

Η Στατιστική Φυσική των δικτύων και η επέκταση της σε άλλες επιστήμες

Πάνος Αργυράκης

Τμήμα Φυσικής

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ

- Φυσική που έχει βάση τις Πιθανότητες και την Στατιστική
- Βασίζεται στον στοχαστικό της φύσης
- Δεν είναι μια από τις περιοχές της Φυσικής, αλλά είναι εργαλείο
- Αφορά όλες τις περιοχές της Φυσικής
- Χρησιμοποιεί ευρέως Ηλεκτρονικούς Υπολογιστές (Computer)
- Μέθοδοι προσομοίωσης: Μοριακή Δυναμική και Monte Carlo
- Ιστορικά: Bernouli (1738), Clausius (1857)
- Κινητική θεωρία των αερίων του Maxwell (1859)
- Maxwell, Boltzmann, Einstein
- Δύο (2) βασικές συναρτήσεις:
 - Συνάρτηση κατανομής (Probability distribution function)
 - Συνάρτηση συσχετισμού (Correlation function)
- Νέες επιστήμες που προέρχονται από την Στατιστική Φυσική

Εχουμε πολλούς 'τύπους' Φυσικής

- Βιοφυσική
- Γεωφυσική
- Φυσικοχημεία
- Ιατρική Φυσική

- Οικονομική Φυσική (Οικονομική Φυσική)
- Κοινωνική Φυσική (Κοινωνική Φυσική)

Νέες επιστήμες:

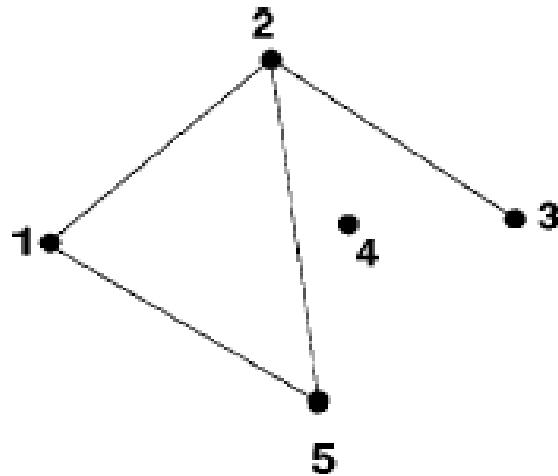
- Έχουν προέλθει απο το διαδίκτυο
- Αρχή του Ιντερνετ ~ 1992
- Χρησιμοποιουν τεχνικές και εργαλεία απο την Φυσική
- Εποχή της διεπιστημονικότητας
(Inter-disciplinary)
- Πληροφορική μπαίνει παντού

Χαρακτηριστικά των δικτύων:

Τα δίκτυα είναι δομές που σχηματίζονται από 2 οντότητες:

Κόμβοι

Συνδέσεις, συνάψεις, ακμές, κλπ.



$N = 5$ κόμβοι, $n = 4$ συνδέσεις

- Μπορεί να είναι πολύ απλές δομές ή πολύ περίπλοκες
- Νέα επιστήμη: Πολυπλοκότητα (Complexity, Complex systems)

Το Internet είναι ένα δίκτυο

- Από το **1998** υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για την δομή του Internet
- **Τα δίκτυα μελετώνται σήμερα** για τις πολλές εφαρμογές που προσφέρουν τόσο στην Φυσική, αλλά και στην Βιολογία, Οικονομικά, Κοινωνιολογία, κλπ.
- Περίεργη δομή του Ιντερνετ (**Scale-free**)
(δίκτυο ελευθερο κλίμακος)

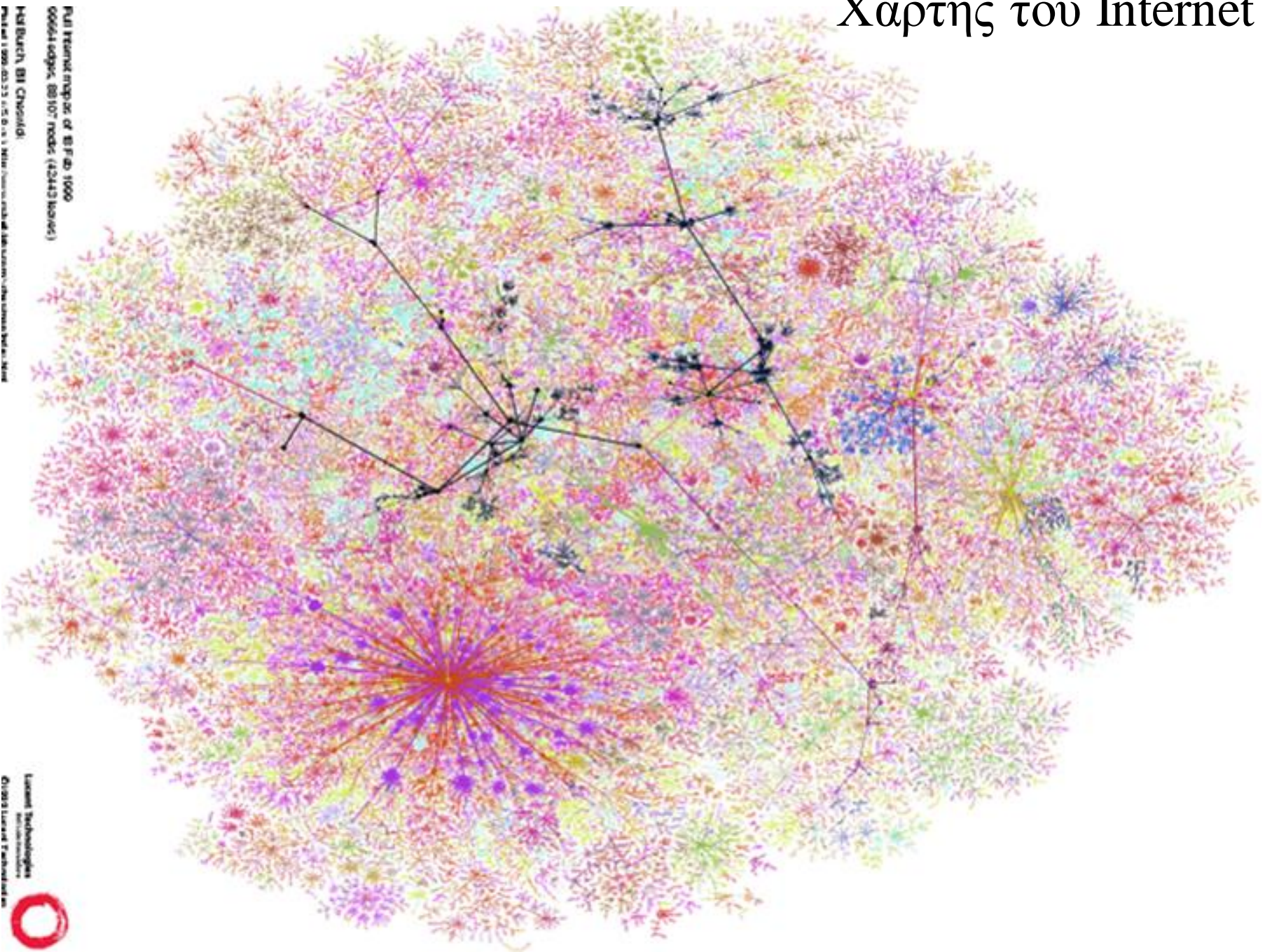
Το διαδίκτυο Internet

$$P(k) \sim k^{-\gamma}$$



Χάρτης του Internet

Χάρτης του Internet

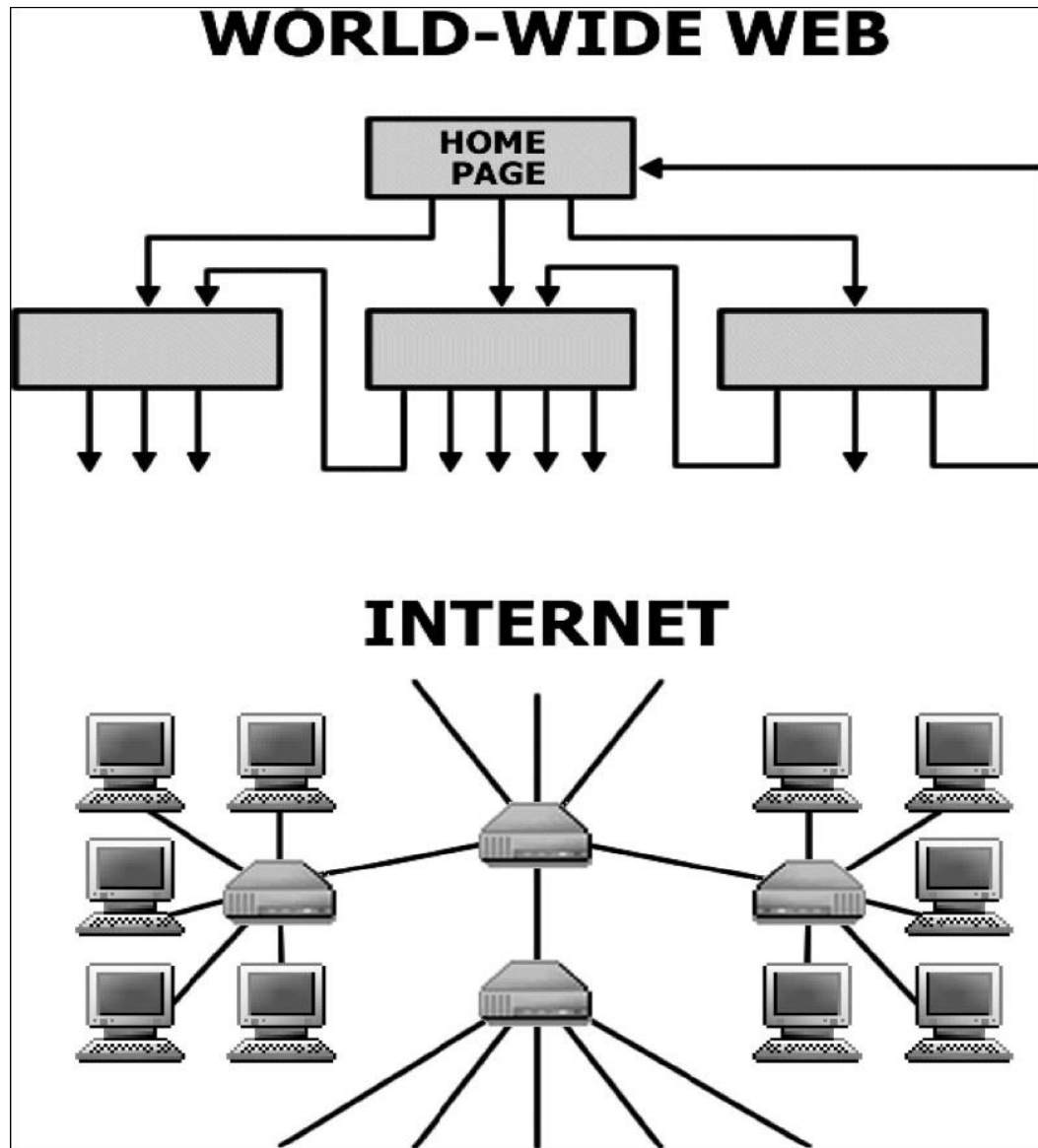


Full Internet map as of B.F. at 1000
00004 edges, 881107 nodes (42443 ISPs)
Mati Burcha (B1 Chingold)

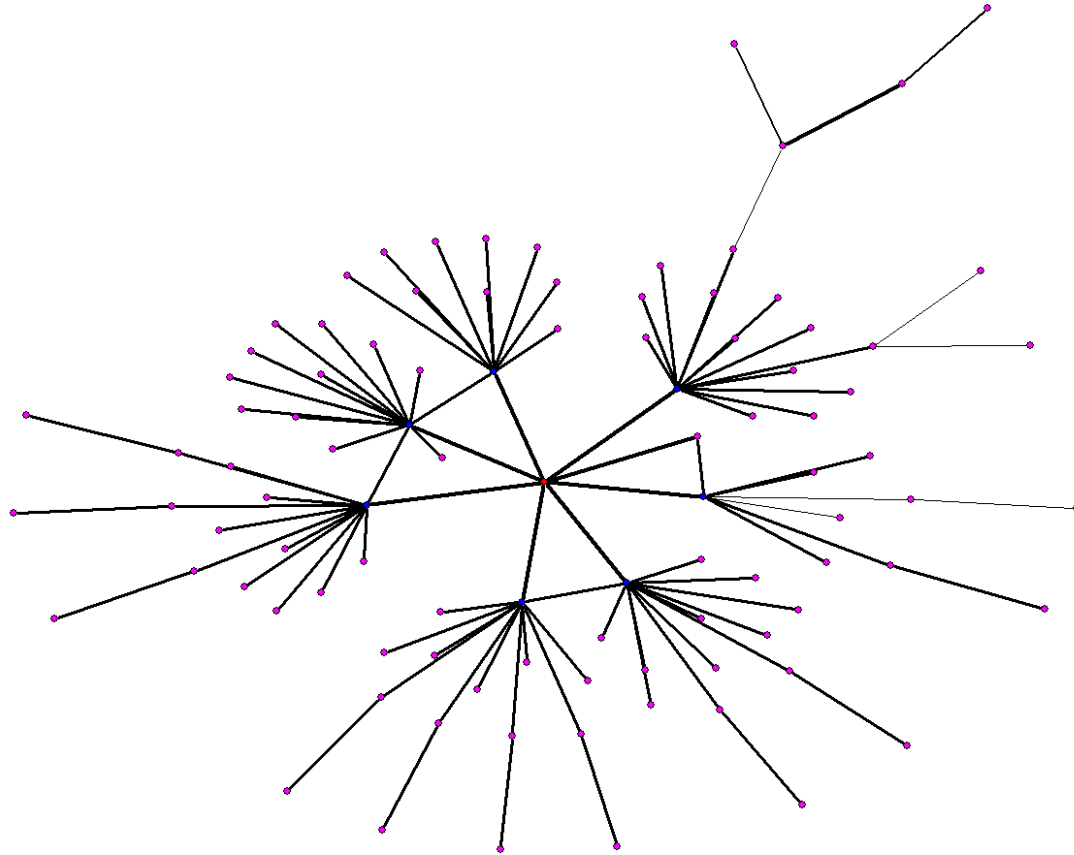
Lucent Technologies
©1995 Lucent Technologies



Σχηματική δομή του διαδικτύου

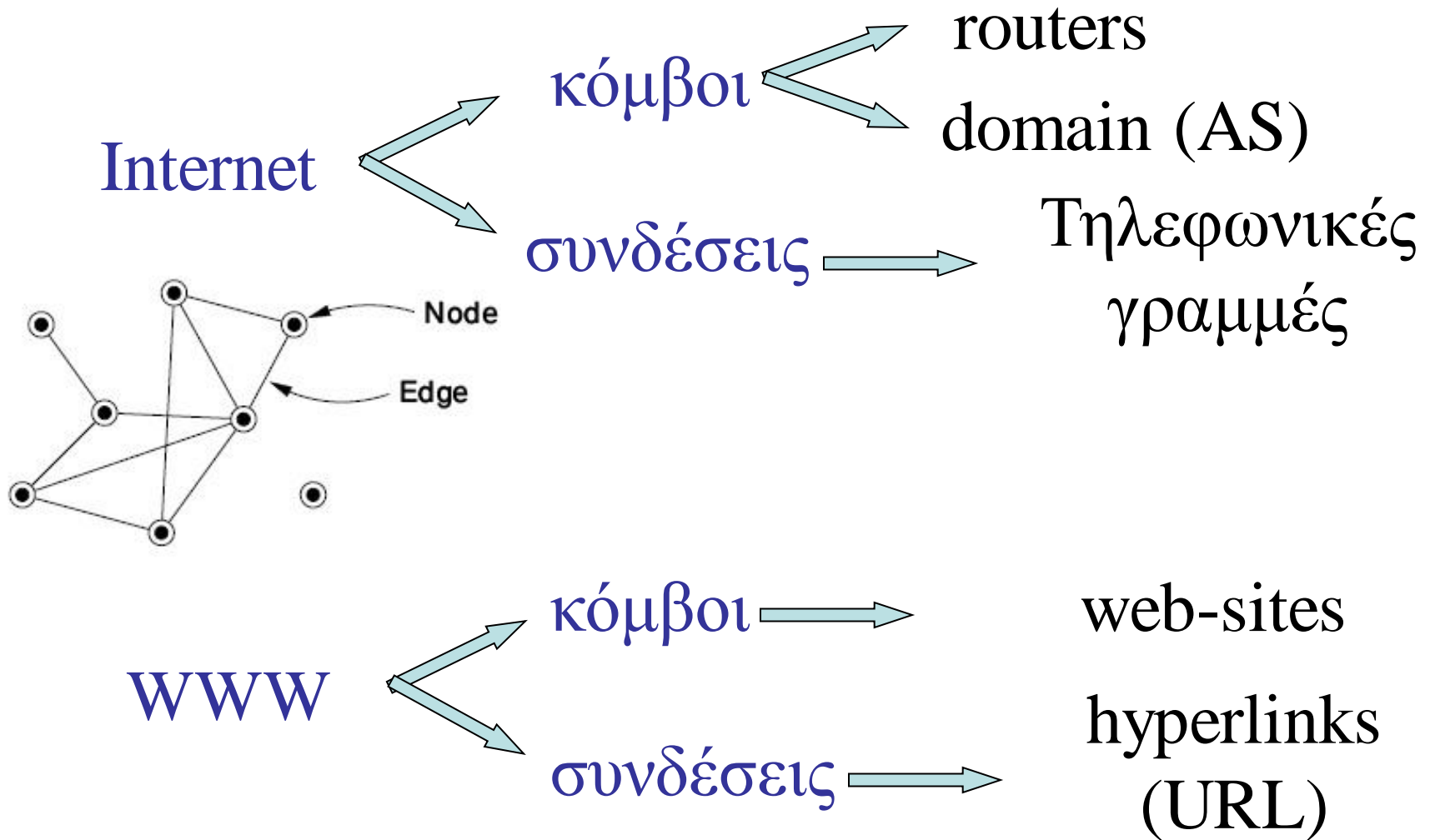


Σκελετός δικτύου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης **NOC**



10000+ χρήστες

Internet και το WWW είναι παραδείγματα
απο περίπλοκα δίκτυα



Internet and WWW

1970 – 10 H/Y

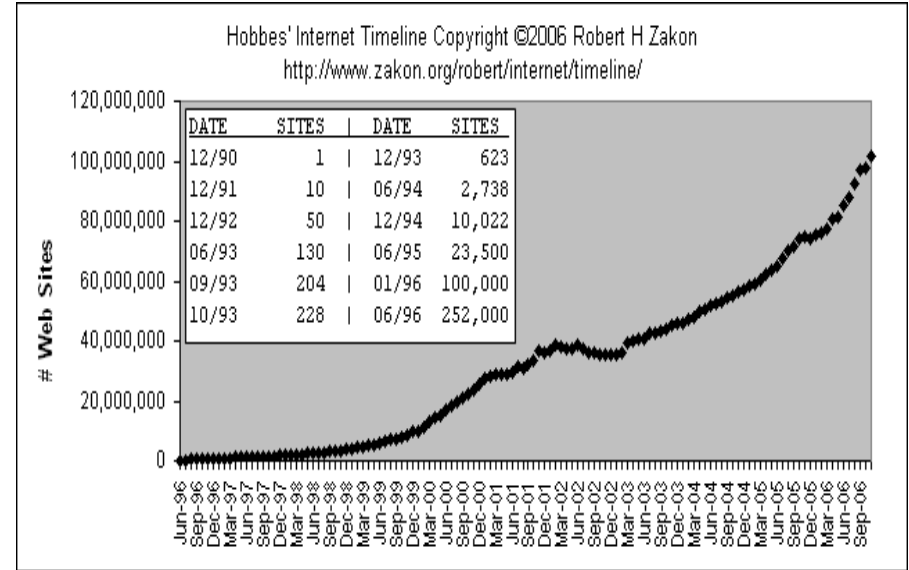
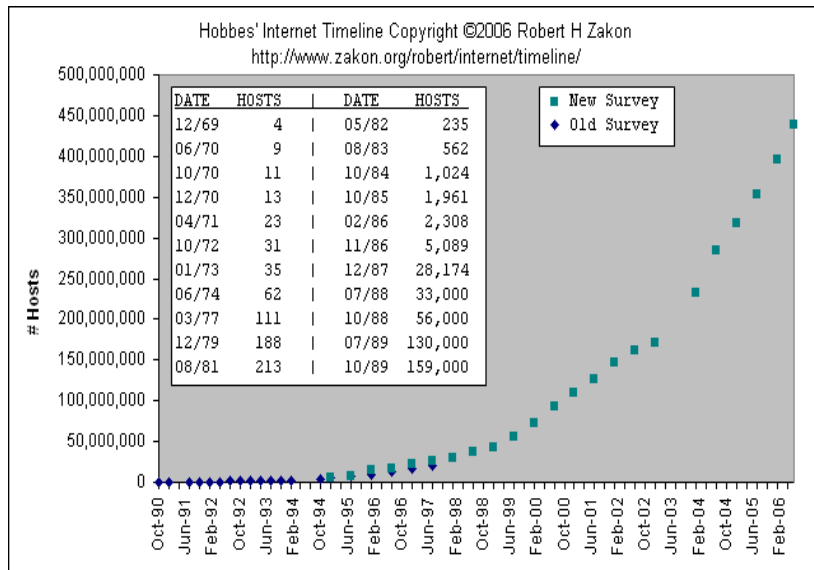
1990 – $1.75 \cdot 10^5$ H/Y

σήμερα – $1.2 \cdot 10^9$ H/Y

1990 – 1 web site

1996 – 10^5 web sites

σήμερα – 10^9 web sites



Αριθμός σε όλο τον κόσμο

- Πληθυσμός γης ~ 7 δις
- Αριθμός Η/Υ ~ 1.2 δις
- Αριθμός WWW links ~ 1.2 δις
- Λογαριασμοί Facebook ~ 1.1 δις
- Αριθμός κινητών το 2016 ~ 8 δις
- Internet-of-things ~ 30 δις

δίκτυα Τηλεπικοινωνιών

Ο πλανήτης Γη έχει αναπτύξει ένα ηλεκτρονικό
'νευρωνικό δίκτυο' το οποίο έχει παρα πολλους
diverse κόμβους και διασυνδέσεις μεταξύ κόμβων

↓
-υπολογιστές

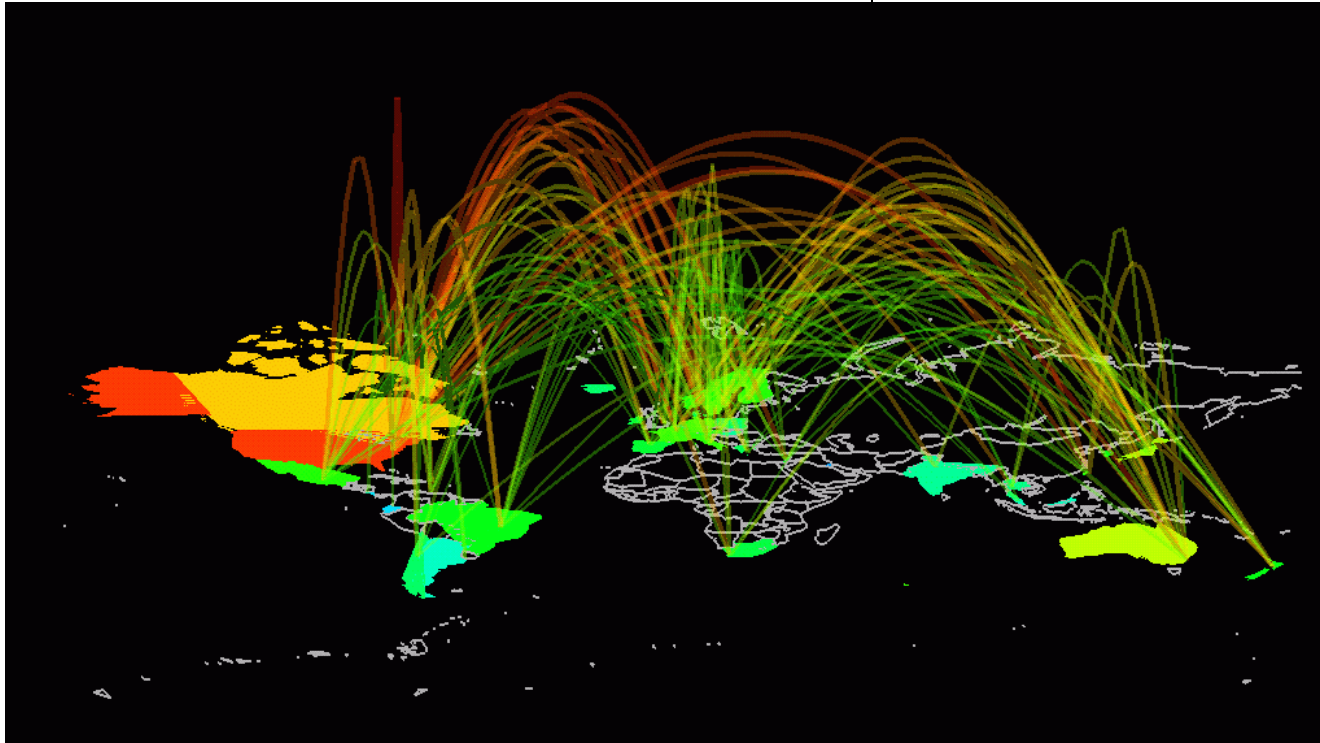
-δρομολογητές

-δορυφόροι

↓
-τηλ. γραμμές

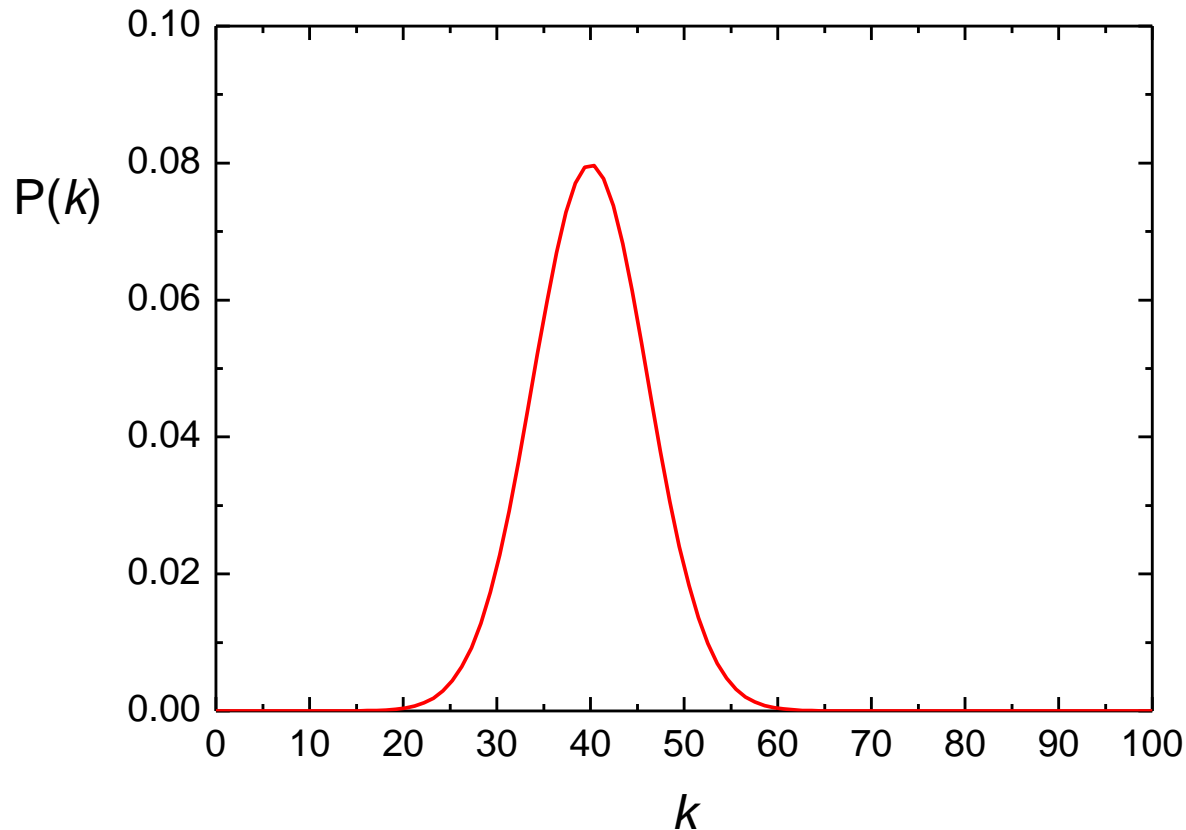
-TV διαδουκτιακή

-ΗΜ κύματα



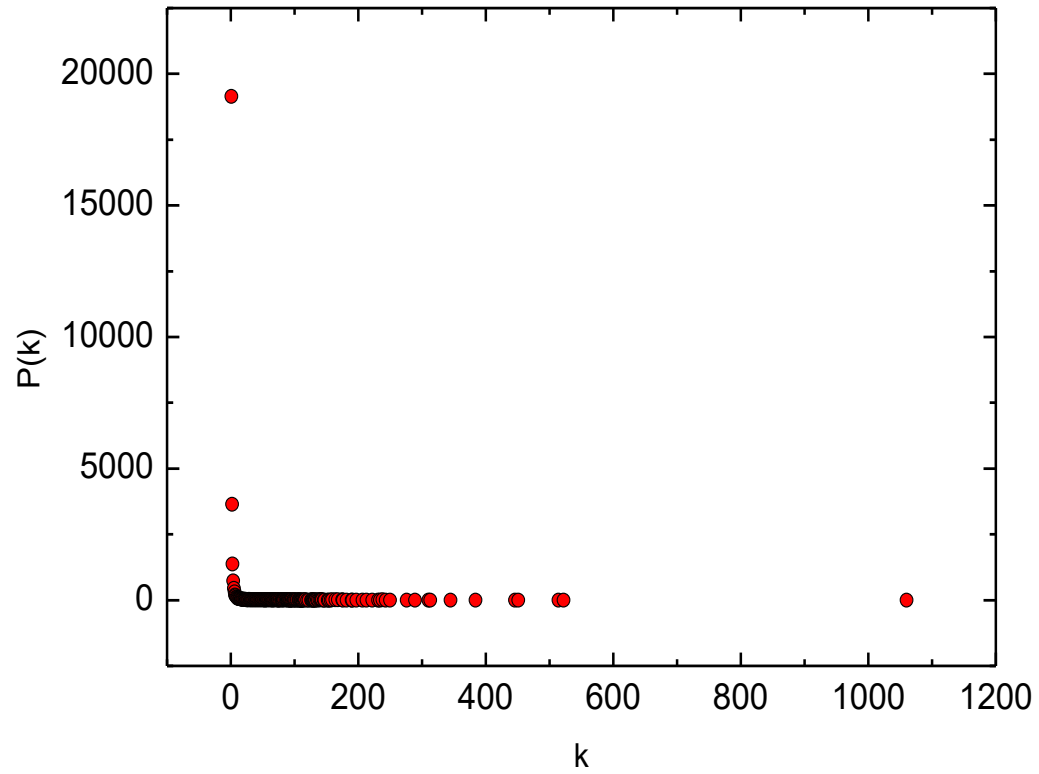
Τηλεπικοινωνιακά
δίκτυα: Πολλά
μη-συμβατά
συστατικά με
πολλαπλές
διασυνδέσεις
μεταξύ τους.

Υποθέτοντας τυχαίες διασυνδέσεις

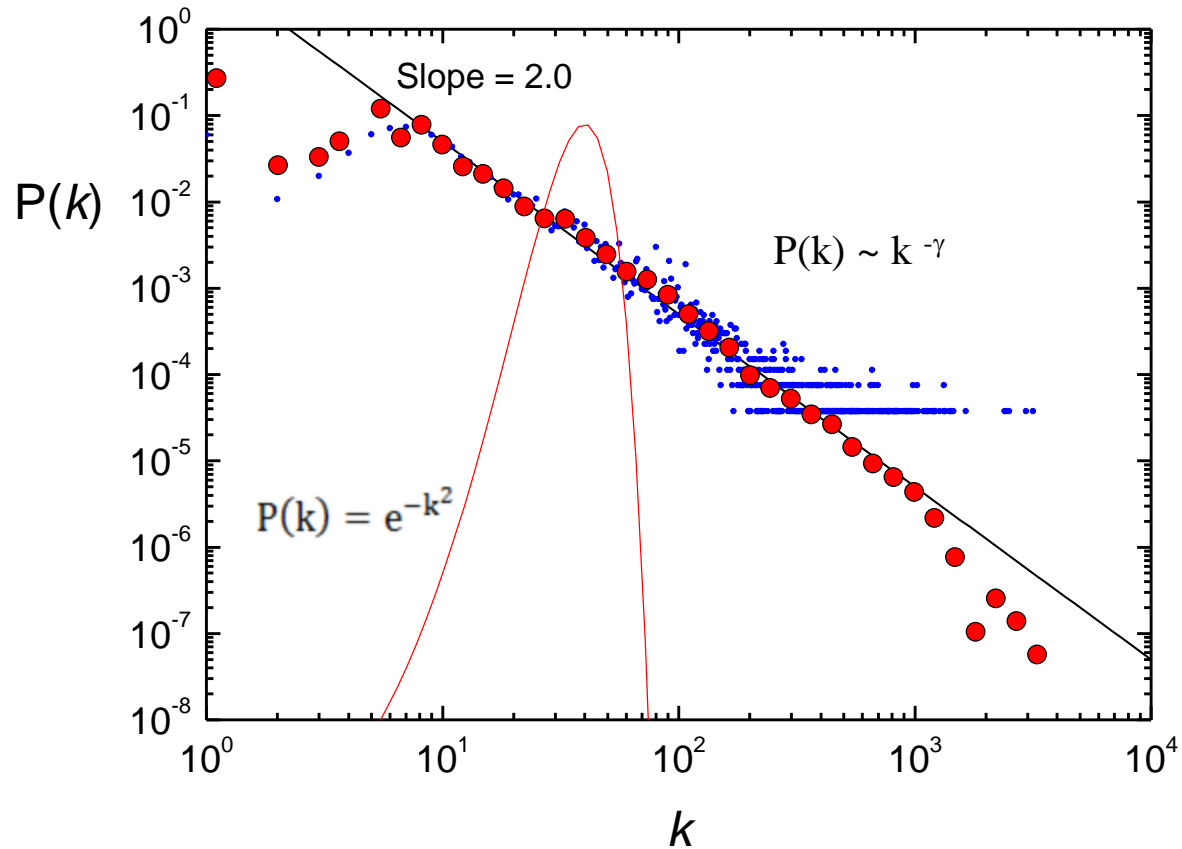


Κατανομή αριθμού συνδέσεων, $P(k)$:
Πιθανότητα ότι ένας κόμβος έχει k συνδέσεις με άλλους κόμβους

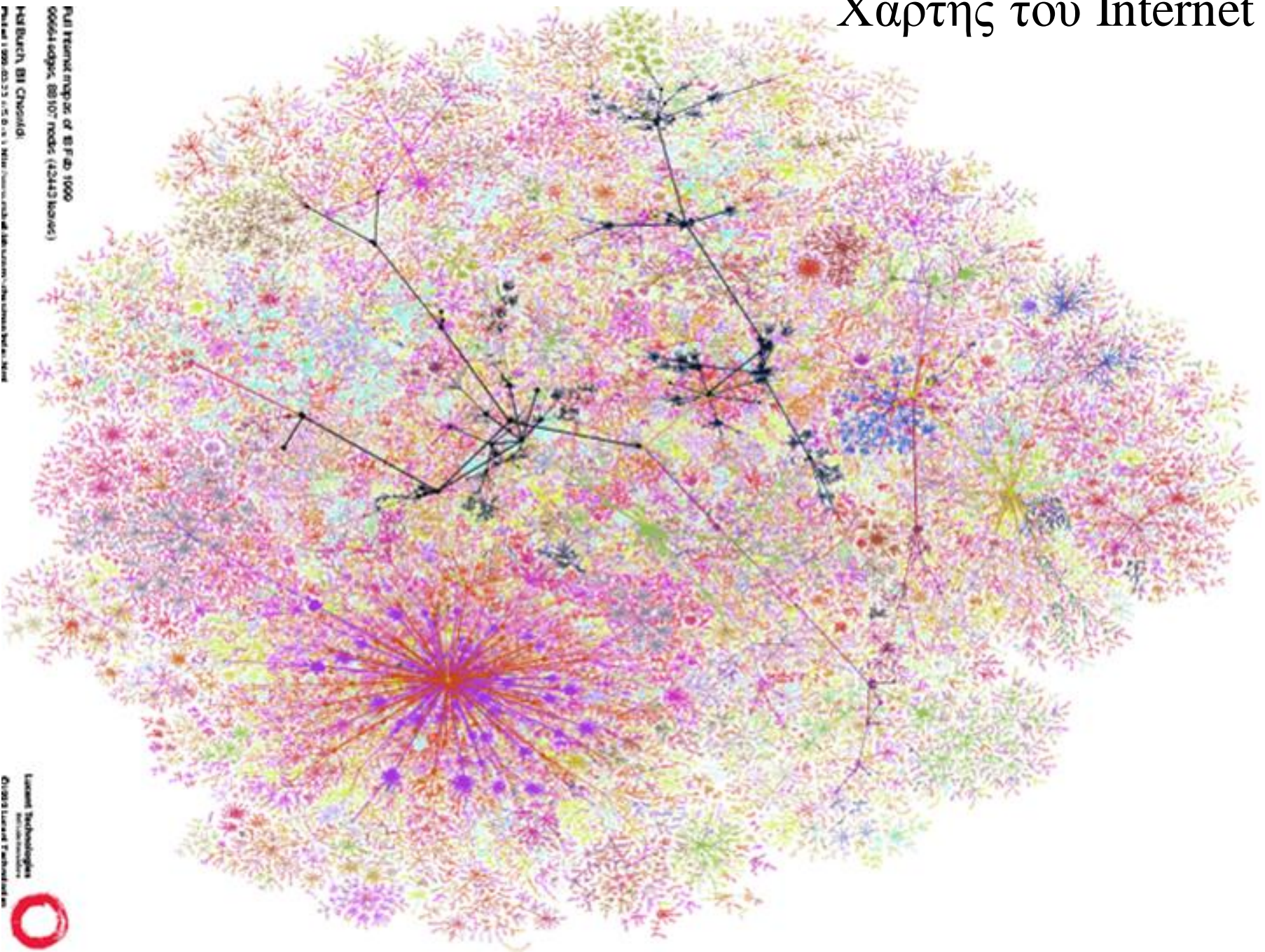
Κατανομή αριθμού συνδέσεων κόμβων $P(k)$



Degree distribution in a scale-free network



Χάρτης του Internet



Full Internet map as of B.F. at 1000
00004 edges, 88107 nodes (42443 known)

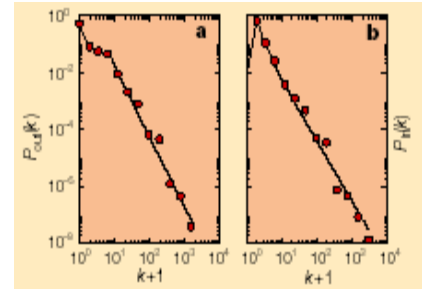
MIT BUREAU (B) Chicago/Id
PUBLISHED 1 2000 03 23 11:15:15 AM
http://www.mit.edu/~bureau/

Lucent Technologies
www.lucent.com
©1999 Lucent Technologies



WWW

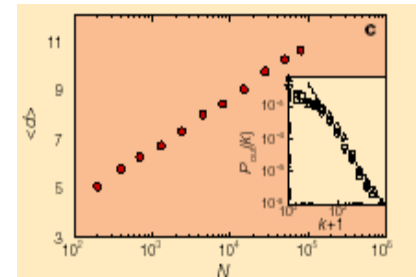
It has a power-law



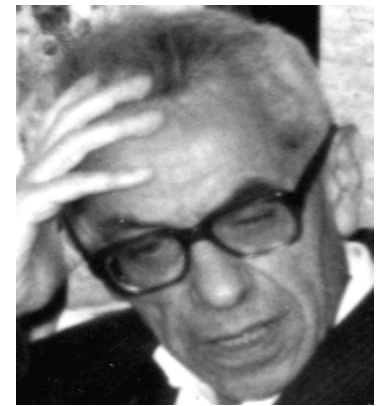
Διάμετρος του WWW:

$$\langle d \rangle = 0.35 + 2.06 \log N$$

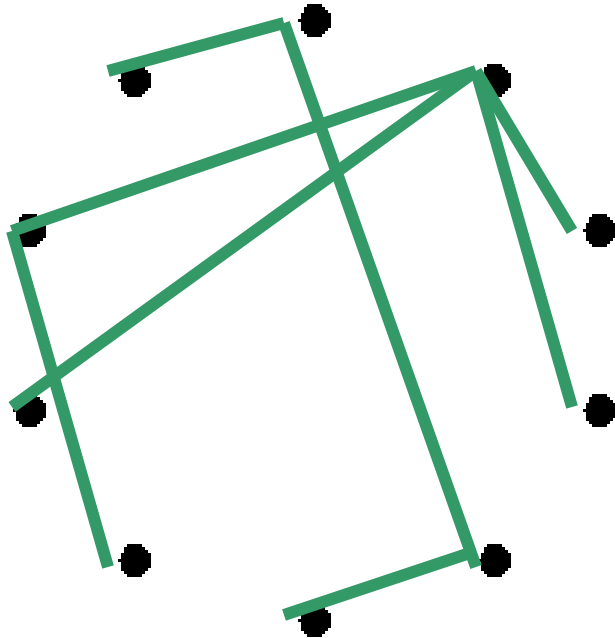
$$\text{Av } N = 8 \times 10^8 \rightarrow \langle d \rangle = 18.59$$



Το μοντέλο των Erdős-Rényi (1960)



Pál Erdős
(1913-1996)



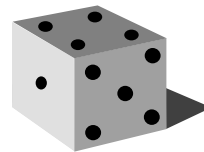
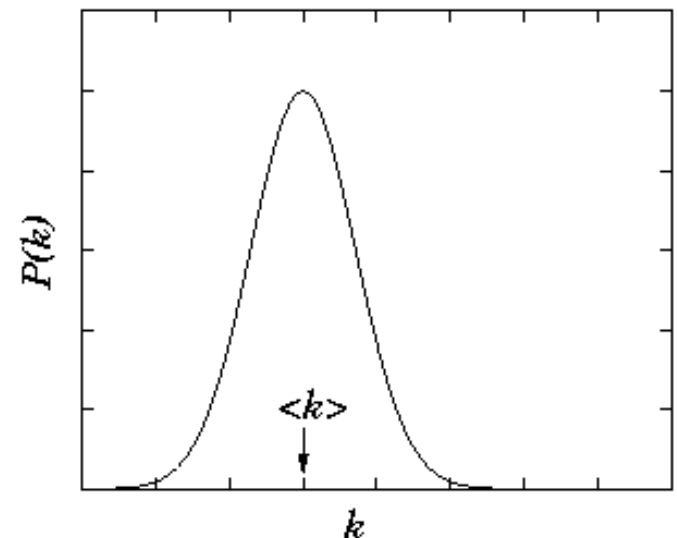
Συνδέσεις με
πιθανότητα p

$$p=1/6$$

$$N=10$$

$$\langle k \rangle \sim 1.5$$

Κατανομή Poisson



- δημοκρατική
- τυχαία

Ανθρώπινος εγκέφαλος



Κύτταρα: Νευρώνες ή νερώνια



Ανθρωπινος εγκέφαλος:

- 10^{10} νευρώνια
- 10.000.000.000, που είναι 10 δις
- Όλα τα νευρώνια είναι διαφορετικά μεταξύ τους, δηλ. δεν υπάρχουν 2 ίδια
- Κάθε νευρώνιο έχει 10.000 συνδέσεις
- 10 μηδενικά + 4 μηδενικά = 14 μηδενικά
- 100 τρις συνδέσεις

Τα περισσότερα δίκτυα στον
κόσμο σήμερα έχουν
εσωτερική δομή ίδιου τύπου:

δίκτυα ελεύθερα κλίμακος (scale free)

Γιατί?

Τι σημαίνει αυτό?

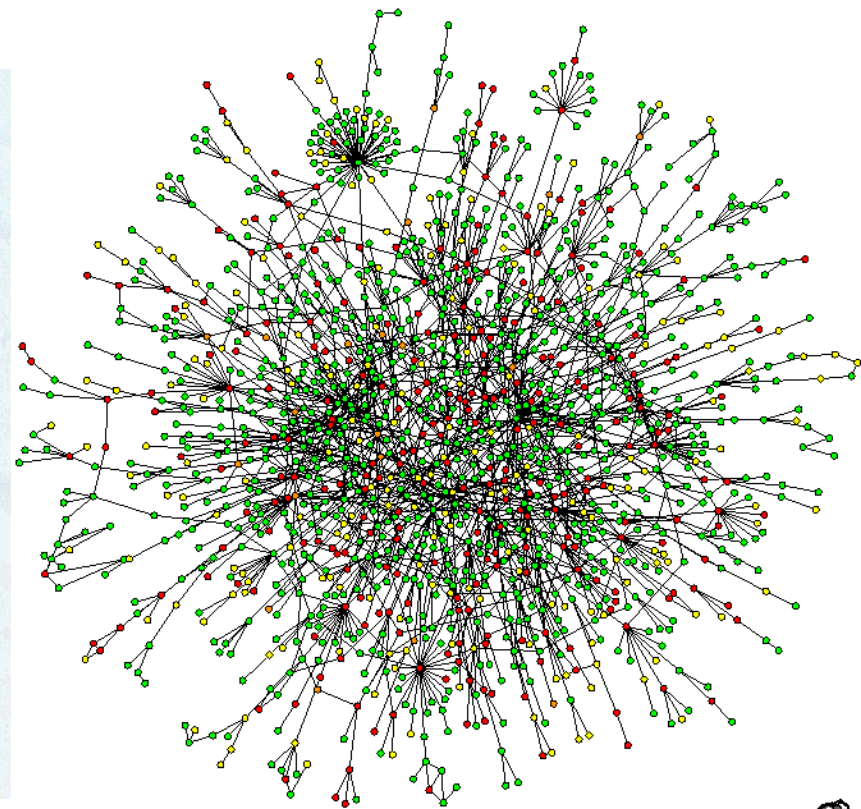
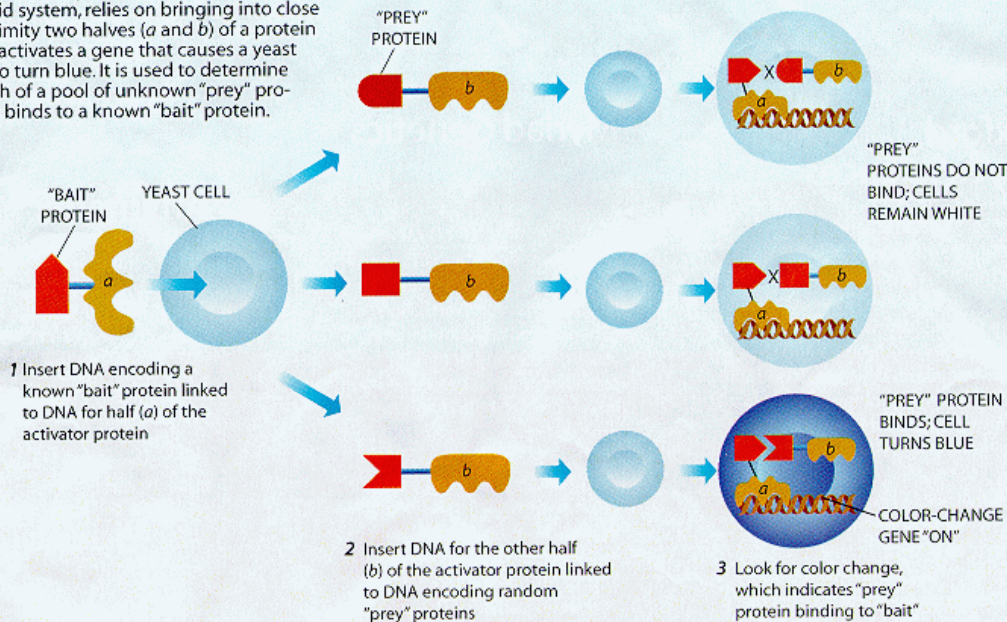
Δίκτυο πρωτεινών

κόμβοι: πρωτεϊνες

συνδέσεις: φυσική διασύνδεση μορίων (binding)

Finding Proteins That Interact

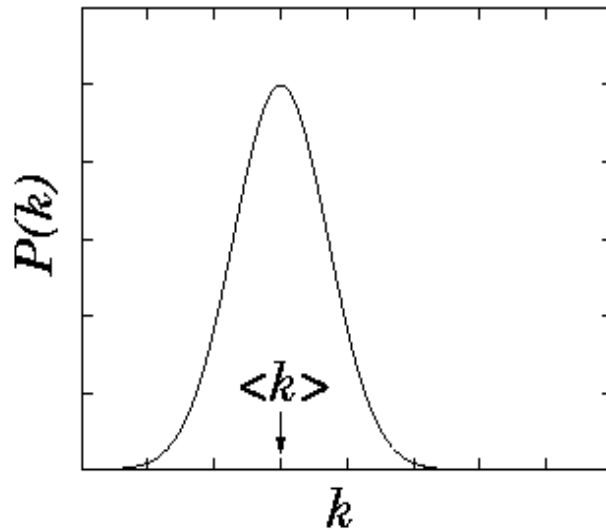
One technique, called the yeast two-hybrid system, relies on bringing into close proximity two halves (*a* and *b*) of a protein that activates a gene that causes a yeast cell to turn blue. It is used to determine which of a pool of unknown "prey" proteins binds to a known "bait" protein.



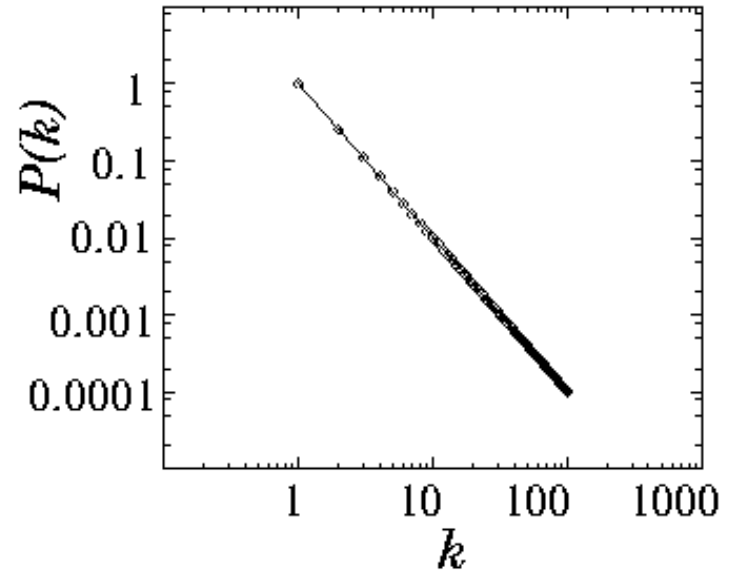
P. Uetz, *et al.* *Nature* 403, 623-7 (2000).

What does it mean?

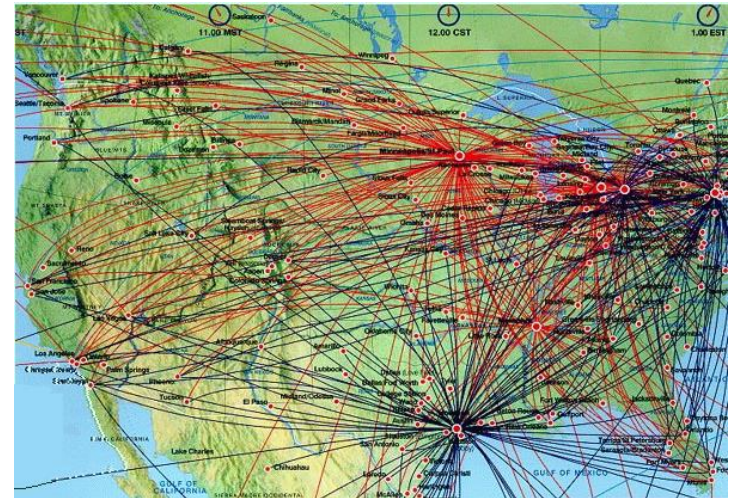
Poisson distribution



Power-law distribution



Exponential Network

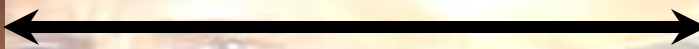
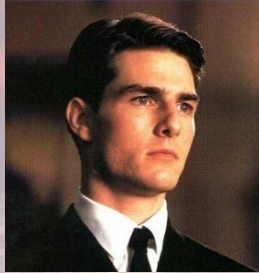


Scale-free Network

Διασυνδέσεις ηθοποιών

κόμβοι: ηθοποιοί

συνδέσεις: παίζουν μαζί



Days of Thunder (1990)

Far and Away (1992)

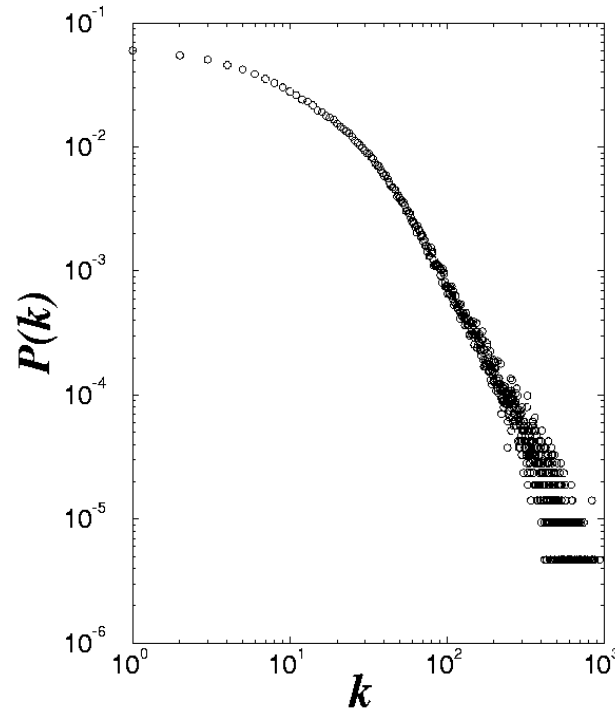
Eyes Wide Shut (1999)

$N = 212,250$ actors

$\langle k \rangle = 28.78$

$P(k) \sim k^{-\gamma}$

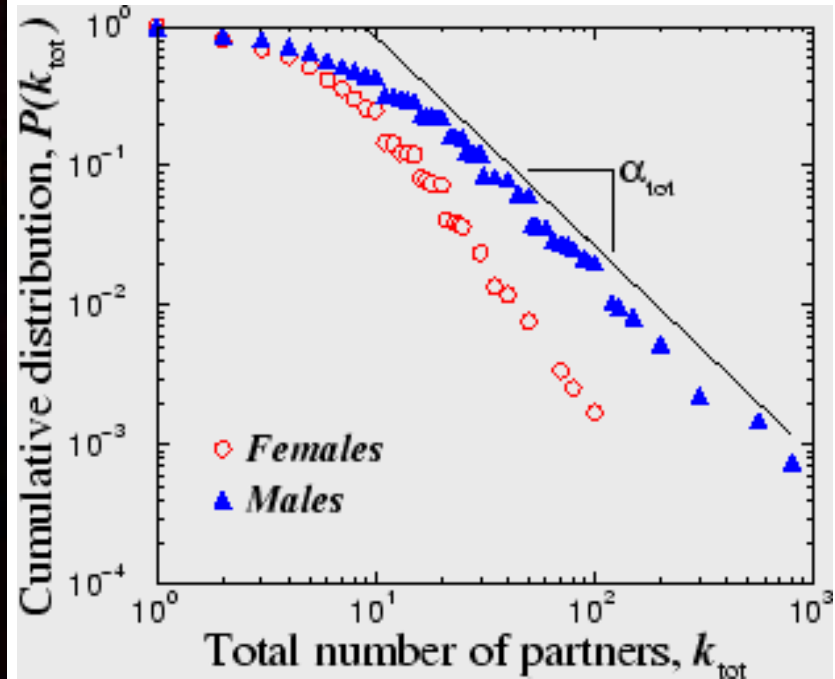
$\gamma = 2.3$



Sex-web

κόμβοι: άτομα (ανδρες-γυναίκες)

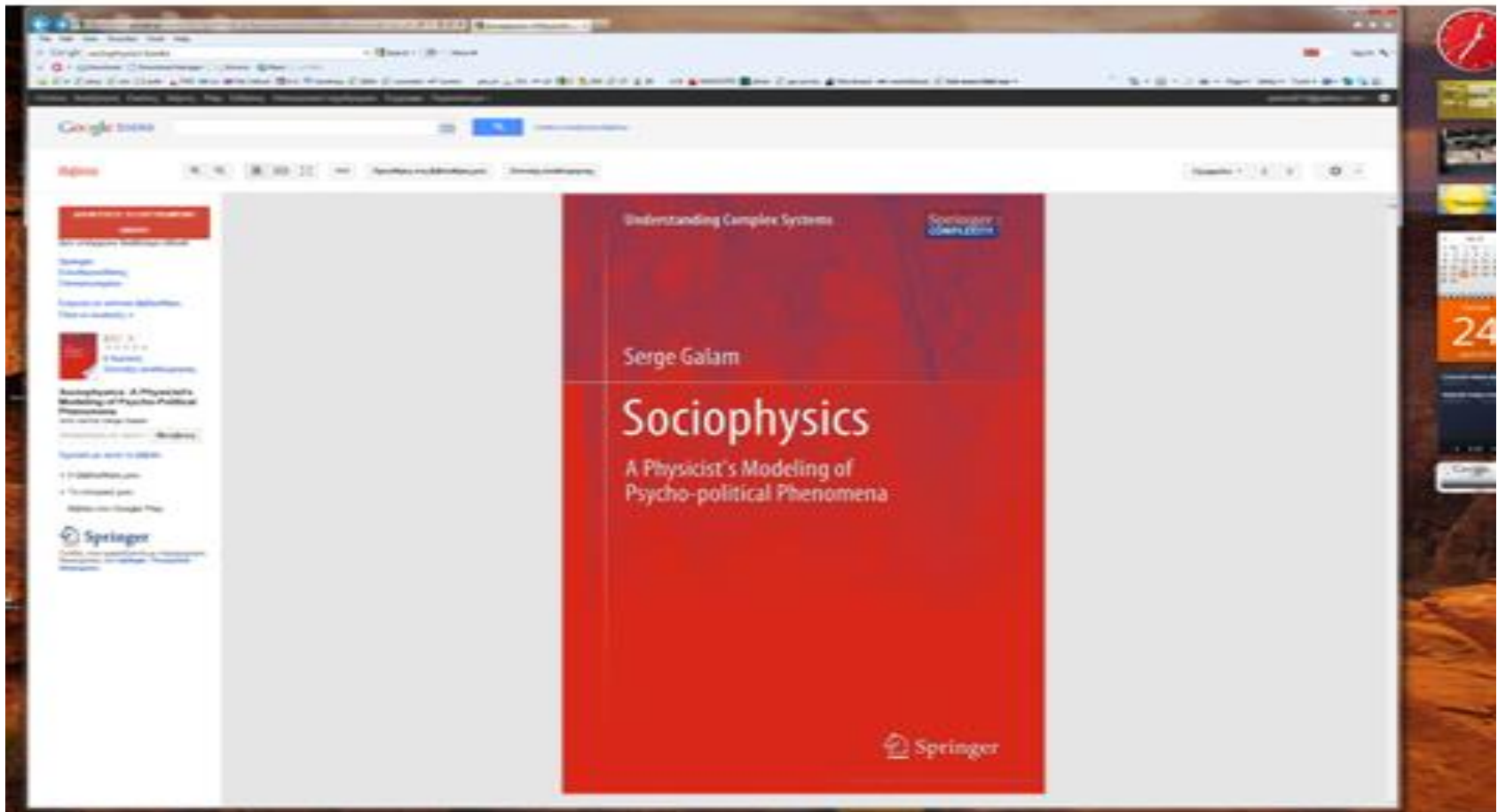
συνδέσεις: σχέση



4781 Σουηδοί; 18-74;
59% απάντησαν

Liljeros et al. Nature 2001

New books:





Email Password

Keep me logged in [Forgot your password?](#)

Facebook helps you connect and share with the people in your life.



Sign Up

It's free and always will be.

First Name:

Last Name:

Your Email:

Re-enter Email:

New Password:

I am: Select Sex:

Birthday: Month: Day: Year:

[Why do I need to provide my birthday?](#)

By clicking Sign Up, you agree to our [Terms](#) and that you have read and understand our [Data Use Policy](#).

[Create a Page for a celebrity, band or business.](#)

Facebook:

- 1,000,000,000 γραμμένοι χρήστες
- 50,000,000 δραστήριοι χρήστες
- 5,000,000 κάνουν 95% της διακίνησης

Ερωτήματα που ζητούν απαντήσεις:

- Πόσοι χρήστες επικοινωνούν ?
- πόσες συνδέσεις έχει 1 χρήστης?
- πόσο συχνά επικοινωνεί?
- πόση ώρα κρατά η επικοινωνία?

Κοινωνία

κόμβοι: άτομα

συνδέσεις: κοινωνικές σχέσεις
(οικογένεια/εργασία/φιλία/κλπ.)

S. Milgram (1967)

John Guare

Ποσες (k) συνδέσεις χρειάζονται ώστε 1 άτομο να συνδεθεί με 1 άλλο άτομο οπουδήποτε στον κόσμο?

$N=6$ δις άτομα

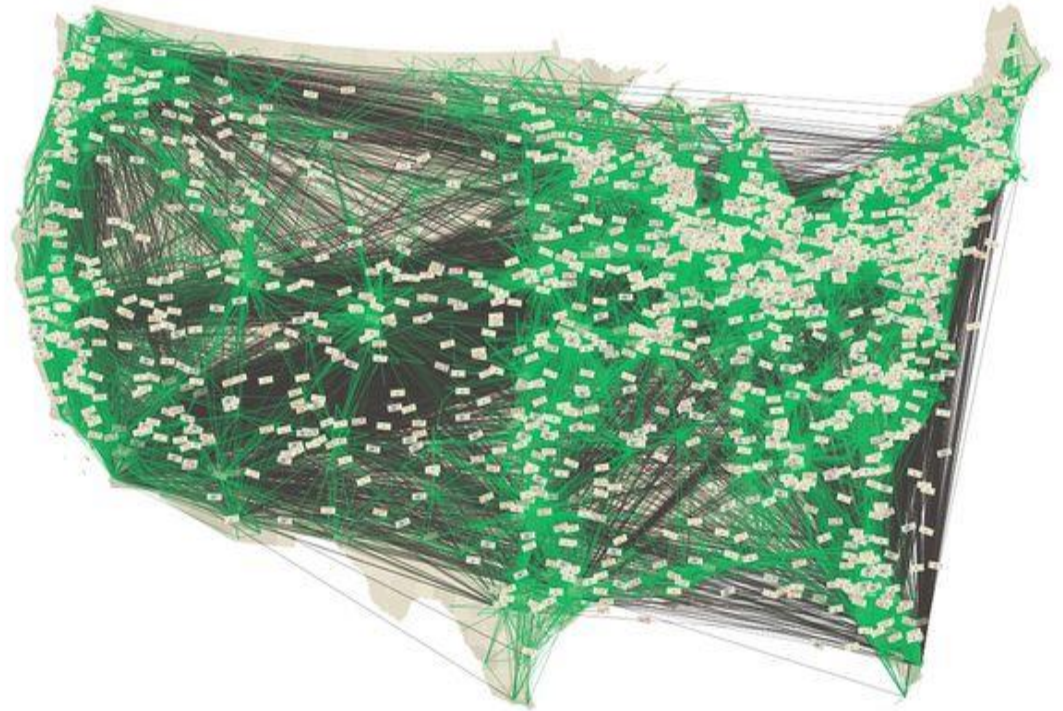
αποτέλεσμα: $k \sim 5.5$

Συμπέρασμα: Ζούμε σε ένα μικρό κόσμο

Εξη (6) βαθμοί διαχωρισμού (Six Degrees of Separation) !!

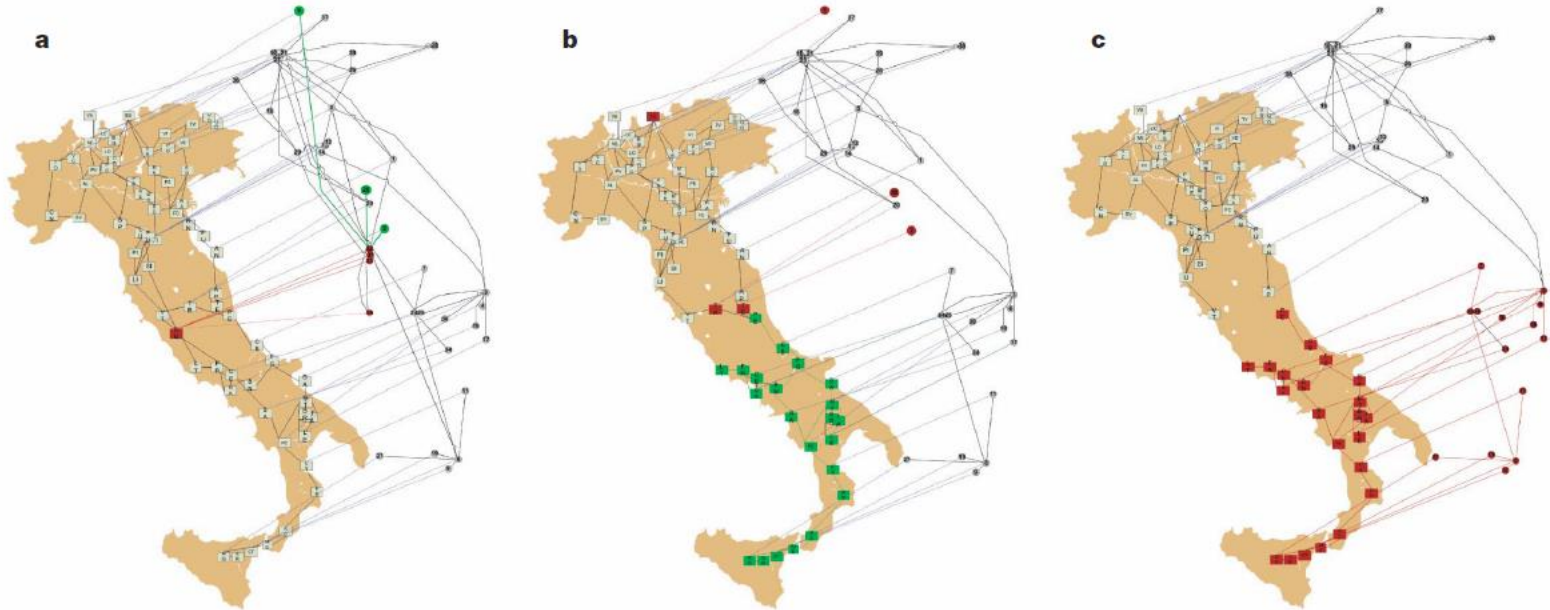


Που είναι το δολλαιο (Where is George)?



Πρόβλημα

Ιταλία 2003



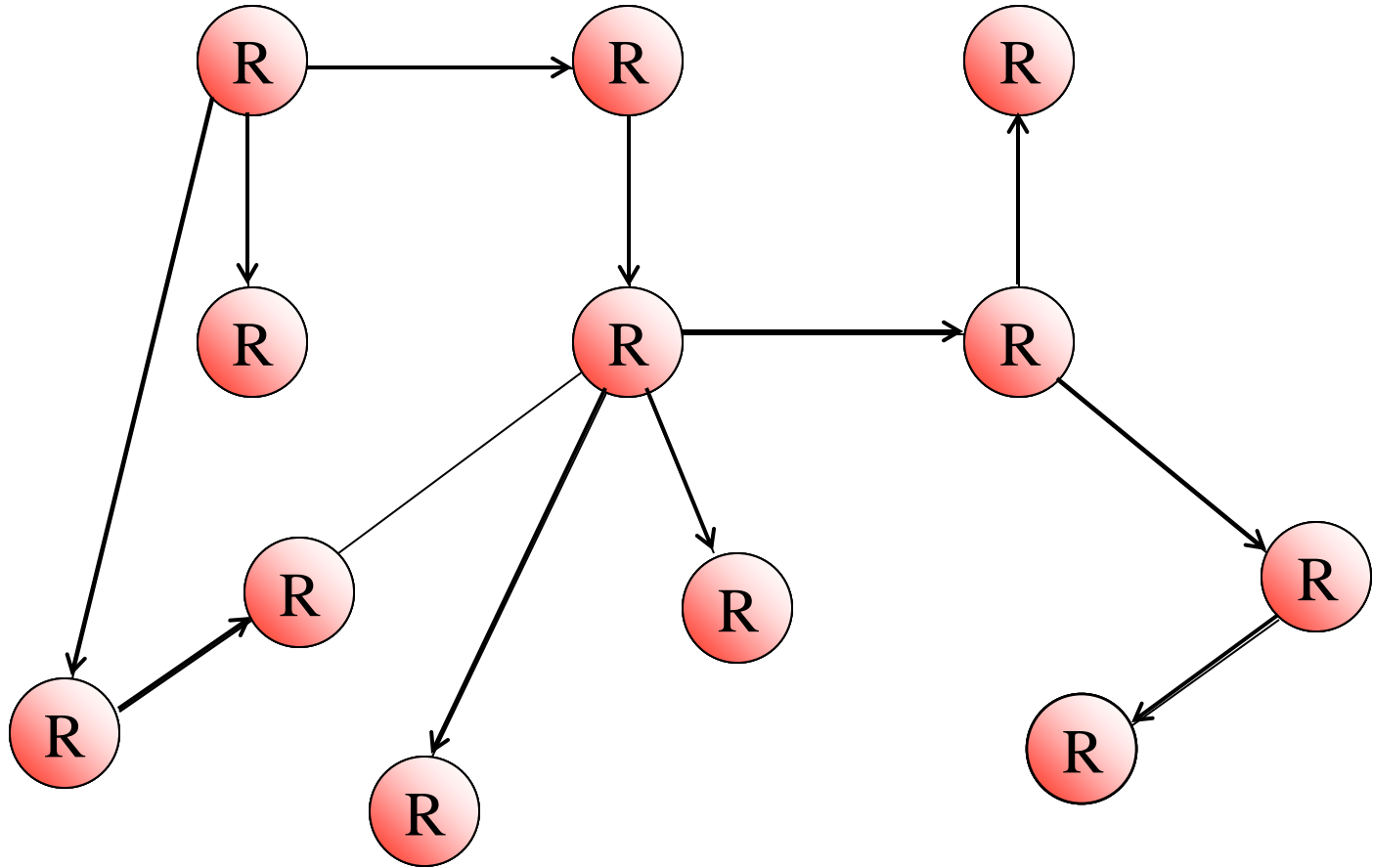
- Ρώμη - 2003: βλάβη σε σταθμό παραγωγής ενέργειας
- Εκτός λειτουργίας το σύστημα ελέγχου και διανομής ενέργειας
- Αυτό οδήγησε άλλους σταθμούς παραγωγής να μην μπορούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους και να δυσλειτουργήσουν

Παραδείγματα καθημερινής ζωής

- *Μάζες ανθρώπων*: σε γήπεδα, κλπ
- *Στρατηγικές αναζήτησης*: αποδοτικές
- *Κίνηση οχημάτων*: βελτιστοποίηση
- *Συνεργασίες*: σχηματισμός γνώμης
- *Επιδημίες*: ανοσιοποίηση
- *Πρότυπα στην οικονομία*: δυναμικά πρότυπα

CASE 2

SIR



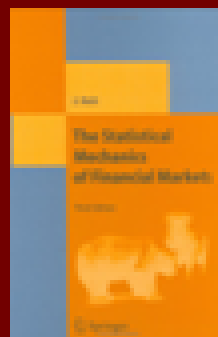
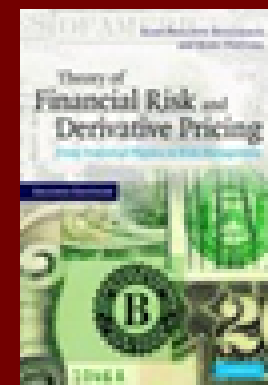
S Susceptible

I Infected

R Recovered (or Removed)

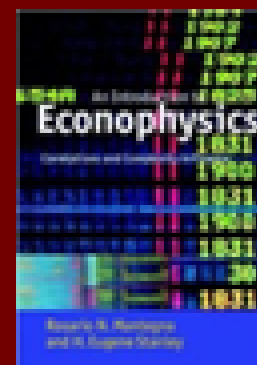
Textbooks in Econophysics

J.P. Bouchaud and M. Potters – Theory of Financial Risk and Derivative Pricing: from Statistical Physics to Risk Management, Cambridge University Press (2003)

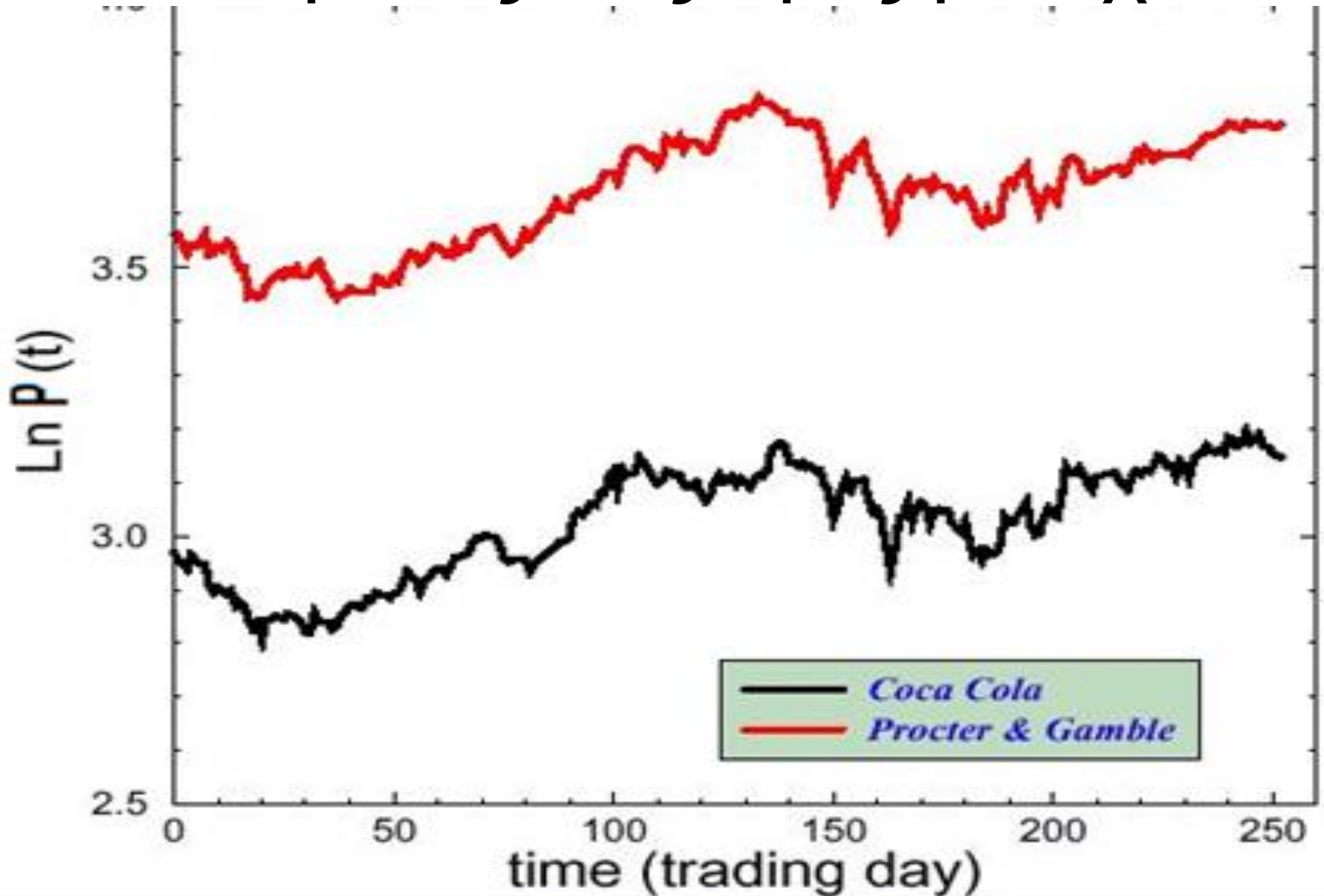


J. Voit – The Statistical Mechanics of Financial Markets, Springer (2005)

R.N. Mantegna and H.E. Stanley – An Introduction to Econophysics: Correlations and Complexity in Finance, Cambridge University Press (2000)



Μεταβολές στις τιμές μετοχών

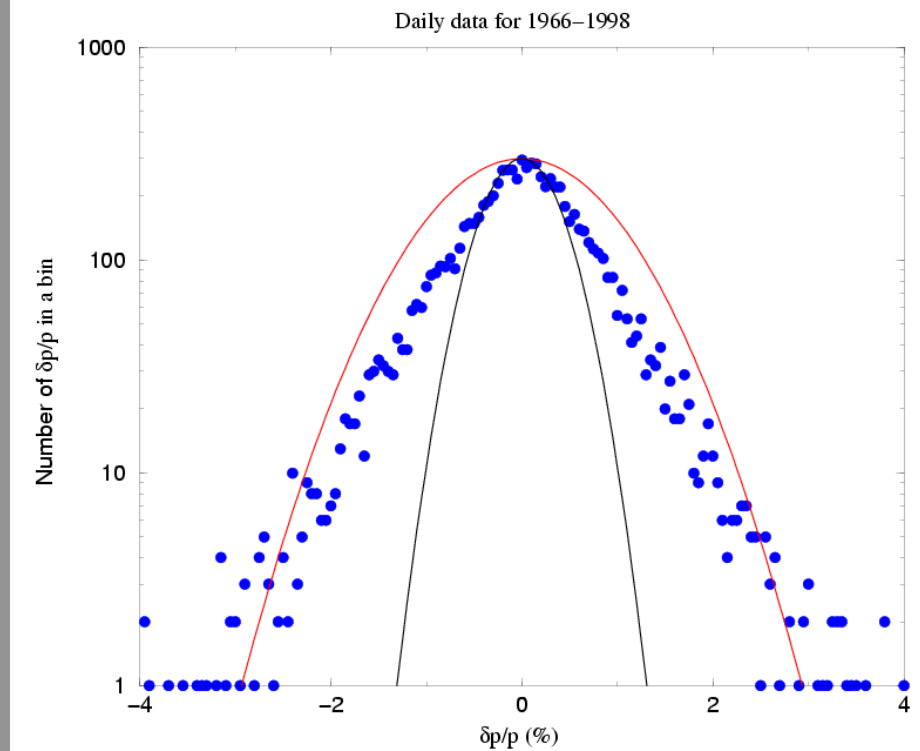
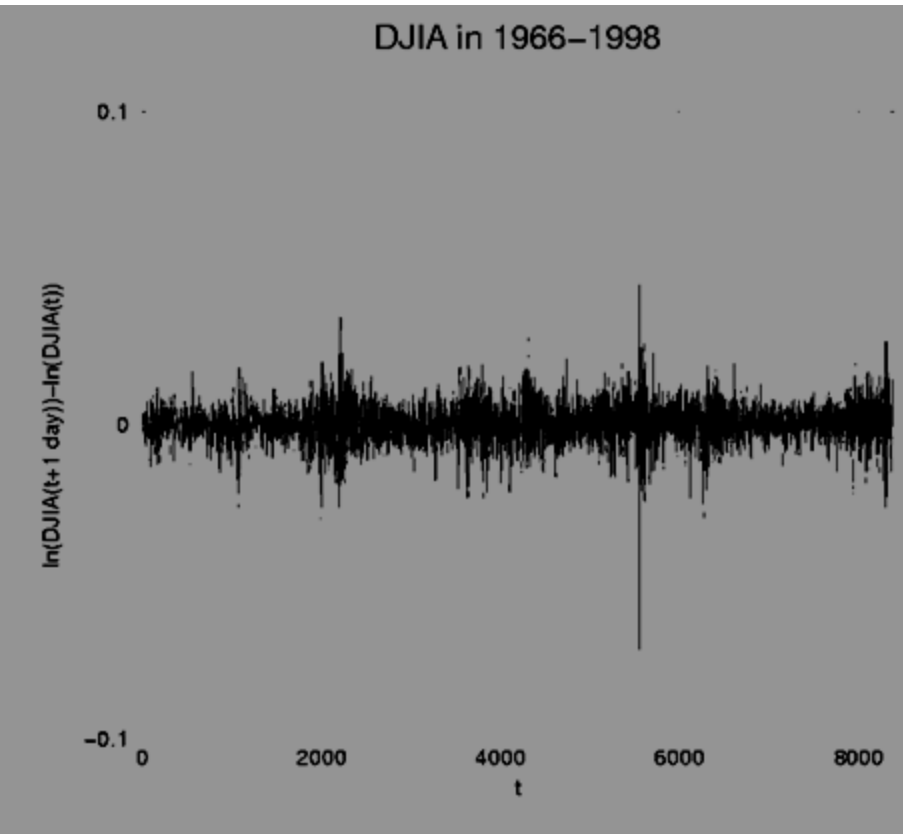


Μεταβολή τιμής

- Χτες $P(t-1)$
- Σήμερα $P(t)$
- Αυριο $P(t+1)$

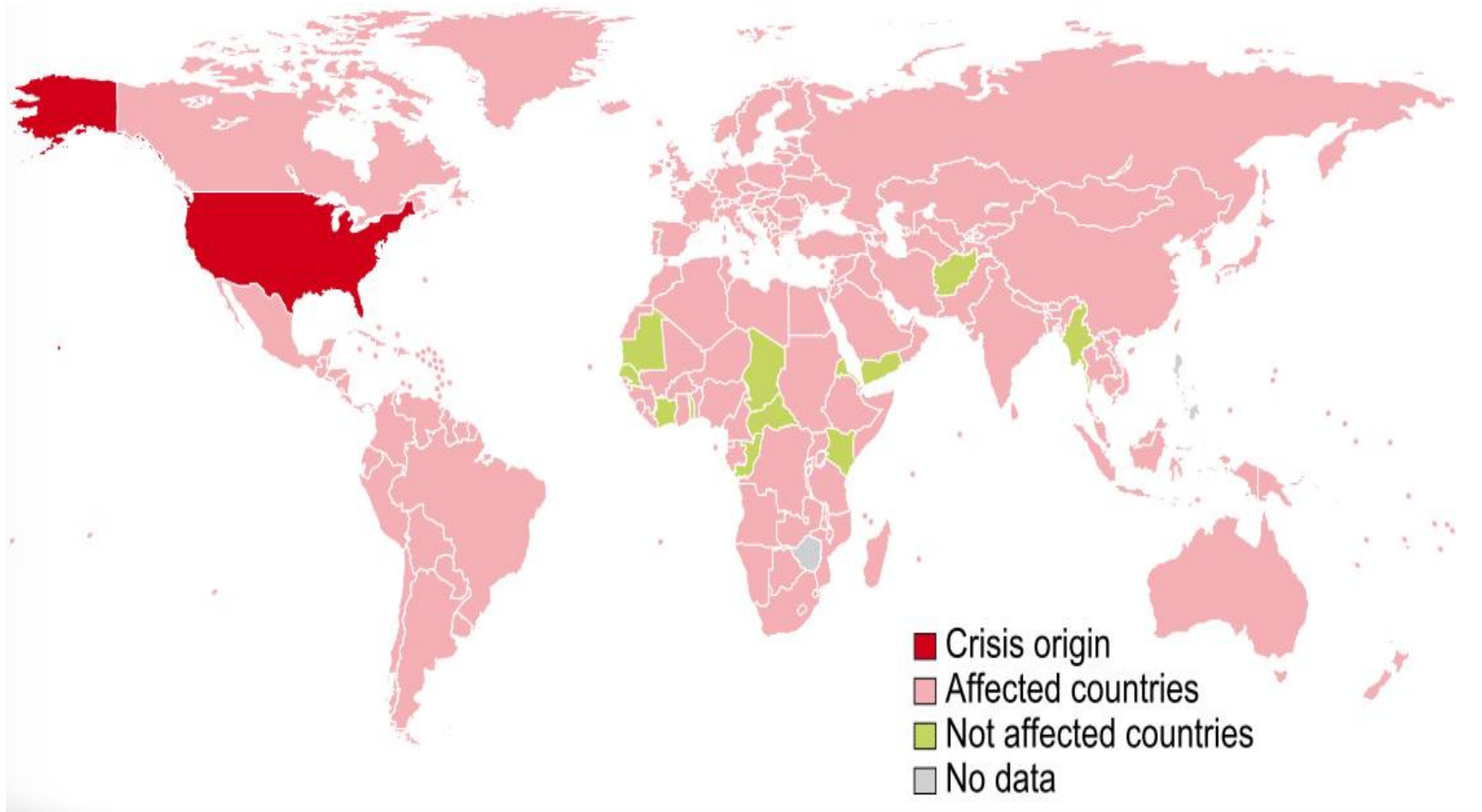
- $\Delta P(t-1, t) = P(t-1) - P(t)$
- $\Delta P(t, t+1) = P(t) - P(t+1)$

Κατανομή μεταβολών τιμών



Οκτωβριος 1987 – μεταβολή τιμών 20% σε μία μέρα
Αν ήταν gaussian κατανομή η πιθανότητα να ειχε συμβεί θα ήτανε **10⁻¹³⁵**!

Οικονομική κρίση του 2008 και η εξάπλωση της στον κόσμο



Θεωρία Παιγνίων

The image shows a hand-drawn diagram on a black background. On the left, the words "GAME THEORY" are written in large, stylized letters, with "GAME" in red and "THEORY" in blue. Below this, the number "101" is written in red and blue. On the right, a 2x2 payoff matrix is drawn with white lines. The rows are labeled "confess" and "deny" on the left side, and the columns are labeled "confess" and "deny" on the top side. The payoffs are written in red and blue. Below the matrix, the words "THE PRISONER'S DILEMMA" are written in white, stylized letters.

	confess	deny
confess	-1, -1	-12, 0
deny	0, -12	-8, -8

THE PRISONER'S DILEMMA

Θεωρία παιγνίων (game theory)

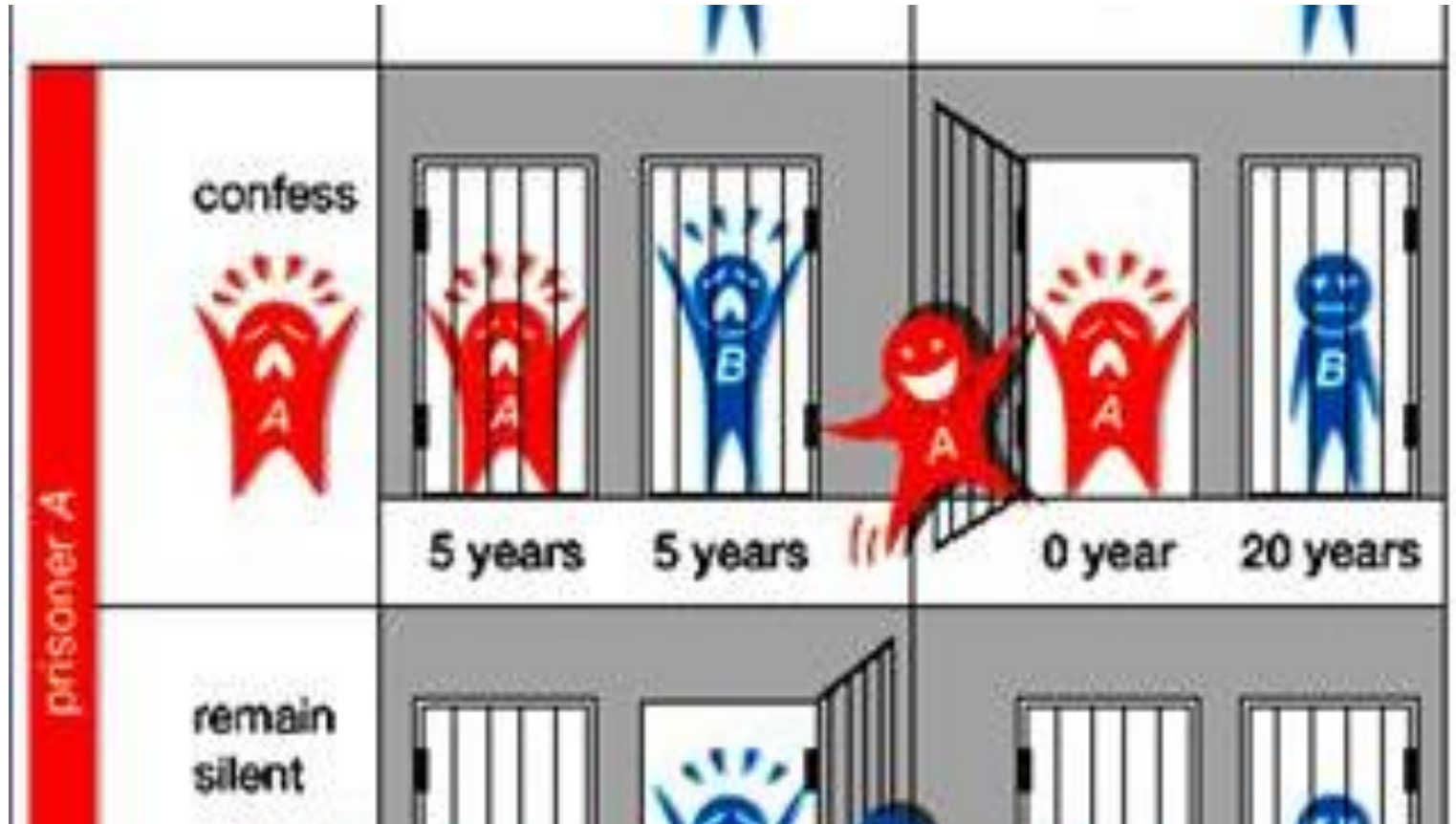
Πολυπλοκότητα

- Αναπτύχθηκε απο τον Nash
- αναλυση αποφάσεων σε κατάσταση στρατηγικής αλληλεξάρτησης
- καταστάσεις: σύγκρουσης και συνεργασίας
- παίκτης: άτομο, κράτος, οργάνωση, κλπ.
- ευφυής και λογική συμπεριφορά παικτών
- ευφυής: τέλεια γνώση πως παίζεται
- λογικός: στόχος = μεγιστοποίηση οφέλους

διάφορα παραδείγματα

- battle of sexes
- ανδρας=ποδόσφαιρο, γυναίκα=θέατρο, αλλά μαζί
- το δίλημμα του φυλακισμένου
- Συλλαμβάνονται 2 ύποπτοι για 1 έγκλημα
- Ανακρίνονται ξεχωριστά
- να συνεργαστεί ή να προστατέψει τον εαυτό του

δίλημμα του φυλακισμένου



Περίληψη:

- Η Φυσική σήμερα συνδιάζεται με πολλές άλλες επιστήμες
- Είναι απαραίτητα τα μαθηματικά και Η/Υ
- Νέες μεθοδολογίες, νέα προβλήματα
- Σε όλες τις απόψεις της καθημερινότητας
- Επανάσταση ήρθε από το INTERNET