

000000 000000

000000 000000

000(000, dynamics) 0000 00 00000 00000 00 00000 00 0000 00 00000 000000 0 00000 0000
00000 00000. 00000 0000 0000 00000 0000000 00000 00000000 0000000. 0000 0000 00000000 0 00000
0000 0000 000000 0000000 00, 00000 0(logistic map), 0000000 00(Mandelbrot set)000 00 0000
0000 0000000 0 0 0000 0000 00000 0000000 00. 00 000000 000000 00 00 0000 0000, 0 00000 000000
00 000000 0000 0000 0000000 00.



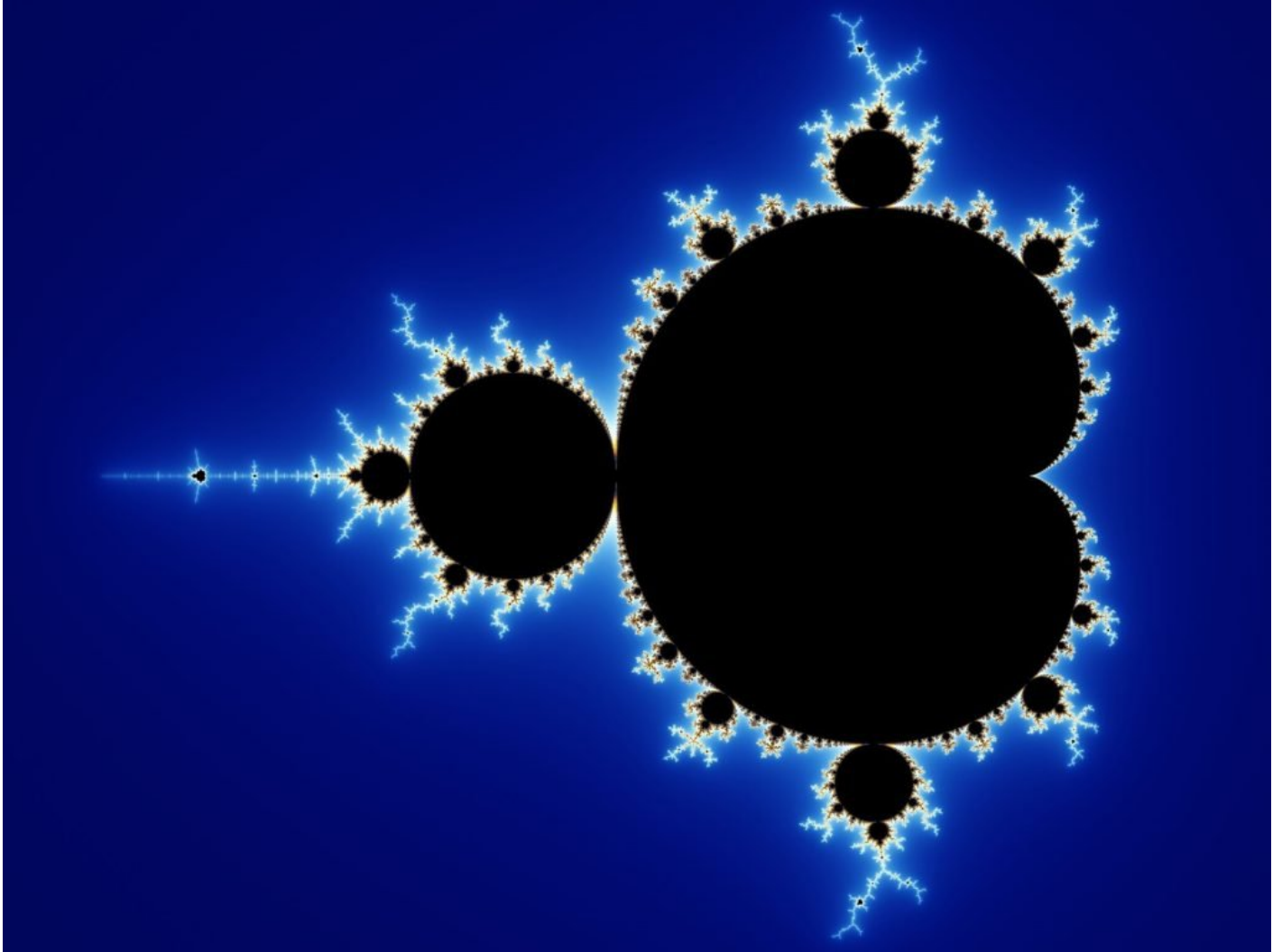
00: 0000 0000

Horizon - 0000 00

Horizon

<http://horizon.tapzin.com>

00: 0000 0

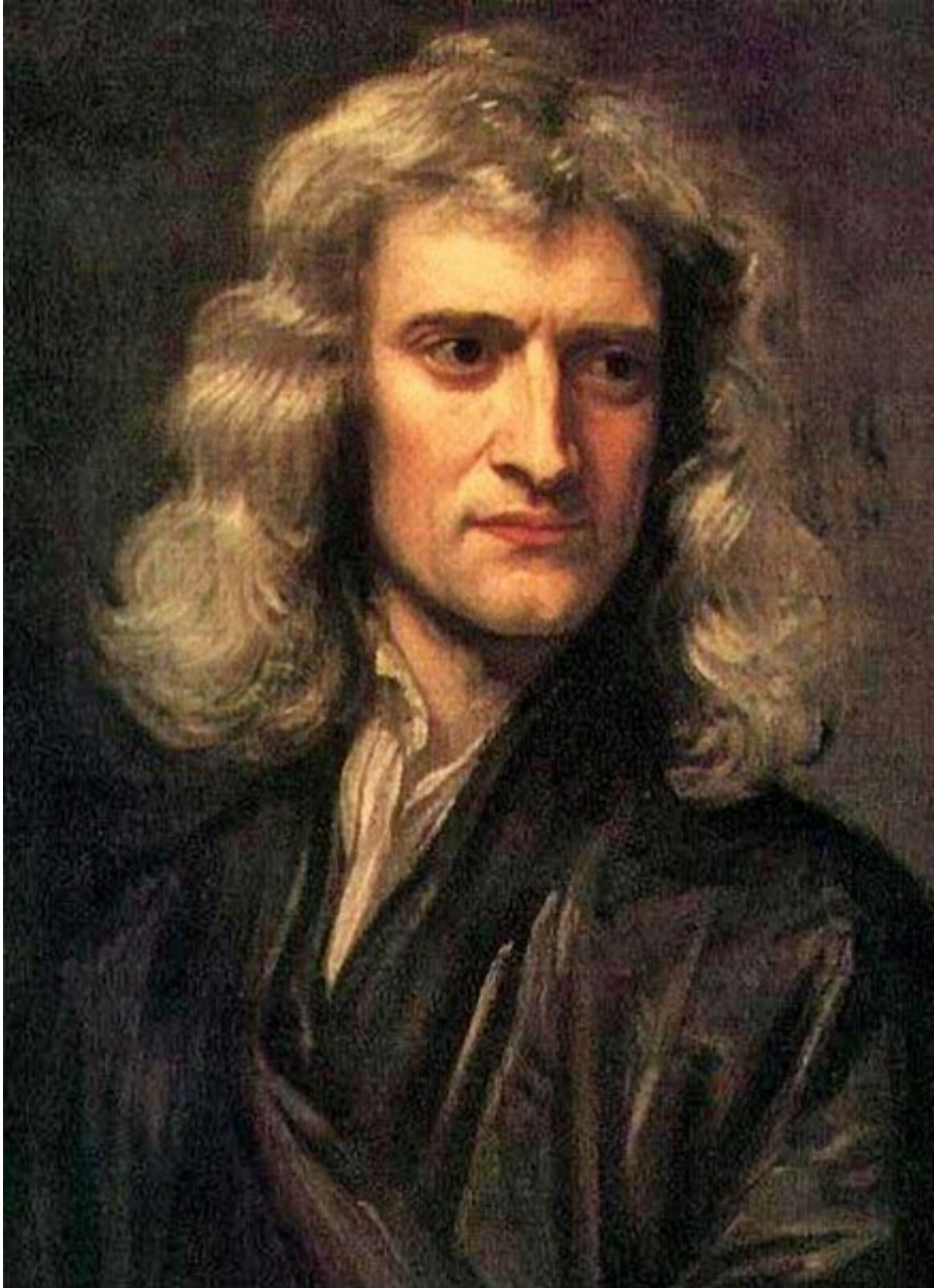


繁體:繁體中文 中文

繁體中文 繁體中文 繁體中文 繁體中文 繁體中文 繁體中文, 繁體中文 繁體中文 繁體中文. 繁體中文 繁體中文 繁體中文, 繁體中文, 繁體中文 繁體中文 繁體中文 繁體中文. 繁體中文 繁體中文 繁體中文 繁體中文 繁體中文 繁體中文 繁體中文 繁體中文 繁體中文 繁體中文. 繁體中文 繁體中文 繁體中文 繁體中文 繁體中文 繁體中文. 繁體中文 2014 繁體中文 繁體中文 繁體中文 繁體中文 繁體中文 繁體中文 2 繁體中文 繁體中文. 繁體中文 繁體中文 繁體中文 繁體中文 繁體中文 繁體中文 繁體中文, 繁體中文 繁體中文 繁體中文 繁體中文 繁體中文 繁體中文 繁體中文 繁體中文. 繁體中文 繁體中文 繁體中文 繁體中文 繁體中文 繁體中文 繁體中文 繁體中文 繁體中文 繁體中文.

繁體中文 繁體中文 繁體中文 繁體中文 繁體中文 繁體中文? 繁體中文 繁體中文 繁體中文 繁體中文 繁體中文 繁體中文.

000 00(1643-1727)



000 00

000 000 00000 0000 000 00000 0 0 00. 00 000 0000 00000000 00000 000, 000 00000 00
00 000 00000. 00 00 00 00000 000 000 00 00 00 00000.

0000 0000 0000 0000 00 0000 00 '0000 0000!' 0000 0000 00000.0000 000000 0 0 00 00000000 0000
00000000. 0000 00000000 0 0 00 00 0000 0000000 000000 0000 0 00 00 00 0000.

00 0000 (1854-1912)



00 0000

00 00 200 0 0000 00 000000 000000 00000. 000000 000000 0 0000 00, 0000 0000 00000000 00. 00
0000 0000 0000 000000 000000 0000 0000 000000 00000. 00 0000 000000 00000000 0000 00 00 0000 00000
0000, 0000000 00000000 0 0 00000, 0000 00 0000 0000000 00000 0000 0000000 00. 0000 00 00000 0000000.

000000 "0000 0000 0000 00 0000 0000 0000000, 0000 00 00 0000 00 0000 0000 00000."00 00 00000, 00

科学 科学 科学 科学 科学 科学 科学 科学 科学 科学.

科学 科学 科学 (1884-1944)



科学 科学 科学 科学 科学 科学 科学 科学 科学 科学. 科学 科学 1科学 科学 科学 1942科学 科学 科学 科学 科学(Birkhoff ergodic theorem) 科学 科学 科学. 科学 科学 科学 科学 科学 科学 科学, 科学 科学 科学 科学 科学 科学. 科学 科学 科学 科学 科学 科学.

科学 科学 科学 (1903-1987)



000000 0000 000000, 000 000000 000 0000 0 0000000 000 000 000, 000 000 000000 000000
00 0000. 00000000 KAM 00(000000-000000-00 00)0000 00000 00000000, 0 000 000 00000 000000 00
00000 000000 000. KAM 000 000 00000 00000 00 00000 0 000 00000 00 00000000 000 000.

0000 000 (1979-)



0000: 2014 00 00000000 0000 0000 0000 0000

2014 00 00000000 0000 0000 0000 0000 00 00

00 0000 00000000 0000 000000 0000 2014 0000 000000 0000 0 0 00. 00 2011 0000 000000 00 0000 00 00 000000, 0 0000 000000 00 000000.

000000 0

000000 00 0 00 000000 0000 0 00. 0 0000 0000 00(Julia set) 000000 00(Mandelbrot set) 000000. 000000 0000 0000 $z_{n+1} = z_n^2 + c$ 000000 0000 00000000. 0000 c 0000 0000 0000, 0000 0000 z_0 000000 0 0000 0000 0000 0000. 0000 000000 c 00 00 0000 000000 0000 0000 0000 0000 000000.

物理: 物理 物理

物理 物理, 物理 物理 物理 物理 物理 物理 物理 物理 物理 物理. $z_0=0$ 物理 物理 物理 物理 物理 物理 物理 物理 物理 物理. 物理 物理 物理 物理 物理. 物理 物理 物理 物理 物理 (parameter set), 物理 物理 物理 物理 物理 (Moduli space) 物理 物理. 物理 物理 物理 物理 物理 物理 物理.

物理 物理

物理 物理 α 物理 物理 物理 1 物理 物理 物理 物理 物理 α 物理 物理 物理 物理. 物理 物理 物理 物理 物理 物理. (物理 KAM 物理 物理 物理 物理 物理 物理 物理 物理 物理 物理 物理! 物理 物理 物理 物理 物理 物理 物理 物理 物理 物理 物理.)

00: 00 00

00 0000, 000 000 00 000 000 000 0 00.

00: [0,1)000 000 000 000 0000 00 0000 00 000 000.

00 0000 0 00 000 000 10 000 000 0 00 0000 00 0, 0 000 00 0000 000.

\mathbb{R}^n : \mathbb{R}^n \mathbb{R}^n \mathbb{R}^n \mathbb{R}^n \mathbb{R}^n \mathbb{R}^n \mathbb{R}^n \mathbb{R}^n \mathbb{R}^n \mathbb{R}^n \mathbb{R}^n .

\mathbb{R}^n \mathbb{R}^n (interval exchange map)

\mathbb{R}^n \mathbb{R}^n \mathbb{R}^n \mathbb{R}^n \mathbb{R}^n \mathbb{R}^n \mathbb{R}^n \mathbb{R}^n , \mathbb{R}^n 1 \mathbb{R}^n \mathbb{R}^n \mathbb{R}^n \mathbb{R}^n \mathbb{R}^n \mathbb{R}^n , \mathbb{R}^n \mathbb{R}^n \mathbb{R}^n \mathbb{R}^n \mathbb{R}^n \mathbb{R}^n . \mathbb{R}^n \mathbb{R}^n 'interval map' \mathbb{R}^n \mathbb{R}^n .

00: 40 0000 0000 0

00

00 0000 0000 0000 0000 0000 0000 00 000000 000000 000000 0000. 000000 000000 0000 00 000000 000000 00
0000 00 0 0000, 0000 00 0000 00 0000 00 000000 0000 0000 00 0000 0000. 00 000000 00 00 00000000 00.

00000 0 (**logistic map**)

00000 00 00 000000 c0 0000

$$f_c x = c x (1 - x) \text{\texttt{\style{font-family:'Times New Roman'}}{f_c \left(x\right) = c x (1 - x)}}$$

0 00 000000 000000. 0 0000 00000000 000000 00 00 000000 0000 000 00 0000 0 000. 00 00 00 0000 0000 00
00 000000 00 00 0000 0000 000000.

00 $x_n = f_c(x_{n-1})$ \texttt{\style{font-family:'Times New

Roman'}}{x_n = f_{\left(x\right)}_c(x_{n-1})} 0 000000 c0 0000 x_0 {x}_{0} 00 00

x_n {x}_{n} 0 0000 000000? 0 0000 00000000 000000 000000 c00 00 00000000 0000 000000 00. 00 00 c =

400 000 $x_0\{x\}_{0}$ 0 00 0000 00. 000 $c = 2$ 000 00 0 00 $x_0\{x\}_{0}$ 0 000
 $x_n\{x\}_{n}$ 0 $12\frac{1}{2}$ 0 0000 00 00 00 0 00.

000 000 00

00 00000 00 0 00 00 00 00 0000 00 0000.

00 (recurrent)

0000 00 0000 00 00 0 0000. 0000 00000 $(X, \mathcal{H}, \mathcal{U}, T)$ $(\mathcal{X}, \mathcal{H}, \mathcal{U}, T)$ 0 00000. 000
 $(X, \mathcal{H}, \mathcal{U})$ $(\mathcal{X}, \mathcal{H}, \mathcal{U})$ 0 $X \setminus \mathcal{X}$ 00 σ -algebra 00, $\mathcal{H} / \mathcal{H}$ 0 00 00
 00 (measure preserving map), 0 00 $A \in \mathcal{A} \quad \forall \epsilon \quad \exists \delta \quad \mu(A) > \delta \Rightarrow \mu(T^{-1}(A)) > \mu(A) - \epsilon$

$$\mu(T^{-1}(A)) = \mu(A) \quad \mu(\mathcal{T}^{-1}(\mathcal{A})) = \mu(\mathcal{A})$$

0 0000 0000.

00 0000 0000 00000 00, 00000 000 00 000 00.

00 $A \in \mathcal{A} \quad \forall \epsilon \quad \exists \delta \quad \mu(A) > \delta \Rightarrow \mu(A) > \mu(T^{-1}(A)) > \mu(A) - \epsilon$ 0 000
 0

$$\mu(T^{-1}(A)) = \mu(A) \quad \mu(\mathcal{T}^{-1}(A)) = \mu(A)$$

0 000 00 00 00 00 n 00 0000?

00 000 '000' 0 000, 0 000 00000 000. 000 00 000 000 000 00000 000000 00. (000
 $\mu(X) = 1 \quad \mu(\mathcal{X}) = 1$ 000 000 000, 00 00 00000 $x \quad x+1$ 000 000 00000 0000 000 0000
 00 0 0 00.)

0000 (ergodic)

00 $T^{-1}(A) = A \quad \mathcal{T}^{-1}(A) = A$ 0 0000 00 $A \in \mathcal{A} \quad \forall \epsilon \quad \exists \delta \quad \mu(A) > \delta \Rightarrow \mu(A) > \mu(T^{-1}(A)) > \mu(A) - \epsilon$
 0 00 000 $\mu(A) = 0 \quad \mu(A) = 0$ 000 $\mu(A) = 1 \quad \mu(A) = 1$ 00, 0
 $\mathcal{T} \setminus \mathcal{T}$ 0 0000000 00.

00000 0000000 000 00 00000 000. 00 00 $A \in \mathcal{A}$ 0 00 000 000 000 $A \in \mathcal{A}$ 0000 00000,
 0000 $X \setminus \mathcal{X}$ 0 00 00 $A \in \mathcal{A}$ 0 0000 000000 0000 0000. 000 00 0000 000 00 00000 00 000
 00 000 000 0000. 00 00 0000 0000 0000 0000. 00 000 $T^i(x) \quad \mathcal{T}^i(x)$
 $T(T(T(\dots T(x) \dots))) \setminus \mathcal{T}(\mathcal{T}(\mathcal{T}(\dots \mathcal{T}(x) \dots)))$ 00 $x \in \mathcal{T} \setminus \mathcal{T}$ 0 i 000 000 00000
 0000 00 00 0000.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} f(T^i(x)) = \int f d\mu$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} f(\tau^i(x)) \right\} = \int_{\mathcal{X}} f d\mu$$

00 0000 000 0000 0000 00 00, 0000 0000 00 0000 0000 0 00. 000000 00 00 0000 0 00 00000, 00 00 00 0000(regularity)0 0000 0000.

001

00 0000 0000 0000 00000000. 0, 0000 0000 $\alpha \in [0, 1]$ 0 00 $\tau: [0, 1] \rightarrow [0, 1]$ 0
 $Tx = x + \alpha \pmod{1}$ 0 000000 000000
 $([0, 1], B, T, \lambda)$ 0 00 0000 000000 0000 0000 0 00. 00 00 00 00 $f \in C([0, 1])$
 1000 0000 00 n 000 00 00 000000 000000 00 0 00.

$$\int_0^1 f(x) dx \approx \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} f(x + i\alpha \pmod{1}) \approx \int_{\mathcal{X}} f d\mu$$

00 0000 00 00000000 000000 000000 000000 000000 000000 00. 0000 00 000000 0000 0000 0 00 0 00 0000.

002

00 00 $A \subset \mathcal{X}$ 0000 χ_A 000000 00 1000 0000 00 00 00 $x \in A$ 0 000000. 0000 000000
 0000 0000 00 00 $x \in A$ 0000

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} \chi_A(\tau^i(x)) = \int_{\mathcal{X}} \chi_A d\mu = \mu(A) \lim_{n \rightarrow \infty} \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} \chi_A(\tau^i(x)) \right\} = \mu(A)$$

0 00000. 0000 0000 0 0000 000000 0000 00 A 000000 00 0000 00000000 A 0000 00000000 00 0 00 00.

003

000000 00000000 0000 $A, B \subset \mathcal{X}$ 0000 χ_A, χ_B 0000 0000 0000 0 00.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} \chi_{A \cap B}(\tau^i(x)) = \mu(A \cap B) \lim_{n \rightarrow \infty} \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} \chi_{A \cap B}(\tau^i(x)) \right\} = \mu(A \cap B)$$

00 00 00 $A \cap B$ 00 0000 0 0 0000 000000 0000 0000 0000 00 0 0000, 000000 $\chi_{A \cap B}(\tau^i(x))$ 0
 $\mu(A \cap B)$ 000000, 00 T 0000 000000 0000.

00 00 (weak mixing)

0 00 30 0000 00 000000 00 00000000 0 00 00 0000 0000 0 00. 0000 $A, B \subset \mathcal{X}$ 0000 χ_A, χ_B
 0 0000

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} \mu(T^i(A) \cap B) - \mu(A)\mu(B) = 0 \iff \lim_{n \rightarrow \infty} \left| \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} \mu(T^i(A) \cap B) - \mu(A)\mu(B) \right| = 0$$

0 0000 00 T0 0000 0000. 0000 000 000 000, A0 T0 00 000 0 B0 0000 000 00 000
 $\mu(A)\mu(B)$ 0 0000 000 00 0 0 00. (000000 00000 0000 00 00
 $\mu(A)\mu(B)$ 0 0000 00 00000.)

00 (mixing)

0000 $A, B \subset X$ $\text{Alpha}, \text{Beta} \subset \text{Chi}$ 0 0000

$$\lim_{i \rightarrow \infty} \mu(T^i(A) \cap B) = \mu(A)\mu(B) \iff \lim_{i \rightarrow \infty} \left| \mu(T^i(A) \cap B) - \mu(A)\mu(B) \right| = 0$$

0 0000 00 T0 00000 00000.

00

0 0000 K-00(K-mixing) 00 0000(Bernoulli) 00 00 0000 00 0000 000000 0000 0000 00. 0
 00000 00 0000 000000 00000 0 00 0000 0 00.
 00 00 00000 00000 00 000000 000 00000000.

0000 00

00 0000 0000 0000 0000000, 0 00 00 $\{x, T(x), T^2(x), \dots\}$ $\{x, T(x), T^2(x), \dots\}$
 0 00(dense)0000 00 000000. 0000 0000 0000 0000 00000 0000 00 0000 00.

00 00

00 00000 0000 0000000 000000. 0000 0000 200 0000 0000 0000 000000, 0 00 000000 000000000 0000
 00000 00000 00 00 0000 000000. 000000 0000 0000 3 00 00 0000? 0000 000000 0000 0000 300 0000 200
 0000 000000(renormalize)0000 0000 00 30 00 0000 00 0000000 00 196700 00000. 0000 00000 0 00
 0000 00 000000 0000 0000 0000000. 00 20070 000000 000000 00 0000 00000, 00000 0 00000 20110
 00 00 000000 20140 000000 00 00.

00[0000, 0000, 20070] 00 $n > 2n > 2$ 0 00

0000(typical) n 00 0000 00 00 0000 00000. (0000 00(mixing) 0000.)

数学 数学 数学 数学 数学 数学 数学 数学 数学 数学. 数学 数学 数学 数学 数学 '数学 数学' 数学 数学 数学 数学 数学 数学.

数学 数学 数学 数学 数学 数学 数学 数学 数学, 数学 数学 数学 数学 数学 数学? 数学 数学 数学 数学 数学 数学 数学 数学. 数学 数学 数学 数学 数学 数学 数学 数学, 数学 数学 数学 数学 数学 数学 数学 数学. 数学 数学 数学 数学 数学 数学 (Teichmüller space) 数学 数学 (translation flow) 数学 数学 数学 数学 数学.

数学 数学, 数学 数学 数学 数学 数学 数学 数学 数学 数学 数学.

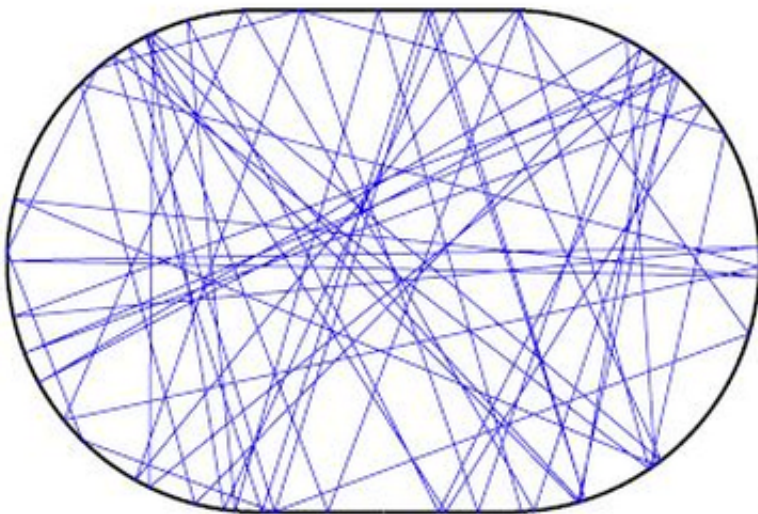
数学

数学 数学 数学 数学 数学 数学 数学 数学 数学 数学. 数学 数学 数学 数学 数学 数学 数学.

数学: 数学 数学 数学 数学

数学 数学 数学 数学 数学 45° 数学 数学 数学 数学 数学 数学 数学 数学, 数学 数学 数学 数学 数学 数学 数学.

数学, 数学 数学 数学 数学 数学 数学 (stadium) 数学 数学 数学 数学 数学.



00: 000 000 000000 00

000 00000 0000 000 000000, 000 00 00 00 000000 0000 000 00000 000 00 00. 00, 000 000
0000 000 000(deterministic, 0000=0)00.

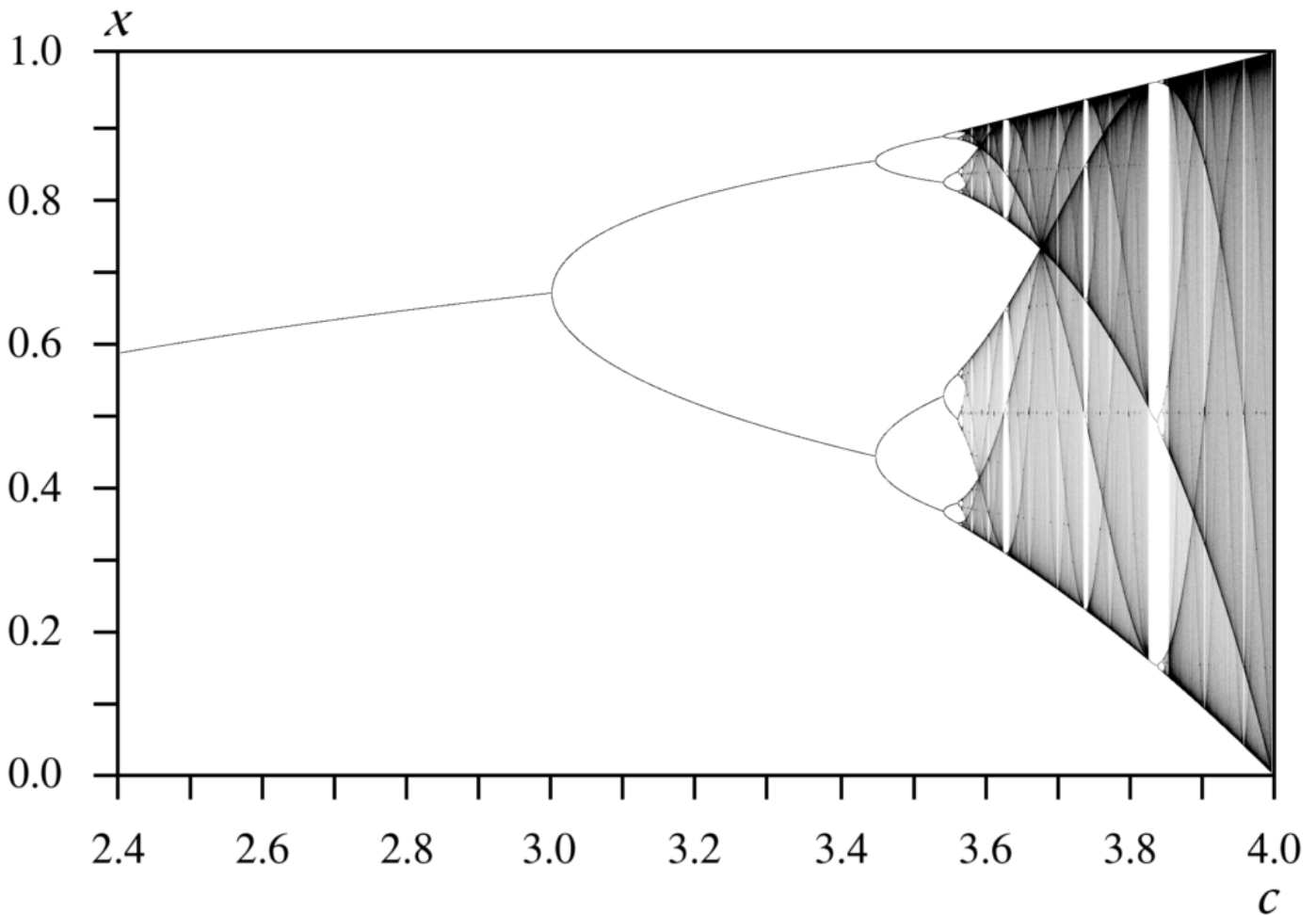
0000 0

$c=4$ 00 0000 0 $f(x)=4x(1-x)$ $f\left(x\right)=4x(1-x)$ 0 $x=\frac{1}{2}$ 00 000 10
000. 0 0000 00 00 0000 000000 0000 000000 000 000. 00 00 0000 $x_0=0.4$ $\{x\}_0=0.4$ 0
000 $x_0=0.41$ $\{x\}_0=0.41$ 0 00 000 00 000 00000 00000.

0: 0000 00 0000 0 0000 00

0000 00000 00 0000 0000 0 000000 0000 00 0000 000 0 0 00. 0000 0000 0.40 00 000000 0000
 0000 0000000 00000 0000 0.410 00 0000 0000 00 00.

00, $c=2$ 00 0000 0 $f(x)=2x(1-x)$ 0 00 0000 000000 00 000000. 00 0 00
 0000000 00 $f^n(x)$ 0 $\frac{1}{2}$ 0 0000 00000. 0000 00000 00 00 000000
 0000 0000 0000 00(**bifurcation**)00 00. 00 0000 00000 0 $f_c(x)=cx(1-x)$
 0 00 0000000 00000. 0 000000 00 00 0000 00 0 0000 000000 00 0 00 00(0000 0 0000)0 0000 0000. 0
 c 00 40 0000000 00 0000 0000 00 0 000000 00 0 0 00.



00: 00000 00 00 0000000

wqdwqdwzcasdwdwq wd w

wdioh wqdiwwq dopwjqd opqwjfq fknqwfng wfo pwqnfopw nopw dnoqqwdn
qwopdnqwopdn oqwp dnqwopd

資訊網

熵 (entropy) 是描述系統不確定性的度量。對於一個離散型隨機變量 X ，其熵 $H(X)$ 可以表示為 $H(X) = -\sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i$ 。其中 p_i 是 X 取第 i 個值的概率。熵的單位是比特/符號。熵越大，表示系統的不確定性越大。熵與信息的關係是：信息的量等於熵的減少。

$$\begin{aligned}
 h_{\mu}(T, P) &= \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} H\left(\bigvee_{i=0}^{n-1} T^i(P)\right) \\
 &= \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} H\left(\sum_{A \in \bigvee_{i=0}^{n-1} T^{-i}(P)} -\mu A \log \mu A\right) \\
 &= \lim_{n \rightarrow \infty} H\left(P \mid \bigvee_{i=0}^{n-1} T^{-i}(P)\right).
 \end{aligned}$$

熵 $H(x) = -x \log x$ 的性質：熵是廣度量，即對於兩個獨立事件 P, Q ，有 $H(P \wedge Q) = H(P) + H(Q)$ 。熵是廣度量，即對於兩個獨立事件 P, Q ，有 $H(P \wedge Q) = H(P) + H(Q)$ 。熵是廣度量，即對於兩個獨立事件 P, Q ，有 $H(P \wedge Q) = H(P) + H(Q)$ 。

熵的單位是比特/符號。熵越大，表示系統的不確定性越大。熵與信息的關係是：信息的量等於熵的減少。熵的單位是比特/符號。熵越大，表示系統的不確定性越大。熵與信息的關係是：信息的量等於熵的減少。

熵的單位是比特/符號。熵越大，表示系統的不確定性越大。熵與信息的關係是：信息的量等於熵的減少。熵的單位是比特/符號。熵越大，表示系統的不確定性越大。熵與信息的關係是：信息的量等於熵的減少。

熵的單位是比特/符號。熵越大，表示系統的不確定性越大。熵與信息的關係是：信息的量等於熵的減少。