



دومین  
مدرسه  
تایستانه  
نوین فیزیک

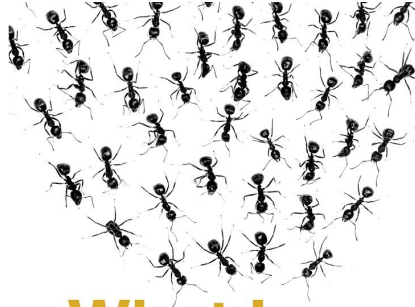
## سامانه‌های پیچیده:

نگاهی به مفهوم پیچیدگی از دیدگاه فیزیک

کیوان آقابابائی سامانی

دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی اصفهان

۳۰ مرداد ۱۴۰۲

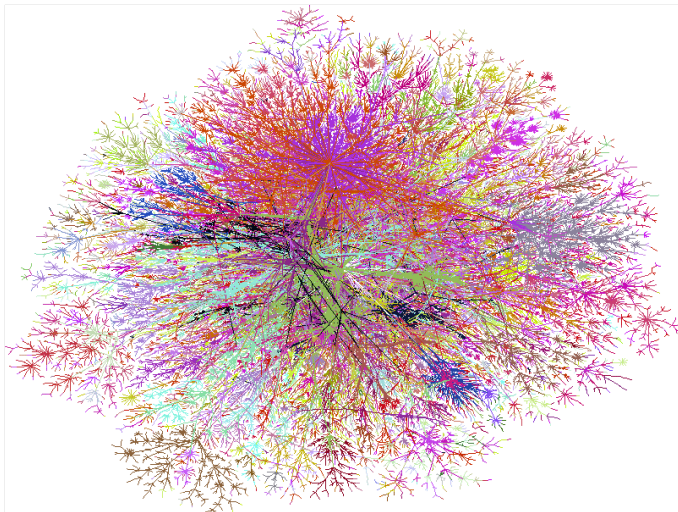


# What Is a Complex System?

JAMES LADYMAN & KAROLINE WIESNER

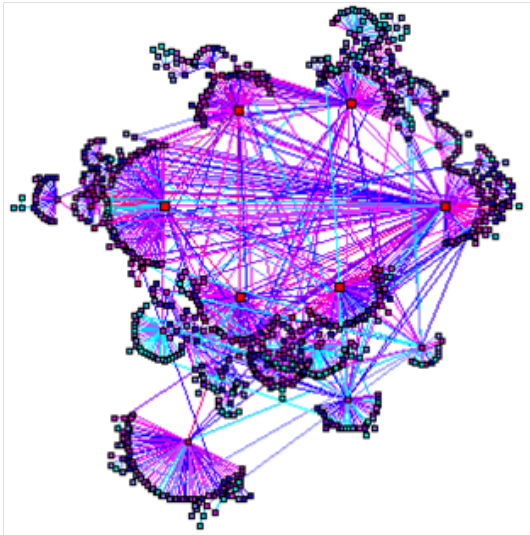
# چند مثال

## اینترنت

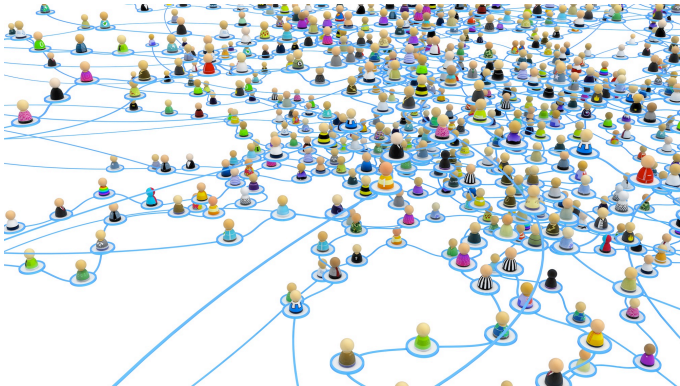


# چند مثال

وب



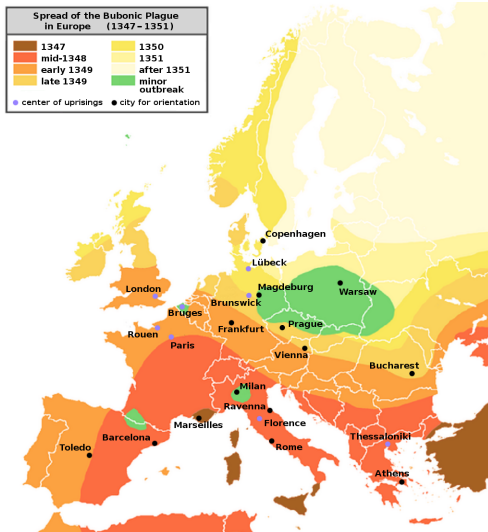
## شبکه‌های اجتماعی



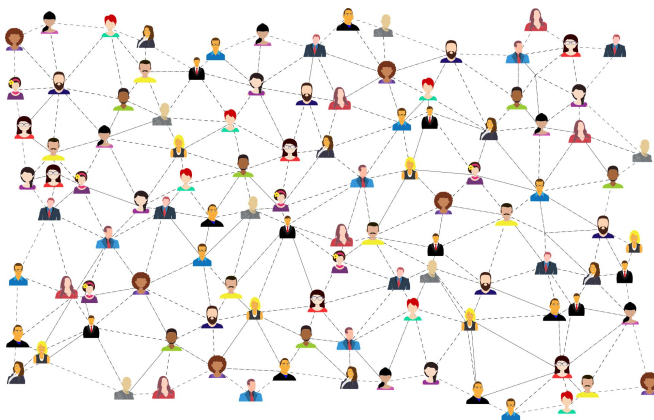
همگام سازی

# چند مثال

## پخش بیماری



## پخش شایعه، تغییر عقاید، آرا و عاداتها



# چند مثال

مغز



تعریف، ویژگی‌ها

تعریف، ویژگی‌ها

- تعداد زیاد اجزا

تعریف، ویژگی‌ها

- تعداد زیاد اجزا
- ارتباط‌های پیچیده میان اجزا

تعریف، ویژگی‌ها

- تعداد زیاد اجزا
- ارتباط‌های پیچیده میان اجزا
- دینامیک غیرخطی

تعریف، ویژگی‌ها

- تعداد زیاد اجزا
- ارتباط‌های پیچیده میان اجزا
- دینامیک غیرخطی
- ویژگی‌های برآینده (Emergent Properties)

تعریف، ویژگی‌ها

- تعداد زیاد اجزا
- ارتباط‌های پیچیده میان اجزا
- دینامیک غیرخطی
- ویژگی‌های برآینده (Emergent Properties)
- رفتار غیرتعدادی

تعریف، ویژگی‌ها

- تعداد زیاد اجزا
- ارتباط‌های پیچیده میان اجزا
- دینامیک غیرخطی
- ویژگی‌های برآینده (Emergent Properties)
- رفتار غیرتعدادی
- رفتارهای جمعی

تعریف، ویژگی‌ها

- تعداد زیاد اجزا
- ارتباط‌های پیچیده میان اجزا
- دینامیک غیرخطی
- ویژگی‌های برآینده (Emergent Properties)
- رفتار غیرتعدادی
- رفتارهای جمعی
- خودسامان‌دهی

## تعریف، ویژگی‌ها

- تعداد زیاد اجزا
- ارتباط‌های پیچیده میان اجزا
- دینامیک غیرخطی
- ویژگی‌های برآینده (Emergent Properties)
- رفتار غیرتعدادی
- رفتارهای جمعی
- خودسامان‌دهی
- وجود مقیاس‌های مختلف

# مثالهایی از سامانه‌های پیچیده

## ساختار

- اینترنت
- وب
- شبکه‌های اجتماعی
- مغز
- سلول
- پروتئین
- زنجیره‌های غذایی
- شبکه‌های اقتصادی

## دینامیک

- هم‌گام‌سازی
- فرایندهای پخش
- تکامل
- فعالیت‌های عصبی
- تکثیر
- فوتوسنتز
- بازار بورس
- رفتارهای جمعی موجودات زنده

4 August 1972, Volume 177, Number 4047

## SCIENCE

### More Is Different

Broken symmetry and the nature of  
the hierarchical structure of science.

P. W. Anderson

The reductionist hypothesis may still be a topic for controversy among philosophers, but among the great majority of active scientists I think it is accepted

planation of phenomena in terms of known fundamental laws. As always, distinctions of this kind are not unambiguous, but they are clear in most cases. Solid state physics, plasma physics, and perhaps

less relevance they seem to have to the very real problems of the rest of science, much less to those of society.

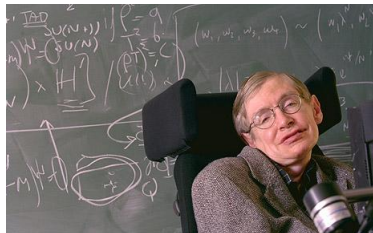
The constructionist hypothesis breaks down when confronted with the twin difficulties of scale and complexity. The behavior of large and complex aggregates of elementary particles, it turns out, is not to be understood in terms of a simple extrapolation of the properties of a few particles. Instead, at each level of complexity entirely new properties appear, and the understanding of the new behaviors requires research which I think is as fundamental in its nature as any other. That is, it seems to me that one may array the sciences roughly linearly in a hierarchy, according to the idea: The elementary entities of science X obey the laws of science Y.



P. W. Anderson  
(1923 - 2020)

# More is Different

“I think the next century  
will be the century of  
complexity.”



Stephen Hawking  
(1942-2018)



- روش‌های آماری، تحلیل داده‌ها

- روش‌های آماری، تحلیل داده‌ها
- روش‌های تجربی، آزمایشگاهی

- روش‌های آماری، تحلیل داده‌ها
- روش‌های تجربی، آزمایشگاهی
- روش‌های نظری، محاسباتی (مدل‌سازی، شبیه‌سازی، حل عددی)

COMMUNICATIONS ON PURE AND APPLIED MATHEMATICS, VOL. XIII, 001-14 (1960)

## The Unreasonable Effectiveness of Mathematics in the Natural Sciences

Richard Courant Lecture in Mathematical Sciences delivered at New York University, May 11, 1960

EUGENE P. WIGNER

Princeton University

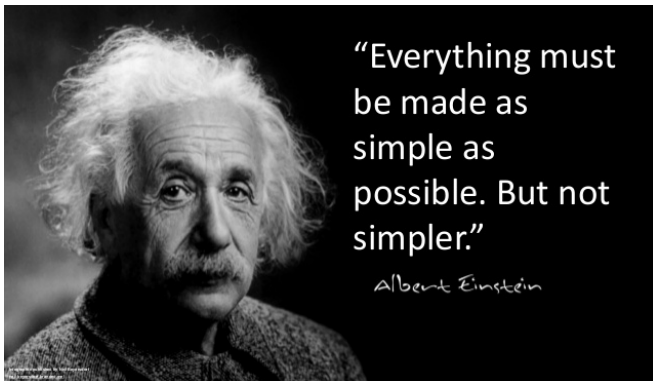
*"and it is probable that there is some secret here which remains to be discovered." (C. S. Peirce)*

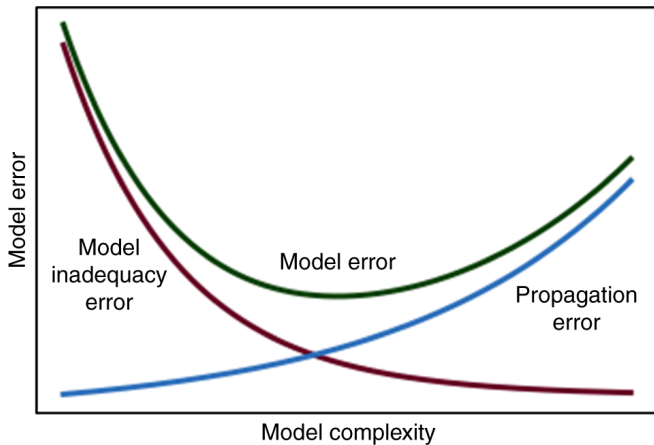
There is a story about two friends, who were classmates in high school, talking about their jobs. One of them became a statistician and was working on population trends. He showed a reprint to his former classmate. The reprint started, as usual, with the Gaussian distribution and the statistician explained to his former classmate the meaning of the symbols for the actual population, for the average population, and so on. His classmate was a bit incredulous and was not quite sure whether the statistician was pulling his leg. "How can you know that?" was his query. "And what is this symbol here?" "Oh," said the statistician, "this is  $\pi$ ." "What is that?" "The ratio of the circumference of the circle to its diameter." "Well, now you are pushing your joke too far," said the classmate, "surely the population has nothing to do with the circumference of the circle."



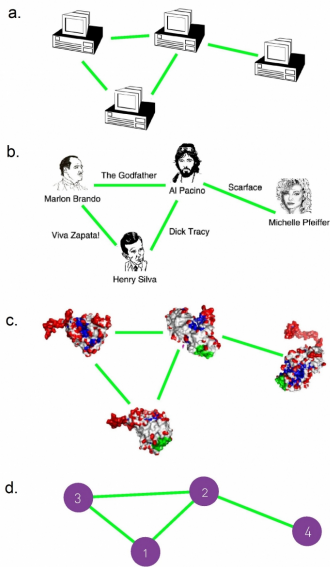
Eugene Wigner  
(1902 - 1995)

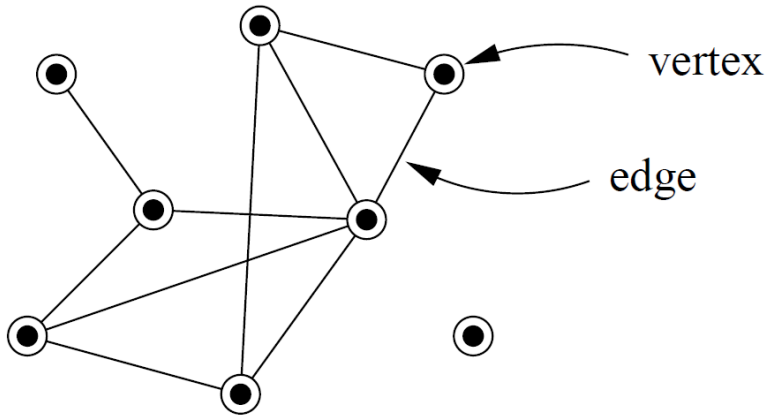
## The Unreasonable Effectiveness of Mathematics in the Natural Sciences





Nature Communications volume 10, Article number: 3870 (2019)





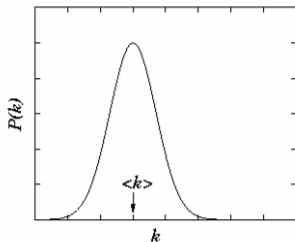
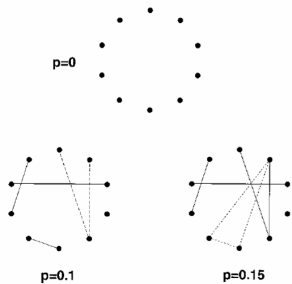
- شبکه‌ی تصادفی
- شبکه‌ی بی‌مقیاس
- شبکه‌ی جهان‌کوچک



Alfréd Rényi



Paul Erdős



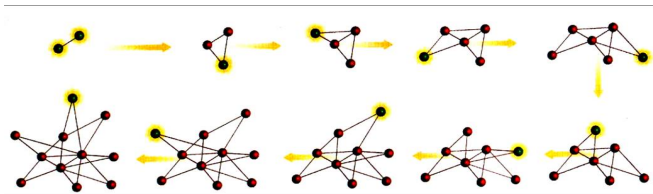
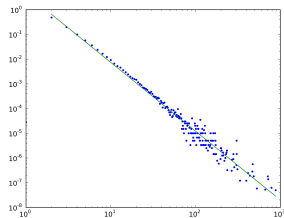
# شبکه‌ی بی‌مقیاس



Albert-László Barabási



Réka Albert



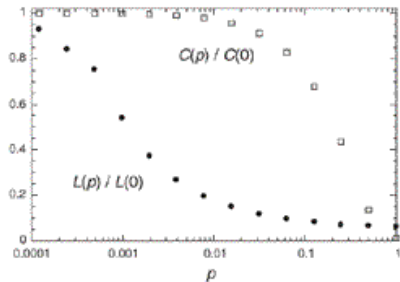
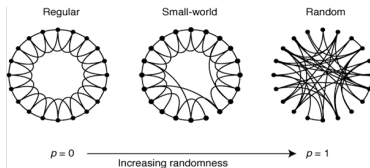
# شبکه‌ی جهان کوچک

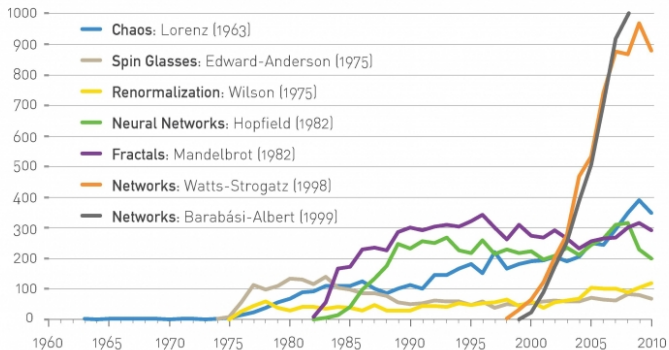


Steven Strogatz

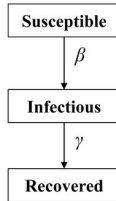


Duncan Watts





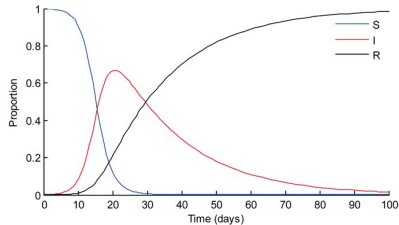
# مدل پخش بیماری



$$\frac{dS}{dt} = -\beta SI$$

$$\frac{dI}{dt} = \beta SI - \gamma I$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma I$$



Paula M. Luz, Claudio J. Struchiner, Alison P. Galvan, PLoS Neglected Tropical Diseases **4**, e761 (2010).

از توجه شما سپاس گزارم