

Міністерство освіти і науки України
Державний заклад
«Південноукраїнський національний педагогічний
університет імені К. Д. Ушинського»

КОНСПЕКТ
з дисципліни Радіаційне матеріалознавство

студента 1 курсу
спеціальності 105 *«Прикладна фізика та наноматеріали»*
Тужиков Андрій Вікторович

Мультимасштабний підхід у дослідженні процесів, що відбуваються у конструкційних реакторних матеріалах під впливом опромінення, є особливо доцільним через складність та багатоетапність цих процесів. Розгляд різних стадій опромінення та їх вплив на механічні властивості матеріалу вимагає застосування різноманітних методів моделювання. Детальний аналіз цих стадій та методів їх дослідження дозволяє розробити стратегії для оптимізації експлуатаційних характеристик і терміну служби реакторних матеріалів, зокрема при збільшенні терміну експлуатації атомних реакторів.

Каскадна стадія опромінення

На цій початковій стадії, що триває дуже короткий час, використання методів молекулярної динаміки, Монте Карло, та ab-initio дозволяє детально розглянути процеси, які відбуваються на атомному рівні. Однак, для дослідження подальшої еволюції цих процесів ці методи стають непридатними через великі об'єми необхідних обчислень.

Дифузійна стадія

На цій стадії відбувається еволюція кластерів та преципітатів, які утворилися на каскадній стадії або після неї. Метод кластерної динаміки є найефективнішим для її дослідження, незважаючи на існуючі складнощі з інтегруванням системи звичайних диференціальних рівнянь через їх жорсткість.

Стадія взаємодії дислокацій з наноперешкодами

Ця стадія впливає на механічні властивості матеріалу, зокрема, спричинює нейтронну крихкість. Розуміння цих процесів є критично важливим для безпечної експлуатації атомних реакторів, особливо при розширенні терміну їх служби.

Виклики та рекомендації

Серед основних викликів, що гальмують поширення практики використання кластерної динаміки, — складність вибору вхідних параметрів методу та чисельні проблеми інтегрування жорстких систем рівнянь. Рекомендації щодо вибору експериментальних методів для визначення параметрів моделі та використання методу інтегрування майстер-рівняння мають важливе значення для подальших досліджень.

Монографія, заснована на цих дослідженнях, розширює розуміння фізичних процесів, що відбуваються у реакторних матеріалах під опроміненням, та пропонує нові підходи до їх вивчення. Виконання сформульованих задач спрямоване на оптимізацію властивостей і подовження терміну служби конструкційних матеріалів атомних реакторів, що має значний практичний і теоретичний інтерес.

1. Функція на або функція σ на цій стадії може відбутися
ли зростає кластерів та їх
розпад з часом.

лише $k \geq k_{cr}$.

Функція σ завершується
лише серед, рад. кластера - час
рівний деякому критичному
значенню

2. Вегетативною зростає.

Кластери іноді збільшуються за
розміром

Модельованні системи повинні
дефіцит

часова евол. системи кластерів

Система вимірює та міряє з часом

опиються, наступними
рівняннями

$$R_{nv} = \frac{a_0}{2} \sqrt[3]{\frac{3}{\pi}} \sqrt[3]{n_v} \quad \Rightarrow$$

a_0 - gme Fe

$$a_0 = 2,866 \text{ \AA}$$

$$2,955 \quad 0,98, \text{ ye } \sqrt[3]{\frac{3}{\pi}}$$

$$\Rightarrow = 1,404 \sqrt[3]{n_v} \text{ \AA}$$

R_{nv} - pаgоrе серегроворо кнадег



Знако з суректорно китев
 терпесо евантаце кнадег
 у таси 1 синагаобел з з
 стагн.

$$\sigma_v = 2 \frac{\text{джем}}{\text{м}^2}$$

$$\sigma_i = 0,5 \frac{\text{джем}}{\text{м}^2}$$

$$T = 300^\circ\text{C}$$

Знайти g -м гнл р.ч.об
концентр. вем. та сивес та у
замгл ~~та у~~

Дана сивес или гнлгелл 12/03

$C_n(t)$

Дана вем. g -м сивес.

$$\langle n \rangle = \frac{\sum_{n=2}^{N_{\max}} C_n n}{\sum_{n=2}^{N_{\max}} C_n}$$

C_n - g -м позногелл.

$$\frac{4}{3} \pi R_n^3 = n \cdot \frac{\rho_0^3}{2}$$

$$R_{in} C_n$$

$$L_v = 1, r_{Fe} = \frac{6,5 \text{ \AA}^0}{8}$$

$$D_{vo} = D_{i'o} = 10 \text{ м}^2/\text{с}$$

Методом кластерной
динамики доведём систему
до стационарной кластерной
состояния с размерами

5

процессом 1 год

$$\frac{dC_i}{dt} = \dots + i' r_g$$

$$C_n = 0, \text{ если } n > 5$$

Если $n \geq 2$ не выполняется
 то $\frac{dC_n}{dt}$ макс. выгода.

C_{dp} - количество работ на время в 14

$$\frac{dC_n}{dt} = \eta C_{dp} (1 - S_{екл}) - 4\pi \frac{R_{екл} C_n}{\dots}$$

$R_{екл} = \frac{C_i}{R_{Fe} \cdot (\Phi_r + \Phi'_i)}$ - количество выделенных средств
 по первоначальной к-сти

$R_{екл} = 0.1$ - 10% затрат на месяц

η - коэффициент эффективности

$S_{екл}$ - доля вакансий, или работ на месте
 90% - рентабельность.

~~$$\sum_{n=1}^n R_{vn} \cdot C_{vn} - 4\pi \Phi_r C_n$$~~

$$\sum_{n=2}^{n_{max}} R_{vn} \cdot C_{vn} - 4\pi \Phi_r C_n \sum_{i=1}^n \dots$$

$C_{dp} = 6.1 \cdot 10^{-9}$ д/ра/к
 количество работ на время
 количество работ на месте
 82 850

$$\sigma_v = 1 \text{ rad} \frac{\text{Jsec}}{\text{m}^2}$$

\sim
 $\frac{c}{v}$
 $\mu_{\text{sub}} \text{ d} \mu$
 $\frac{J}{\text{m}^2}$

$$\Delta \mu_{\text{sub}} = k_B T \ln \frac{c_{\text{iv}}}{c_{\text{eq}}(R)}$$

c_{e} - ~~субстрат~~ концентрація

$c_{\text{eq}}(R)$ - рівноважна концентрація виманяти, навколо кластера радіусом R .

$$c_{\text{e}}(R) = c_{\text{e}\infty} \exp\left(\frac{2\sigma\Omega}{Rk_B T}\right)$$

σ - поверхня енергія поверхні

Ω - об'єм елем. велич.

$c_{\text{e}\infty}$

~~субстрат~~ концентрація виманяти у рівноважному стані

4. Вап та мідев. завантажена поверхню
Зерен (емм. покресала)

5. Вапан та мідевузі, покресала
ли кластерами мідевузі та і
кластерами вапаней.

Визначення зміни вільної
ен. Гіса при утворенні кластера

$$\Delta G_{nv} = -n \cdot \Delta \mu_v + 4\pi R_n^2 \cdot \gamma$$

n - к-сть часточок у кластері

$\Delta \mu$ - різниця хім. потенц. вапаней
віль. вак. та вак. у кластері

$4\pi R_n^2$ - радіус кластера

γ - повр. енергія титана поверхні
нева вапанейного кластера.

Флуктуації в $v \rightarrow i$ в ор-м

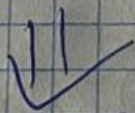
а саме однакова історія виходу
міжвузлів.

2. Процес деманджауї —
активний взаємина міжвузлів
та банків.

3. Ли вил. там і міжвузлів,
захоплюються генераторами.

$$I_{TV} = C_{1V} D_{1V} L_V P_d$$

$$I_{T1} = C_{1i} D_{1i} L_i P_d$$



це можливо подати, це
в виробничому матеріалі
міжвузлів дуже менш
чим банків,
до міжвузлів захоплюються
швидше ніж меншою банків.

$$D_i(\bar{i}) = D_{0i} \exp\left(-\frac{E_{mi}}{k_B T}\right)$$

E_{mi} - енергія міграції штильован

D_{0i} - про-коefficient поєд штильован.

для заліза (Fe)

$$E_{mv} = 0,31 \text{ eV}$$

$$E_{mi} = 0,1 \text{ eV}$$

-шиль менше
-шлях. штиль
визидит

шильован штильован визидит
більш інтенсивно штиль штильован
вакансії.

В окремих матеріал. визидит
наступні фази.

1) Від дії енерг. нейтрона. або високо.
- енергетичного іона утворюється
пара Френкель.

V_p - кількість краєв, що містять
 n -таєрнок або вище
 або міжевузлові в $1V$, при
 містять n -макшерів

C_1 - 1 ван та інші

На кожній стадії переважають
 великі великі (міжевузні), але
 глибини або глибини те буде
 менше

Зокладає коеф. диф. преграв.
 мент у вигляді формули

$$D_v(T) = D_{0v} \exp\left(-\frac{E_{mv}}{k_B T}\right)$$

D_{0v} - префактор коеф. дифузії
 E_{mv} - енергія міграції вище
 ній

1. Анонимное пользование
 группа до 1950г. принадлежала
 неограниченно та же
 вещь.

β Бета-коэф. приращении
 в цепи адмиссии у
 коэф. разраб. \Rightarrow

$$\beta_{1,n} = \frac{4\pi R n \Delta \Omega}{\Omega_{Fe}}$$

R - радиус
 ΔΩ - коэф. разраб.
 Ω_{Fe} - коэф.

$$\Omega_{Fe} = \frac{a_0^3}{2}$$

$$L_{n,t} = \beta_{n-1} \frac{C_{np} \Delta G_n - \Delta d_{n-1}}{K_B T}$$

ΔG_n - работа

н'уауа у биомии сред.

Pinca, B метам z n ead

$$\Delta G_n = -n\Delta\mu + 4\pi R_n^2\gamma$$

$$R_n = R_0 \left(\frac{3n}{4\pi} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$D = D_0 e^{-\frac{E_m}{kT}}$$

$$\beta_{n,m} = \frac{4\pi R_n C_n D}{\Omega_{Fe}}$$

$$a_n = \beta_{n-1} e^{-\frac{\Delta G_n}{kT}}$$

ал, генерализирующ. Та границами
Зерен.

Вне генерализирующ. групп-стади:
визуально-визуальн. метод, кластерной
структуры (Болер Веллинг) - 1939 г.

Вне генерализирующ. парадигмы
та кондукции

Оск. р-тне кластерн. генерализирующ.
Загор. кл. ген. знаменитые -

кондукции кластерн. - физическое
размеру $n = 2, 3 \dots 1000$.

$$\frac{dC_n}{dt} = \sum_{i, n-1} B_{i, n-1} C_{n-1} + \sum_{n+1} L_{n+1} C_{n+1} -$$

$$- \sum_{i, n} B_{i, n} C_n - \sum_{n} L_n C_n$$

Однородность уравн. системы \in
и неопределенность.

На при шкни' наслідней
присутні' наслідней

C_{IV} - глімери (м'яквузні')

C_{2V}

C_{3V} - Тримери.

Решити цю задачу необхідно
буде позитивним чинником
для дисперзної стадії
На дисперзній стадії відбувається
се генерация процесів і кластери
дисперсії можуть зростати
до величин $10^4 - 10^5$; глімери
рухливості.

2. Зокремовані дисперсії можуть
рекомбінувати, а можуть
присутні до існуючих

3. Зокремовані дисперсії, які
їх кластери можуть нормувати

Специальный принцип
СЭЭ

Векторное поле
 ...

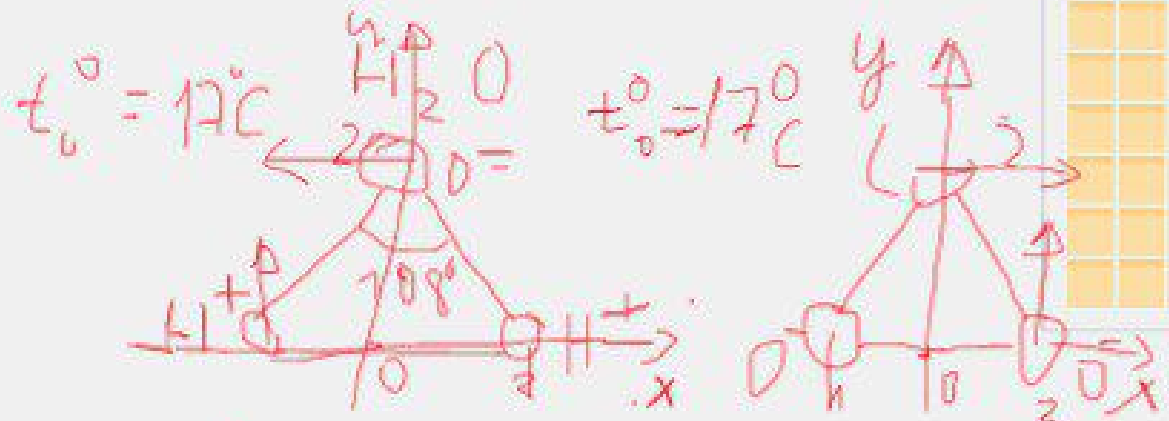
СЭЭ

...

СЭЭ

...

| эвал | сложно | алгоритмы |
|------|--------|-----------|
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |



$$t_0^0 = 17^0 C$$

$$t_0^0 = 17^0 C$$

$$\vec{D}_i(t) = \omega r^5 t_{i1}(\omega t_1)$$

$$\dots \left(\frac{992}{22} \right) \downarrow$$

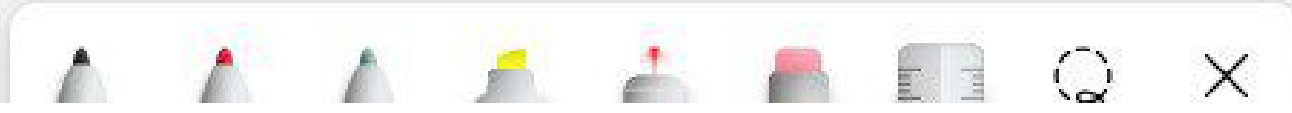
$$\frac{d^2 i}{dt^2} = G_{\text{обор}} - 4\pi G_{1v} r_i (\rho_{1v} + 2D_i)$$

$$R_{v-i} = 4\pi D_i \rho_{1v} x_i^2$$

$$\frac{dG_{ij}}{dt} = G_{\text{обор}}$$

$$- 4\pi G_{1v} G_{1v} (\rho_{1v} + 2D_i)$$

$$R_{v-i} = 4\pi G_{1v} \rho_{1v} x_i^2$$



На при шкни' наслідней
присутні' наслідней

C_{IV} - глімери (м'яквузні')

C_{2V}

C_{3V} - Тримери.

Решити цей нецентрований
буде негативним умовним
для дисперзної стадії
На дисперзній стадії відбудовують
се гештальт процесів і кластери
дисперзії можуть зрости
досягаючи $10^4 - 10^5$; глімери
рухливості.

2. Зокеровані дисперзії можуть
реоб'єднуватися, а можуть
приспівуватися до існуючих

3. Зокеровані дисперзії, які
їх кластери можуть нормуватися

19.03.

У раздвоулітковаму месці нейтрона
крышчэства характэрызуецца
2-ма параметрамі.

(T_{cr} - тэмпература вазно-
крыжко пераходу)

Пігмэнтам месці нейтрона
($\Delta C_{0,2}$)

Для зьліза ΔT пры сьледзі вэлі
сёра крыжкы (пераборнасьць
на сьлі) = $-100^{\circ}C$.

Тамоу роўду тэмпература
і каэфіцыянт тэмперату-
раю. Вазно-крыжко пераходу

Пры нейтр. апраменььні

Ткрыжкы зьліза і коні
гоза апраменььня гоець

1-2 дрт. Ткрыж. сьлі

блізкаго го ΔT сьлі

у і корпусе рэактара

$\approx 300^{\circ}C$.