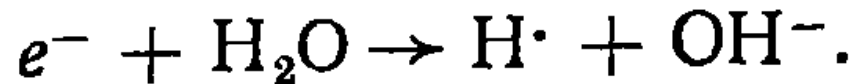
Судың радилизін түсіндіру кезінде еркін радикалдар теориясы қолданған ыңғайлы. Бұл теория бойынша су иондаушы сәулелермен әсерлесе отырып, еркін радикалдарға Н және ОН бөлінеді. Бұл процесс келесі түрде жүреді: бөлшектер су молекуласын иондайды, нәтижесінде судың оң ионы және электрон бөлініп шығады. Екінші ретті электрондар судың басқа молекулаларын иондайды. Бөлшектің трекінен ары тұрған молекулалар ионизацияға жетпейтін энергия алғандықтан қозып ғана қояды. Бұл процесстің схемалық түрі төмендегідей



Ары қарай екінші ретті электрондардың тағдыры екі түрлі жолмен өттуі мүмкін: Самюель и Маги теориясы бойынша серпімді соқтығысу кезінде энергиясын жоғалтқан екінші ретті электрондар ары қарай аналық электронын жоғалтқан иондармен нейтраль молекула құрайды. Бұл судың молекуласы өте қозған күйде болады, сондықтан радикалдарға бөлінеді

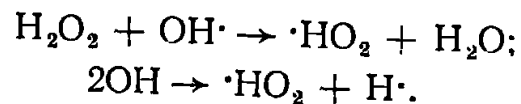
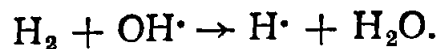
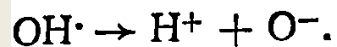
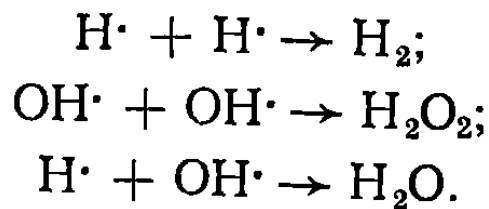


Ли және Грей теориясы бойынша екінші ретті электрондардың ионмен бірігуге энергиясы жетпейді, сондықтан ион диссоцияланады



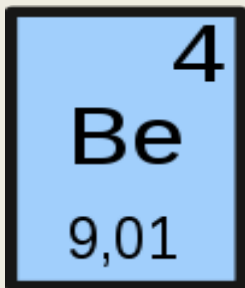
Ионизация процессі және радикалдардың түзілу процессі өте тез жүреді. Бөлшектің энергиясына байланысты ионизация 10^{-18} - 10^{-16} с уақыт аралығында болады.

Радиолиз өнімдері



Активті зонаның конструкциялық материалдары

- Берилий
- Графит
- Бақылаушы стержендер
- Магний және оның қоспалары
- Алюминий және оның қоспалары
- Цирконий және оның қоспалары



Бериллий

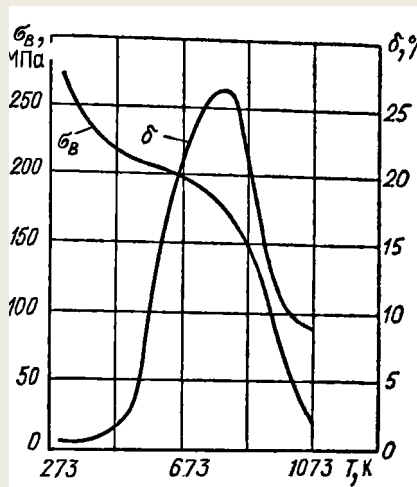


Бериллий(лат. Beryllium), Be — элементтердің периодтық жүйесінің II тобындағы химиялық элемент, атомдық нөмірі 4, атомдық массасы 9,0122, жеңіл, ашық сұр түсті металл. Тұрақты бір изотопы (^9Be) бар. Бериллий алюминийден жеңілірек, тығыздығы $1,816 \text{ г/см}^3$, балқу температурасы 1284°C , қайнау температурасы 2450°C . Нейтрондарды қармау қимасы аз болғандықтан ядролық реакторларда баяулатқыш және шашыратқыш материал ретінде қолданылады. Бериллий өте қымбат материал, оның бағасы алюминий, болаттан 10 есе қымбат. 1513 K температураға дейін бериллийде аллотропиялық ауысулар болмайды. Бериллий және оның қоспалары улы болып келеді.

- Берилий радиация себебінен келесі реакциялар жүреді және газдық өнімдер бөлінеді:



- Гелий және тритий кристалдық торларда жиналып газдық үлкею туғызуы мүмкін. Олар берилийдің пластикалық қасиеттерін төмендетеді.
- Берилийге қоспа ретінде Al және Zr қолданылады.
- Берилий оксидін шашыратқыш ретінде қолданады. Изолятор болып табылады.
- Берилийдің механикалық қасиеттері, әсіресе пластикалық қасиеті температураға өте тәуелді.



Физические свойства бериллия

Таблица 8.1

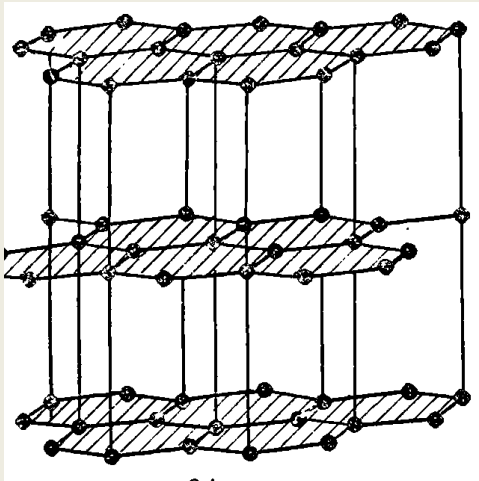
Атомный номер	4
Относительная атомная масса	~9
Сечение поглощения тепловых нейтронов, м ²	9·10 ⁻³¹
Плотность, г/см ³	1,85
Температура плавления, К	1556
Коэффициент линейного расширения, град ⁻¹	11,6·10 ⁻⁶
Температура кипения, К	3243
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	180
Кристаллическая структура	α-Фаза, ГПУ до 1513 К β-Фаза, ОЦК выше 1513 К
Параметр кристаллической решетки α-фазы, нм	a=0,228 c=0,358

Графит



- Графит - көміртектің (C) [Жер](#) қыртысында ең жиі кездесетін әрі тұрақты гексагондық полиморфтық түрі. Гексогональдік сингонияда кристалданады. Табиғатта кристалы жетілген графит (*грекше grapho – жазамын*) сирек ұшырайды, көбінесе, қабыршақ, түйіршік, кейде домалақ [агрегаттар](#) күйінде кездеседі.
- Түсі қара, сұр, қара сұр, ұстағанда май сияқты, қолға жұғады, металдай жылтыр.
- Балқу температурасы 3850°F, 50°C.
- [Электр](#) тогын, жылуды жақсы өткізеді.
- Қышқылға төзімді, жоғары температурада ғана тотығады. Отқа берік, балқыған металға салса еріп, амфотерлік қасиеті бар оксидтер түзеді, балқыған [селитрада](#) жанады. Жеңіл өңделеді, жұмсақ, майысқыш.
- [Нейтрон](#) сәулесімен әсер еткенде графиттің [электр](#) тогын өткізгіштігі, майысқыштығы, қаттылығы артады, ал жылу өткізгіштігі күрт төмендейді. ^[2]

- Нейтрондарды қармау қимасы берилий мен магнимен салыстырғанда төмен, сондықтан баяулатқыш және шашыратқыш материал ретінде қолданылады.
- Жылулық қасиеттері жоғары. Алайда морт сынғыш материал.
- Жоғары температураларда реакцияға түскіш.
- Радиация әсерінен қасиеттері мен құрылымы өзгереді. Сонымен қатар радиация әсерінен графитте жасырын түрде Вигнер (Вигнермен табылған) энергиясы жиналуы мүмкін. Температура жоғарлаған кезде бұл энергия жылу түрінде шығады.



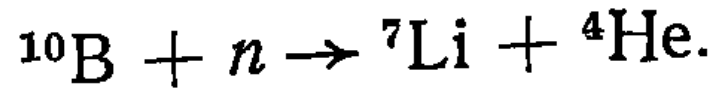
Атомный номер	6
Относительная атомная масса	12
Сечение поглощения тепловых нейтронов, м ²	$4,5 \cdot 10^{-31}$
Плотность, г/см ³	1,65—1,75
Температура плавления	Возгоняется при давлении 0,1 МПа и температуре 3923 ± 25 К
Коэффициент линейного расширения, град ⁻¹	$(28 \div 44) \cdot 10^{-7}$
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	263,8—523,5
Кристаллическая структура	Гексагональная сложная
Параметр кристаллической решетки, нм	$a = 0,246$ $c = 0,670$

Бақылаушы стержендер

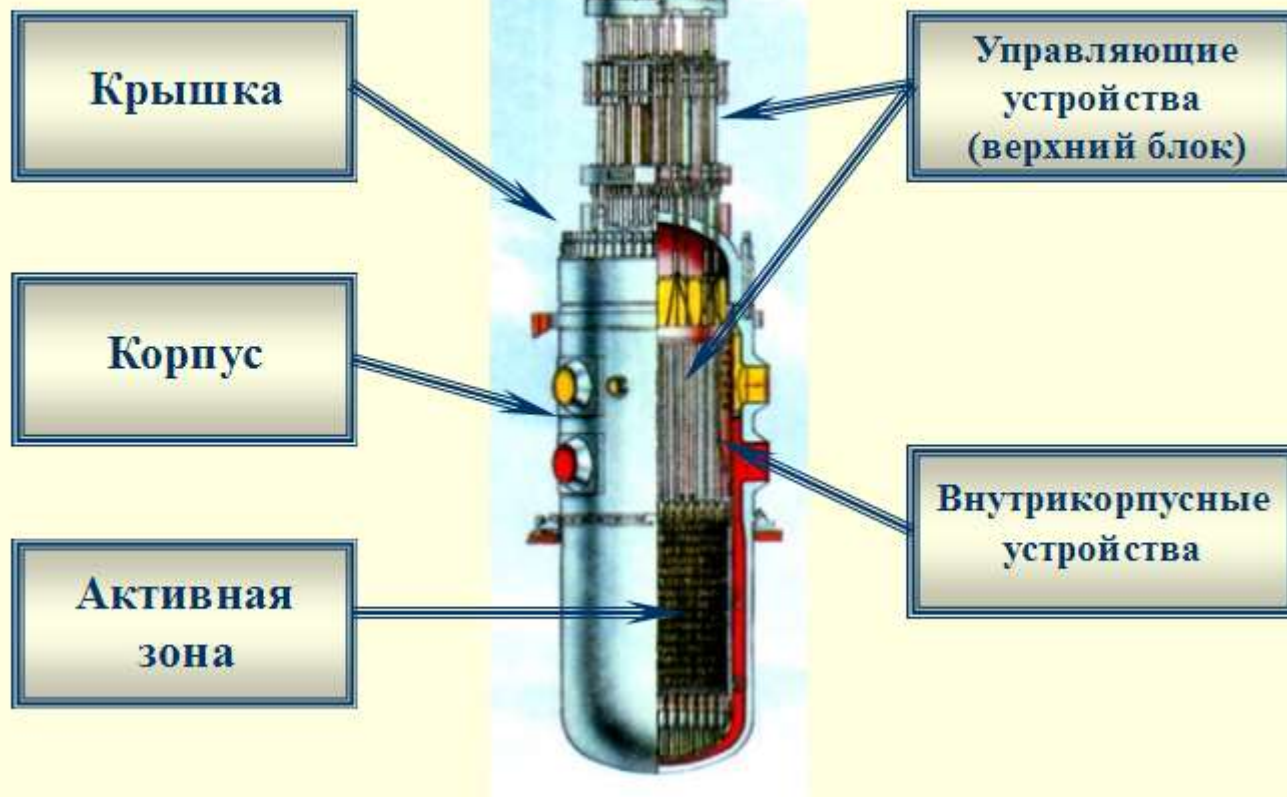
- Нейтрондарды қармау қимасы жоғары элементтер ретінде : Ga, Eu, B, Cd, Ir, Hg, Rh, Lu, Hf, Au, Re, Ag.

- Алайда  бұл материалдардың барлығы бақылаушы стержендер ретінде қолданбайды.
- Оның ішінде кадмийдің механикалық қасиеттері төмен;
- Алтын, рений, родий қымбат;
- Қалған элементтер қосылыс (оксид, карбид) түрінде қолданылады.

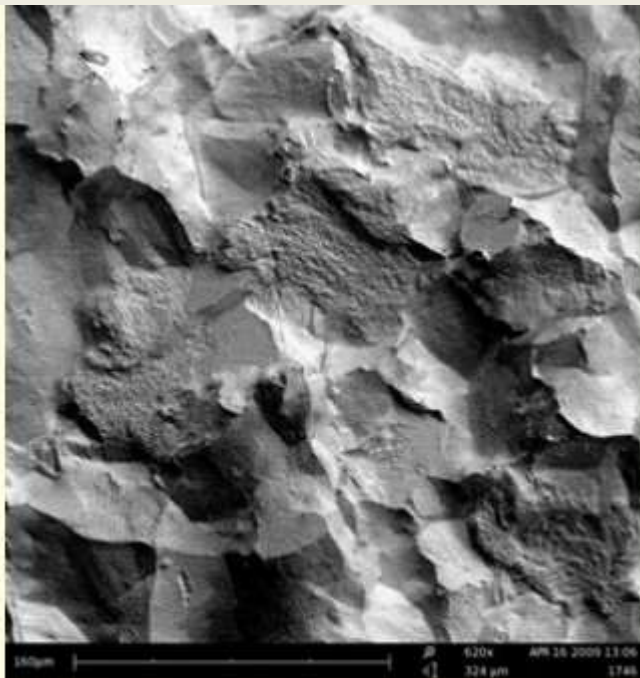
- Бор карбидінің B_4C нейтрондарды қармау қимасы жоғары, алайда сәулелену нәтижесінде гелий бөлініп оның газдық ұлғаюына әкеп соғады.



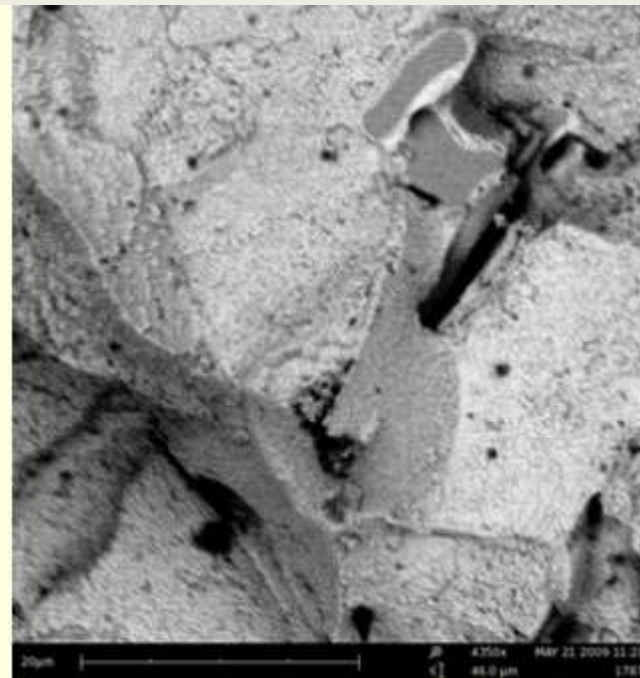
- Бөлінетін литий оның коррозияға төзімділігін төмендетеді.
- Сонымен қатар бор карбиді негізінде алюминиймен бірге дисперсті материалдар қолданылады, олардың радиациялық қасиеті жоғары.
- Гафнийді жылулық нейтрондарды қармау үшін қолданылады, басқа энергиялы нейтрондарды қармау қимасы азырақ, сондықтан нейтрондарды жұтқыш ретінде қолданған кезде массивті стержендер жасайды.
- Күмісті жұтқыш материал ретінде қолданар кезде индиймен және кадмиймен қосады. Нейтрондарды жұту кезінде гафнийге, гафний индийге, ол қорғасынға айналады. Сондықтан сәулелену нәтижесінде оның құрамы өзгереді.
- Сирек кездесетін элементтер соның ішінде европий нейтрон жұтқыш ретінде қолданылады. Ядролық қасиеттері жоғары алайда қымбат.



Газдық ұлғаю



a) $T_{\text{исп}} = 20^{\circ}\text{C}$



b) $T_{\text{исп}} = 495^{\circ}\text{C}$

Гелий және онымен байланысты материалтанудағы мәселе

- Гелий ядролық реакция нәтижесінде бөлінетін газдық өнім болып табылады.
- $\text{Ni}^{58} + n \rightarrow \text{Ni}^{59} + \gamma$
- $\text{Ni}^{59} + n \rightarrow \text{Fe}^{56} + \text{He}^4$
- $\text{B}^{10} + n \rightarrow \text{Li}^7 + \text{He}^4$
- **Гелий азайтудың жолдары:**
- (n,α) реакция қимасы төмен лигерлеуші элементтерді қолдану;
- Түйіндердің өлшемдерін азайту;
- Гелийді қармайтын элементтерді қосу;

Радиациялық бұзылудың негіздері

- Атомдардың орнынан қозғалуы серпімді және серпімсіз соқтығысу кезінде болады. Радиациялық бұзылудың дәрижесі

$$N_{\text{сна}} = \sigma_D \cdot \Phi \cdot t, \quad (1)$$

- Кинчина Пиза моделі бойынша ығысқан атомдардың саны келесі түрде анықталады

$$N_d(P) = \begin{cases} = 0 & 0 < P < E_d \\ = 1 & E_d < P < 2,5E_d \\ = \frac{0,8E_d(P)}{(2E_d)} & 2,5E_d < P < P_{\max} \end{cases}, \quad (2)$$

- Егер бөлшектің энергиясы үлкен болса ПВА келесі атомдарды ығыстыруы мүмкін

Трансмутация эффекті

- Иондаушы сәулелердің затпен әсерлесуінен тек атомдар ығысып қана қоймайды, сонымен қатар басқа элементтер пайда болады. трансмутацияHe, H, V, Li, Mn)