

# Сложные системы



# Вопросы, требующие ответа

Как определяются понятия сложности и сложной системы?



# Вопросы, требующие ответа

Как определяются понятия сложности и сложной системы?

Как феноменологически идентифицировать сложные системы?



# Вопросы, требующие ответа

Как определяются понятия сложности и сложной системы?

Как феноменологически идентифицировать сложные системы?

Чем интересны сложные системы?



# Вопросы, требующие ответа

Как определяются понятия сложности и сложной системы?

Как феноменологически идентифицировать сложные системы?

Чем интересны сложные системы?

Как зарождается сложность в системе?



# Вопросы, требующие ответа

Как определяются понятия сложности и сложной системы?

Как феноменологически идентифицировать сложные системы?

Чем интересны сложные системы?

Как зарождается сложность в системе?

Какие существуют подходы к моделированию сложных динамических систем?



# Вопросы, требующие ответа

Как определяются понятия сложности и сложной системы?

Как феноменологически идентифицировать сложные системы?

Чем интересны сложные системы?

Как зарождается сложность в системе?

Какие существуют подходы к моделированию сложных динамических систем?

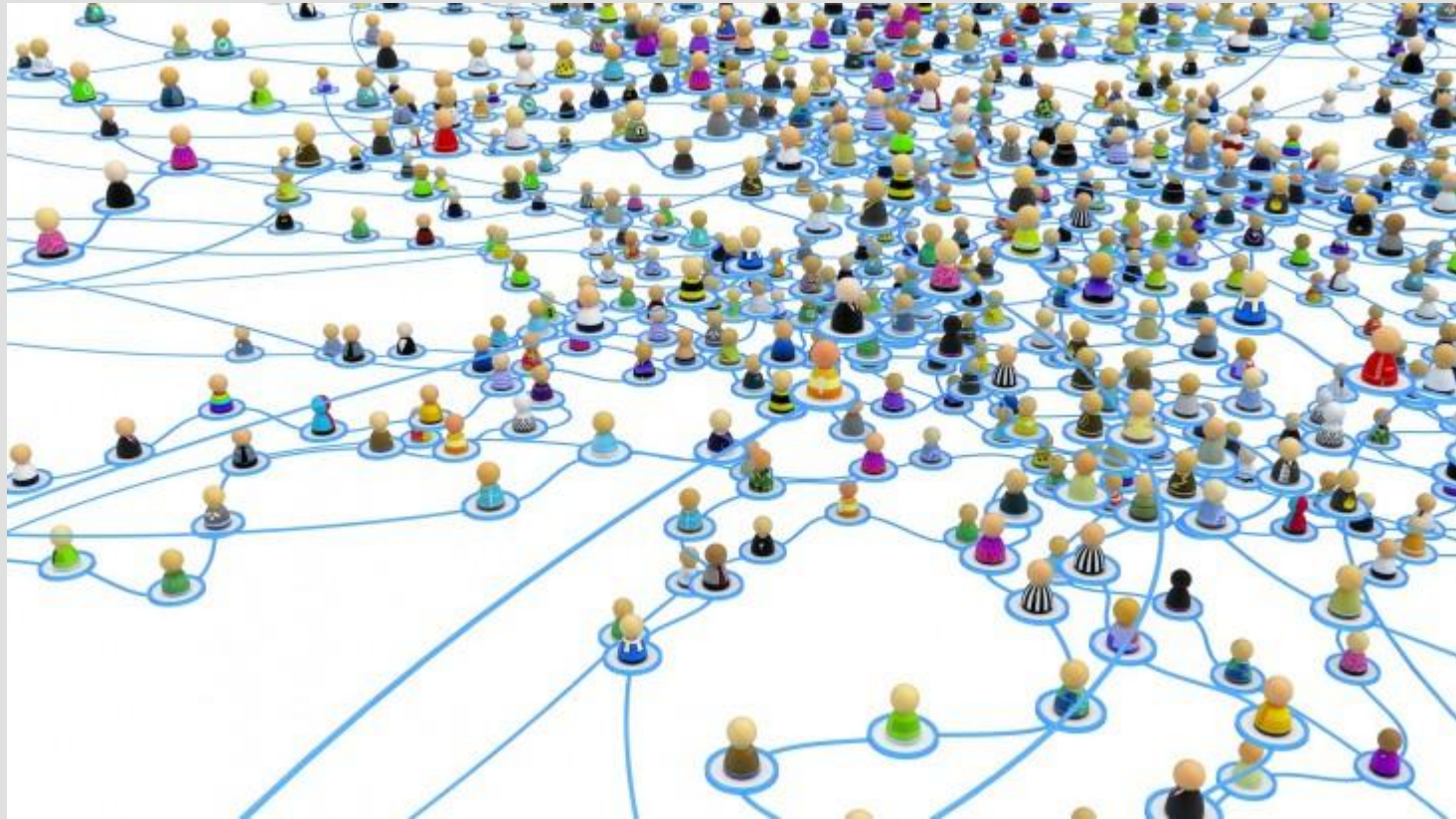


# Сетевая парадигма. Network science

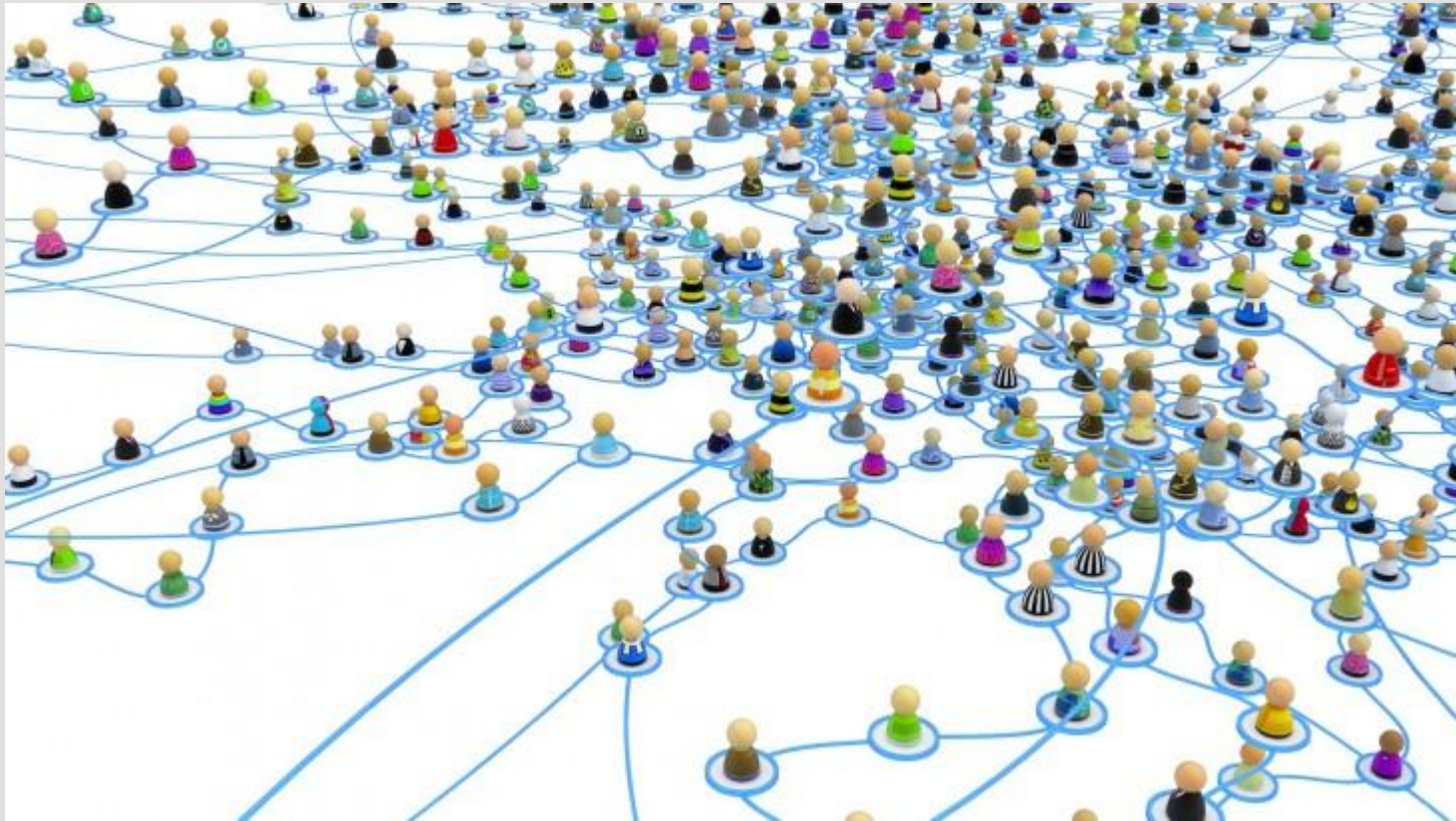




# Сетевая парадигма. Network science



# Сетевая парадигма. Network science



Национальный научно-исследовательский совет США определяет науку о сетях как «изучение сетевых представлений физических, биологических и социальных явлений, ведущее к прогнозирующим моделям этих явлений»



# Вопросы, требующие ответа

Как определяются понятия сложности?



# Вопросы, требующие ответа

Как определяются понятия сложности?

- Несводимость системы к простой сумме слагающих её частей



# Вопросы, требующие ответа

Как определяются понятия сложности?

- Несводимость системы к простой сумме слагающих её частей
- Эмерджентность – возникновение у целого свойств, которыми его части не обладают



# Вопросы, требующие ответа

Как определяются понятия сложности?

- Несводимость системы к простой сумме слагающих её частей
- Эмерджентность – возникновение у целого свойств, которыми его части не обладают
- Наличие в системе большого числа элементов и/или нетривиальных связей между ними (разнообразие)



# Безмасштабные, масштабно-инвариантные или сложные сети

Как определяются понятие сложной системы?





# Безмасштабные, масштабно-инвариантные или сложные сети

Как определяются понятие сложной системы?



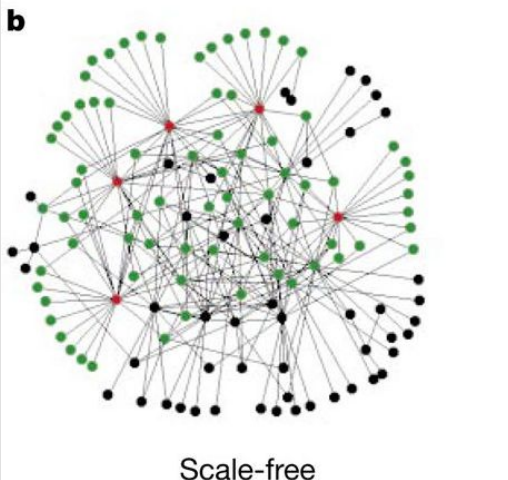
Albert-László  
Barabási,  
Barabási,  
Albert-László;  
Albert, Réka.  
(October 15, 1999).  
"Emergence of  
scaling in random  
networks".  
Science. 286  
(5439): 509–512





# Безмасштабные, масштабно-инвариантные или сложные сети

Как определяются понятие сложной системы?



$$p(k) \propto k^{-\alpha}, \alpha \in (2,3)$$

$k$  – степень вершины  
(число связей узла)

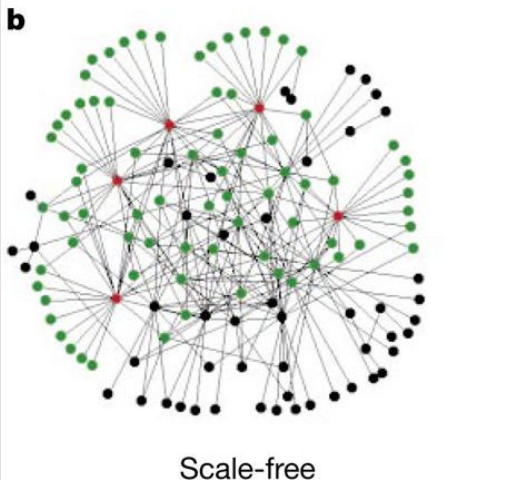


Albert-László  
Barabási,  
Barabási,  
Albert-László;  
Albert, Réka.  
(October 15, 1999).  
"Emergence of  
scaling in random  
networks".  
Science. 286  
(5439): 509–512



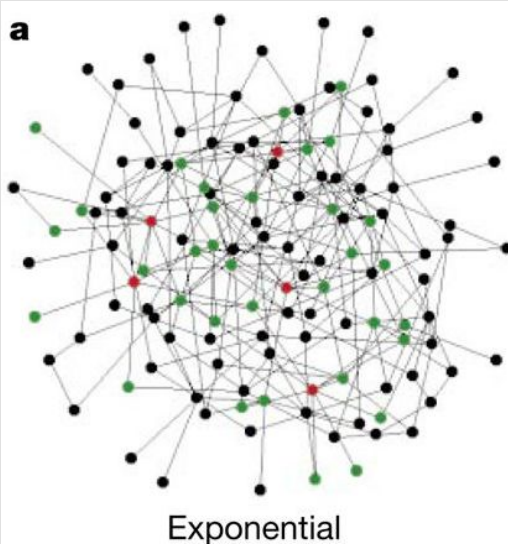
# Безмасштабные, масштабно-инвариантные или сложные сети

Как определяются понятие сложной системы?



$$p(k) \propto k^{-\alpha}, \alpha \in (2,3)$$

$k$  – степень вершины  
(число связей узла)



$$p(k) \propto e^{-\lambda k}$$

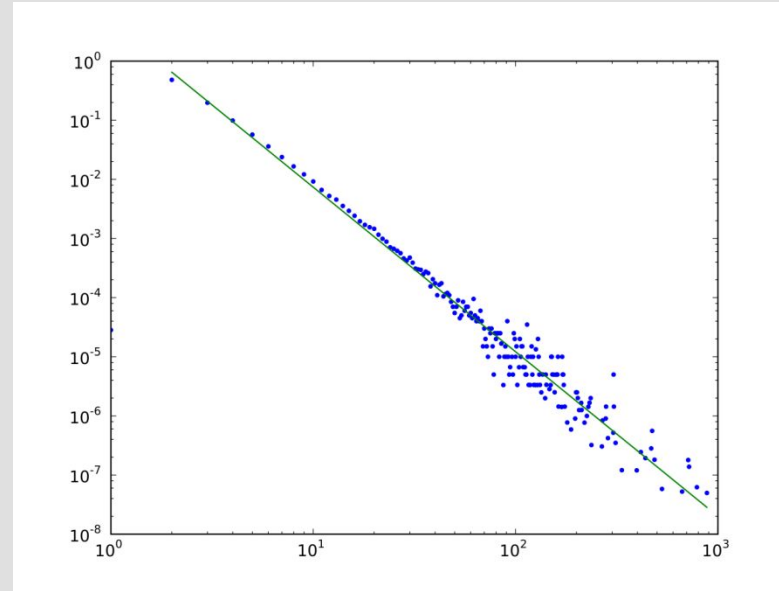


Albert-László  
Barabási,  
Barabási,  
Albert-László;  
Albert, Réka.  
(October 15, 1999).  
"Emergence of  
scaling in random  
networks".  
Science. 286  
(5439): 509–512



# Безмасштабные, масштабно-инвариантные или сложные сети

Как определяются понятие сложной системы?

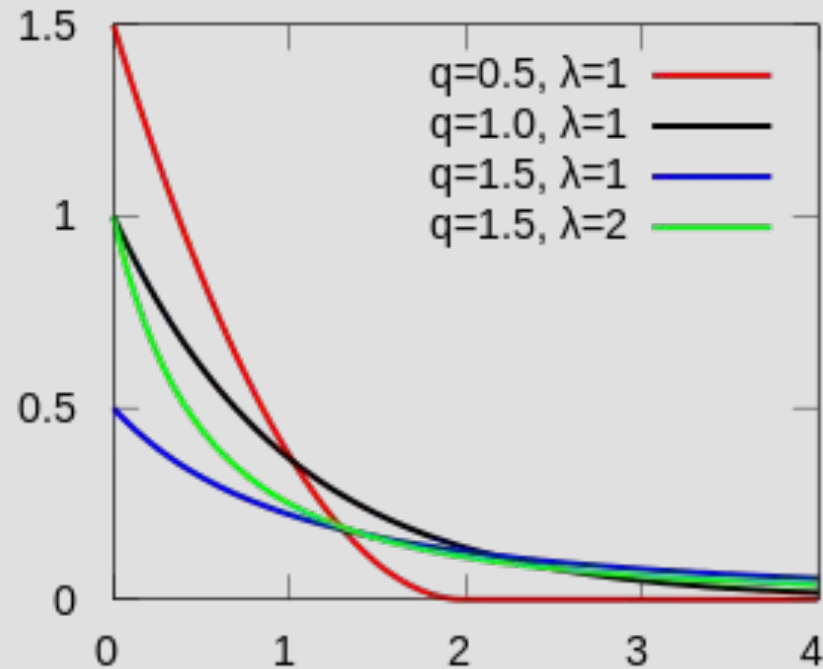


Степенной закон распределения  
связей в двойном  
логарифмическом масштабе




# Безмасштабные, масштабно-инвариантные или сложные сети

Как определяются понятие сложной системы?





# Безмасштабные, масштабно-инвариантные или сложные сети


Как определяются понятие сложной системы?



Article | [Open Access](#) | Published: 04 March 2019

## Scale-free networks are rare

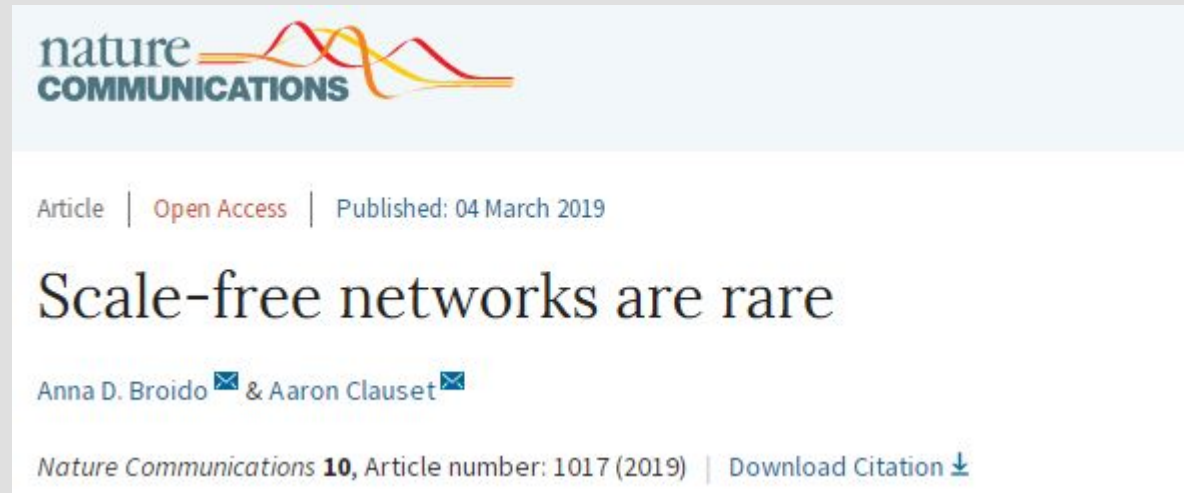
Anna D. Broido  & Aaron Clauset 

*Nature Communications* **10**, Article number: 1017 (2019) | [Download Citation](#) 



# Безмасштабные, масштабно-инвариантные или сложные сети

Как определяются понятие сложной системы?

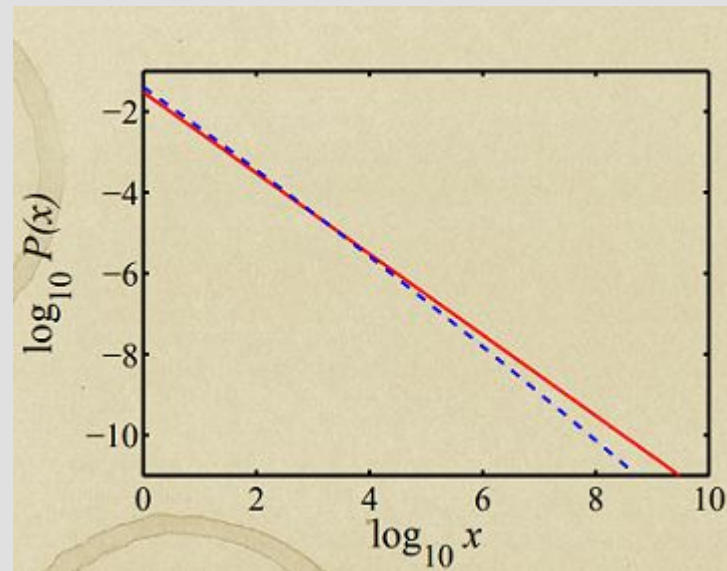


- Сильная масштабная инвариантность (степенной закон)
- Средняя масштабная инвариантность (логнормальный)
- Слабая масштабная



# Безмасштабные, масштабно-инвариантные или сложные сети

Как определяются понятие сложной системы?



lognormal (blue)  
power law (red),



# Безмасштабные, масштабно-инвариантные или сложные сети

Как определяются понятие сложной системы?

Сложность можно определить на уровне внешних проявлений системы безотносительно ее внутреннего устройства.





# Безмасштабные, масштабно-инвариантные или сложные сети

Как определяются понятие сложной системы?

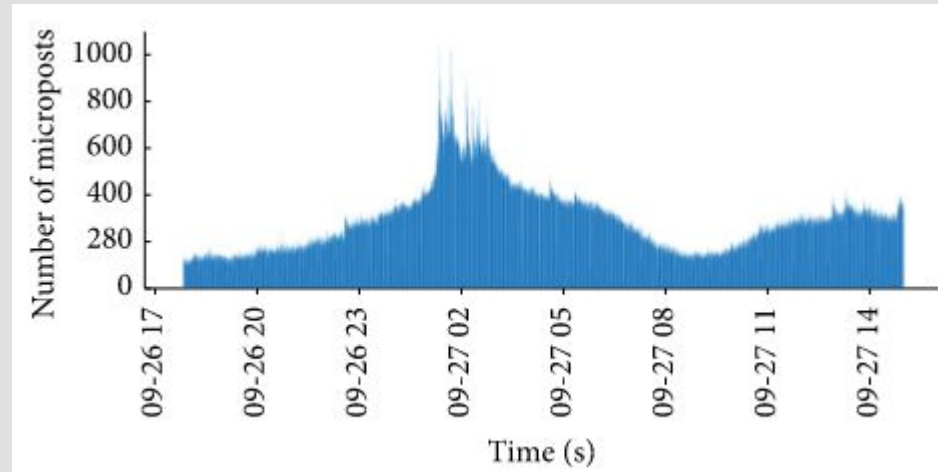
Сложность можно определить на уровне внешних проявлений системы безотносительно ее внутреннего устройства.

**Сложная система** – система, способная генерировать неожиданные (не удастся предсказать) и/или экстраординарные события (выделяются из ряда родственных ему событий).



# Безмасштабные, масштабно-инвариантные или сложные сети

Как определяются понятие сложной системы?



# Безмасштабные, масштабно-инвариантные или сложные сети

Как определяются понятие сложной системы?

Необходимые условия возникновения сложности в  
системе:



# Безмасштабные, масштабно-инвариантные или сложные сети

Как определяются понятие сложной системы?

Необходимые условия возникновения сложности в системе:

- Открытость
- Неравновесность
- Диссипативность

