

Методы точных наук в исследовании общества

или

Новая дисциплина: физика общества

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. Некоторые направления современной социофизики:
 - (а) движение в системе «живых частиц»,
 - (б) статистическая физика сетей,
 - (в) эконофизика,
 - (г) математические модели социологии и политологии.
 - (д) физическая и математическая история.

Ю.Л.Словохотов. *Физика и социофизика*. Проблемы управления, 2012, №1, с.с. 2–20, №2, с.с. 2–31, №3, с.с. 2 – 34.

Естественнонаучный анализ социума

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»

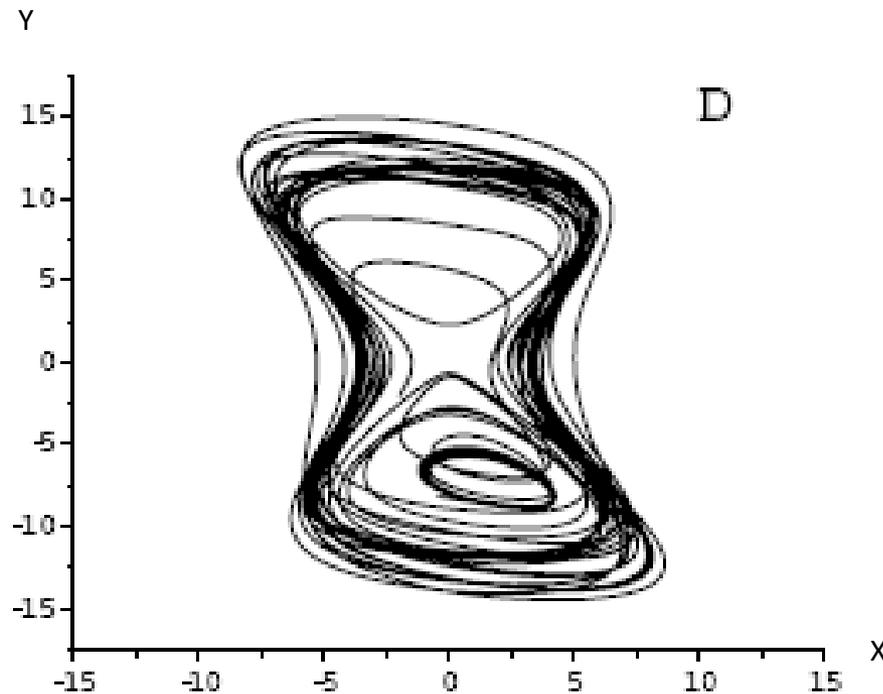
Л.Н.Толстой, «Война и мир»

U.Garibaldi, E.Scalas. *Tolstoy's dream and the quest for statistical equilibrium 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.

Системы разной физической природы могут иметь одинаковые или близкие «фазовые портреты»



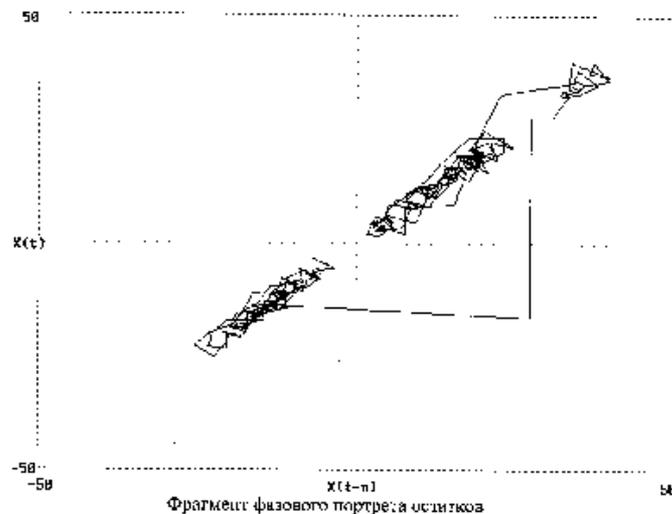
Фазовые траектории модели «солнечного динамо», описывающей медленные флуктуации солнечной постоянной, в области странного аттрактора.
 $X(t)$ и $Y(t)$ – соответственно токи в экваториальном и меридиональном контурах
(*Volobuev D. Solar Physics, 2006, 238, 421-430*).

«Фазовый портрет» Петербургской биржи в 1900 – 1909 г.г.

Акции заводов Гартмана



Акции Путиловских заводов



Кафедра исторической информатики, исторический ф-т МГУ

А.Ю. Андреев, Л.И. Бородкин, А.В. Коновалова, М.И. Левандовский
Методы синергетики в изучении динамики курсов акций на Петербургской бирже в 1900-х г.г. *Круг идей: Историческая информатика в информационном обществе*. М., 2001. С. 84

Е.А.Федосеева. Методы нелинейной динамики в исследовании эндогенных факторов развития российского фондового рынка в конце XX – начале XXI в. *Квантитативная история*, http://kleio.asu.ru/2012/2/hcsj-22012_34-48.pdf
(динамика и фазовые портреты РТС и ММВБ)

Некоторые книги на русском языке

- (Стенли Г. *Фазовые переходы и критические явления* 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.
- Капица С.П. *Общая теория роста человечества*, – М.: Наука, 1999.
- Плотинский Ю.М. *Модели социальных процессов*. Учебное пособие. 2-е изд. – М.: Логос, 2001.
- Сорнетте Д. *Как предсказывать крахи финансовых рынков. Критические события в комплексных финансовых системах*. М.: Интернет-Трейдинг, 2003.
- 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.

Социальная система: совокупность N ($\gg 1$)

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 $\sim 10^3$ (биржа, улей, фирма, дорожное движение)
до $7 \cdot 10^9$ (население Земли) и $\sim 10^{12}$ (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, перенесенными из физики

Один из методов анализа: **агентные модели** как ансамбли «живых частиц»

Основные направления социофизики

1. Коллективное движение в социальных системах: машины и пешеходы (1D), *управление толпой* (2D), рыбы и птицы (3D).
2. *Статистическая физика сетей* (в том числе отражающих социальные структуры), процессы на сетях.
3. Динамика финансовых операций, математические модели экономики, *эконофизика* (с 1990-х г.г.).
4. Эволюция языков, математическая лингвистика.
5. Динамика популяций, демография.
6. Математическая история, *клиометрика, клиодинамика*.
7. Моделирование социальных процессов, математическая социология.
8. Анализ и контроль общественного мнения, *физическая политология*.

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

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), ...*

Библиотека препринтов ArXiv: Cornell University Library, Physics and Society. [http:// arxiv.org/list/physics.soc-ph/recent](http://arxiv.org/list/physics.soc-ph/recent)

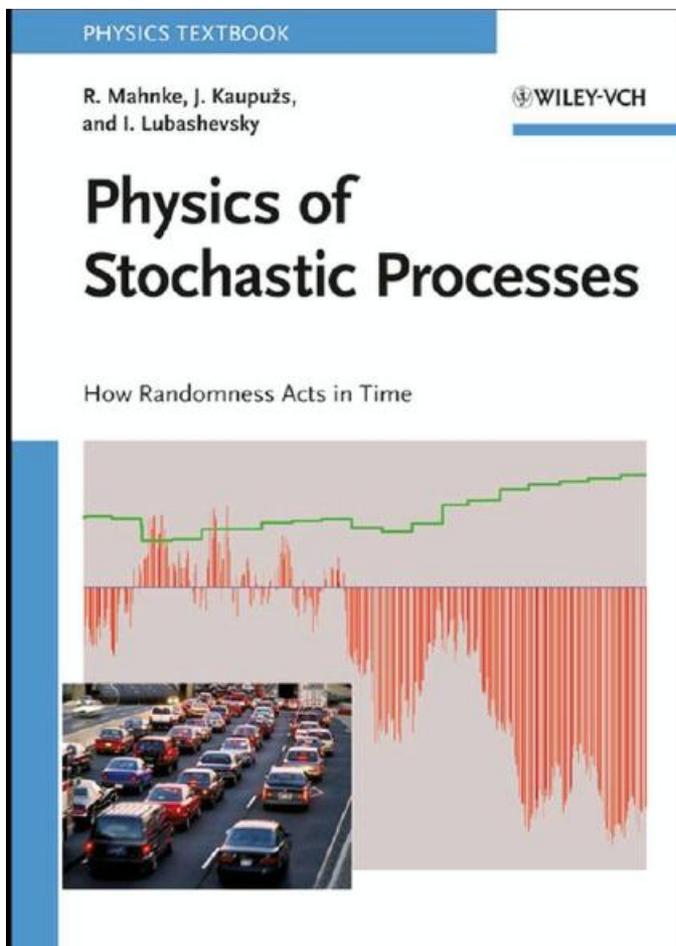
В РФ: книги серии «Синергетика», журналы *Успехи физических наук (УФН), Проблемы управления, Автоматика и телемеханика (АиТ), Компьютерные исследования и моделирование (КиМ), экономическая периодика*

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

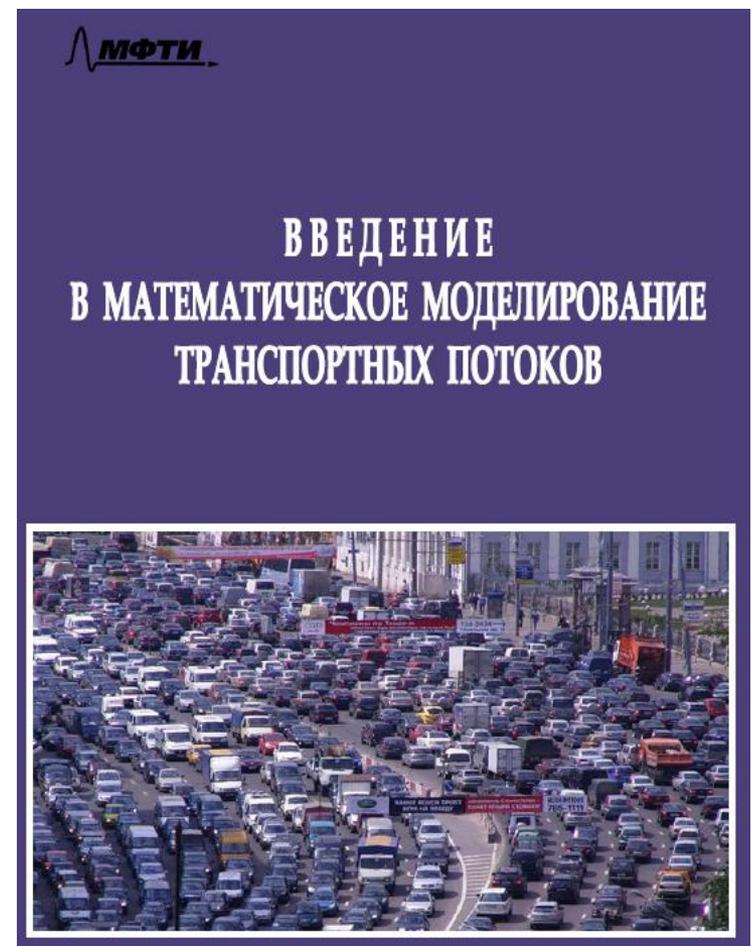
За полгода (октябрь 2011 – март 2012) опубликовано около 500 статей.
Ноябрь 2011 г., Париж – первая конференция по социофизике

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

Движение в системе «живых частиц»



R. Manke, J. Kaupužs, I. Lubashevsky
Physics of stochastic processes,
Wiley-VCH, 2009

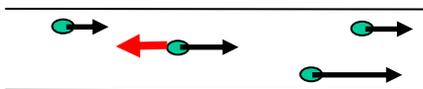


Под ред. А.В.Гасникова, – М.: – МФТИ, 2010

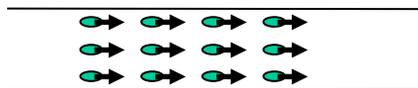
И. И. Морозов и др. Численное исследование транспортных потоков на основе гидродинамических моделей, КиМ, 2011, т.3, № 4, С. 389 – 412

V. A. Malyshev, A. A. Zamyatin. Introduction to stochastic models of transportation flows. Part I.
arXiv:1110.4735v1 [math.PR] 21 Oct 2011

Движение в социальной системе: автомобильный трафик



Свободное движение («газ»)



Стесненное движение («сжимаемая жидкость»):
congested movement → пробка

Характеристики движения: поток $q = \rho \langle v \rangle$,
 ρ (плотность), $\langle v(\rho) \rangle$, δv ;
Фундаментальная диаграмма: $q(\rho)$

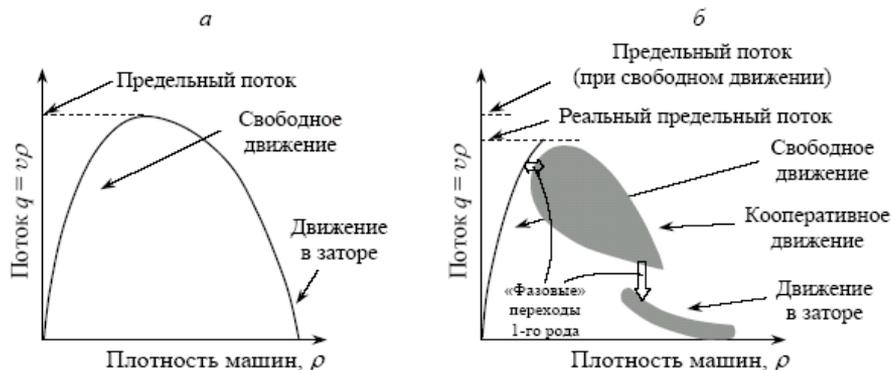
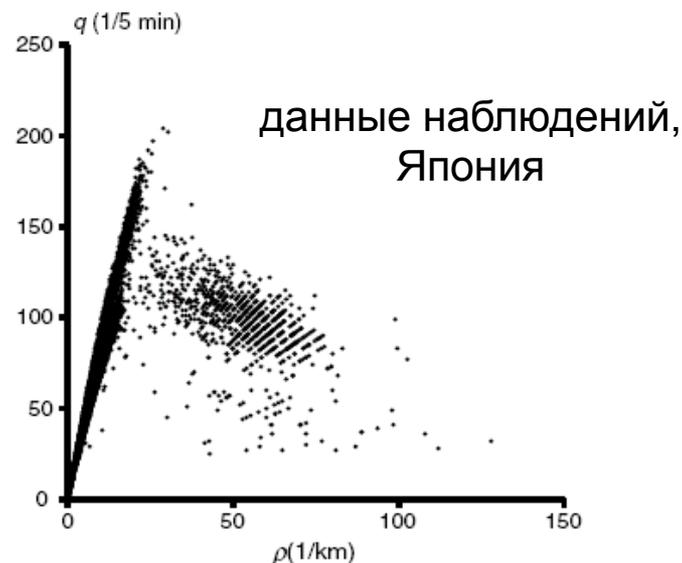


Рис. 1. Фундаментальная диаграмма (а) и фазовые состояния автотранспортного потока (б)



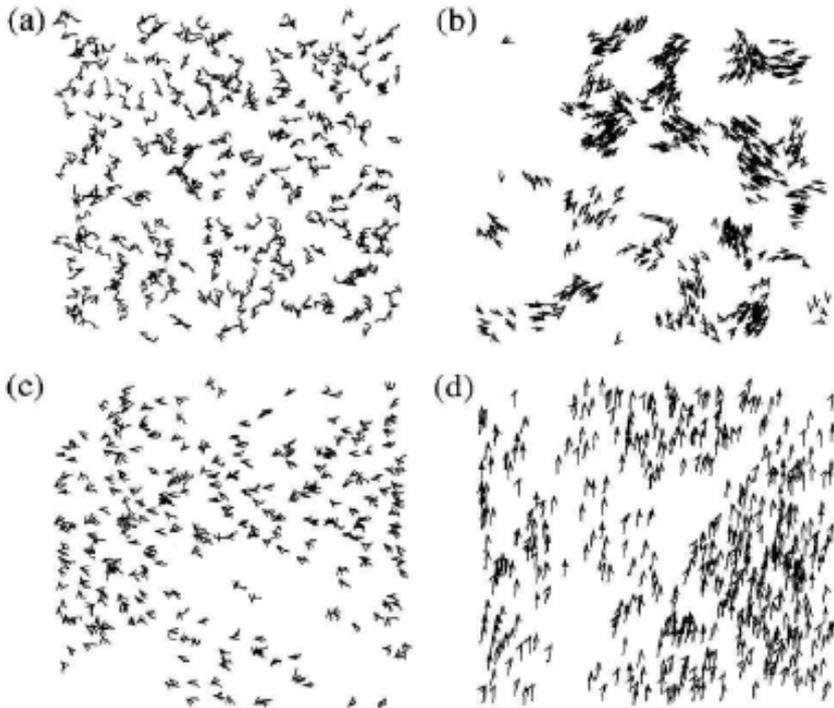
Y.Sugiyama et al., New J. Phys., **10** 033001 (2008)

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
коллективное движение без лидеров

3D-движение «птицоидов» (boids)



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

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

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

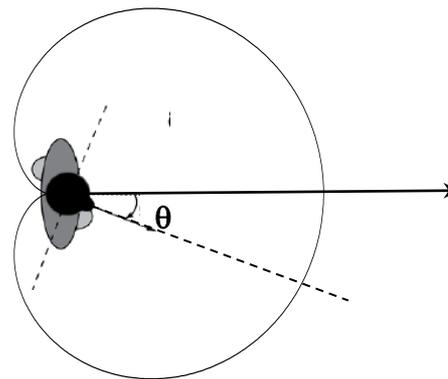
$$\mathbf{F}_i^{\text{общ.}} = -\sum_{\text{цели}} \mathbf{f}_{ik} + \sum_{\text{стены}} \mathbf{f}_{ip} + \sum_j \mathbf{f}_{ij}$$

«ПОТЕНЦИАЛ ОТТАЛКИВАНИЯ» $A \exp[b(R_0 - r)]$, где

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

Расчет фундаментальной диаграммы $q(\rho)$

Угловая составляющая
«потенциала пешехода»
(анализ данных видео)



Наглядные проявления социального поля

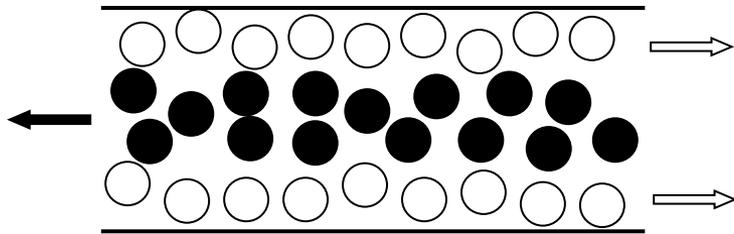


G.R.Cheng, Centre for Chaos and Complex Networks, City University of Hong Kong

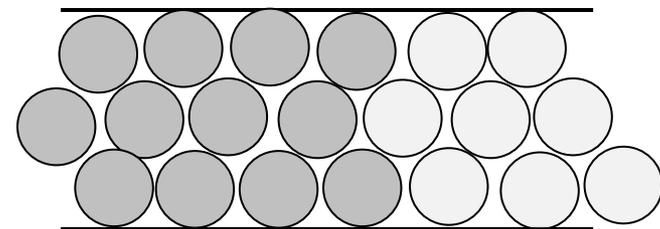
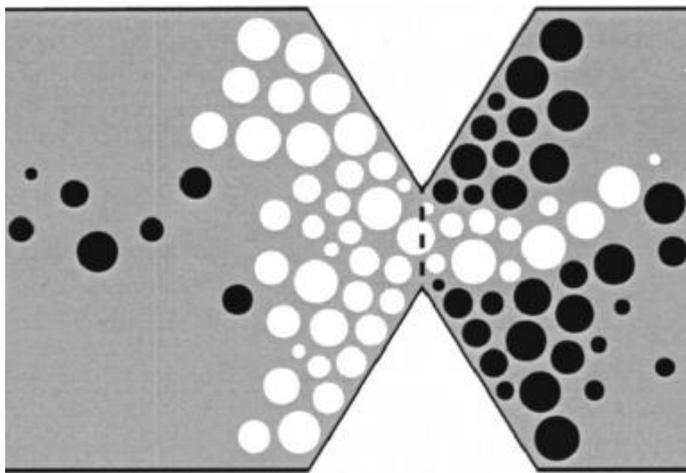
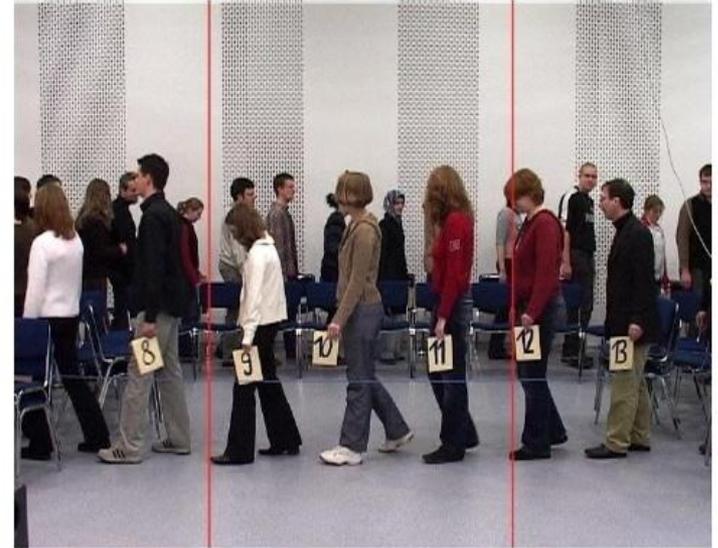
T.Vicsek. Crowd control: a physicist's approach to collective human behaviour. EPS-12 (European Physical Society), Budapest 2002

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

The fundamental diagram of pedestrian m



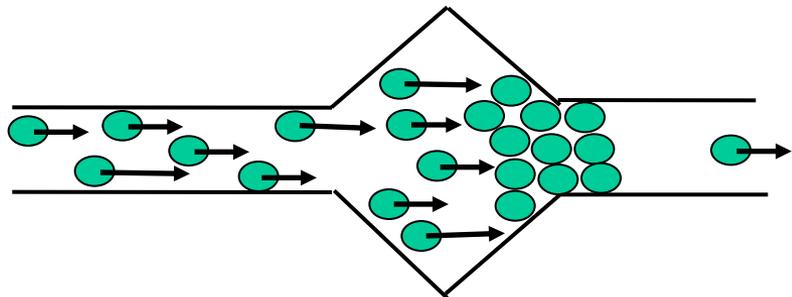
Расслоение встречных потоков, обтекание препятствий, попеременный проход в двери, и др.



“Freezing by heating”

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

Моделирование панической эвакуации

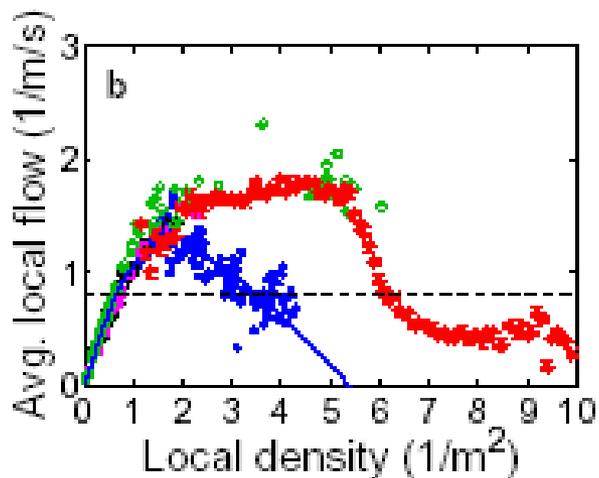


D.Helbing, I.Farkas, T.Vicsek,
Nature, **407**, 487-490 (2000): моделирование
паники при массовой эвакуации

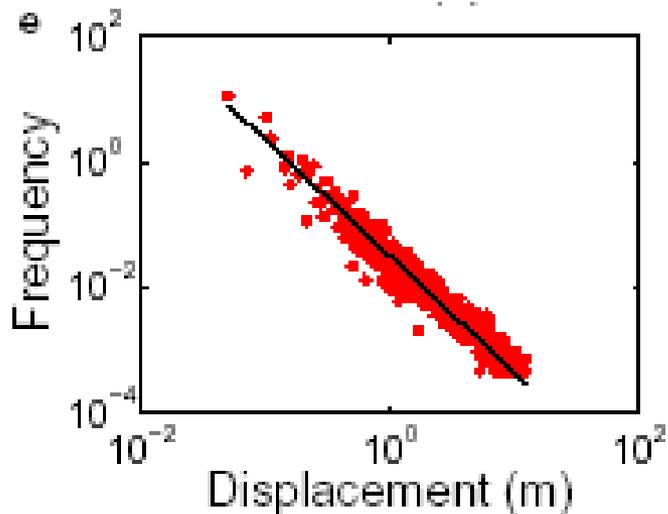
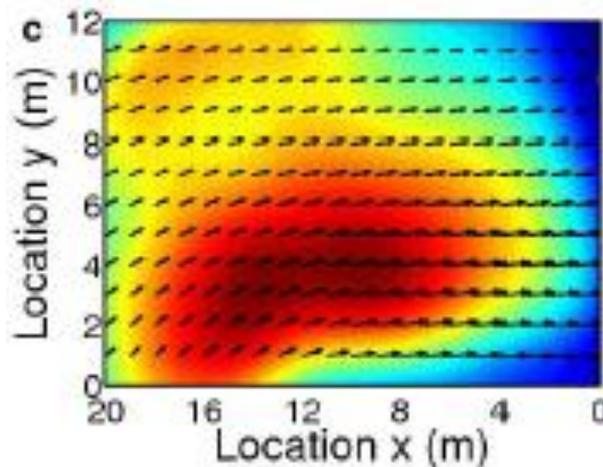
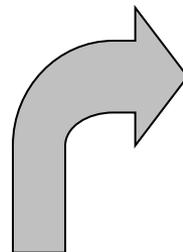
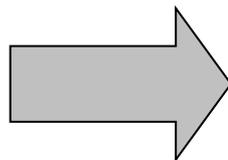


D.Helbing, A.Johansson, H.Z.Al-Abideen, The dynamics of crowd disasters:
an empirical study, *Phys. Rev. E* 2007, **75**, 046109

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



движение толпы



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

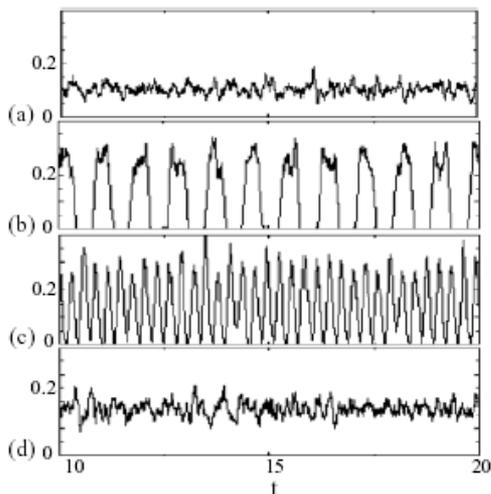
Практические приложения:
манипулятивное управление толпой (crowd control)



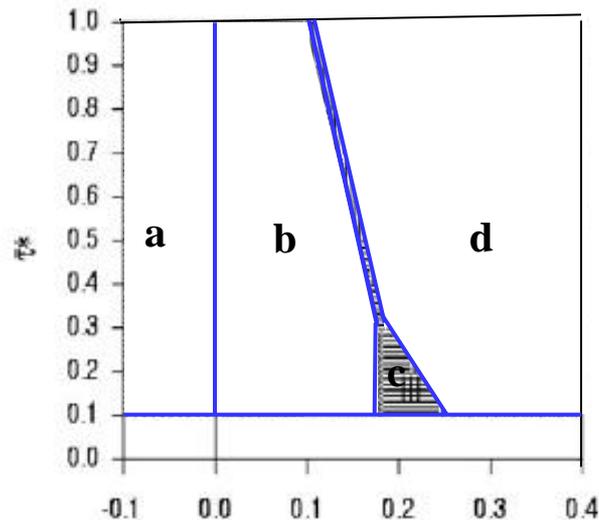
Новосибирск, 2012 г.
реклама

Инициирование коллективных действий

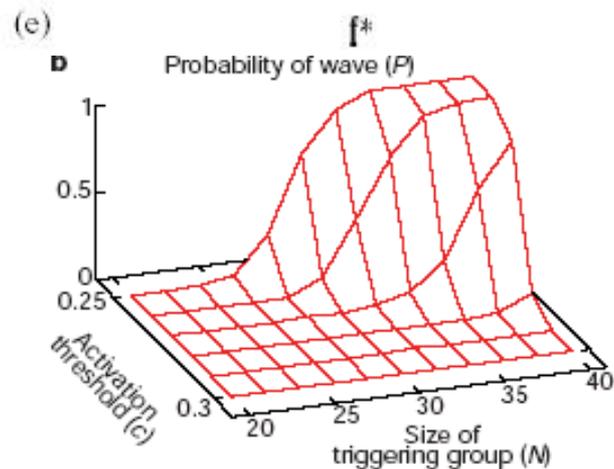
Аплодисменты Z.Neda, et al. **Synchronization of two-mode's oscillators: a new model for rhythmic applause and much more**, *Physica A*, 2003, **321**, 238



- (a) слабые несинхронные
 - (b) синхронные
 - (c) быстрые синхронные
 - (d) сильные несинхронные аплодисменты (овация)
- f^* – «оптимальная» громкость,
 τ^* – стохастическое возмущение осциллятора



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



Как привести толпу в движение

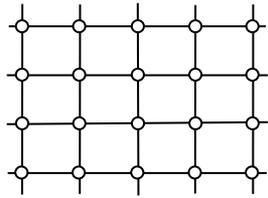
I.D.Couzin, et al., **Effective leadership and decision-making in animal groups on the move**. *Nature* 2005, **433**, 513:
моделирования движения животных за лидерами

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.**

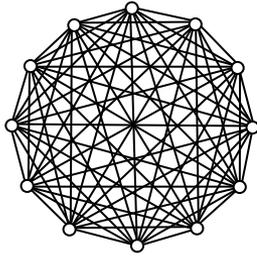
Корепанов В.О. Модели рефлексивного группового поведения и управления – М: ИПУ РАН , 2011

Сетевые структуры социальных взаимодействий
и *статистическая физика сетей*

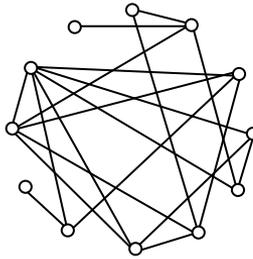
Фрагменты сложных сетей (complex networks)



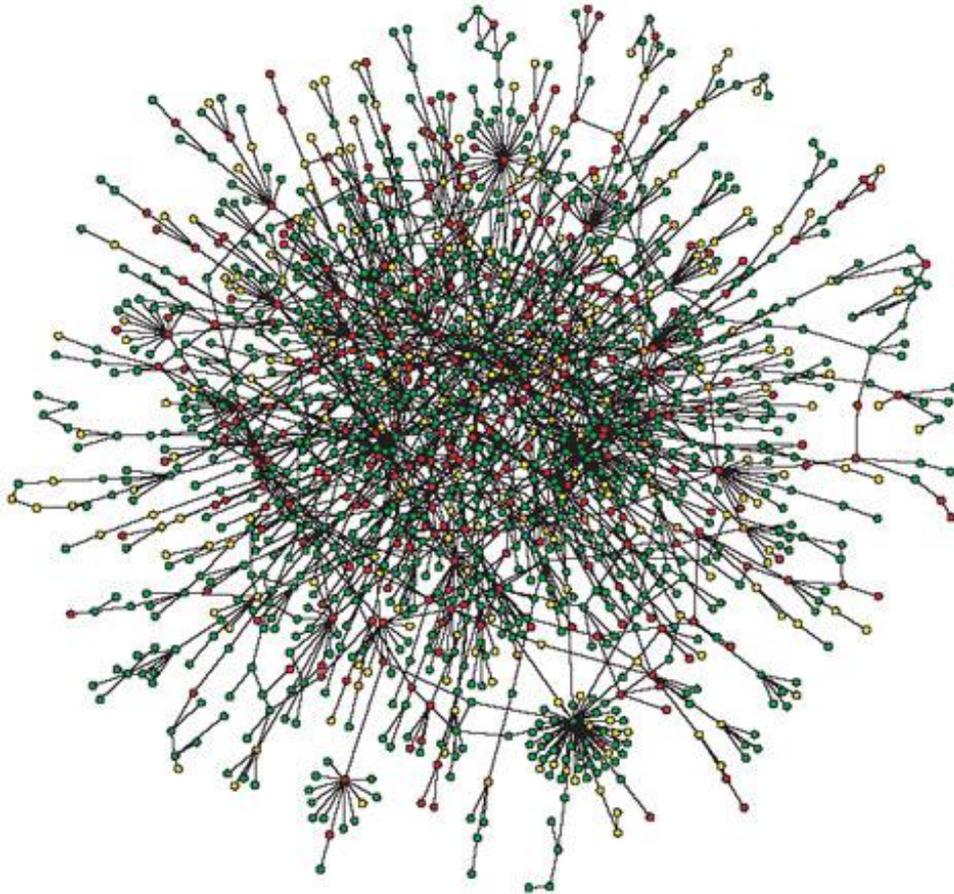
регулярный граф



полный граф



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



структура сети социальных взаимодействий
(из обзора М.М.Дубовикова
на Байкальской школе 2011 г.)

Сети социальных взаимодействий (выборочно)

Монографии и учебники:

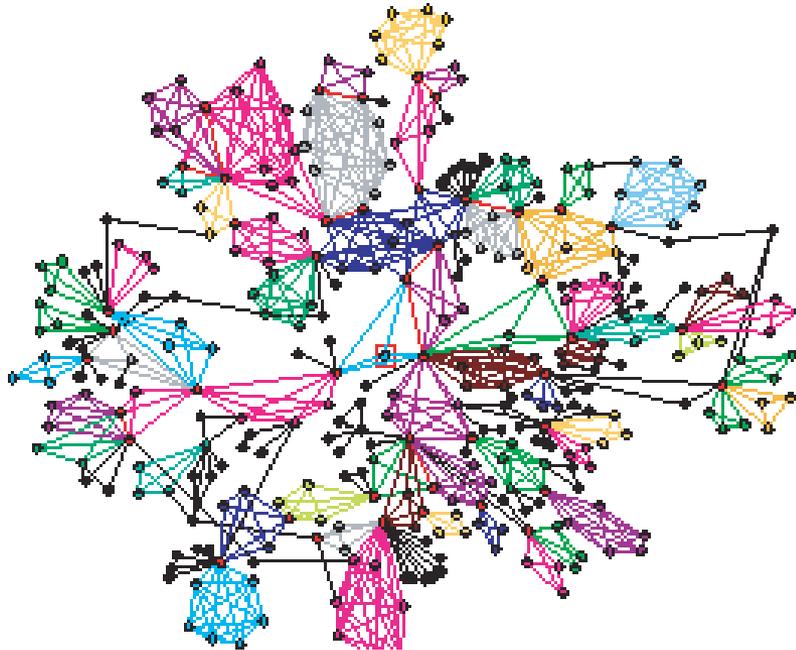
1. M.Newman, A.-L.Barabasi, D.J.Watts (Eds.), *The Structure and Dynamics of Networks*, Princeton Univ. Press, 2006.
2. D.Helbing (Ed.), *Managing Complexity: Insights, Concepts, Applications*, Springer-Verlag, Berlin, 2008.
3. M.Newman, *Networks: An Introduction*, Oxford Univ. Press, Oxford, 2010
4. 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:

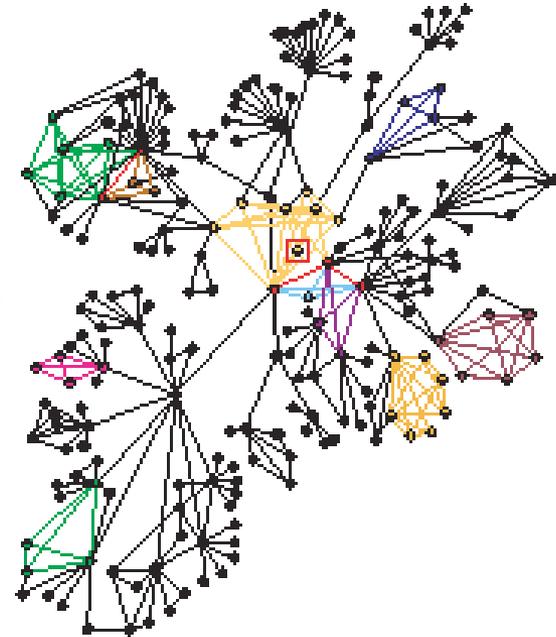
1. R.Albert, A.-L.Barabasi, Statistical mechanics of complex networks, *Rev. Mod. Phys.* 2002, **74**, 47-97;
2. M.E.J.Newman, The structure and function of complex networks, *SIAM Review*, 2003, **45**, 167-256
3. M.E.J.Newman, The physics of networks, *Physics Today* 2008, November, 33–38
4. S.N.Dorogovtsev, 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

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

a Co-authorship



b Phone call



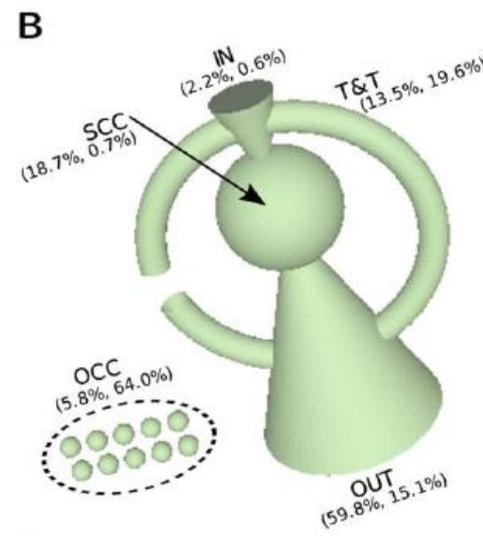
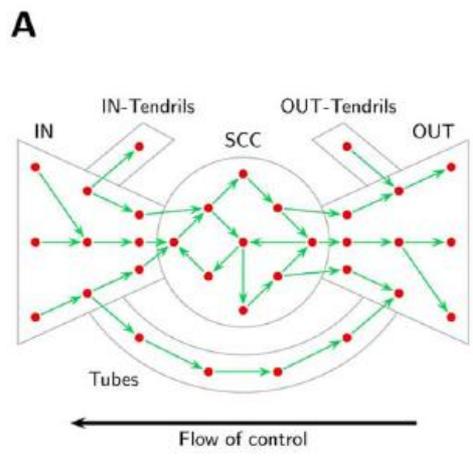
M.E.J. Newman, **Detecting community structure in networks**, *Eur. Phys. J. B* 2004, **38**, 321–330

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

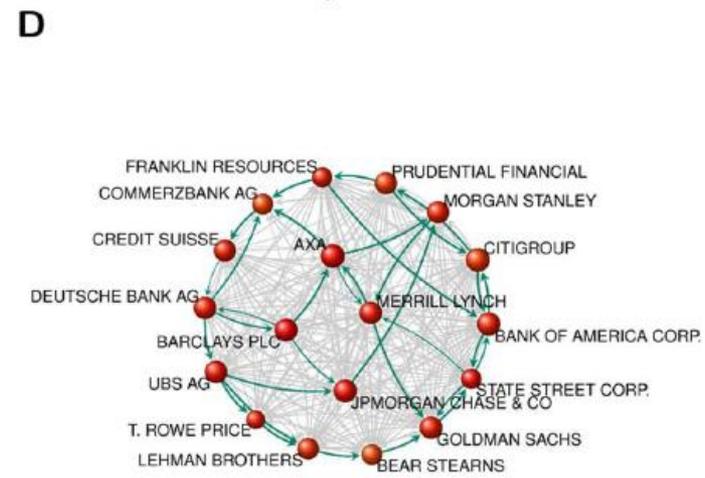
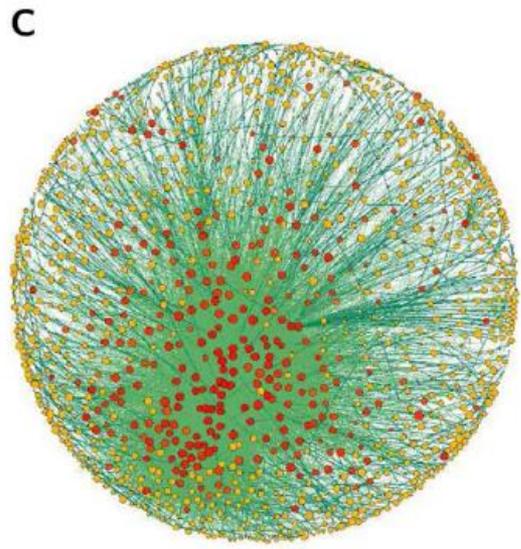
L.Lu, T.Zhou, **Link prediction in complex networks: a survey**. *Physica A*, 2011, **390**, 1150

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

участие ТНК
в капиталах
других ТНК
(стрелки)



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



ядро сети: 1318 ТНК (из них $\frac{3}{4}$ – финансовые),
18.7% капитала, >80% управления (у 147 ТНК в ядре –
40% управления)

фрагмент ядра
(выделена часть связей)

«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:

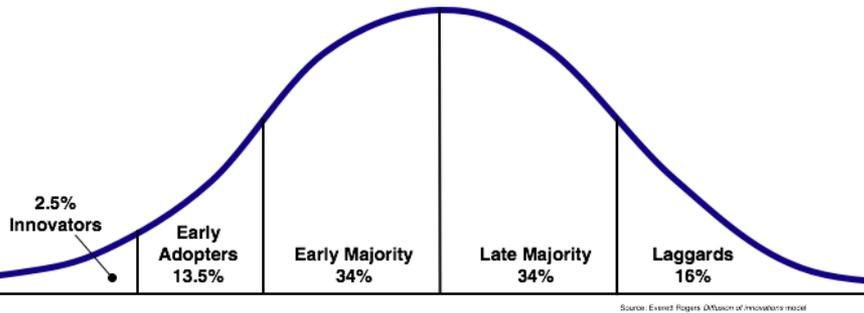
1. привлечение opinion leaders и власти
2. сети социальных связей, Интернет и т.д.
(C.Shirkey, *Here Comes Everybody. The Power of Organizing Without Organization*, Penguin, 2008)
3. мобилизация прессы, молодежи, женщин, этнических меньшинств

«Критическая масса»: выше 10-20% узлов
диффузия становится необратимой

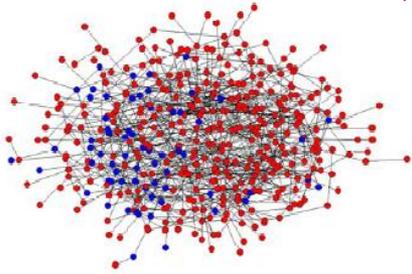
<http://rickwilsondmd.typepad.com/mandaeancrisis>)

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

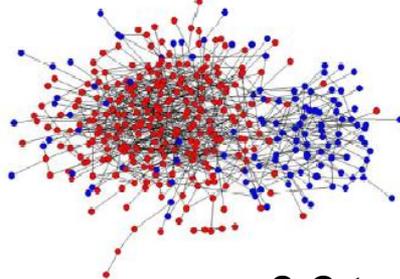
результаты численного моделирования
диффузии в динамической сети: синие –
новаторы, красные – консерваторы



низкая связность, быстрая диффузия

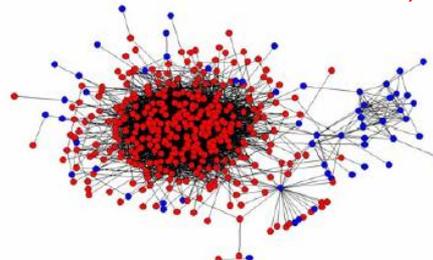


0.05 t_{∞}

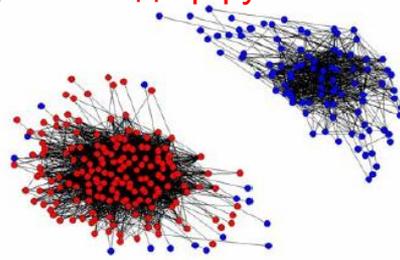


0.2 t_{∞}

высокая связность, медленная диффузия



0.05 t_{∞}



0.2 t_{∞}

Физические модели в экономике: *эконофизика*

Эконофизика: возникновение

Происхождение: математические модели классической экономики (И. Фишер, Л. Башелье и др.), эконометрика и физика сложных систем

L.Bachelier, *Theorie de la speculation* (1900): динамика биржи и броуновской частицы

B.B.Mandelbrot, The variation of certain speculative prices, *J.Business*, **36**, 394 (1963): динамика цен на хлопок, случайные блуждания Леви (1929)

T.J.Sargent, *Dynamic macroeconomic theory*. Cambridge: Harvard Univ. Press, 1987.

P.W.Anderson, J.K.Arrow, D.Pines (eds.), *The economy as an evolving complex system*, Addison-Wesley, Redwood City, 1988:

R.N.Mantegna, H.E.Stanley, Scaling behavior in the dynamics of an economic index, *Nature* **376**, 46 (1995).

1995 г.: термин «эконофизика» (конгресс по стат. физике, Калькутта)

1997 г. – 1-й симпозиум по эконофизике (Будапешт)

Д.С.Чернавский и др., О проблемах физической экономики, *УФН*, 172, 1045 (2002)

М.М. Дубовиков, Н.В.Старченко Эконофизика и фрактальный анализ финансовых временных рядов. *УФН*, 181, 779–786 (2011)

Ежегодные конференции МКО: секция эконофизики

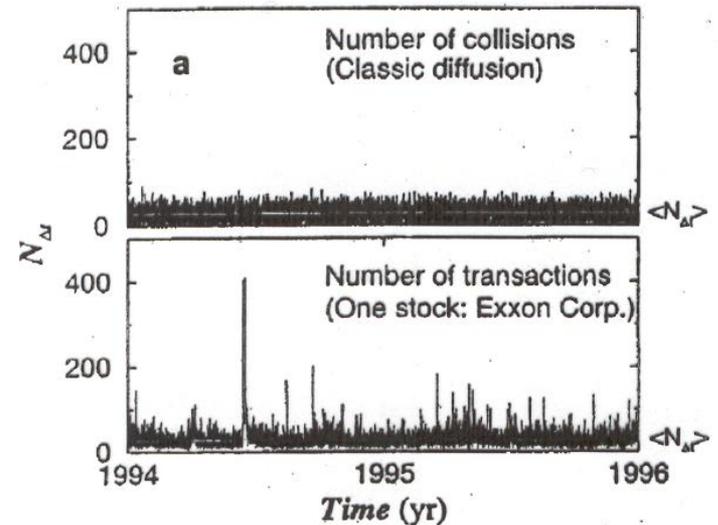
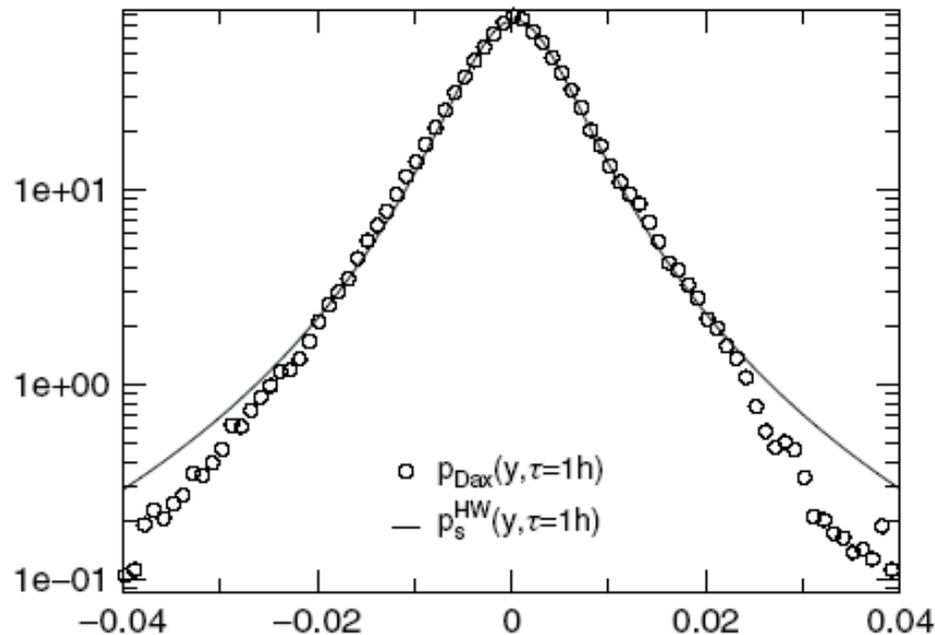
2009 г.: 1-й российский конгресс по эконофизике (Москва, Фин.академия)

Неклассическая статистика биржи

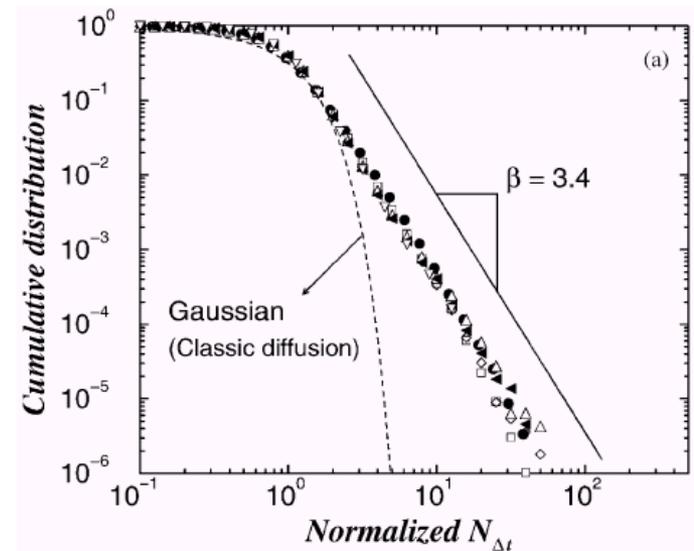
H.E. Stanley, et al. Similarities and differences between physics and economics, *Physica A* **287** 339 (2000).

«Остроконечные» (leptocurtic) распределения

Доходность
акций



плотность продаж акций:
аномальная диффузия

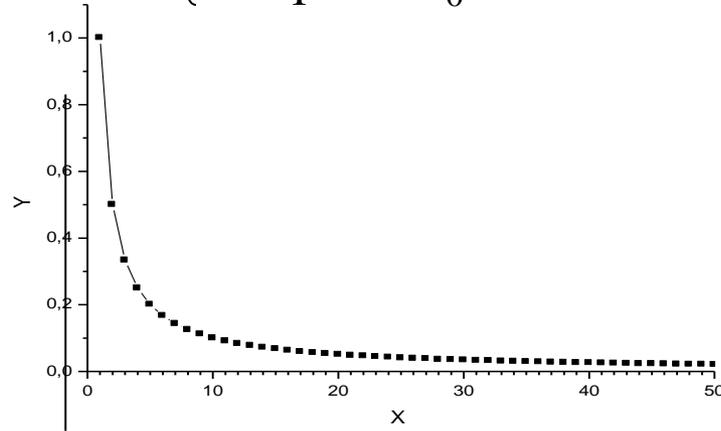


Обратная степенная асимптотика $P \sim N^{-\beta}$

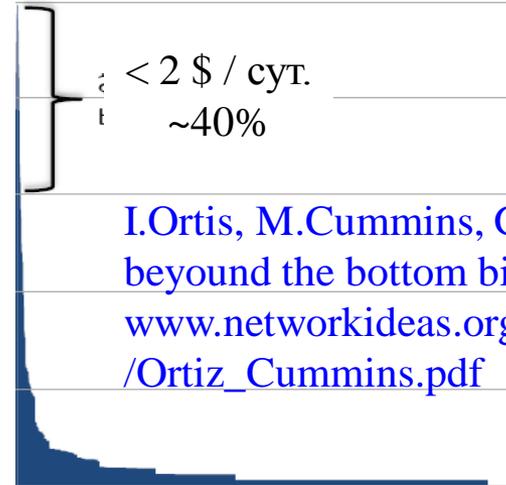
Распределение Парето (закон Ципфа)

$$Y(x) = \begin{cases} \alpha x_0^\alpha x^{-(\alpha+1)} & \text{при } x > x_0 \\ 0 & \text{при } x < x_0 \end{cases}$$

гиперболические распределения: законы Парето (доходы), Эсту-Ципфа (слова, имена), Ауэрбаха (население городов) и др.

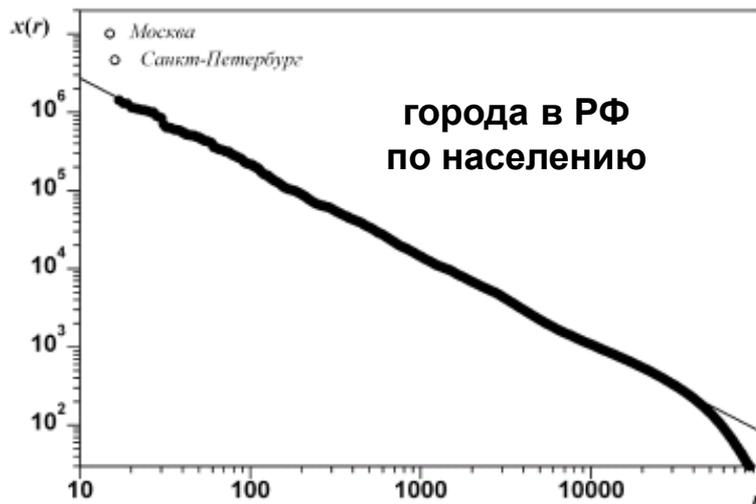


% населения Земли

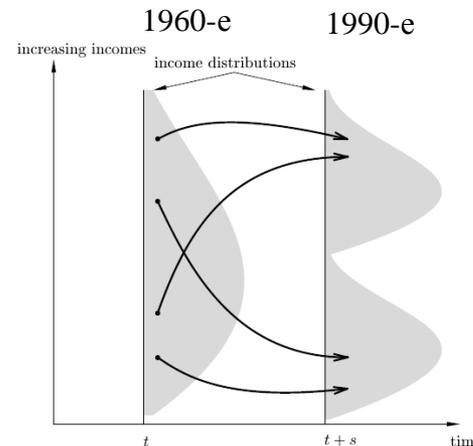


I.Ortiz, M.Cummins, Global inequality: beyond the bottom billion UNICEF 2011
www.networkideas.org/featart/apr2011/Ortiz_Cummins.pdf

Распределения ранг-размер в двойных логарифмических координатах



доход /чел



«СТИЛИЗОВАННЫЙ»
 график
 D.T.Quah, Econ. J. 1996, 106, 1045)

«Кинетическая теория денег»

A.Banerjee, V.M.Yakovenko, *New J. Phys.*, **12**, 075032 (2010)

I. Обмен «деньгами» Δm_i (стоимостью?) между агентами при экономической деятельности ($M=\text{const}$).

II. $P_s(r)$ = стационарное распределения доходов

$$0 = \partial P_s / \partial t = \partial / \partial r [A(r)P] + \partial^2 / \partial r^2 [B(r)P],$$

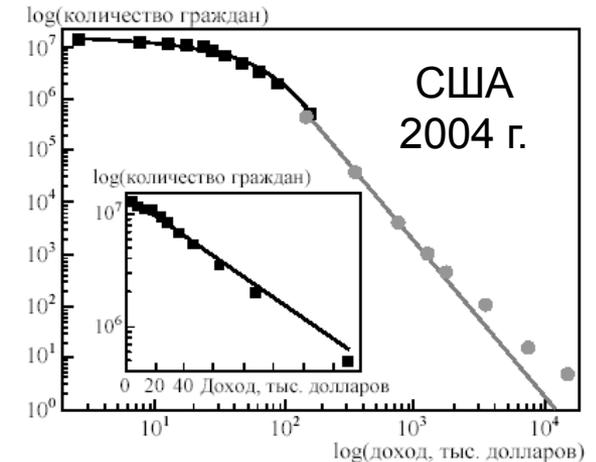
где $A(r) = -\langle \Delta r \rangle / \Delta t$, $B = \langle (\Delta r)^2 \rangle / 2\Delta t$.

(1) Большинство населения: Δr не зависит от $r \rightarrow A=A_0, B=B_0$

$$P_s(r) = (1/T) \exp(-r/T), \text{ где } T = A_0/B_0$$

(2) Богатые: $\Delta r = f(r)$. Если $\Delta r \sim r$, то $A=ar, B=br^2$

$$P_s(r) \sim 1/r^{1+\alpha}, \text{ где } \alpha = 1+a/b$$



С.А.Галкин и др.,
Труды ИОФАН, 2009, **65**, 29

А.В. Малишевский

Качественные модели
в теории
сложных систем

A.V. Malishevski

Qualitative Models
in the Theory
of Complex Systems



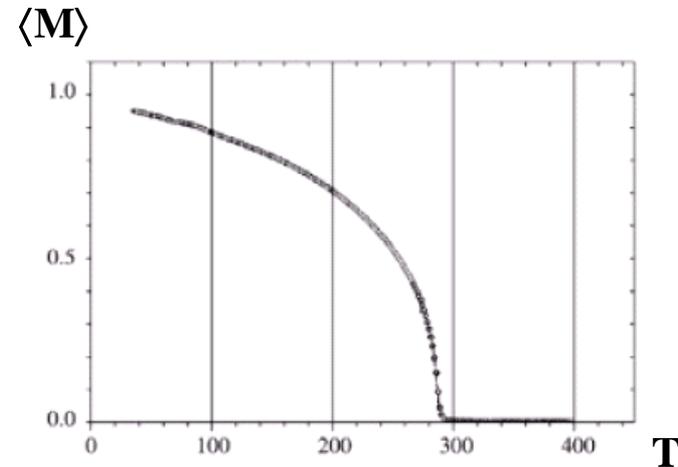
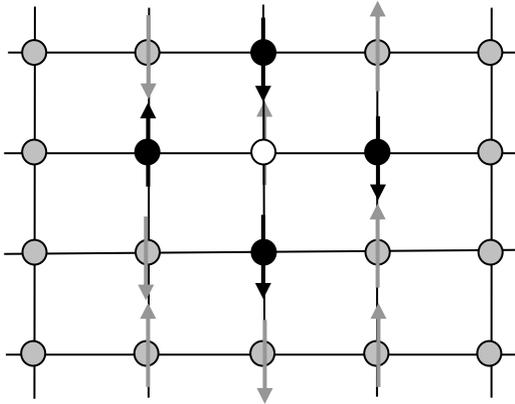
М., Наука, Физматлит, 1998, С. 63 – 66:

А.В.Малишевский, Л.И.Розоноэр, *Модель хаотического обмена ресурсами и аналогии между термодинамикой и экономикой*. V Всесоюзное совещание по проблемам управления. Рефераты докладов. –М., 1971. –С. 207–209

Квазифизические модели в социологии и политологии

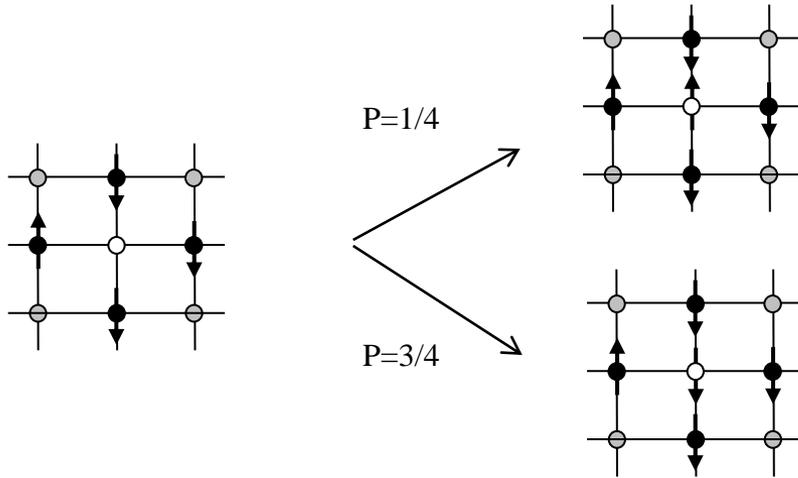
Динамика общественного мнения: модель Изинга

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



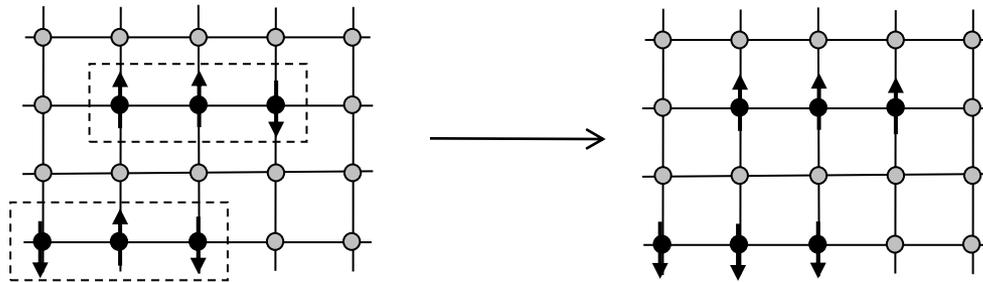
«спины» частиц в узлах решетки – мнения агентов («за / против») Усредненный магнитный момент $\langle M \rangle$ – «общественное мнение», T – «шум». Ниже критического уровня T_0 – «состояние консенсуса».

Динамика общественного мнения: другие модели

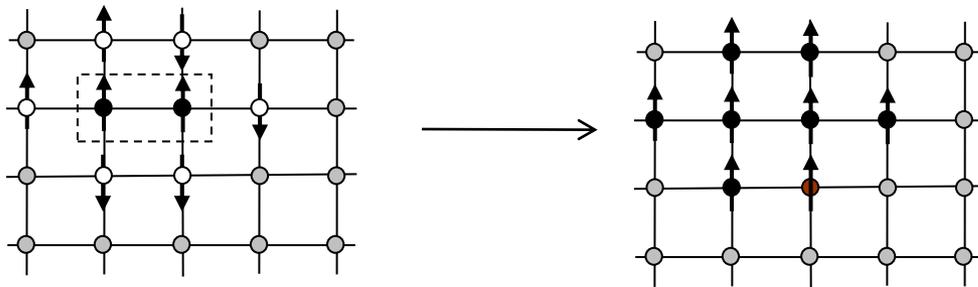


«Модель избирателя» (voter model)
Holley R., Liggett T.

Ann. Probab. 1975. **3**, N 4. 643



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



«Шнайдовская модель»

Sznajd-Weron K., Sznajd J.

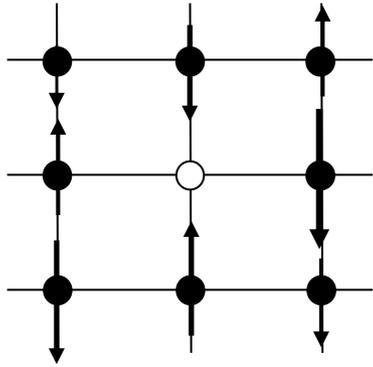
Int. J. Mod. Phys. C. 2000, **11**(6), 1157

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



social impact model (B.Latane, 1981)

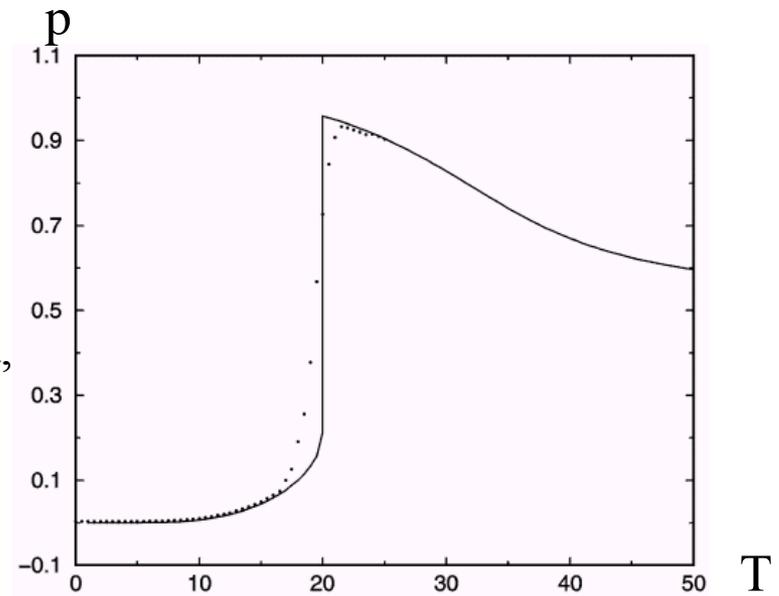
Holyst J.A., et al. Ann. Rev. Comp. Phys.
2001, – V. 9. – P. 253 -273

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

где I_i - действие социального поля на i -го агента,
 $S_L \gg \alpha_j s_i$ - мнение оппозиционного лидера
 p - доля агентов, принявших мнение лидера
 (sign $s_i = \text{sign } S_L$),
 T - уровень шума («температура»)

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

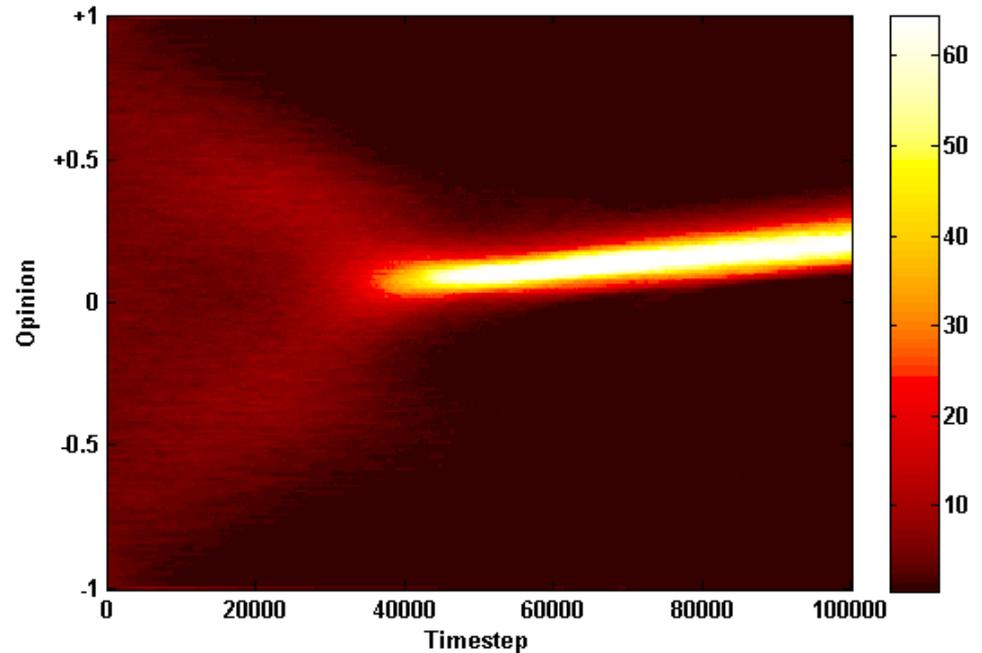
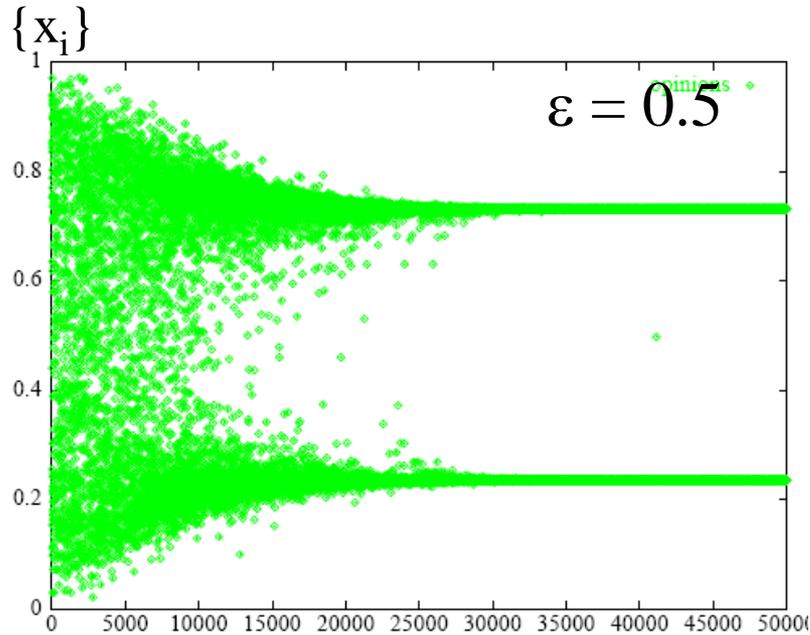
α_j - «сила убеждения»,
 β_i - «консерватизм»,
 h - «поле пропаганды»
 d_{ij} - «социальная дистанция»



При возрастании неопределенности побеждает оппозиция

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)

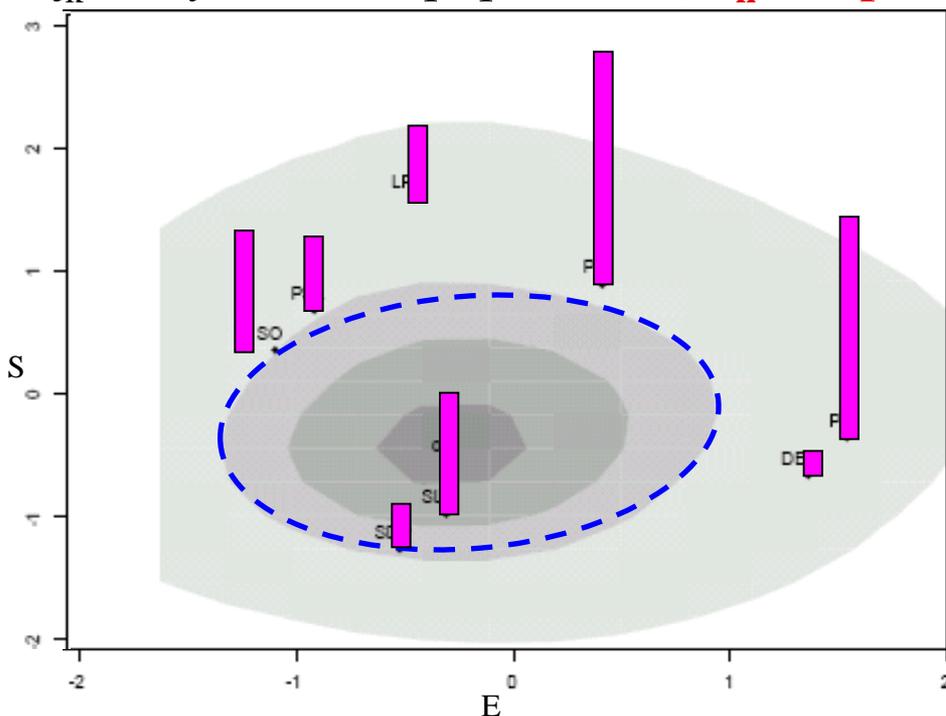


M.Afshar, M.Asadpour, Opinion formation by informed agents, *JASSS*, 2010, **13**(4), 5 (<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/13/4/5.html>): наличие в сети $\geq 3\%$ «информированных агентов» (**манипуляторов**), принимающих мнение окружения ($x_M(t=1) = \langle x_i \rangle$) и затем постепенно изменяющих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

Многомерная 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», ξ_k – случайные приращения, λ_k – «сродство» 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 Demokratyczna

+ Demokraci Polski

PO – Platforma Obywatelska

SO – Samoobrona Rzeczpospolitej Polski

PSL – Polskie Stronnictwo Ludowe

LPR – Liga Polskich Rodzin

PiS – Prawo i Sprawiedliwość

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

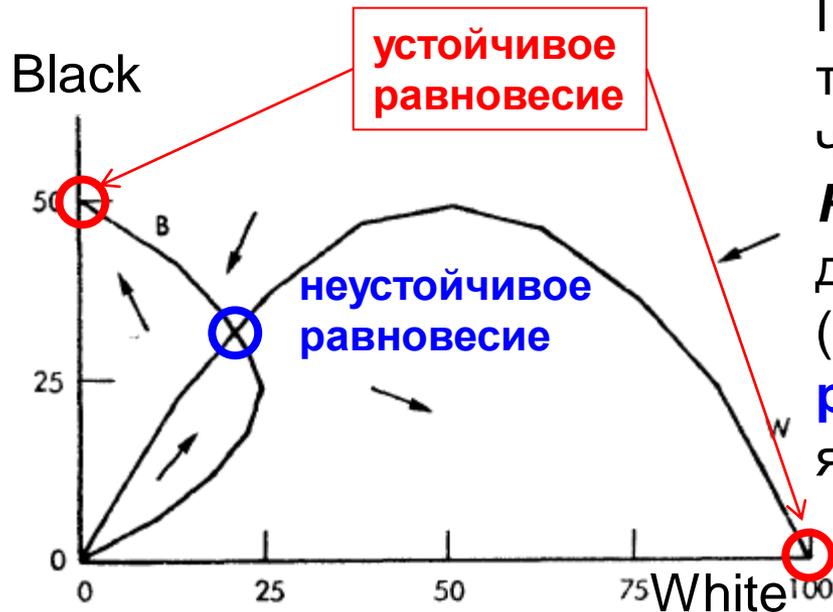
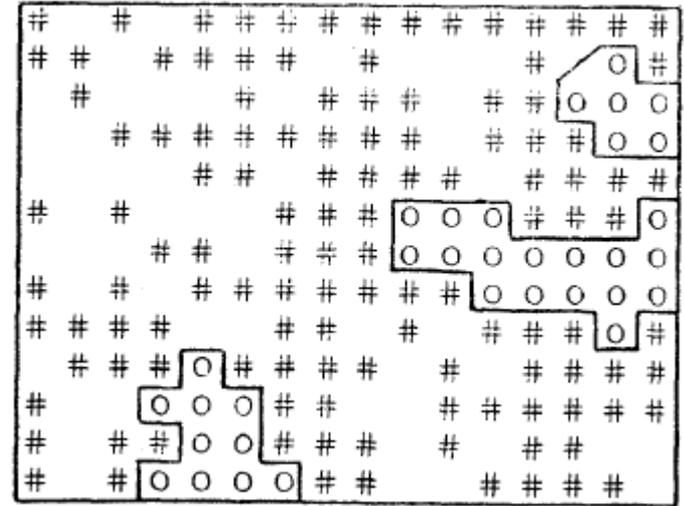
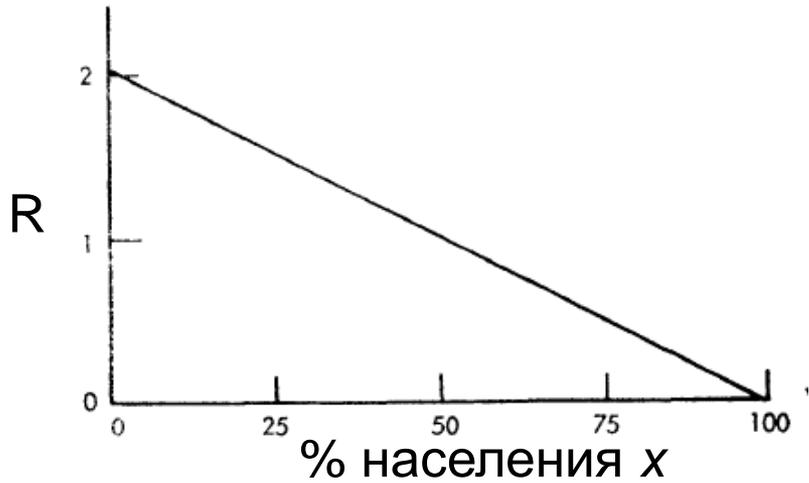
Филатов А.Ю. Модели политической конкуренции // Вопр. экон. и упр. – ИГУ. – 2010. – С. 205-232

http://math.isu.ru/ru/chairs/me/files/filatov/2010_-_polit.pdf

Модель расовой сегрегации

T.C.Schelling, *J. Math. Sociology*, 1, 143-186 (1971)

Распределение толерантности R



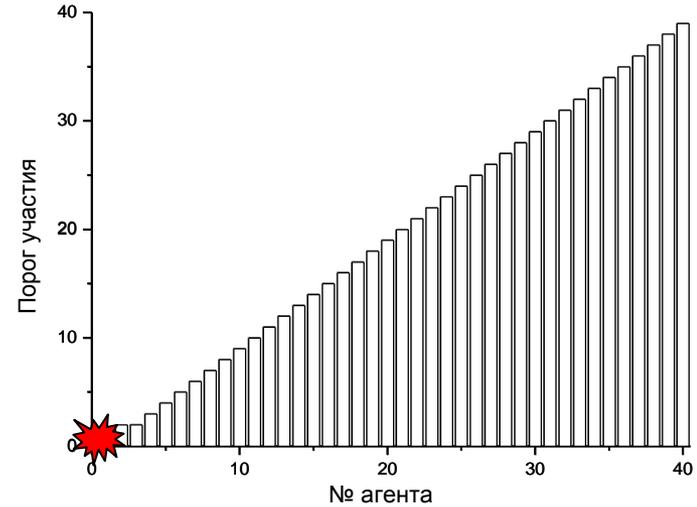
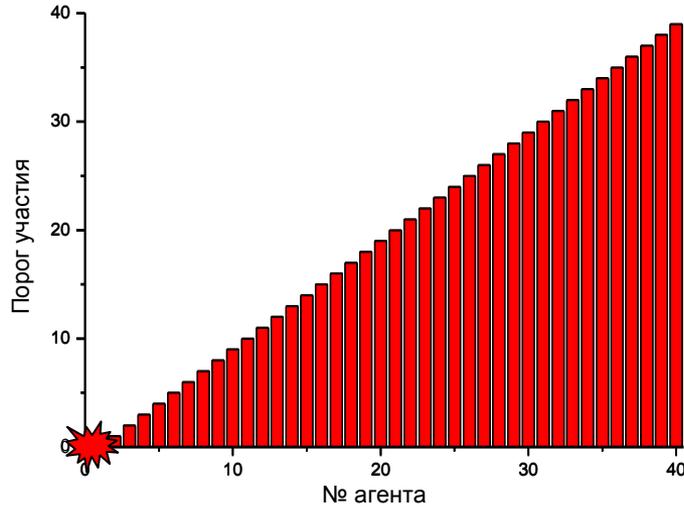
При равномерном распределении порога толерантности («невыносимой» доли чужого населения в месте проживания)

$R=a-bx$ «терпимому» числу агентов другого цвета $F_B=Rx_W=x_B$, $F_W=Rx_B=x_W$ (параболы) отвечает **неустойчивое равновесие**. Устойчивым решением является **полная сегрегация**

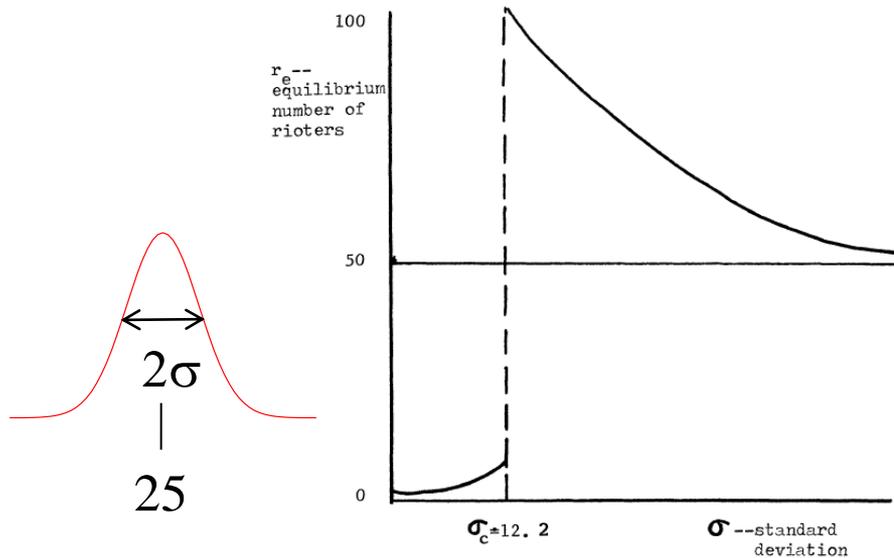
Пороговые модели коллективного поведения

M.Granovetter, *Amer. J. Sociology*, **83**, 1420-1443 (1978)

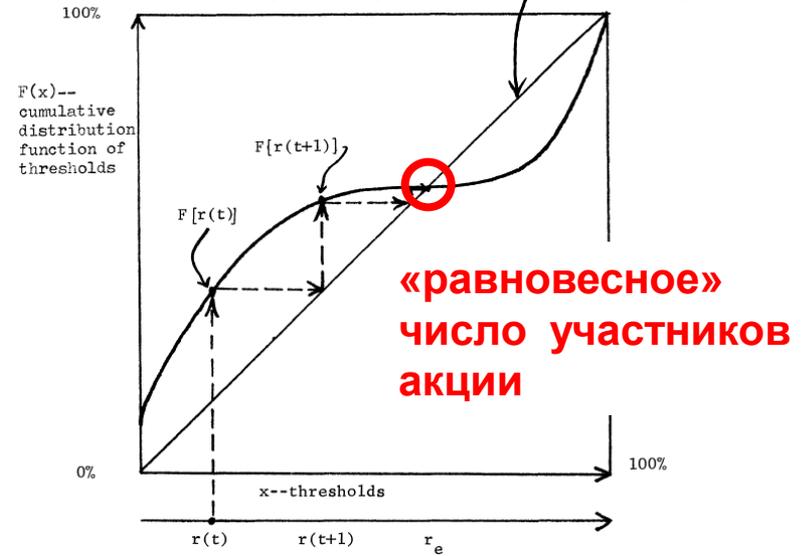
равномерное распределение порогов



нормальное распределение порогов



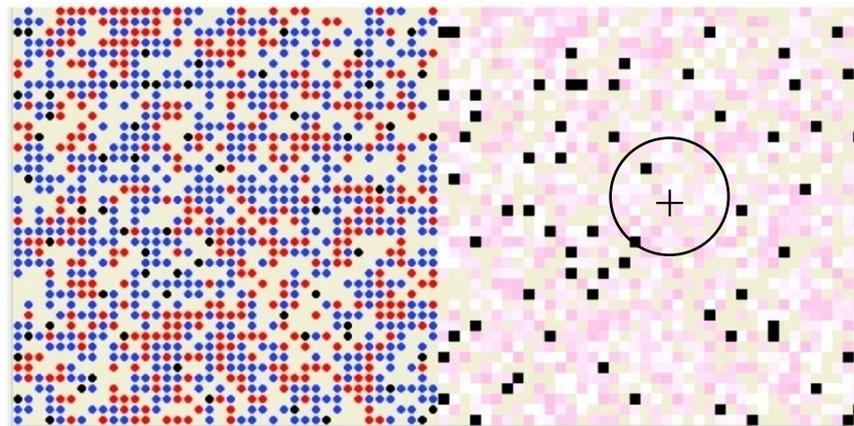
произвольное распределение порогов



Модели политического кризиса

Пороговые модели (threshold models): переход агента $f_1(t) \rightarrow f_2(t+1)$ при критич. 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» $(1/N)\sum x_i(t)$

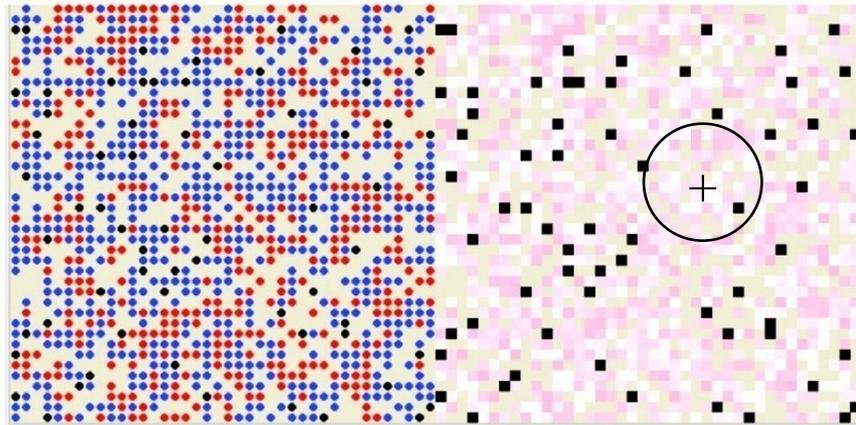
Модель Эпштейна (*Epstein J.M. Modeling civil violence: an agent-based computational approach, Proc Natl Acad Sci USA. 2002, 99, Suppl. 3, 7243-7250*): N «активистов» и P «полицейских» на решетке, активист «восстает» ($x_i=1$) при $G_i - p_i r_i > G_0$, где $G_i = H_i(1-L)$ - его недовольство, H_i - 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 $\sum G_i$ и число восставших N^*



«состояние»

«настроение»

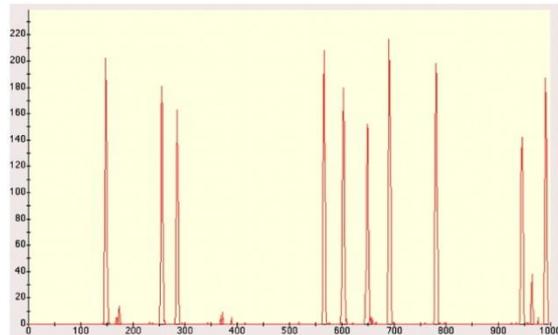
Динамика в модели Эпштейна



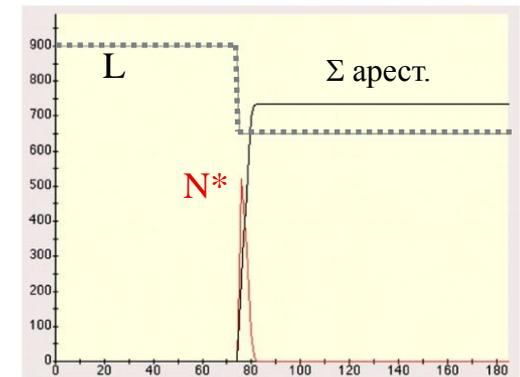
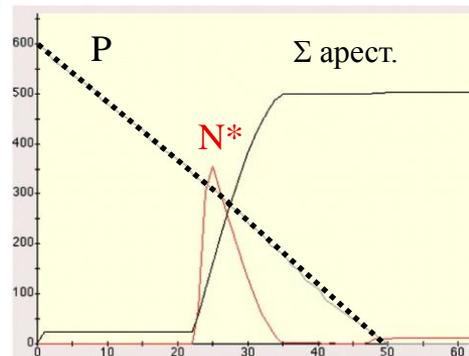
«состояние»

«настроение»

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



динамика $N^*(t)$

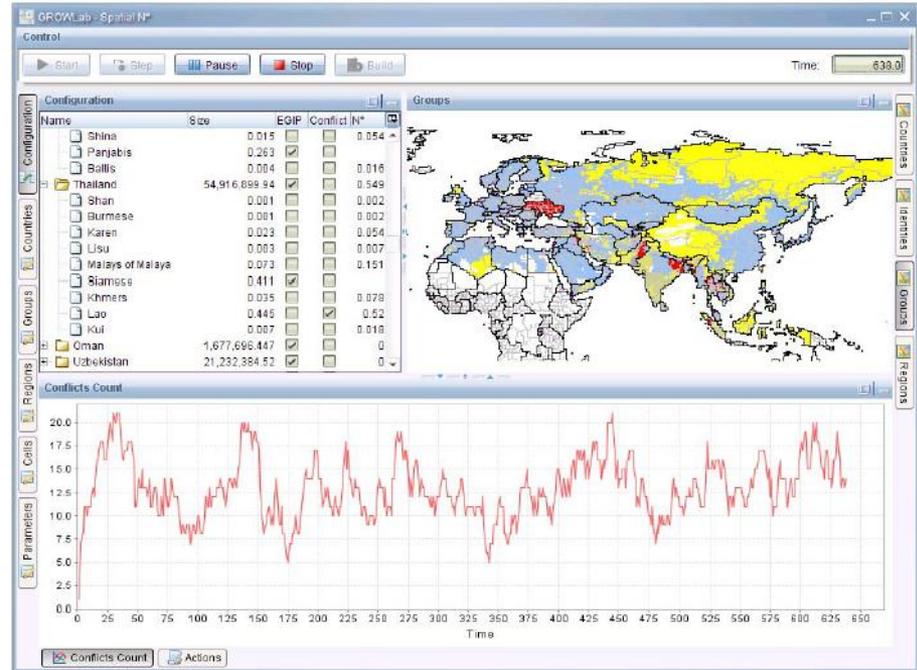


Моделирование гражданских войн

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>

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

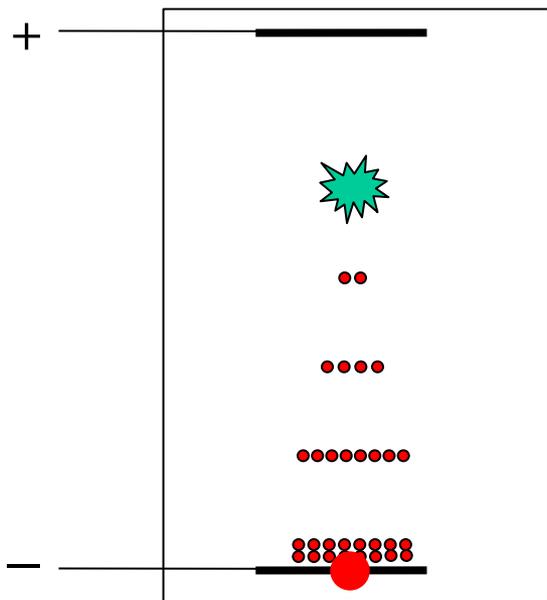
«Онлайновые социальные сети помимо выполнения функции поддержки общения, обмена мнениями и получения информации их членами, в последнее время все чаще становятся объектами и средствами информационного управления и ареной информационного противоборства. В недалеком будущем они неизбежно станут существенным 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 (2010 г.)

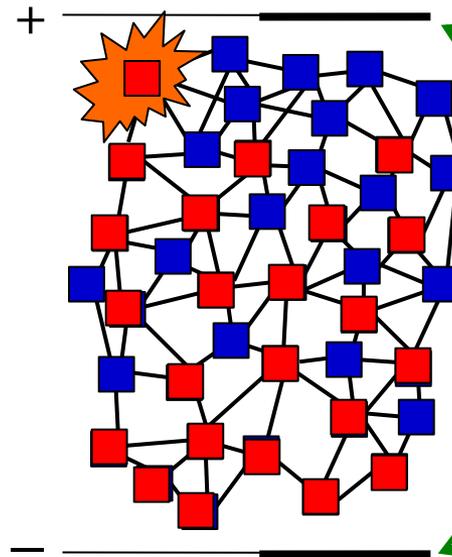
Информационные каскады

S.Bikhchandani, *et al.* **A Theory of Fads, Fashion, Custom, and Cultural Change as Informational Cascades**, *J. Polit. Economy*, **100**, 992-1026 (1992)

Как работает счетчик Гейгера



Как работает Твиттер



«информационное поле» (пресса, слухи, соц. сети и т.д.)

P.A.Banos, *et al.*, **The role of hidden influentials in the diffusion of online information cascades**. *arXiv:1303.4629v1 [physics.soc-ph]*

Некоторые результаты

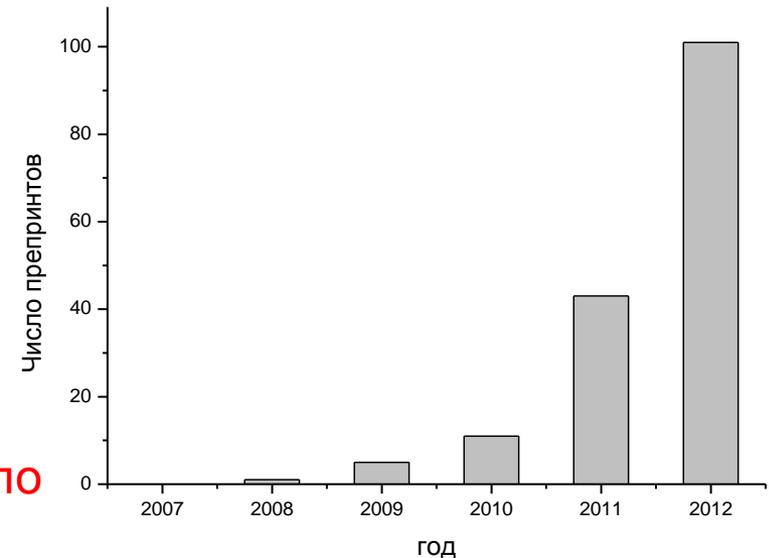
Примеры исследований по теме «Twitter»:

Gonzalez-Bailon S., et al. The dynamics of protest recruitment through an online network,

[ArXiv:1111.5595](https://arxiv.org/abs/1111.5595)

Bachrach D., et al. #h00t: Censorship resistant microblogging [ArXiv:1109.6874v1](https://arxiv.org/abs/1109.6874v1)

K.M.Frahm, D.L.Shepelyansky. Google matrix of Twitter [ArXiv:1207.3414v1](https://arxiv.org/abs/1207.3414v1). Поток информации в Twitter 2009 г. (41.65 млн пользователей) задавало одно сильно связанное ядро (~1000 VIPs)



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>

Выводы

1. Описание и моделирование социальных явлений методами точных наук – новая, быстро растущая область естествознания (социофизика): встречное движение физики сложных систем и наук об обществе. Социофизическими исследованиями установлены 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 недостаточен для эффективной конкуренции.

Природа создала людей удивительно равными друг другу в их телесных и умственных возможностях... У самого слабого человека хватит физической силы, чтобы убить самого крепкого – используя тайные средства или объединившись с другими слабыми... Из равенства человеческих способностей следует, что все люди одинаково хотят добиться своего. А потому любые два человека, пожелавшие одного и того же, чем они не могут владеть вместе, становятся врагами... и каждый из них стремится уничтожить либо подчинить другого на пути к своей цели.

Поэтому в такие времена, когда над людьми нет единой власти, которая держала бы их в трепете, они находятся в состоянии войны – а именно, войны всех против всех. Ибо ВОЙНА – не только сражения и военные действия: война – это такой промежуток времени, когда люди готовы воевать.

Томас Гоббс, «Левиафан, или материя, форма и власть государства церковного и гражданского», 1651 г.