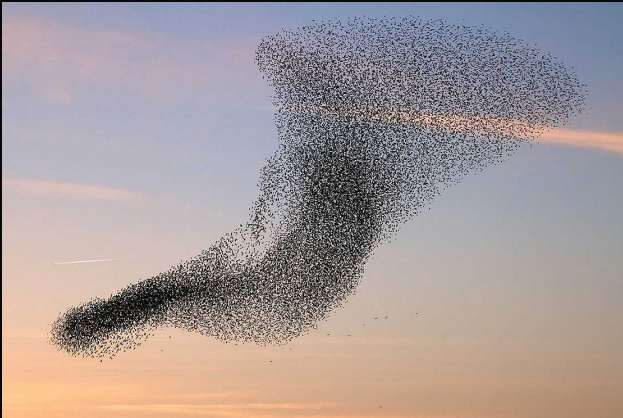


Egzotyczna fizyka statystyczna: ruch owiec, ludzi i samochodów



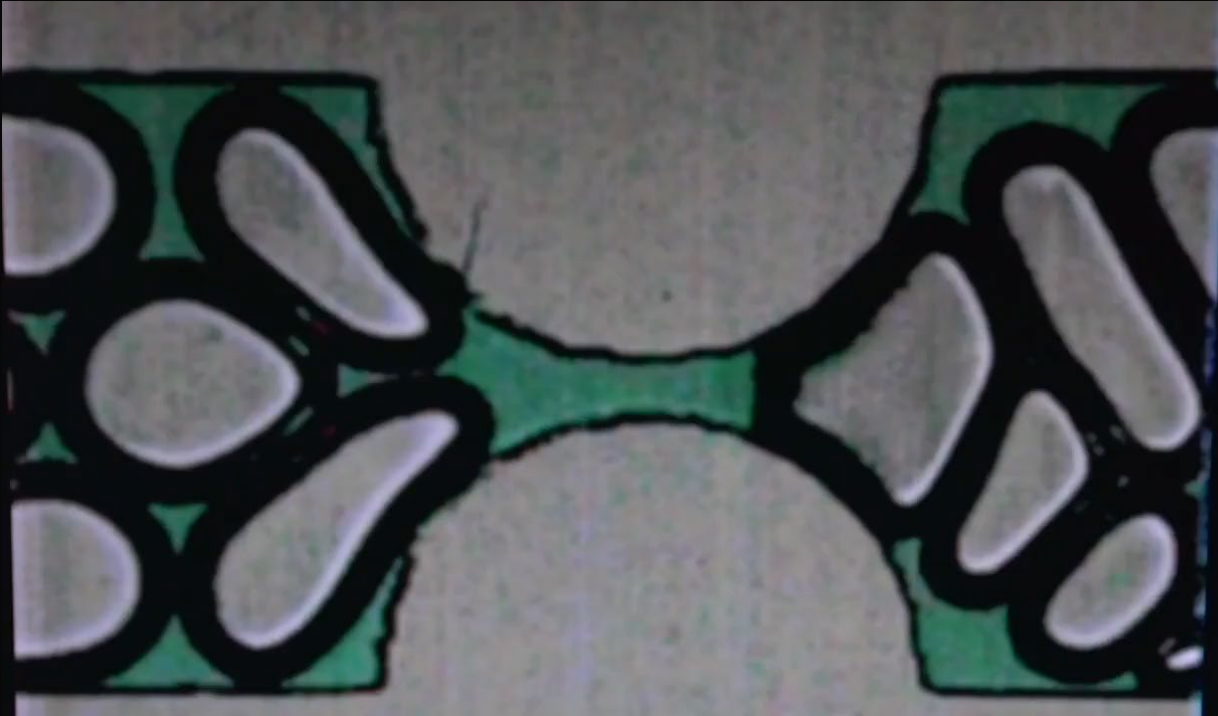
Owce vs krople

Owce:



Owce vs krople

Krople:



Zasadnicze pytanie

Czy ruch kolektywny dużej liczby makroskopowych obiektów (stada owiec, roju owadów, tłumu ludzi, samochodów na szosie) daje się opisać w języku prostych oddziaływań między tymi obiektami?

innymi słowy:

Czy można stworzyć "fizykę owiec"?



Hydrodynamics of a dense flock of sheep: edge motion and long-range correlations

Marine de Marcken¹ and Raphaël Sarfati²

¹ Center for One Health Research, Department of Environmental and Occupational Health Sciences, University of Washington, Seattle, Washington 98195, USA

² Department of Chemical and Biological Engineering, University of Colorado Boulder, Boulder, Colorado 80309, USA

E-mail: raphael.sarfati@colorado.edu

Abstract.

Sheep are gregarious animals, and they often aggregate into dense, cohesive flocks, especially under stress. In this paper, we use image processing tools to analyze a publicly available aerial video showing a dense sheep flock moving under the stimulus of a herding dog. Inspired by the fluidity of the motion, we implement a hydrodynamics approach, extracting velocity fields, and measuring their propagation and correlations in space and time. We find that while the flock overall is stationary, significant dynamics happens at the edges, notably in the form of fluctuations propagating like waves, and large-scale correlations spanning the entire flock. These observations highlight the importance of incorporating interfacial dynamics, for instance in the form of line tension, when using a hydrodynamics framework to model the dynamics of dense, non-polarized swarms.

Keywords: swarming, collective motion, sheep, self-organization, animal behavior, herding

Rój, stado, chmara...

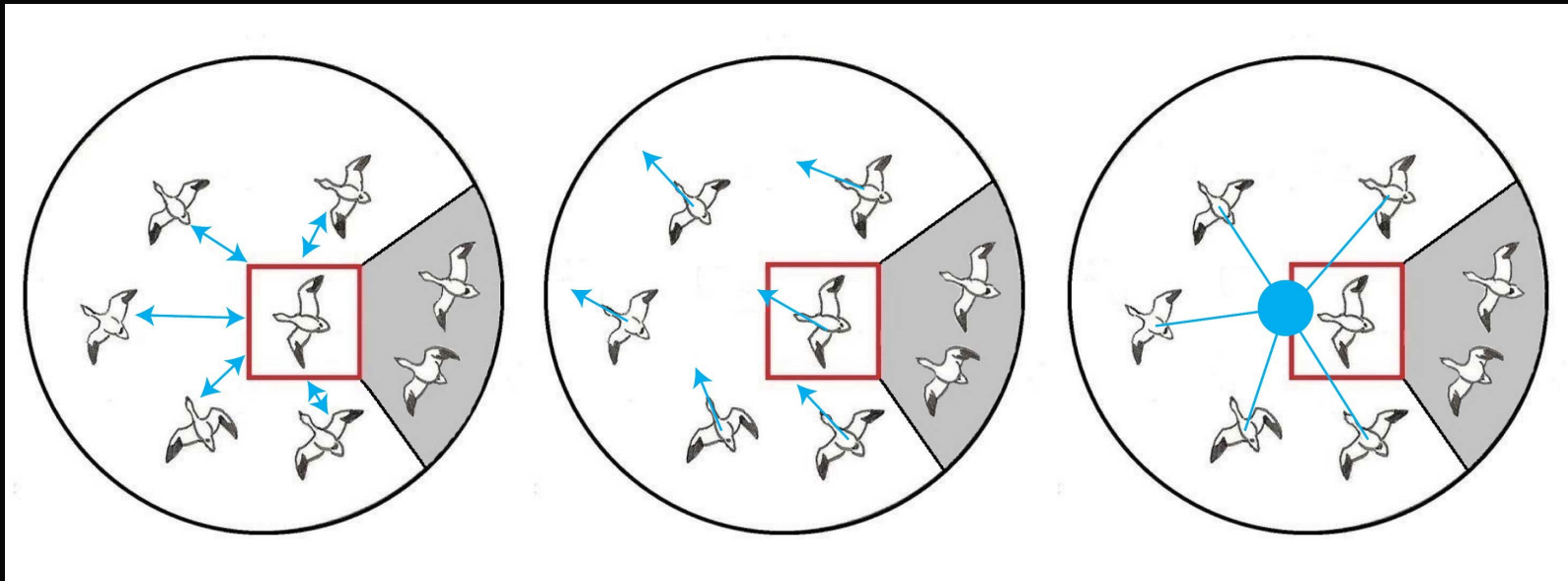
Szpaki



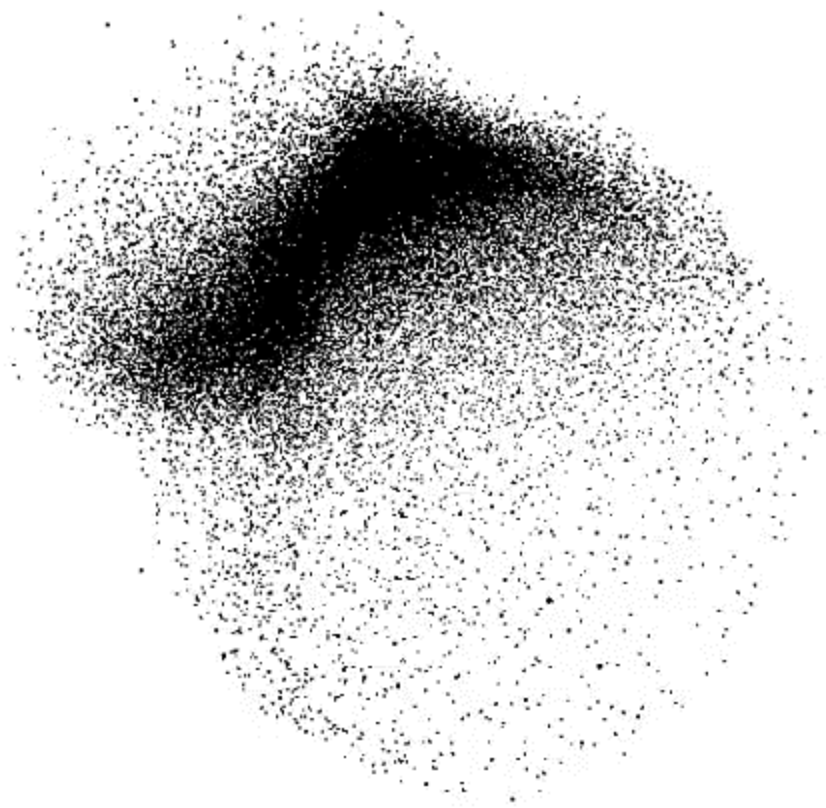
Ryby



Model Reynoldsa



- 1) Dystans : Daj sąsiadom trochę miejsca na swobodne latanie
- 2) Wyrównanie: Leć (średnio) w tym samym kierunku co sąsiedzi
- 3) Zwartość: Leć w kierunku średniego położenia sąsiadów, o ile pozwala na to zasada 1



Więcej znaczy inaczej

Układy złożone - takie, w których oddziaływania między elementami składowymi prowadzą do spontanicznego powstawania uporządkowanych struktur lub jakościowo nowych zachowań fizycznych układu (**Emergencja**)

Te nowe własności, pojawiające się na każdym poziomie złożoności nie są prostą sumą własności składników

"Jedna komórka to nie tygrys a jeden atom złota nie jest żółty ani błyszczący"



P.W. Anderson (Nobel, 1977)

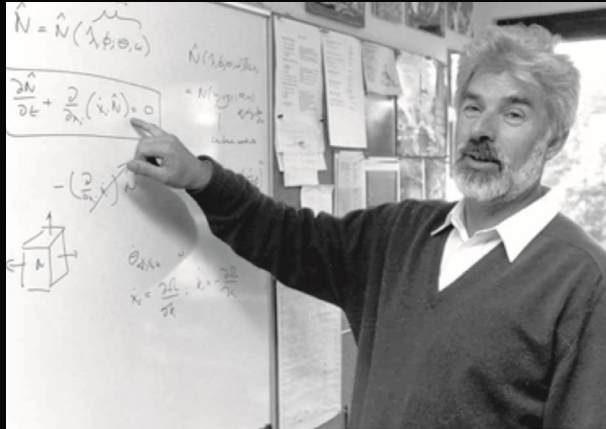
„More is different”, **Science**, 4 Aug. 1972 Vol. 177

Nobel 2021

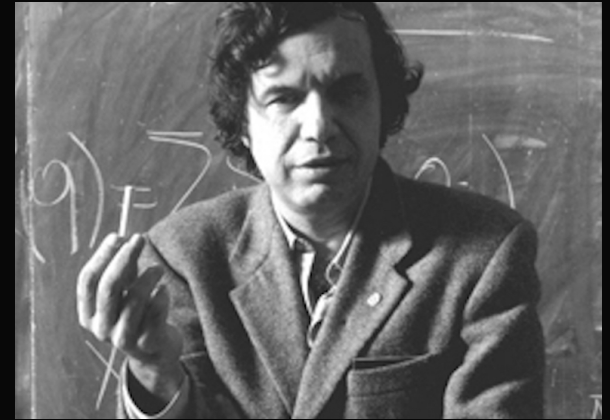
„za przełomowy wkład w zrozumienie złożonych układów fizycznych”



Syukuro Manabe



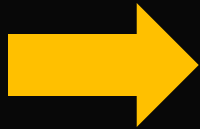
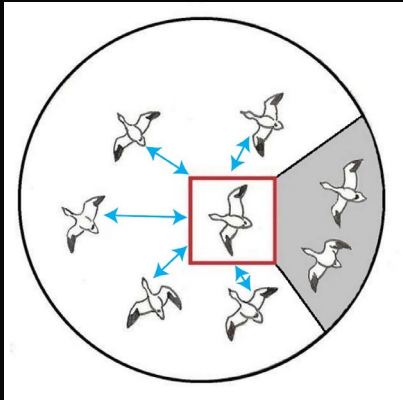
Klaus Hasselmann



Giorgio Parisi

Samoorganizacja w stadzie

- stado zachowuje się jak żywy organizm, propagują się w nim fale o długości setek metrów
- pojedyncze szpaki widzą tylko najbliższych sąsiadów i przestrzegają prostych reguł



Emergencja



Zastosowania



Zastosowania (2)

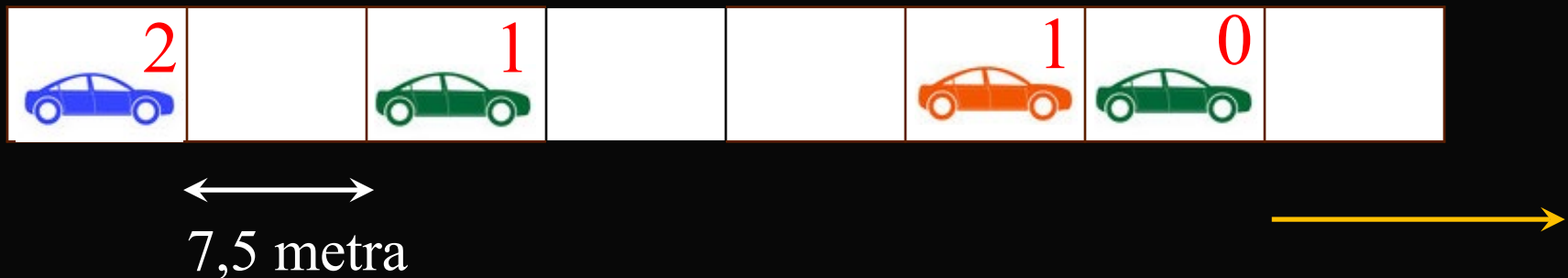


"Franchise Freedom" (festiwali Burning Man)

Fizyka ruchu drogowego

Model Nagela-Schrekenberga

Model komórkowy:



- Prędkość opisywana liczbą komórek pokonywanych przez pojazd na sekundę ($7,5 \text{ m/s} = 27 \text{ km/hr}$)
- Pojazdy przesuwają się z jednej komórki do drugiej w każdym kroku czasowym, jak pionki na planszy do gry w chińczyka

Model: prawa ruchu

- przyspieszanie:
 - jeśli można jeszcze przyspieszyć - przyspieszamy
- hamowanie:
 - jeśli grozi nam kolizja przy obecnej prędkości - zmniejszamy prędkość do bezpiecznej
- element losowy:
 - czasem przypadkowo zmniejszamy prędkość

Prawa ruchu



- przyspieszanie:



- hamowanie:



- element losowy:



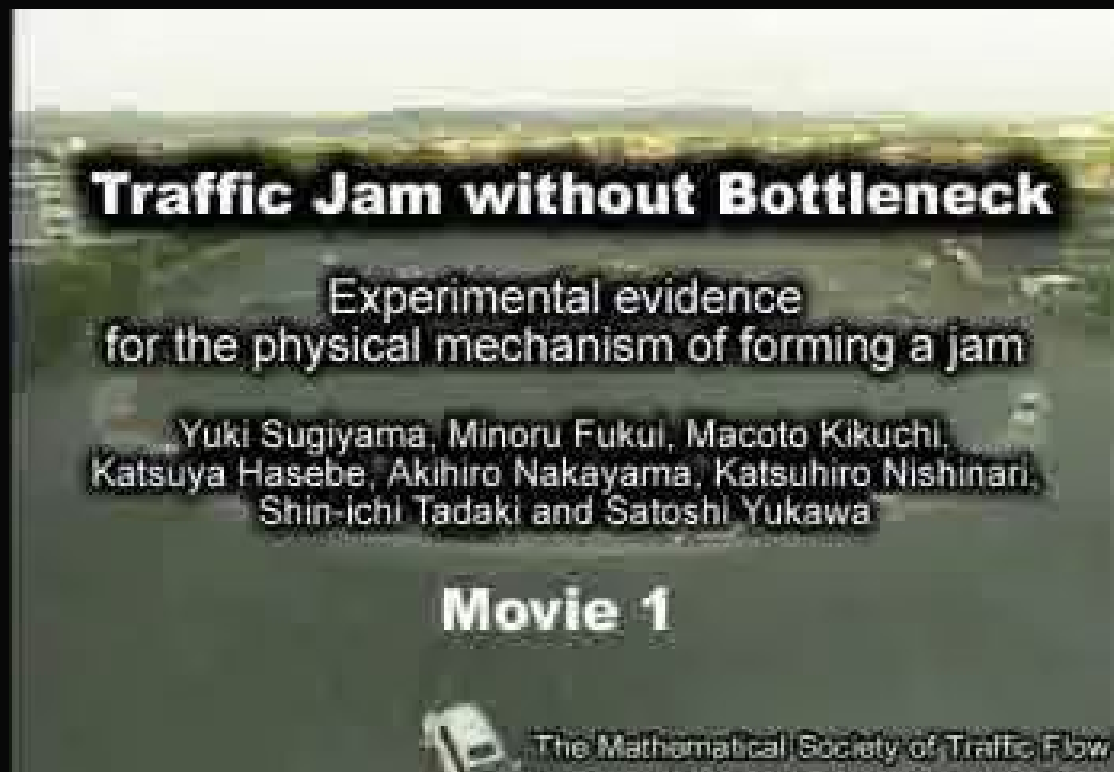
Ruch



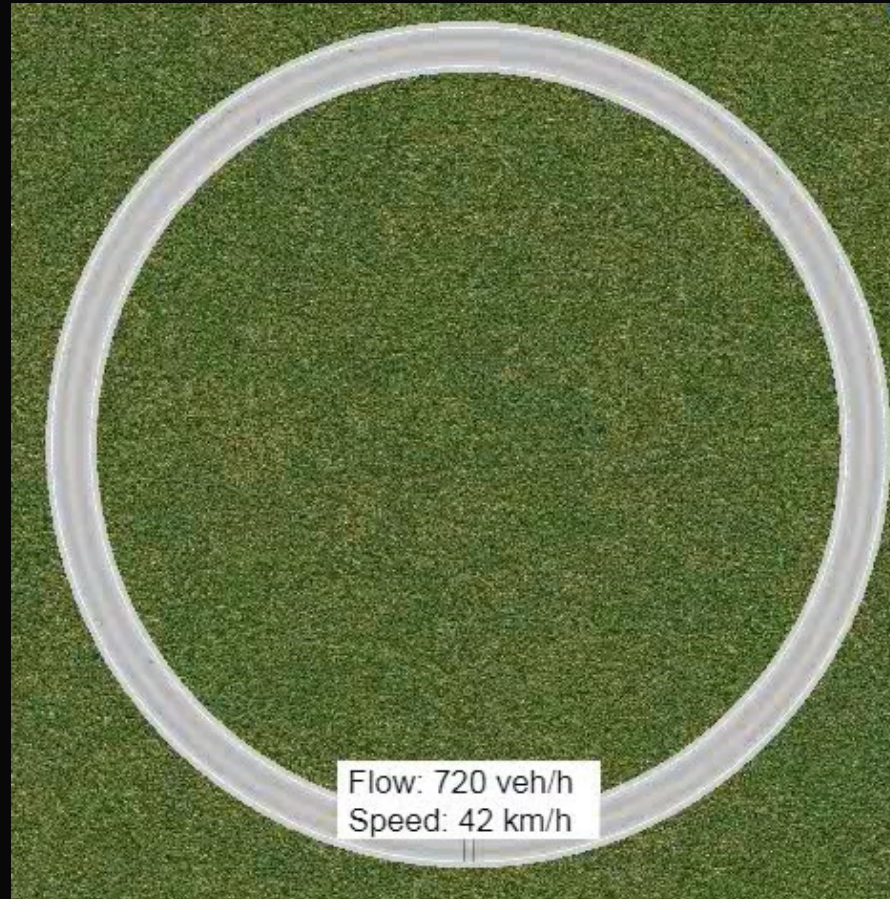
Korki "znikąd"



Eksperyment z Nagoi



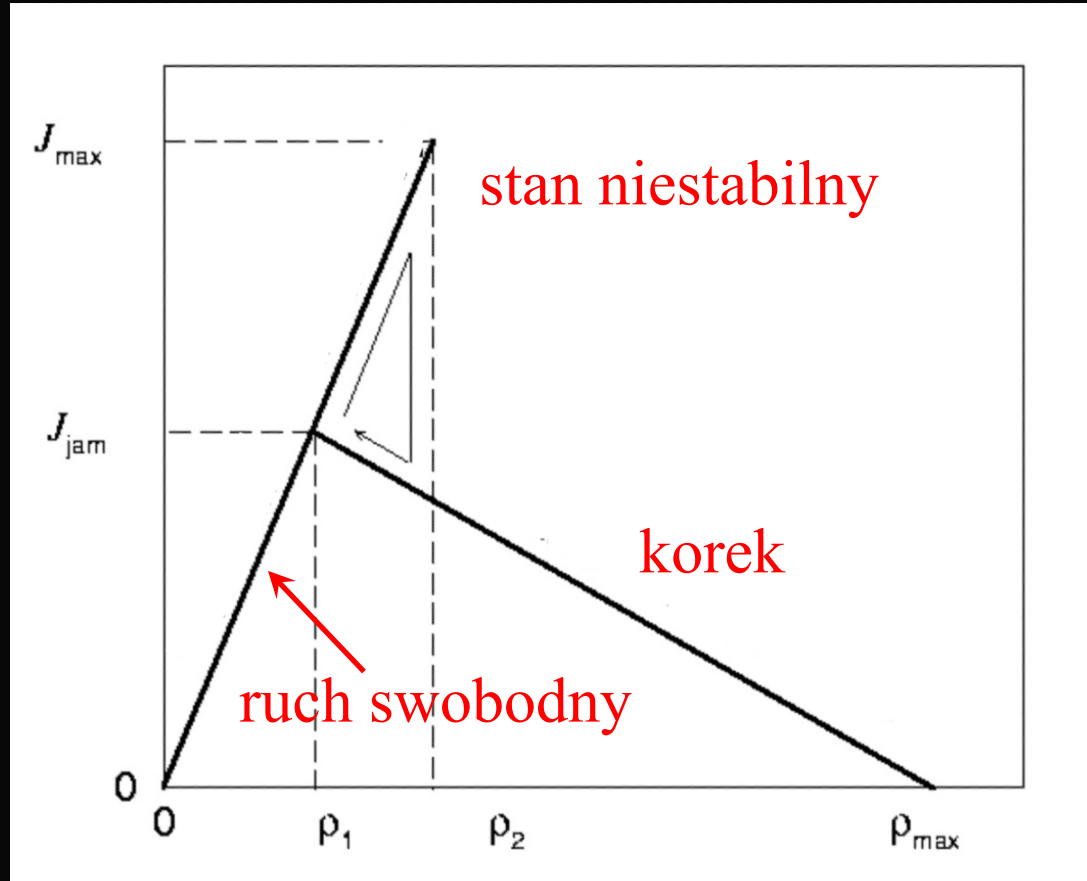
Symulacja



- spontaniczne korki propagują się w kierunku **przeciwnym** do ruchu samochodów z prędkością 15 km/h (w każdym kraju tak samo!)

Diagram fundamentalny

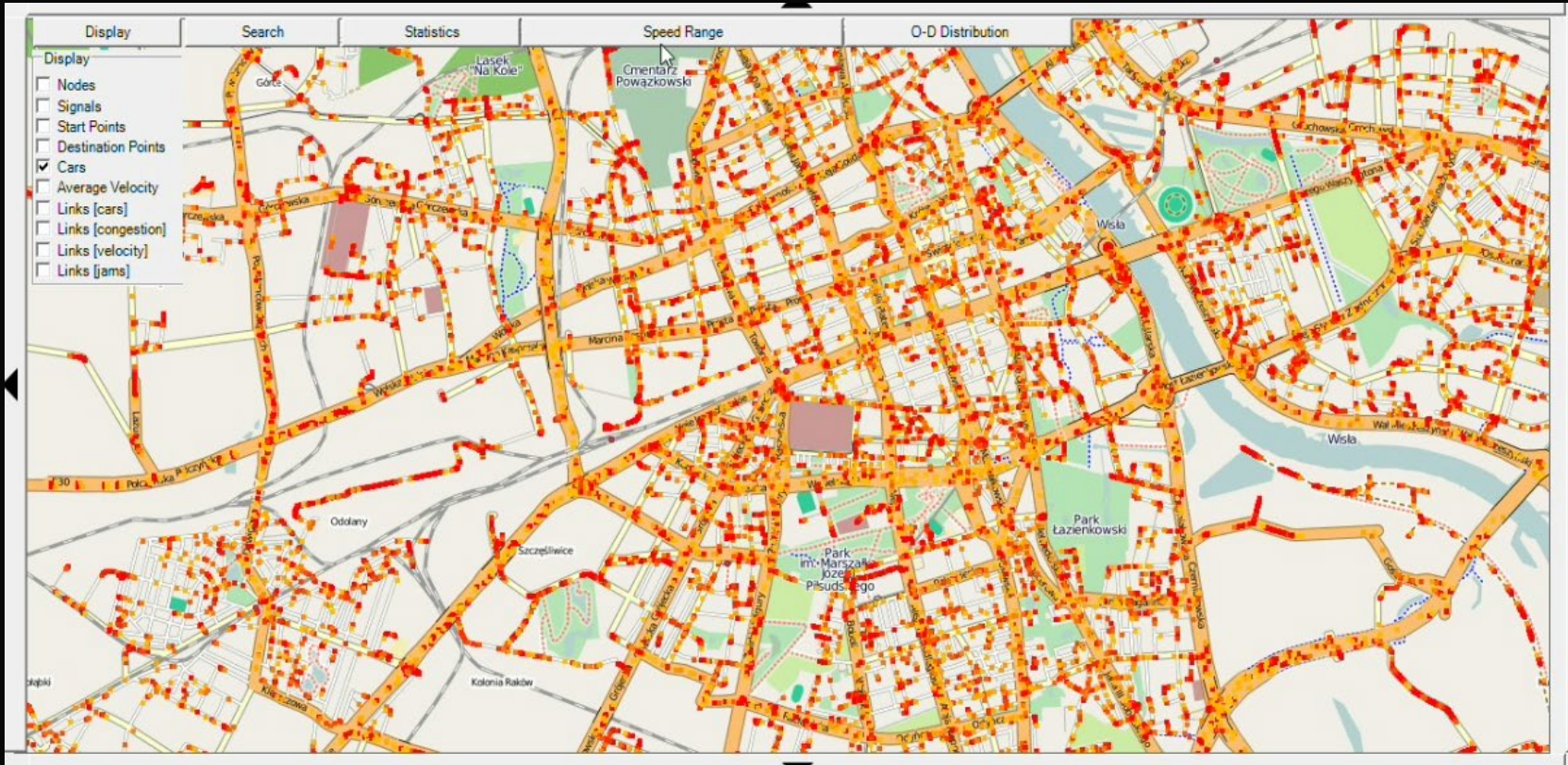
strumień aut (auta na sekundę)



gęstość (liczba aut na metr)

- przy pewnej gęstości krytycznej ruch swobodny się załamuje - spontanicznie pojawiają się korki

Symulator Warszawy



Paweł Gora, MIM UW



Ruch mas ludzkich

Chodzenie gęsiego



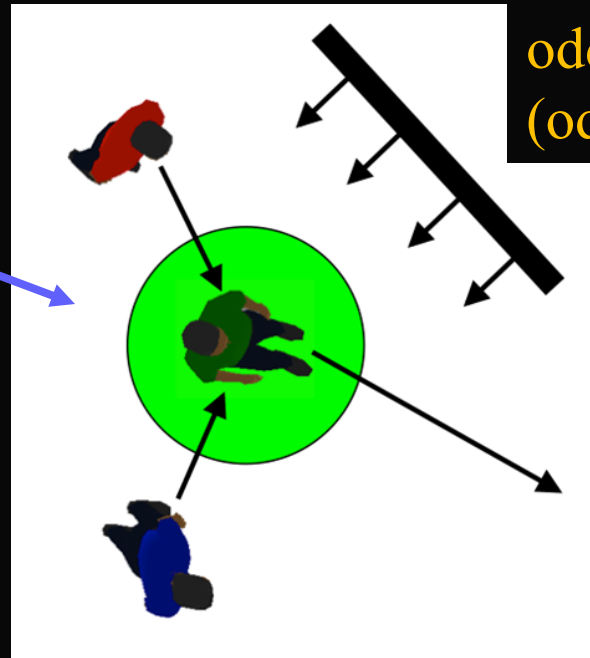
Panika



Model



czynniki zewnętrzne
(pożar etc)



oddziaływanie z przeszkodami
(odpychanie)

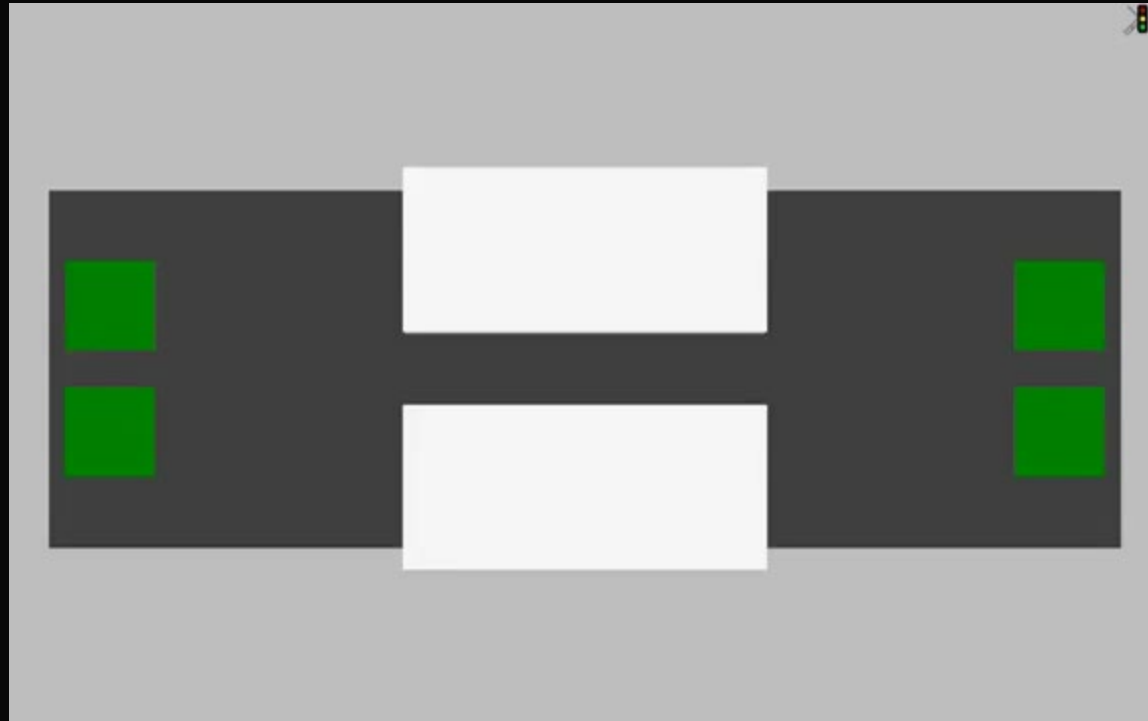
siła przyciągająca w
kierunku celu

oddziaływanie z innymi
przechodniami (odpychanie)

+ losowe fluktuacje

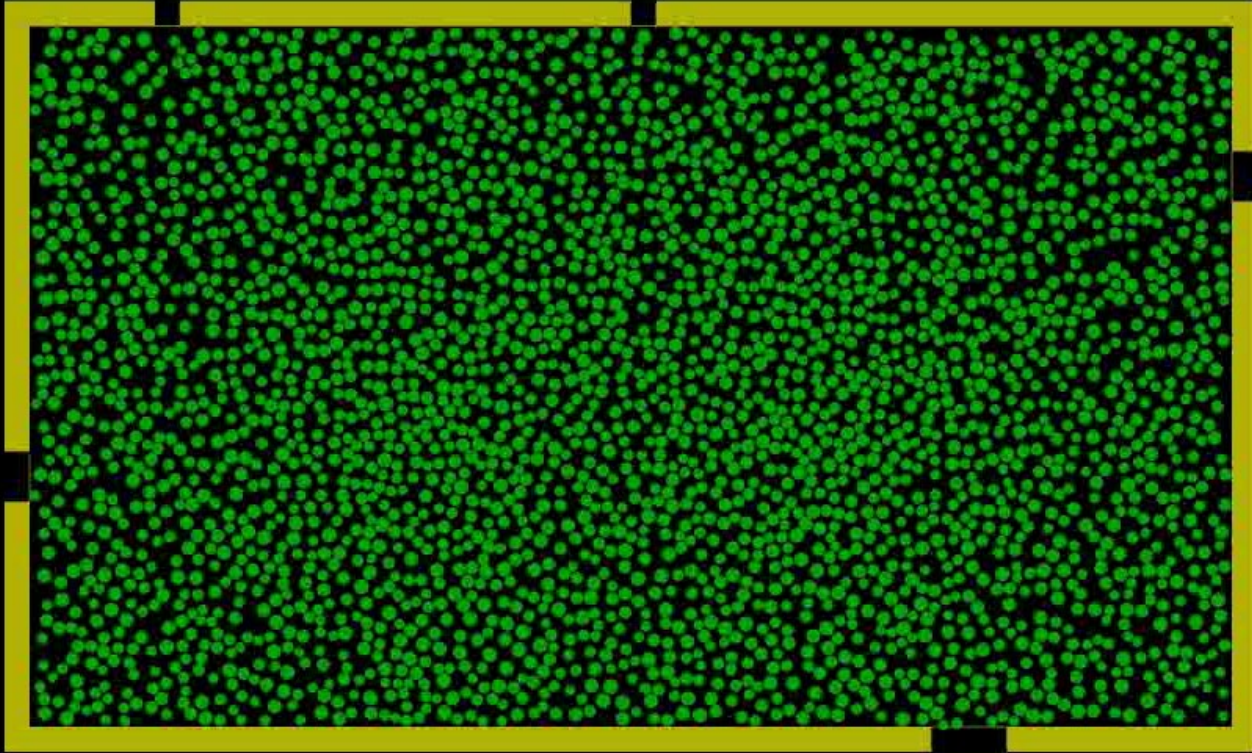
piesi próbują uniknąć przeszkód (w tym innych pieszych)
jednocześnie pragnąc jak najszybciej dotrzeć do celu

Formowanie kolumn



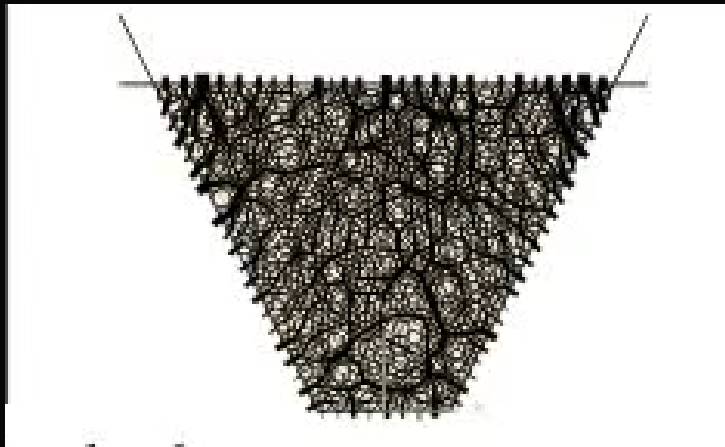
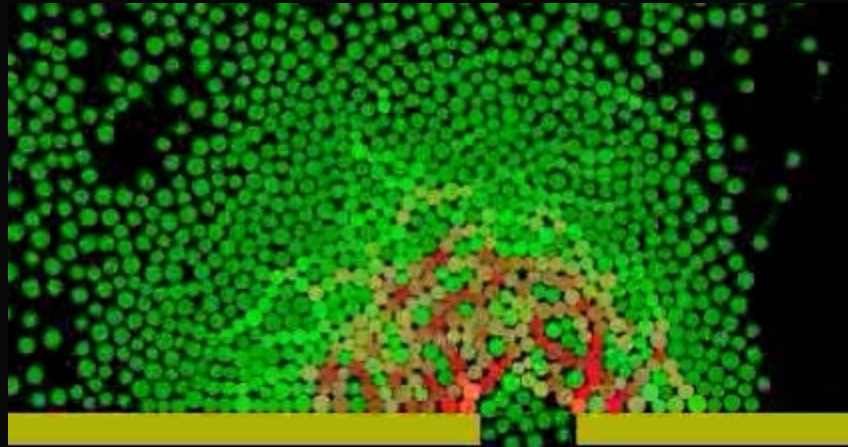
Ruch się samoorganizuje - wyłania się stan charakteryzujący się dużo większą efektywnością transportu od sytuacji, gdy ludzie są rozrzućeni przypadkowo

Panika



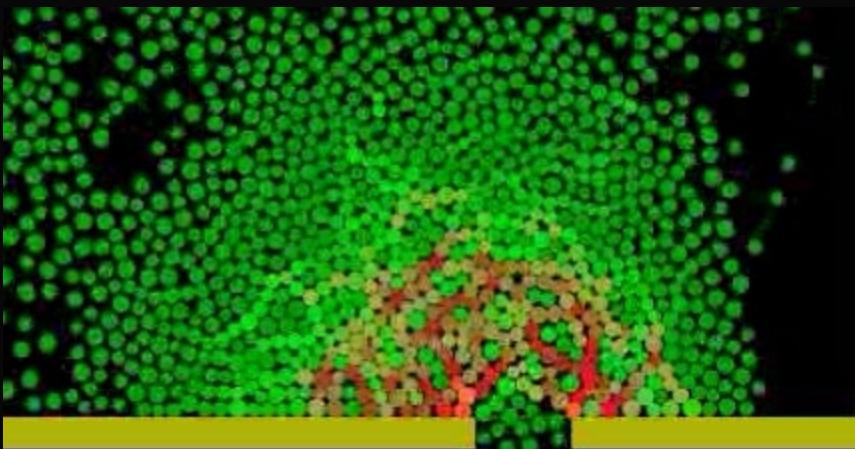
Helbing, D., Farkas, I., & Vicsek, T. (2000). Simulating dynamical features of escape panic. *Nature*, 407(6803), 487.

Łuki sił

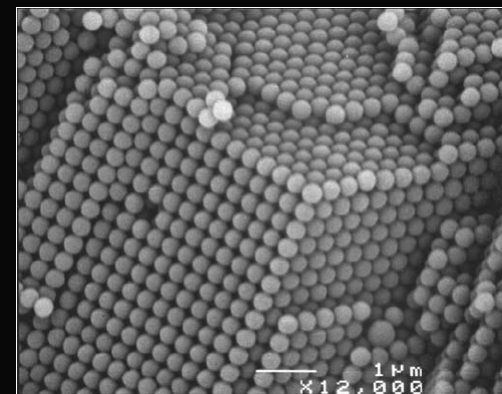
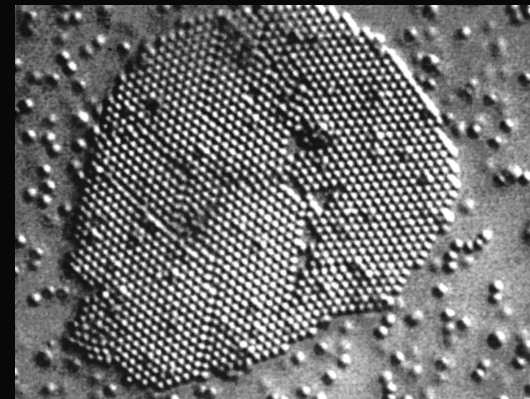


jak w zatkanej solniczce....

Kryształy ludzkie

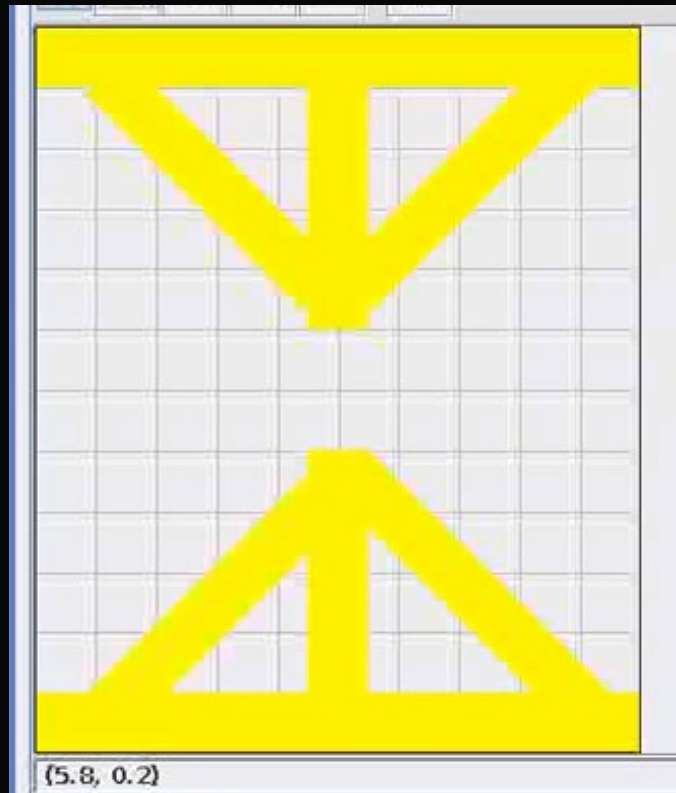


- w gęstym tłumie zakleszczają się -
niemożliwe staje się przecięnięcie
przez innych



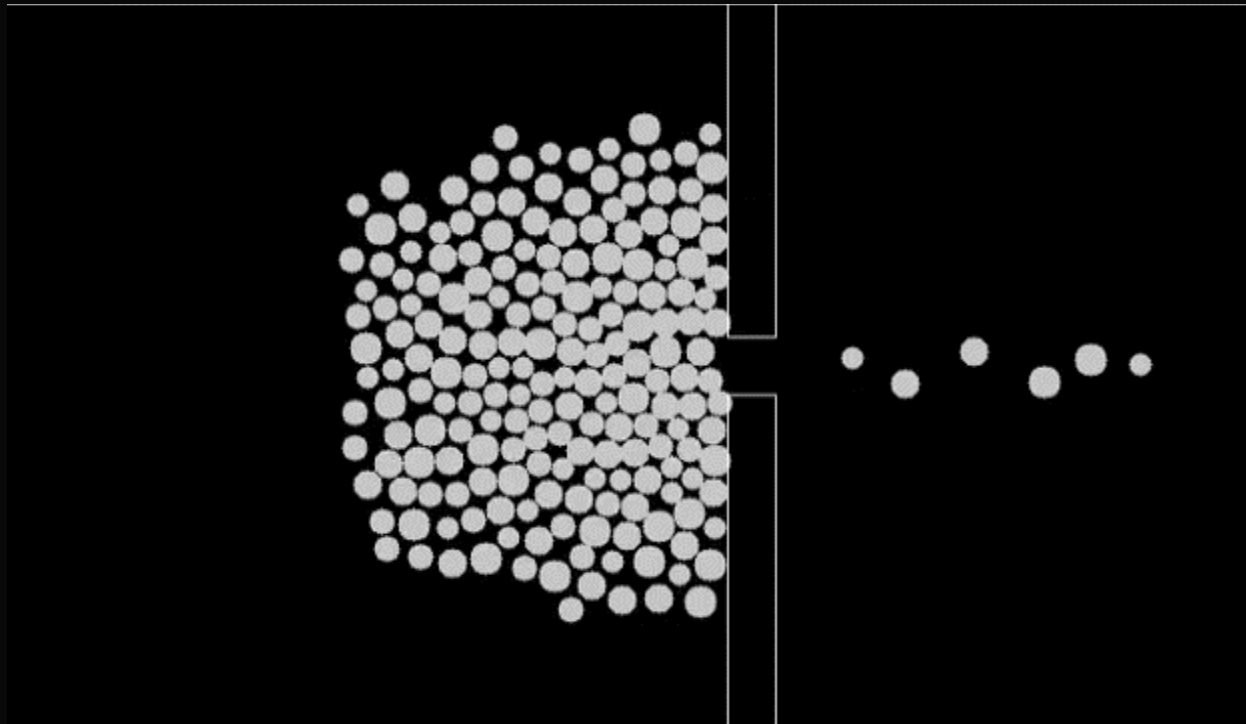
Znów samoorganizacja - tym razem o
konsekwencjach negatywnych

Ruch dwustronny przez drzwi

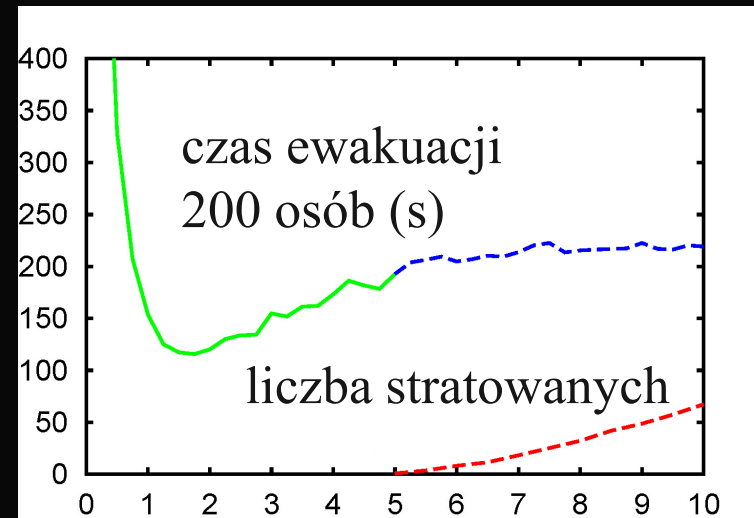
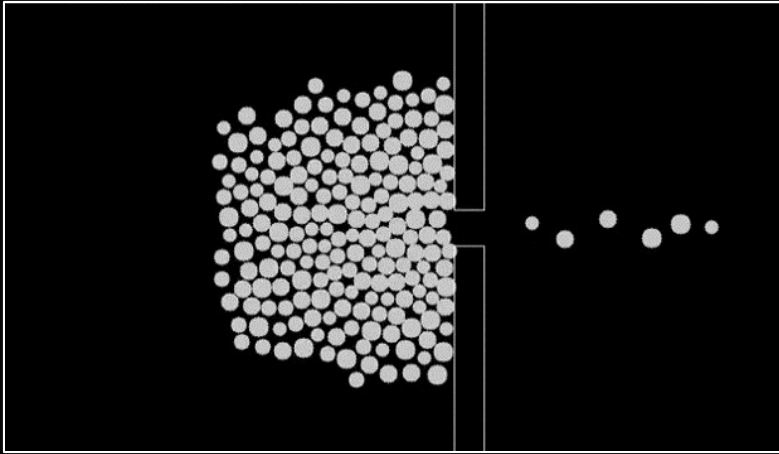


- I znowu samoorganizacja - najpierw idą jedni, potem drudzy
- Lider toruje drogę innym, którzy idą jego śladem

Panika raz jeszcze

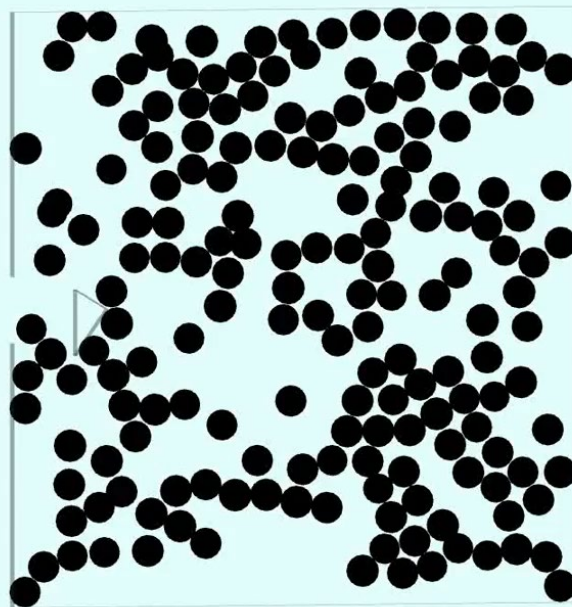
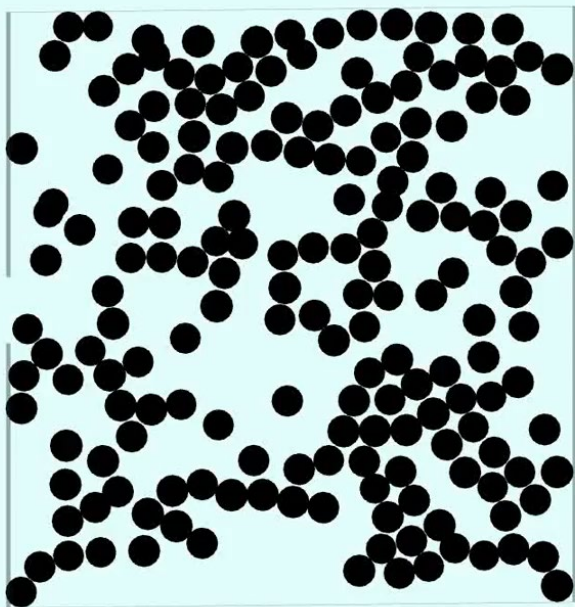


Im szybciej, tym wolniej...



prędkość ucieczki (m/s)

Przeszkoda pomaga!



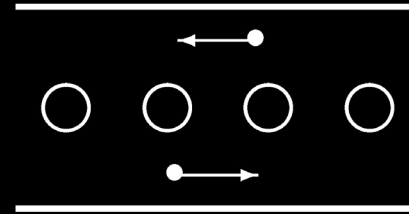
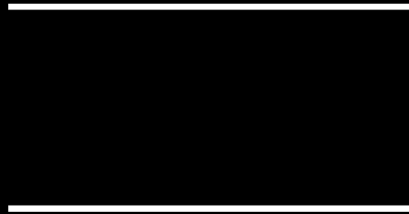
Owcom tež...



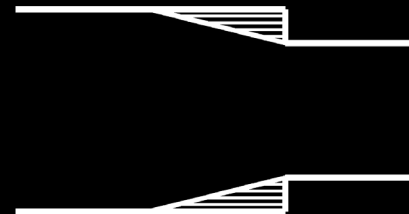
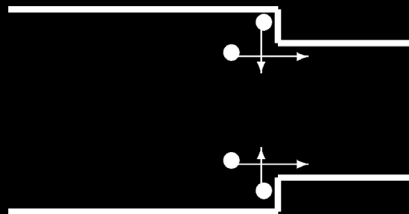
Universidad
de Navarra

Inne wskazówki

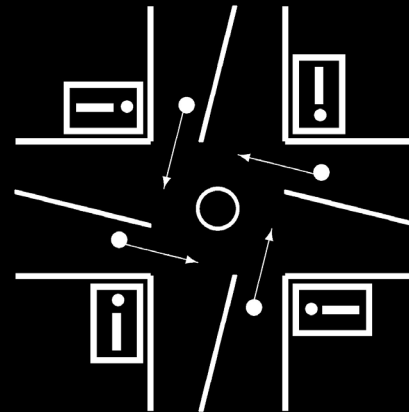
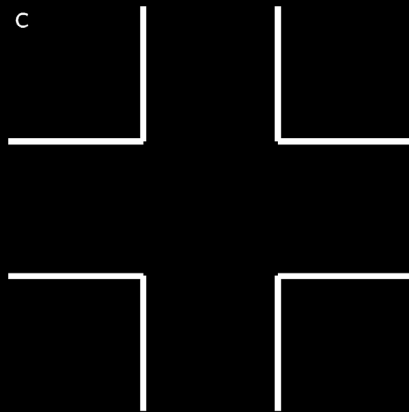
a



b

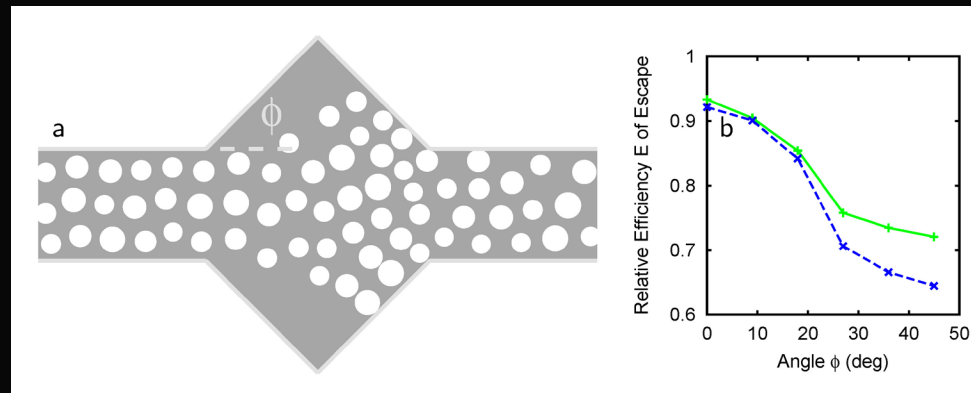


c



Inne wskazówki (2)

zdradliwe rozszerzenia korytarzy:

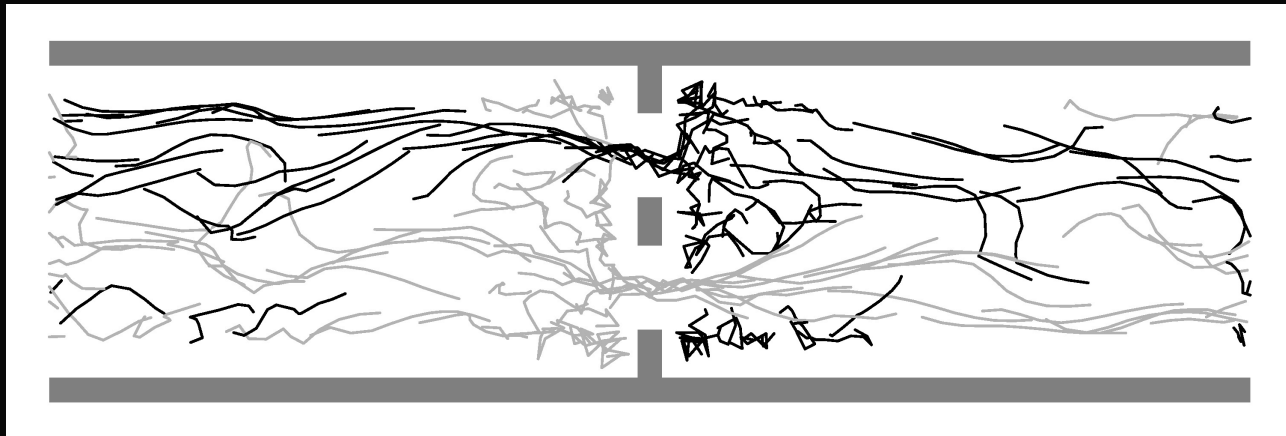


kolumny w przejściach:

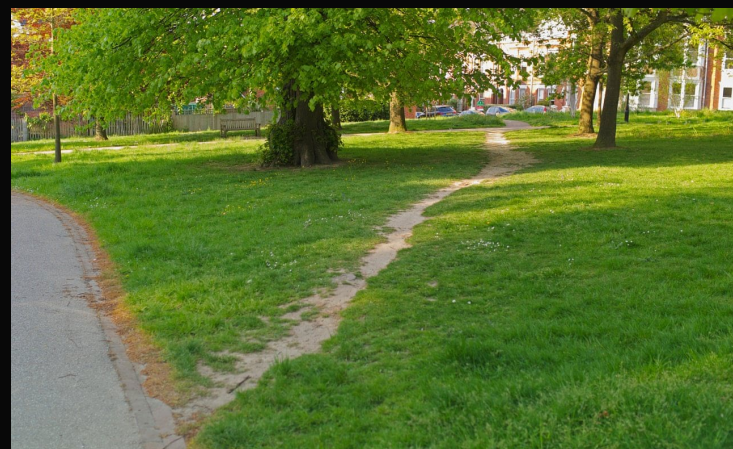


Inne wskazówki (3)

podwójne drzwi:



Ścieżki, którymi chodzą ludzie



Dzikie ścieżki



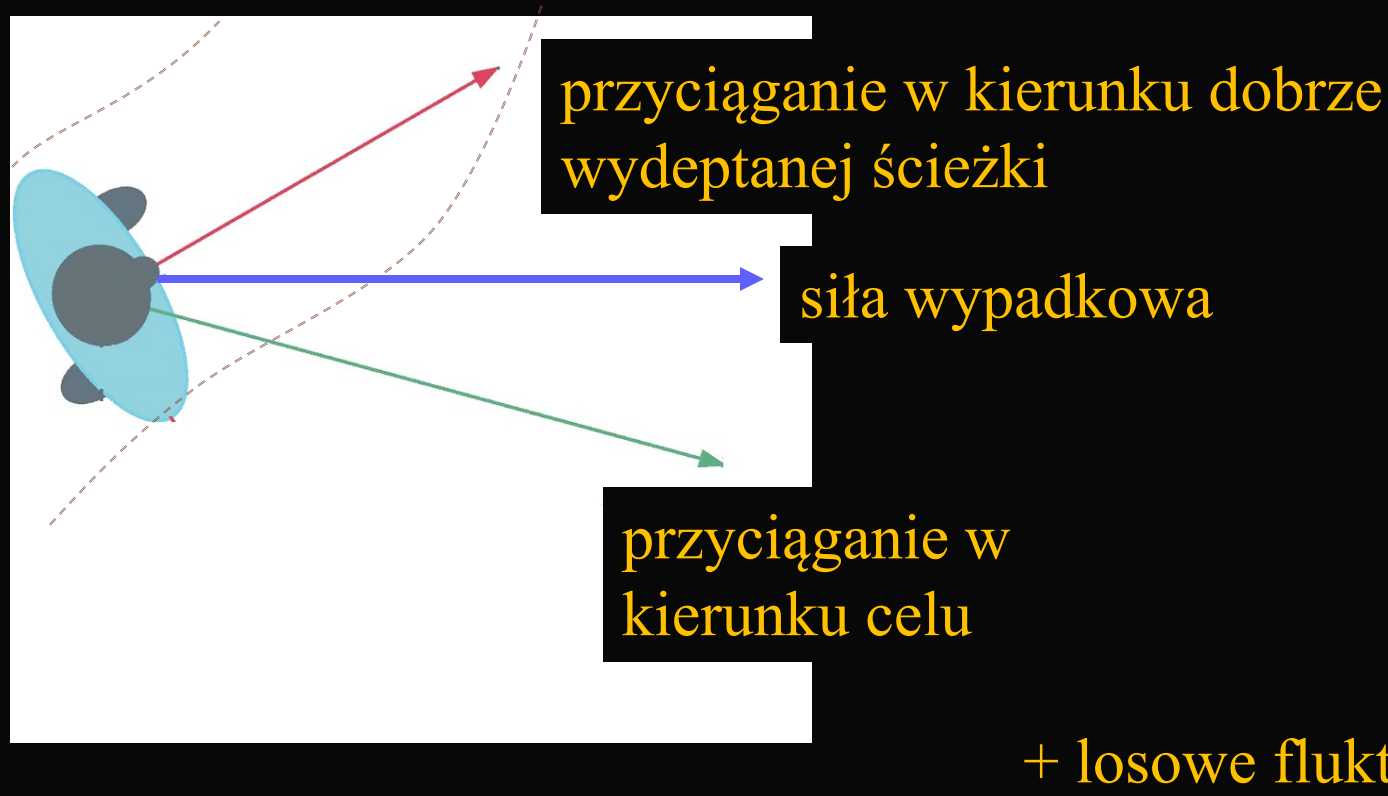
Blokować czy wykorzystać?

Dynamika wydeptywania



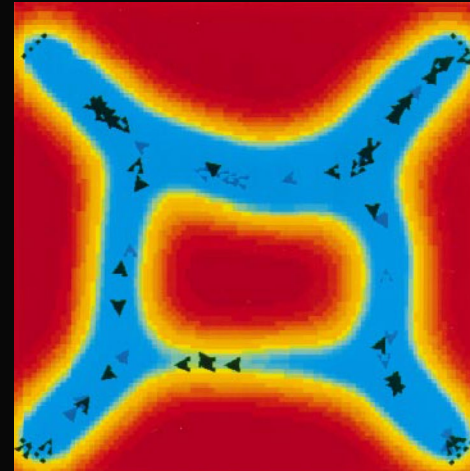
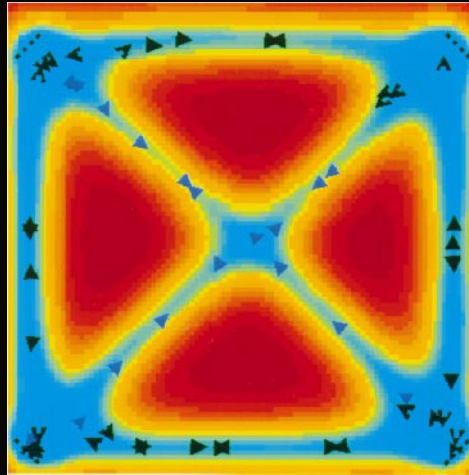
Helbing, D., Keltsch, J. and Molnár, P. (1997) Modeling the evolution of human trail systems. Nature 388,47–50.

Model



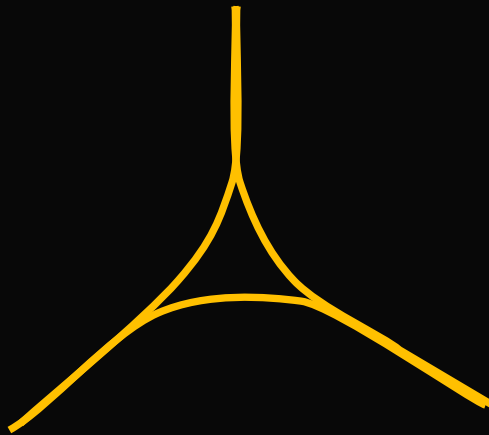
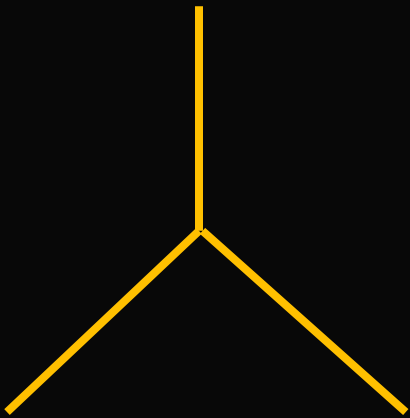
Dodatkowo, zakładamy, że człowiek idąc wydeptuje trawę, co zwiększa atrakcyjność ścieżki dla kolejnych przechodniów

Symulacja



Zastosowanie modelu do układu czterech punktów docelowych pokazuje jak sieć ewoluuje od połączeń bezpośrednich do pewnego rodzaju kompromisu między długością połączeń a sumaryczną długością szlaków

Różne kształty



łatwość chodzenia po niewydeptanej trawie

A może to wykorzystać?



Projektowanie organiczne: Uniwersytet Stanowy w Michigan

Uniwersytet stanowy w Michigan



Podsumowanie

Prostota w złożoności: Pod złożonym ruchem ludzi, zwierząt czy samochodów na szosie mogą czasem kryć się proste reguły



© Francis Pérez