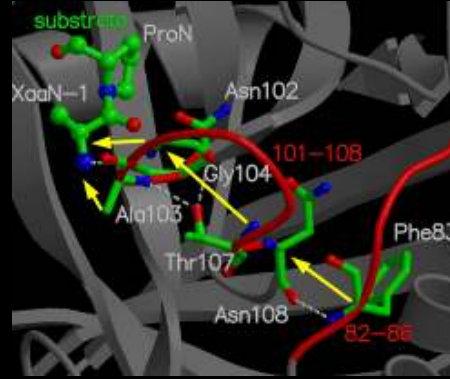
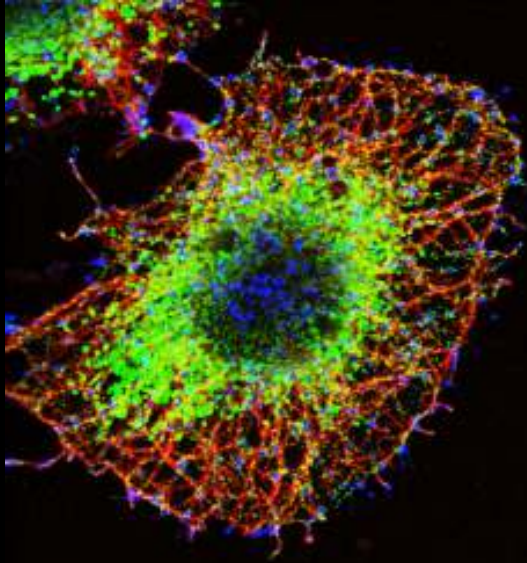


10/10/2015 10/11/2015 10/12/2015 ...



FİZİKÇİ GÖZÜYLE EVRİM

Ayşe Erzan
İstanbul Teknik Üniversitesi

Darwin : Evrim ve doğal seçilim 1859

- kalıtımla aktarılabilen bazı özelliklerin rasgele değişebilmesi– devrimci bir öngörü !
- En uyumlunun (üreme kabiliyeti en yüksek olanın) “seçilimi” → uyumlanma, çeşitlilik (determinist? doğrusal?); karmaşıklık

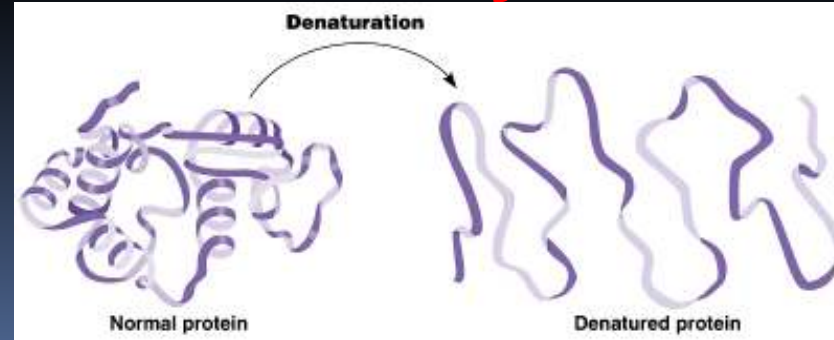
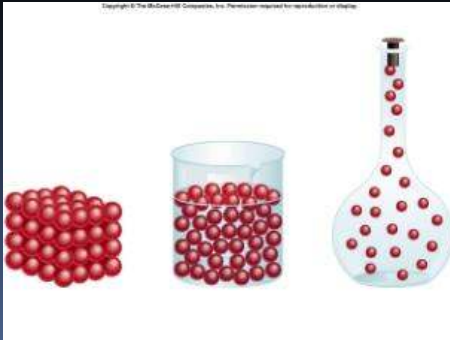
** 150 yıldır sınınanan kuramsal temel**

Maddenin Halleri



<http://www.phitempest.com>

- Isıl **denge** ve **dengeye varış**
- Maddenin **ısı** davranışının incelenmesi –
 - Katı / sıvı / gaz
 - Miknatıslanmış / miknatıslanmamış
 - DNA zincirleri, Proteinler : açık-katlanmış
- **Düzensizlik → düzen : ortaklaşım** bir etki!

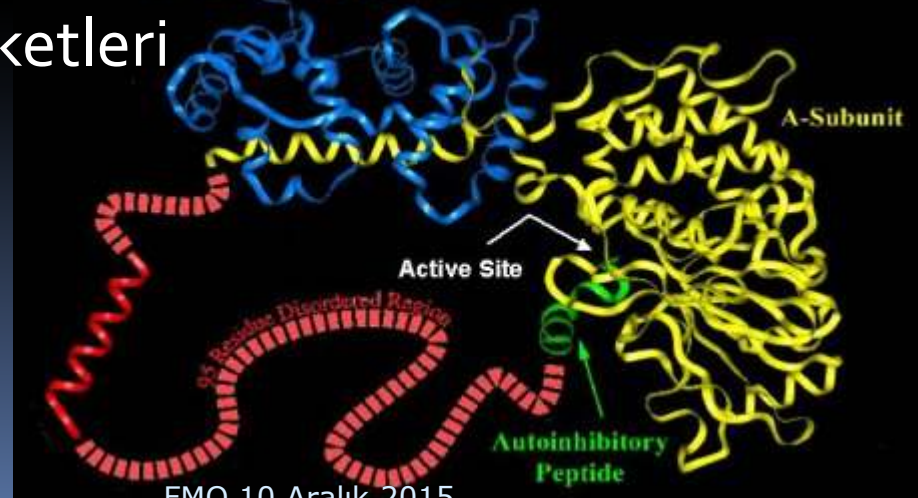
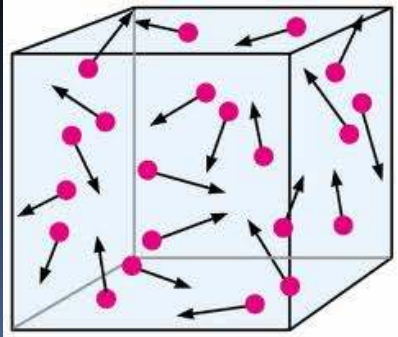


İstatistiksel fizik

milyon \times milyon \times milyon \times milyon (10^{24})

çok sayıda değişkenin birbirleri ile etkileşimleri

- Gaz moleküllerinin hızları ve konumları
- Atomların manyetik momentlerinin yönelimleri
- DNA zincirinin dizilimi, katlanması ve etkileşimleri
- Proteini meydana getiren amino asitlerinin konumları ve hareketleri



Evrim: Rasgelelik ve Karmaşıklık

Doğada

Rasgelelik: Atomik-Moleküler boyutta

Karmaşıklık (organizasyon): Tüm ölçeklerde

Biyosferde: Bellek (DNA) ve yeniden üretim

Rasgelelik: RNAi, Gen regülasyonu, mutasyonlar
kopyalanma hataları, transpozonlar..

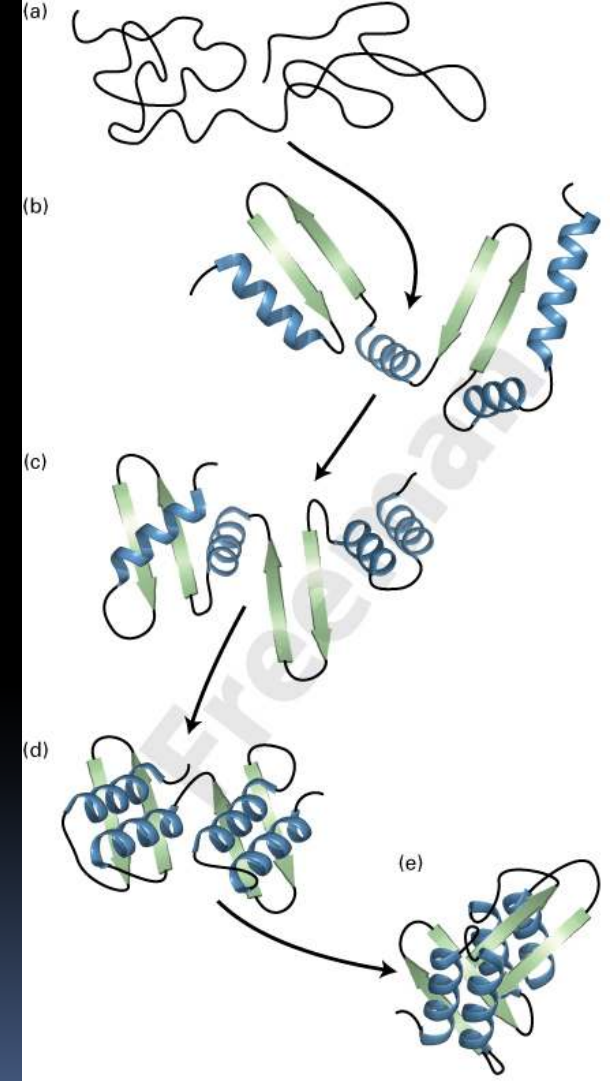
Nötr mütasyonlar ve evrimleşebilirlik:

Model sistemler ve «yapay seçim», Ciliberti et al. *PLoS*,
PNAS, 2007; Danacı, Anıl, AE, *PRE*, 2014; Danacı, AE, arxiv, 2015.

İstatistiksel fizik:

olanaklı yapıların/
dinamiklerin/
yolakların/
süreçlerin...
OLASILIK DAĞILIMLARI

Evrim: genetik/fenotipik
olasılık
dağılımlarının
değişime uğraması !!



websitedesign.in

Entropik (bilgisel) karmaşıklık: enformasyon içeriği?

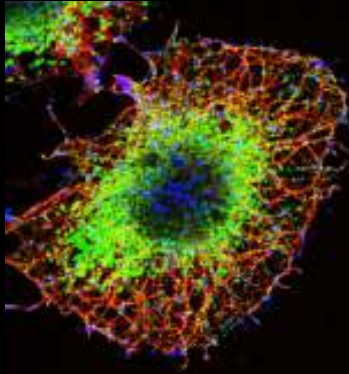
$$S = - \sum_{\mu} P(\mu) \ln P(\mu) ; \quad P(\mu) \text{ durumların olasılıkları}$$

Kapalı bir sistemde **denge** durumunda maksimum entropi: tüm durumların eşit olasılığa sahip olmaları

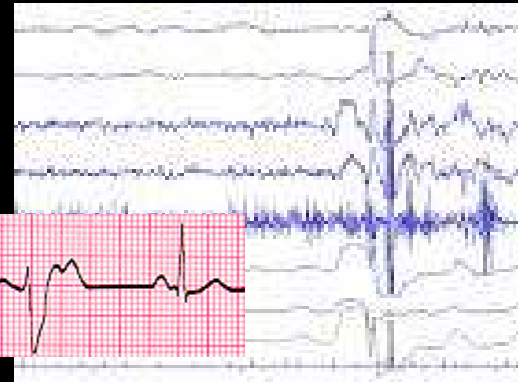
her μ için $P(\mu) = 1 / M$, $M =$ durum sayısı

$$S_{\text{mak}} = \ln M$$

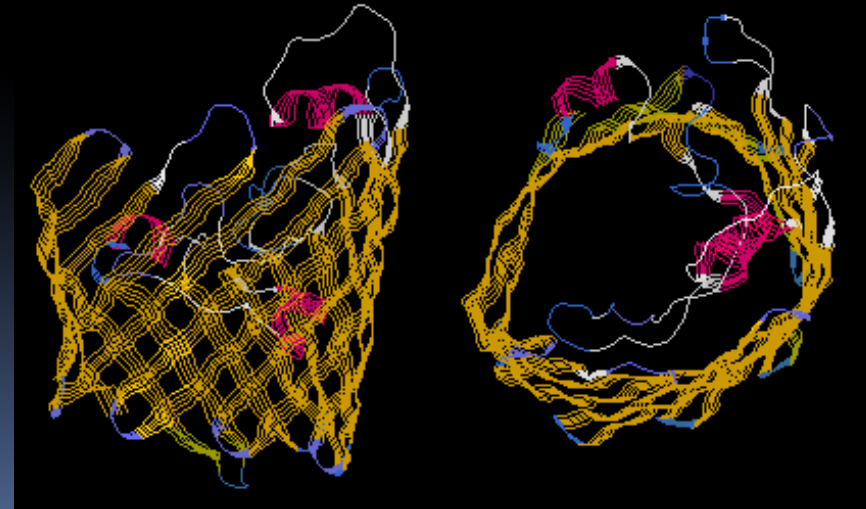
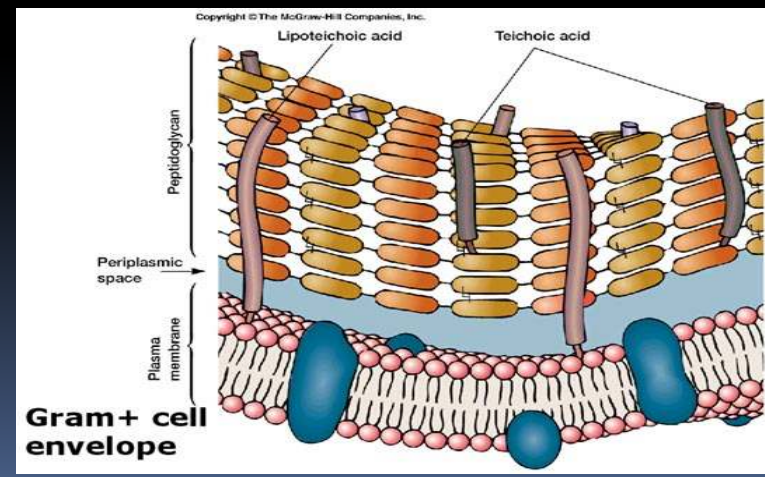
**Biosfer: Açık ve dengeden uzak bir sistem; Karmaşıklık yüksek;
Entropy maks değil? (doğal ölçü?)**



Karmaşıklık



Uzay ve zamanda farklı ölçeklerde farklı örüntülerin ortaya çıkması:
dengeden uzak zorlanan sistemler





<https://www.cg.tuwien.ac.at/research/vis/dynsys/nifs/nlinifs.html>

Zorlanan Yitimli Sistemler
(Dissipative dynamical
systems) → Karmaşıklık

«Kaos»



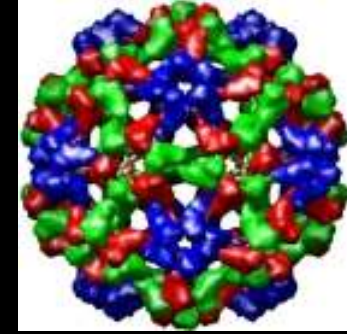
https://en.wikipedia.org/wiki/Wave_cloud



https://s3.amazonaws.com/rapgenius/filepicker/%2FoawYK4PDQnqYmVwHVYTe_sand_dunes.jpg

FMO 10 Aralık 2015

karmaşıklığın ortaya çıkması için seçim baskısı
gerekmebiliyor: **uyumsuz olmayan yapılar**
ve değişiklikler



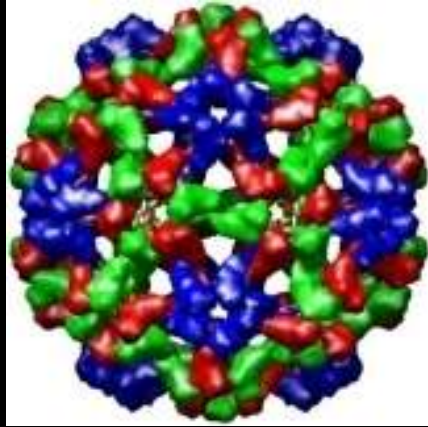
virus kapsidi

kimyasal bağların kurduğu 3-boyutlu yapı

<http://www.cgl.ucsf.edu/Research/virus/capsids/viruses.html>

- Karmaşıklığın fiziksel-kimyasal-matematiksel-bilişimsel temelleri var
- **Yaşam**, canlı olmayan evrende var olan «kendiliğinden» (fiziksel, kimyasal, bilişimsel), «**uyumsuz olmayan**» karmaşıklığın **üzerine inşa olunuyor** (R. Dawkins, *Kör Saatçi*, S.J. Gould, *Yaşamın Tüm Çeşitliliği - İlerleme Mitozu*)
- **seçilim baskısı** → **uyum** (adaptasyon)

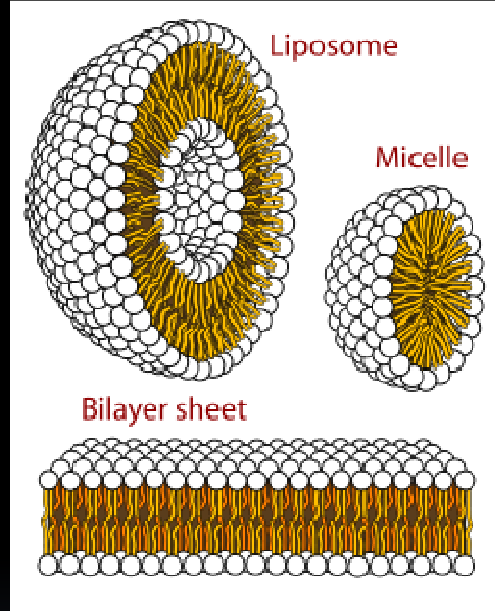
Kimyasal ve fiziksel yapıtaşları evrime uğramadan karmaşık yapılara yol açabilir



viral kapsül

3-d structure dictated by chemical bond angles

<http://www.cgl.ucsf.edu/Research/virus/capsids/vir>



Hidrojen bağları, DNA spirali

academic.brooklyn.cuny.edu/biology

Algoritmik karmaşıklık

temel işlem sayısı

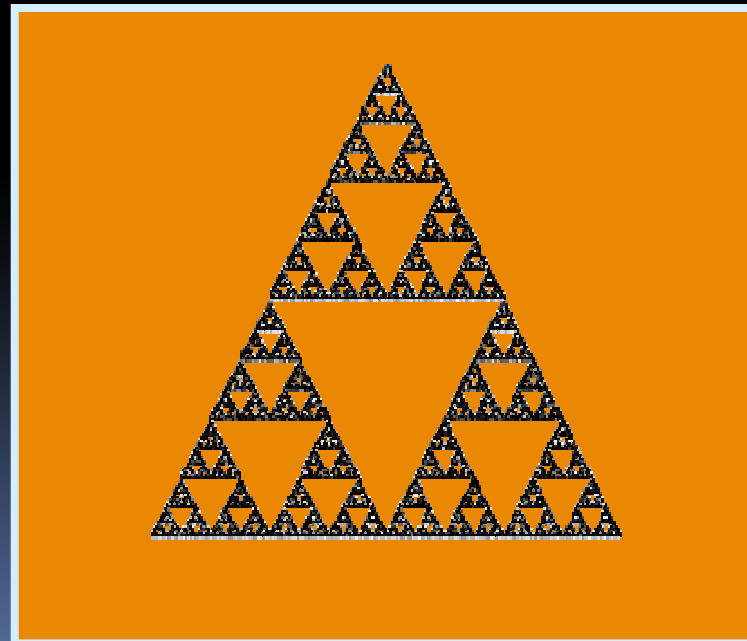
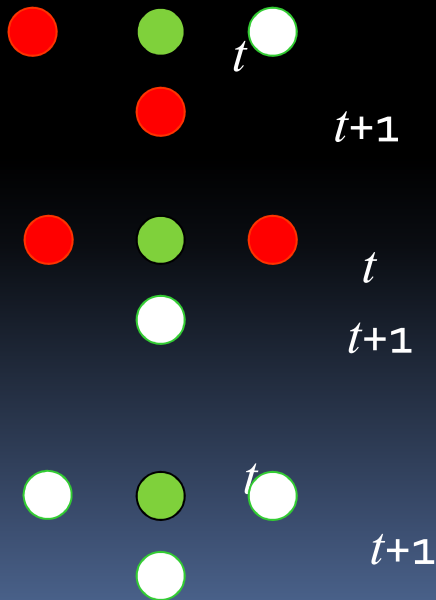


Hüresel otomatlar (Wolfram)

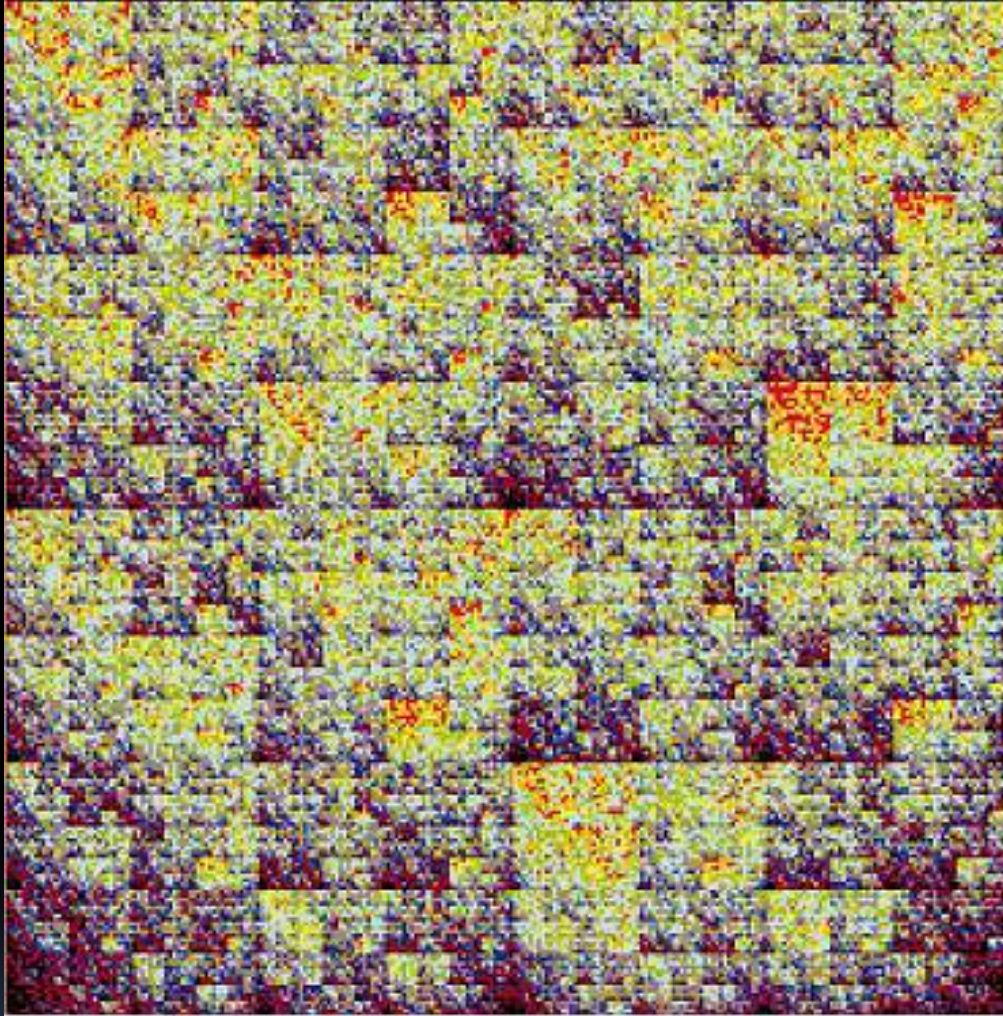
Tekrarlanan süreçler → uzay-zamansal karmaşıklık

$$s_M = \text{mod}_2(s_L + s_R)$$

$$t \propto L$$



Fraktal
Sierpinsky



B. subtilis

Koyu renkler daha sık gözlenen
Dizileri işsaret ediyorlar

B. subtilis genomunun

“portresi”

Bai-lin Hao, H.C.Lee,
Shu-yuZhang,
Chaos, fractals and solitons,
2000

Direkt matrix çarpımı ile
Dizilerin üretimi

DNA : enformasyon içeriği
maksimuma yakın bir dizi!
(Arpağ, AE, *J. Biosci.*, 2014)

Yaşam: kendiliğinden ortaya çıkan ve kendini yeniden üreten karmaşıklık!

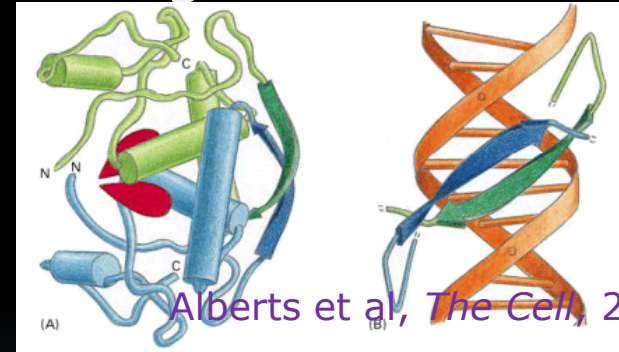
Eigen: kendi kendini katalize eden döngüler
RNA ve onların üretimine katalizörlük
eden proteinlerin birlikte seçilimi

M. Eigen, *Steps towards Life, a Perspective on Evolution*
(Oxford University Press, Oxford, 1992);

E. Tüzel, A. Erzan, «A Thermodynamic Model for Prebiotic
Protein Function», *Arı*, **54**, 19 (2004)

Proteinler aracılığı ile gen regülasyonu

- Onbinlerce **protein**, çok uzun **DNA dizisi**
→ belli alt dizilere bağlanma olasılığı

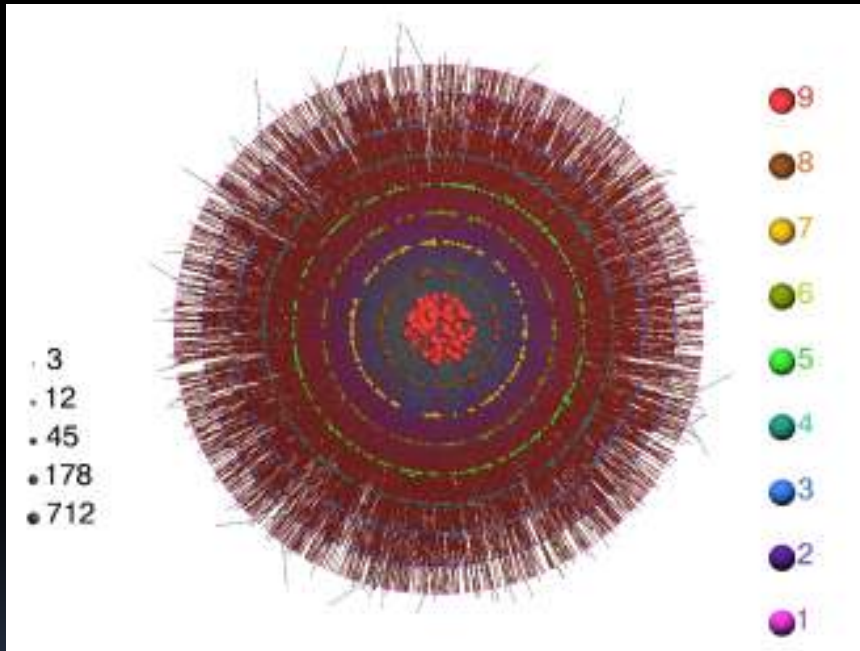


- Dolaylı etkileşim
→ **gene düzenlenmesi ağı**
- **Bağlanma dizileri** VE **proteinler** kopyalanıyor, mütasyona uğruyor, farklılaşıyor → ağ yapısı evrimleşiyor!

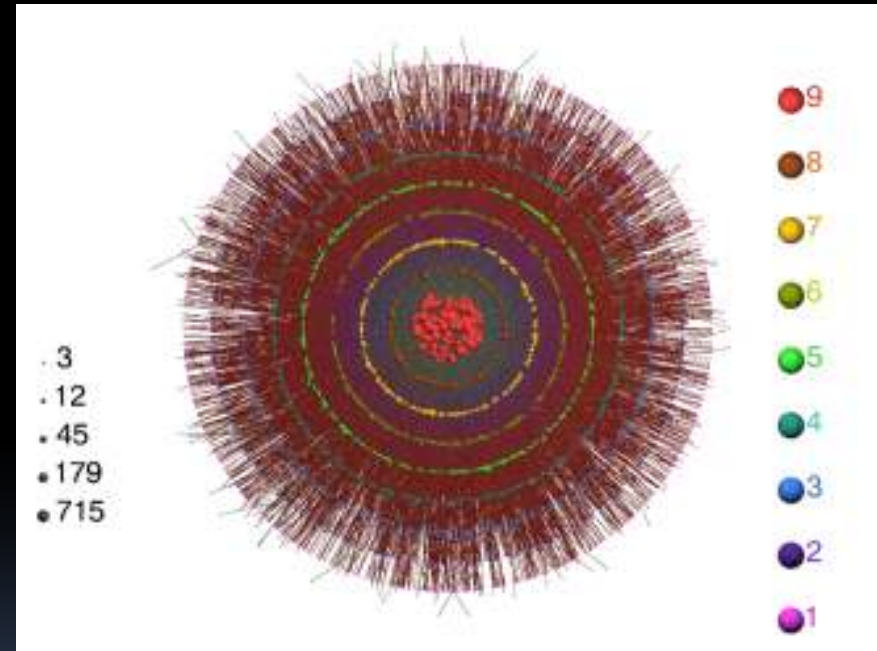
Bira mayasının GD şebekesi

Balcan et al, *PLoS ONE*, 2007; Malkoç, AE, *JTB*, 2009

maya



model



RNA tutulması (interference)

The RNAi revolution

Carl D. Novina and Phillip A. Sharp

news and views feature

NATURE | VOL 430 | 8 JULY 2004 | www.nature.com/nature

NATURE | VOL 431 | 16 SEPTEMBER 2004 | www.nature.com/nature

Fire, Mello Nobel 2006 (tıp ve fizyoloji)

DNA → mRNA → protein

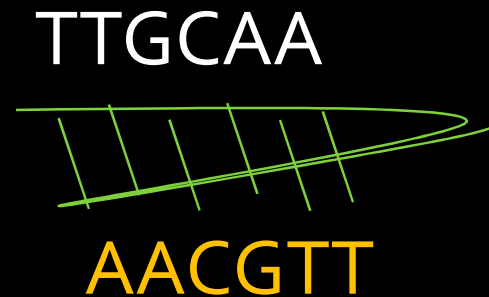
C—G A—T

«Watson-Crick eşlenmesi»

mRNA ile «kırpık» miRNA'nın rasgele eşlenmesi
mRNA'nın, siRNA/ miRNA tarafından proteine
tercümesinin engelliyor!

İnsan genomunun %45'i viral DNA, transpozonlar vs!

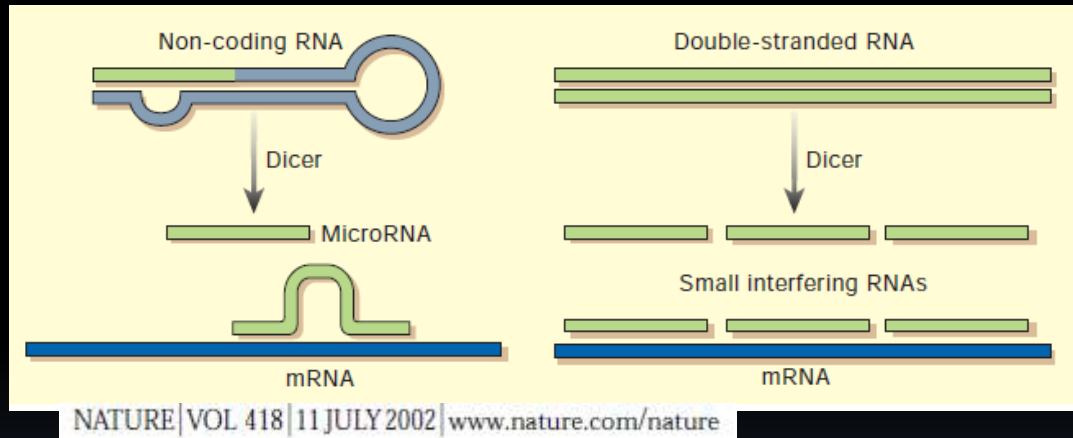
- “protein kodlamayan” genlerden üretilen mRNA dizileri “palindromik”



- → dsRNA
- Enzimler → miRNA
- Başka genlerin ürettikleri mRNA'ları “tutma”
RNA tutulması → gen susturulması

RNA tutulması

- dsRNA (virial) enzimlerle 22 bp'lik dizilere kırpıyorlar → "kırpıklar" : siRNA
- miRNA da hücrenin kendi yaptığı dsRNA'dan kırpılıyor!



- Farklı genleri tutan ortak miRNAlar
«RNA interference ağları» (Arpağ, AE, *J.Biosci.* 2014)

Mutasyon ve çeşitlenmenin termodinamiği

Genomun (belleğin) doğru kopyalanma bedeli $<$

$k_B T \times$ [kopyalanacak kodun enformasyon içeriği – eklenen zincirin örnek zincirle ortak enformasyonu] \sim hata payı

Doğru kopyalama = «Uyumluluk» (fitness)
bu iki bedelin arasında bir optimizasyon problemi!

Arpağ, *AE J. Biosci.* 2014

Özet

- Karmaşıklığın ortaya çıkışı için birden çok yol var
- Evrim kendiliğinden karmaşık yapılardan, doğrudan yararlanıyor
- Nötr mütasyonlar → evrimleşebilmenin evrimleşmesi
- Karmaşıklığın «fiyatı»