

Д. С. Герцрікен, О. М. Корнієнко

Дифузія

ДИФУЗІЯ (від лат. diffusio – розповсюдження, поширення, розтікання) – взаємне проникнення одна в одну дотичних речовин внаслідок руху їхніх частинок (атомів, молекул, іонів, електронів, а також квазічастинок – у конденсованому середовищі). Д. відбувається в напрямі зменшення концентрації частинок у речовині й призводить до їхнього рівномір. розподілу в займаному об'ємі (до вирівнювання хім. потенціалу). Можлива у газах, рідинах і твердих тілах, причому дифундують частинки як різних (гетеродифузія), так і однакових (самодифузія) елементів. Різницю між кількістю частинок, що перетинають певну площу в обох напрямках, прийнято називати дифузій. потоком. З місць із високою концентрацією рухається більше частинок, чим з низькою. В основі явищ Д. лежить єдиний механізм атомар. (молекулярного) переносу маси. Якщо в системі підтримується нерівномір. розподіл т-ри або на неї діють накладення тиску, перепади т-р, електр. струм чи неоднорідне електр. поле, то відповідно відбувається бародифузія, термодифузія, електродифузія (електроперенесення), у результаті яких устанавлюється нерівномір. розподіл концентрації. Для одномір. Д. в ідеал. розчинах за відсутності зовн. сил, відповідно до 1-го закону Фіка (відкритий 1855 нім. вченим А. Фіком), вектор щільності потоку частинок пропорційний і протилежний за напрямом градієнта їхньої концентрації. Коефіцієнт Д. (пропорційності) за Міжнар. системою одиниць – м²/сек.

За рівноваж. умов, тобто при постій. т-рі та ін. незмін. параметрах, найшвидше Д. відбувається в газах, найповільніше – у твердих тілах. Траєкторією руху кожної частинки у газах є ламана лінія, оскільки при зіткненнях вони змінюють напрям. Відповідно швидкість дифузій. проникнення менша від швидкості самих молекул. Кількість зіткнень збільшується пропорційно часу та з підвищенням т-ри, зменшується зі зниженням тиску й молекуляр. маси. Д. великих частинок (напр., диму або суспензії) здійснюється завдяки броунів. руху. В рідинах Д. відбувається перескакуванням молекул з одного стійкого положення в інший. Під час кожного стрибка молекула отримує енергію, яка достатня для розриву її зв'язків із сусід. молекулами й переходу в оточення ін. молекул у нове енергетично вигідне положення. Переміщення при такому стрибку не перевищує міжмолекуляр. відстані. У твердому тілі можуть діяти кілька механізмів Д.: обмін місцями атомів з вакансіями (незайнятими вузлами кристаліч. решітки), переміщення атомів міжвузля, одночасне

циклічне переміщення декількох атомів за краудіон. механізмом, міграція атомів дефектами кристаліч. решітки та ін. Збільшення кількості дефектів, що виникають при нагріванні, гартуванні, статич. та імпульс. деформаціях, бомбардуванні іонами та електронами й ін. впливах на метал, полегшує переміщення атомів у твердому тілі, підвищує швидкість Д. Дифузій. рух призводить до вирівнювання концентрації речовин у неоднорід. середовищі. Під час простої Д. молекули з малими розмірами (вода, метиловий спирт) й іони вільно переміщуються в напрямі градієнта їхнього хім. або електрохім. потенціалу. При обмеженій Д., коли мембрана клітини заряджена, спостерігається слабе проникнення в неї навіть заряджених частинок (напр., аніонів). Полегшена Д. молекул та іонів (напр., цукру й амінокислот) відбувається за допомогою ін. молекул – «переносників». Для орган. речовин також є суттєвою роль молекуляр. Д., зокрема для процесу полімеризації.

Д. має велике практичне значення. Нею в значній мірі визначають швидкість низки фіз.-хім. (адсорбції, десорбції, розчинення, кристалізації тощо) та вироб. (дублення шкір, фарбування тканин тощо) процесів. За допомогою Д. здійснюють [дифузійне зварювання](#), спікання порошків, хіміко-термічне оброблення металів (цементация, азотування, чорніння), нанесення покриттів зі спец. властивостями та з високою адгезією, металізацію поверхні (алітування, хромування, нікелювання) та ін. технології, призначені для поліпшення якості й створення спец. матеріалів. Дифузійні процеси лежать в основі переходу кисню з легенів у кров, а із крові в тканини; виведення продуктів травлення з кишечника; поглинання мінерал. елементів корінням рослин; генерування біоелектр. імпульсів нервовими й м'язовими клітинами. Найбільшу роль Д. відіграє в ядер. енергетиці. Поширення нейтронів у речовині подібне Д. у газах. Вони віддають власну енергію, яка набагато більша від енергії теплового руху частинок, середовищу й уповільнюються. При створенні ядер. реакторів теоретично й експериментально вивчено Д. нейтронів у різні середовища, зокрема визначено коефіцієнти Д. у воду, важку воду, берилій, графіт. Для спостереження видимих слідів іонізов. частинок застосовують дифузійну камеру.

Д. досліджують та використовують, здебільшого в побут. технологіях, з давніх часів. У період класич. фізики відкрито закони й описано низку явищ Д. Зокрема, 1748 франц. фізик Ж.-А. Нолле вперше спостерігав процес Д. розчинника з менш концентрованого розчину в більше концентрований (осмос); 1829 шотланд. хімік Т. Грегем довів, що швидкості Д. різних газів неоднакові; 1853–54 англ. фізики Дж.-П. Джоуль та В. Томсон (Кельвін) незалежно один від одного відкрили явище охолодження газу при його адіабатич. протіканні через пористу перегородку; 1856 нім. фізіолог К.-Ф.-В. Людвіг спостерігав термодифузю. Системат. вивчення дифузій. процесів почалося в 2-й пол. 19 ст. 1859 англ. фізик Дж.-К. Максвелл заклав основи статистич. механіки, що застосовують для опису явищ Д., 1866 розвинув теорію переносу в заг. вигляді й застосував її до процесів Д., теплопровідності й внутр. тертя, увів поняття «час релаксації»; 1860 нім. фізико-хімік Г.-Г. Магнус зробив висновок

про теплопровідність газів; 1872 швейцар. фізик Л. Дюфур відкрив зміну γ -ри при Д. газів через пористі перегородки, англ. фізик Л. Больцман вивів рівняння для ідеал. газу малої щільності; 1896 англ. фахівець у галузі металургії В. Робертс-Остин на парі золото–свинець експериментально довів існування Д. у твердому стані. На новому рівні Д. вивчають у період квантової механіки. 1922 нідерланд. фізик Г. Камерлінг-Оннес виявив особливий механізм переносу в рідкому гелії; 1924 нім. фізик В. Шоттки досліджував амбіполярну Д. слабоіонізов. плазми; 1925 угор. хімік і радіобіолог Д. Гевеши застосував мічені атоми в біології, відкривши новий метод вивчення Д.

Знач. внесок у дослідж. Д. зробили й укр. вчені, зокрема й заснованого 1928 Укр. фіз.-тех. інституту (нині ННЦ «Харків. фіз.-тех. інститут»). 1935 [В. Горський](#) виявив ефект висхід. Д.; 1963–70 [І. Ліфшиць](#), [А. Косевич](#) та [В. Сльозов](#) створили теорії дифузійно-дислокацій. стікання кристалів і дислокацій. механізму росту та заліковування пор і тріщин під навантаженням. У Харків. фіз.-тех. інституті також розроблено метод дисперсій. зміцнення, який застосовують для підвищення міцності матеріалів реакторобудування; на урані та його сплавах вивчено температурну залежність механізмів гальмування дислокацій і досліджено взаємодію дислокацій з домішковими центрами закріплення; розроблено методи й умови термомех. оброблення й легування урану, які дають можливість у широких межах керувати структурою металу, зокрема й здатністю до формозміни при радіац. та ін. видах впливу. 1960 вчені Інституту фізики НАНУ [В. Єременко](#) та В. Медведєв виконали порівняння спектрів збудження фотопровідності та люмінесценції зі спектром поглинання антрацену, що дало можливість встановити роль екситонів, визначити довжину дифузій. зміщення екситонів і носіїв заряду, що дифундують до освітленої поверхні. 1946 у відділі фізики напівпровідників (після приєднання 1960 відділу теор. фізики – Інститут фізики напівпровідників НАНУ) під керівництвом [В. Лашкарьова](#) вперше виявлено біполярну Д., 1948 висунуто заг. теорію фотоелектрорушій. сил і біполяр. Д. в напівпровідниках. У 1950-х рр. в Інституті металофізики НАНУ [А. Смирнов](#) зі своїми співробітниками розвинув теорії електронів провідності в упорядкованих сплавах, утворення канал. й тіньового ефектів, вакансій і Д. атомів у сплавах, С. Герцрікен з очолюваним ним відділом Д. дослідив Д. у метал. системах, механізм переносу речовини, зв'язок дифузій. процесів з виникненням та рухливістю дефектів кристаліч. структури металів і сплавів. Тут 1965–73 [Л. Лариков](#) і [В. Фальченко](#) вивчили вплив ступеня упорядкованості метал. систем на дифузійну рухливість атомів компонентів; 1965 Є. Нестеренко встановив, що формування упорядкованої структури може здійснюватися у декілька етапів. 1974 вчені Інституту металофізики [В. Мазанко](#), [Л. Лариков](#) і [В. Фальченко](#) спільно з вченими Інституту електрозварювання НАНУ [С. Гуревичем](#), [Г. Харченком](#) та [А. Ігнатенком](#) дослідили механізм і кінетику дифузій. процесів у твердій фазі під час зварювання та відкрили явище аномал. масоперенесення при імпульс. навантаженні (міграція атомів у твердій фазі зі швидкістю, що перевищує у 10^9 – 10^{15} разів дифузійну рухливість атомів у ізотерміч. умовах, і у 10^3 разів

– дифузійну рухливість у рідкому металі). У подальшому виявлено, що ініціювати надзвичайно прискорену Д. можуть різноманітні імпульсні впливи, зокрема вибух. навантаження, лазерне опромінювання, прокатування, деформування в імпульс. електромагніт. полях, ультразвук. ударне оброблення, газові розряди, що дають можливість створювати нові технології зварювання, оброблення та винайдення нових матеріалів.

Рекомендована література

1. Дубинин Г. Н. Диффузионное хромирование сплавов. Москва, 1947;
2. 1964;
3. Франк-Каменецкий Д. А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. Москва, 1947;
4. 1967;
5. 1987;
6. Кривоглазов М. О., Смирнов А. А. Теорія упорядкованих сплавів. К., 1958;
7. Герцрикен С. Д., Дехтяр И. Я. Диффузия в металлах и сплавах в твердой фазе. Москва, 1960;
8. Шьюмон П. Диффузия в твердых телах / Пер. с англ. Москва, 1966;
9. Бекурц К., Виртц К. Нейтронная физика / Пер. с англ. Москва, 1968;
10. Болтакс Б. И. Диффузия и точечные дефекты в полупроводниках. Ленинград, 1972;
11. Герцрикен Д. С., Мазанко В. Ф., Фальченко Ф. М. Импульсная обработка и массоперенос в металлах при низких температурах. К., 1991;
12. Мазанко В. Ф. и др. Диффузионные процессы в металлах под действием магнитных полей и импульсных деформаций. Москва, 2006. Т. 1–2;
13. Герцрикен Д. С., Тышкевич В. М. Тлеющий разряд и инертные газы в металлах. К., 2006.

Бібліографічний опис:

Дифузія / Д. С. Герцрікен, О. М. Корнієнко // Енциклопедія Сучасної України [Електронний ресурс] / Редкол.: І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк [та ін.]; НАН України, НТШ. – К. : Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2007. – Режим доступу: <https://esu.com.ua/article-24421>

2001-2024 © Ця енциклопедична стаття захищена авторським правом згідно з чинним законодавством України ([докладніше](#)).