Социофизика: обзор литературы

Ю.Л.Словохотов

Химический факультет МГУ, кафедра физической химии
Институт элементоорганических соединений РАН
slov@phys.chem.msu.ru

План доклада

1. Происхождение социофизики и области ее интересов
2. Проявления физических факторов в социуме
3. Основные направления современной социофизики
4. Наиболее развитые прикладные области:

(а) моделирование автомобильного и пешеходного движения

(б) crowd control

(в) сети социальных взаимодействий

(г) физическая политология

5. Некоторые практические приложения

Ю.Л.Словохотов. Физика и социофизика. Проблемы управления, 2012, №1, с.2–19, №2, с. 2–31, №3, в печати

Социальная система: совокупность N (>>1) взаимодействующих индивидов во внешней среде.

Экономика, политика, экология и т.д. = различные стороны («типы») взаимодействий в системе; все остальные взаимодействия – внешние

Число индивидов N: от ~10^3 (биржа, улей, фирма, дорожное движение)
до $7 \cdot 10^9$ (население Земли) и
~10^{12} (емкость «паутины»)

Характеристическое время δt: от неск. мин. (биржа) до 15–20 лет (смена поколений)

Социофизика: исследование, описание и моделирование коллективных процессов во всех видах социальных систем методами экспериментальной и теоретической физики

Гоббс: «Левиафан» (1651), Петти: «Политическая арифметика» (1680), Бернулли (1738), Гершель (1801), Лаплас (1812) и др.
Термин «социальная физика» - Кетле (Quetelet), 1835.

«Частица материи не может сказать нам, что она вовсе не чувствует потребности притягивания и отталкивания и что это неправда; человек же, который есть предмет истории, прямо говорит: я свободен и потому не подлежу законам»

Л.Н.Толстой, «Война и мир»

U.Garibaldi, E.Scalas. *Tolstoy's dream and the quest for statistical equillibrium in economics and social science*, в кн. G.Naldi, L.Pareschi, G.Toskani (Eds.), *Mathematical modeling of collective behavior in socio-economic and life sciences.* Springer, 2010

Происхождение социофизики

1. Теоретические модели (гидродинамика, неравновесная термодинамика, теория фазовых переходов, кинетика) и сложные физические системы (броуновские частицы, магнитные материалы, жидкие кристаллы, полимеры, автоколебания и автоволны и др.). Физическая химия.

2. Математические модели экономики, биологии, биофизики, экологии, демографии, социологии, истории и др.

3. «Социальная инженерия» (транспорт, городское хозяйство, эпидемиология, теория управления и др.). Военные науки.

4. Синергетика (с 1970-х г.г.): анализ и применение аналогий в моделях физически разнородных систем. Моделирование социальных процессов, типы решений и их устойчивость.

Некоторые книги на русском языке

Стенли Г. *Фазовые переходы и критические явления* (пер. с англ.) – М.: Мир, 1973.
Хакен Г. *Синергетика*, М., Мир, 1980.
Кравцов Ю.А. (ред.). *Пределы предсказуемости*. – М.: ЦентрКом, 1997.
Малишевский А.В. *Качественные модели в теории сложных систем*. – М.: Наука, Физматлит, 1998.
Плотинский Ю.М. *Модели социальных процессов*. Учебное пособие. 2-е изд. – М.: Логос, 2001.
Капица С.П. *Общая теория роста человечества*, – М.: Наука, 1999.
Вайдлих В. *Социодинамика. Системный подход к математическому моделированию в социальных науках*, М,. URSS, 2005.
Романовский М.Ю., Романовский Ю.М. *Введение в эконофизику. Статистические и динамические модели*. – М.: ИКИ, 2007.
Малинецкий Г.Г. *Математические основы синергетики*. – М.: ЛКИ, 2007.
Мантенья Р.Н., Стенли Г.Ю. *Введение в эконофизику. Корреляции и сложность в финансах* (пер. с англ.). – М.: URSS, 2009.
Чернавский Д.С. *Синергетика и информация: динамическая теория информации*. Изд.3, доп. – М.: ЛКИ, 2009. – 304 с.
Турчин П.В. *Историческая динамика. На пути к теоретической истории* (2-е изд.).М.: ЛКИ, 2010.

Каналы влияния физических факторов на социальные системы

1. Диссипативный характер глобальной подсистемы “человечество на Земле в историческом времени”.
   Физическая климатология, влияние погоды и климата на социальные процессы, математическая история.

2. Многочастичный характер социальных систем, аналогии их коллективной динамики с процессами в “неживых” многочастичных системах.
   Математическая экономика, эконофизика, социология, физическая политология и др.

3. Объективный характер процессов, определяющих человеческое сознание, их количественный анализ.
   Когнитивное планирование, информационное управление, физические модели культурологии и лингвистики.

Основные направления социофизики

1. Коллективное движение в социальных системах: машины и пешеходы (1D), crowd control (2D), рыбы и птицы (3D).

2. Сетевые социальные структуры, процессы в сетях.

3. Динамика финансовых операций, математические модели экономики, эконофизика.

4. Эволюция языков, математическая лингвистика.

5. Динамика популяций, демография, математическая история.

6. Моделирование социальных процессов, математическая социология.

7. Анализ и контроль общественного мнения, физическая политология.

Главная особенность социальных систем: точная динамика индивидуальных агентов НЕИЗВЕСТНА В ПРИНЦИПЕ

Некоторые книги и обзоры последних лет

S.Galam *Sociophysics: a physicist's modeling of psycho-political phenomena.* 2012, Springer, 536 p.

B.K.Chakrabarti, A.Chakraborti, A Chatterjee (Eds.), *Econophysics and Sociophysics: Trends and Perspectives*, Wiley-VCH, Berlin, 2006.

R.Mahnke, J.Kaupuzs, I.Lubashevsky, *Physics of Stochastic Processes. How Randomness Acts in Time*, Wiley-VCH, Berlin, 2008.

R.A.Meyers (Editor-in-chief), *Encyclopedia of Complexity and Systems Science*, Springer, 2009, 10370 стр., тематические разделы.

C.Castellano, S.Fortunato, V.Loreto, Statistical physics of social dynamics. *Rev. Mod. Phys*. 2009, **81**, 591.

D.Helbing, A.Johansson, *PLoS ONE*, 2010, 5, e12530, *http://www.plosone.org*

A.Chakraborti et al. Econophysics review. *Quant. Finance* 2011, **11**(7), p.991, p.1013

I.Lubashevsky, N.Plawinska, *ArXiv:0908.1217v*

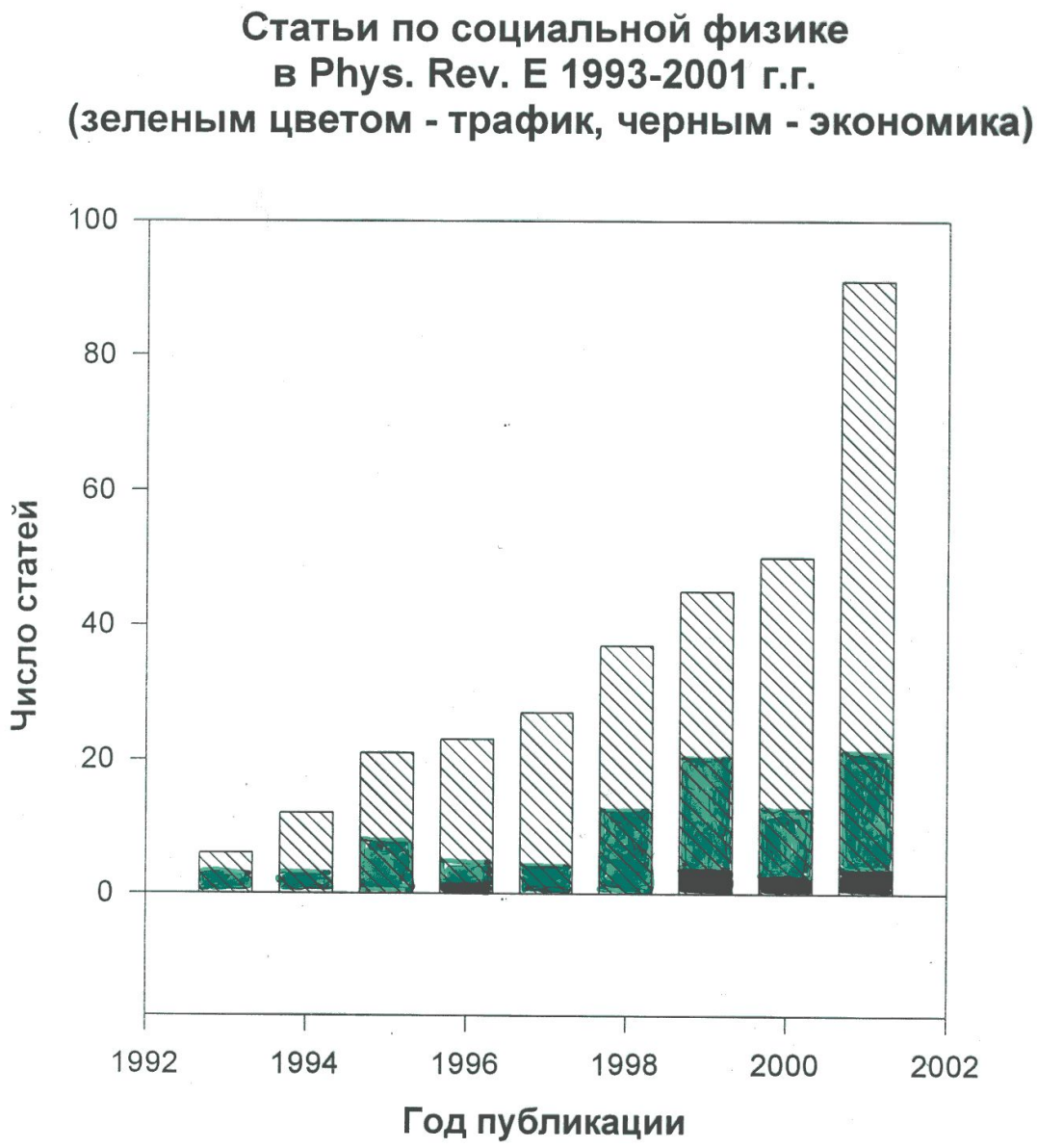
M.E.J.Newman, Complex systems: a survey *Amer. J. Phys.* 2011, **79**, 800–810; arXiv:1112.1440v1

Журналы с социофизической тематикой: *Physica A, Physical Review E, Complexity, Advances in Complex Systems, Quantitative Finance, PLoS One, Proc. Natl. Acad. Sci. USA (PNAS), J. Artific. Soc. Social Simul. (JASSS), …*

В РФ: книги серии «Синергетика», журналы *Успехи физических наук (УФН), Проблемы управления, Автоматика и телемеханика (АиТ), Компьютерные исследования и моделирование (КиМ), экономическая периодика*

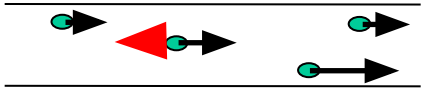
Dirk Helbing. Quantitative Sociodynamics: Stochastic Methods and Models of Social Interaction Processes, 2nd Edition, Springer, 2010

Introduction and Summary 1
1.1 Quantitative Models in the Social Sciences .. 2
1.1.1 The Logistic Model 2
1.1.2 Diffusion Models 3
1.1.3 The Gravity Model 3
1.1.4 The Game Theory. 3
1.1.5 Decision Models 5
1.1.6 Final Remark 6
1.2 How to Describe Social Processes in a Mathematical Way . . . 6
1.2.1 Statistical Physics and Stochastic Methods 7
1.2.2 Non-linear Dynamics 12
2 Dynamic Decision Behavior 17
2.1 Introduction 17
2.2 Modelling Dynamic Decision Behavior 18
2.2.1 Questioning Transitive Decisions and Homo Economicus 18
2.2.2 Probabilistic Decision Theories 20
2.2.3 Are Decisions Phase Transitions? 23
2.2.4 Fast and Slow Decisions 24
2.2.5 Complete and Incomplete Decisions 25
2.2.6 The Red-Bus-Blue-Bus Problem 26
2.2.7 The Freedom of Decision-Making 27
2.2.8 Master Equation Description of Dynamic Decision Behavior 27
2.2.9 Mean Field Approach and Boltzmann Equation 29
2.2.10 Specification of the Transition Rates of the Boltzmann Equation 30
2.3 Fields of Applications 32
2.3.1 The Logistic Equation 32
2.3.2 The Generalized Gravity Model and Its Application to Migration 32
2.3.3 Social Force Models and Opinion Formation 33
2.3.4 The Game-Dynamical Equations 35
2.3.5 Fashion Cycles and Deterministic Chaos 37
2.3.6 Polarization, Mass Psychology, and Self-Organized Behavioral Conventions 39
2.4 Summary and Outlook 41
References 41
Part I Stochastic Methods and Non-linear Dynamics
Overview 47
3 Master Equation in State Space 49
3.1 Introduction 49
3.2 Derivation 51
3.2.1 Derivation from the MARKOV Property 52
3.2.2 External Influences (Disturbances) 53
3.2.3 Internal Fluctuations 54
3.2.4 Derivation from Quantum Mechanics 57
3.3 Properties 64
3.3.1 Normalization 64
3.3.2 Non-negativity 65
3.3.3 The LIOUVILLE Representation 65
3.3.4 Eigenvalues 66
3.3.5 Convergence to the Stationary Solution 67
3.4 Solution Methods 68
3.4.1 Stationary Solution and Detailed Balance 68
3.4.2 Time-Dependent Solution 71
3.4.3 'Path Integral' Solution 72
3.5 Mean Value and Covariance Equations 79
4 BOLTZMANN-Like Equations 83
4.1 Introduction 83
4.2 Derivation 84

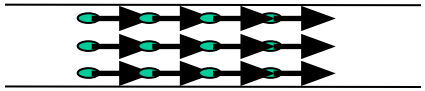


Phys. Rev. E, 2009 г., раздел Interdisciplinary Physics: ~ 180 статей и кратких сообщений, из них ~120 по сетям социальных взаимодействий

Движение в социальной системе: автомобильный трафик



Свободное движение (“газ”)



Стесненное движение:
congested movement→пробка

Характеристики потока q=ρ ⟨v⟩:

ρ (плотность), ⟨v(ρ)⟩, δv;

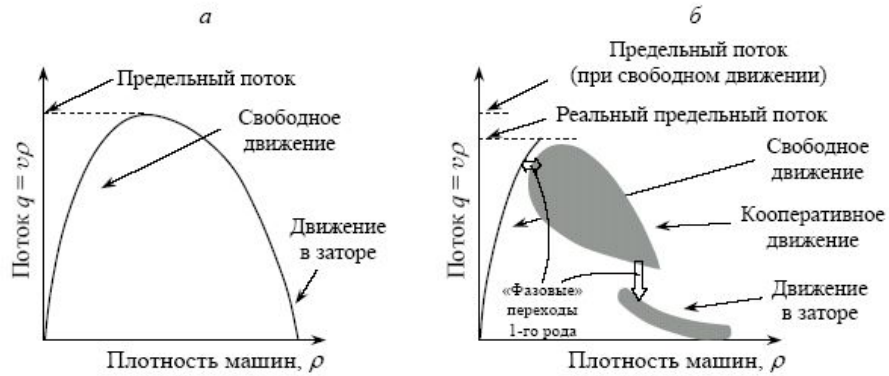
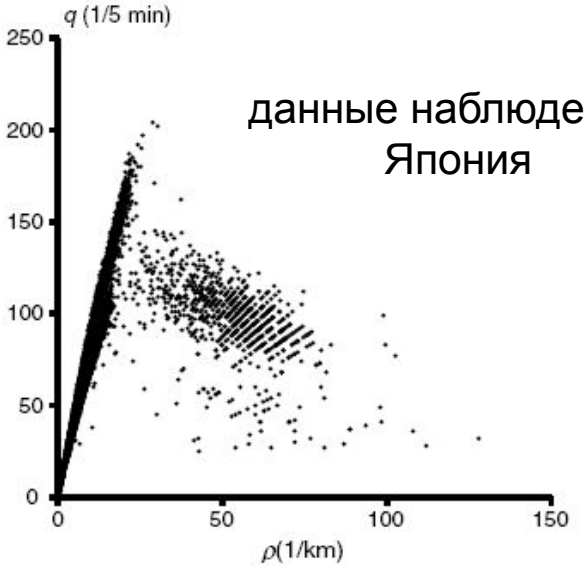


Рис. 1. Фундаментальная диаграмма (*а*) и фазовые состояния автотранспортного потока (*б*)



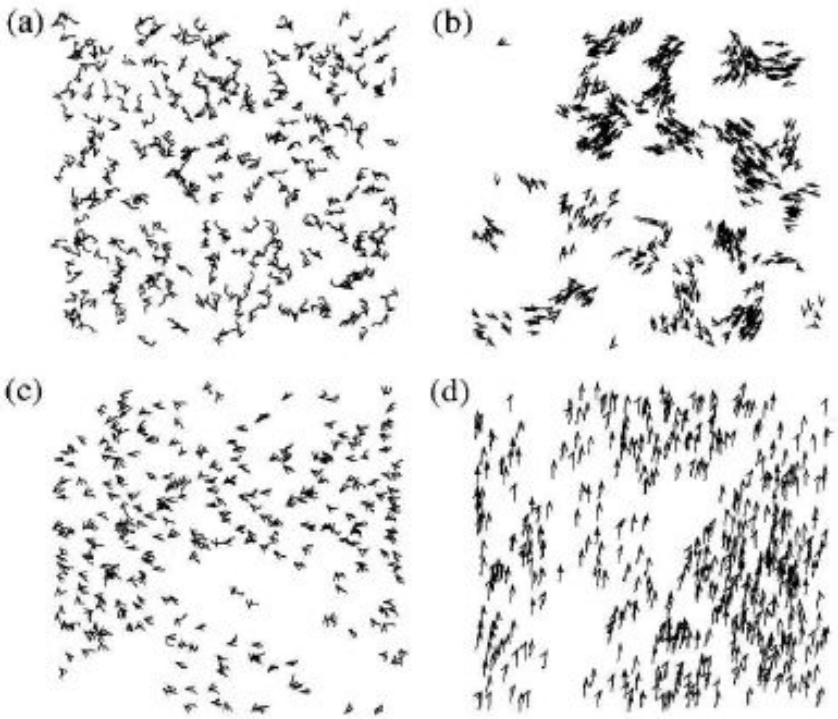
данные наблюдений, Япония

Y.Sugiyama et al., New J. Phys., **10** 033001 (2008)

И.А.Лубашевский, Н.Г.Гусейн-Заде, К.Г.Гарнисов, Труды ИОФАН, 2009, **65**, 50
И.А.Лубашевский. Физика систем с мотивацией и проблемы описания автотранспортных потоков (семинар ОТФ ФИАН, 2005 г.)

Особенности движения в системе «живых частиц»

C.W. Reynolds, Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model, Computer Graphics, 21(4) 25-34 (1987),
T.Vicsek, et al., *Phys. Rev. Lett.* 1995, **75**, 1226: аналог модели Изинга для перемещения частиц в 2D-решетке



$$\theta_i(t+1) = \langle \theta_j(t) \rangle_{\text{окружение}} + \eta$$

где θ_i – направление единичного вектора скорости частицы в ячейке

η – шум («температура»)

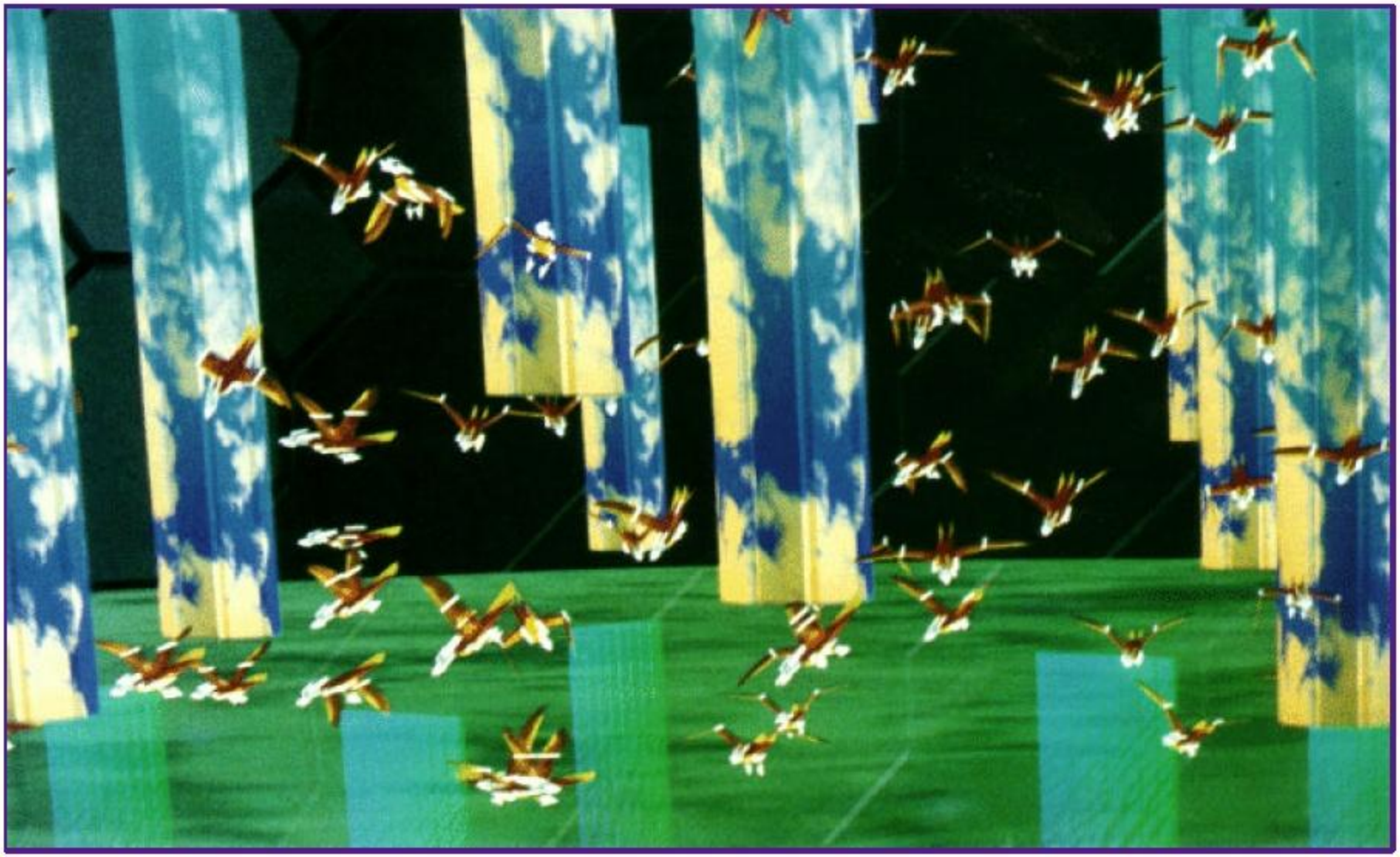
(a) исходное неупорядоченное движение

(b) низкая плотность и низкий шум: движущиеся «сгустки» частиц

(c) высокая плотность и высокий шум: частичная корреляция движения

(d) высокая плотность и низкий шум: согласованное движение

переход к согласованному движению (d) **ниже** критического уровня шума



C.W. Reynolds, Computer Graphics, 21(4) 25-34 (1987)

Движение пешеходов: «теория социального поля»

K.Levin, Field Theory in Social Science, Harper, NY, 1951

$$m_i d\mathbf{v}_i/dt = \mathbf{F}_i^{\text{инд}} + \mathbf{F}_i^{\text{общ}} + \boldsymbol{\eta}_i(t)$$

$$\mathbf{F}_i^{\text{инд}} = (m_i/\tau)(v_i^{(0)}\boldsymbol{e} - \mathbf{v}_i)$$

$$\mathbf{F}_i^{\text{общ.}} = -\sum_{\text{цели}} \mathbf{f}_{ik} + \sum_{\text{стены}} \mathbf{f}_{ip} + \sum_j \mathbf{f}_{ij}$$

«потенциал отталкивания» $Aexp[b(R_0-r)]$, где

r - расстояние до препятствия, R_0 - «радиус» агента

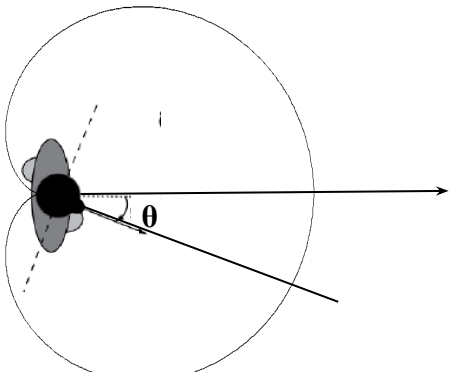
Наглядные проявления социального поля

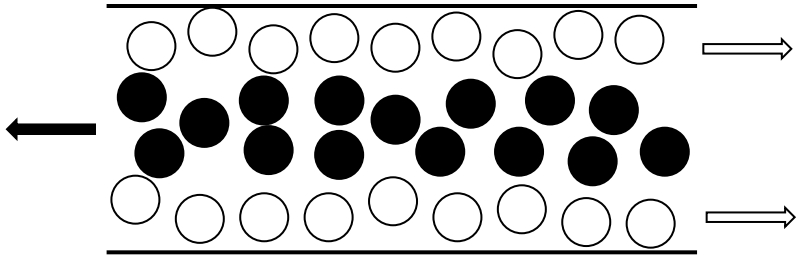
G.R.Cheng, Centre for Chaos and Complex Networks, City University of Hong Kong

T.Vicsek. Crowd control: a physicist's approach to collective human behaviour. EPS-12 (European Physical Society), Budapest 2002

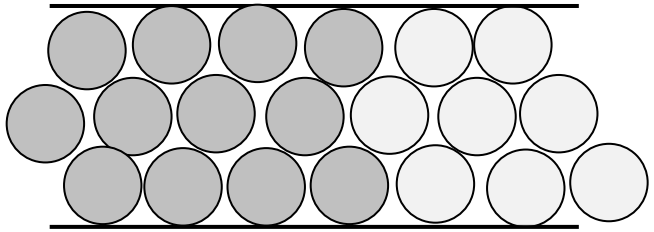
Результаты моделирования движения пешеходов (1990-е г.г.)

Угловая составляющая «потенциала пешехода» (анализ данных видео)

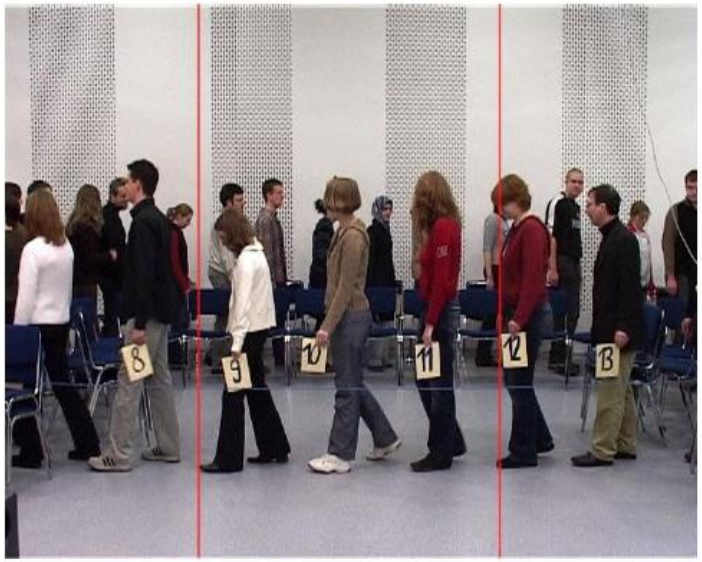




Расслоение встречных потоков, обтекание препятствий и др.



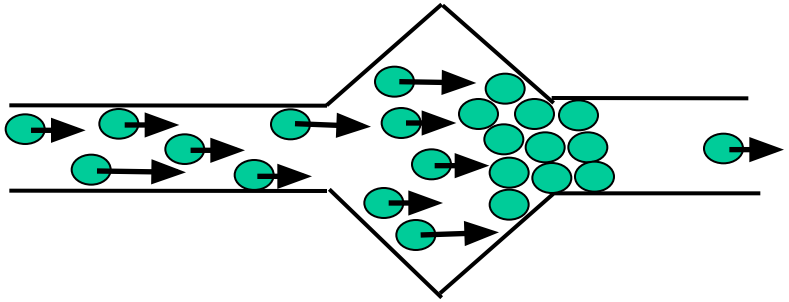
The fundamental diagram of pedestrian m



“Freezing by heating”

Helbing D., Molnar P. Social force model for pedestrian dynamics // Phys. Rev. E. – 1995. – Vol. 51, N 5. – P. 4282–4286

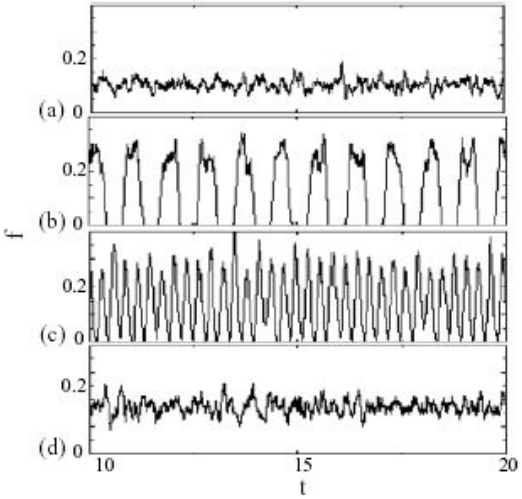
Стационарные состояния и переходы в социальных системах



D.Helbing, I.Farkas, T.Vicsek, *Nature*, **407**, 487-490 (2000): моделирование паники при массовой эвакуации

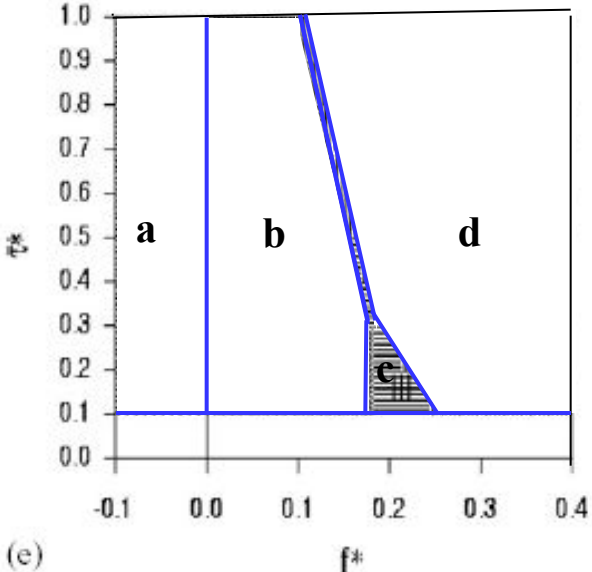
Crowd control

Z.Neda, A.Nikitin, T.Vicsek, **Synchronization of two-mode's oscillators: a new model for rhythmic applause and much more**, *Physica A*, 2003, **321**, 238



(a) слабые несинхронные
(b) синхронные
(c) быстрые синхронные
(d) сильные несинхронные аплодисменты (овация)

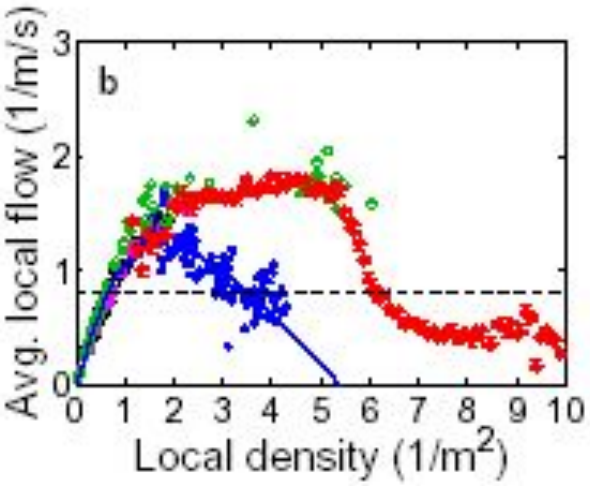
f* – «оптимальная» громкость,
τ* – стохастическое возмущение осциллятора



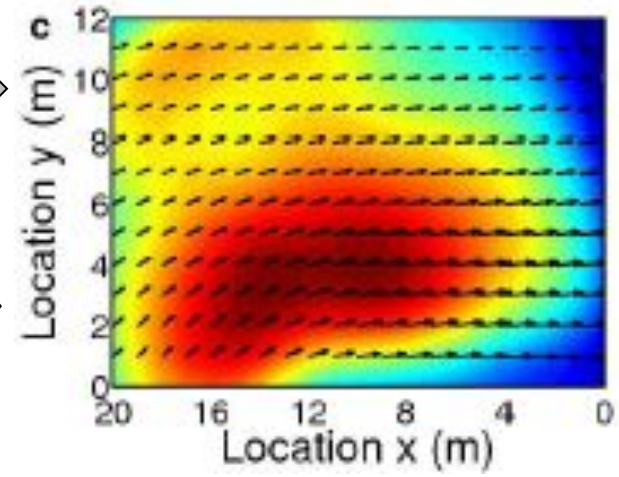
(e)

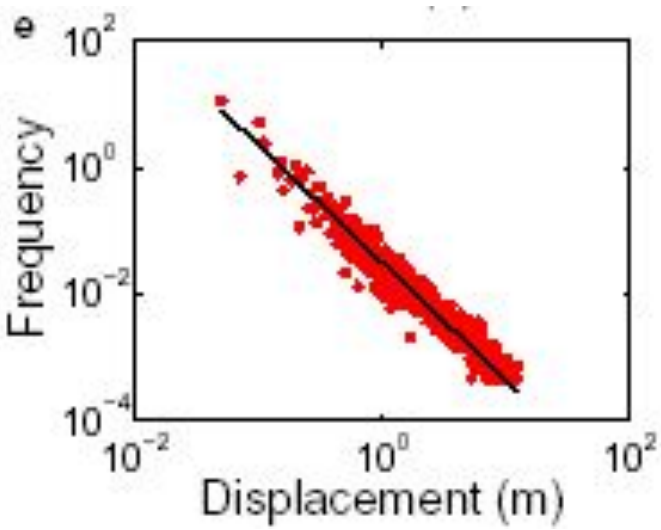
D.Helbing, A.Johansson, H.Z.Al-Abideen, The dynamics of crowd disasters: an empirical study, *Phys. Rev. E* 2007, **75**, 046109

анализ давки 12.01.06 на мосту Джамарат (Мина, Саудовская Аравия) по данным с камер видеонаблюдения



движение толпы

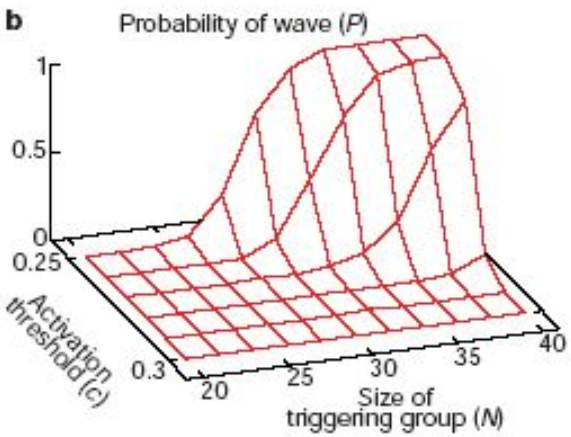




<u>Слева вверху</u>: фундаментальные диаграммы для движения паломников в Мине (красным) и обычного пешеходного движения (синим). <u>Справа вверху</u>: распределение давления в центре участка пролета моста; стрелки – средняя скорость. <u>Слева внизу</u> – частотности смещений людей в области «турбулентности» (давки) в двойных логарифмических координатах.

Инициирование коллективных действий

Аплодисменты: T.Neda, et al. *Nature*, **403**, 849 (2000), *Phys. Rev. E* **61**, 6987 (2000)



Farkas, D.Helbing, T.Vicsek, **Mexican wave in excitable media** *Nature* **419**, 131 (2002)

I.D.Couzin, et al., **Effective leadership and decision-making in animal groups on the move**. *Nature* 2005, **433**, 513: моделирования движения группы животных за лидерами

J.R.G. Dyer, et al., **Leadership, consensus decision making and collective behaviour in humans**. *Phil. Trans. Royal Soc. B* 2009, **364**, 781
Социологические эксперименты по инициированию коллективного движения группы неинформированных участников (100-200 чел.) небольшим числом анонимных лидеров (10-20 чел.), по-разному распределенных в группе. Показано, что 5% лидеров достаточно для инициирования движения толпы.

Корепанов В.О. Модели рефлексивного группового поведения и управления – М: ИПУ РАН , 2011

Сети социальных взаимодействий (выборочно)

Монографии и учебники:

1. M.Newman, A.-L.Barabasi, D.J.Watts (Eds.), *The Structure and Dynamics of Networks*, Princeton Univ. Press, 2006.
2. D.Helbing (Ed.), *Managing Complexity: Insights, Concepts, Applications*, Springer-Verlag, Berlin, 2008.
3. M.Newman, *Networks: An Introduction*, Oxford Univ. Press, Oxford, 2010
4. S.N.Dorogovtsev, *Lectures on Complex Networks*, Oxford University Press, 2010.
5 Д.А.Губанов, Д.А.Новиков, А.Г.Чхартишвили, *Социальные сети: модели информационного влияния, управления и противоборства*, М., Физматлит, 2010

Некоторые обзоры:

1. R.Albert, A.-L.Barabasi, Statistical mechanics of complex networks, *Rev. Mod. Phys.* 2002, **74**, 47-97;
2. M.E.J.Newman, The structure and function of complex networks, *SIAM Review*, 2003, **45**, 167-256
3. M.E.J.Newman, The physics of networks, *Physics Today* 2008, November, 33–38
4. S.N.Dorogovtsev, A.V.Goltsev, J.F.F.Mendes, Critical phenomena in complex networks, *ArXiv:*0705.0010v6 [cond.-mat.stat-mech] 16Nov 2007
5. E.J.Evans, Complex spatial networks in application, *Complexity*, 2010, **16**, 11
6. И.А.Евин, Введение в теорию сложных сетей, *КиМ*, 2010, **2**, 121-141

Д.А. Губанов, Д.А. Новиков, А.Г. Чхартишвили. *Социальные сети: модели информационного влияния, управления и противоборства*

«Онлайновые ***социальные сети*** помимо выполнения функции поддержки общения, обмена мнениями и получения информации их членами, в последнее время все чаще становятся объектами и средствами информационного управления и ареной информационного противоборства. В недалеком будущем они неизбежно станут существенным инструментом информационного влияния, в том числе с целью манипулирования личностью, социальными группами и обществом в целом, а также, наверное, полем информационных войн».

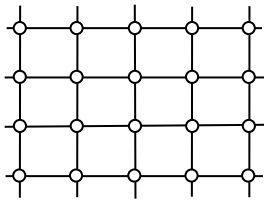
(из предисловия авторов)

Сети социальных взаимодействий (ССВ) – более широкое физическое понятие: это реальные структуры большинства социальных систем. Наличие связей между индивидами (узлами сети) «энергетически выгодно» для них или для системы в целом. Основные направления исследований ССВ в мире:

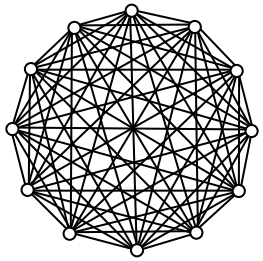
1. Определение структуры реальных ССВ, выявление ее ключевых фрагментов. Алгоритмы быстрого и эффективного поиска в сетях.
2. Моделирование процессов на сетях заданной структуры: «диффузия» (распространение эпидемий и др.), синхронизация узлов, каскадные процессы.
3. Устойчивость сетей к повреждениям, в т.ч. к атакам.

3а. «Фазовые переходы» ССВ с изменением структуры: условия существования сети и механизмы ее перестройки.

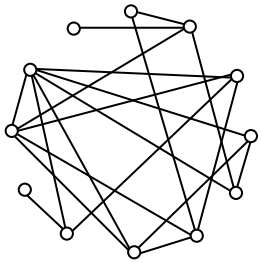
Фрагменты сложных сетей (complex networks)



регулярный граф

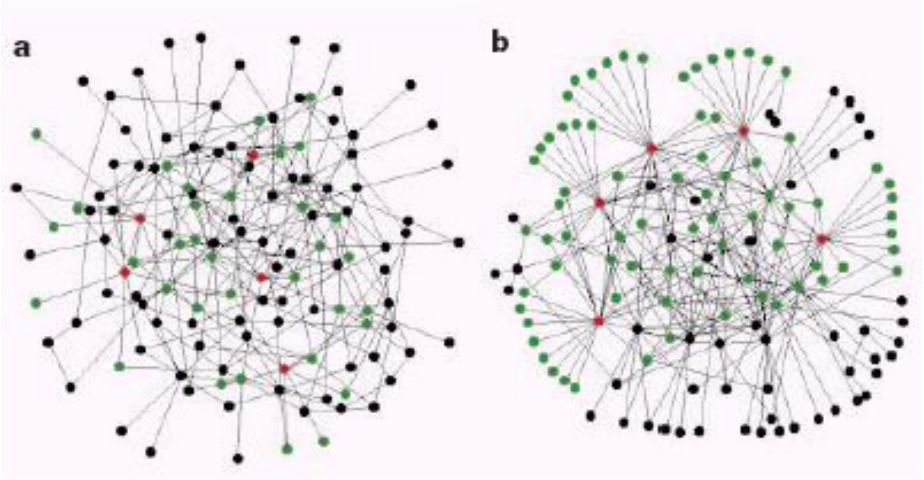


полный граф



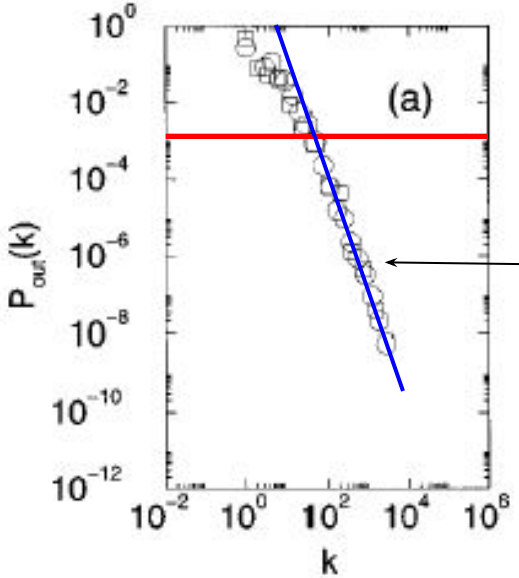
реализация случайного графа, полученного преобразованием регулярного графа:
(а) удаление ребер – графы Эрдеша-Реньи,
(б) rewiring – графы Строгаца –Уоттса
кратчайший путь **L~lnN** (N – число вершин)

«Растущие» графы Барабаши-Альберт и безмасштабные сети (**scale-free networks**)



(a) случайный граф, порядок вершин $\mathbf{P(k)\sim e^{-k}}$
(b) «растущий» граф, $\mathbf{P(k)\sim k^{-\alpha}}$
R. Albert, H. Jeong, A.-L. Barabasi, *Nature*, 2000, **406**, 378-381

порядок узлов WWW



менее 5% от всех узлов

L.A.N.Amaral, et al. *PNAS*, 2000, **97**, 11149: scale-free network на стадии роста («фазовый переход»).

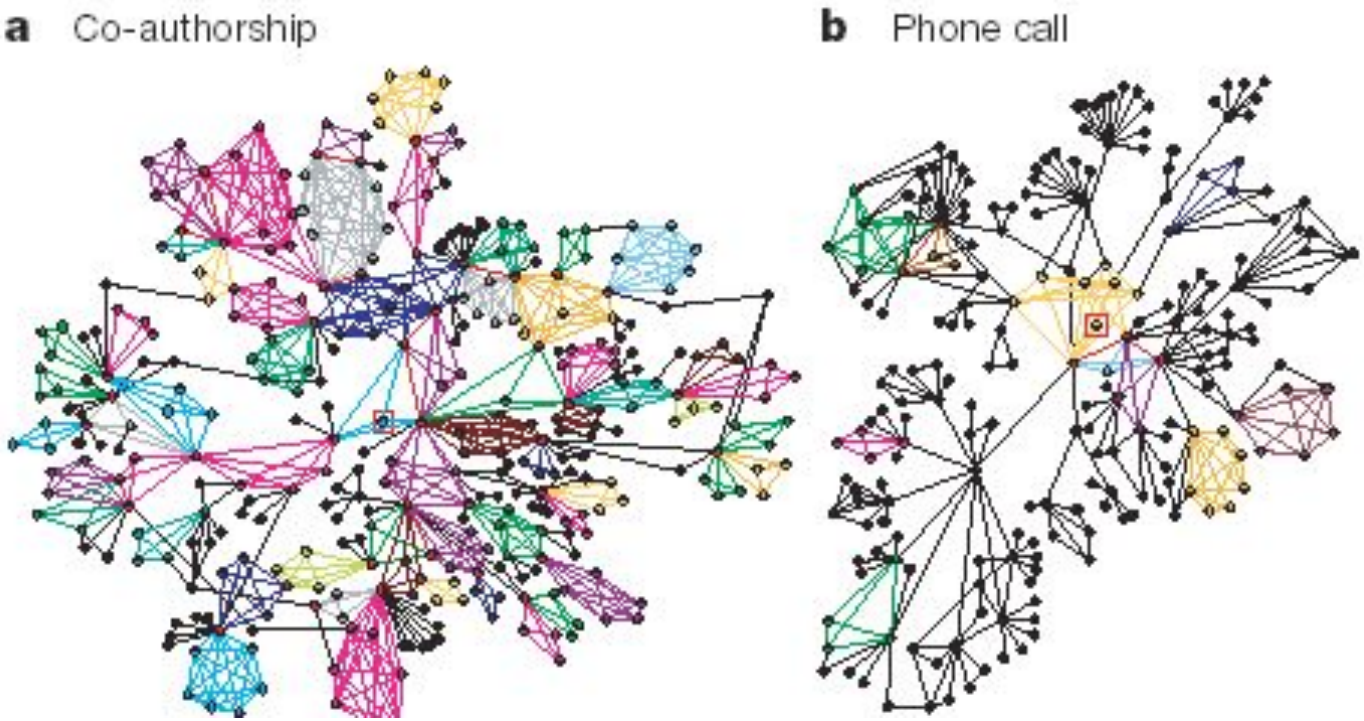
S.N.Dorogovtsev et al, Transition from small to large world in growing networks, *ArXiv:* 0709.3094v3 (2007)

Сети «тесного мира» (**small-world networks**): **L<lnN**

Реальные сети (**real-world networks**): фрагменты всех графов: «клики», «сообщества», «концентраторы» (hubs), деревья и др.

Географическая среда, направление и переменная «сила» связей

G.Palla, A-L.Barabasi, T.Vicsek, **Quantifying social group evolution**, *Nature*, **446**, 664 (2007)



M.E.J. Newman, **Detecting community structure in networks**, *Eur. Phys. J. B* 2004, 38, 321–330

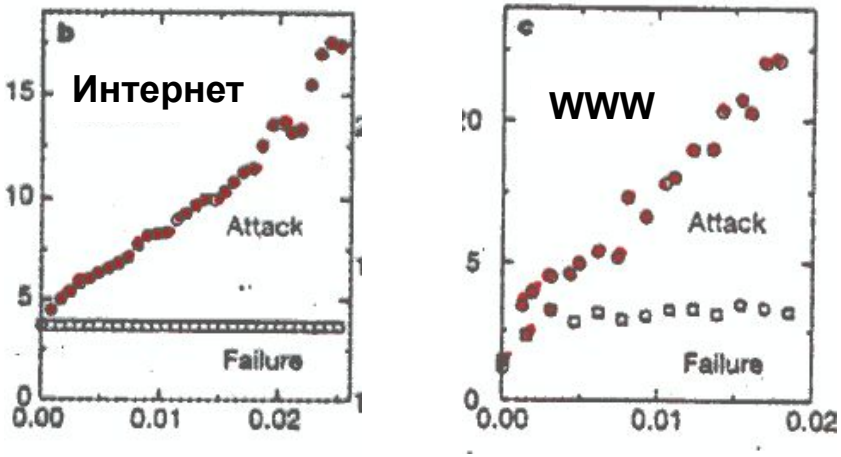
I.X.Y.Leung, et al., **Towards real-time community detection in large networks**, *Phys. Rev. E*, 2009, **79**, 066107.

L.Lu, T.Zhou, **Link prediction in complex networks: a survey**. *Physica A*, 2011, 390, 1150

N. Memon , U.K.Wiil (Eds.) **Mathematical methods for destabilizing terrorist activities**. – London: Springer, – 2011. – 300 p

Процессы в сетях и их устойчивость

R.Albert et al., *Nature*, **406**, 378 (2000)



Сети социального типа:
нет порога распространения эпидемий

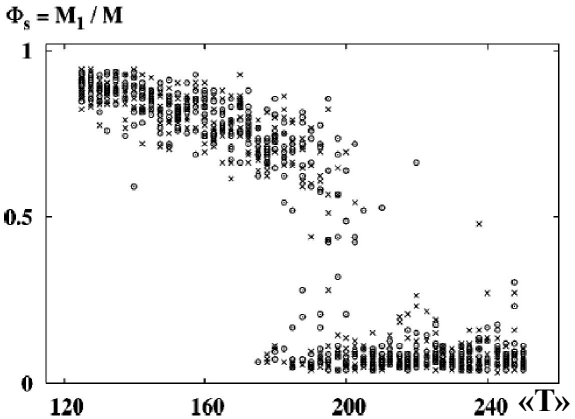
J. Gomez-Gardennes et al., *Phys. Rev. Lett*. 2007, **98**, 034101: синхронизация осцилляторов Курамото $d\theta_i/dt=\omega_i+J\sum a_{ij}\sin(\theta_j-\theta_i)$ (ω_i– частота, θ_i – фаза, J – сила связи, a_{ij} – эл-т матрицы смежности) для случайной и безмасштабной сетей

A.E.Motter,Y.-C.Lai, *Phys. Rev. E*, 2002, **66,** 065102: каскадные отключения в сети электростанций при перегрузке, уширение P(k) повышает устойчивость сети

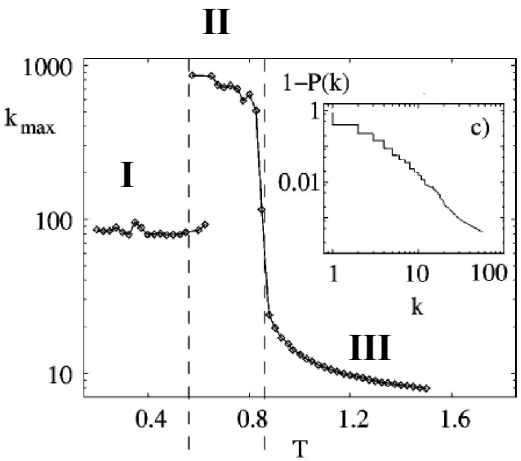
S.V.Buldyrev, et al., *Nature*, 2010, **464,** 1025: каскадные отключения в системе взаимосвязанных сетей (Италия, 2003), уширение P(k) **снижает** устойчивость

«Фазовые переходы» в сетях социальных взаимодействий

G.Palla, et al., **Statistical mechanics of topological phase transitions in networks** *Phys. Rev. E* **69**, 046117 (2004). Ребро (i,j) сети → выигрыш в энергии $-\varepsilon_{ij}$



Слева: распад гигантского кластера при повышении шума «T». Справа: фазы при $E=-\sum_i k_i \ln k_i$: I – полный граф, II – связный граф, III – фрагменты. Врезка – распределение P(k) в точке перехода II → III



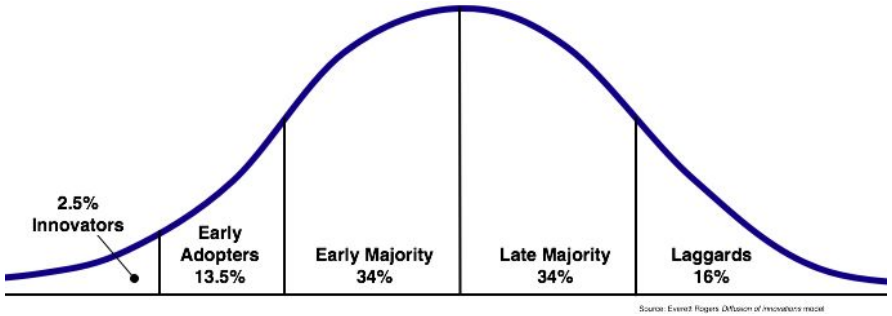
N.Kami, H.Ikeda, Topological transition in dynamic complex networks, *Phys. Rev. E*, 2009, **79**, 056112

J. Sienkiewicz, J.A.Holyst, Nonequilibrium phase transition due to isolation of communities, *Phys. Rev. E*, 2009, **80**, 036103

T.Vaz Martins, R.Toral, M.A.Santos, Divide and conquer: resonance induced by competitive interactions, *Eur. Phys. J. B* 2009, **67**, 329: решеточная модель Изинга с притяжением и отталкиванием соседних узлов. **«Divide and Conquer» refers to the fact that in order to force a society to adopt a new point of view, it helps to break its homogeneity by fostering enmities amongst its members».**

«Диффузия инноваций»

E.M.Rogers, Diffusion of Innovations, Free Press, N.Y., 1983

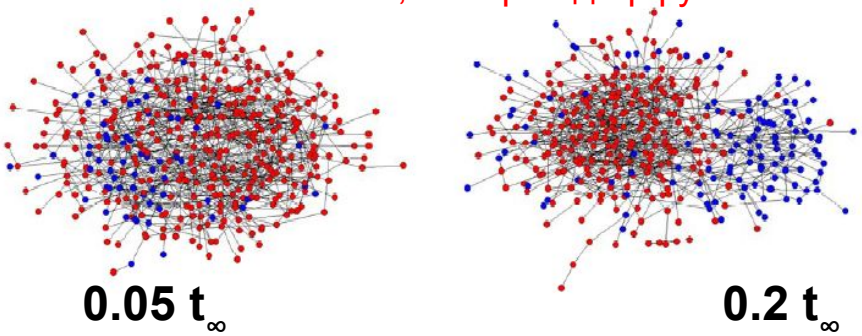


M.Handley, Dept. Epidemiology and Biostatistics, Univ. of California, San Francisco, USA

Методы насаждения инноваций:

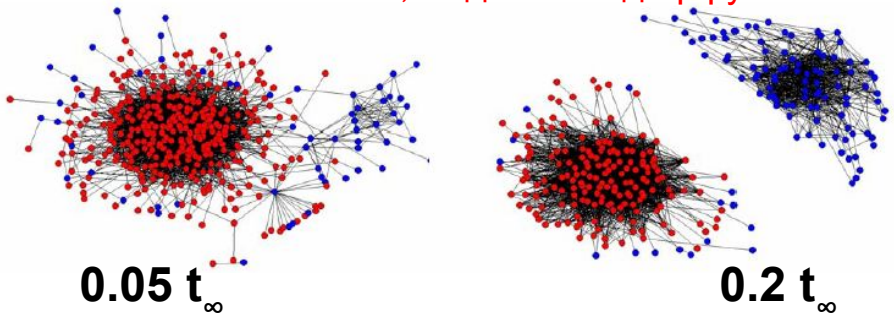
1. привлечение opinion leaders и власти
2. сети социальных связей, Интернет и т.д. (C.Shirkey, *Here Comes Everybody. The Power of Organizing Without Organization*, Penguin, 2008)
3. мобилизация прессы, молодежи, женщин, этнических меньшинств
   «Критическая масса»: выше 10-20% узлов диффузия становится необратимой
   ttp://rickwilsondmd.typepad.com/mandaeancrisis)

низкая связность, быстрая диффузия



M.Simoni et al., *1st Int. Conf. on Econ. Sciences with Heterogeneous Interacting Agents* (WEHIA 2006), http://www2.dse.unibo/it/wehia/ /paral_session.htm

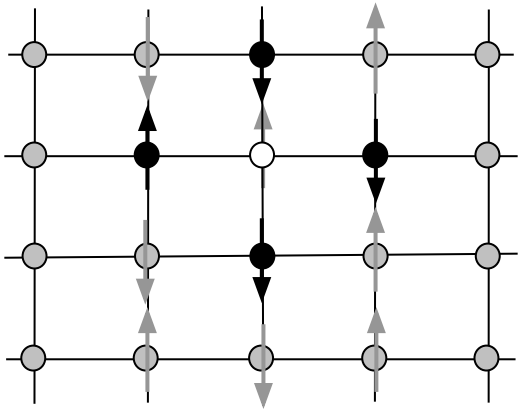
высокая связность, медленная диффузия

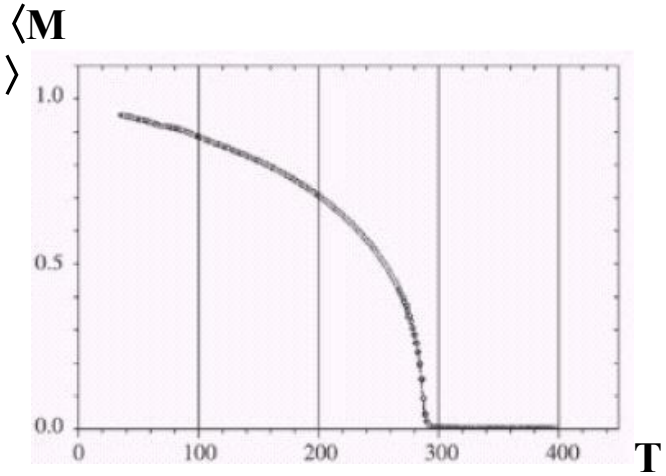


результаты численного моделирования диффузии в динамической сети: синие − инноваторы, красные − консерваторы

Динамика общественного мнения: модель Изинга

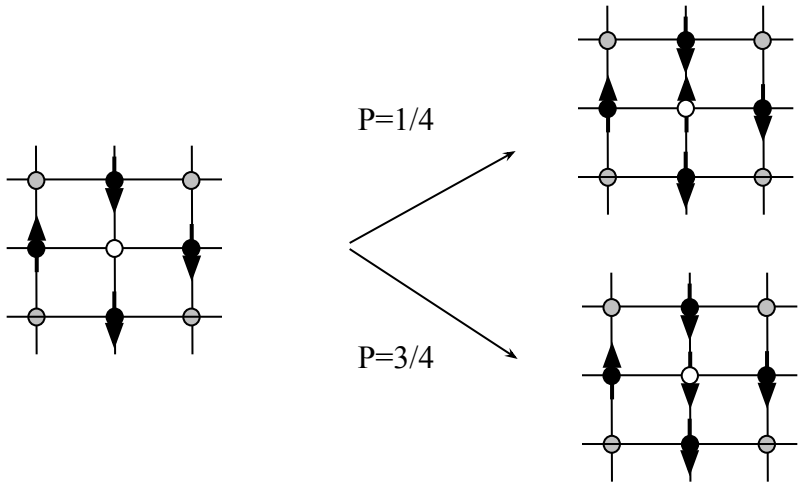
$$E_i = -\sum J s_i s_j - h s_i$$
$$\{s_i\} = \pm 1$$
$$P_i = [1 + \exp(\Delta E_i / kT)]^{-1}$$



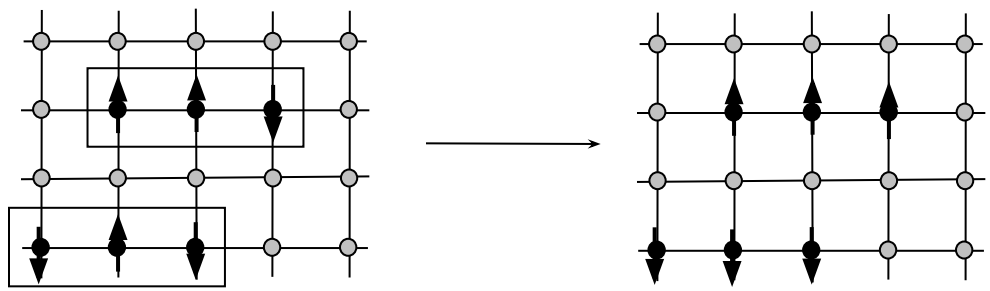


«спины» частиц в узлах решетки – мнения агентов («за / против»)
Усредненный магнитный момент ⟨M⟩ – «общественное мнение»,
T – «шум». Ниже критического уровня T_0 – «состояние консенсуса».

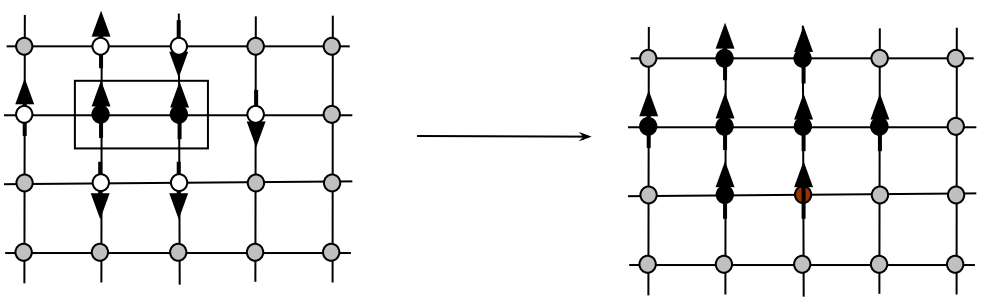
Динамика общественного мнения: другие модели



«Модель избирателя» (voter model)
Holley R., Liggett T.
Ann. Probab. 1975. **3**, N 4. 643



«Модель большинства»
(majority rule, S.Galam, 1986)

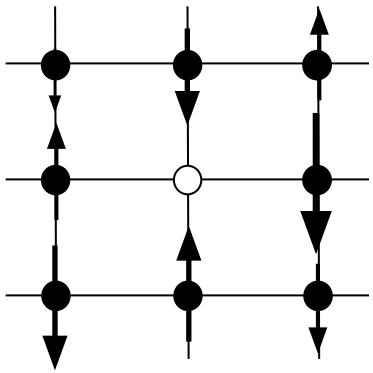


«Шнайдовская модель»
Sznajd-Weron K., Sznajd J.
Int. J. Mod. Phys. C. 2000, **11**(6), 1157

В основе всех моделей – случайное изменение мнения агента под воздействием окружения. В моделях обычно побеждает исходное мнение большинства; на сложных сетях возможны «метастабильные» области с поляризацией мнений. При введении «неуступчивых» агентов (inflexibles) побеждает исходное меньшинство. При равных концентрациях «неуступчивых» агентов или наличии «оппозиционных» агентов (contrarians) мнения разделяются пополам независимо от исходного распределения. «Аномальное» голосование: Буш – Гор (2000 г.), референдум Франция – ЕС (2005), «глобальное потепление» (S.Galam, Qual. Quan. J., 2007, 41, 579)

Динамика распространения мнений не зависит от их содержания.

Динамика общественного мнения: социальное поле



$$I_i = -\sum(\alpha_j - \beta_i)s_i s_j/d_{ij} + hs_i$$

α_j - «сила убеждения»,

β_i - «консерватизм»,

h - «поле пропаганды»

d_{ij} - «социальная дистанция»

social impact model (B.Latane, 1981)

Holyst J.A., et al. Ann. Rev. Comp. Phys. 2001 – V. 9 – P. 253–273

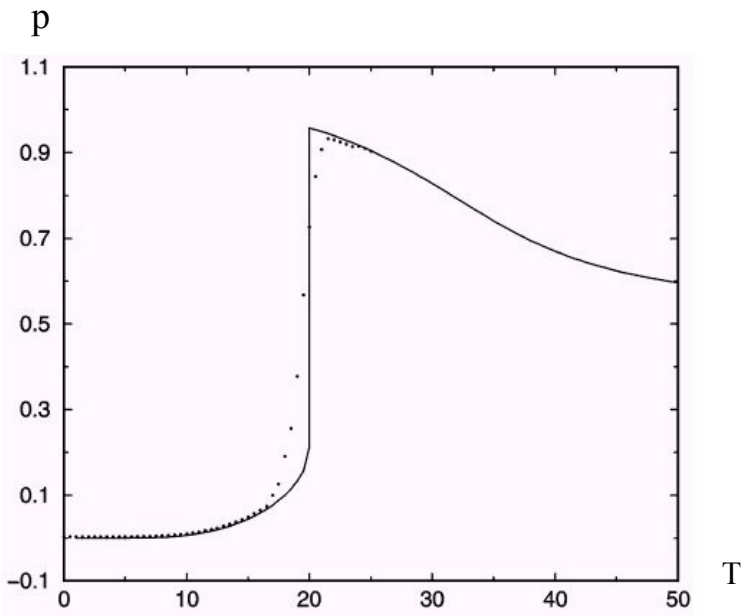
$$\mathbf{I_i = -S_L s_i + hs_i - \sum(\alpha_j s_i s_j/d_{ij}^{\gamma})}$$

где I_i - действие социального поля на i-го агента,

$S_L >> \alpha_i s_i$ - мнение оппозиционного лидера

p - доля агентов, принявших мнение лидера (sign s_i = sign S_L),

T - уровень шума («температура»)



При возрастании неопределенности побеждает оппозиция

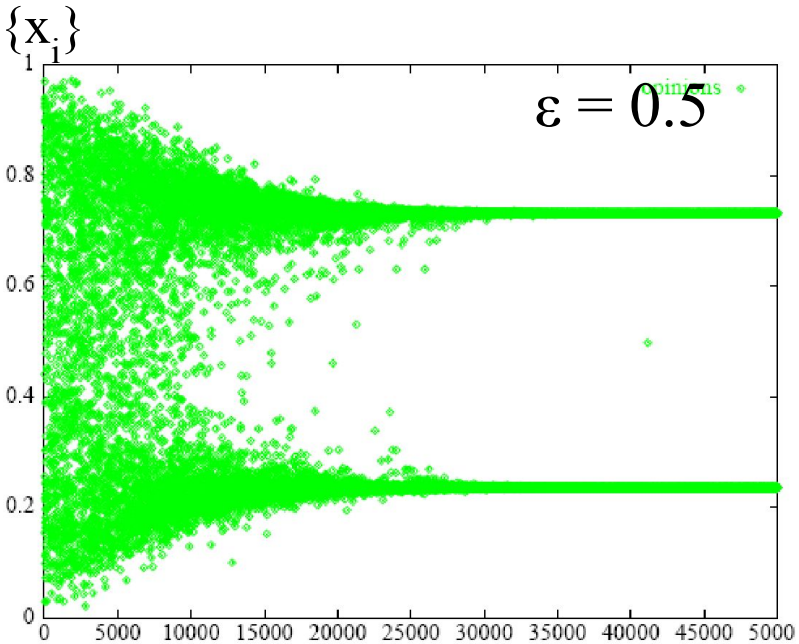
«k-Значная» переменная мнения – модели культурологии
Axelrod R. The dissemination of culture: a model with local convergence and global polarization, // J. Conflict Resolution. – 1997. – V. 41, – N 2. – P. 203
Совместная динамика мнения и сети: «co-evolution»
Holme P., Newman M.J.E. Nonequillibrium phase transition in the coevolution of networks and opinions // Phys. Rev. E. –2006, – V. 74, – N 5. 056108

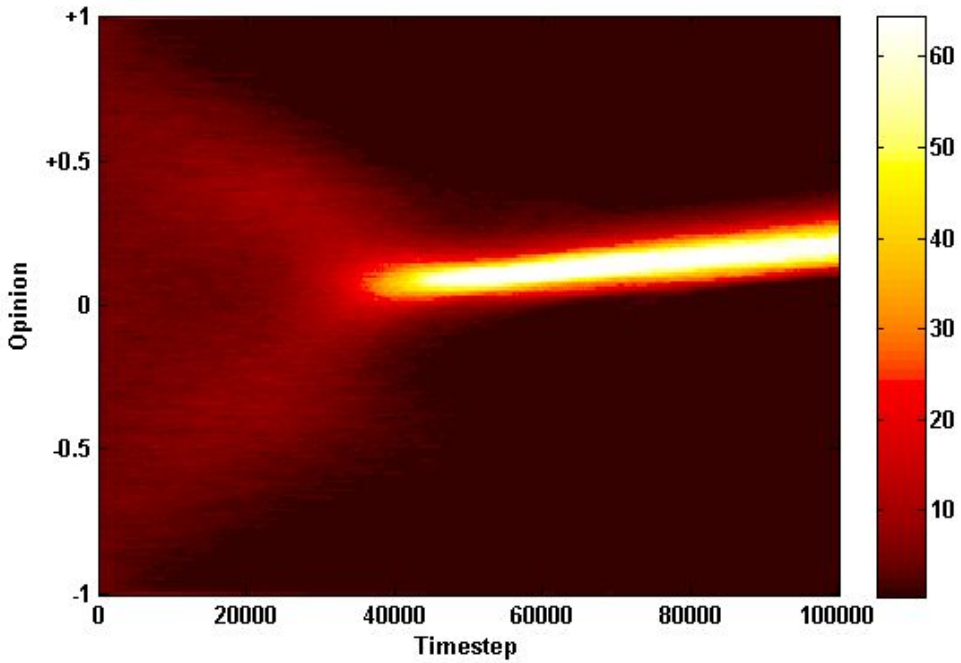
Непрерывная переменная мнения: модель де Гроота

Модель де Гроота: n агентов с мнениями $s(t)=(x_1(t), x_2(t), \ldots, x_n(t))$,
Матрица влияний $P=||a_{ij}||$, $s(t=1)=Ps_0$
Консенсус $s(\infty) = lim P^t s_0 = (x(\infty), x(\infty), \ldots, x(\infty))$ реализуется, если взвешенный ориентированный граф взаимных влияний агентов содержит остовное исходящее дерево, в котором все вершины достижимы из «корня» – т.е. имеется единственный агент, прямо или косвенно влияющий на мнения всех остальных агентов
DeGroot M.H. Reaching a consensus // J. Amer. Statist. Assoc. 1974. **69** (45), 118
Агаев Р.П., Чеботарев П.Ю. Автоматика и телемеханика. 2011. № 12, 38–59

Расчетные модели с непрерывным мнением $\{x_i(t) \in [0,1]\}$

«Условное доверие» (bounded confidence): вычисляется $\Delta x_{ij}(t)=x_i(t)-x_j(t)$, и если $0<\Delta x_{ij}(t)<\varepsilon$, то $x_i(t+1) = x_i(t) - c\Delta x_{ij}(t)$, $x_j(t+1) = x_j(t) + c\Delta x_{ij}(t)$ (ε, c - параметры)





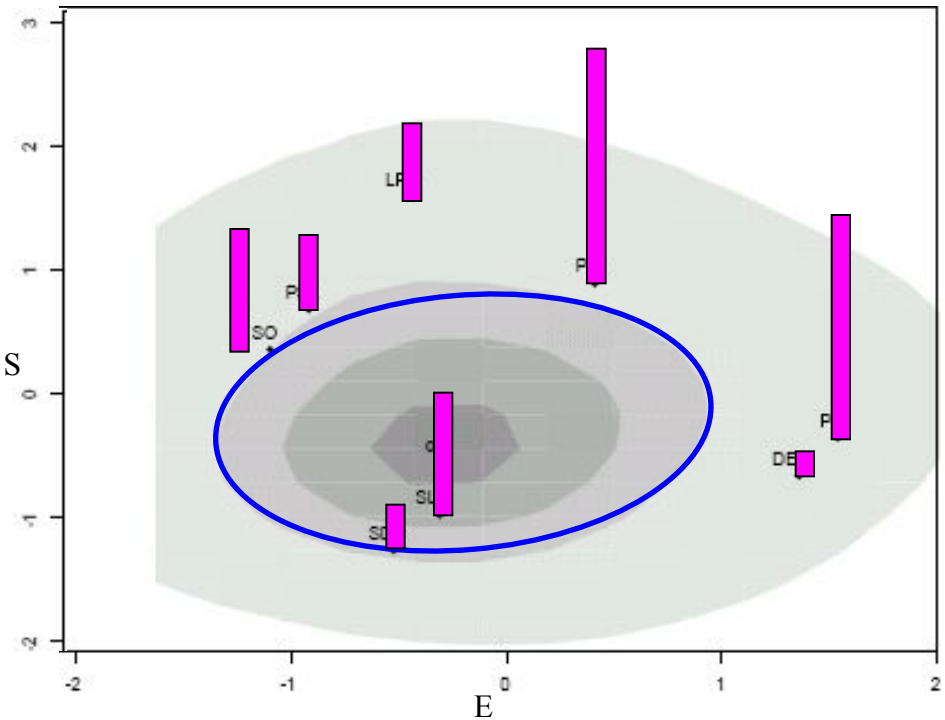
M.Afshar, M.Asadpour, Opinion formation by informed agents, *JASSS*, 2010, **13**(4), 5 (http://jasss.soc.surrey.ac.uk/13/4/5.html): наличие в сети ≥3% «информированных агентов» (***манипуляторов***), принимающих мнение окружения ($x_M(t=1)=\langle x_i \rangle$) и затем постепенно изменяющих свое мнение ($x_M(t)\to 1$), приводит к заданному консенсусу («consensus engineering»)

Многомерная (spatial) модель политической конкуренции

$$u_{ik} = -\sum_j w_{ij}[x_j(i)-X_j(k)]^2 + \xi_k + \lambda_k$$

u_{ik} – полезность k-й партии для i-го избирателя, $0<w_{ij}<1$ – вес j-го фактора, $x_j(i)$, $X_j(k)$ – позиции избирателя и партии по j-й «политической координате»,

тво» к кандидату (valency)



Результаты выборов в сейм Польши 2005 г. в проекции на «карту» предпочтений избирателей по социальной (S) и экономической (E) агрегированным координатам.

SLD – Sojuz Lewicy Demokratycznej
SDP – Socjaldemokracja Polska
DEM – Partija Demokraticzna
+ Demokraci Polski
PO – Platforma Obywatełska
SO – Samoobrona Rzeczpospolitej Polski
PSL – Polskie Stronnictwo Ludowo
LPR – Liga Polskich Rodzin
PiS – Prawo i Sprawedliwość

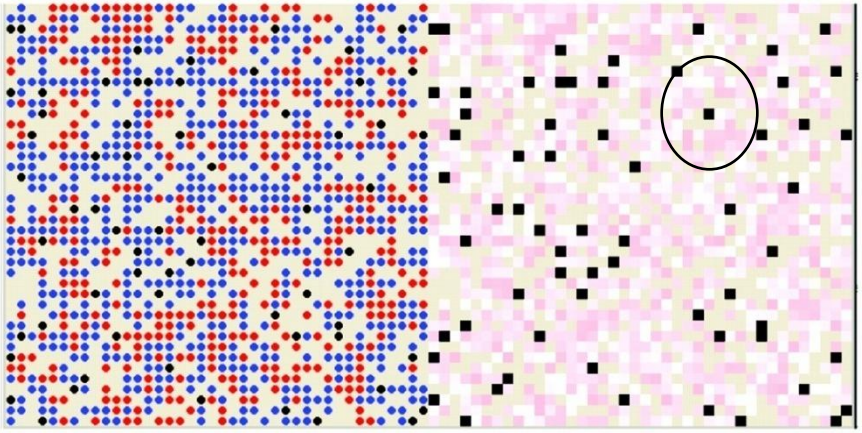
Schofield N. et al. Application of a formal model of elections.
http://intersci.ss.uci.edu/wiki/pdf/SCHOFIELD_PEDI.20MayTextNEWTableFigspoland.pdf
Захаров А.В. Модели политической конкуренции: обзор литературы // Экон. и мат. мет. 2009, 45, 110
Филатов А.Ю. Модели политической конкуренции // Вопр. экон. и упр. – ИГУ. – 2010. – С. 205-232
http://math.isu.ru/ru/chairs/me/files/filatov/2010_-_polit.pdf

Модели политического кризиса

<u>Пороговые модели</u> (threshold models): переход агента $f_1(t) \rightarrow f_2(t+1)$ при критическом значении параметра его окружения P_0 (*Goldstone R.L., Janssen M.A.* Trends Cogn. Sci. 2005, 9(9): 424-430). Модели конфликтов: спокойное ($x_i=0$) и враждебное ($x_i=1$) состояния подвижных агентов, эволюция «средней враждебности» $(1/N)Sx_i(t)$

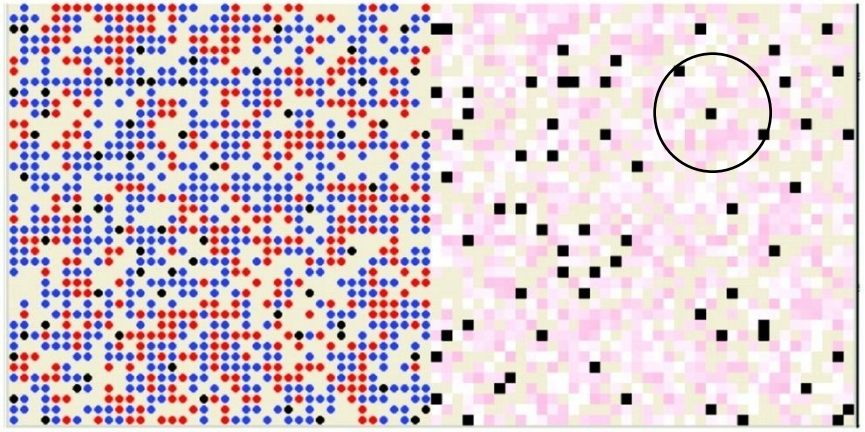
Модель Эпштейна (*Epstein J.M.* Modeling civil violence: an agent-based computational approach Proc Natl Acad Sci USA. 2002, 99, Suppl. 3, 7243-7250): N «активистов» и P «полицейских» на решетке, активист «восстает» ($x_i=1$) при $G_i-p_ir_i>G_0$, где $G_i=H_i(1–L)$ - его недовольство, H_i - тяжесть положения, L - легитимность власти, r_i - осторожность ($\in[0,1]$), $p_i=[1 – \exp(–kP_i/N^*_i)]$ – вероятность ареста, P_i и N^*_i - кол-во полицейских и восставших в поле зрения агента.

Состояние системы: суммарное недовольство SG_i и число восставших N*



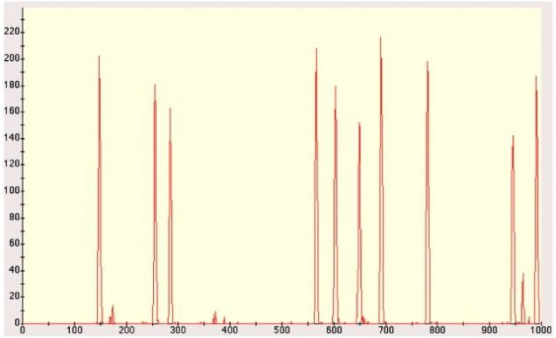
«состояние» «настроение»

Динамика в модели Эпштейна

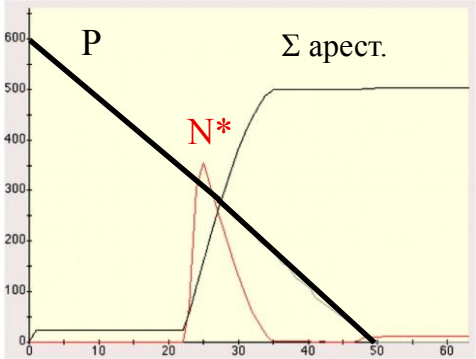


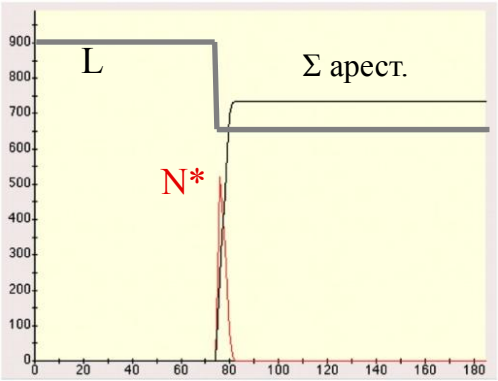
«состояние» «настроение»

Условие восстания активиста:
$G_i - p_i r_i > G_0$, где $G_i = H_i(1 - L)$



динамика N*(t)

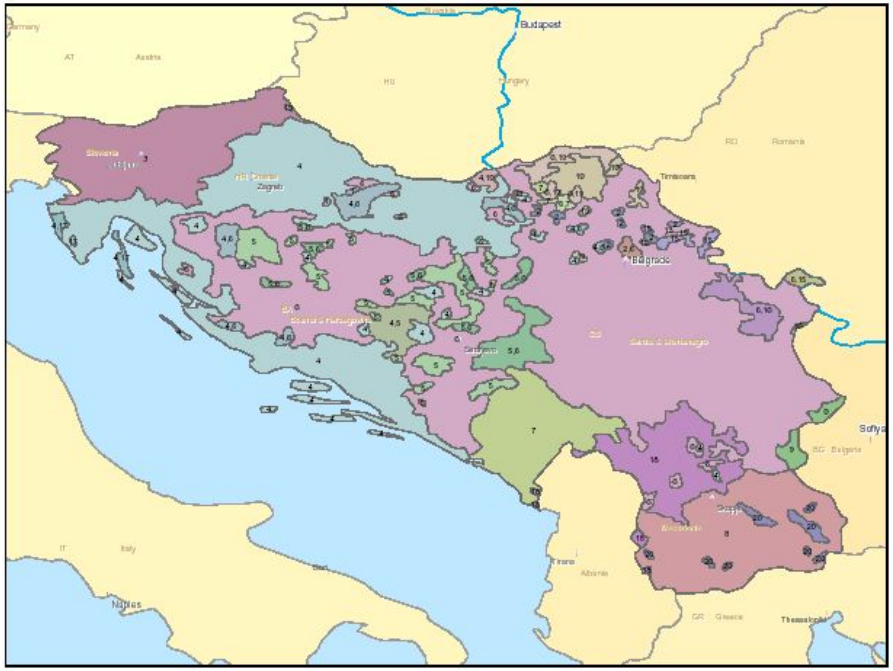




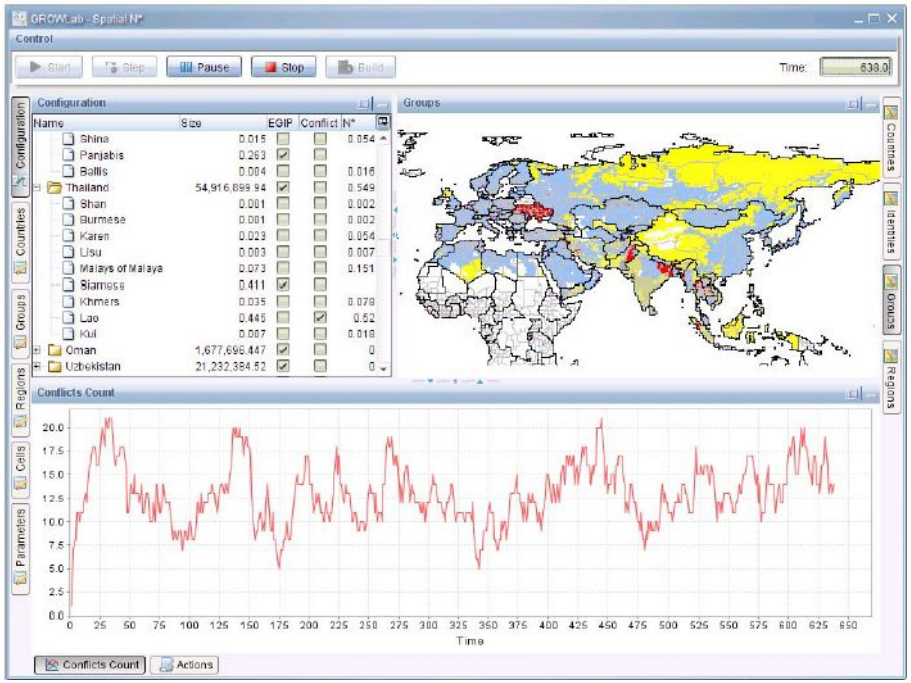
Daskalova V. et al. Networks Coalitions and Revolutions
http://tuvalu/sanrafe.edu/events/workshops/index.php/Networks_Coalitions_and_Revolutions

Моделирование гражданских войн

1. M.G.Findley, Agents and conflict: adaptation and the dynamics of war, *Complexity*, 2008, **14**, 22
2. L.E.Cederman, Modeling of the size of war: from billiard balls to sandpiles, *Am. Polit. Sci. Rev.*, 2003, **97**, 135.
3. L.E.Cederman, L.Girardin, Towards realistic computational model of civil war, *Ann. Meeting Amer. Polit. Sci. Assoc.*, 2007



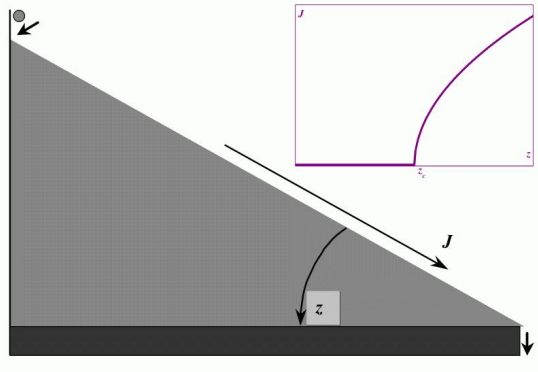
карта Югославии с этническими группами



интерфейс программы GROWLab

4. N.F.Johnson, Complexity in human conflicts, в кн. *Managing Complexity: Insights, Concepts, Applications*, Springer, Berlin, 2008.
5. R. Soto-Garrido, Application of statistical physics to terrorism, 2010, http://guava.physics.uiuc.edu

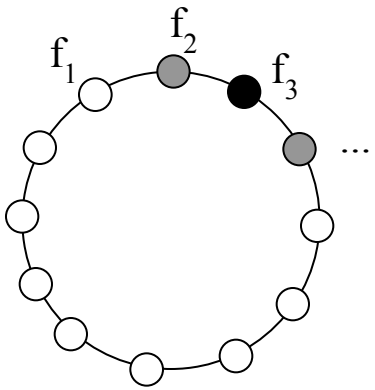
«Self-organized criticality»



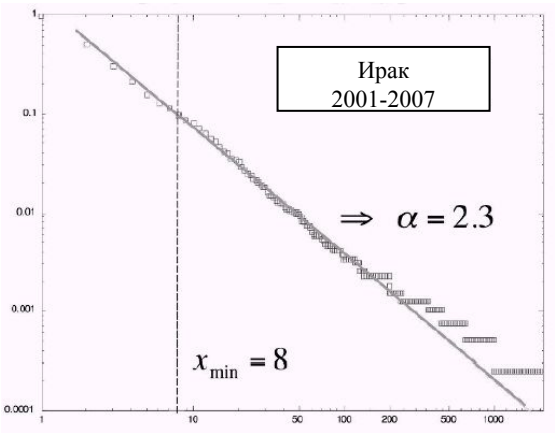
Поверхность кучи песка: ζ – угол наклона, J – поток песчинок, ζ_0 – критический угол. На врезке зависимость $J(\zeta)$
Малинецкий Г.Г. и др. Нелинейная динамика: Подходы, результаты, надежды. 3-е изд. М.: ЛКИ, – 2011. – 280 с.

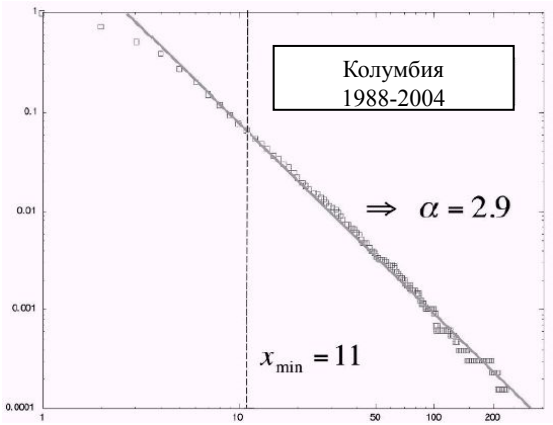
Обратное степенное распределение частотности лавин $P(J) \sim J^{-\alpha}$

Случайные изменения адаптированности $f_i \in [0,1]$
для $f_k = \min\{f_i\}$, f_{k+1}, f_{k-1}



частотность размера военных потерь
в двойном логарифмическом масштабе



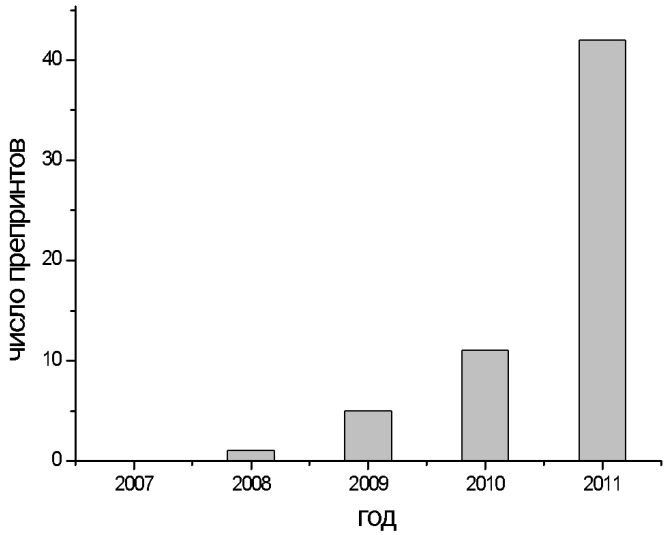


<u>Модель Бака-Снеппена</u>
(*Bak P., Sneppen K.* Phys. Rev. Lett. 1993. 71б 4083-4086): punctured equillibrium, «f-лавины» вымирания видов, $P(I) \sim I^{-a}$. Палеонтология, история, распределение военных потерь (*Richardson L.F.* Variation of the frequency of fatal quarrels with magnitude // J. Amer.Stat.Assoc. 1948, 43 (244), 523-546).

Стратегия «управляемого хаоса»: *Mann S.R.* Chaos theory and strategic thought, // Parameters (US Army War College Quarterly) – 1992, – V. 22. – P. 54-68

Некоторые новые результаты

Динамика публикаций в ArXiv
2007 - 2011 г.г. по теме ‘twitter’



<u>Примеры исследований; по теме «twitter»:</u>
Gonzalez-Bailon S., et al. The dynamics of protest recruitment through an online network, ArXiv:1111.5595
Bachrach D., et al. #h00t: Censorship resistant microblogging ArXiv:1109.6874v1

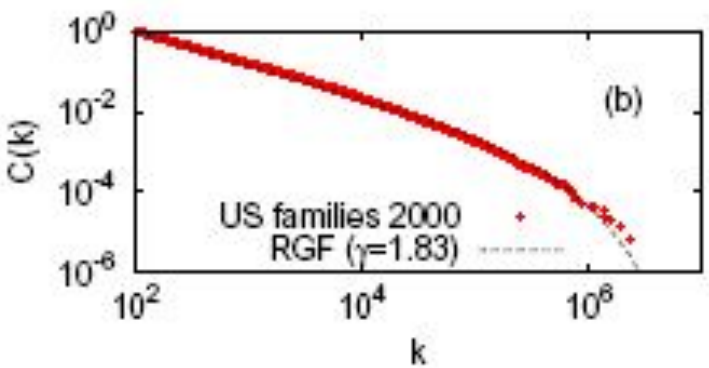
FuturICT Project: европейский проект «ускорителя знаний» (D.Helbing, 2011 г.): сети вычислительных центров в ЕС для извлечения информации, включая персональную, из открытых источников и ее использования в моделировании социальных процессов. Упомянуты агентные модели масштаба 1:1, где в параметры агентов включены сведения о конкретных людях. http://www.futurict.eu

За полгода (октябрь 2011 – март 2012) опубликовано около 500 статей.
Ноябрь 2011 г., Париж – первая конференция по социофизике

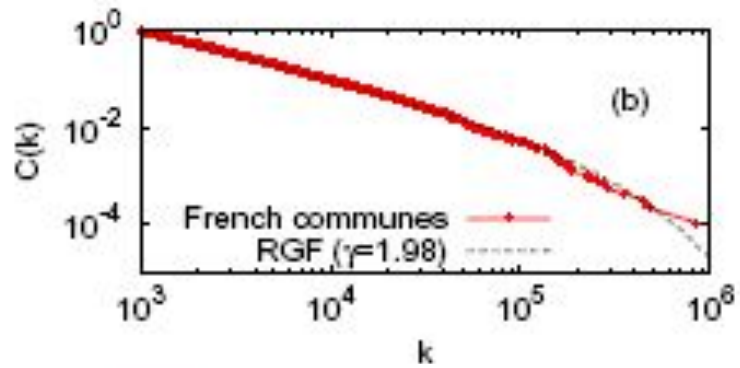
Baek S.K., Bernhardsson S., Minnhagen P., Zipf's law unzipped *New J. Phys.* –2011 –V. 13 043004.

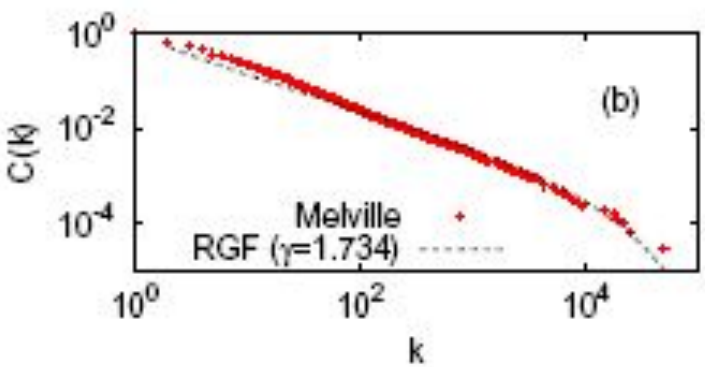
Random group formation (RGF): случайное распределение N элементов по M группам с максимальной емкостью k_0, соответствующее минимуму информации $I = \Sigma_k P(k)\ln[kN(k)]$ с ограничениями на N, M, k_0: частотность групп из k элементов $P(k) \sim \exp(-bk)/k^{\gamma}$, где параметры b и γ определяются условиями (M, N, k_0), и $1 \leq \gamma \leq 2$. Воспроизведены кумулятивные распределения C(x>k)

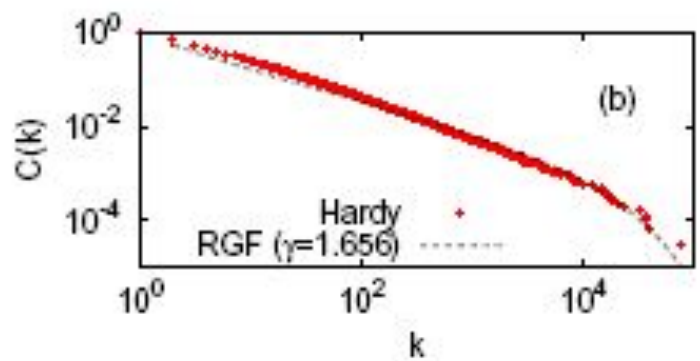
Частотность фамилий в США



Население коммун во Франции



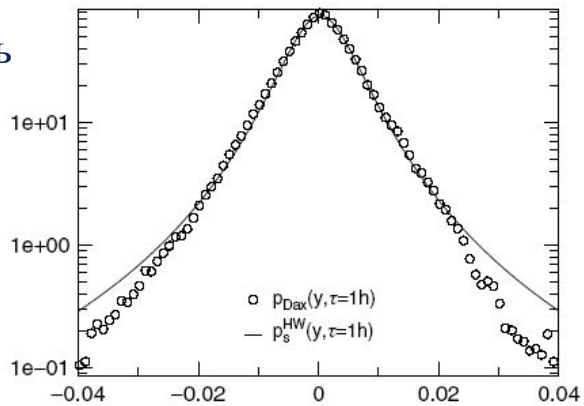


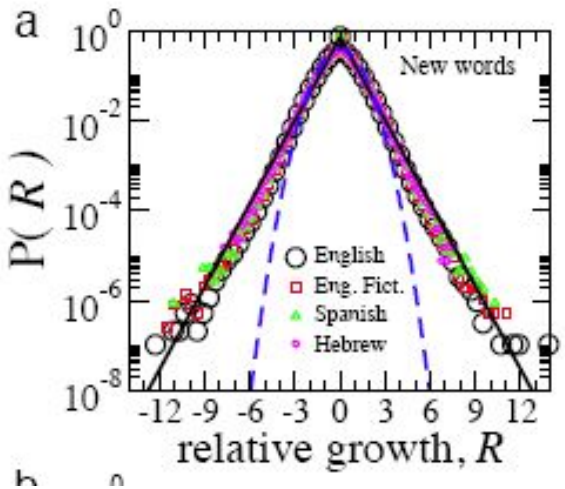


Частотности слов в литературных произведениях

«Остроконечные» (leptocurtic) распределения

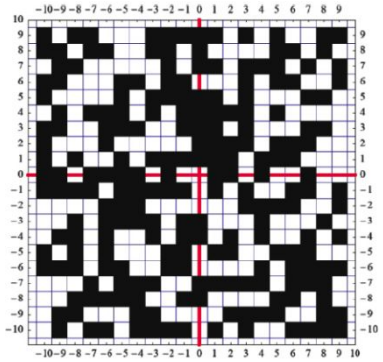
Доходность акций



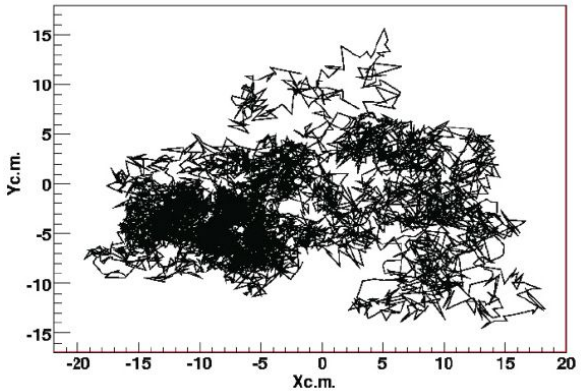


Частотность слов в языке

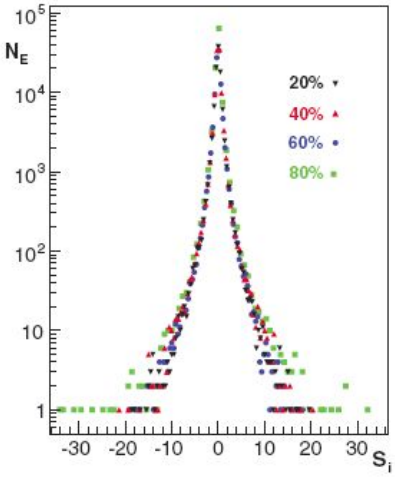
Petersen A.M., Tenenbaum J., Havlin S., Stanley H.E. Statistical laws governing fluctuations in word use from word birth to word death //arXiv:1107.3707v2



«игра в жизнь»



Блуждания центра масс «живых» клеток



Частотности логарифмических приращений дистанции (return)

Hernandez-Montoya A.R. et al. Emerging properties of financial time series in the “Game of Life”. //Phys. Rev. E– 2011, - V. 84, 066104

Выводы

1. Физическое описание и моделирование социальных явлений - новая, быстро растущая область естествознания (социофизика): встречное движение физики сложных систем и наук об обществе. Социофизическими исследованиями установлены прямые аналогии ряда специфических общественных явлений с явлениями статистической физики и физики стохастических процессов ($N \ll N_A$).

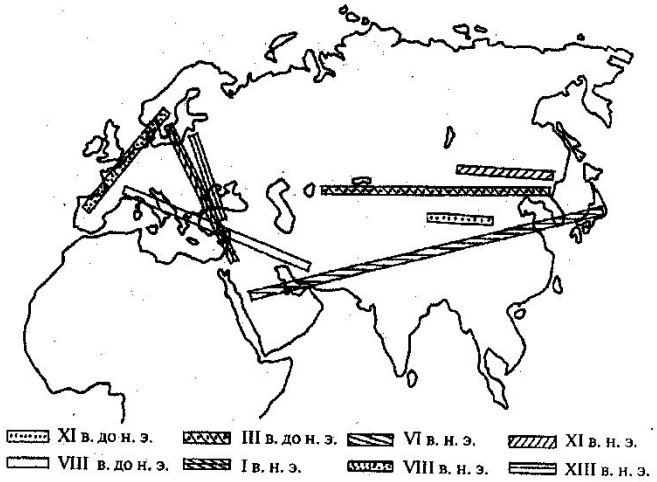
2. Наиболее развитые разделы социофизики (физические модели коллективного поведения, управления, экономики и кризисов) носят ярко выраженный прикладной характер, имеют разработанную теорию и перешли в стадию практического использования. По масштабу возможных результатов (эффективный контроль над экономическими, политическими и иными социальными процессами в мире) значение социофизики сравнимо с ролью ядерной физики в середине XX века.

3. Уровень отечественных работ по социофизике позволяет понимать состояние этой области в мировой науке, но явно недостаточен для эффективной конкуренции.

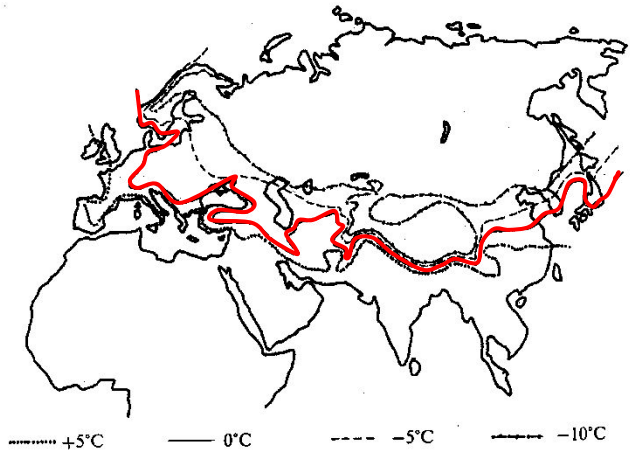
Математическая история

Феноменологические модели «*клиодинамики*»: колебания численности населения при постоянной несущей способности земли под действием мальтузианских факторов и ускоренного роста правящего класса (трата налогов на потребление элиты). *Турчин П.В.* Историческая динамика. На пути к теоретической истории. - М., ЛКИ, 2010, – 368 с.

Связь исторических процессов с изменениями климата: А.С.Малков, С.Ю. Малков, там же, – С.328-338



«Зоны пассионарных толчков» по Л.Н.Гумилеву



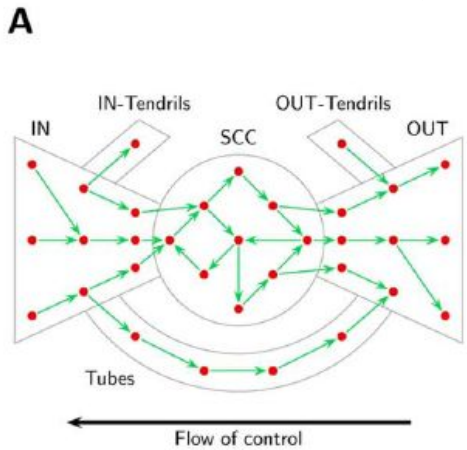
Современные изотермы января (красным 0° С)

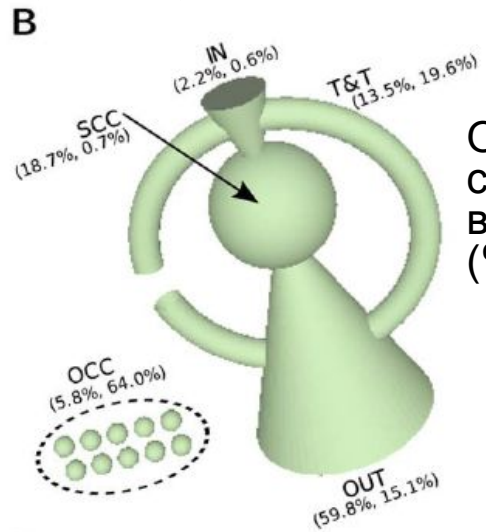
Проект “искусственных индейцев” (Artificial Anasazi): историческая динамика индейских народов на территории США (VII - XIII в.в.), реконструкции климата + агентные модели *Janssen M.A*. http://jasss.soc.surrey.ac.uk/12/4/13.html

Пакет программ для социоэкономического и исторического моделирования Suarez J.L., Sancho F., JASSS, 2011, 14 (4), 19, http://projects.culturplex.ca

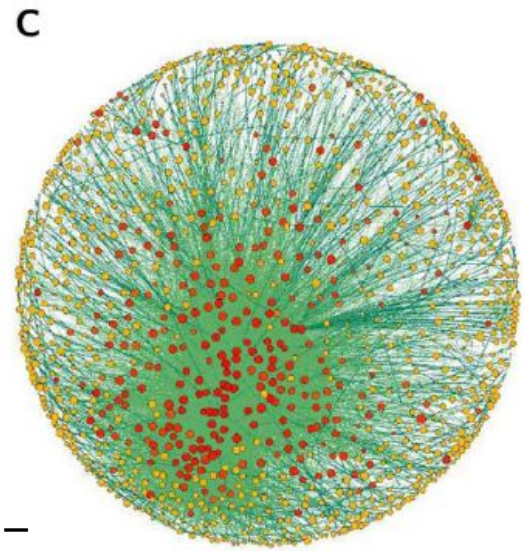
S.Vitali, J.B.Glattfelder, S.Battiston, **The network of global corporate control**
PLoS ONE, 2011, **6**, N 10, e25995

участие ТНК в капиталах других ТНК (стрелки)

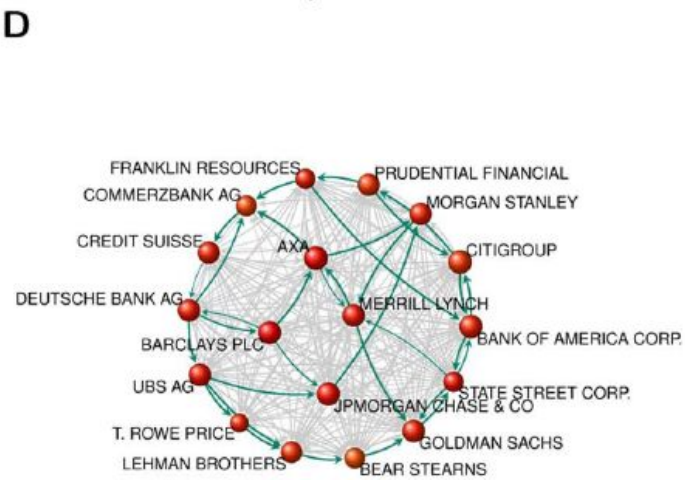




Общая структура собственности в сети ТНК (% капитала, % фирм)



ядро сети:
1318 ТНК (из них ¾ – финансовые),
18.7% капитала,
>80% управления
(у 147 ТНК в ядре – 40% управления)



фрагмент ядра (выделена часть связей)

7th Int. Conf. on Applications of Social Network Analysis (ASNA 2010, ETH Zurich):
2 РОССИЙСКИХ УЧАСТНИКА

Моделирование стохастических процессов

уравнение Ланжевена (одна частица)

$$\mathbf{M}(\partial^2 r/\partial t^2) = -\nabla U - \gamma \mathbf{M}\partial r/\partial t + \mathbf{F_R}(t),$$

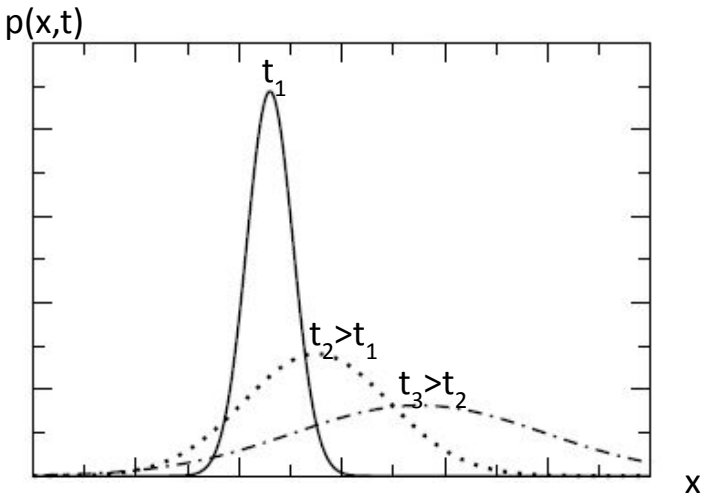
где M – масса, U – потенциал, F_R – случайная сила

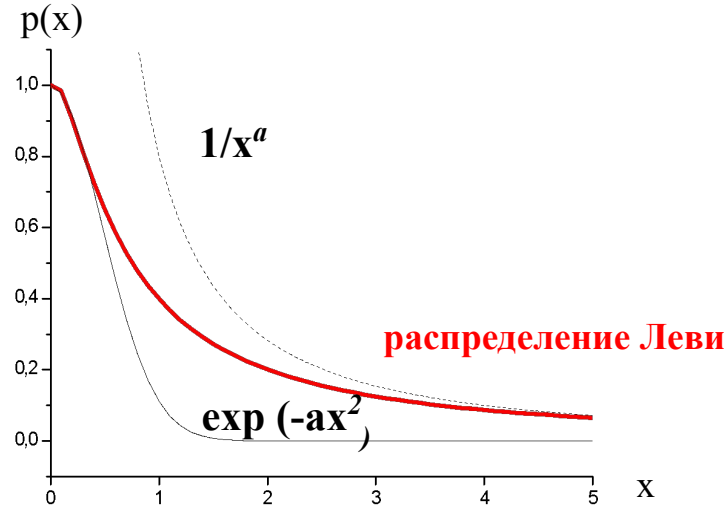
уравнение Фоккера-Планка (система частиц)

$$\partial p/\partial t = -\sum \partial/\partial x_i[D_i^{(1)}(x_1,...,x_N)p] + \sum \partial^2/\partial x_i \partial x_j[D_{ij}^{(2)}(x_1,...x_n)p],$$

где $p(x_1,...,x_N)$ – плотность вероятности, $D^{(1)}$ – вектор сноса, $D^{(2)}$ – случайный тензор диффузии

Одномерная диффузия





D – const – нормальная диффузия

D = f(∂x/∂t) – аномальная диффузия («полет Леви»)