

Migracije živali, od participativne znanosti do genetskih algoritmov

dr. Gregor Belušič, prof. za fiziologijo živali

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

Laško, 16. in 17. april 2025

8. konferenca učiteljev/-ic
naravoslovnih predmetov –
NAK 2025



ZRS
ZAVRATA
REPUBLIKE SLOVENIJE
ZA SOLSTVO



REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA VZGOJO IN IZOBRAŽEVANJE



Sofinancira
Evropska unija

Migracije živali



[nature](#) > [scientific reports](#) > [articles](#) > [article](#)

Article | [Open access](#) | Published: 13 October 2022

First direct evidence of adult European eels migrating to their breeding place in the Sargasso Sea

[Rosalind M. Wright](#) , [Adam T. Piger](#) , [Kim Aarestrup](#), [Jose M. N. Azevedo](#), [George Cowan](#), [Andy Don](#), [Matthew Gollock](#), [Sara Rodriguez Ramallo](#), [Randolph Velterop](#), [Alan Walker](#), [Håkan Westerberg](#) & [David Righton](#) 

[Scientific Reports](#) **12**, Article number: 15362 (2022) | [Cite this article](#)

Opazovanja in fenologija

DOPPS

Prilagoditve na sladko in slano vodo

Energetika migracij

Migracije živali

- ekosistemski pomen

nature

[Explore content](#) [About the journal](#) [Publish with us](#)

[nature](#) > [articles](#) > article

Article | [Open access](#) | Published: 09 October 2024

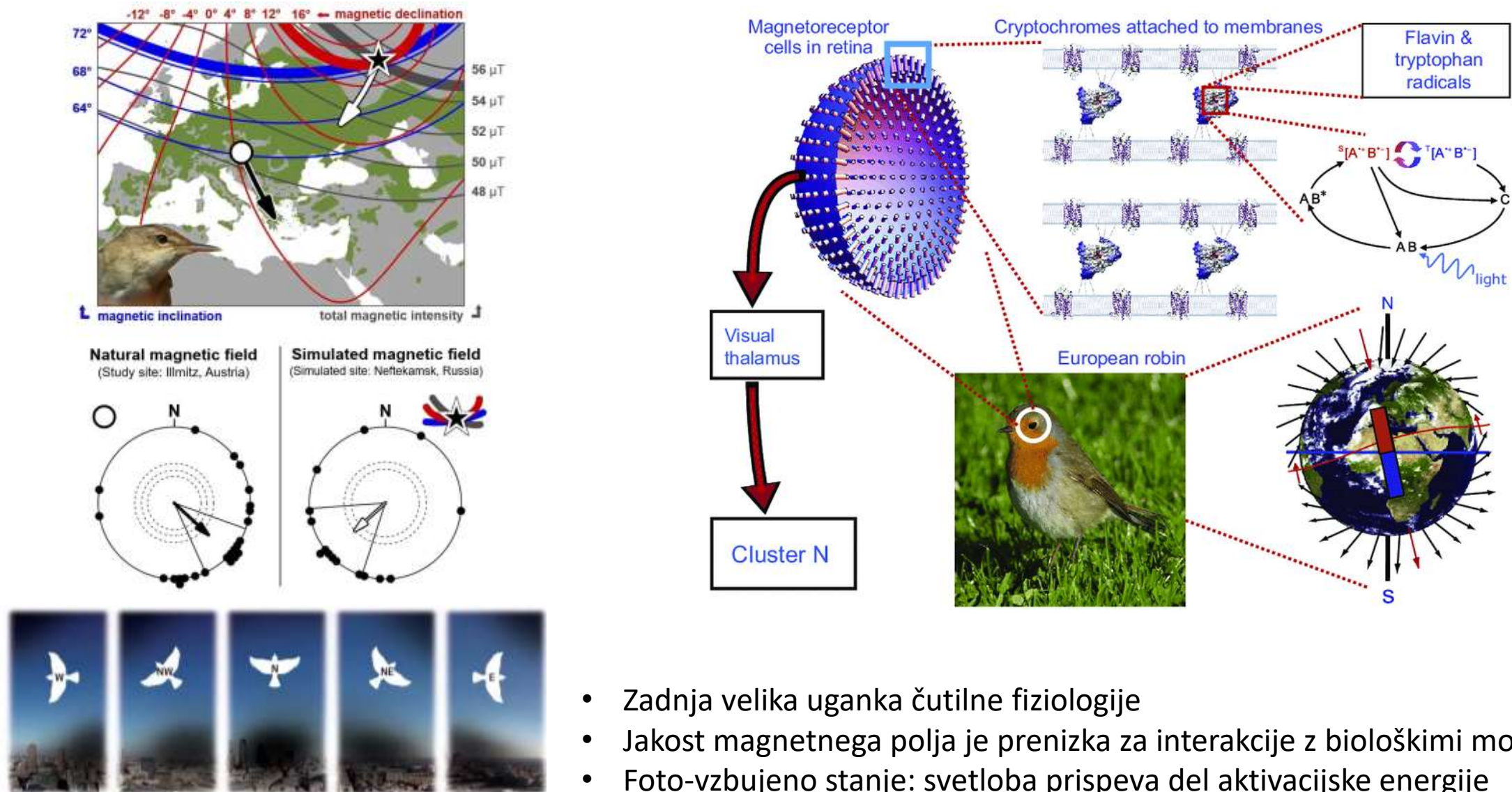
Continental-scale nutrient and contaminant delivery by Pacific salmon

[Jessica E. Brandt](#) , [Jeff S. Wesner](#), [Gregory T. Ruggerone](#), [Timothy D. Jardine](#), [Collin A. Eagles-Smith](#), [Gabrielle E. Ruso](#), [Craig A. Stricker](#), [Kristofer A. Voss](#) & [David M. Walters](#)

[Nature](#) **634**, 875–882 (2024) | [Cite this article](#)

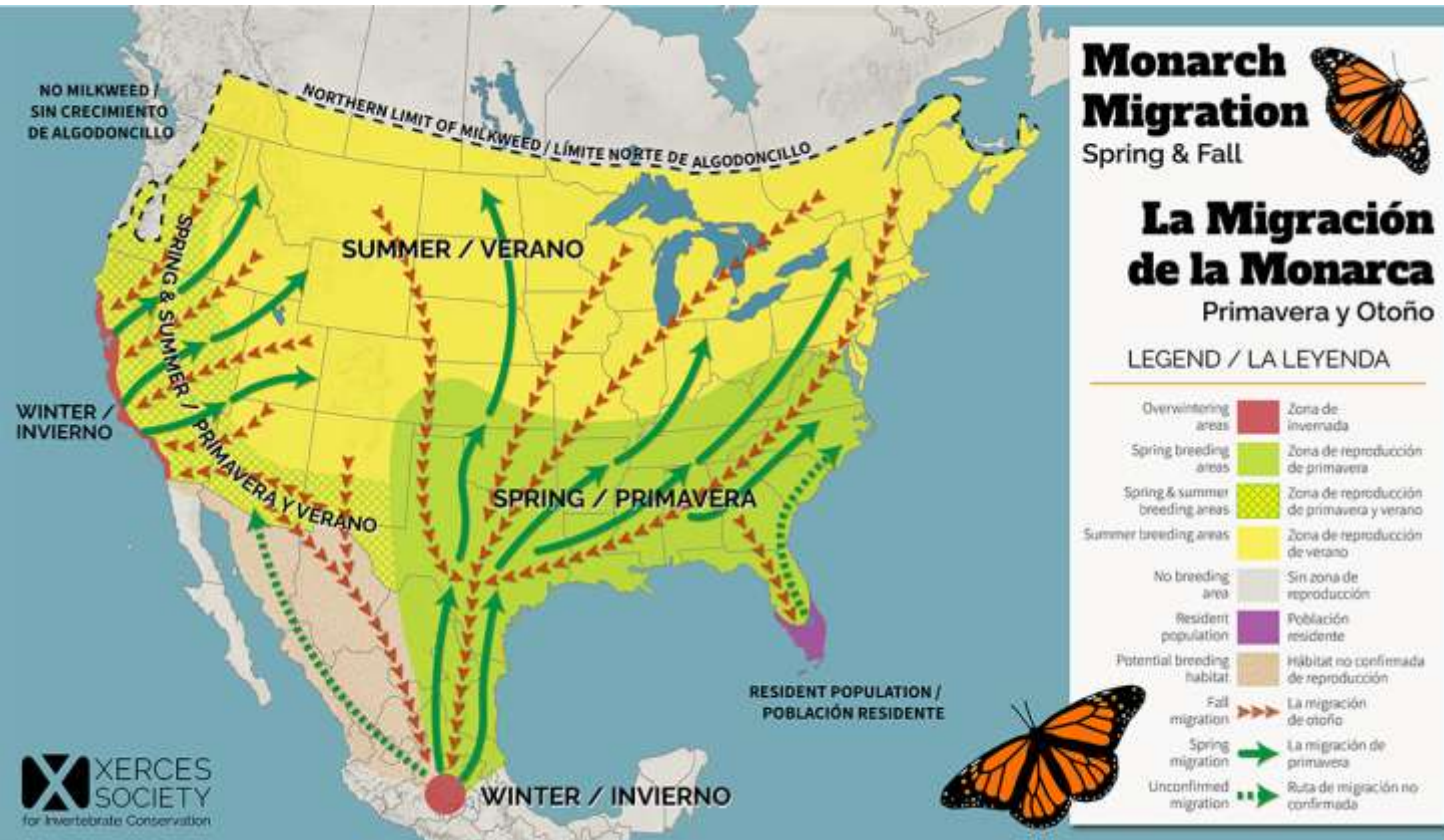


Magnetni čut



- Zadnja velika uganka čutilne fiziologije
- Jakost magnetnega polja je prenizka za interakcije z biološkimi molekulami
- Foto-vzbujeno stanje: svetloba prispeva del aktivacijske energije

Migracije žuželk



Butterflies congregate at a wintering roost in Sierra Chincua, Mexico. The cool mountain climate slows their metabolism and saves energy.

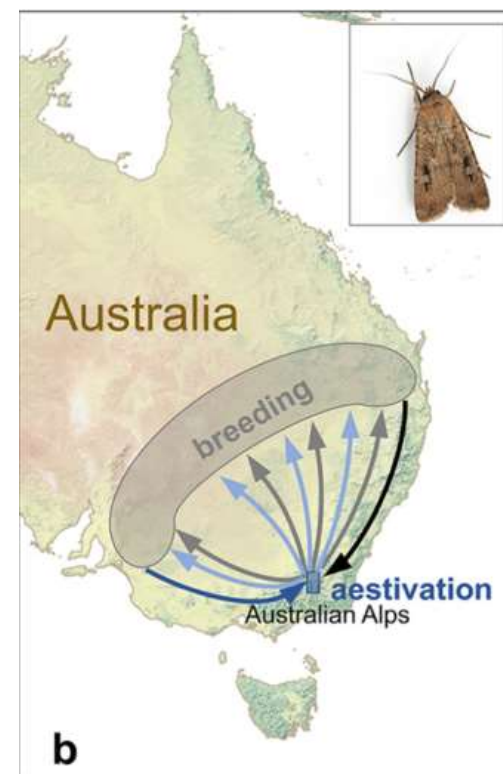
PHOTOGRAPH BY JOEL SARTORE, NAT GEO IMAGE COLLECTION

Danaus plexippus
Monarch

Migracije žuželk



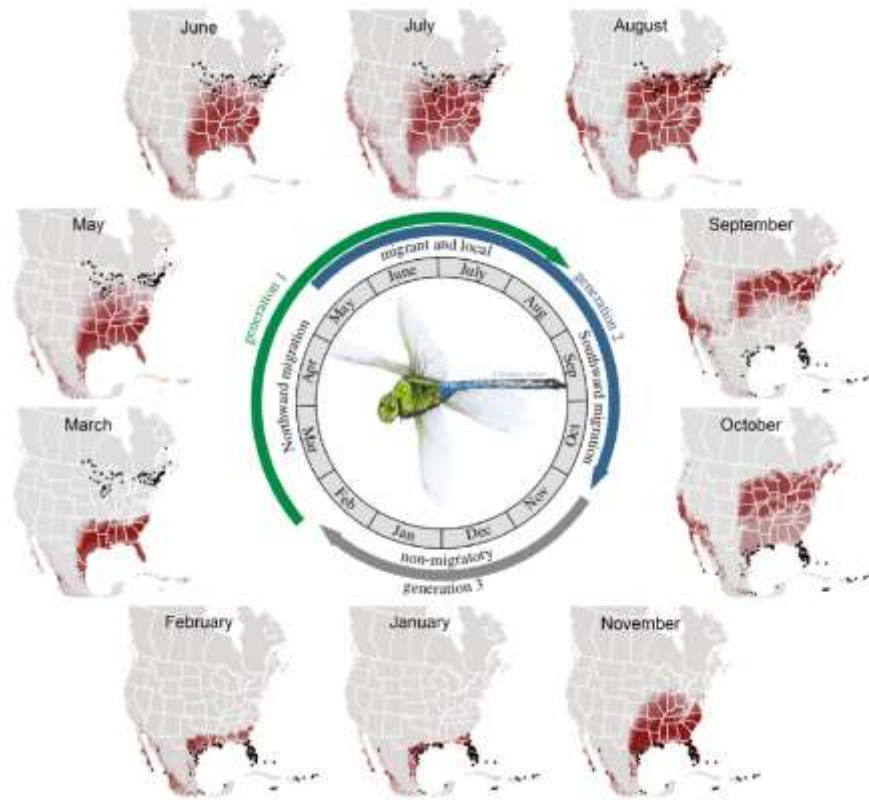
Spodoptera frugiperda
Ameriška koruzna sovka



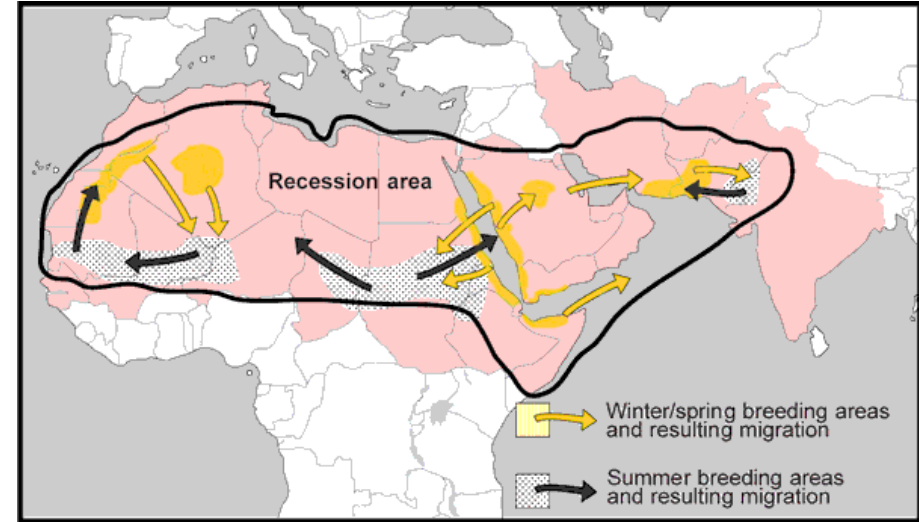
Agrotis infusa
Bogong vešča

Noctua pronuba, trсна sovka

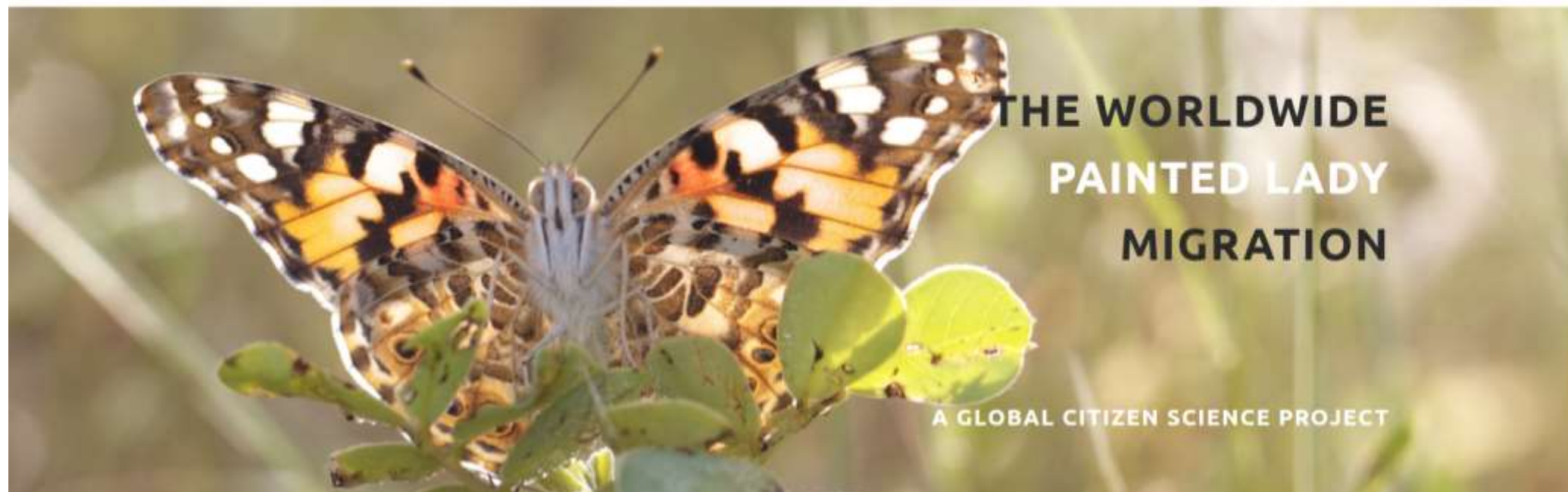
Migracije žuželk



Anax junius
Spremljevalec



Locusta migratoria
Kobilica selka

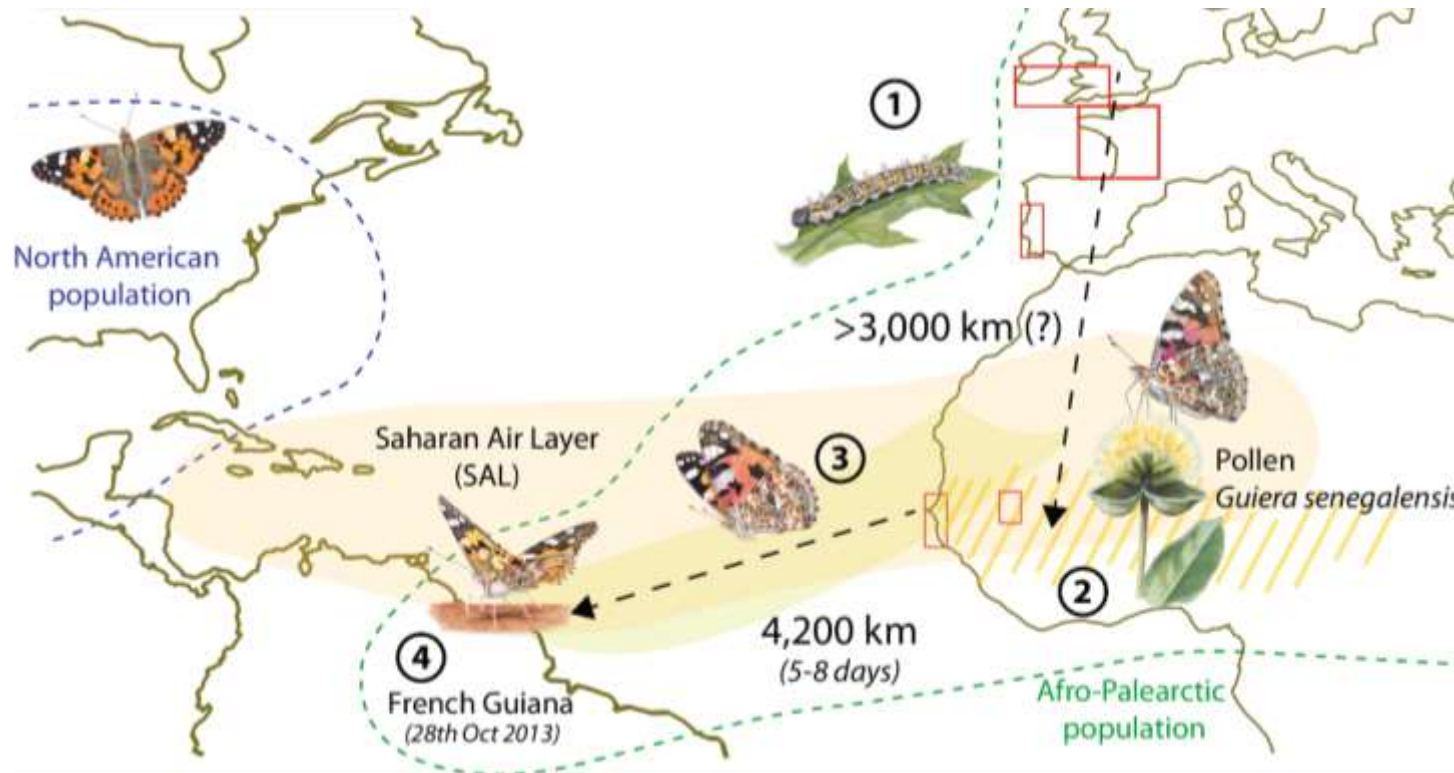


Vanessa cardui

osatnik

Lepidoptera: Nymphalidae / pisančki

Migracije žuželk



Vanessa cardui
osatnik

Suchan, T., Bataille, C.P., Reich, M.S. et al. A trans-oceanic flight of over 4,200 km by painted lady butterflies. Nat Commun 15, 5205 (2024)

Migracije žuželk



Ronaldo
Euro 2016



Autographa gamma
Glagolska sovka



Ronaldo
Portugalska:Slovenija 2024

Migracije žuželk

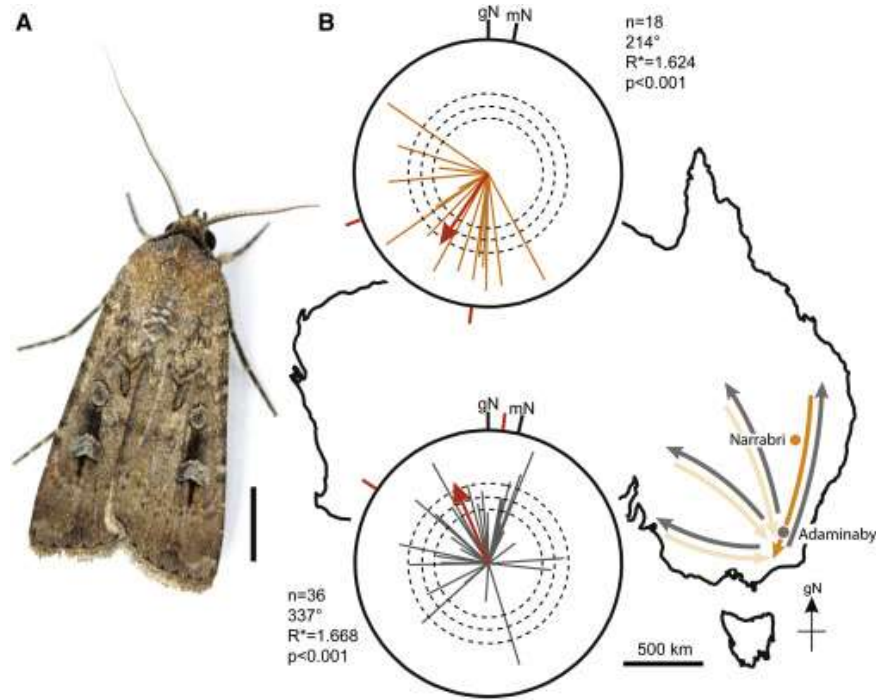


Syrphidae
Trepetavke

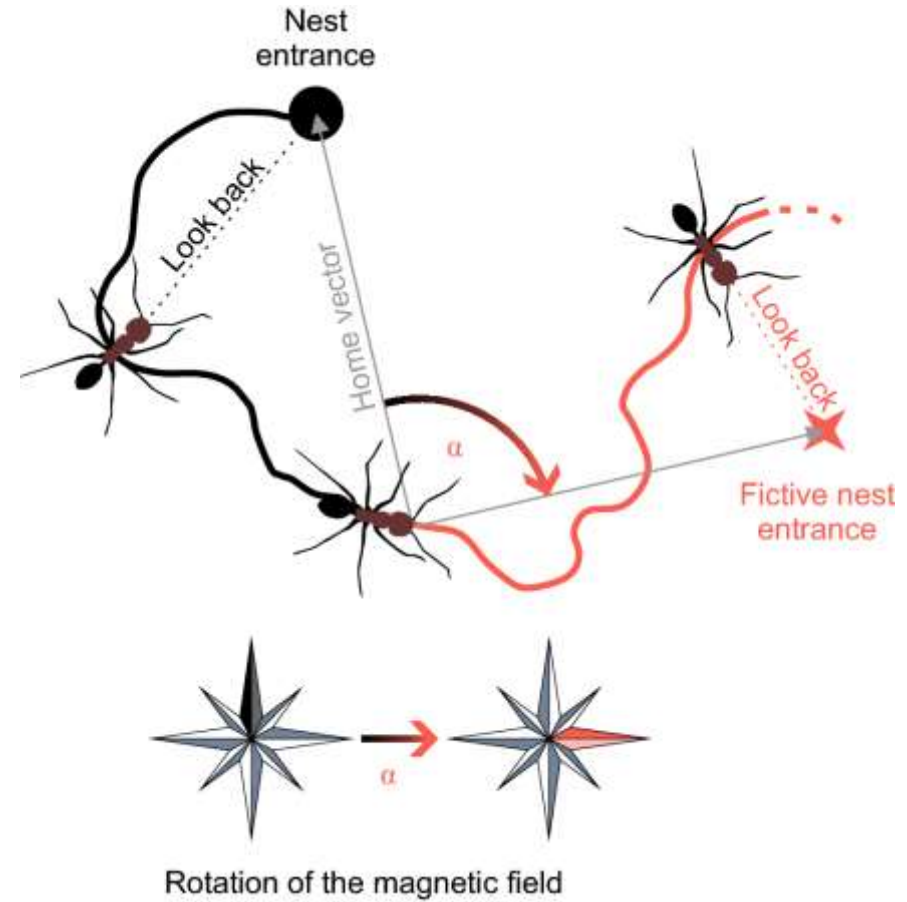


Will Hawkes
Pireneji

Magnetni čut

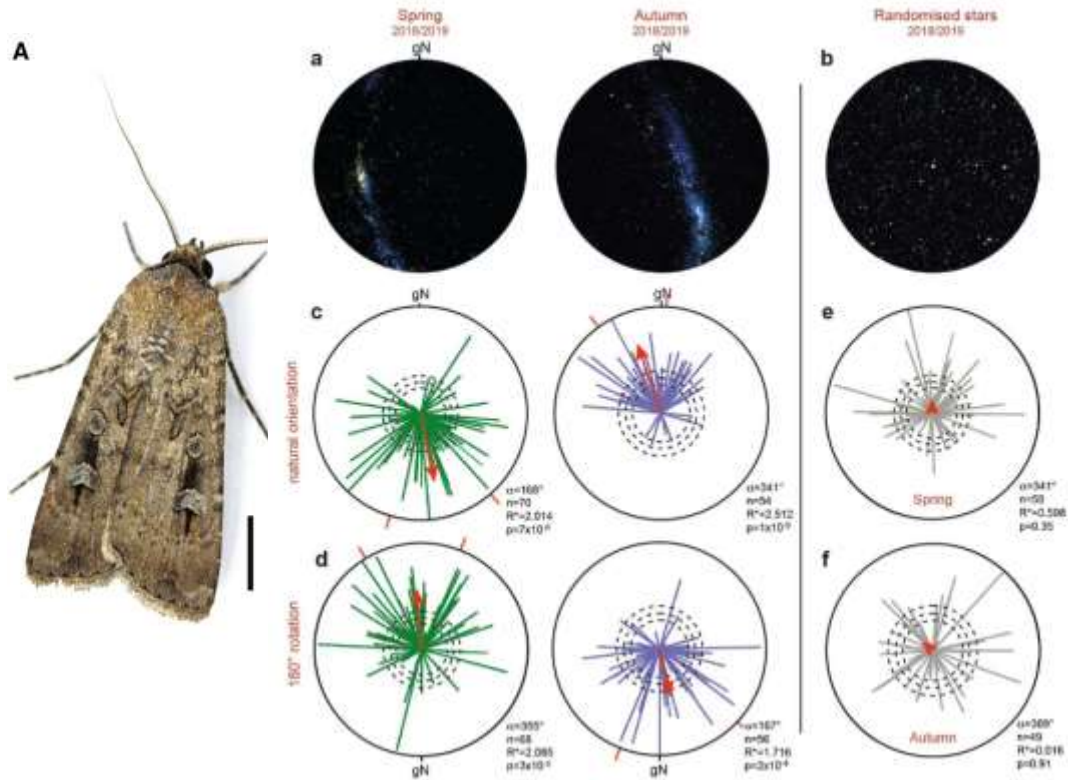


Agrotis infusa
Bogong vešča

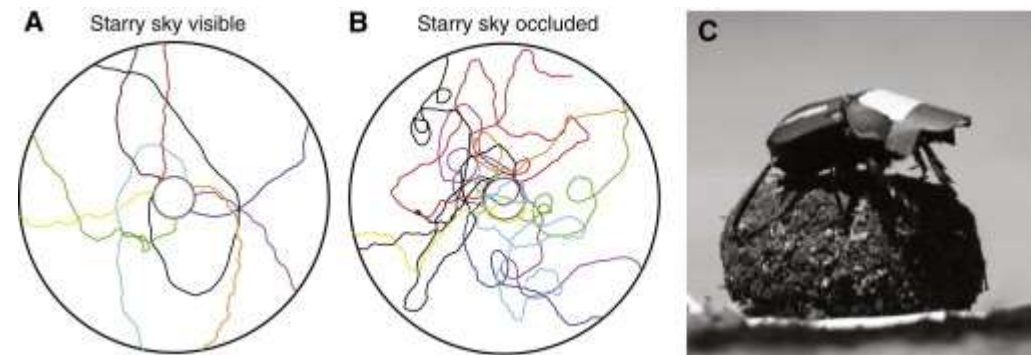


Cataglyphis
Mravlja

Zvezdno nebo

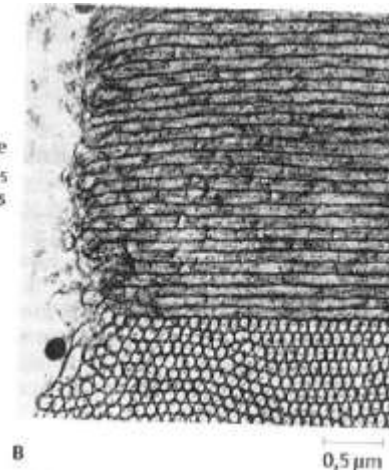
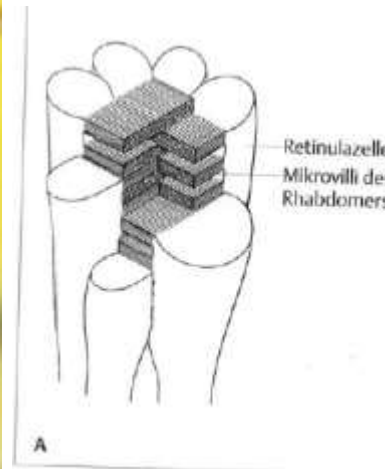
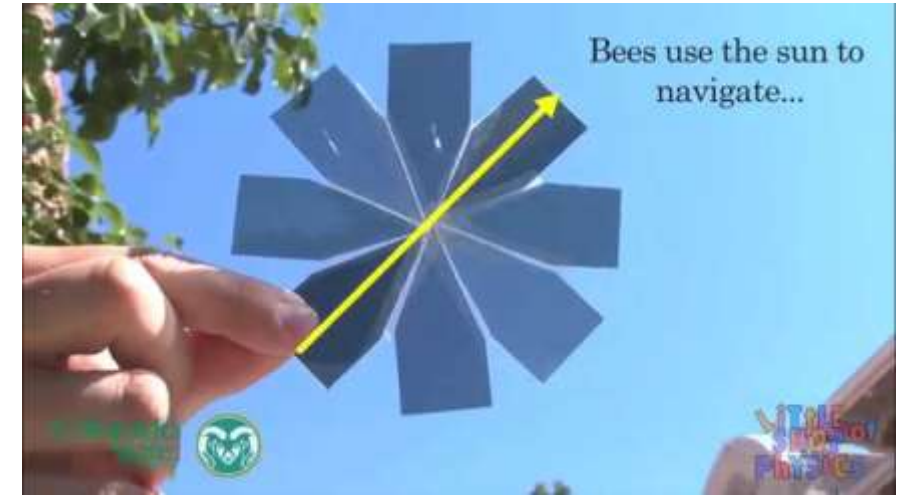
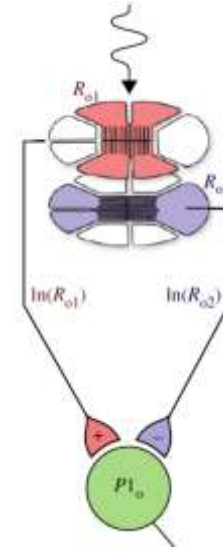
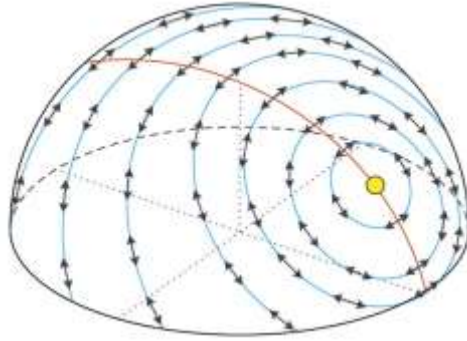
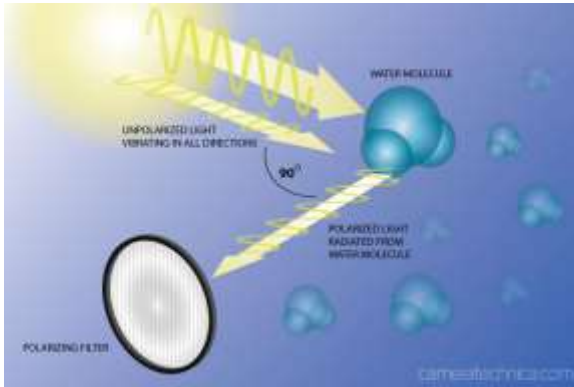


Agrotis infusa
Bogong vešča



Scarabaeus satyrus
Govnač

Polarizirana svetloba na nebu



Kje so shranjeni instinkt, lokacija, zemljevid?

Instinkt / zaporedje dejanj, vedenje
-ki se lahko inhibira, preoblikuje

Filogenetski spomin – vrsta informacij, ki izhajajo iz izkušnje vrste skozi čas



Človeški možgani

1,5 kg = $86 \cdot 10^9$ N + $86 \cdot 10^9$ G

20.000 sinaps na celico

Deterministična zgradba

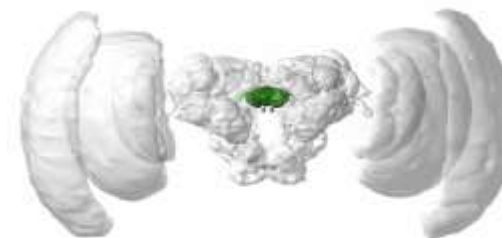
Kje je načrt?

Genom: 20.000 genov +
regulatorna RNA = 46.000
kodirajočih genov



Monarh, *Danaus plexippus*

1 g celotno telo, možgani $\sim 10^6$ nevronov (?)

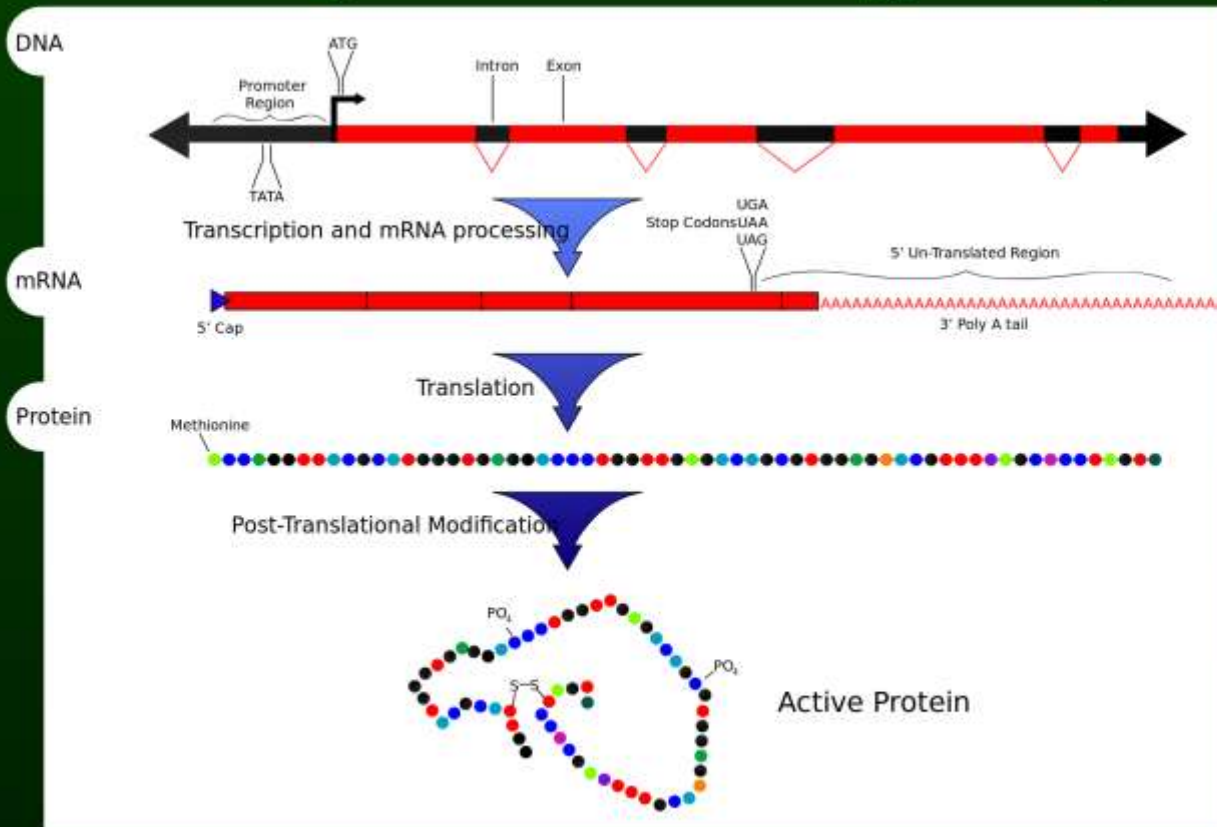


Filogenetski spomin

Vnaprej določene povezave med nevroni ali **učenje** nevedne mreže?

Nature vs. nurture

Central Dogma of Molecular Biology : Eukaryotic Mode



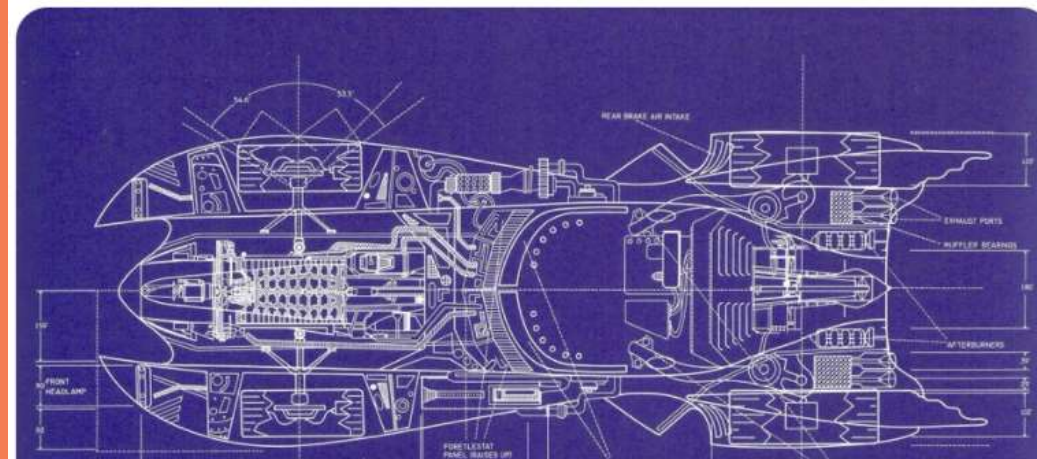
Adenosine, English Wikipedia, CC BY-SA 2.5,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=32026515>



Simon E. Fisher
 @ProfSimonFisher

Your genome is not a blueprint.

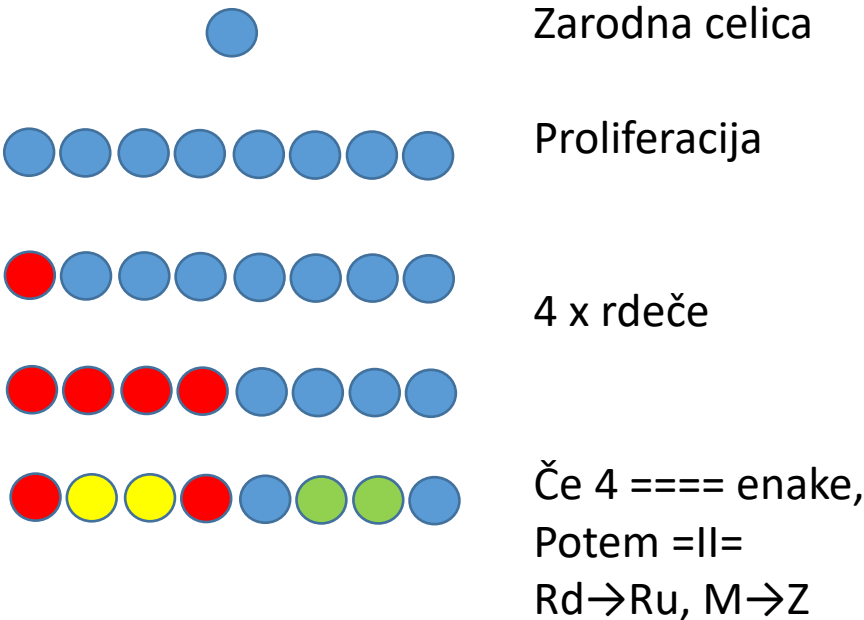
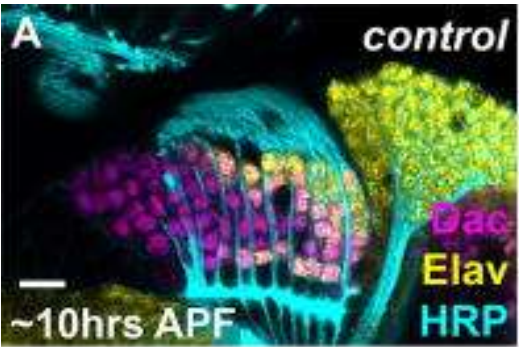
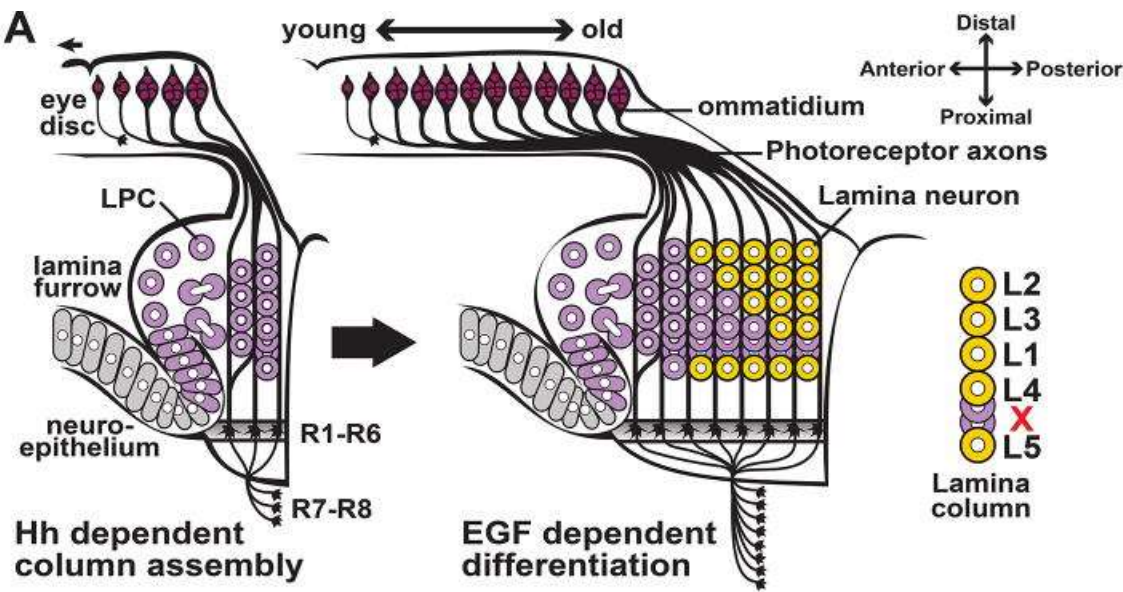
DNA is often referred to as a "blueprint for life". A blueprint is an architect plan, technical drawing or engineering design. Like a blueprint, DNA contains information to guide construction, in this case of a living organism. Beyond that, the analogy rapidly breaks down...2/11



...For blueprints, there's direct 1-to-1 mapping between each element of a design/drawing & its counterpart in the final constructed product. "DNA as a blueprint" implies that individual genes show 1-to-1 mapping with different parts of a body and/or its functions. Not so...3/11



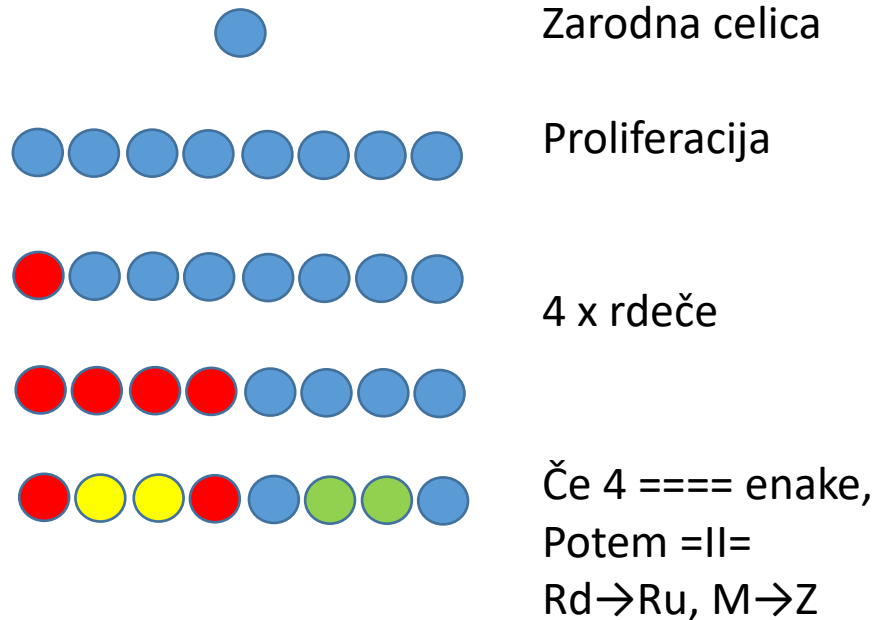
Namesto načrta: Genom vsebuje navodila za rast, razvoj, diferenciacijo



= razvojni program, algoritem

Fernandes et al. Science 2017

Načrt + rast, razvoj, diferenciacija



= razvojni program, algoritem

2000-3000 transkripcijskih faktorjev
Povratne zanke, nekodirajoča DNA, RNA, ...

Informacija je vsebovana v navodilih za rast

Edini način, da iz skupka preprostih navodil nastane kompleksen končni rezultat je pustiti **čas za rast in razvoj**, v kar je vložene **ogromno energije in sredstev** – informacije niso nikoli poceni

GENOM NE VSEBUJE PODATKOV, KI DOBESEDNO OPISUJEJO MOŽGANE, temveč RAZVOJNI NAČRT za njihov nastanek



Celica oblike [63273183521], na naslovu [212444,927682,129829]

Algoritemsko kodiranje informacij

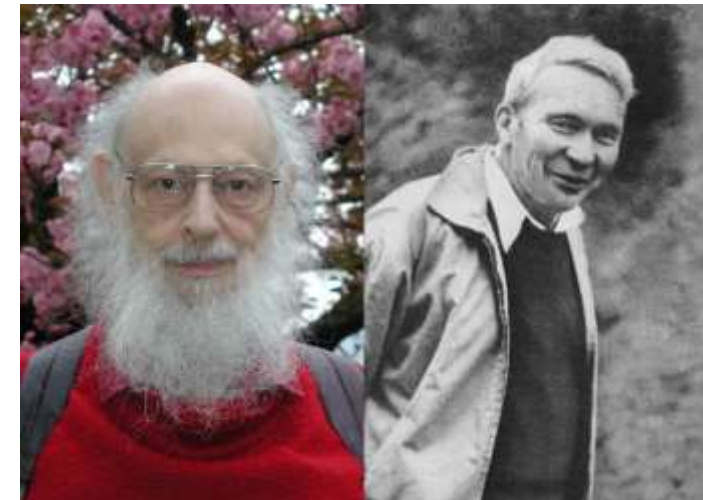
0
↓
00000000
↓
11110000
↓
101100001101

Niz 1: 00000000001111111111
Dobeseden zapis: 00000000001111111111
Algoritem: $10^*0, 10^*1$

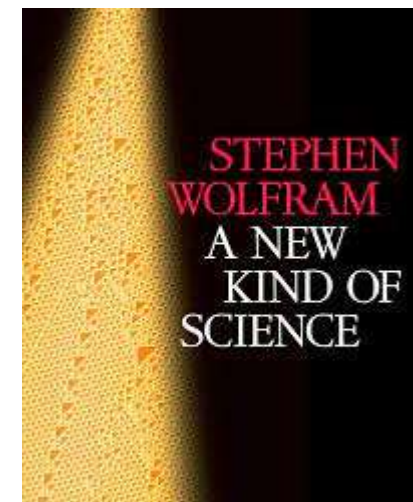
Niz 2: 01101000101101001110
Dobeseden zapis: 01101000101101001110
Algoritem ??: 01101000101101001110 ??

Kolmogorova kompleksnost

Niz z visoko K. kompleksnostjo terja veliko prostora za dobeseden zapis. Kaj pa, če ga kodiramo drugače?



Ray Solomonoff Andrej Kolmogorov



Stephen Wolfram

Algoritemsko kodiranje informacij / Pravilo 110

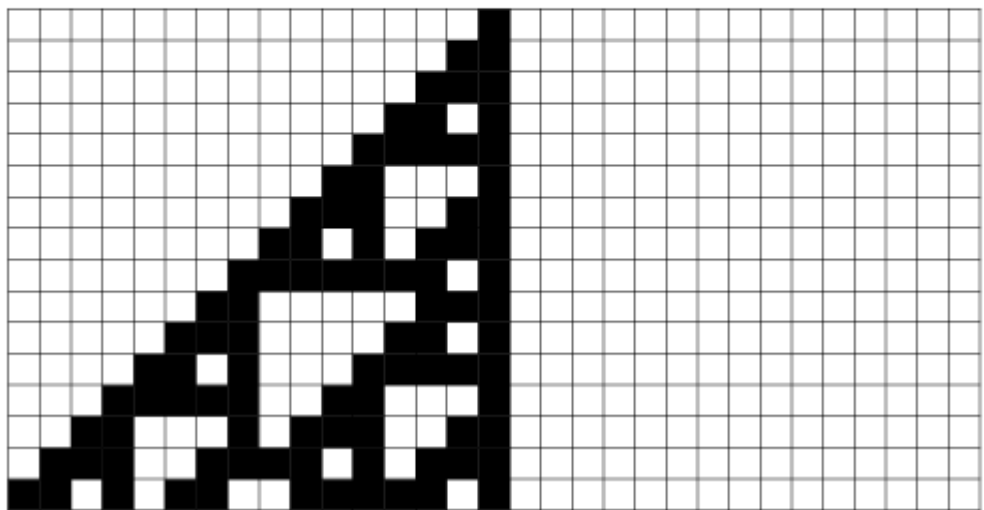
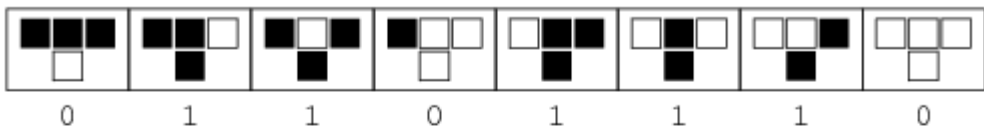
Niz se razvija tako, da pravilo določa potomce glede na predhodni niz v bralnem okvirju

Triplet	111	110	101	100
Novo stanje	0	1	1	0

011	010	001	000
1	1	1	0

rule 110

current automaton contents



rule 110 (01101110)



the next generation of the automaton



Mathew Cook in Stephen Wolfram

Pravilo 110:

Na meji stabilnosti in kaosa
Turingovo-popoln sistem
Sposoben kateregakoli izračuna

Edini način, da izvemo, kakšna je
vrednost v npr. 2034-tem koraku

je, da pustimo, da se program,
algoritem odvrta do konca
- ni nobene bližnjice!

*Matematika nima orodja
za neposredni izračun
vrednosti v poljubnem
koraku*

Algoritmi niso klasične
matematične funkcije



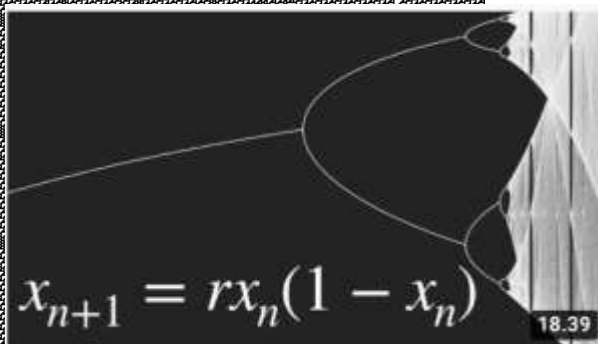
The Simplest Math Problem No One Can Solve - Collatz Conjecture

14 mio. ogledov • pred 2 mesecema

Veritasium

Special thanks to Prof. Alex Kontorovich for introducing us to this topic, filming the interview, an

4K Podnapisi



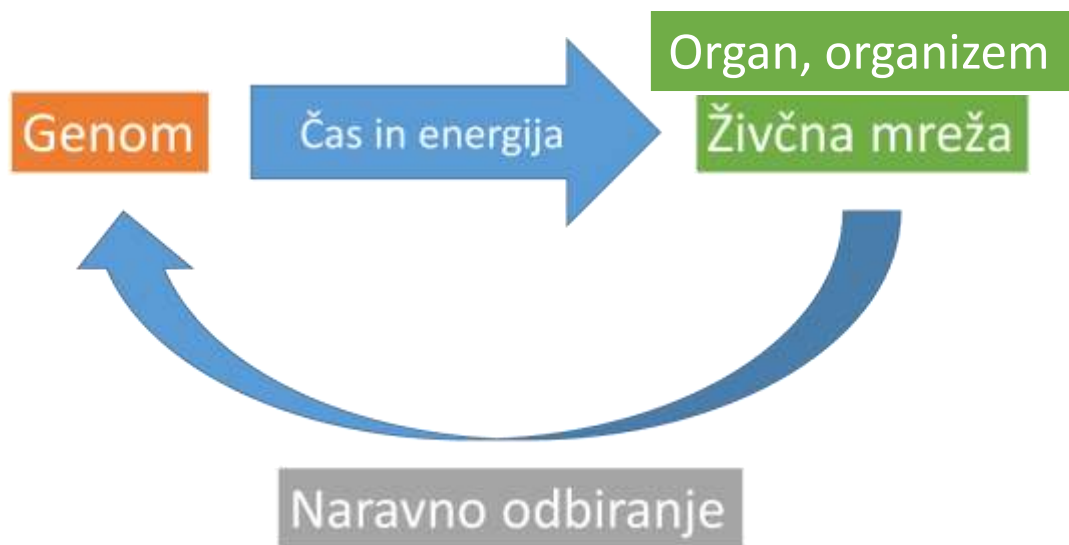
This equation will change how you see the world (the logistic map)

11 mio. ogledov • pred 1 letom

Veritasium

References: James Gleick, Chaos Steven Strogatz, Nonlinear Dynamics and Chaos May, R. Simpl

Podnapisi



1. Genom vsebuje **razvojni načrt**, ne dobesednih opisov
2. Informacije iz genoma se lahko **odkodirajo** samo v **procesu rasti** in razvoja
3. Ta proces je v bistvu enak algoritemskemu razvoju
4. V algoritmihi ne moremo preskočiti stopenj razvoja in po bližnjici napovedati rezultat v n -tem koraku, temveč lahko rezultat izvemo samo, če pustimo, da se algoritem odvrti od začetka do koraka n
5. Izid je torej **nenapovedljiv**, pa vendarle **determinističen** (---podobnost pri enojajčnih dvojčkih)
6. Ker ni bližnjic, je edina možnost za spreminjanje izida na smiseln način
- evolucija razvojnega algoritma z **naravnim odbiranjem**
7. **Edina pot do kompleksnih (bioloških) sistemov je evolucija z naravnim odbiranjem**
8. **Ni nikakršnih bližnjic**