

Физические явления в динамике социальных систем

Ю.Л.Словохотов

Химический факультет МГУ, кафедра физической химии
Институт элементоорганических соединений РАН

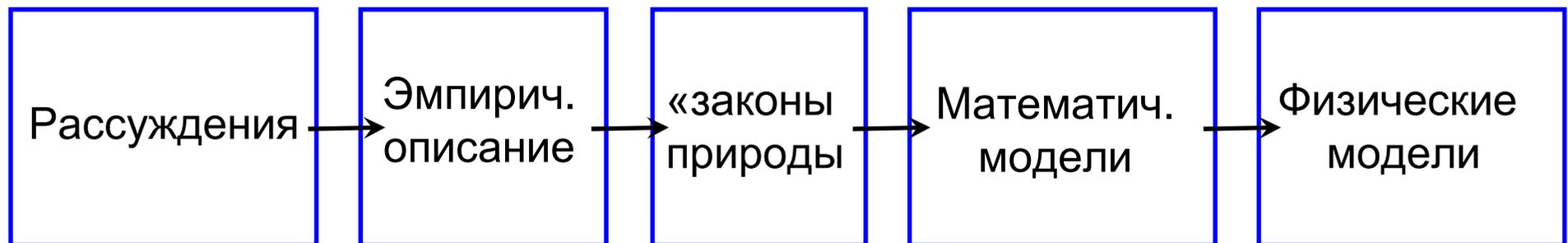
slov@phys.chem.msu.ru

Физика – наука, изучающая простейшие и вместе с тем наиболее общие свойства и законы движения окружающих нас объектов материального мира. Вследствие этой общности не существует явлений природы, не имеющих физ. свойств или сторон. Понятия Ф. и ее законы лежат в основе всего естествознания.

Слово «физика» происходит от греч. *physis* – природа. ... Границы, отделяющие Ф. от др. естеств. наук, в значит. мере условны и меняются с течением времени. В своей основе Ф. – экспериментальная наука: ее законы базируются на фактах, установленных опытным путем.

Физическая энциклопедия, т. 5.

М., Научное изд-во «Большая российская энциклопедия, 1998 г.



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»

Происхождение социофизики

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

XX век

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

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.

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. Artif. Soc. Social Simul. (JASSS), ...*

Библиотека препринтов ArXiv: Cornell University Library, Physics and Society. <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.

Какие физические факторы влияют на общество

1. Диссипативный характер глобальной подсистемы “человечество на Земле в историческом времени”.
Физическая климатология и влияние экзогенных факторов на исторические процессы.
2. Многочастичный характер социальных систем, аналогии с процессами в “неживых” многочастичных системах.
Математическая экономика, эконофизика, физическая политология, математическая история и др.
3. Объективный характер процессов, определяющих человеческое сознание, их количественный анализ.
Когнитивное планирование, информационное управление; правомерность анализа социума методами точных наук.

Проявление физических факторов в социуме

I. История

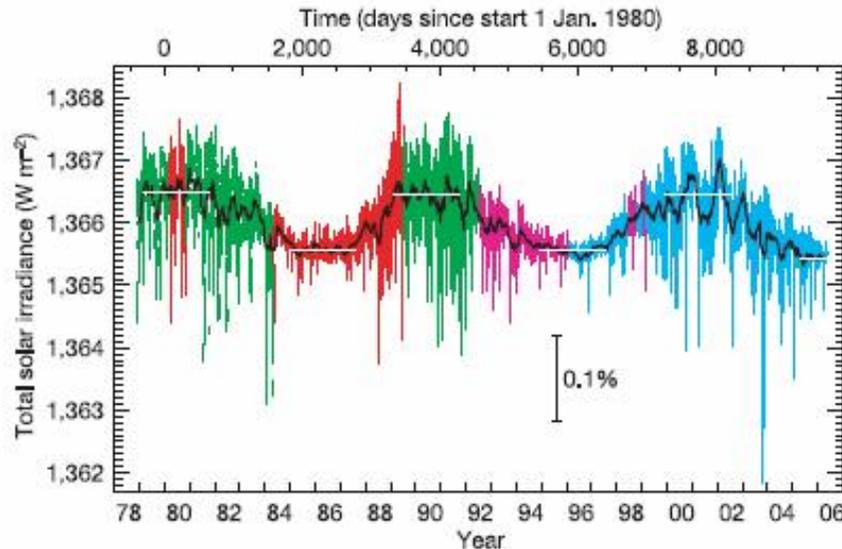
«Частица материи не может сказать нам, что она вовсе не чувствует потребности притягивания и отталкивания и что это неправда; человек же, который есть предмет истории, прямо говорит: я свободен и потому не подлежу законам»

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

Колебания потока солнечной энергии

TSI (total solar irradiance), или *солнечная постоянная* S_0 : средн. **1366** Вт/м²



Данные с космических аппаратов (ACRIM)
P.Foukal, et al., *Nature*, **443**,
161 (2006)

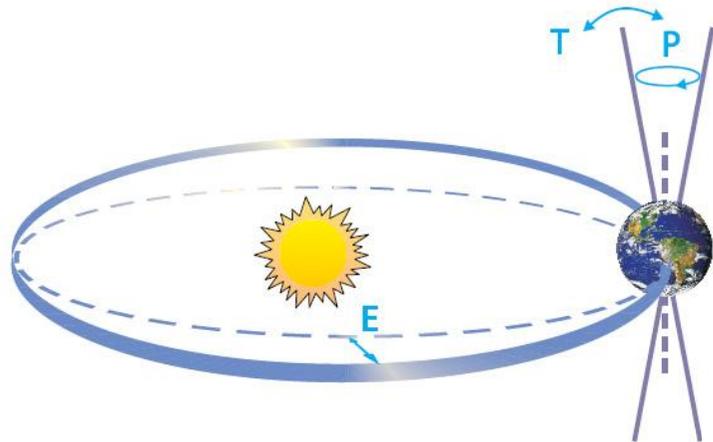
Годовое поглощение солнечной энергии Землей

$\sim 3.6 \cdot 10^{24}$ Дж

Энергия, выработанная человечеством в 2007 г.

$\sim 5 \cdot 10^{20}$ Дж (0.014%)

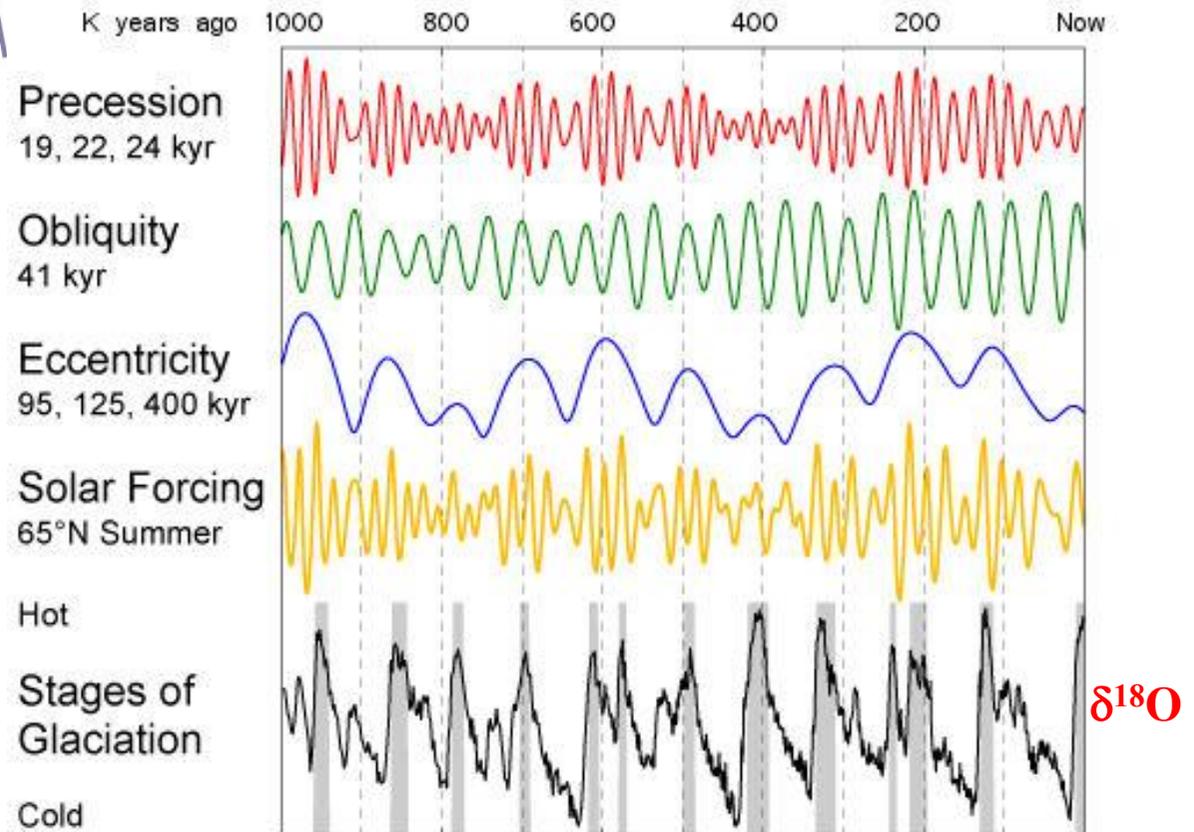
Палеоклиматические циклы (циклы Миланковича)



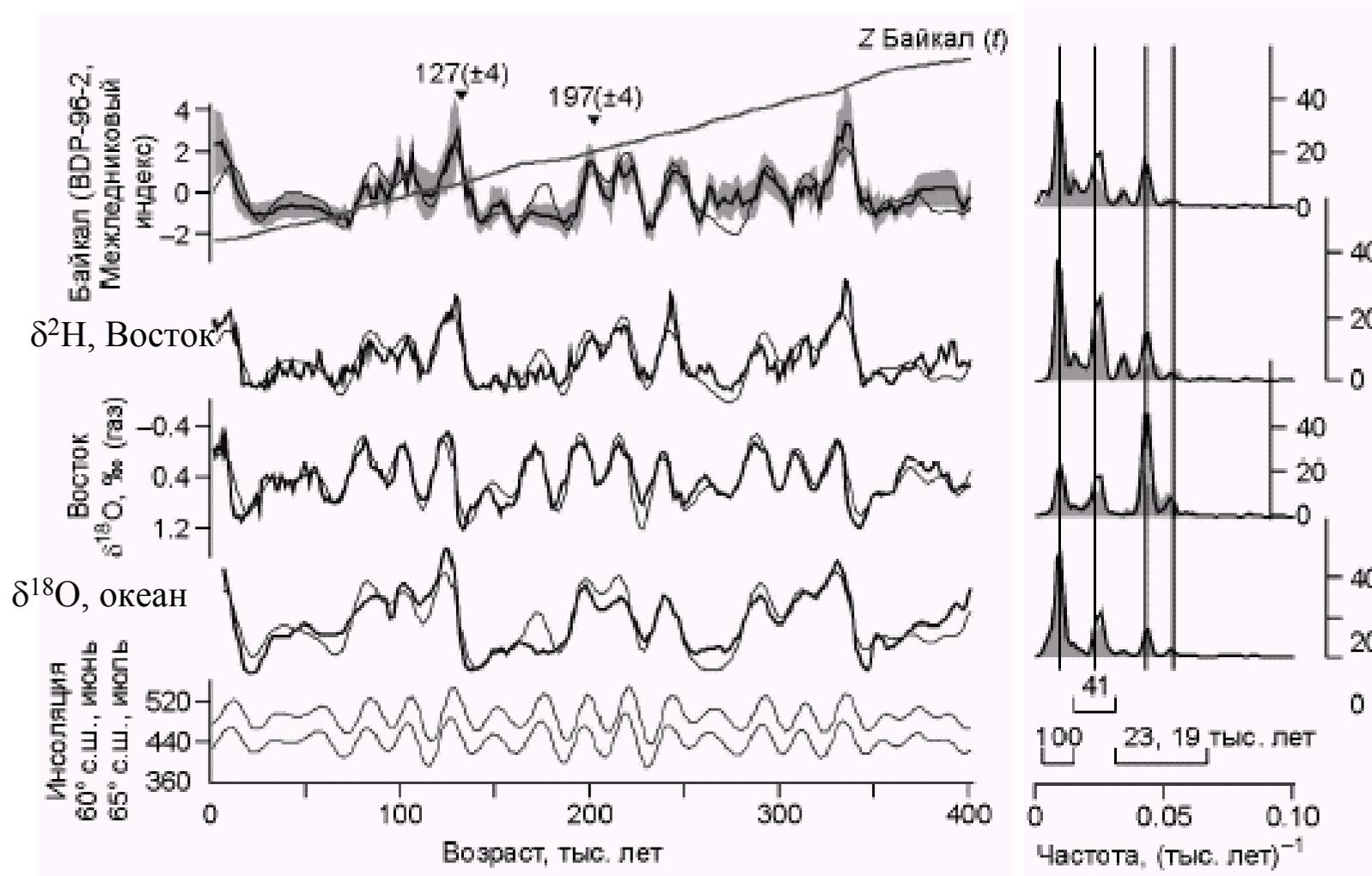
А.С.Монин, Ю.А.Шишков,
«Климат как проблема физики»,
УФН, **170**, 419 (2000)

**Прецессия (~19 тыс. лет)
и нутация (23 тыс. лет) оси
вращения: освещенность
поверхности Земли**

**Возмущения орбиты Земли
другими планетами
(41, 95 тыс. лет и более)**



Содержание климатических маркеров в донных пробах оз. Байкал (Br, Mo, U, Sr/Ti, Sr/Rb, Sr/Th, Zn/Nb, U/Th) (верхний график): корреляция с циклами Миланковича



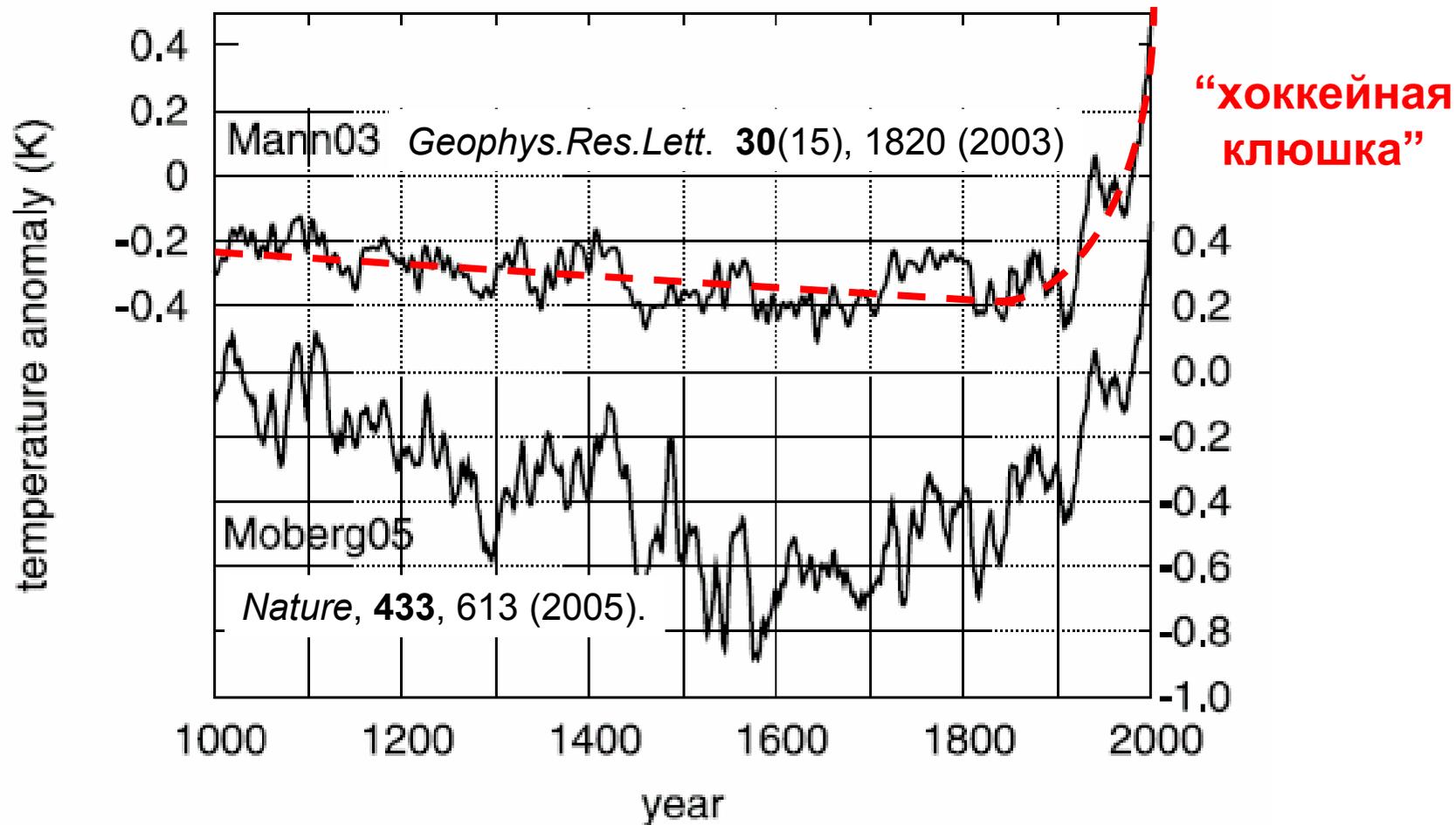
М.А. Федорин, Е.Л. Гольдберг, *Геология и геофизика* **49(1)**, 50 (2008)

Медленные изменения солнечной постоянной

по N.Scafetta, B.J.West, *J.Geophys.Res.* **112**, D24S03 (2007)

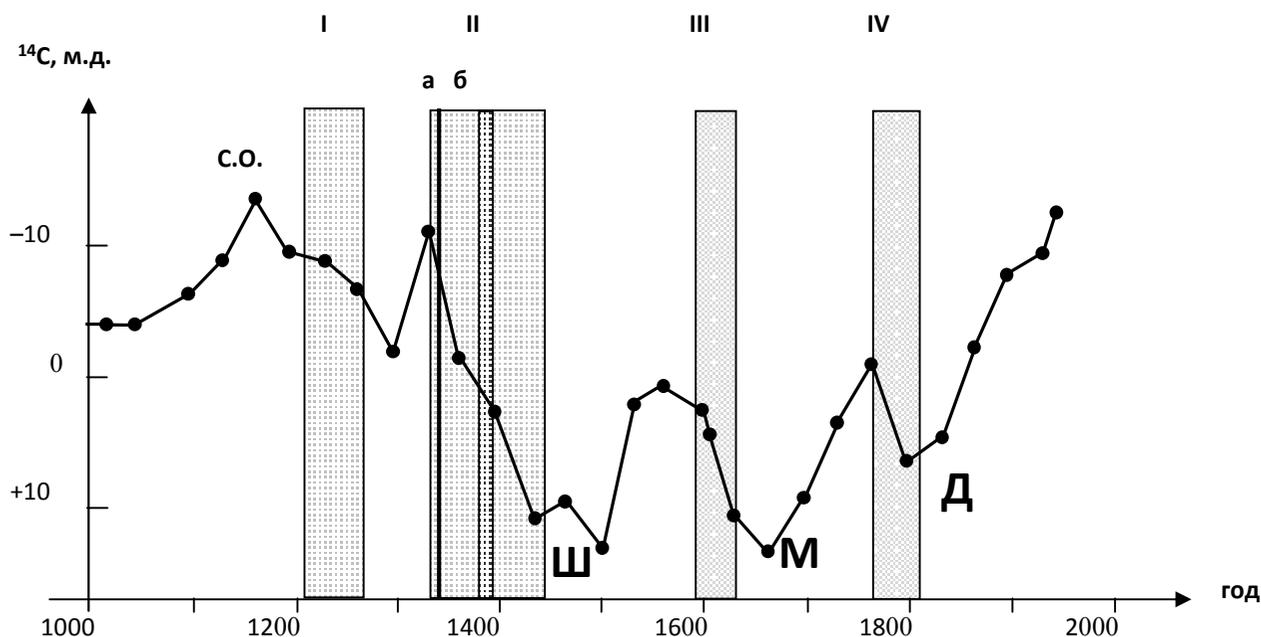


Реконструкции векового хода температуры в Северном полушарии в 1000 - 2000 г.г.



А.С.Монин, Ю.А.Шишков, *Климат как проблема физики УФН*, 2000, **170**, 419
Дж. Эдди, *История об исчезнувших солнечных пятнах, УФН*, 1978, **125**, 315
В.В.Клименко, *Климат: непрочитанная глава истории*, М.: МЭИ, 2009

Влияние изменений климата на историческую динамику



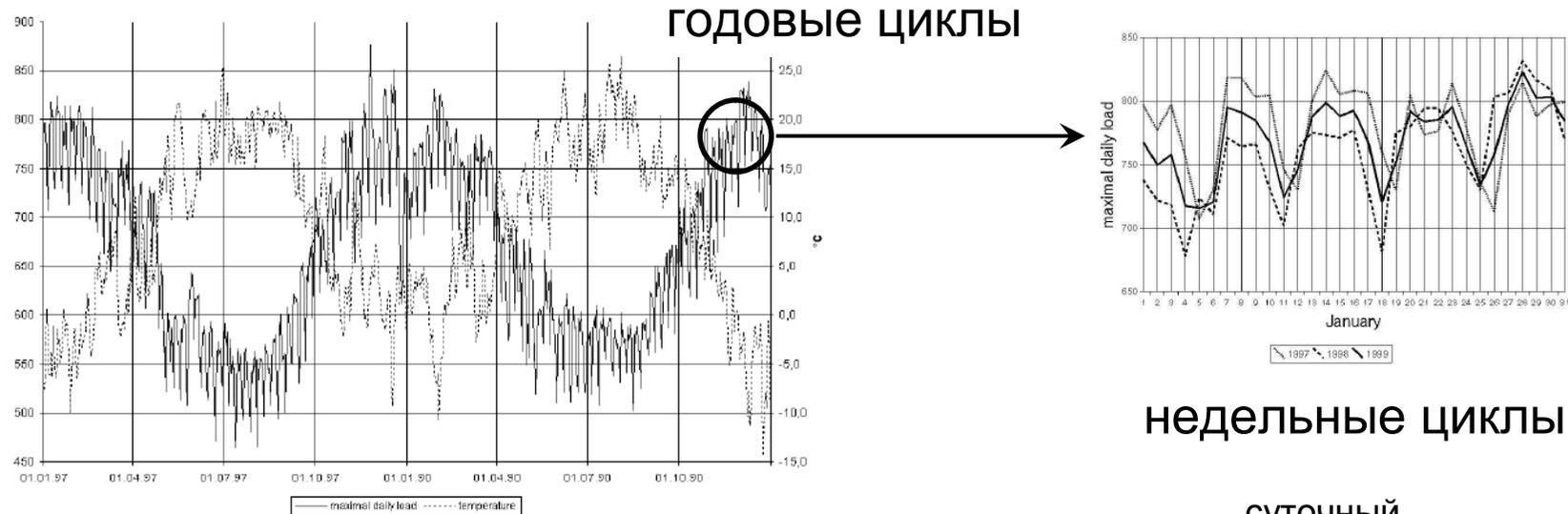
Доля изотопа ^{14}C в годичных кольцах деревьев, $\times 10^9$ (снижается при росте солнечной активности); минимумы Дальтона (Д), Маундера (М) и Шперера (Ш) средневековый оптимум (С.О.)

I – монгольские завоевания, **II** – Столетняя война в Европе; падение Византии; (а) чума (1347–50 г.г.), (б) крестьянские войны (1390-е г.г.),

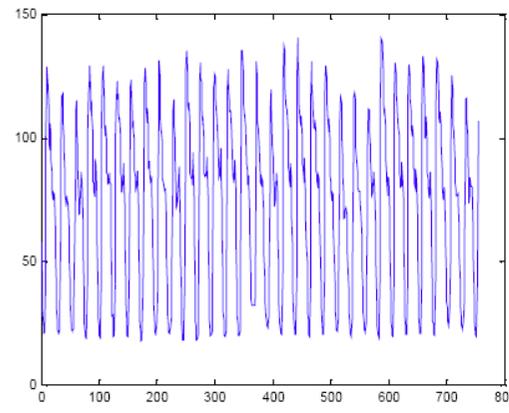
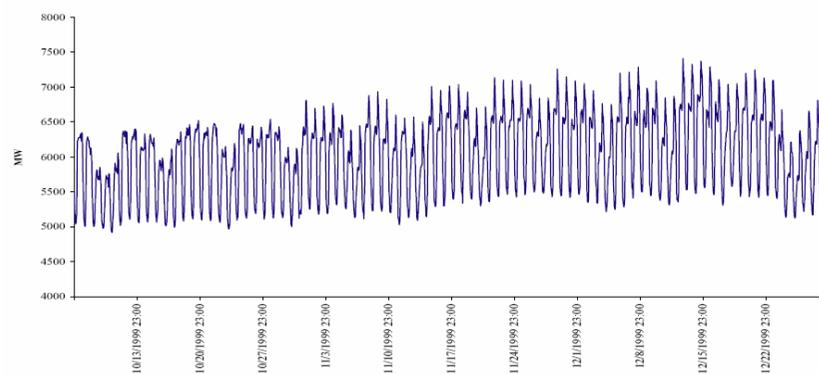
III – Смутное время на Руси, Тридцатилетняя война в Европе, революция в Англии, падение династии Мин в Китае; **IV** – война за независимость США, Великая французская революция, наполеоновские войны

Суточные и годовые циклы

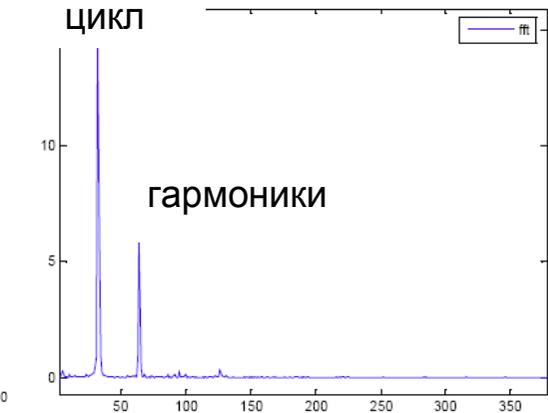
Энергопотребление в Европе (W.Brockmann, S.Kuthe)



недельные циклы



суточный цикл

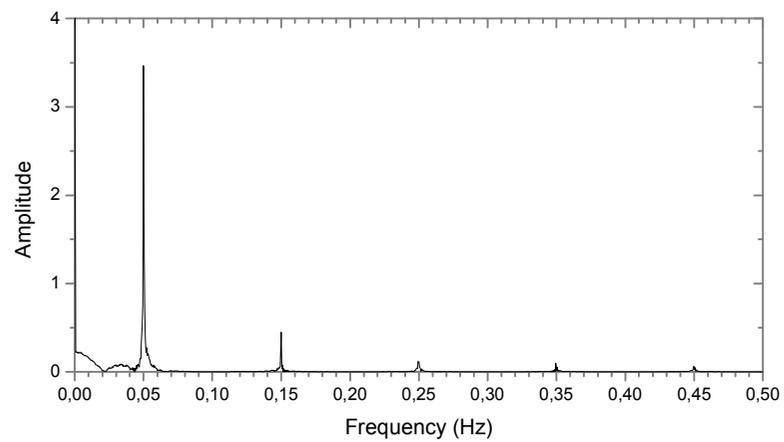
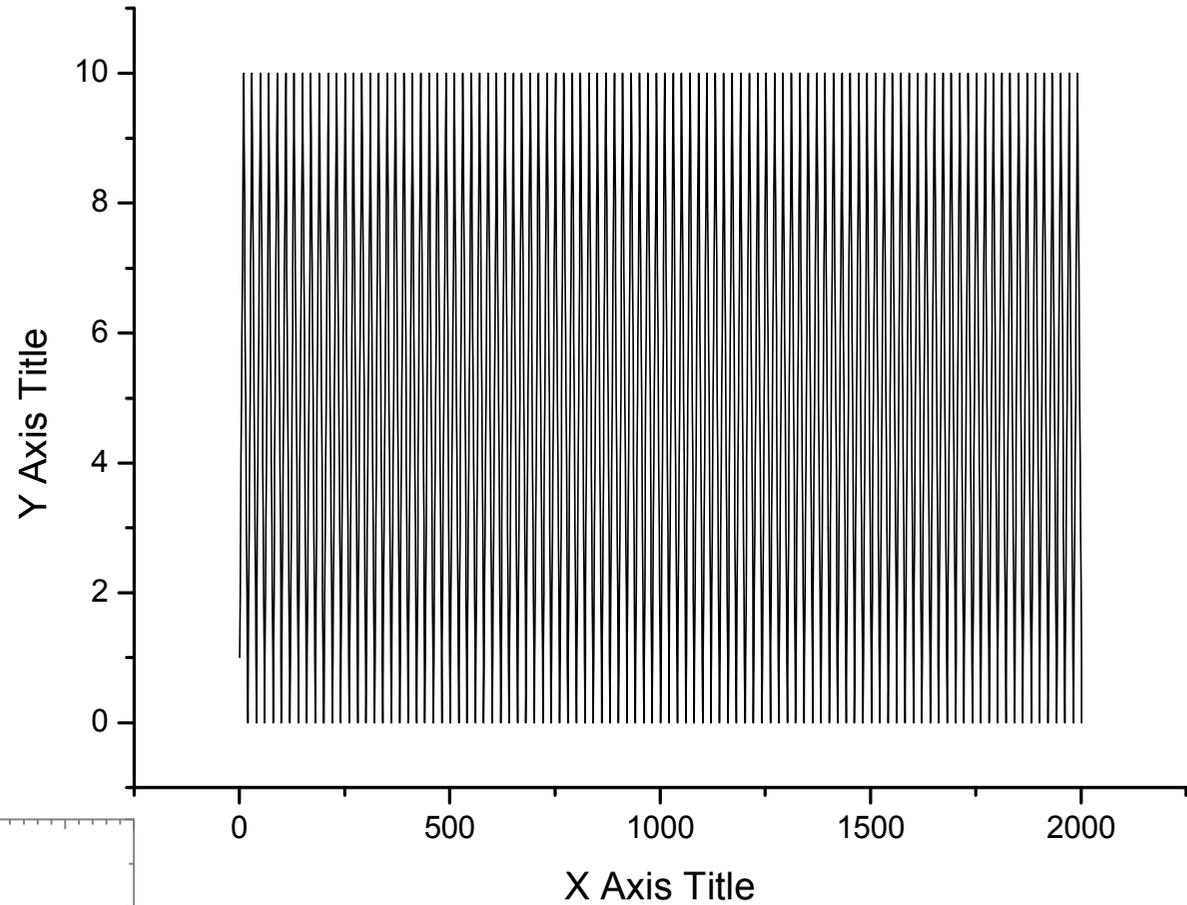
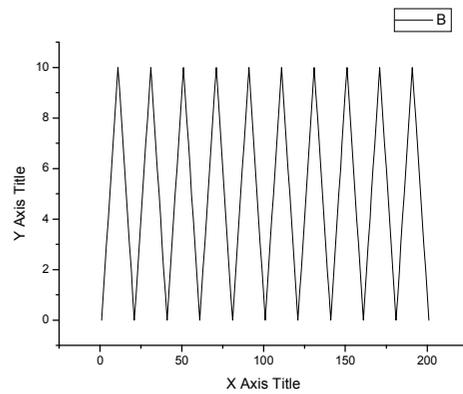


Потребления электроэнергии в Канаде (Альберта),
суточные и недельные циклы M,J.Hinich, A.Serletis
Studies in Nonlinear Dynamics & Econometrics **10** (3), art. 5 (2006) .

Потребление воды в Испании
C. Gonzalez-Concepcion, et al.,
WSEAS Trans, Math, **9**, 509 (2010)

Гармоники несинусоидальных колебаний

— D



Влияние космических факторов на человечество

1. Циклы Миланковича: связь с климатом доказана; периоды лежат за пределами исторического времени.
2. Циклы солнечной активности (~11 лет): связь с климатом маловероятна, корреляция с политическими процессами обсуждается.
3. Медленные изменения TSI: связь с климатом вероятна, периодичность исследуется, минимумы коррелируют с эпохами нестабильности в истории ряда стран.

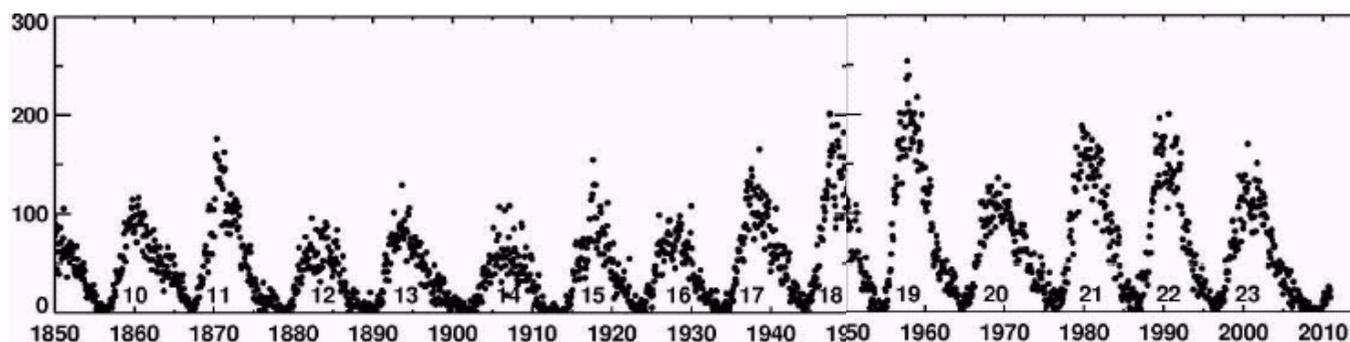
Изменения освещенности и TSI – «адиабатические» в масштабах исторического времени.

11-летние циклы: **вынужденные колебания социальных систем?** (политические циклы с близкими периодами).

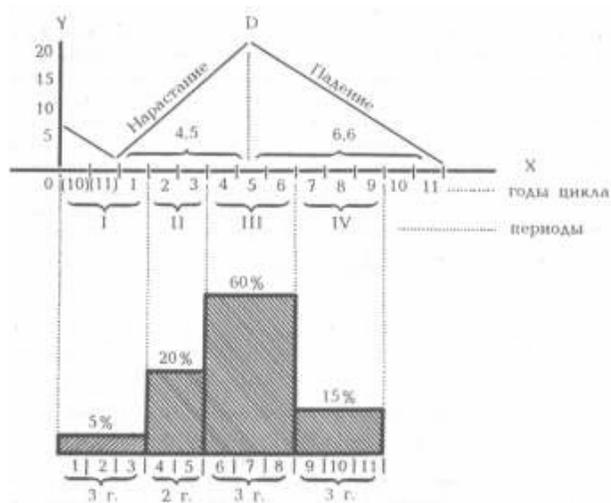
Поток солнечной энергии: **автоколебания и автоволны?** (экономические циклы; экономическая, политическая и военная экспансия).

Циклы солнечной активности и «общественная температура»

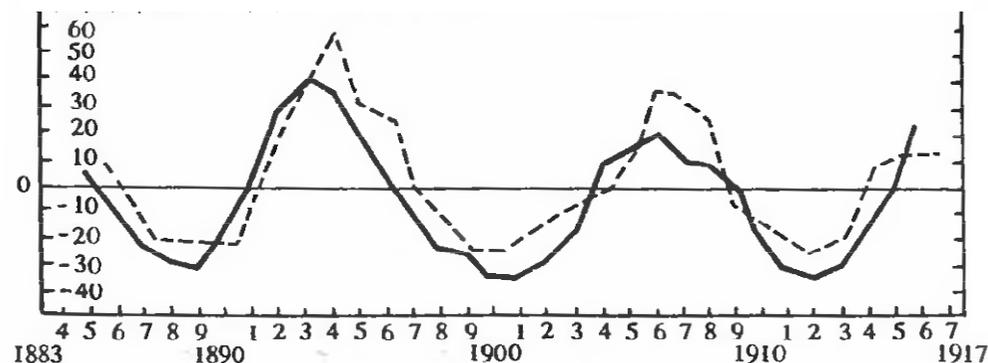
<http://solarscience.msfc.nasa.gov/SunspotCycles.shtml>



доля исторических событий в фазах солнечного цикла, средние за 500 лет



А.Л.Чижевский, *Физические факторы исторического процесса*, Калуга, 1924

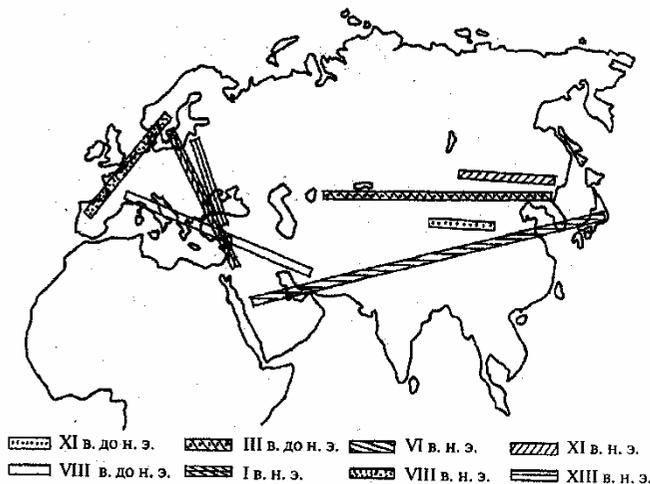


Пятнообразование на Солнце и заболеваемость возвратным тифом в Москве (штриховая линия, -1 год). А.Л.Чижевский, *Земля в объятиях Солнца*, М., Мысль, 1995

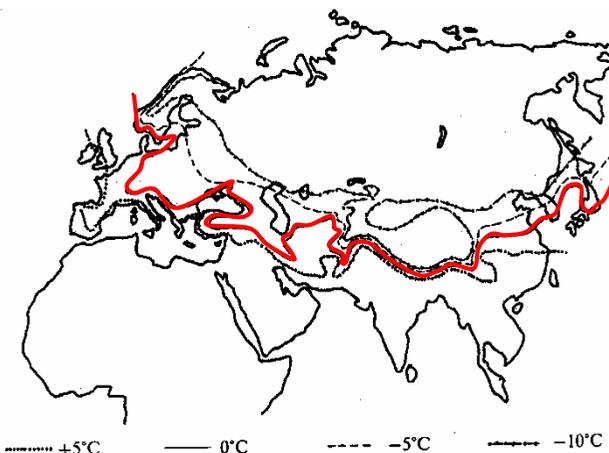
Математическая история

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

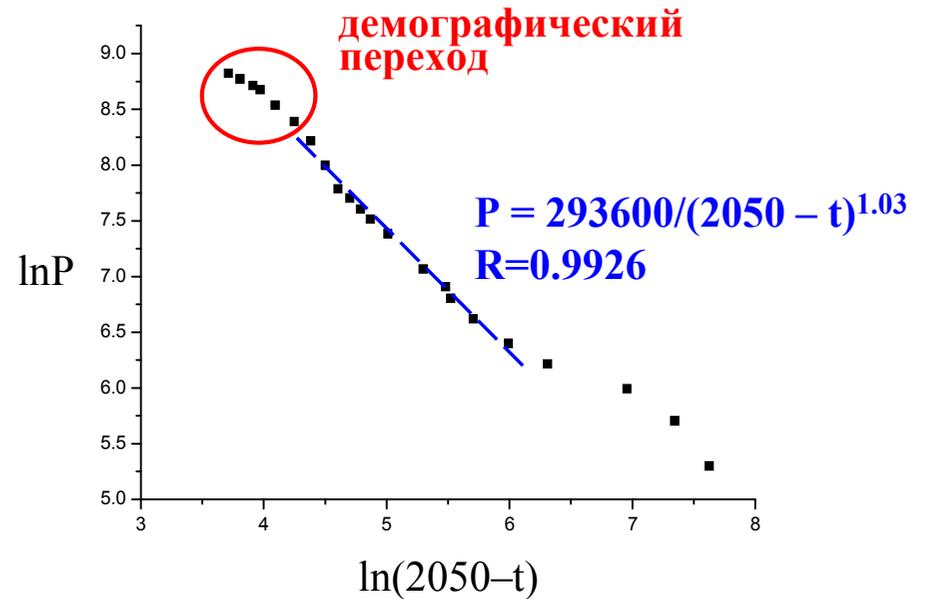
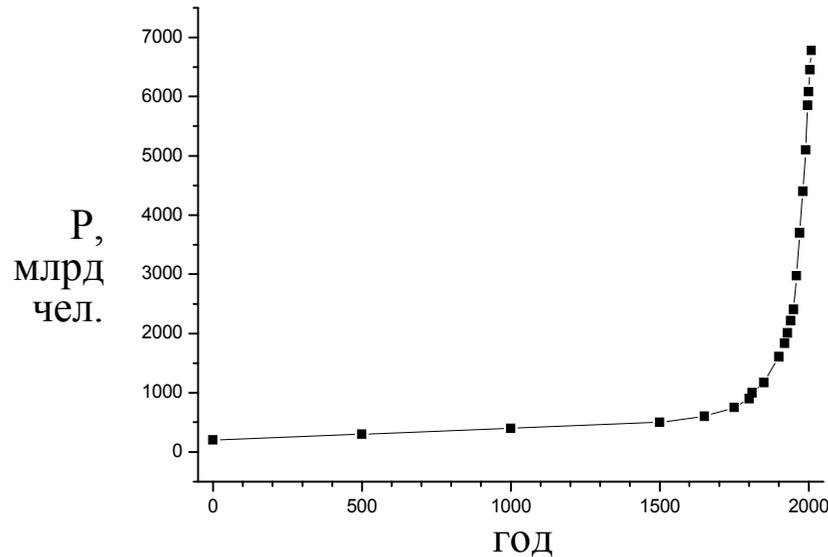


Современные изотермы января (красным 0° С)

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](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](http://projects.culturplex.ca)

Гиперболический рост населения Земли



С.П.Капица, *Общая теория роста человечества*, М.: Наука, 1999

М.Kremer, *Quart. J. Econ.*, **108**, 681 (1993): мат. модель

$$dP/dt = P^\alpha \quad (\alpha > 1) \rightarrow P = (t/\beta + C)^\beta,$$

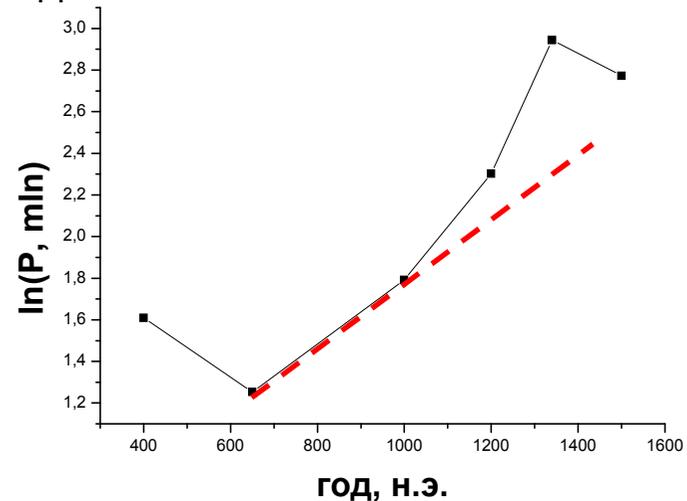
где $\beta = 1/(1-\alpha)$, βC - константа интегрирования.

Если $dP/dt = P \cdot X(P)$, и X - возрастающая ф-ция P , получим гиперболический рост $P(t)$.

Кремер: $X(P)$ - уровень технологий

Население Франции и Нидерландов в V - XVI вв. н.э

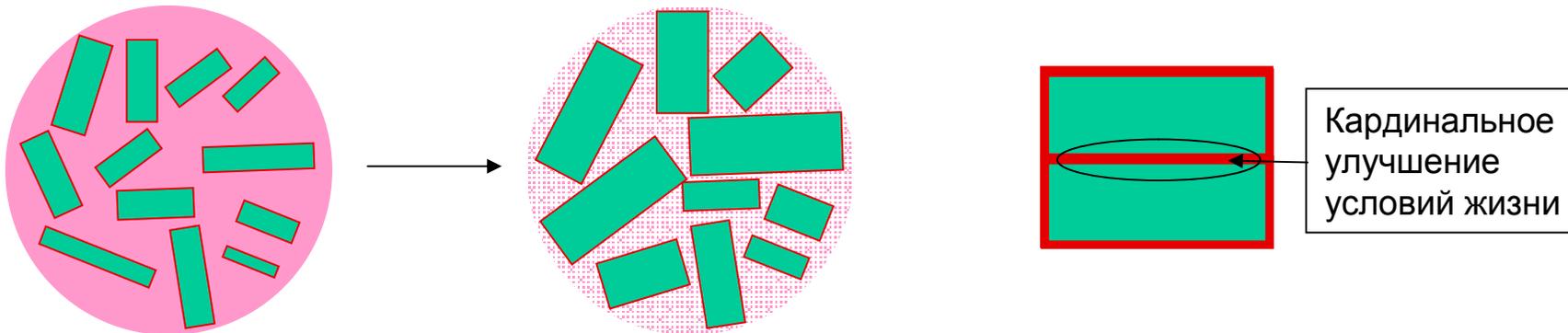
Russel J. C. Medieval demography, in AMS Studies in the Middle Ages, №12, NY, AMC Press, 1987..



Гиперболическая динамика роста населения косвенно указывает на «конденсацию» областей проживания людей, т.е. «социальных доменов».

- (1) Не приводит ли такая конденсация *сама по себе* к массовому улучшению жизни?
- (2) Всегда ли улучшение жизненных условий вызвано технологическим ростом, т.е. тождествен ли (*средневековый?*) социальный прогресс техническому прогрессу?

Места проживания людей: домены в социальной плазме



Возможный механизм гиперболического роста населения

1. Снижение агрессивности («социальной температуры»).
2. Политически и экономически выгодное укрупнение доменов.
3. Уменьшение уровня насилия, снижение угрозы смерти.
4. Облегчение хозяйственной деятельности.
5. Улучшение условий жизни, **быстрый** рост населения.
6. Технологический прогресс.
7. Дальнейшее укрупнение доменов.

II. Физические модели в экономике: *экономифизика*

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. - 1st workshop 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)

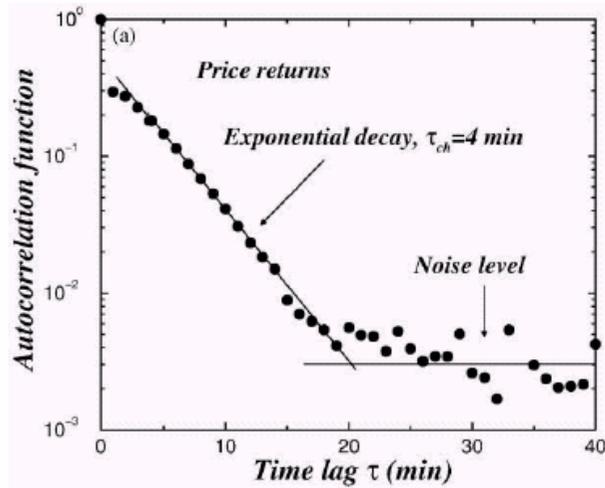
Эконофизика: основные направления

1. Исследование финансовых рынков методами статистической физики. Анализ временных рядов, биржевые индексы.
2. Моделирование экономических процессов как стохастических явлений. Моделирование поведения экономических агентов.
3. Анализ финансовых и экономических кризисов.
4. Анализ физического содержания основных понятий и закономерностей экономической науки

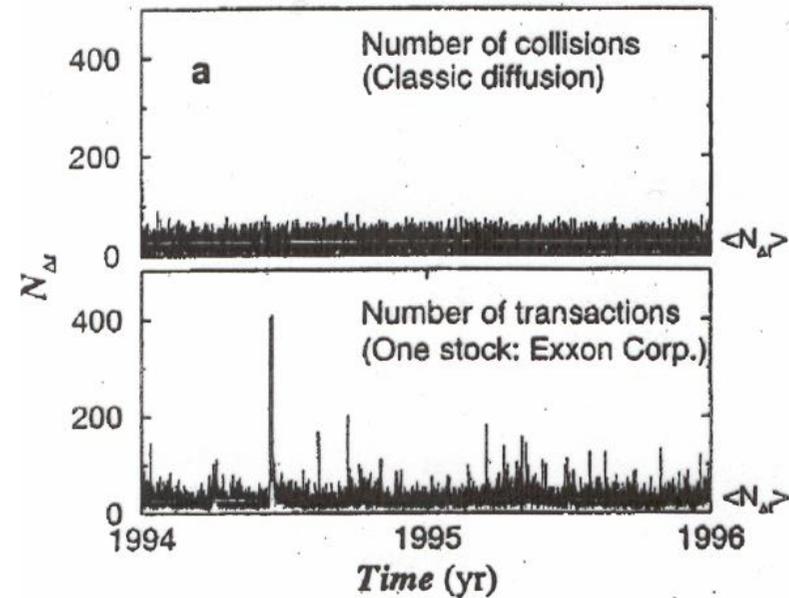
Р.Н.Мантенья, Г.Ю.Стенли, *Введение в эконофизику. Корреляции и сложность в финансах*. Москва, URSS, 2009

М.Ю.Романовский, Ю.М.Романовский, *Введение в эконофизику. Статистические и динамические модели*, Москва, ИКИ, 2007

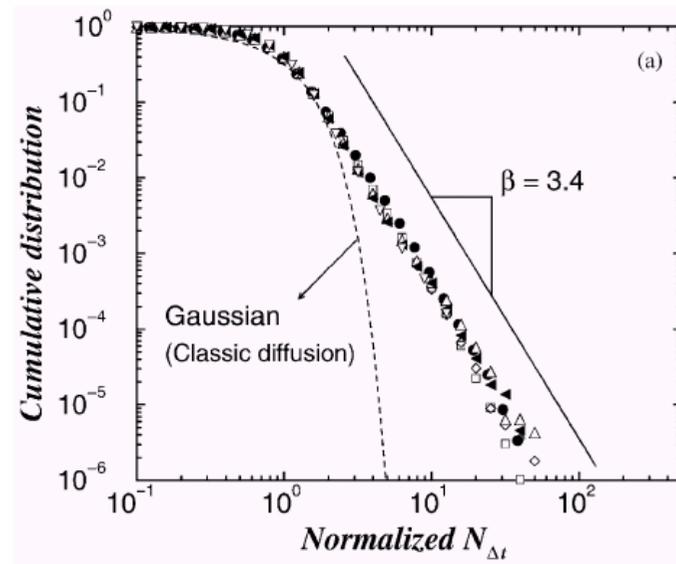
H.E.Stanley, et al. Similarities and differences between physics and economics, *Physica A* **287** 339 (2000).



автокорреляции индекса S&P 500
 $R(\tau) = [\langle G(t)G(t+\tau) \rangle - \langle G(t) \rangle^2] / [\langle G(t)^2 \rangle - \langle G(t) \rangle^2]$:
 где $G(t, \Delta t) = \ln S(t+\Delta t) - \ln S(t)$, $\Delta t = 1$ мин.
 аналогии с броуновской динамикой
 $R = \sigma^2 \exp(-\tau/\tau_0)$



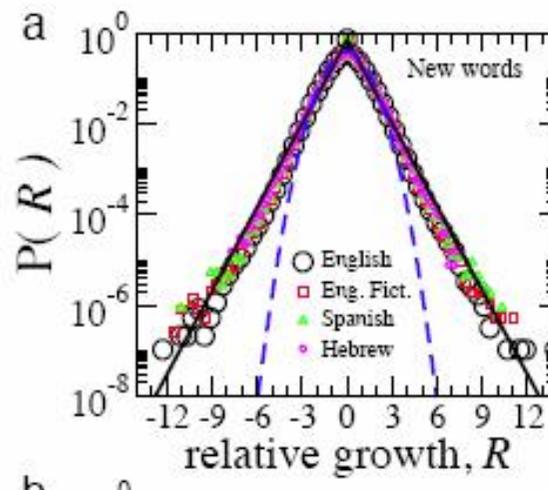
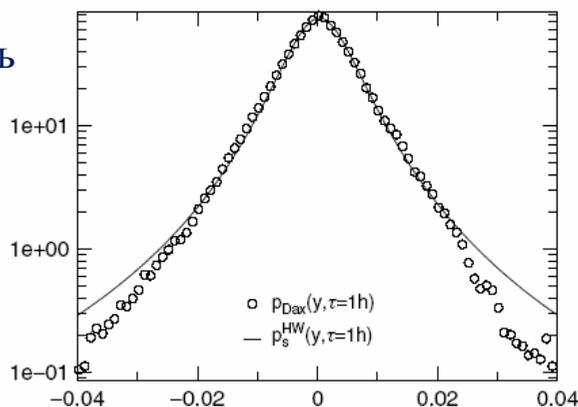
плотность продаж акций:
 аномальная диффузия



распределение плотности продаж

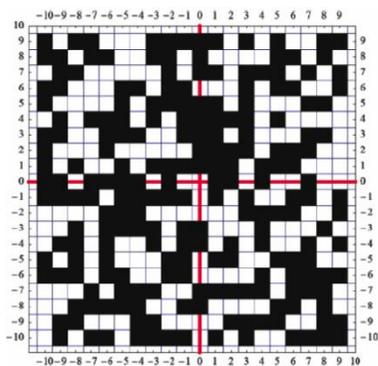
«Остроконечные» (leptocurtic) распределения

Доходность
акций

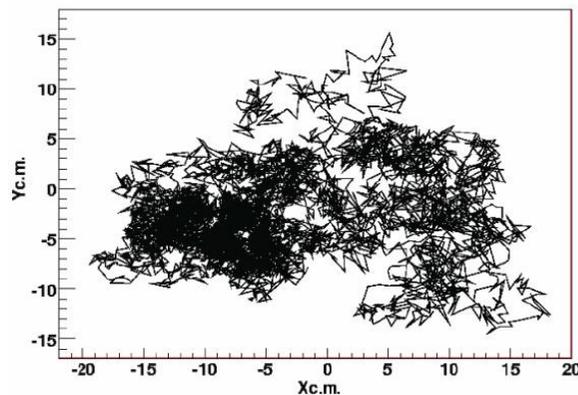


Эволюция
частотности слов
в языке

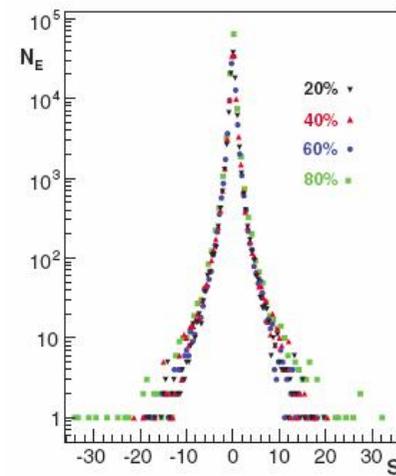
Petersen A.M., Tenenbaum J., Havlin S., Stanley H.E. Statistical laws governing fluctuations in word use from word birth to word death [//arXiv:1107.3707v2](https://arxiv.org/abs/1107.3707v2)



«игра в жизнь»



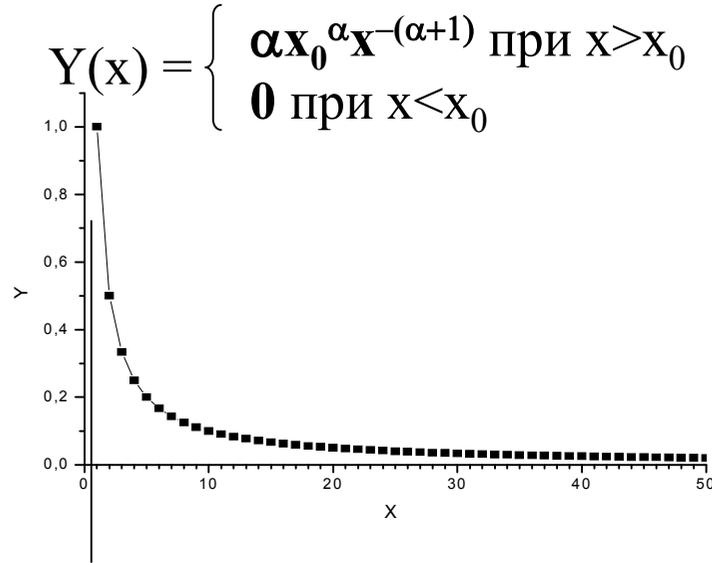
Блуждания центра масс
«живых» клеток



Частотности логарифмических
приращений дистанции (return)

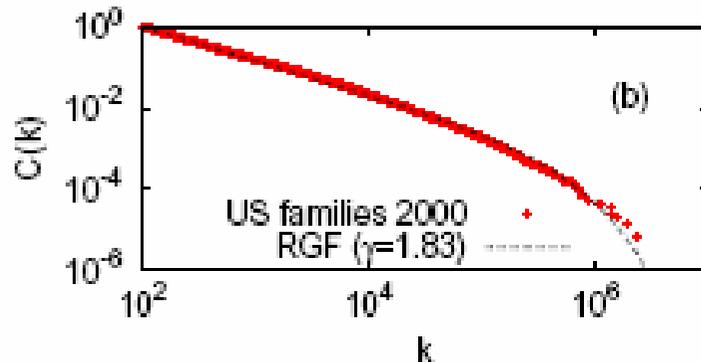
Hernandez-Montoya A.R. et al. Emerging properties of financial time series in the “Game of Life”.
[//Phys. Rev. E– 2011, - V. 84, 066104](https://doi.org/10.1103/PhysRevE.84.066104)

Распределение Парето (закон Ципфа)



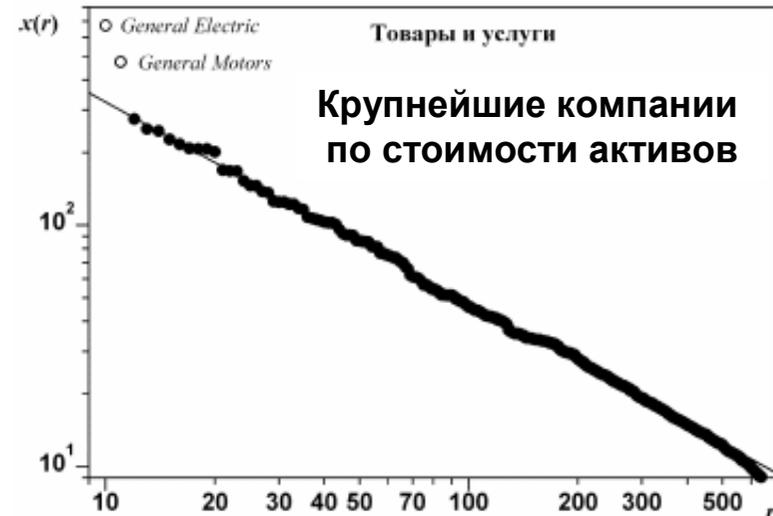
гиперболические распределения, спрямляются в двойных логарифмических координатах. Законы Парето (доходы), Эсту-Ципфа (слова, имена), Ауэрбаха (население городов) и др.

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



Частотность фамилий, США

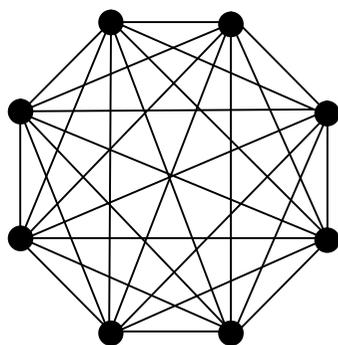
Распределения ранг-размер в двойных логарифмических координатах



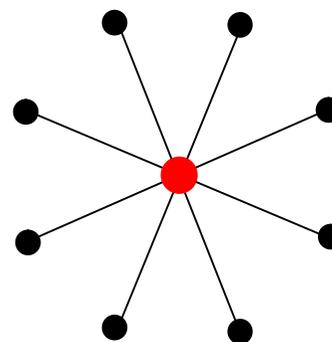
Физическое содержание экономических понятий

Д.С.Чернавский, информационная сущность денег

N товаров



Бартер:
 $W_1 = (N/2)(N-1)$



деньги:
 $W_2 = N$

$S = K \ln W, N \gg 1:$

$$S_1 = \ln N + \ln(N-1) - \ln 2 \approx 2S_2$$

Д.С.Чернавский и соавт., Борьба условных информаций, в кн. *История и синергетика. Математическое моделирование социальной динамики*, М., КомКнига, 2005, С.88.

«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

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

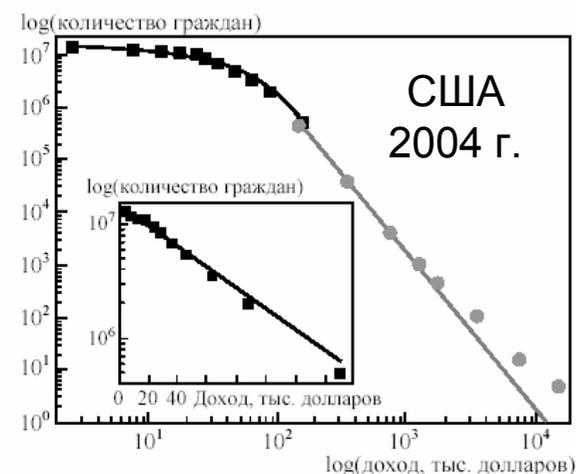
где $A(r) = -\langle \Delta r \rangle / \Delta t$, $B = \langle (\Delta r)^2 \rangle / 2\Delta t$.

(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

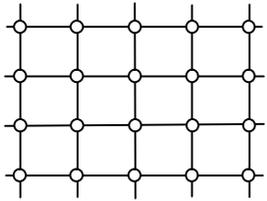
Qualitative Models
in the Theory
of Complex Systems



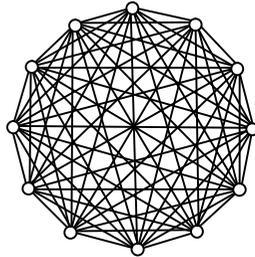
М., Наука, Физматлит, 1998, С. 63 – 66:

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

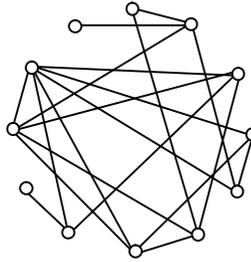
Фрагменты сложных сетей (complex networks)



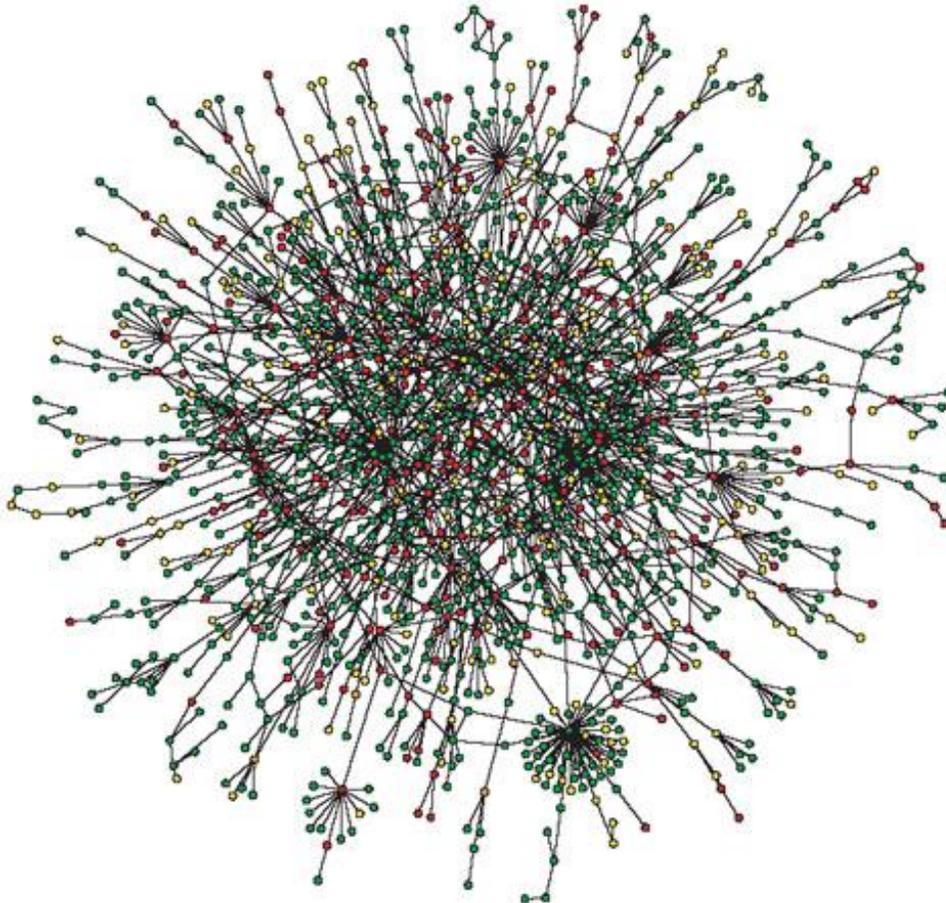
регулярный граф



полный граф



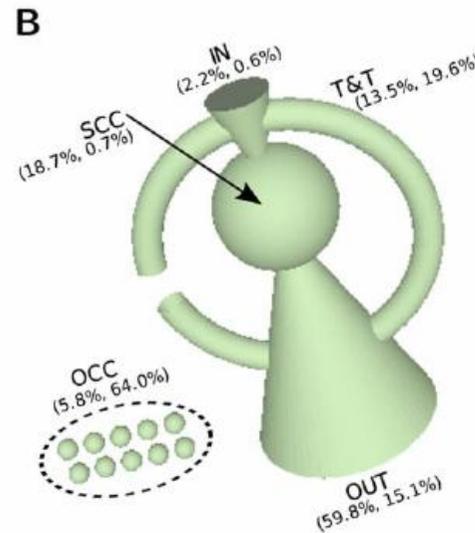
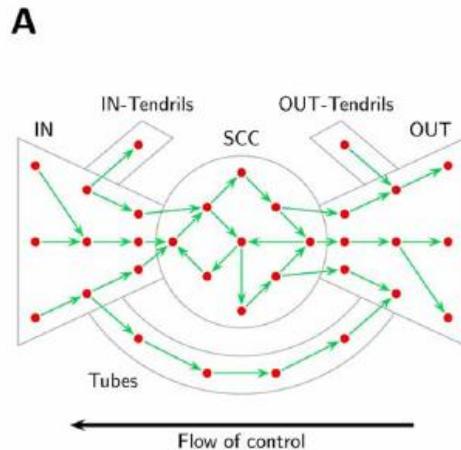
реализация случайного графа, полученного преобразованием регулярного графа:
(а) удаление ребер – графы Эрдеша-Реньи,
(б) rewiring – графы Строгаца –Уоттса
кратчайший путь $L \sim \ln N$ (N – число вершин)



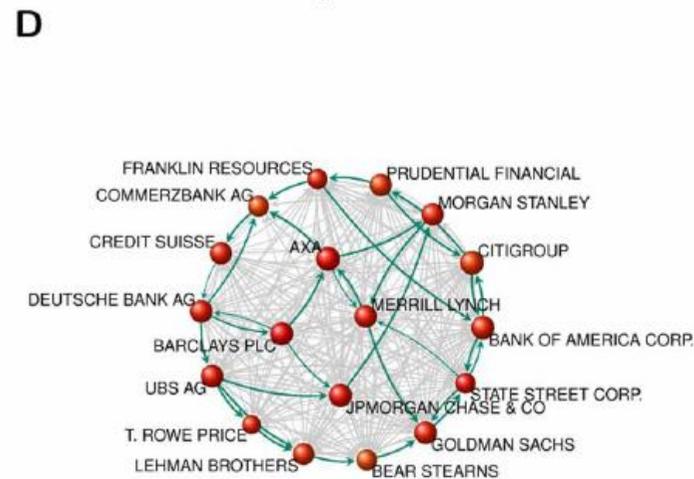
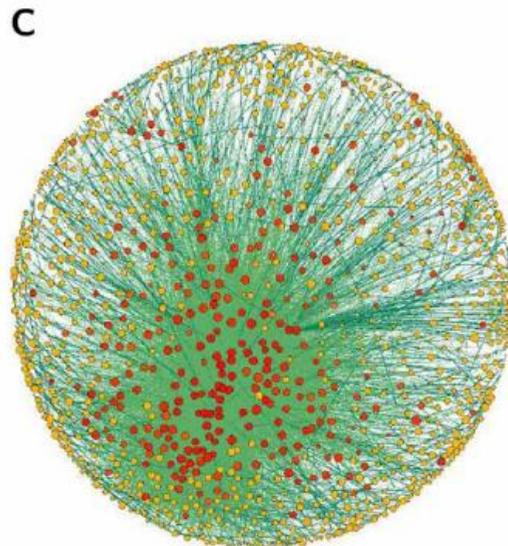
структура сети социальных взаимодействий
(из обзора М.М.Дубовикова на Байкальской школе 2011 г.)

S.Vitali, J.B.Glatfelter, 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 $\frac{3}{4}$ – финансовые),
 18.7% капитала, >80% управления (у 147 ТНК в ядре –
 40% управления)

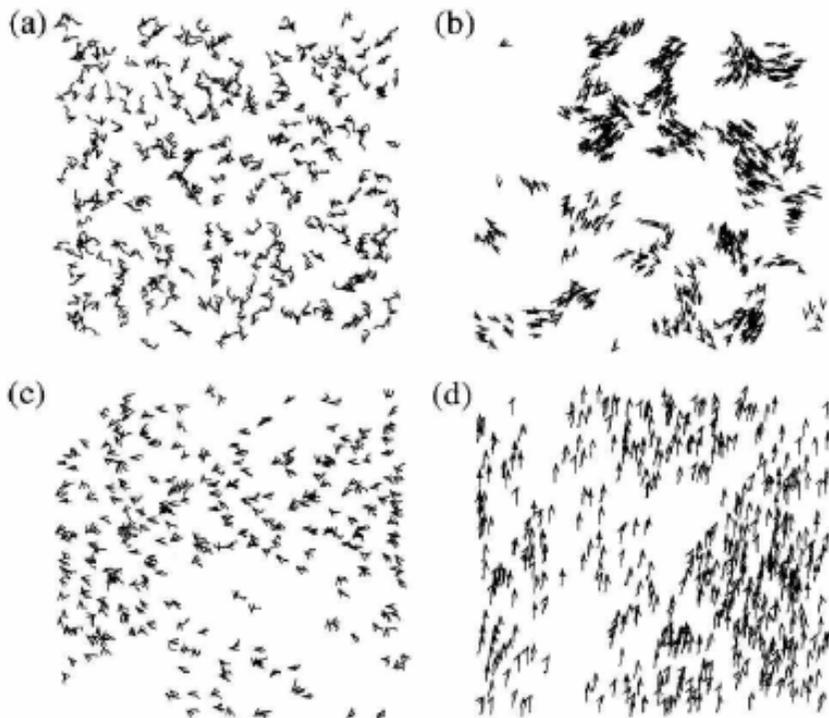
фрагмент ядра
 (выделена часть связей)

III. Движение в системе «живых частиц»

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

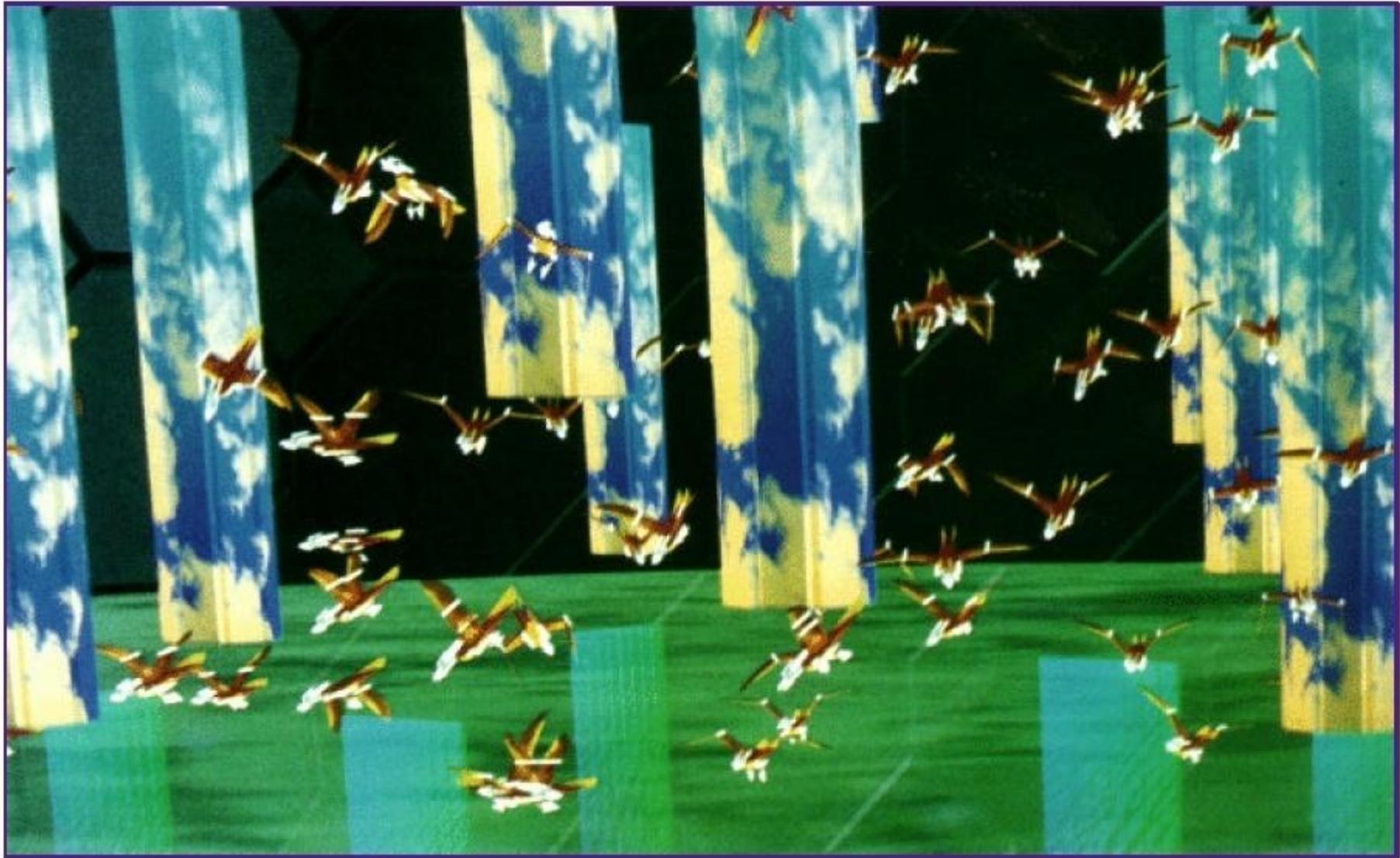
(b) низкая плотность и низкий шум: движущиеся «сгустки» частиц

(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

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

$$m_i dv_i/dt = \mathbf{F}_i^{\text{инд}} + \mathbf{F}_i^{\text{общ}} + \eta_i(t)$$

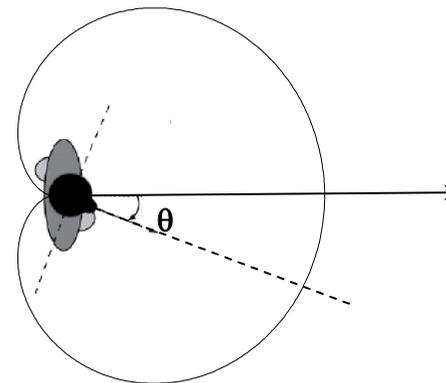
$$\mathbf{F}_i^{\text{инд}} = (m_i/\tau)(v_i^{(0)}\mathbf{e} - \mathbf{v}_i)$$

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

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

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

Угловая составляющая
«потенциала пешехода»
(анализ данных видео)



Наглядные проявления социального поля

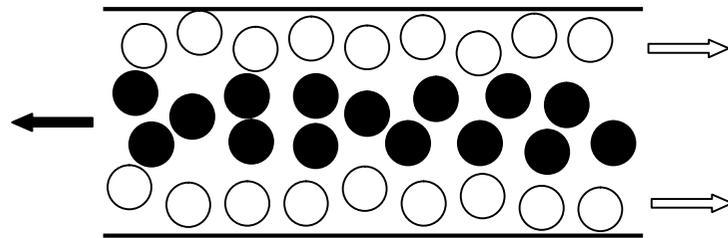


G.R.Cheng, Centre for Chaos and Complex Networks, City University of Hong Kong

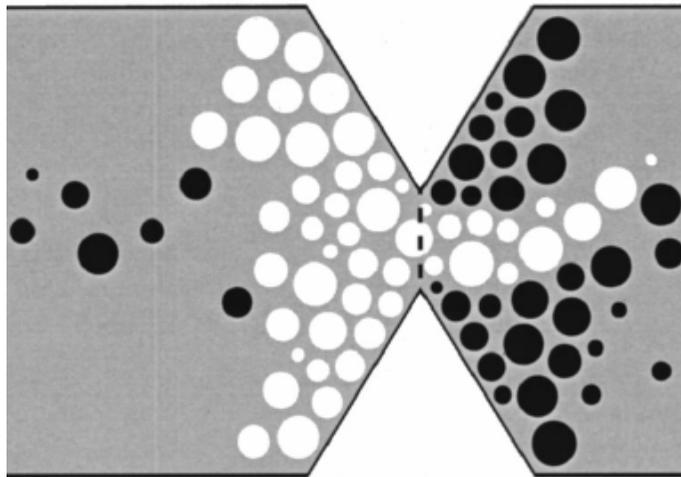


T.Vicsek. Crowd control: a physicist's approach to collective human behaviour. EPS-12 (European Physical Society), Budapest 2002

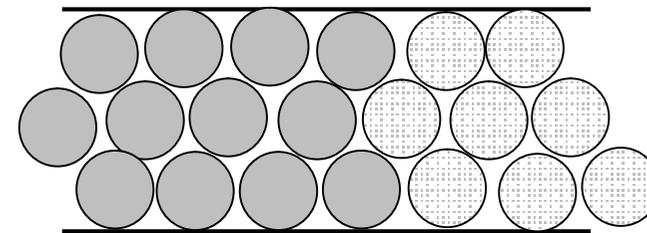
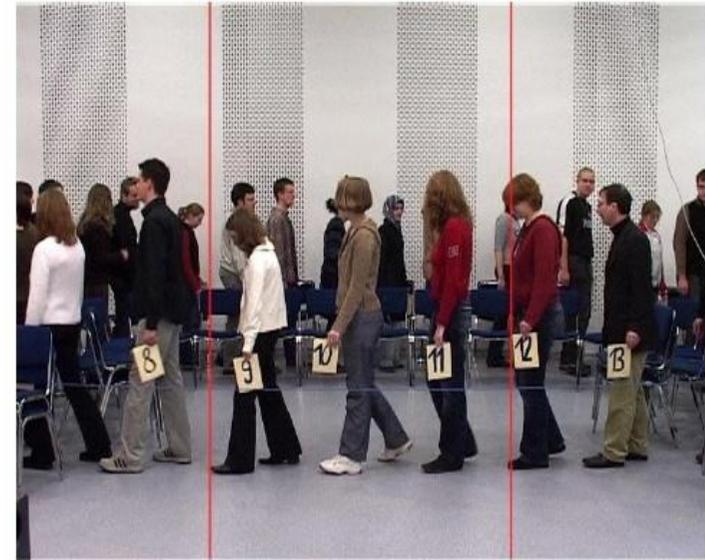
Результаты моделирования движения пешеходов (1990-е г.г.)



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



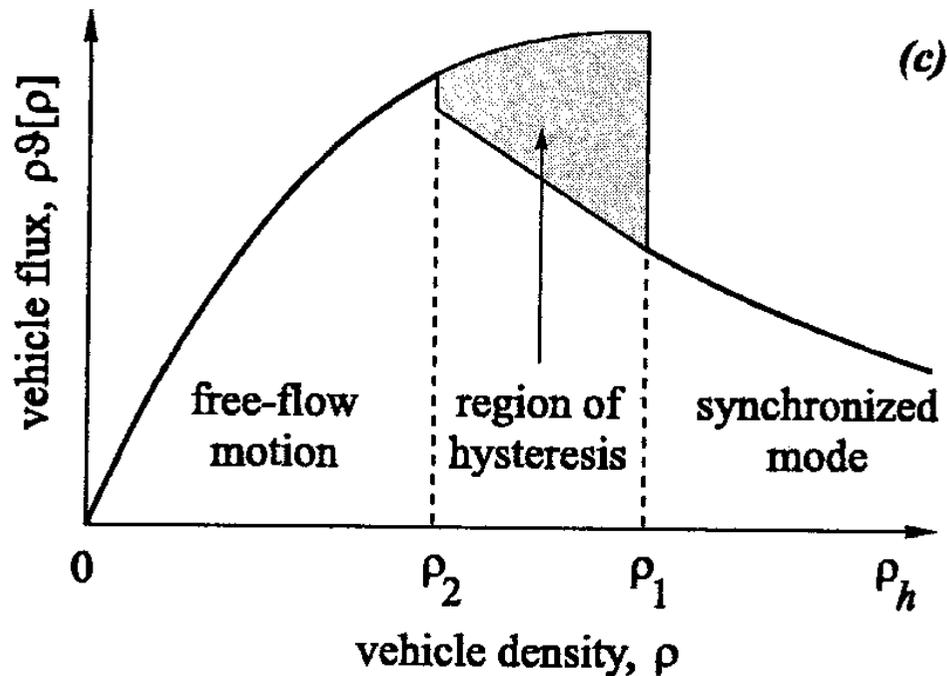
The fundamental diagram of pedestrian m



“Freezing by heating”

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

Фундаментальная диаграмма: зависимость потока от плотности



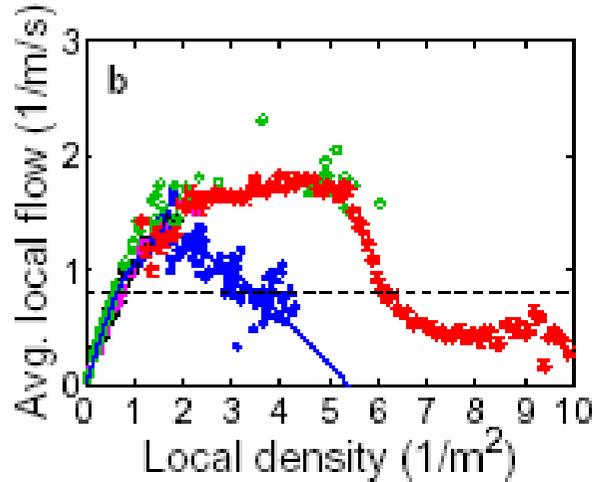
Режимы движения (схема):
I.A.Lubashevsky, R.Mahnke,
Phys. Rev. E **62**, 6082 (2000)

И.А.Любашевский. Физика систем с мотивацией и проблемы описания автотранспортных потоков (семинар ОТФ ФИАН, 2005 г.)

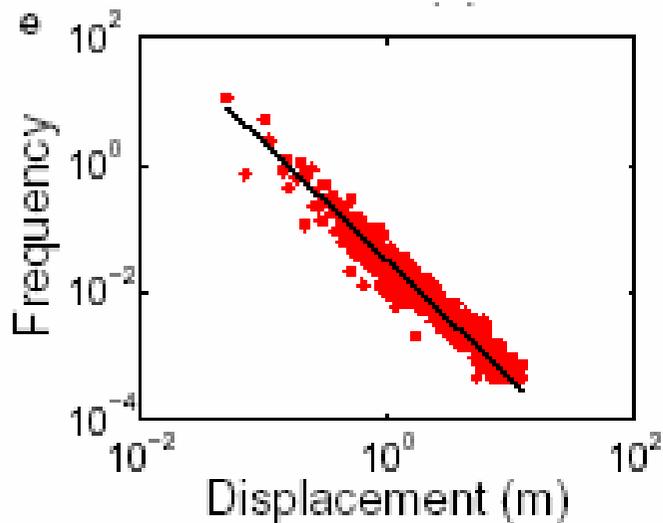
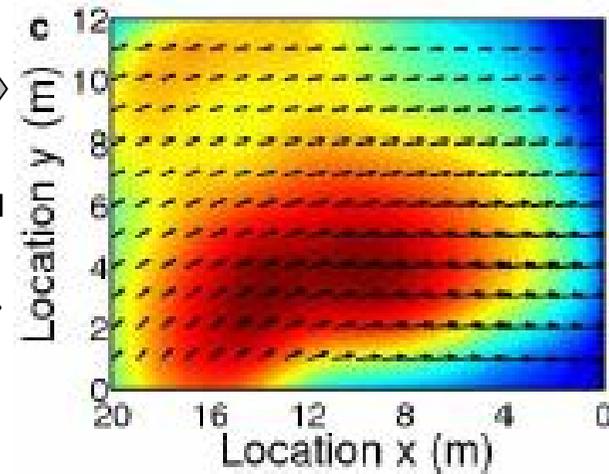
R.Mahnke, J.Kaupuzs, I.Lubashevsky, *Physics of Stochastic Processes. How Randomness Acts in Time*, Wiley-VCH, Berlin, 2008

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.

IV. Стационарные состояния и переходы в социальных системах

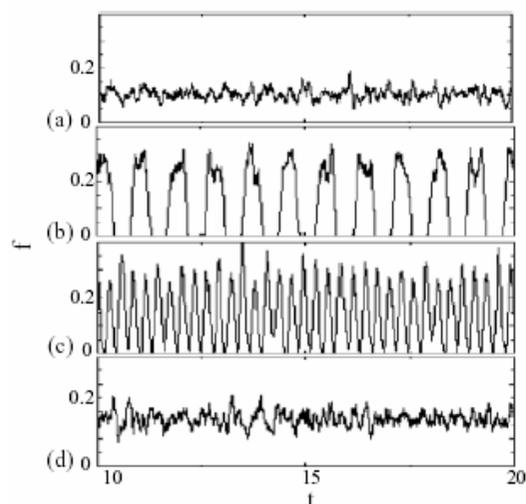
«Здесь вы испытаете тот восторг и то смятение, какими в прошлых столетиях, наверно, были охвачены основатели термодинамики и квантовой механики»

(R.Richmond (Ch.), NATO Adv. Res. Workshop, Prague, 2001)

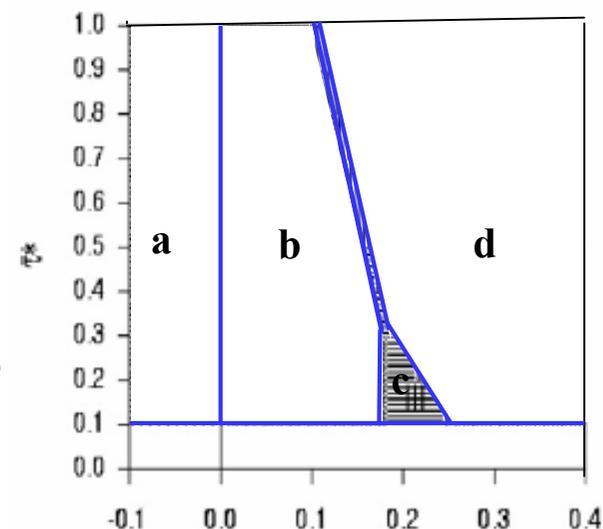
Управление толпой (crowd control)

Инициирование коллективных действий

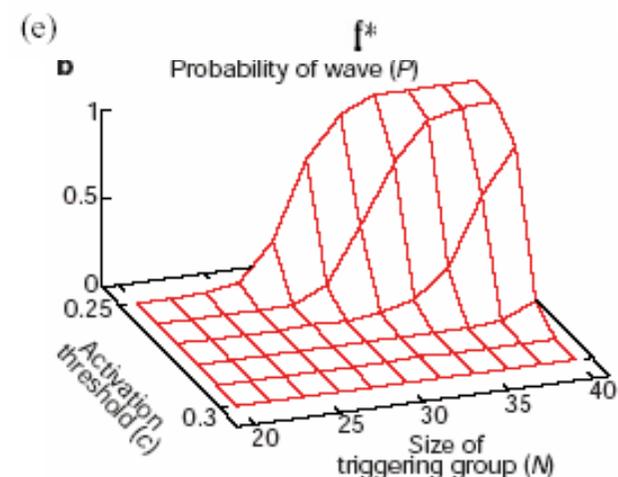
Аплодисменты Z.Neda, et al. **Synchronization of two-mode's oscillators: a new model for rhythmic applause and much more**, *Physica A*, 2003, **321**, 238



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

Практические приложения: манипулятивное управление толпой

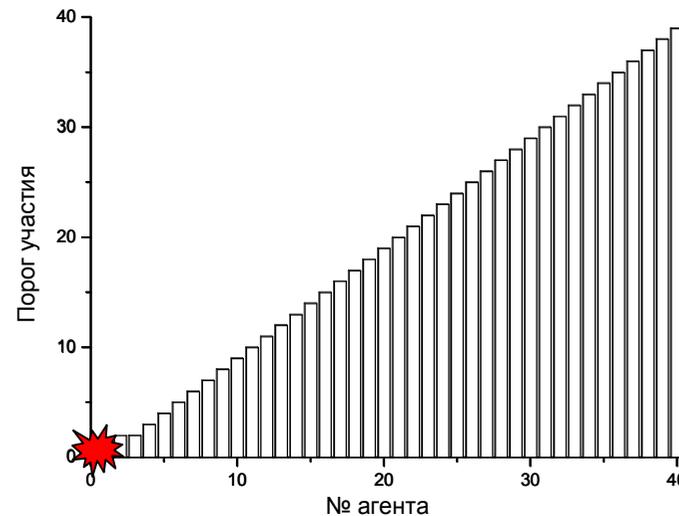
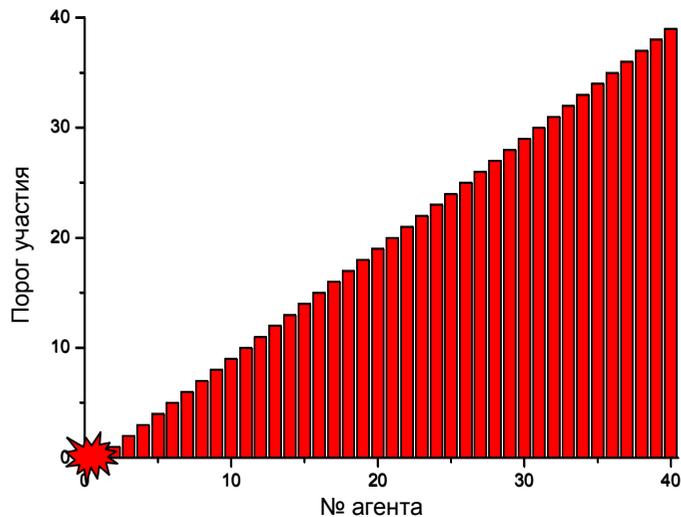


Новосибирск, 2012 г.
реклама

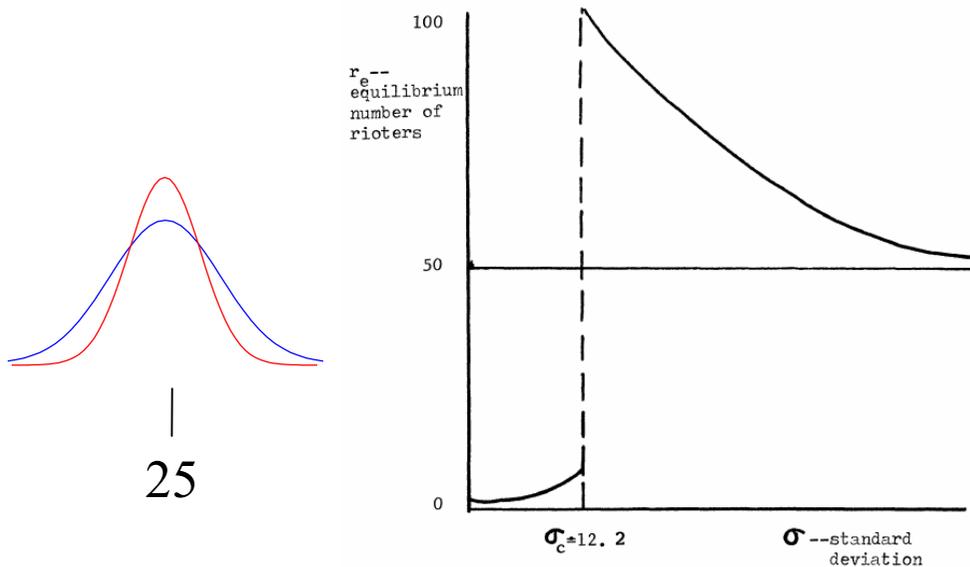
Пороговые модели коллективного поведения

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

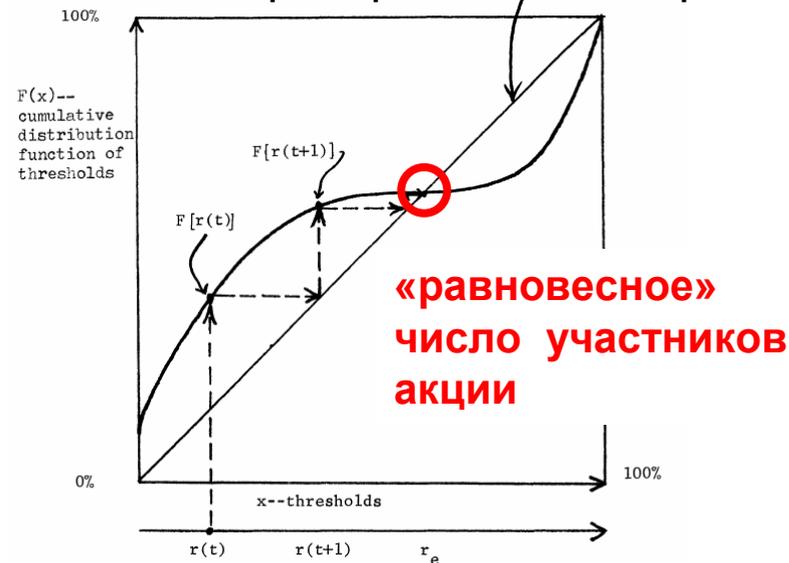
равномерное распределение порогов



нормальное распределение порогов



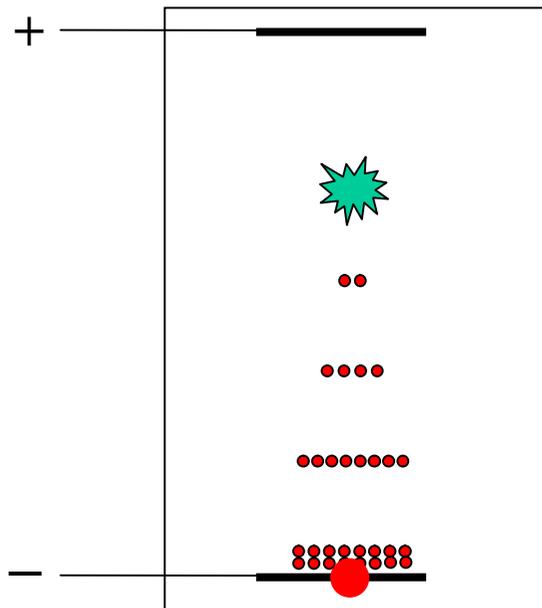
произвольное распределение порогов



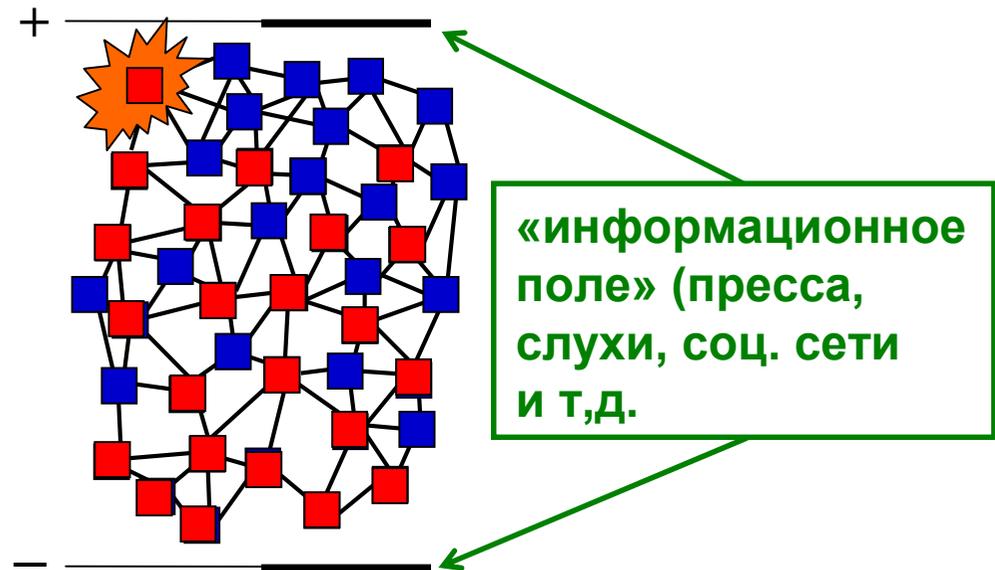
Информационные каскады

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



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,

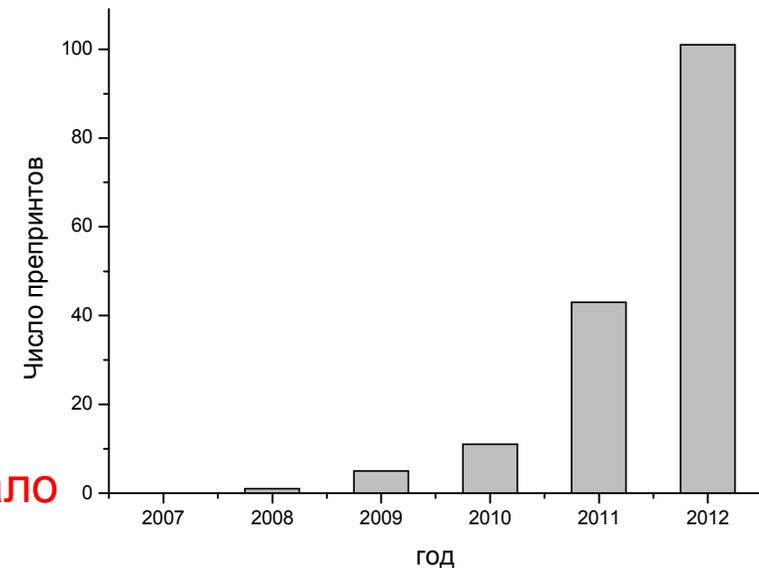
[ArXiv:1111.5595](#)

Bachrach D., et al. #h00t: Censorship resistant microblogging [ArXiv:1109.6874v1](#)

K.M.Frahm, D.L.Shepelyansky. Google matrix of Twitter [ArXiv: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>

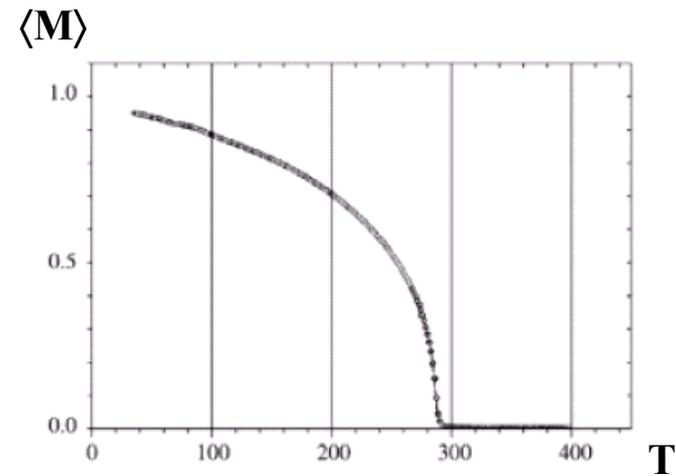
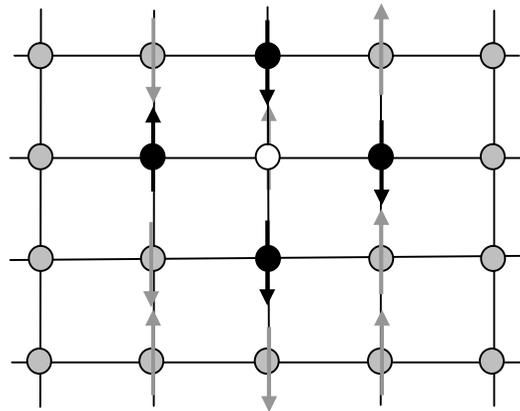
Динамика публикаций в ArXiv
2007 - 2012 г.г. по теме 'Twitter'



V. Квазифизические модели в социологии и политологии

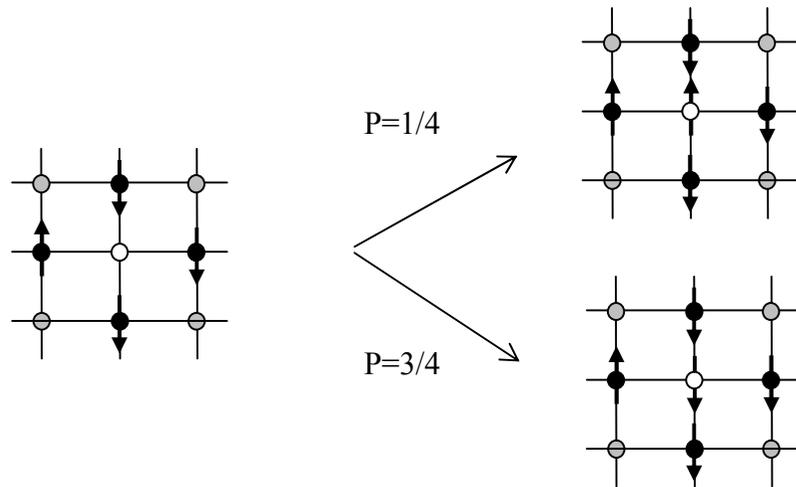
Динамика общественного мнения: модель Изинга

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

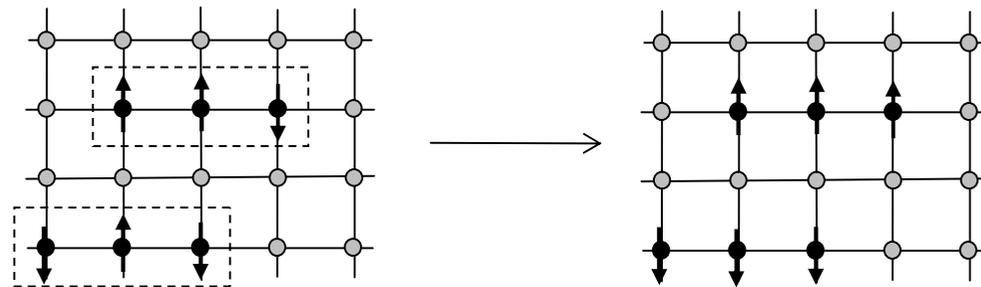


«спины» частиц в узлах решетки – мнения агентов («за / против»)
Усредненный магнитный момент $\langle M \rangle$ – «общественное мнение»,
 T – «шум». Ниже критического уровня T_0 – «состояние консенсуса».

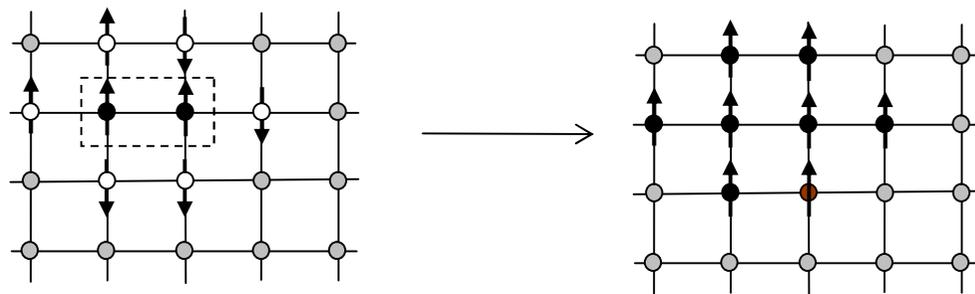
Динамика общественного мнения: другие модели



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



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



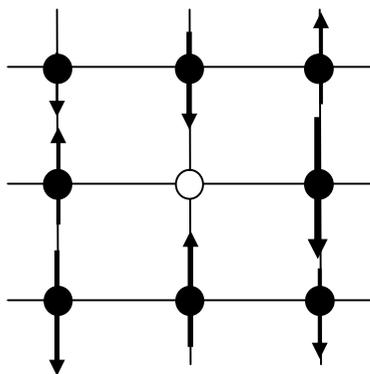
«Шнайдовская модель»
Sznajd-Weron K., Sznajd J.
Int. J. Mod. Phys. C. 2000, **11**(6), 1157

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,

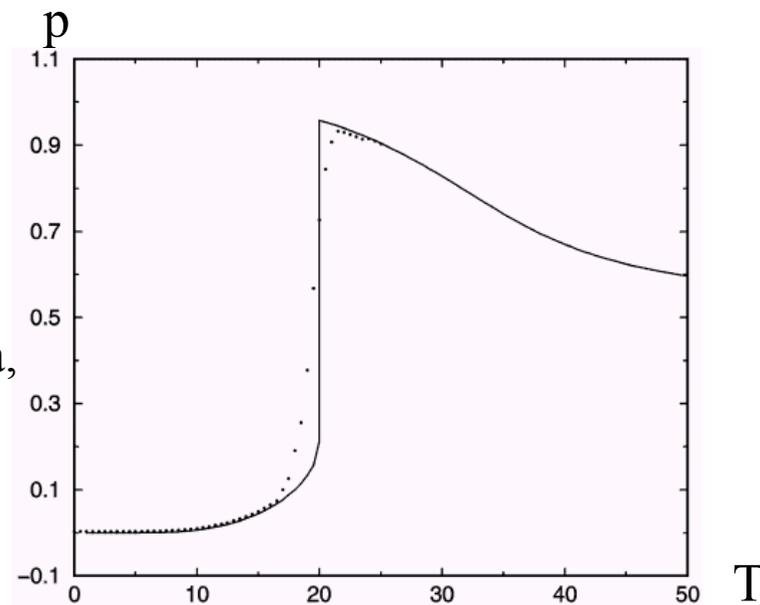
$S_L \gg \alpha_j s_i$ - мнение оппозиционного лидера

p - доля агентов, принявших мнение лидера
($\text{sign } s_i = \text{sign } S_L$),

T - уровень шума («температура»)

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

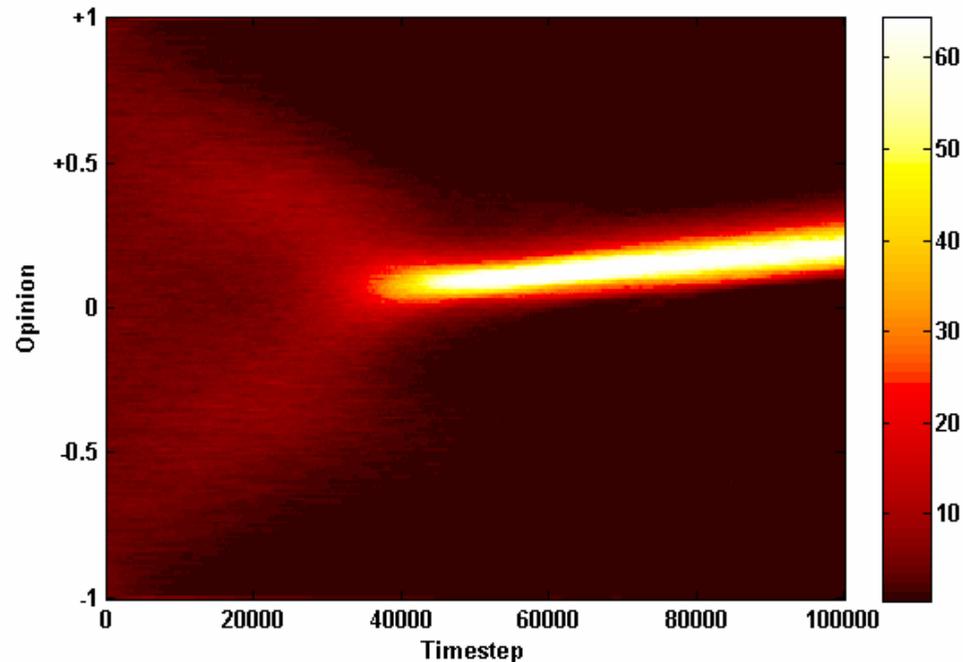
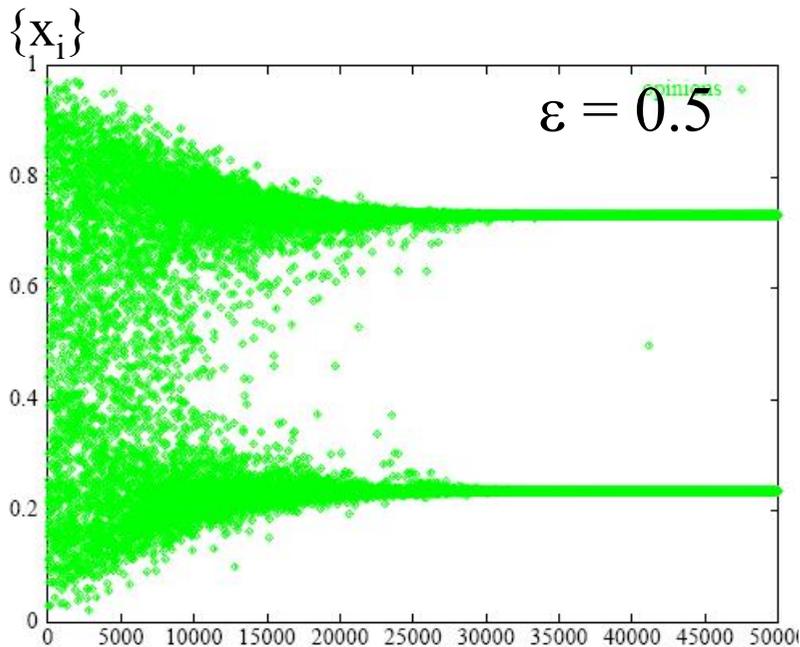
α_j - «сила убеждения»,
 β_j - «консерватизм»,
 h - «поле пропаганды»
 d_{ij} - «социальная дистанция»



При возрастании неопределенности побеждает оппозиция

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

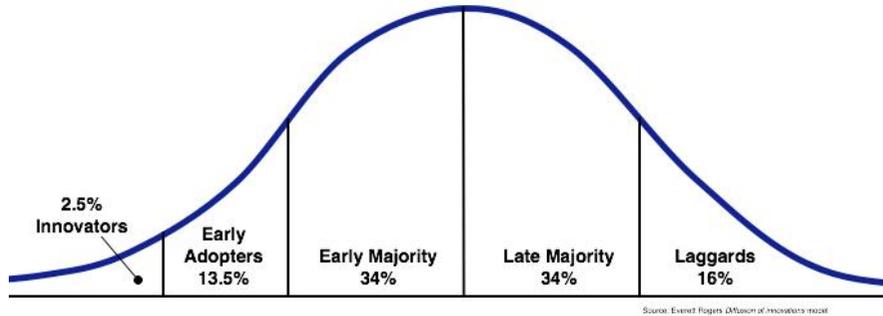
«Условное доверие» (bounded confidence): вычисляется $\Delta x_{ij}(t) = x_i(t) - x_j(t)$, и если $0 < \Delta x_{ij}(t) < \varepsilon$, то $x_i(t+1) = x_i(t) - c\Delta x_{ij}(t)$, $x_j(t+1) = x_j(t) + c\Delta x_{ij}(t)$ (ε, c - параметры)



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»**)

Co-evolution и «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

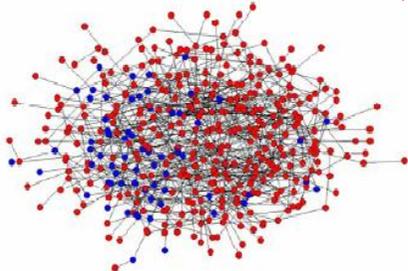
Методы насаждения инноваций:

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

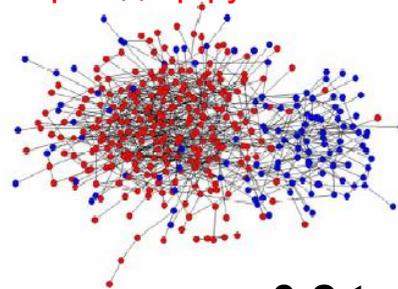
«Критическая масса»: выше 10-20% узлов
диффузия становится необратимой

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

низкая связность, быстрая диффузия

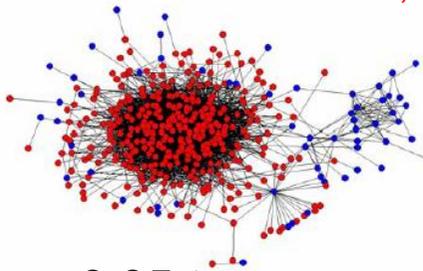


0.05 t_{∞}

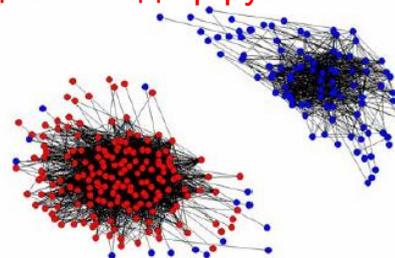


0.2 t_{∞}

высокая связность, медленная диффузия



0.05 t_{∞}



0.2 t_{∞}

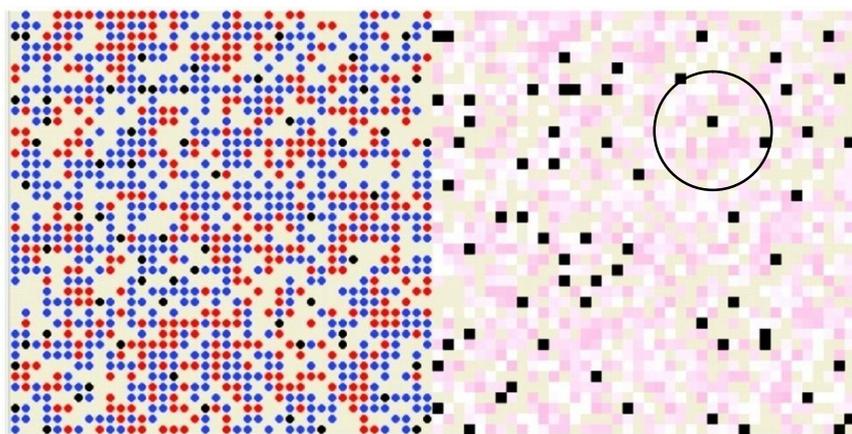
M.Simoni et al., *1st Int. Conf. on Econ. Sciences with Heterogeneous Interacting Agents* (WEHIA 2006), http://www2.dse.unibo.it/wehia/paral_session.htm

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

Модели политического кризиса

Пороговые модели (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» $(1/N)\sum x_i(t)$

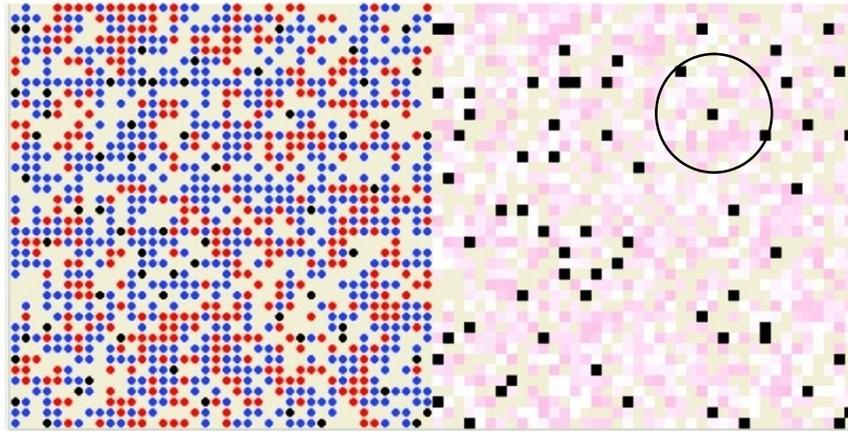
Модель Эпштейна ([Epstein J.M. Modeling civil violence: an agent-based computational approach Proc Natl Acad Sci USA. 2002, 99, Suppl. 3, 7243-7250](#)): N «активистов» и P «полицейских» на решетке, активист «восстает» ($x_i=1$) при $G_i - p_i r_i > G_0$, где $G_i = H_i(1-L)$ - его недовольство, H_i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

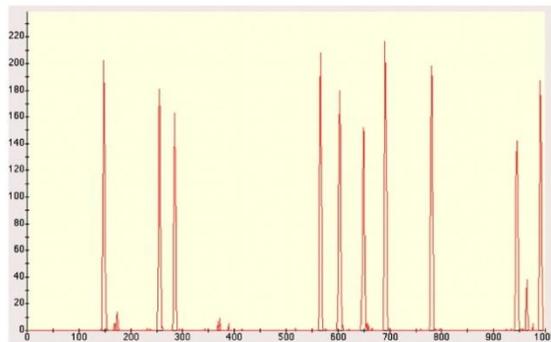
Динамика в модели Эпштейна



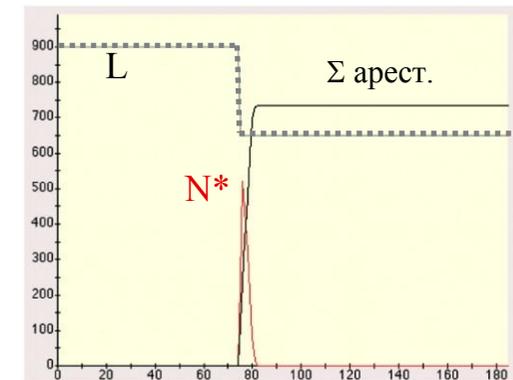
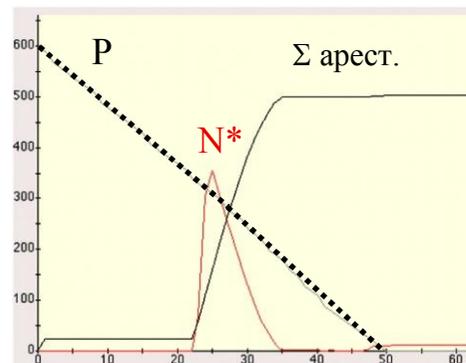
«состояние»

«настроение»

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



динамика $N^*(t)$



Daskalova V. et al. Networks Coalitions and Revolutions

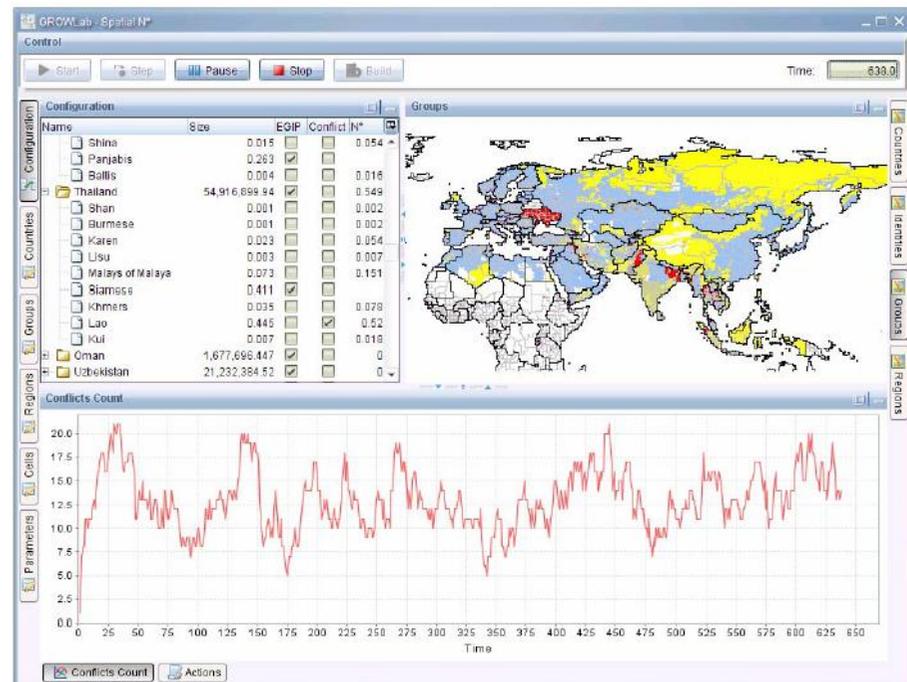
http://tuvalu.sanrafe.edu/events/workshops/index.php/Networks_Coalitions_and_Revolutions

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>

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.