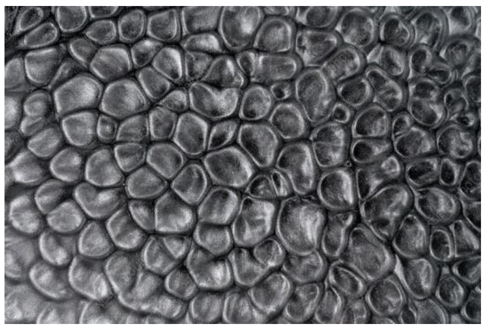
Karmaşık Sistemlerin Stokastik Dinamiği ve *"Ortaya Çıkış"* Olgusu

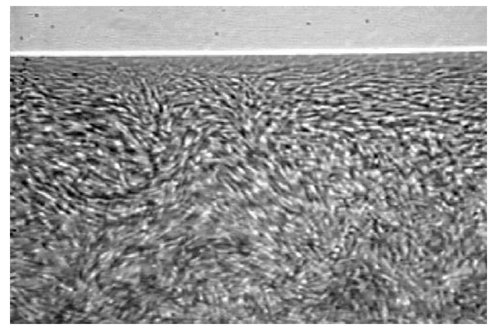
Özgür Gültekin

İçerik

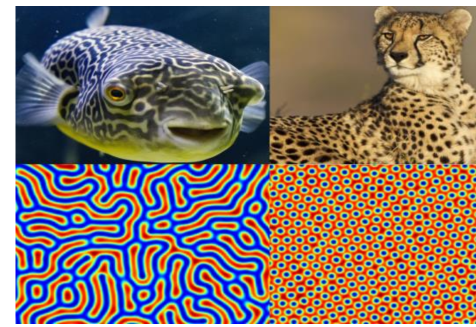
Kolektif Davranış ve ‘*Ortaya Çıkış*’ Olgusu



Rayleigh–Bénard Konveksiyon Hücreleri

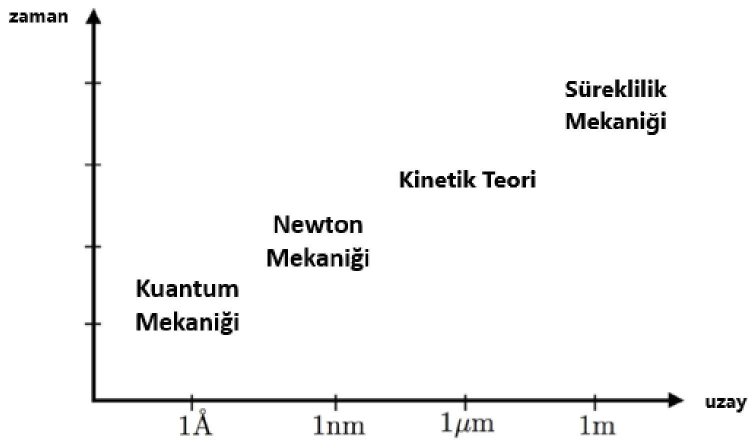


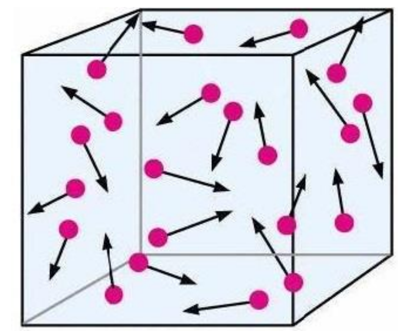
Dombrowski, C. et al. Phys. Rev. Lett. 93, 098103 (2004)



Wassily Kandinsky, Kış Manzarası, 1909.

Farklı Ölçeklerde Modelleme ve Kinetik Kuram





- Olgusal dünyayı hem **uzaysal** hem de **zamansal** olarak farklı ölçeklerde ele almak mümkündür.
- Her bir parçacığın **konum ve momentumunun** evrimini Newton mekaniği ile izlemek yerine, sistemin süreklilik tanımına başvurarak **yoğunluk, sıcaklık ve basınç** gibi özelliklerden söz ediyoruz.
- Kinetik teori, **mikroskobik Newton mekaniği** ile büyük ölçekli **süreklilik mekaniği** arasında bir köprü oluşturur.

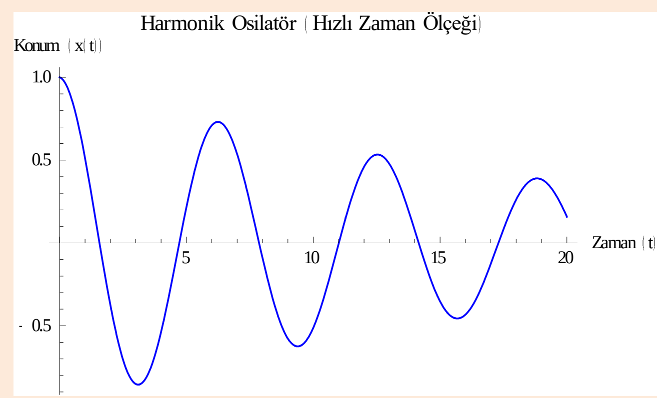
Zaman ayrımının basit bir örneği: $\alpha \ll 1$ olduğunda dinamiklerde iki farklı zaman ölçeği ortaya çıkar!

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \alpha\frac{dx}{dt} + x = 0 \qquad x(t) = Ae^{-\alpha t/2}\cos\left(\sqrt{1-\frac{\alpha^2}{4}}\,t + \Phi\right)$$

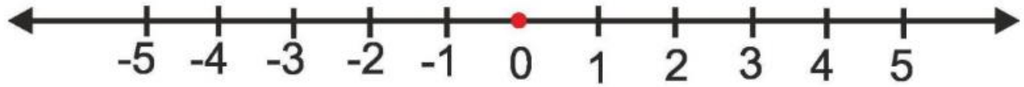
$$\phi(t) \approx \Phi - \alpha^2 t/2$$

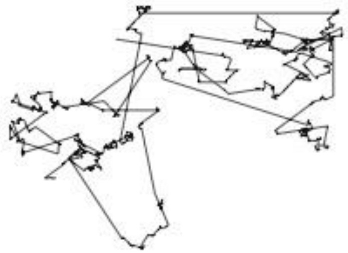
$$x(t) = b(t)\cos\left[t + \phi(t)\right]$$

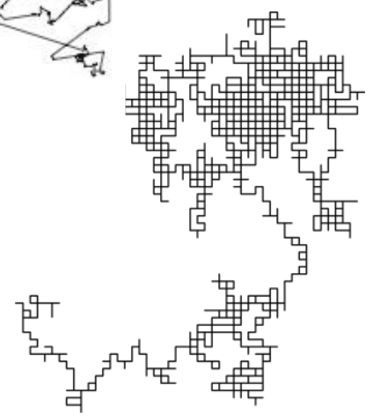
$$b(t) = Ae^{-\alpha t/2}$$

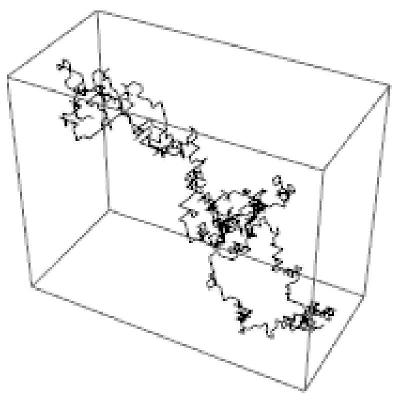


Rastgele Yürüyüşler







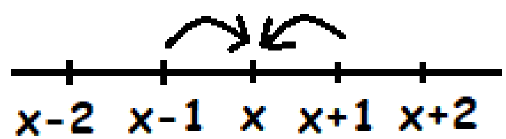


$$\left|\vec{x}_i\right| = a \qquad \left\langle \vec{x}_i \right\rangle = 0 \qquad \left\langle \vec{x}_i \cdot \vec{x}_j \right\rangle = 0$$

$$\left\langle \vec{X}_N \right\rangle = \left\langle \sum_{i=1}^{N} \vec{x}_i \right\rangle = 0$$

$$\left\langle \vec{X}_N^{\,2} \right\rangle = \left\langle \left(\sum_{i=1}^{N} \vec{x}_i \right)^2 \right\rangle = \left\langle \sum_{i=1}^{N} \vec{x}_i^{\,2} + \sum_{i \neq j} \vec{x}_i \cdot \vec{x}_j \right\rangle = \mathrm{N}a^2$$

$$\sqrt{\left\langle \vec{X}_N^{\,2} \right\rangle} = a\sqrt{\mathrm{N}}$$



$$\mathrm{P}(x,t) = \frac{1}{2}\mathrm{P}(x-1,\, t-1) + \frac{1}{2}\mathrm{P}(x+1,\, t-1)$$

$$\mathrm{P}(r,t) = \frac{t!}{r!\,\ell!}\left(\frac{1}{2}\right)^t \qquad \begin{array}{l} r - \ell = x \\ r + \ell = t \end{array} \qquad \mathrm{P}(x,t) = \frac{t!}{\left(\frac{t+x}{2}\right)!\left(\frac{t-x}{2}\right)!}\left(\frac{1}{2}\right)^t$$

$$n! \overset{t\to\infty}{\cong} n^n e^{-n}\sqrt{2\pi n} = \sqrt{2\pi}\, n^{n+\frac{1}{2}} e^{-n} \qquad \mathrm{P}(x,t) = \sqrt{\frac{2}{\pi t}}\, e^{-\frac{x^2}{2t}}$$

‘Ortaya çıkan’ davranışlar mikroskobik ayrıntılardan büyük ölçüde bağımsızdır. Çok sayıda adımdan sonra bir rastgele yürüyüş fraktal veya ölçek değişmezi haline gelir.

Difüzyon Denkleminin Çözümü

$$\frac{\partial P(x,t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left[A(x)P(x,t)\right] + \frac{\partial^2}{\partial x^2}\left[B(x)P(x,t)\right]$$

$$\begin{aligned} A(x) &= 0 \\ B(x) &= D \end{aligned} \qquad \frac{\partial P}{\partial t} = D\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} \qquad P(x,t=0) = \delta(x)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} \frac{\partial P}{\partial t} e^{ikx} dx = \int_{-\infty}^{\infty} D\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} e^{ikx} dx$$

$$\frac{\partial P(k,t)}{\partial t} = D(ik)^2 P(k,t) = -Dk^2 P(k,t)$$

$$\int_0^{\infty} \frac{\partial}{\partial t} P(k,t)e^{-st}dt = -\int_0^{\infty} Dk^2 P(k,t)e^{-st}dt$$

$$sP(k,s) - P(k,t=0) = -Dk^2 P(k,s)$$

$$sP(k,s) + Dk^2 P(k,s) = 1$$

$$P(k,s) = \frac{1}{S + Dk^2}$$

$$P(k,t) = \frac{1}{2\pi i}\int_c \frac{1}{S + Dk^2} e^{st} ds = e^{-Dk^2 t}$$

$$P(x,t) = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} e^{-Dk^2 t} e^{-ikx} dk$$

$$P(x,t) = \frac{1}{\sqrt{4\pi Dt}} e^{-\frac{x^2}{4Dt}}$$

Merkezi Limit Teoremi

Ortalaması μ ve varsansı σ^2 olan bir kitleden alınan n birimlik rassal örneklem

$X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ ise $Z = \dfrac{\overline{X} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}}$ değişkeninin $n \to \infty$ limitteki dağılımı standart

normal dağılımdır.

Aslında kesikli rastgele yürüyüşte tek bir adımın yer değiştirmesi x ve bunların olasılık dağılımı $P(x)$ ise $\langle x \rangle < \infty$, $\langle x^2 \rangle < \infty$ olmak üzere $P(X)$'in normal dağılması merkezi limit teoreminin bir sonucudur.

Denge Dışı Durağan Durum ve Stokastik Sıfırlama

$$\frac{dx}{dt} = \eta(t)$$

$$\langle \eta(t) \rangle = 0,\ \langle \eta(t)\eta(t') \rangle = 2D\delta(t-t')$$

$$x(t) = x_0 + \int_0^t \eta(t')dt'$$

$$P(x,t) = \frac{1}{\sqrt{4\pi Dt}} e^{-(x-x_0)^2/4Dt}$$

$$x(t+dt) = \begin{cases} x_0 & rdt\ olasılığı\ ile \\ x(t)+\xi(t)(dt)^{1/2} & (1-rdt)\ olasılığı\ ile \end{cases}$$

$$\langle \xi(t) \rangle = 0,\quad \langle \xi(t)\xi(t') \rangle = 2D\delta(t-t')$$

$$\frac{\partial P(x,t|x_0)}{\partial t} = D\frac{\partial^2 P(x,t|x_0)}{\partial x^2} - rP(x,t|x_0) + r\delta(x-x_0)$$

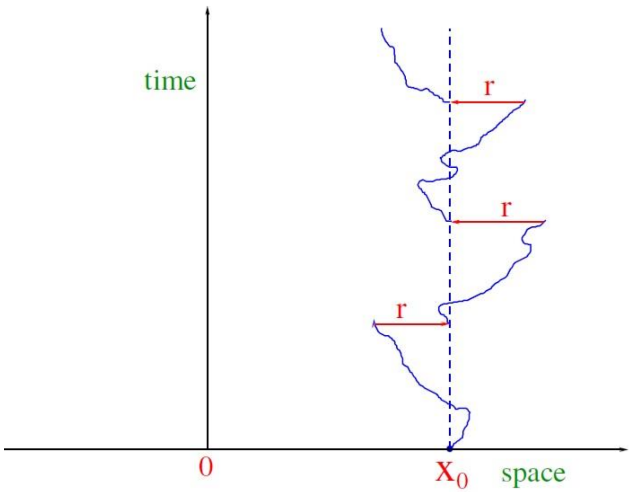
$$P(x,0) = \delta(x-x_0)$$

$$P_{st}(x|x_0) = \sqrt{\frac{r}{4D}}\exp\left(-\sqrt{\frac{r}{D}}|x-x_0|\right)$$

Denge dışı durağan durum yaratmak!

Fizik, kimya, biyoloji, ekoloji, çeşitli mühendislikler ve ekonomi gibi alanlarda somut uygulamaları var.

- **Hayvan arama modelleri**
- **Protein – DNA etkileşimleri**
- **Her çeşit difüzyon süreci**
- **Finans piyasaları ve ekonomi**
- **Nüfus dinamikleri ve felaketler**
- **Çeşitli arama algoritmaları**



M. R. Evans and S. N. Majumdar, Phys. Rev. Lett. 106, 160601 (2011)

Kolektif Davranış ve Vicsek Model

VOLUME 75, NUMBER 6 PHYSICAL REVIEW LETTERS 7 AUGUST 1995

Novel Type of Phase Transition in a System of Self-Driven Particles

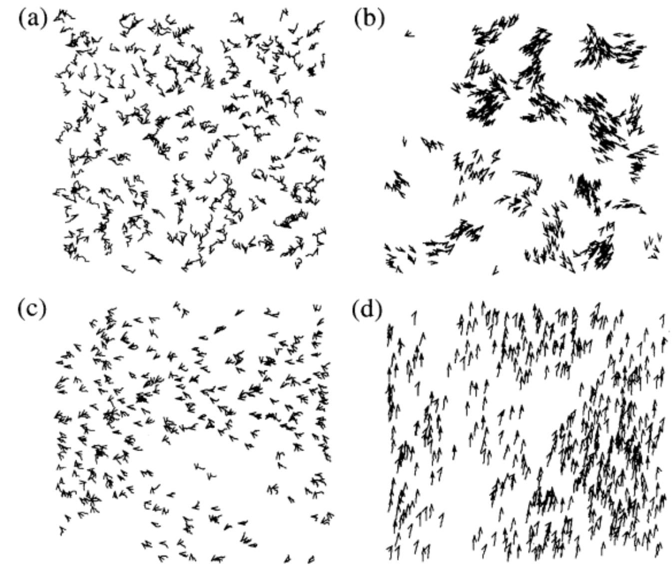
Tamás Vicsek,[1,2] András Czirók,[1] Eshel Ben-Jacob,[3] Inon Cohen,[3] and Ofer Shochet[3]
[1] *Department of Atomic Physics, Eötvös University, Budapest, Puskin u 5-7, 1088 Hungary*
[2] *Institute for Technical Physics, Budapest, P.O.B. 76, 1325 Hungary*
[3] *School of Physics, Tel-Aviv University, 69978 Tel-Aviv, Israel*
(Received 25 April 1994)

- Kuşlar sabit hızda hareket ederler.
- Her kuş komşularını gözlemler.
- Kuşlar komşularına göre hizalanır.

Hareket $$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t)\Delta t$$

Yerel Hizalanma $$\theta_i(t+1) = \langle \theta_J(t) \rangle_{d_{ij}<R} + \delta\theta$$

Gürültü $$\delta\theta$$



Kuantum alan teorisi ve istatistiksel fizikten bilinen **Mermin-Wagner** teoremine göre iki ya da daha düşük boyutlu sistemlerde sürekli simetrilerin, kısa menzilli etkileşimler altında kendiliğinden kırılması mümkün değildir.

Toner-Tu Modeli

- Vicsek modeli mikro düzeyde bir modeldir. Toner-Tu denklemi ise bu modeli **makroskopik** düzeye genişletir.
- Vicsek modelinde her parçacık komşularıyla hizalanır. Öte taraftan Toner-Tu denklemi, bu hizalanma davranışını **hidrodinamik** yaklaşımla açıklar ve sistemi bir akışkan gibi ele alır.
- **Denge-dışı** özellikleri içerir. Böylece Mermin-Wagner teoreminin sonuçlarından etkilenmez.

$$\frac{\partial \rho(r,t)}{\partial t} + \nabla\cdot\big(\rho(r,t)\,\mathbf{v}(r,t)\big) = 0$$

$$P(\rho) = \sum_{n=1}^{\infty} \sigma_n (\rho - \rho_0)^n$$

$$\frac{\partial \mathbf{v}(r,t)}{\partial t} + \underbrace{(\mathbf{v}(r,t)\cdot\nabla)\,\mathbf{v}(r,t)}_{\text{Konvektif Terim}}$$
$$= \underbrace{\alpha\mathbf{v}(r,t) - \beta\left|\mathbf{v}(r,t)\right|^2 \mathbf{v}(r,t)}_{\text{Hız Alanına Geri Besleme ve Lineer Olmayan Düzeltme}} - \underbrace{\nabla P}_{\text{Sistemdeki Basınç}} + D_L\nabla\big(\nabla\cdot\mathbf{v}(r,t)\big) + D_1\nabla^2\mathbf{v}(r,t) + D_2\big(\mathbf{v}(r,t)\cdot\nabla\big)^2\mathbf{v}(r,t) + \underbrace{\mu}_{\text{Gürültü}}$$

Ortaya Çıkış: İlişkisel Taksonomi

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 without question. The workings of our minds and bodies, and of all the animate or inanimate matter of which we have any detailed knowledge, are assumed to be controlled by the same set of fundamental laws, which except under certain extreme conditions we feel we know pretty well.

It seems inevitable to go on uncritically to what appears at first sight to be an obvious corollary of reductionism: that if everything obeys the same fundamental laws, then the only scientists who are studying anything really fundamental are those who are working on those laws. In practice, that amounts

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 also biology are extensive. High energy physics and a good part of nuclear physics are intensive. There is always much less intensive research going on than extensive. Once new fundamental laws are discovered, a large and ever increasing activity begins in order to apply the discoveries to hitherto unexplained phenomena. Thus, there are two dimensions to basic research. The frontier of science extends all along a long line from the newest and most modern intensive research, over the extensive research recently spawned by the intensive research of yesterday, to the broad and well developed web of extensive research activities based on intensive research of past decades.

The effectiveness of this message may

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.

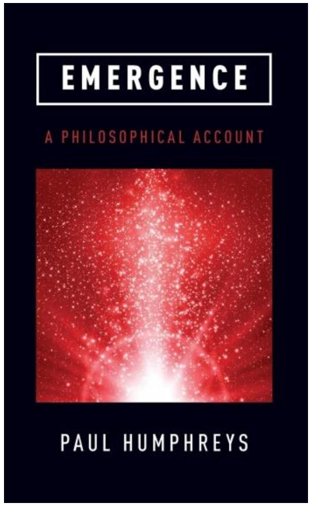
X	Y
solid state or many-body physics	elementary particle physics
chemistry	many-body physics
molecular biology	chemistry
cell biology	molecular biology
⋮	⋮
psychology	physiology
social sciences	psychology

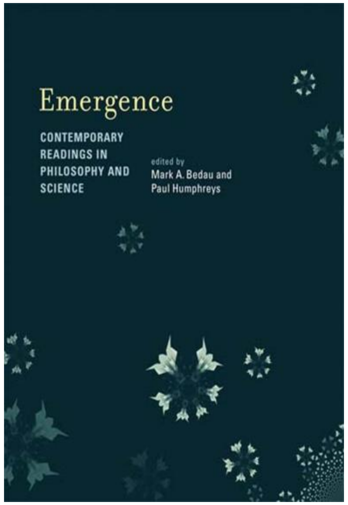
But this hierarchy does not imply that science X is "just applied Y." At each stage entirely new laws, concepts, and generalizations are necessary, requiring inspiration and creativity to just

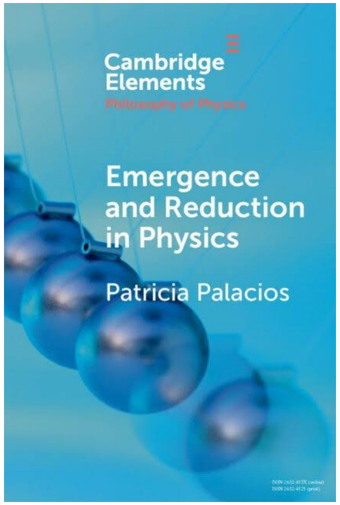
- ***Ortaya Çıkış***
  - Ontolojik Ortaya Çıkış
  - Kavramsal Ortaya Çıkış
  - Çıkarımsal Ortaya Çıkış

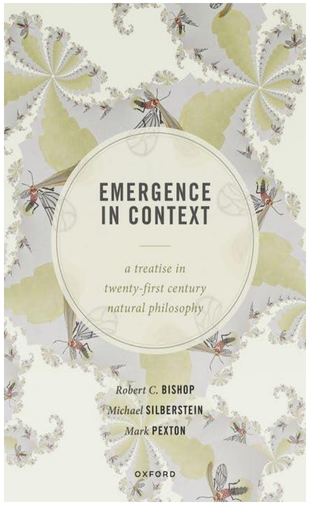
Ortaya Çıkış için Yaygın Kriterler

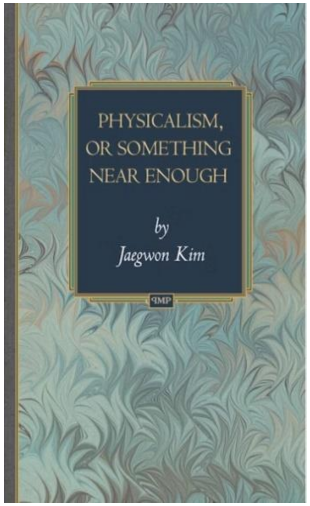
- İlişkisellik
- Yenilik
- Özerklik
- Bütüncülük











Giriş
Stokastik Araçlar
Vicsek Modeli
Toner-Tu Modeli
Ortaya Çıkış: İlişkisel Taksonomi
Felsefi Ara
Eşzamanlı ve Diyakronik Açıklama
Kuantum Mekaniği ve İndirgeme
Zayıf ve Güçlü Ortaya Çıkış
Nedensel Ortaya Çıkışın Niceliksel Bir Ölçüsü
Orantılılık ve Bilimsel Açıklama
Ehrenfest Difüzyon Modeli
Bilgi Teorisi ve Hesaplamalı Mekanik
Desen Oluşum Teorisi
Bitirirken

Felsefi Ara: Felsefeye Neden İhtiyaç Duyarız?

Bilim Felsefesi nedir?

Tanım: Bilimsel teorilerle tutarlılık gösteren dünya görüşlerinin formüle edilmesini sağlayan bir disiplindir.

Tanım: Bilim insanlarının varsayım ve eğilimlerini ortaya koyan bir disiplindir.

Tanım: Bilimde kullanılan kavram ve teorileri analiz edip netleştiren bir disiplindir.

Tanım: Yöntem analizini ve bilimsel açıklamanın mantığını konu edinen bir disiplindir.

- ❖ Bilimsel kavramların netleştirilmesine katkı sağlar.
- ❖ Bilimdeki varsayımlara ve yöntemlere eleştirel bir bakış açısı sunar.
- ❖ Yeni kavramsal yaklaşımlar ve teorilerin gelişmesi için zemin hazırlar.

'Kök Hücrelik' için 4 farklı özellik

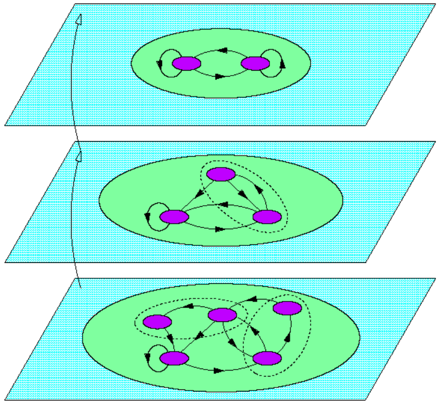
- **Kategorik özellik** (Dokunun türüne bağlı olarak)
- **Eğilimsel özellik** (Mikro çevre tarafından kontrol edilen içsel özellik)
- **İlişkisel özellik** (Mikro çevre tarafından kök hücre olmayana yönelik dışsal özellik)
- **Sistemik özellik** (Tüm hücre popülasyonu düzeyinde korunan özellik)

Eşzamanlı ve Diyakronik Mikro Açıklama

Mikro Açıklama → Bileşik sistemin parçaların davranışı açısından açıklanması.

Eşzamanlı Mikro Açıklama

Bileşik sistemin **t** anındaki durumunun, parçaların **t** anındaki durumlarına göre açıklanması



Diyakronik Mikro Açıklama

Bileşik sistemin **t** anındaki durumunun, sistemin **zamansal evrimi** ve **dinamikleri** açısından açıklanması.

- **Sistemin Durumu**
(Değişen niceliklerin değerleri sistemin o andaki durumudur.)
- **Sabitler**
- **Yasalar**
(Sistemin dinamiklerini yani **zaman içinde** nasıl geliştiğini tanımlar.)

I. İzole tek parçacıklı alt sistemleri tanımlarız. Her bir parçacık için Hamiltonyen yazılır.

II. İzole tek parçacıklı sistemlerin dinamikleri Hamilton denklemleri ile belirlenir.

III. Parçaların katkılarını bileşim yasalarına göre toplarız. Çok parçacıklı sistemi açıklamak için bileşim yasalarına ihtiyaç duyarız. Klasik mekanikteki temel bileşim yasasına göre, bir bileşik sistemin faz uzayı, alt sistemlerin faz uzaylarının doğrudan toplamıdır.

Kuantum Mekaniği ve Diyakronik İndirgeme

Kuantum Dolanıklık

Kuantum mekaniğinde fiziksel durum Hilbert uzayında bir vektörle temsil edilir. İki parçacıklı bileşik sistemin **Hilbert uzayı** $H = H_A \otimes H_B$ olsun. Her iki uzayın da spin-1/2 serbestlik derecelerini $\{|+z\rangle, |-z\rangle\}$ tanımlayan Hilbert uzayları olduğunu varsayalım. Her bir uzay **'spin-yukarı'** ve **'spin-aşağı'** temsil eden, ortonormal bir baz olan tarafından oluşturulabilir. Bu durumda tensör çarpım uzayı

$$|+z\rangle \otimes |+z\rangle, \quad |+z\rangle \otimes |-z\rangle, \quad |-z\rangle \otimes |+z\rangle, \quad |-z\rangle \otimes |-z\rangle$$

baz vektörleri tarafından oluşturulur. Öte taraftan bileşik sistemin bazı durumları, **bireysel parçacıkların kesin durumları cinsinden ifade edilemez:**

$$|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(|+z\rangle \otimes |-z\rangle - |-z\rangle \otimes |+z\rangle\right)$$

Bu durumda iki parçacığın ***dolanık*** olduğunu söyleriz.

I. Bir kuantum mekaniksel sistemin t anındaki durumu Hilbert uzayında bir vektörle temsil edilir. Schrödinger denklemi sistemin zaman evrimini tanımlar.

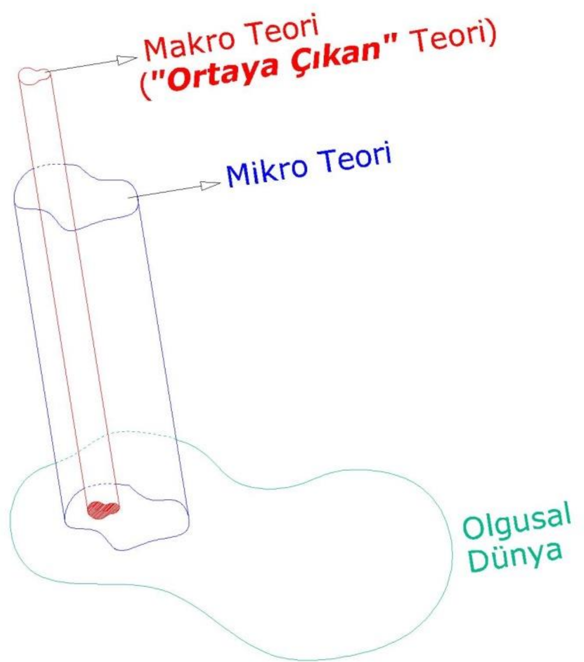
II. Tek parçacık sistemi için klasik mekanik Hamiltonyen, kuantum mekanik Hamiltonyen ile değiştirilir.

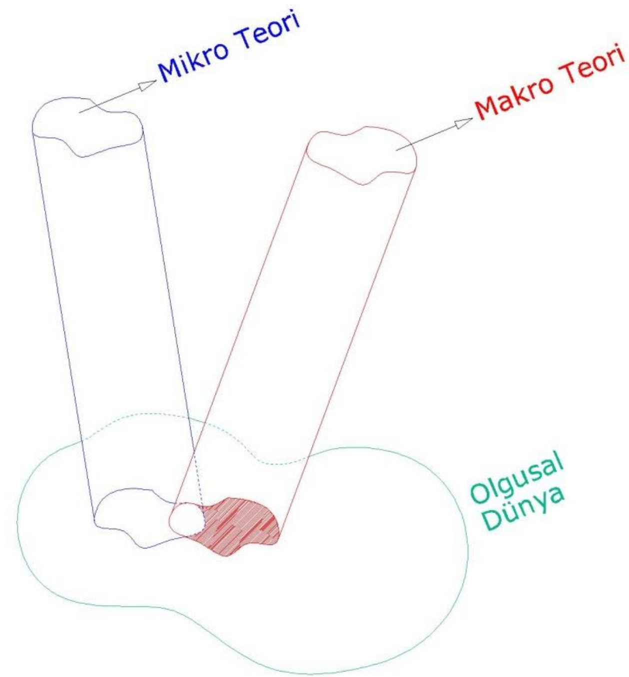
III. İki parçacık sistemini temsil eden yeni bir Hilbert uzayı, iki Hilbert uzayının tensör çarpımı ile elde edilir. Etkileşimsiz parçalardan oluşan birleşik sistem için Hamiltonyen, izole edilmiş alt sistemlerin Hamiltonyenlerinin toplamı olarak verilir.

Zayıf ve Güçlü 'Ortaya Çıkış'

<table>
<tr><th>Zayıf Ortaya Çıkış</th><th>Güçlü Ortaya Çıkış</th></tr>
<tr><td>Beklenmedik büyük ölçekli davranışlar, temel bileşenleri içeren kuramların öngörüleriyle pratikte açıklanabilir.</td><td rowspan="2">Beklenmedik büyük ölçekli davranışlar, temel bileşenleri içeren kuramların öngörüleriyle ilkesel olarak bile açıklanamaz.

Hiçbir ampirik örnek yok!</td></tr>
<tr><td>Beklenmedik büyük ölçekli davranışlar, temel bileşenleri içeren kuramların öngörüleriyle pratikte açıklanamasa bile ilkesel olarak açıklanabilir.</td></tr>
</table>





Nedensel Ortaya Çıkışın Niceliksel Bir Ölçüsü

U^C : *Sınırlanmamış olası nedenlerin repertuarı*

U^E : *Sınırlanmamış olası etkilerin repertuarı*

$$\textit{Neden repertuarı}: S_p|s_0$$

$$\textit{Etki repertuarı}: S_F|s_0$$

$$D_{KL}: \textit{Kullback-Leibler Sapması}$$

$$\text{Neden Bilgisi}(s_0) = D_{KL}\left(\left(S_p|s_0\right), U^C\right)$$

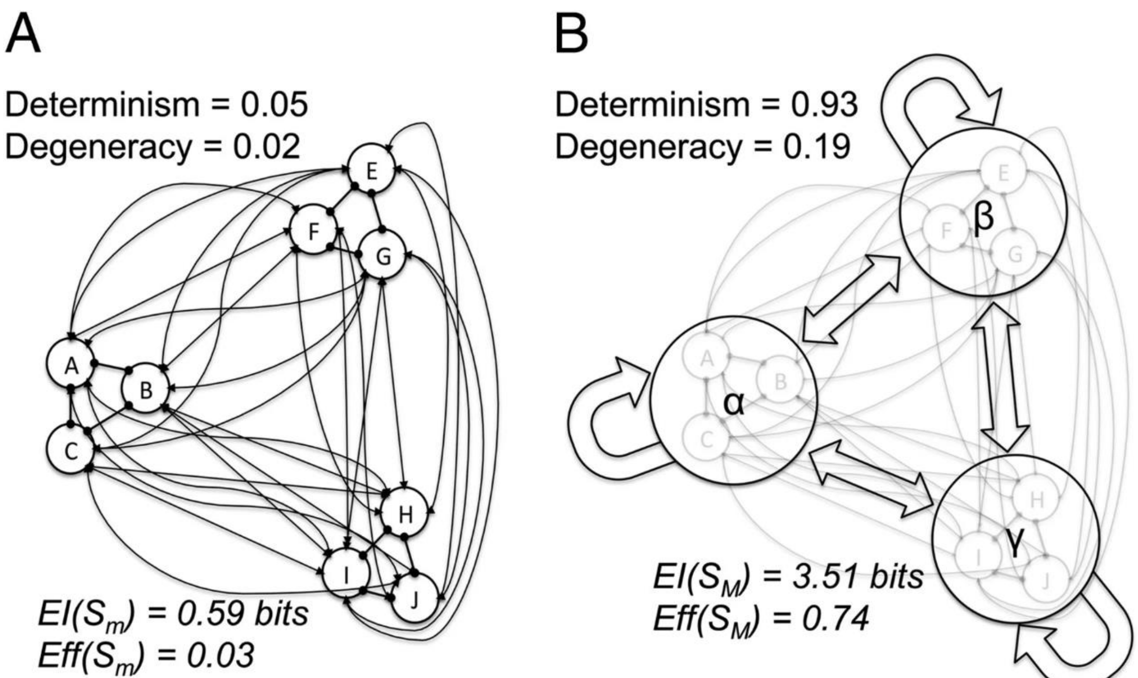
$$\text{Etki Bilgisi}(s_0) = D_{KL}\left(\left(S_F|s_0\right), U^E\right)$$

$$\text{Etki Katsayısı}(s_0) = \text{Determinizm Katsayısı}(s_0)$$

$$-\text{Dejenerasyon Katsayısı}(s_0) =$$

$$= \frac{1}{\log_2(n)} \sum_{S_F \in U^E} p\left(S_F|s_0\right)\log_2\left(n.p\left(S_F|s_0\right)\right)$$

$$- \frac{1}{\log_2(n)} \sum_{S_F \in U^E} p\left(S_F|s_0\right)\log_2\left(n.p\left(S_F\right)\right)$$



$$\text{Etkin Bilgi}(S) = \text{EI}(S)$$

$$= \left\langle \text{Neden Bilgisi}(s_0) \right\rangle$$

$$= \sum_{S_0 \in U^E} p(s_0) D_{KL}\left(\left(S_p|s_0\right), U^C\right)$$

$$= \left\langle \text{Etki Bilgisi}(s_0) \right\rangle$$

$$= \frac{1}{n} \sum_{S_0 \in U^C} D_{KL}\left(\left(S_F|s_0\right), U^E\right)$$

$$\text{Etkinlik}(S) = \text{Eff}(S) =$$

$$= \left\langle \text{Determinizm Katsayısı}(s_0) \right\rangle$$

$$- \left\langle \text{Dejenerasyon Katsayısı}(s_0) \right\rangle$$

E. P. Hoel, L. Albantakis, and G. Tononi, *Quantifying Causal Emergence Shows That Macro Can Beat Micro*, Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 110, 19790 (2013).

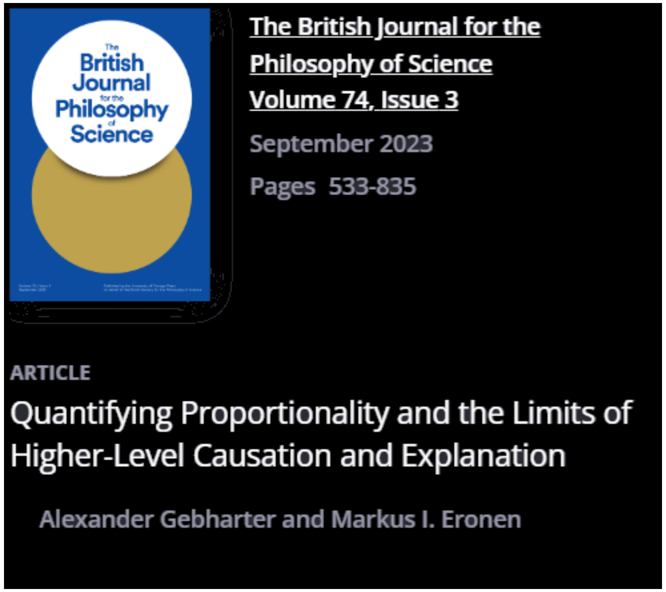
Orantılılık ve Bilimsel Açıklamanın Kalitesi

Orantılılık (Proportionality)

Orantılılık, bir nedenin, bir etkiyi değiştirmek için gerekli olan ve sadece gerekli olan bilgiyi taşıyıp taşımadığını ifade eder. Başka bir deyişle, orantılılık, bir nedenin, etkideki değişimi doğru şekilde öngörüp öngöremediğini sorgular.

Özgüllük (Specificity)

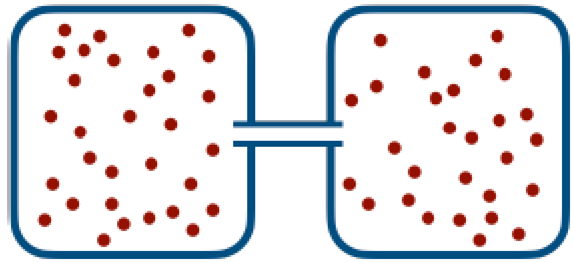
Bir nedenin özgüllüğü, o neden üzerinde yapılan değişikliklerin, etkide net ve farklı sonuçlar doğurmasına bağlıdır. Yani, özgüllüğü yüksek bir neden, etki üzerinde doğrudan ve belirgin bir kontrol sağlar.



Yüksek düzeydeki nedenler (örneğin, zihinsel durumlar gibi) daha **orantılı** olabilir, yani etkiyi daha genel bir biçimde açıklayabilir. Ancak, bu nedenler **özgüllük** açısından daha alt düzeydeki nedenlerden (örneğin, nöral durumlar gibi) daha güçlü olamaz.

Ehrenfest Difüzyon Modeli

$Z_t = \sum X_t^k$ $\quad$ $n - Z_t$



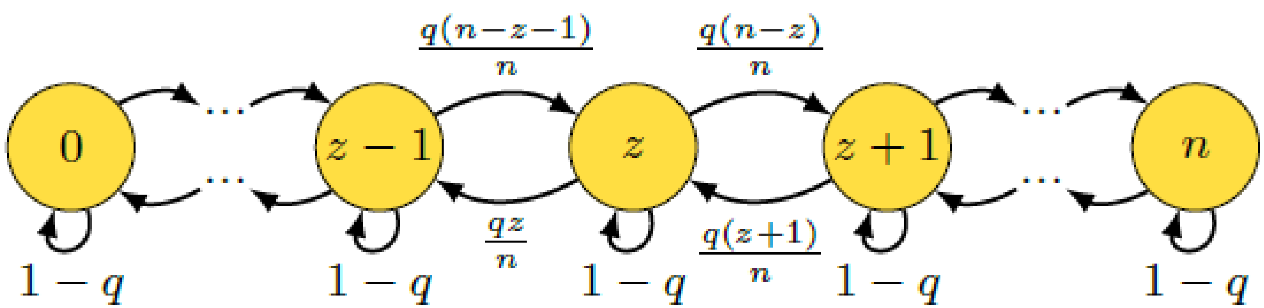
$X_t = (0, 0, 1, 0, 1, \ldots, 1)$

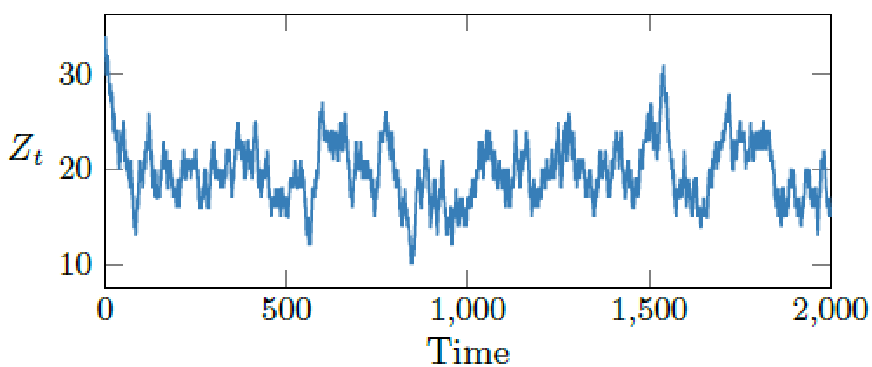
Gazdaki n tane parçacığın t anındaki durumu:

$$X_t = \left(X_t^{(1)}, X_t^{(2)}, \ldots, X_t^{(n)}\right)$$

$$X_t^{(k)} \in \{0,1\}$$

k. parçacığın hangi kapta olduğunu belirler.





Nedensel Olarak Kapalı

Hesaplamalı Olarak Kapalı

F. E. Rosas, B. C. Geiger, A. I. Luppi, A. K. Seth, D. Polani, M. Gastpar, and P. A. M. Mediano, Software in the Natural World: A Computational Approach to Hierarchical Emergence, 1 (2024)

Giriş

Stokastik Araçlar

Vicsek Modeli

Toner-Tu Modeli

Ortaya Çıkış: İlişkisel Taksonomi

Felsefi Ara

Eşzamanlı ve Diyakronik Açıklama

Kuantum Mekaniği ve İndirgeme

Zayıf ve Güçlü Ortaya Çıkış

Nedensel Ortaya Çıkışın Niceliksel Bir Ölçüsü

Orantılılık ve Bilimsel Açıklama

Ehrenfest Difüzyon Modeli

Bilgi Teorisi ve Hesaplamalı Mekanik

Desen Oluşum Teorisi

Bitirirken

'Ortaya Çıkış' için Bilgi Teorisi ve Hesaplamalı Mekanik

Software in the natural world: A computational approach to hierarchical emergence

Fernando E. Rosas,[1,2,3,4,*] Bernhard C. Geiger,[5,6] Andrea I Luppi,[7]
Anil K. Seth,[1,2] Daniel Polani,[8] Michael Gastpar,[9] and Pedro A.M. Mediano[10,11]
[1] *Department of Informatics, University of Sussex*
[2] *Sussex Centre for Consciousness Science and Sussex AI, University of Sussex*
[3] *Center for Psychedelic Research and Centre for Complexity Science, Department of Brain Science, Imperial College London*
[4] *Center for Eudaimonia and Human Flourishing, University of Oxford*
[5] *Know-Center GmbH, Graz, Austria*
[6] *Signal Processing and Speech Communication Laboratory, Graz University of Technology, Graz, Austria*
[7] *Montreal Neurological Institute, McGill University*
[8] *Department of Computer Science, University of Hertfordshire, Hatfield, UK*
[9] *School of Computer and Communication Sciences, EPFL, Lausanne, Switzerland*
[10] *Department of Computing, Imperial College London*
[11] *Division of Psychology and Language Sciences, University College London*

- **Yazılım Analojisi**
  Bilgi Kapalı / Nedensel Kapalı

- Bilgi Kapanışı
- Nedensel Kapanış
- Hesaplama Kapanışı

Alt seviyelerdeki mikro süreçler, bu seviyeler üzerinde ek bir tahmin gücü sağlamaz.

- **Bilgi Teorisi + Hesaplama Mekaniği**

- Karmaşık sistemlerin fonksiyonel mimarisini açıklayan bir yaklaşım.

- İstatistik fizik ve sinirbilimden çok sayıda örnek.

Desen Oluşum Teorisi

Termodinamik dengeye doğru bir çekim ve denge dışına doğru iten dışsal bir etkinin rekabeti.

Çatışma + Uzlaşma ⟶ **Desen**

$$\text{Çatallanma Parametresi } R \propto \frac{\text{Sürüş Etkisi}}{\text{Dağılma}}$$

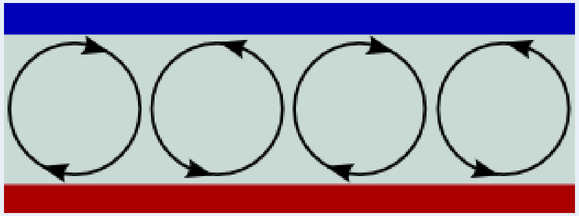
$$\frac{\partial F(\mathbf{r},t)}{\partial t} = G\left(F(\mathbf{r},t), \frac{\partial F(\mathbf{r},t)}{\partial r}, \ldots, R(\mathbf{r},t) \right)$$

$$\frac{\partial F_{st}(\mathbf{r},t)}{\partial t} = 0 \qquad \delta F(\mathbf{r},t) = Ae^{\sigma t}\, e^{ik\mathbf{r}}$$

$R < R_c \quad \mathrm{Re}(\sigma) < 0 \longrightarrow$ **Sistem kararlı**

$R > R_c \longrightarrow$ **Doğrusal kararlılık analizi** sistemde hangi modun büyüdüğünü verir. Ortaya çıkan desenli durum, sistemin geometrik ve sınır koşullarına göre şekillenir. Pertürbasyonların hangi dalga boyunda doygunlaştığını, yani hangi modun baskın hale geleceğini belirleyen ise bu sınır koşullarıdır. Büyüyen modun nasıl doyuma ulaştığı ise **pertürbasyon teorisi** ile açıklanır.

Rayleigh Benard Konveksiyonu



$$Ra = \frac{g\beta}{\nu\alpha}\left(T_{alt} - T_{üst}\right)L^3$$

α : Termal yayılma

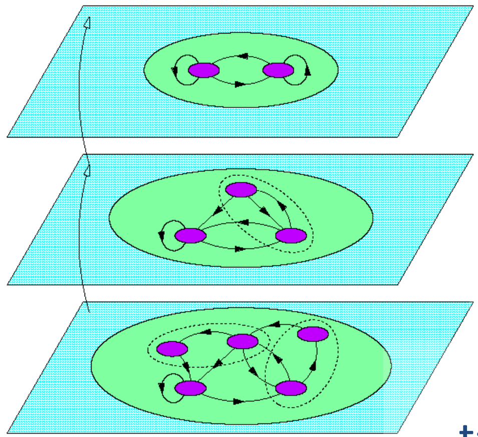
β : Isıl genleşme

ν : Kinematik viskozite

L : Sıvı katmanının derinliği

Giriş
Stokastik Araçlar
Vicsek Modeli
Toner-Tu Modeli
Ortaya Çıkış: İlişkisel Taksonomi
Felsefi Ara
Eşzamanlı ve Diyakronik Açıklama
Kuantum Mekaniği ve İndirgeme
Zayıf ve Güçlü Ortaya Çıkış
Nedensel Ortaya Çıkışın Niceliksel Bir Ölçüsü
Orantılılık ve Bilimsel Açıklama
Ehrenfest Difüzyon Modeli
Bilgi Teorisi ve Hesaplamalı Mekanik
Desen Oluşum Teorisi
Bitirirken

Bitirirken…



3. Seviye (Ortaya Çıkan Rayleigh Benard Hücreleri)

2. Seviye (Navier-Stokes denklemlerinin süreklilik alan teorisi.)

1. Seviye (Parçacık hareketini tanımlayan istatistiksel betimleme)

- **Matematiksel Zorluklar ve Analitik Çözümsüzlükler**
- **Hesaplanamazlık**
- **Çoklu Geri Besleme Mekanizmaları, Tek Bir Fiziksel Etkinin İzole Edilemediği Durumlar**

Teşekkür Ederim.

Seçme Kaynaklar

- J. Kim, *Physicalism, or Something Near Enough* (2007).
- H. Clevers, *Defining Stemness*, Nature **534**, 176 (2016).
- L. Laplane, *Cancer Stem Cells : Philosophy and Therapies* (2016).
- L. Breiman, *2001 - Breiman*, Stat. Sci. **16**, 199 (2011).
- E. P. Hoel, L. Albantakis, and G. Tononi, *Quantifying Causal Emergence Shows That Macro Can Beat Micro*, Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. **110**, 19790 (2013).
- F. E. Rosas, B. C. Geiger, A. I. Luppi, A. K. Seth, D. Polani, M. Gastpar, and P. A. M. Mediano, *Software in the Natural World: A Computational Approach to Hierarchical Emergence*, 1 (2024).
- P. Palacios, *Emergence and Reduction in Physics*, Vol. 4121 (2022).
- J. Toner and Y. Tu, *Flocks, Herds, and Schools: A Quantitative Theory of Flocking*, Phys. Rev. E - Stat. Physics, Plasmas, Fluids, Relat. Interdiscip. Top. **58**, 4828 (1998).
- A. M. Ramoso, J. A. Magalang, D. Sánchez-Taltavull, J. P. Esguerra, and Roldán, *Stochastic Resetting Antiviral Therapies Prevent Drug Resistance Development*, Epl **132**, 1 (2020).
- A. Gebharter and M. I. Eronen, *Quantifying Proportionality and the Limits of Higher-Level Causation and Explanation*, Br. J. Philos. Sci. **74**, 573 (2023).