

ІНСТИТУТ  
ФІЗИКИ  
КОНДЕНСОВАНИХ  
СИСТЕМ

ICMP-02-01U

ІЗИНГІВСЬКІ ЧИТАННЯ-2001  
(Львів, 19 квітня 2001 р.)  
ISING LECTURES-2001  
(Lviv, April 19, 2001)

УДК: 530.145

РАС: 05.50.+q; 05.70.Fh; 64.60.-i

ІЗИНГІВСЬКІ ЧИТАННЯ-2001 (Львів, 19 квітня 2001 р.)

за редакцією Юрія Головача

**Анотація.** Збірник містить матеріали лекцій прочитаних 19 квітня 2001 р. під час “Ізингівських читань” – щорічного семінару із фізики фазових переходів і критичних явищ. Читання проводяться у Львові починаючи з 1997 року Інститутом фізики конденсованих систем НАН України спільно з кафедрою теоретичної фізики Львівського національного університету імені Івана Франка.

ISING LECTURES-2001 (Lviv, April 19, 2001)

edited by Yuriy Holovatch

**Abstract.** Texts of the lectures given on April 19, 2001 in Lviv in the frames of the “Ising lectures” (a workshop on phase transitions and critical phenomena). The workshop is organized annually by the Institute for Condensed Matter Physics of the National Academy of Sciences of Ukraine and the Chair for Theoretical Physics of the Ivan Franko National University of Lviv).



Ernest Ising (10.05.1900 – 11.05.1998).

## ВСТУП

Починаючи з 1997 року Інститут фізики конденсованих систем НАН України спільно з кафедрою теоретичної фізики Львівського національного університету імені Івана Франка проводять щорічний семінар із фізики фазових переходів і критичних явищ — Ізингівські читання. Читання 2001 року виникли як результат односеместрових семінарських занять із студентами четвертого курсу фізичного факультету ЛНУ ім. Івана Франка. Під час семінарських занять студенти робили огляди нових публікацій в ділянці фазових переходів і критичних явищ. Причому розглядалися роботи як з фізики фазових переходів, так і ті, в яких досліджувалася критична поведінка економічних, біологічних систем, інші нетрадиційні задачі теорії критичних явищ.

Кращі із студентських оглядових доповідей були заслухані на Ізингівських читаннях 2001 року. Серед них: Економічний крах у жовтні 1987 року з точки зору фазових переходів: амплітуда і універсальність (Орест Гера); Екзотична статистична фізика: застосування до біології, медицини і економіки (Євгенія Сташкова); Фазовий перехід, універсальність та суперуніверсальність в еволюції смертності (Олена Бутрій); Співвідношення скейлінгу для різноманітності мов (Олег Фаренюк); Визначення критичних показників магнітного фазового переходу: криві Еррота (Уляна Бучко). Реферати деяких опрацьованих студентами статей подані в цьому збірнику.

Юрій Головач

Зміст

ВСТУП

- N. Vandewalle, Ph. Boveroux, A. Minguet, M. Ausloos. The crash of October 1987 seen as a phase transition: amplitude and universality. – *Physica A* 255 (1998) 201-210. (Укр. заголовок: Економічний крах у жовтні 1987 року з точки зору фазових переходів: амплітуда і універсальність) ( Орест Гера ) 2
- H. Eugene Stanley. Exotic statistical physics: application to biology, medicine, and economics. – *Physica A* 285 (2000) 1-17. (Укр. заголовок: Екзотична статистична фізика: застосування до біології, медицини та економіки (Євгенія Сташкова) 4
- M.A.F. Gomes, G.L. Vasconcelos, I.J. Tsang, I.R. Tsang. Scaling relations for diversity of languages. – *Physica A* 271 (1999) 489-495. (Укр. заголовок: Співвідношення скейлінгу для різноманітності мов) ( Олег Фаренюк ) 9
- G. D. Mukherjee et al. Critical exponent of NiFeV alloys for the ferromagnetic-paramagnetic phase transition. – *JMMM* 214 (2000) 185-194. (Укр. заголовок: Критичні показники фазового переходу феромагнетик–парамагнетик у сплавах NiFeV) ( Уляна Бучко ) 11

N. Vandewalle, Ph. Boveroux, A. Minguet, M. Ausloos. The crash of October 1987 seen as a phase transition: amplitude and universality. – *Physica A* 255 (1998) 201-210. (Укр. заголовок: Економічний крах у жовтні 1987 року з точки зору фазових переходів: амплітуда і універсальність)

Орест Гера

*Львівський національний університет ім. Івана Франка,  
кафедра теоретичної фізики  
79005, Україна, м. Львів, вул. Драгоманова, 12*

Економіка є складною системою, яка ще не повністю розкрита. Поведінка економіки визначається взаємодіями між фірмами і іншими економічними об'єктами. Це дає можливість проводити аналогію між термодинамікою спінових моделей і економічними взаємодіями. Але взаємодія між спінами є різною і не завжди одного знаку. Так спад виробництва однієї фірми може покращити роботу конкурента, але погіршити діяльність іншого підприємства. Ця взаємодія також може бути між підприємствами різних галузей і мати непрямий характер. Говориться: "Все залежить від усього іншого" [2,3]. Поки лишається невідома природа цих взаємодій, неможливо прорахувати вплив кожної фірми на іншу, тому приходиться працювати з усередненими даними. В економіці такими даними можуть бути біржові індекси. Найчастіше при аналізі стану світової економіки розглядаються такі біржові індекси: Dow Jones Industrial Average (DJIA), Standard & Poor 500 (S&P500), DAX 30, TORONTO, NASDAQ, NIKKEI та інші.

Індекс Dow Jones Industrial Average (DJIA) є одним із показників поведінки американського ринку цінних паперів. Цей показник базується на вартості акцій 30 фіксованих підприємств, якими торгують на Нью-Йоркській біржі. Коли цей індекс був вперше опублікований у травні 1896 року, список DJIA складався лише з 12 підприємств.

З допомогою DJIA можна аналізувати світову економіку, оскільки цей список складається з 30 найбільших американських підприємств, які мають великий вплив на всіх континентах. Сюди входять Microsoft Corp., Intel Corp., Coca-Cola Co., Boeing Co. і інші.

Індекс Standard & Poor 500 (S&P500) також базується на Нью-Йоркській біржі, але крім 30 найбільших підприємств сюди включені інші, і загальний список налічує 500 підприємств.

Можливість прогнозування біржових індексів має важливе значення для економіки. Знаючи динаміку цих індексів можна оцінювати рівень цін, курси обміну іноземних валют і інше [2].

Економічний крах можна розглянути з точки зору класичного фазового переходу [1]. Існують роботи в яких проводиться аналогія між поведінкою біржового індексу в часі та залежністю теплоємності від температури при фазовому переході. В околі температури фазового переходу теплоємність можна записати в такому вигляді:

$$C = \begin{cases} \frac{A}{\alpha}(t_c - t)^{-\alpha} + C_{mf}(t) + C_{bg}(t) & \text{для } t < t_c, \\ \frac{A'}{\alpha'}(t_c - t)^{-\alpha'} + C'_{mf}(t) + C_{bg}(t) & \text{для } t > t_c, \end{cases} \quad (1)$$

де  $C_{bg}(t)$  – фоновий доданок, і  $C_{mf}(t)$  визначає вплив середнього поля.

Теплоємність схематично зображена на рис. 1. Фонове значення  $C_{bg}(t)$  (крива з точок) в цьому випадку експоненційне, але може мати іншу просту аналітичну форму. Вклад середнього поля  $C_{mf}(t)$  зображений пунктирною лінією.

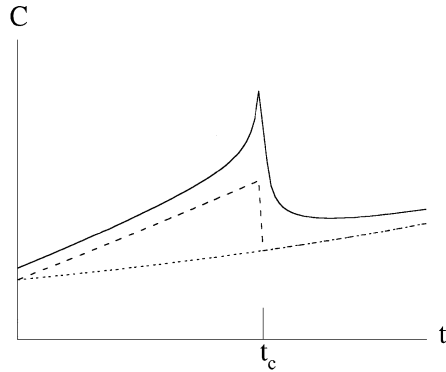


Рис. 1. Схематичне зображення теплоємності (суцільна крива) в околі фазового переходу при  $t_c$  [1].

Розглядається розбіжність теплоємності, оскільки вона безпосередньо пов'язана з внутрішнім безладом, тобто зміною ентропії:

$$C = T \frac{\partial S}{\partial T}. \quad (2)$$

При аналізі економічних крахів добрим прикладом є так званий чорний понеділок 19 жовтня 1987, коли DJIA впав на 20%. Якщо

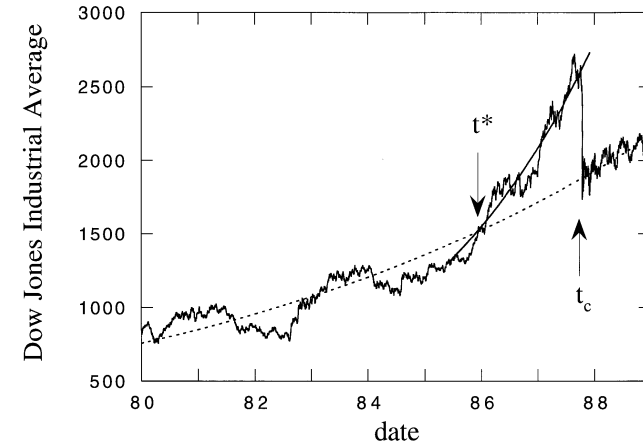


Рис. 2. Денна еволюція індексу Dow Jones Industrial Average від січня 1980 до грудня 1988. Пунктирна крива зображає експоненційний фон з коефіцієнтом  $r \approx 0.1 \text{ рік}^{-1}$ , суцільна крива зображає “аномальний” зріст з  $r \approx 0.3 \text{ рік}^{-1}$  за період від  $t^*$  до  $t_c$  [1].

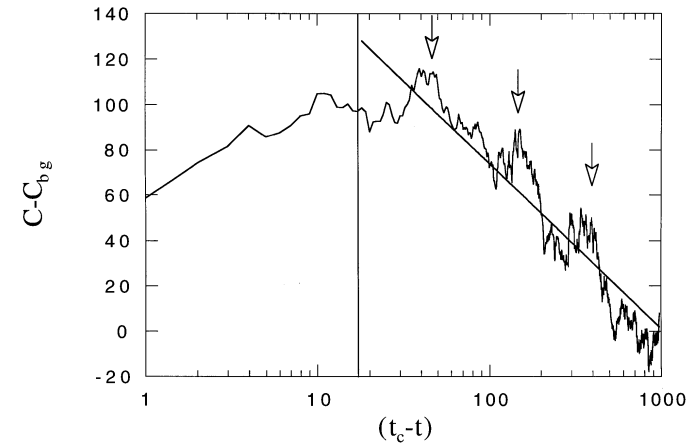


Рис. 3. Індекс S&P500 зображений у вигляді  $C - C_{bg}$  як функція  $t_c - t$  у напівлогарифмічній шкалі за період між 01.01.1984 і 19.10.1987. Суцільна крива зображає логарифмічну розбіжність. Стрілками позначено максимуми осциляцій індексу з логарифмічним періодом [1].

розглянути поведінку DJIA в околі цього періоду рис. 2, можна помітити схожість з поведінкою теплоємності в околі фазового переходу рис. 1.

Якщо крах передбачуваний, тоді можна прогнозувати амплітуду цієї події  $\Delta C$ . Ця задача зводиться до виділення справжнього фонового значення  $C_{bg}$  в індексі  $C$ . Величина  $C_{bg}$  відповідає “природній” еволюції біржі за межами “аномального” зросту. Можна вважати, що природна еволюція фінансових індексів непогано описується експонентою [1, 2]:

$$C_{bg} = a \exp(rt). \quad (3)$$

Якщо розрахувати  $C_{bg}$  на основі даних від 1980 року до  $t^*$ , можна прогнозувати величину обвалу. Теоретичні дані виявились близькими до експериментальних для американських фінансових індексів і дуже завищені для ринку Азії. Це можна пояснити тим, що основний біржовий крах був в Америці, а спад на ринках Азії зумовлений впливом великих американських підприємств. В нових роботах розглядаються кореляційні функції між різними біржовими індексами [3].

Дослідження показали, що амплітуда економічного краху в відсотках виявилась не універсальною для різних фінансових індексів. Універсальною величиною виявився критичний індекс. На рис. 3 зображено в напівлогарифмічній шкалі відхилення біржового індексу S&P500 від нормального фонового значення в околі критичної точки. Аналогічний вигляд мають інші фінансові показники. Розбіжність виявилась логарифмічна, тобто  $\alpha = 0$ . В попередніх роботах наводились інші значення критичного індексу, це пов'язано з різними способами врахування фонового значення. На даний момент найбільш вірогідним є існування логарифмічної розбіжності. Ця розбіжність спостерігається в періоді від 4 років до  $t_c$  до 2–3 тижнів!

Також цікавим є наявність осциляцій з змінною частотою, які відмічені на рис. 3 стрілками. Частота зростає при наближенні до критичної точки. В результаті можна записати емпіричний закон поведінки фінансових індексів перед економічним крахом:

$$C - C_{bg} = C - ae^{rt} \approx A + B \ln(t - t_c)[1 + D \cos(\omega \ln(t - t_c) + \phi)]. \quad (4)$$

## Література

1. N. Vandewalle, Ph. Boveroux, A. Minguet, M. Ausloos. The crash of October 1987 seen as a phase transition: amplitude and universality. // Physica A 255 (1998) 201-210.

2. H.E. Stanley, L.A.N. Amaral, D. Canning, P. Gopikrishnan, Y. Lee, Y. Liu. Econophysics: Can physicists contribute to the science of economics? // Physica A 269 (1999) 156-169.
3. H. Eugene Stanley. Exotic statistical physics: Application to biology, medicine, and economics. // Physica A 285 (2000) 1-17.

**H. Eugene Stanley. Exotic statistical physics: application to biology, medicine, and economics. – Physica A 285 (2000) 1-17.**

**(Укр. заголовок: Екзотична статистична фізика: застосування до біології, медицини та економіки)**

**Євгенія Сташкова**

*Львівський національний університет ім. Івана Франка,  
кафедра теоретичної фізики  
79005, Україна, м. Львів, вул. Драгоманова, 12*

- **Некодовані ДНК**

Дуже цікавим предметом вивчення для фізики є людські ДНК. Відомо, що всі живі клітини зазнають поділу, в той час як молекули ДНК відтворюють себе цілком. Але приблизно 95 % всіх ДНК людини не мають ніякого помітного значення в процесі передачі генетичної інформації, - це так звані “порожні” ДНК.

Одне з практичних завдань фізики - розрізнити кодовані і некодовані сегменти молекули ДНК. Якщо нам вдасться розрізнити “порожні” і кодовані частини, ми зможемо просунутись в напрямку боротьби з такими хворобами як рак, хвороба Альцгеймера, серцеві хвороби. Також цікавим є питання власне існування і функції некодованих частин ДНК.

- **Розділення сегментів ДНК**

Відомо, що молекула ДНК складається з двох типів базових пар: цитозин-гімін та аденін-гуанін. Виявлено, що в некодованих частинах ДНК існує кореляція між її базовими парами, і ця кореляція задовільняє певні закони (які є дуже близькими до законів поведінки речовини у критичній точці). Але такі самі закони не діють у кодованій частині молекули ДНК. Отже ми можемо розрізнити кодовані і некодовані частини за кореляцією. Уявімо собі таку віртуальну “машину”, яка може рухатись по сегментах молекули і вимірювати кореляцію за допомогою певної змінної  $\alpha$  ( $\alpha = 0.5$  для кодованих (некорелюючих) базових пар і  $\alpha > 0.5$  для некодованих (корелюючих) частин ДНК). З рухом нашої машини по хромосомі кореляційний сигнал буде поглиблюватись, коли машина досягне кодованої частини ДНК.

- **Лінгвістичні ознаки некодованої ДНК**

В природі існує ще одна система, яка підкоряється таким самим законам кореляції, як некодована ДНК, це - мова. П'ятдесят років тому Зіпф (Zipf) аналізував частоту вжитку слів у великому друкованому тексті. Для побудови гістограми він порахував число появи кожного слова в тексті, розташував їх відповідно до частоти вжитку і вивів дані у логарифмічній шкалі. В результаті була отримана лінійна залежність, інколи її називають правилом Зіпа для текстів. Це правило вірне для багатьох різних мов.

Мантенда і його співробітники застосували технологію Зіпфа для аналізу некодованих ДНК, - де за “слово” вони прийняли сегменти з  $n = 6$  базовими парами. Проаналізувавши 4000 таких слів, вони отримали таку саму лінійну залежність як Зіпф (замінивши логарифмічну шкалу на напівлогарифмічну). З проведеного дослідження ще не випливає, що “порожні” ДНК це мова, а кодовані - ні. Але ми можемо вивчати ДНК, використовуючи такі ж самі статистичні методи, які ми застосовували при аналізі мови.

M.A.F. Gomes, G.L. Vasconcelos, I.J. Tsang,  
I.R. Tsang. Scaling relations for diversity of  
languages. – *Physica A* 271 (1999) 489-495.

(Укр. заголовок: Співвідношення  
скейлінгу для різноманітності мов)

Олег Фаренюк

Львівський національний університет ім. Івана Франка,  
кафедра теоретичної фізики  
79005, Україна, м. Львів, вул. Драгоманова, 12

Досліджувати різноманітність живих мов простіше, ніж, скажімо, різноманітність біологічних видів. Справді, припускається існування на Землі близько 13,6 млн. видів, з яких описано лише 1,7 млн. [2]. З іншого боку, різноманітність мов досліджена значно краще. Згідно [3, 4] існує 228 країн, в яких проживає приблизно 5000 етнічних груп, що розмовляють біля 6700-ма різними мовами.

В своїй роботі автори провели кількісний аналіз залежності різноманітності мов від площі і населення країн. Крім того, розглянуто розподіл розмірів груп носіїв мов.

Взагалі, концепція різноманітності виникає в біології, екології, теорії еволюції, теорії дифузійних явищ, теорії клітинних автоматів, теорії фракталів і явищах розпаду (зокрема розпаду атомного ядра).

При цьому часто мають місце відомі з теорії фазових переходів явища скейлінгу. Яскравий приклад, отриманий з екологічних даних та комп'ютерного моделювання – кількість видів (різноманітність)  $D$  в екосистемі площі  $A$  зростає як

$$D \sim A^z, \quad (1)$$

де  $z$  змінюється від 0.1 до 0.45 [6, 7]. Схожі явища спостерігаються і для різноманітності мов.

Розглянемо результати проведених досліджень. Вихідні дані було взято з тринадцятого видання Етнології, опублікованого в 1996 [4], де перелічено більш ніж 6700 мов, якими розмовляють в 228 країнах.

Всі країни розділено, в залежності від площі, на 12 груп (кошиків). Потім розраховано середню кількість мов, якими розмовляють в країнах кожного кошика – різноманітність мов  $D$ . Результати зображено на Рис. 1.

Як видно, дані добре вкладаються на лінію, що задається степе-

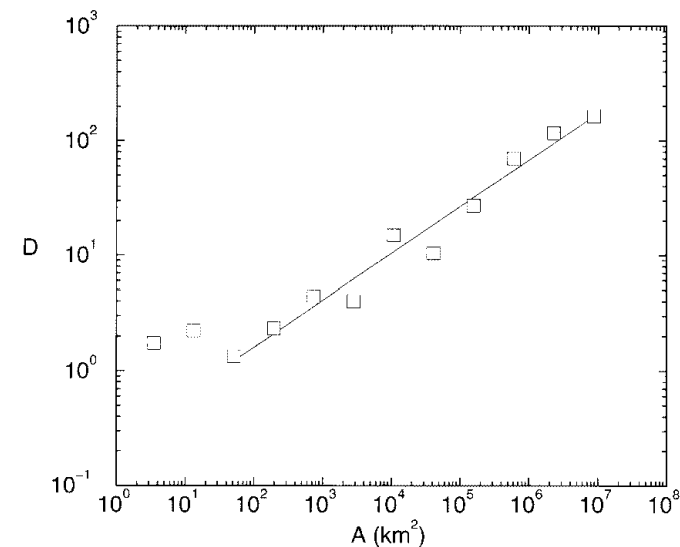


Рис. 1. Середня різноманітність мов, як функція площі. Прямая лінія – лінія найкращого співпадіння.

невим законом:

$$D \sim A^z, \quad (2)$$

де  $z = 0.41 \pm 0.03$  (див. також формулу (1)). Випадають із загальної залежності лише країни з площею, меншою за 30 км<sup>2</sup>. Тоді густина живих мов  $\rho_0 = D/A$  масштабується як

$$\rho_0 \sim A^{-0.59}, \quad (3)$$

звідки видно, що для великих територій характерна відносно менша різноманітність мов.

Також, досліджено залежність різноманітності мов від населення.

На Рис. 2 зображено залежність різноманітності  $D$  від середньої кількості населення в кожному кошику. Ця залежність відповідає степеневому закону:

$$D \sim N^\nu, \quad (4)$$

де  $\nu = 0.50 \pm 0.04$ .

Цікаво, що значення  $\nu = 1/2$  отримано також для динаміки розпаду і динаміки розвитку популяцій комах [8, 9].

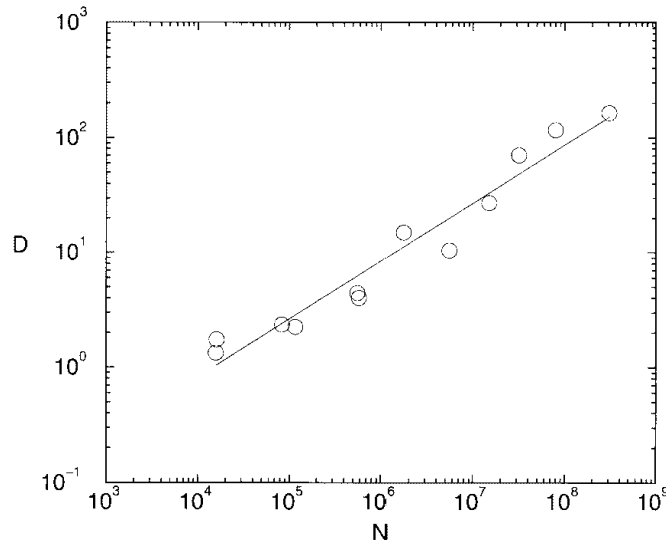


Рис. 2. Середня різноманітність мов як функція населення.

Рис. 2 також показує необхідність наявності хоча б  $\sim 15000$  мовців для збереження певної мови.

З (2) і (4) слідує така залежність населення від площі:

$$N \sim A^{\frac{z}{\nu}}; \quad \frac{z}{\nu} = 0.82. \quad (5)$$

Звичайно, цей результат можна отримати і безпосередньо. Інакше кажучи, густина населення на Землі  $\rho_N = N/A$  не постійна, а падає за законом  $\rho_N \sim A^{-0.18}$ , тобто великі країни відносно менше заселені, ніж малі.

Більше того, врахувавши, що  $A \sim L^2$ , де  $L$  – певний лінійний масштаб, з (5) слідує:

$$N \sim L^d, \quad (6)$$

де  $d = 2z/\nu = 1.64$ , вказуючи, що популяція людей розповсюджена по земній поверхні на фрактальній множині розмірності  $d = 1.64$ .

З рівняння (2) слідує також

$$D \sim L^\delta, \quad (7)$$

де  $\delta = 2z = 0.82$ , тобто живі мови розповсюджені на фрактальній множині з вимірністю, що близька до одиниці.

Цікаво також розглянути розподіл різноманітності мов між різними країнами.

На Рис. 3 показано кумулятивний розподіл різноманітності  $N(>D)$ , що є кількістю країн, різноманітність мов для яких більша за  $D$ .

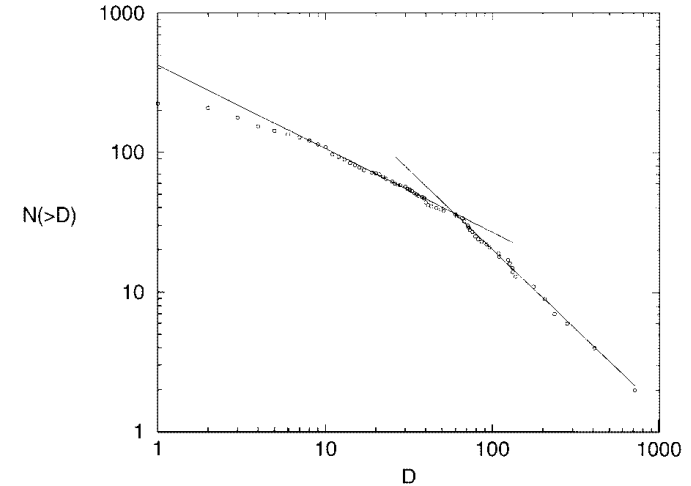


Рис. 3. Кількість країн з мовною різноманітністю, більшою за  $D$ , як функція  $D$ .

Видно, що  $N(>D)$  складається з двох степеневих законів:  $N(>D) \sim D^{-B}$  з  $B = 0.6$  для  $6 < d < 60$  і  $B = 1.1$  для  $60 < d < 700$  (кожен степеневий закон справджується в межах більше ніж порядку).

Одне із можливих пояснень наявності зламу для  $N(>D)$  полягає в складності збереження цілісності великих країн з великою мовною, а отже і етнічною різноманітністю. Тому такі країни мають тенденцію до розпаду на менші.

Цікаво, що розмір України є близьким до рівноважного.

Записані вище співвідношення скейлінгу отримані після засереднення за площею, населенням і різноманітністю. Щоб знайти точніші значення показників  $z$  і  $\nu$ , потрібно розрахувати різноманітність мов і населення в концентричних областях зростаючого радіуса подібно до відповідного методу статистичної фізики. Зробити це дуже складно, якщо взагалі можливо. Проте і дані, взяті з Етнології [4], теж дають досить високу статистичну надійність.

Досліджено також розподіл розмірів мов, що безпосередньо не пов'язаний з геополітичними кордонами.



На Рис. 4 наведено кумулятивний розподіл розмірів мов  $n(> N)$  – кількість мов з популяцією, більшою за  $N$ .

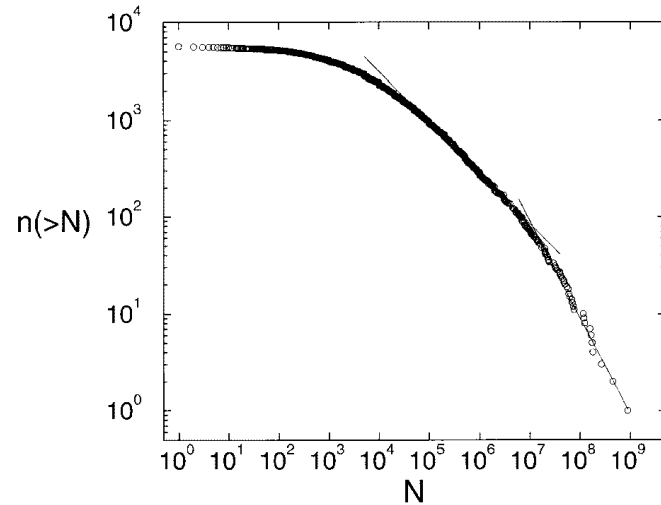


Рис. 4. Кількість мов з популяцією мовців, більшою за  $N$ , як функція  $N$ .

Тут теж видно складний степеневий закон зі зламами:

$$n(> N) \sim N^{-\tau}, \quad (8)$$

де  $\tau = 0.5$  для  $5 \cdot 10^4 < N < 6 \cdot 10^6$ ,  $\tau = 1.0$  для  $2 \cdot 10^7 < N < 1 \cdot 10^9$ . Варто відмітити справедливість кожного закону в ділянці, що перевищує більш ніж два порядки.

Відмінність  $\tau$  для великих і середніх мов може пояснюватися наявністю двох типів динаміки росту, що приводять до різних способів охоплення мовами території.

Щоб проілюструвати це, вводиться фрактальна розмірність  $D$  [5]:

$$n(> L) \sim L^{-D}, \quad (9)$$

де  $n(> L)$  – кількість мов, що займають регіон, лінійний розмір якого більший за  $L$ . З формул (6), (8), (9) отримується:

$$D = d\tau. \quad (10)$$

Отже, великі мови, для яких  $\tau = 1$ , заповнюють собою простір, тобто розповсюджені на множині, розмірність якої рівна розмірності множини популяції.

Менші ж мови розташовані “рідше” і заповнюють лише підмножину вимірності значно меншої, ніж  $d$  – вимірність множини популяції. Причому в цьому випадку  $D = \delta$ , тобто основний вклад у різноманітність мов дають малі і середні мови.

Ці результати підтверджують очевидний факт: мови з великою популяцією мовців сильно поширені, а малі мови в основному обмежені невеликими територіями (справді, більшість мов з  $\tau = 0.5$  обмежені однією країною).

Звичайно, всі наведені вище результати потребують подальшого аналізу і уточнення, але вже є дуже цікавими.

## Література

1. Gomes M.A.F., Vasconcelos G.L., Tsang I.J., Tsang I.R. Scaling relations for diversity of languages. // *Physica A*, 1999, vol. 271.
2. Blackmore S. // *Science*, 1996, vol. 274, p. 63.
3. Poyle R. // *Sci. Am.*, 1998, vol. 279, p. 19.
4. <http://www.sil.org/ethnologue>
5. Mandelbrot B.B. *The Fractal Geometry of Nature*. Freeman, New York, 1983.
6. Rosenzweig M.L. *Species Diversity in Space and Time*. Cambridge University Press, Cambridge, 1995.
7. Pelletier J.P. // *Phys. Rev. Lett.*, 1999, vol. 82, p. 1983.
8. Siemann E., Tilman P., Haarstad J. // *Nature*, 1996, vol. 380, p. 704.
9. Gomes M.A.F., Vasconcelos G.L., Adhikari S.K., Tsang I.J., Tsang I.R. – In: *Proceedings of the XV SITGES Euroconference Statistical Mechanics of Biocomplexity, Barcelona, June 1998*, p. 33-35.

**G. D. Mukherjee et al. Critical exponent of NiFeV alloys for the ferromagnetic-paramagnetic phase transition. – JMMM 214 (2000) 185-194.**  
**(Укр. заголовок: Критичні показники фазового переходу ферромагнетик–парамагнетик у сплавах NiFeV)**

**Уляна Бучко**

*Львівський національний університет ім. Івана Франка,  
кафедра теоретичної фізики  
79005, Україна, м. Львів, вул. Драгоманова, 12*

В цій роботі досліджувався фазовий перехід другого роду ферромагнетик–парамагнетик у сплавах NiFeV і знаходились критичні показники, що його характеризують. Було зроблено виміри сприйнятливості і намагніченості при різних магнітних полях і температурах в критичній області вище і нижче  $T_c$ .

Критична температура  $T_c$  визначається як така, нижче якої спонтанна намагніченість  $M_S \neq 0$  і вище якої  $M_S = 0$ . Для  $M_S$  визначають критичний показник  $\beta$ :

$$M_S = B|\epsilon|^\beta, \quad \text{для } T < T_c, \quad (1)$$

де  $\epsilon = \frac{T-T_c}{T_c}$ ,  $B$  - константа пропорційності (критична амплітуда).

Подібно, критичний показник  $\gamma$  знаходять з температурної залежності сприйнятливості  $\chi_0$  при нульовому полі:

$$\chi_0^{-1} = \Gamma^{-1}|\epsilon|^\gamma, \quad \text{для } T > T_c, \quad (2)$$

де  $\Gamma^{-1}$  - критична амплітуда.

З залежності намагніченості  $M$  від магнітного поля  $H$  при температурі переходу  $T = T_c$ :

$$M = \mathcal{D}H^{1/\delta} \quad (3)$$

отримують критичний показник  $\delta$ , ( $\delta = 1 + \gamma/\beta$ ).  $\mathcal{D}$  - критична амплітуда.

В даній роботі було побудовано залежність намагніченості  $M$  як функції поля  $H$  в певному температурному інтервалі в околі  $T_c$ . Ізотерми  $M(H)$  ще носять назву криві Еррота (Arrot plots, див. рис. 1).

Спонтанну намагніченість  $M_S$  і сприйнятливість  $\chi_0$  легко знайти з цих кривих. В наближенні середнього поля залежність  $M^2$  від  $H/M$  при сталій температурі описується лінійною функцією. Знайшовши точку перетину кривої Еррота з віссю  $M^2$  при  $T < T_c$ , отримують спонтанну намагніченість  $M_S^2$ , а точка перетину кривої Еррота з віссю  $H/M$  при  $T > T_c$ , дає сприйнятливість  $\chi_0^{-1}$ .

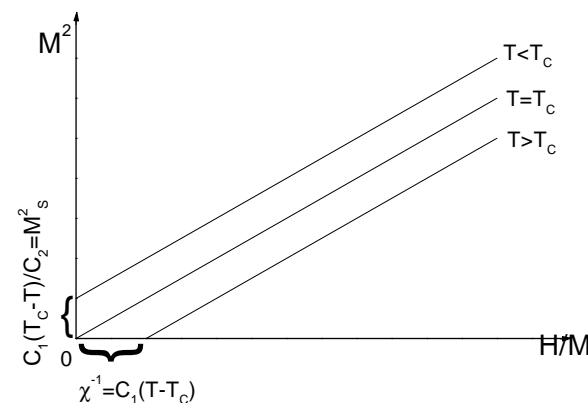


Рис. 1. Криві Еррота.

Розглянемо ці криві в теорії Ландау. Як відомо, вільна енергія має вигляд:

$$F(M, T) = F(T) + \frac{a}{2}(T - T_c)M^2 + \frac{b}{4}M^4 + \dots \quad (4)$$

Похідна за намагніченістю дає нам  $H$ :

$$\frac{\partial F(M, T)}{\partial M} = H, \quad (5)$$

$$H = H(M, T) = \frac{2a}{2}(T - T_c)M + \frac{4b}{4}M^3 = C_1(T - T_c)M + C_2M^3. \quad (6)$$

Друга похідна дає нам обернену сприйнятливість  $\chi^{-1}$ :

$$\frac{\partial^2 F(M, T)}{\partial M^2} = \chi^{-1} \quad (7)$$

або

$$\chi^{-1} = \left( \frac{\partial H}{\partial M} \right) = C_1(T - T_c) + 3C_2M^2. \quad (8)$$

Табл. 1. Експериментально виміряні значення критичних показників фазового переходу феромагнетик–парамагнетик у сплавах NiFeV. **1**:  $Ni_{77}Fe_7V_{16}$ ; **2**:  $Ni_{79}Fe_5V_{16}$ ; **3**:  $Ni_{78}Fe_4V_{18}$ .

	$\beta$	$\gamma$	$\delta$	$\Gamma^{-1}$	$B$	$\mathcal{D}$
<b>1</b>	$0.254 \pm 0.010$	$1.000 \pm 0.005$	$4.94 \pm 0.02$	4.90	21.16	7.25
<b>2</b>	$0.220 \pm 0.005$	$0.990 \pm 0.008$	$5.57 \pm 0.03$	4.28	12.59	5.75
<b>3</b>	$0.219 \pm 0.003$	$1.008 \pm 0.007$	$5.42 \pm 0.03$	3.31	11.18	5.29

Зробимо деякі перетворення:

$$\frac{H}{M} = C_1(T - T_c) + C_2 M^2, \quad (9)$$

$$C_2 M^2 = \frac{H}{M} - C_1(T - T_c), \quad (10)$$

$$M^2 = \frac{1}{C_2} \frac{H}{M} - \frac{C_1}{C_2}(T - T_c). \quad (11)$$

Отже, поклавши  $H/M = 0$  отримаємо таке значення спонтанної намагніченості  $M_S^2$ :

$$M_S^2 = \frac{C_1}{C_2}(T - T_c), \quad T < T_c \quad \text{див. рис. 1} \quad (12)$$

а поклавши  $M^2 = 0$  маємо значення оберненої сприйнятливості  $\chi^{-1}$ :

$$\chi^{-1} = \frac{H}{M} = C_1(T - T_c), \quad T > T_c \quad \text{див. рис. 1} \quad (13)$$

Таким чином, в даній роботі були отримані результати обчислення критичних показників та амплітуд для трьох зразків (див. таблицю).

Препринти Інституту фізики конденсованих систем НАН України розповсюджуються серед наукових та інформаційних установ. Вони також доступні по електронній комп'ютерній мережі на WWW-сервері інституту за адресою <http://www.icmp.lviv.ua/>

The preprints of the Institute for Condensed Matter Physics of the National Academy of Sciences of Ukraine are distributed to scientific and informational institutions. They also are available by computer network from Institute's WWW server (<http://www.icmp.lviv.ua/>)

ІЗИНГІВСЬКІ ЧИТАННЯ–2001 (Львів, 19 квітня 2001 р.)

Роботу отримано 19 лютого 2002 р.

Затверджено до друку Вченою радою ІФКС НАН України

Рекомендовано до друку семінаром ІФКС НАН України

Виготовлено при ІФКС НАН України

© Усі права застережені