

Προς μία Διδακτική του Χάους και της Πολυπλοκότητας

Δρ. Αριστοτέλης Γκιόλμας.
Φυσικός, ΕΔΙΠ.
Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης,
Πανεπιστήμιο Αθήνας.

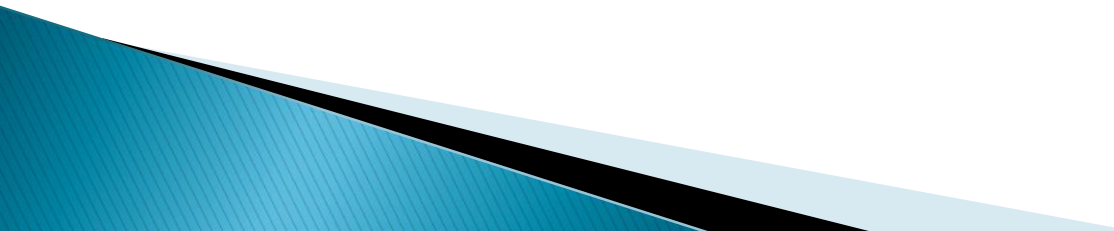
agkiolm@primedu.uoa.gr

Ποιοι είμαστε

- ▶ Ομάδα επιστημόνων και ερευνητών από το Πανεπιστήμιο Αθήνας και εκτός αυτού.
- ▶ Έδρα : το Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου της Αθήνας. Συγκεκριμένα: α) το Παλιό κτίριο του Χημείου στη Ναυαρίνου και β) το Μαράσλειο ΔΔΕ.
- ▶ Διευθυντής Εργαστηρίου ASEΛ: ο καθηγητής ΠΤΔΕ ΕΚΠΑ κος Κωνσταντίνος Σκορδούλης (Φυσικός).

▶ Τα μέλη της Ομάδας:

- Αριστοτέλης Γκιόλμας, Φυσικός.
- Άνθιμος Χαλκίδης, Φυσικός και καθηγητής Πληροφορικής
- Αρτεμησία Στούμπα, Χημικός και καθηγήτρια Πληροφορικής.
- Κώστας Καραμάνος, Φυσικός, ερευνητής.
- Παναγιώτης Λάζος, Φυσικός.
- Βασίλης Μιχαλόπουλος, Φυσικός

- John Balwit, Φυσικός και προγραμματιστής, Portland State University.
 - Μαρία Παπακωνσταντίνου, προγραμματίστρια Η/Υ (Πανεπιστήμιο Πειραιώς)
 - Zafar Iqbal (προγραμματιστής Η/Υ και μηχανικός λογισμικού. Ιδιωτικός τομέας)
- 

Το ερευνητικό μας πεδίο:

- ▶ Εδώ και περισσότερα από δώδεκα χρόνια, εστιάζουμε το ένα από τα δύο σκέλη της έρευνάς μας στο: «γιατί» και στο «πώς» πρέπει να διδάσκονται στοιχεία από τα Πολύπλοκα Συστήματα (κυρίως) και από το Χάος και τα Fractals (δευτερευόντως).

Επιπρόσθετα μελετάμε «**ποια**» είναι τα στοιχεία αυτά που αξίζει και έχει νόημα να διδαχτούν.

- ▶ Ουσιαστικά προσπαθούμε να αναπτυχθεί περαιτέρω ένας κλάδος της Επιστήμης που στην Ελλάδα έχει μικρή ιστορία και είναι: η «Διδακτική της Πολυπλοκότητας (και του Χάους)»

Ο διττός στόχος του Εργαστηρίου μας

- ▶ Αφ' ενός επιδιώκεται η διάχυση (diffusion) της επιστημονικής γνώσης, και ειδικότερα της φυσικής και των φυσικών Επιστημών, προς το ευρύ κοινό.
- ▶ Αυτή η διάχυση είναι πολύ πιο σύνθετη και απαιτεί πολύ πιο επιστημονικούς όρους και κανόνες από την απλά αποκαλούμενη «εκλαϊκευση».
- ▶ Αφ' ετέρου επιδιώκουμε οι υποψήφιοι και οι εν ενεργεία εκπαιδευτικοί να βελτιώσουν κατά πολύ τις γνώσεις τους πάνω σε τομείς της σύγχρονης φυσικής.

- ▶ Ειδικότερα για τους υποψήφιους εκπαιδευτικούς Πρωτοβάθμιας Εκπαίδευσης, που αποτελούν το δικό μας κυρίως ακροατήριο και πεδίο έρευνας - χωρίς καθόλου να αποκλείουμε τους διδάσκοντες στη Δευτεροβάθμια - η βελτίωση αυτή των γνώσεων επιδιώκεται να γίνει *χωρίς*
 - Το βαρύ μαθηματικό φορμαλισμό και
 - Τις δύσκολες Φυσικές έννοιες που συνοδεύουν τα πεδία αυτά της Φυσικής.

Γενικότερα: Σε ποιο κοινό διεξάγουμε τις έρευνές μας;

- ▶ Απευθυνόμαστε – κατά κανόνα – σε μανθάνοντα υποκείμενα (learning subjects) που δεν χαρακτηρίζονται “a priori” από πολύ ισχυρό υπόβαθρο σε Μαθηματικά και Φυσική. Ήτοι σε:
 - μαθητές Γυμνασίου
 - μαθητές Λυκείου
 - Εν ενεργεία καθηγητές Φυσικής, Μαθηματικών, Πληροφορικής και άλλων Φυσικών Επιστημών, της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης και κυρίως:

▶ ΣΕ :

Υποψήφιους εκπαιδευτικούς
Πρωτοβάθμιας Εκπαίδευσης, δηλαδή
φοιτητές - από τα τελευταία έτη ή
μεταπτυχιακούς - των Παιδαγωγικών
Τμημάτων.

Πτυχές των Πολύπλοκων Συστημάτων που ερευνούμε την εκπαιδευτική τους χρήση.

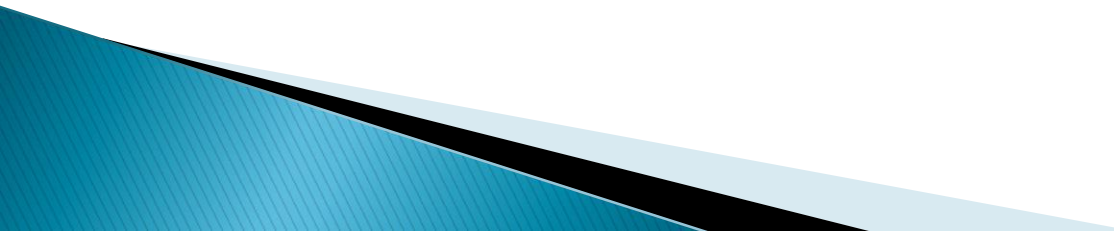
- ▶ Α. Η κρίσιμη συμπεριφορά (κρίσιμη κατάσταση).
- ▶ Β. Η αυτο-οργάνωση και η ανάδυση (“emergence”).
- ▶ Γ. Η μετάβαση από αστάθεια σε ευστάθεια και αντίστροφα (κυρίως για πληθυσμούς οικοσυστημάτων).
- ▶ Δ. Οι μη γραμμικοί βρόχοι ανάδρασης.
- ▶ Ε. Πτυχές των κυψελοειδών αυτομάτων.

Γιατί έχει αξία και νόημα να ενταχθούν τα Π.Σ. και το Χάος στο Αναλυτικό Πρόγραμμα.

- ▶ Το Χάος και η Πολυπλοκότητα αφορούν κλίμακες μεγέθους που είναι κοντινές με την καθημερινότητα.

Αυτό, σε αντιδιαστολή με την Κβαντομηχανική (Μικρόκοσμος) και τη Θεωρία τη Σχετικότητας (πολύ μεγάλες κλίμακες...). Άρα:

είναι παρατηρήσιμα από τους διδασκόμενους.

- ▶ Παραδείγματα π.χ. από την αυτο-οργάνωση που έχουν δουλευτεί και διδακτικά:
 - ▶ <https://www.youtube.com/watch?v=7aSkJCU DAes>
 - ▶ <https://www.youtube.com/watch?v=ZGvtnE1 Wy6U>
- 

- ▶ Οι μαθητές και εκπαιδευτικοί είναι χρήσιμο να γνωρίζουν ότι στη φύση, πολύ παρόμοιες αρχικές συνθήκες πιθανά οδηγούν σε πολύ διαφορετική χρονική εξέλιξη.
- ▶ Παρατηρείται συλλογική συμπεριφορά *“The whole is larger than the sum of its parts”*.
- ▶ Δεν υπάρχει πάντα σχέση ένα-προς-ένα ανάμεσα σε αίτιο και αποτέλεσμα (γραμμικός αιτιακός συλλογισμός)
- ▶ Δεν ερμηνεύονται όλα τα φαινόμενα με την clock-wise συλλογιστική (Jacobson)
- ▶ Μη κεντροποιημένος έλεγχος, αλλά αποκεντρωμένα συστήματα στη φύση, με τοπικές αλληλεπιδράσεις γειτόνων (de-centralized thinking)


- ▶ Ο μεγάλος θεωρητικός της εκπαίδευσης πάνω στα Πολύπλοκα Συστήματα Jacobson, (Jacobson, 2001), έχει καταγράψει αναλυτικά τις *γνωστικές και επιστημολογικές μεταβολές* και βελτιώσεις που υφίσταται κάποιος μεταβαίνοντας (σταδιακά και όσο είναι εφικτό) από *«αρχάριος» (“novice”)* σε *«ειδικός» (“expert”)* στα Πολύπλοκα Συστήματα:


Complex Systems Mental Models Framework and Hypothesized Component Beliefs


Categories of Component Beliefs	Component Beliefs Associated with Clockwork Mental Model	Component Beliefs Associated with Complex Systems Mental Model
1. Understanding phenomena	Reductive (e.g., step-wise sequences, isolated parts)	Nonreductive: whole-is-greater-than-the-parts
2. Control	Centralized (within system) External agent (external to system)	Decentralized (system interactions)
3. Causes	Single	Multiple
4. Action effects	Small actions → small effects	Small action → big effect
5. Agent actions	Completely predictable	Random/not completely predictable/stochastic
6. Complex actions	From complex rules	From simple rules
7. Final causes or purposefulness of natural phenomena	Teleological	Nonteleological or stochastic
8. Ontology	Static structures Events	Equilibration processes


- ▶ Σε ό,τι αφορά τη διδακτική στρατηγική, άλλοι θεωρητικοί (π.χ. η Hmelo-Silver) έχουν καταδείξει ότι ένα Πολύπλοκο Σύστημα μπορεί πιο εύκολα να γίνει κατανοητό από τον/την διδασκόμενο/-η, αν το διδάξουμε σε **τρία** επίπεδα (από το κατώτερο προς το ανώτερο):
 - τις **δομές (Structures, S)**, δηλαδή από ποια στοιχεία αποτελείται το σύστημα αυτό και πώς διαρθρώνονται,
 - τις **συμπεριφορές (Behaviors, B)** δηλαδή τι κάνει κάθε στοιχείο του Πολύπλοκου Συστήματος και
 - τις **λειτουργίες (Functions, F)** δηλαδή πώς λειτουργεί συλλογικά το Πολύπλοκο Σύστημα.


- ▶ Αυτό είναι το γνωστό «*μοντέλο SBF*» για τη διδασκαλία και τη μάθηση πάνω στα Πολύπλοκα Συστήματα (Hmelo–Silver & Pfeffer, 2004).
- ▶ Κλασικό παράδειγμα η διδακτική χρήση του SBF, για να διδαχτεί το «Ενυδρείο» (“Aquarium”) ως Πολύπλοκο Σύστημα σε μαθητές.

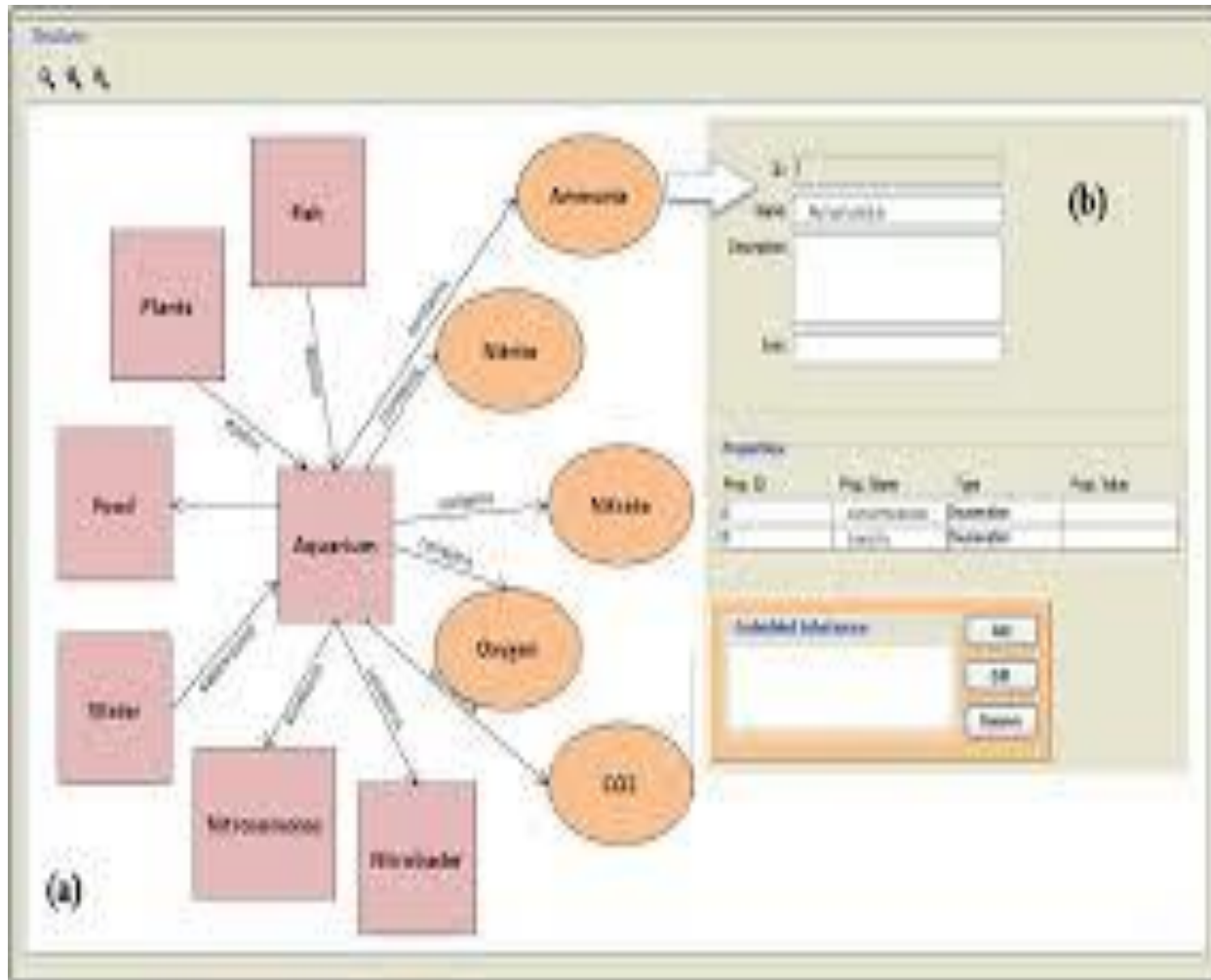
StructureModel: Component: 

Substance: 

Connection: 

BehaviorModel: State: 

Transition: 

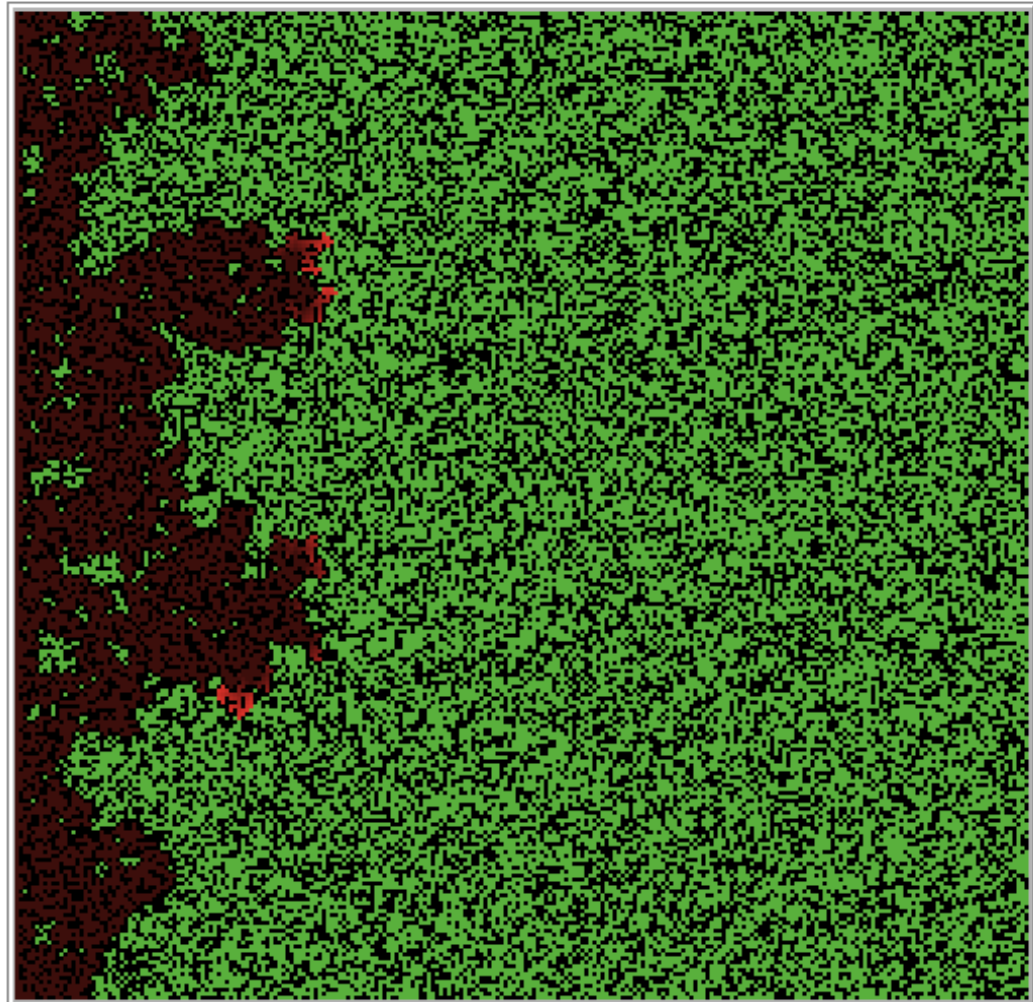
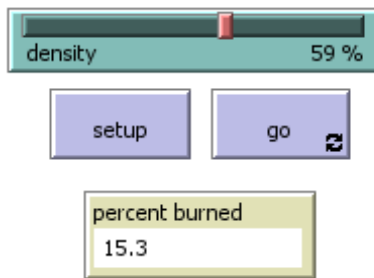


Τα βασικά μας διδακτικά εργαλεία.

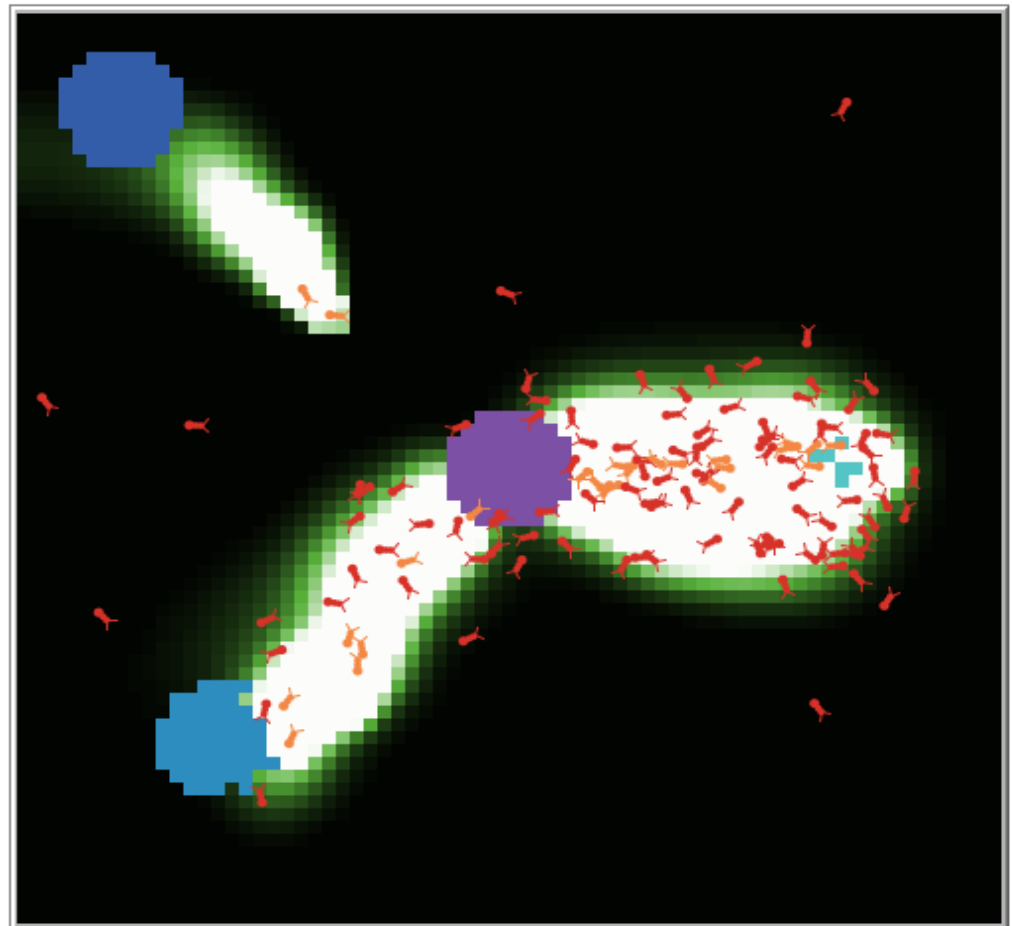
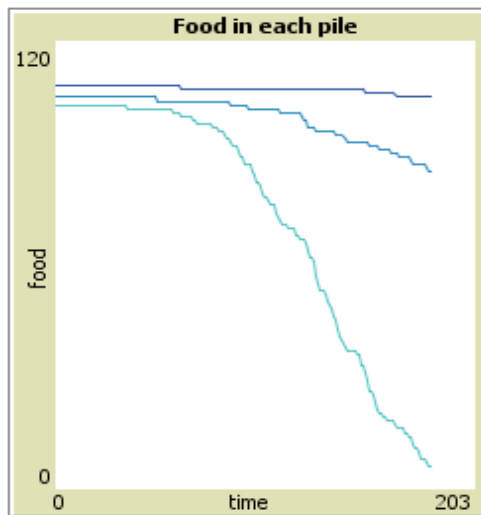
- ▶ **Α. Το «πολύ-πρακτορικό» (Multi-Agent-Based) περιβάλλον** προσομοίωσης, μοντελοποίησης και προγραμματισμού σε υπολογιστή της **NetLogo** (Wilensky, 1997)
<http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>

Πολύ εκτεταμένα, έχουν δουλευτεί σε διδακτικές παρεμβάσεις και σε εμπειρικές έρευνες με δείγματα εκπαιδευομένων, *τρία* βασικά μοντέλα:

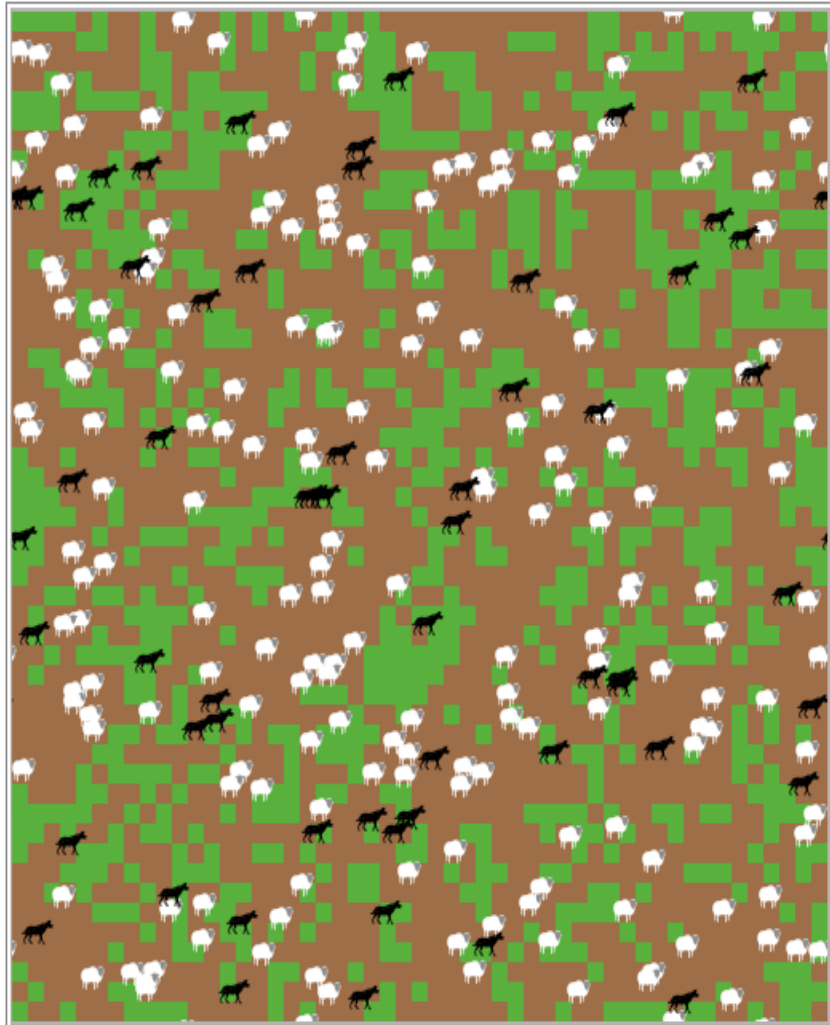
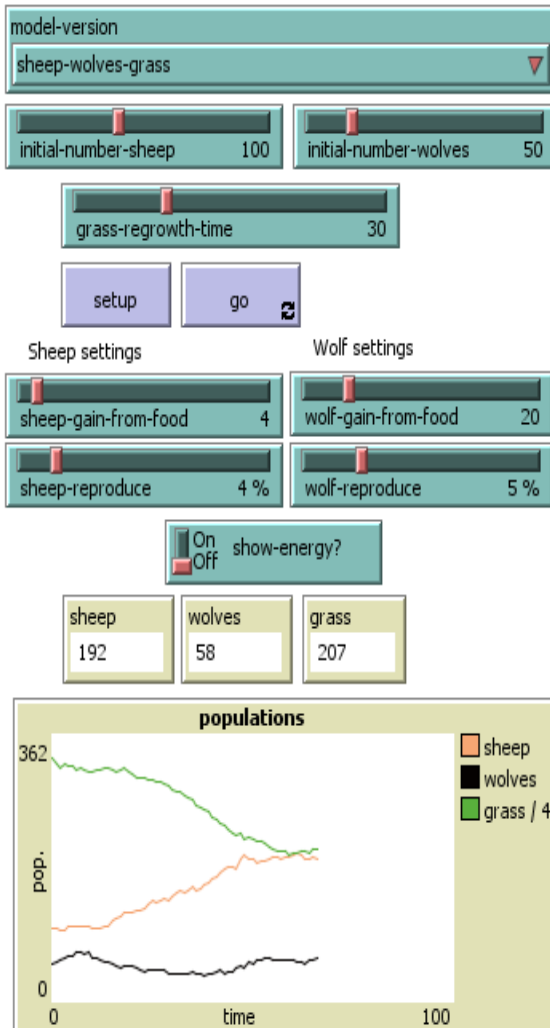
- Το Μοντέλο «Φωτιά στο Δάσος» (“Fire”) (Κρίσιμη κατάσταση, κρίσιμες τιμές, percolation, μη επαναληψιμότητα..)



- ❑ Το Μοντέλο «Μυρμήγκια» (“Ants”)
(Αυτό-οργάνωση, συλλογική συμπεριφορά, τοπικές αλληλεπιδράσεις, απουσία κεντρικού ελέγχου, ανάδυση μορφών “emergence”)



□ Το Μοντέλο «Λύκοι που θηρεύουν Πρόβατα» ("Wolf-Sheep Predation") (Ευστάθεια και Αστάθεια, Μη γραμμικοί βρόχοι ανάδρασης κλπ)



- ▶ Έχουν δουλευτεί και άλλα μοντέλα:
 - Τα «Σμήνη Πουλιών» (“Flocking”) που στηρίζονται στα boids του Greg Reynolds
 - Το «Μποτιλιάρισμα» (“Traffic Jam”)
 - Το AIDS (διάδοση ασθενειών)
- κλπ.

- ▶ Ας δούμε ένα παράδειγμα του πώς δουλεύτηκε σε μία έρευνα το «Φωτιά σε Δάσος», της NetLogo, για να διδαχτούν έννοιες των Πολύπλοκων Συστημάτων σε μαθητές Γυμνασίου.....

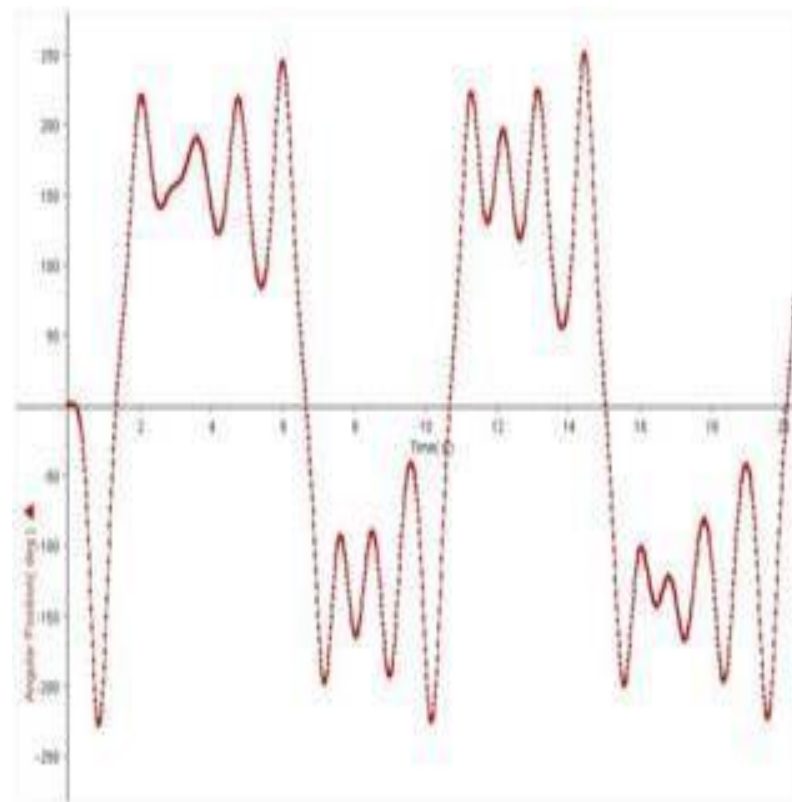
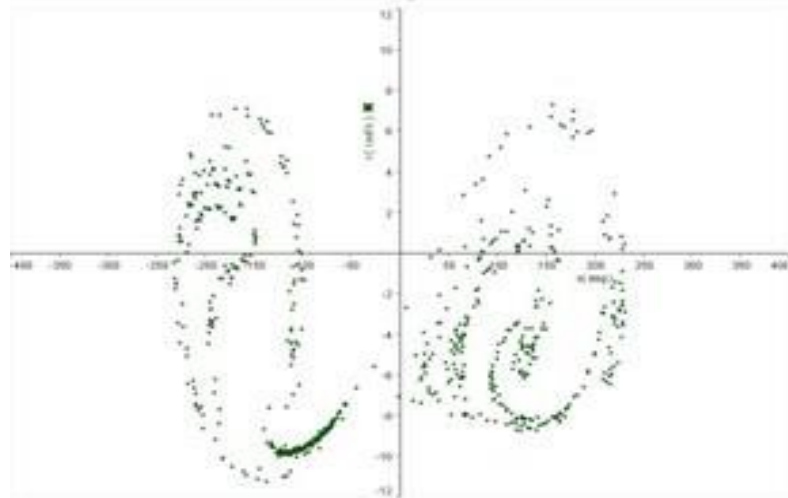
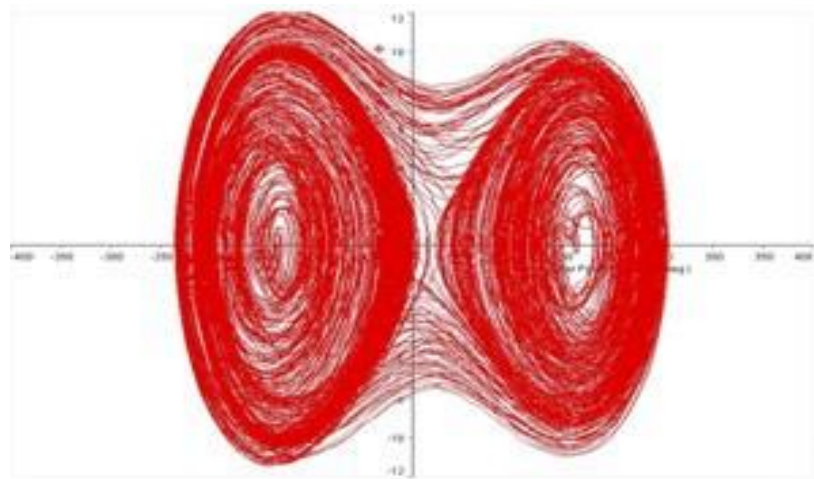
[Άλλο PowerPoint...]

- ▶ Β. Άλλο διδακτικό και ερευνητικό εργαλείο είναι το «Χαοτικό Εκκρεμές» (“**Chaotic Pendulum**”). Συγκεκριμένα χρησιμοποιούμε αυτό της εταιρείας PASCO (οριζόντια διάταξη), αλλά υπάρχουν και πολλά άλλα.

The PASCO Pendulum



- Weight attached to rotating disc
- Springs attached to either side of disc in pulley fashion
- One spring is driven by sinusoidal force
- Sensors take angular position, angular velocity and driving frequency data



- ▶ Μαθησιακά αποτελέσματα:
Τροχιές που περνάνε ξανά και ξανά από ίδια σημεία, ελκυστές, υπάρχουν Νόμοι και Τάξη μέσα στο Χάος.
- ▶ [Δεν ξεχνάμε παλιά συζήτηση με τον κ. Φώτη Διάκονο, για την αξία που έχει το να κατανοηθεί ο «φασικός χώρος»!, από μαθητές και εκπαιδευτικούς που δεν είναι ισχυροί σε φυσική και Μαθηματικά.]

- ▶ Γ. (Διδακτικό Εργαλείο επίσης) **Η Μηχανή Turing**. (Αλγοριθμική Πολυπλοκότητα, Υπολογιστικός Τρόπος σκέψης, Εισαγωγή στα Κυψελοειδή Αυτόματα, Conway, Sugarscape, Prisoners Dilemma).

Έχουν δουλευτεί δύο Μηχανές Turing:

- ▶ Γ1. Η «αληθινή», χειροποίητη του κ. Zafar Iqbal. (Virtual, circular Turing Machine)

▶ <https://zaf.io/page-ki.html>



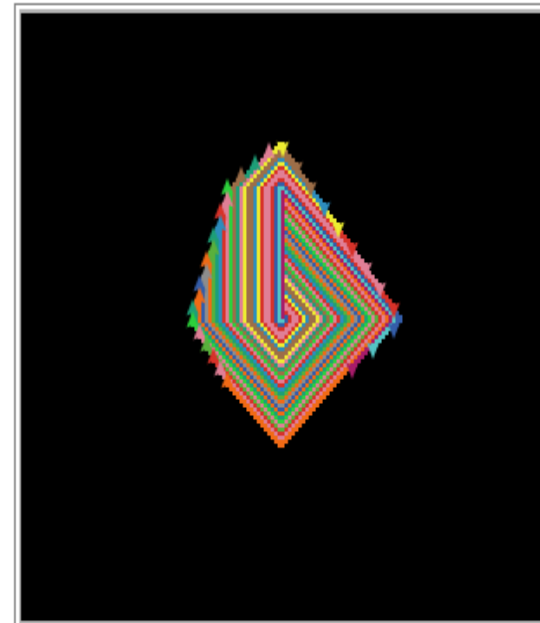
► Γ2. Και η προσομοιωμένη (2-D Turing) της NetLogo: (Wilensky,2002).

32

On
 Off color-paths?

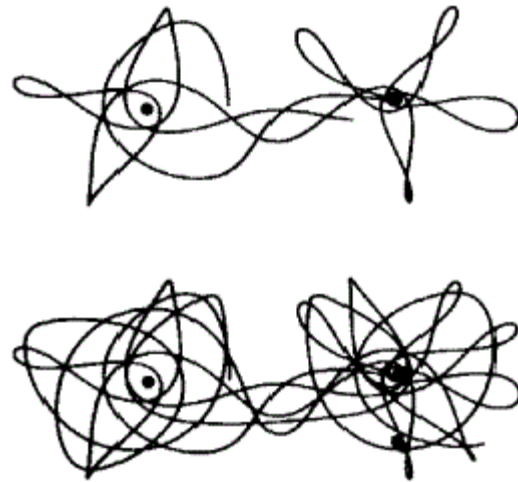
1

	Turn	New Head State	New Cell State
If cell is off and head is in state 0:	<input type="button" value="off-0-turn"/> <input type="button" value="Backwards"/>	<input type="button" value="off-0-state"/> 1	<input type="checkbox"/> On <input type="checkbox"/> Off off-0-on?
If cell is off and head is in state 1:	<input type="button" value="off-1-turn"/> <input type="button" value="Right"/>	<input type="button" value="off-1-state"/> 1	<input type="checkbox"/> On <input type="checkbox"/> Off off-1-on?
If cell is on and head is in state 0:	<input type="button" value="on-0-turn"/> <input type="button" value="Backwards"/>	<input type="button" value="on-0-state"/> 0	<input type="checkbox"/> On <input type="checkbox"/> Off on-0-on?
If cell is on and head is in state 1:	<input type="button" value="on-1-turn"/> <input type="button" value="Left"/>	<input type="button" value="on-1-state"/> 1	<input type="checkbox"/> On <input type="checkbox"/> Off on-1-on?



- ▶ Δ. Διδακτικά και ερευνητικά εργαλεία αποτελούν **οι αφηγήσεις / ιστορικά κείμενα των μεγάλων επιστημόνων** (Lorenz, Poincaré, Holland κλπ) που αφηγούνται πώς έφτασαν σε ανακαλύψεις και λύσεις προβλημάτων, αφού πρώτα ετέθη το ερώτημα... Συνδέεται δηλαδή η μάθηση πάνω στην Πολυπλοκότητα και το Χάος με την Ιστορία της Επιστήμης.
- ▶ Οι διδασκόμενοι κάνουν εννοιολογική ανάλυση και φτάνουν (όχι με παραδοσιακή διδασκαλία) σε συμπεράσματα....

- ▶ *Π.χ.:* τα σχήματα του Poincaré για το πρόβλημα των τριών σωμάτων:



(από Ian Stewart (2002): *Does God play dice?*)

- ▶ Η οι τροχιές των σανίδων του σκι (σε υπολογιστή) από τον Lorenz (1995):

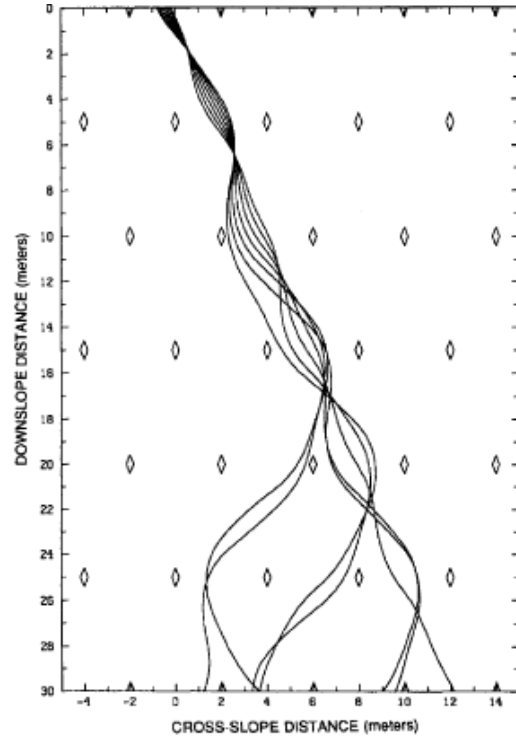


Figure 7. The paths of seven boards starting with identical velocities from points spaced at 10-centimeter intervals along a west-east line. The small diamonds indicate the locations of the centers of the moguls.

- ▶ Ἡ κείμενα του John Holland για την Πολυπλοκότητα, τα Πολύπλοκα Προσαρμοστικά Συστήματα, την Ανάδυση (μορφών) κλπ.
- ▶ Δουλειές που έχουν γίνει βρίσκονται εύκολα π.χ. στο *Google Scholar* (Gkiolmas, Karamanos, Skordoulis κ.ά.)

- ▶ Άλλες *άτυπες μορφές μάθησης* που χρησιμοποιεί το Εργαστήριό μας, αλλά όχι τόσο πολύ εμείς, είναι :
 - το θέατρο.
 - Η μουσειακή εκπαίδευση (ζωντανή ή/και virtual)
 - κ.ά.

▶ *Προοπτικές.....*

Σας ευχαριστούμε για το χρόνο σας!!

Βιβλιογραφία

- ▶ Hmelo–Silver, C., E., & Pfeffer, M., G. (2004). Comparing expert and novice understanding of a complex system from the perspective of structures, behaviors, and functions. *Cognitive Science* (28), σελ. 127–138.
- ▶ Jacobson, M., J. (2001). Problem solving, cognition, and complex systems: Differences between experts and novices. *Complexity*, 6 (3), σελ. 41–49.
- ▶ Lorenz, E. N. (1995) *The Essence of Chaos*. Washington: The University of Washington Press.
- ▶ May, R., M. (2001) *Stability and Complexity in Model Ecosystems*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- ▶ Mitchell, M. (2011) *Complexity: A guided tour*. New York: Oxford University Press.

- ▶ Peitgen, H–O., Jürgens, H., & Saupe, D. (2004). *Chaos and Fractals: New Frontiers of Science*. New York: Springer – Verlag.
- ▶ Poincaré, H. (2016). *Science and Hypothesis*. [Preface by: j. Larmor]. Worcestershire, UK: Read books Ltd.
- ▶ Peitgen, H–O., Jürgens, H., & Saupe, D. (2011) *Fractals for the Classroom (Part 1, Part 2 and Part 3)*. New York: Springer – Verlag.
- ▶ Resnick, M. (1997) *Turtles, Termites and Traffic Jams: Explorations in Massively Parallel Microworlds*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.

- ▶ Wilensky, U. (1999). NetLogo.
<http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>.
Center for Connected Learning and
Computer-Based Modeling, Northwestern
University. Evanston, IL.
- ▶ Wilensky, U. (2002). NetLogo Turing Machine 2D model.
<http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/TuringMachine2D>.
Center for Connected Learning and Computer-Based
Modeling, Northwestern University, Evanston, IL.
- ▶ Wilensky, U., & Rand, W. (2015) *An
Introduction to Agent-Based Modeling:
Modeling Natural, Social and Engineered
Complex Systems with NetLogo*.
Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- ▶ Wolfram, S. (2002) *A New Kind of Science*.
Champaign, IL: Wolfram Media.