

Πανελλήνιο Συνέδριο της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση

(2023)

13ο Πανελλήνιο Συνέδριο Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση: Πρακτικά Εκτεταμένων Συνόψεων των Εργασιών

**13^ο ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΚΑΙ ΝΕΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ**

**Νέες Τάσεις και Έρευνα στη Μάθηση, τη Διδασκαλία
και τις Τεχνολογίες στις Φυσικές Επιστήμες**

10 - 12 Νοεμβρίου 2023

Διοργάνωση
Εργαστήριο Εκπαίδευσης και Διδασκαλίας της Φυσικής,
Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης,
Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

Τόπος διεξαγωγής
Παιδαγωγικό Τμήμα
Δημοτικής Εκπαίδευσης

Πληροφορίες
synedrio2023.enepnet.gr

Πρακτικά Εκτεταμένων Συνόψεων Εργασιών
Επιμέλεια έκδοσης:
Κωνσταντίνος Θ. Κώτσος, Γεώργιος Σπύλος, Ελευθερία Τσιούρη, Έλλη Γκαλιτέμη, Κωνσταντίνος
Γεωργόπουλος, Λεωνίδα Γαβρίλας, Δημήτρης Πανάγου, Κωνσταντίνος Τσουμάνης, Γεωργία Βακάφου

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ ΤΗΣ
ΦΥΣΙΚΗΣ
ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΤΜΗΜΑ
ΔΗΜΟΤΙΚΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΚΤΕΤΑΜΕΝΩΝ ΣΥΝΟΨΕΩΝ
ΔΙΔΑΚΤΙΚΗΣ ΤΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ

Ιωάννινα
10 έως 12 Νοεμβρίου 2023

ΕΝΕΦΕΤ
Εθνικό Κέντρο
Τεκμηρίωσης
Εθνικός Ινστιτούτος
Τεχνολογίας

**Μικροσκοπική προσέγγιση της εντροπίας μέσω
του παραδείγματος της τήξης του πάγου**

Βάια Μπακάλη, Στέφανος Ασημόπουλος

doi: [10.12681/codiste.5384](https://doi.org/10.12681/codiste.5384)

ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΕΝΤΡΟΠΙΑΣ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΤΗΞΗΣ ΤΟΥ ΠΑΓΟΥ

Βάια Μπακάλη¹, Στέφανος Ασημόπουλος²

¹Υποψ. Διδάκτορας ΠΤΔΕ Παν. Θεσσαλίας, ²Επικουρος Καθηγητής ΠΤΔΕ Παν. Θεσσαλίας

vana.bakali@gmail.com

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στοχεύοντας στην εννοιολογική κατανόηση της εντροπίας και των εμπλεκόμενων με αυτή εννοιών σε μια μικροσκοπική προσέγγιση, αναπτύχθηκε μια Διδακτική Μαθησιακή Ακολουθία. Οι εκπαιδευόμενες, φοιτήτριες Παιδαγωγικού τμήματος, με αφετηρία τις έννοιες που έχουν διδαχθεί και τα μοντέλα που χρησιμοποίησαν στις προηγούμενες ενότητες της ΔΜΑ, κλήθηκαν να αιτιολογήσουν τη μεταβολή της εντροπίας στο φαινόμενο της τήξης του πάγου. Αναλύοντας και ερμηνεύοντας τον λόγο και τα προτεινόμενα μοντέλα τους, αναδείχθηκαν οι εξελισσόμενες αντιλήψεις τους αναφορικά με τις έννοιες και οι δυσκολίες που αντιμετώπισαν με τα εν λόγω μοντέλα. Τα δεδομένα αυτά υπέδειξαν αλλαγές που εισάγονται στη σχεδιασμένη ΔΜΑ μετά την πιλοτική εφαρμογή της.

Λέξεις κλειδιά: εντροπία, κατάσταση, μικροσκοπικό μοντέλο

MICROSCOPIC APPROACH TO ENTROPY THROUGH THE ICE MELTING EXAMPLE

Vaia Bakali¹, Stefanos Asimopoulos²

¹ PhD candidate, Department of Primary Education University of Thessaly ² Assistant Professor, Department of Primary Education University of Thessaly

vana.bakali@gmail.com

ABSTRACT

Aiming at the conceptual understanding of entropy and the concepts involved in it within a microscopic approach, a Teaching Learning Sequence was developed. Taking as a starting point the concepts taught and the models used in the previous units of TLS, the trainees, students of the Primary Education Department, were asked to justify the change of entropy in the ice melting process. Through analyzing and interpreting their discourse and proposed models, their evolving understanding of the concepts and the difficulties they encountered with these models were emerged. These data indicated changes introduced in the TLS designed after its pilot implementation.

Keywords: entropy, state, microscopic model

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αφηρημένη φύση της έννοιας της εντροπίας (Carson & Watson, 2002) επάγει δυσχέρεια στην ερμηνεία της και οδηγεί σε προτάσεις και εφαρμογή διαφορετικών προσεγγίσεων είτε σε μακροσκοπικό είτε σε μικροσκοπικό επίπεδο είτε, με τη χρήση μεταφορών και αναλογιών για τη μελέτη της. Η μικροσκοπική προσέγγισή της εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη χρήση μοντέλων της ύλης, προϋποθέτει τη δημιουργία κατάλληλων συνδέσεων ανάμεσα σε δυο επίπεδα περιγραφής, το μακροεπίπεδο και το μικροεπίπεδο και κατανόηση σε αυτά εννοιών όπως σύστημα, μεταβλητή και κατάσταση. Σύμφωνα με τον Reif (1999) η προσέγγιση αυτή διευκολύνει την κατανόηση των υποκείμενων μηχανισμών μακροσκοπικών εννοιών, όπως η εντροπία και την κατασκευή οπτικοποιήσιμων νοητικών μοντέλων από τους φοιτητές.

Για τη διευκόλυνση της εννοιολογικής κατανόησης της εντροπίας και των εννοιών που προαναφέρονται, σχεδιάστηκε και εφαρμόστηκε μια Διδακτική Μαθησιακή Ακολουθία (Teaching Learning Sequence) (Méheut & Psillos, 2004) σε φοιτήτριες Παιδαγωγικού Τμήματος. Στην παρούσα εργασία περιγράφονται οι αλλαγές που εισάγονται στην τρίτη ενότητα της σχεδιασμένης ΔΜΑ μετά την πιλοτική εφαρμογή της και τα δεδομένα που υποδεικνύουν αυτές τις αλλαγές.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Χρησιμοποιώντας ως πλαίσιο το Μοντέλο της Διδακτικής Αναδόμησης (Komorek & Duit, 2004 Méheut & Psillos, 2004) για τη συλλογή των δεδομένων εφαρμόστηκε το διδακτικό πείραμα σε ζευγάρια φοιτητριών 5^{ου} και 7^{ου} εξαμήνου. Κατά τα προηγούμενα εξάμηνα οι φοιτήτριες είχαν διδαχθεί βασικές έννοιες, όπως ενέργεια, θερμοκρασία, θερμότητα, και διδακτική Φυσικών Επιστημών όπου μελέτησαν μοντέλα που αφορούν στην ατομική δομή της ύλης. Κατά τις πρώτες δύο ενότητες της ΔΜΑ, προσεγγίζονται διδακτικά οι έννοιες μέσω των φαινομένων της διάχυσης χρωστικής σε νερό και της θερμικής επαφής δυο στερεών κύβων διαφορετικής θερμοκρασίας (Θεκ) ενώ για την τελική αξιολόγηση της ΔΜΑ, στην τρίτη ενότητα, μελετάται το φαινόμενο της τήξης του πάγου όπου οι φοιτήτριες καλούνται να προτείνουν μοντέλα για την ερμηνεία της μεταβολής της εντροπίας (Πίνακας 1). Η ΔΜΑ εφαρμόστηκε πιλοτικά σε ζευγάρι φοιτητριών και η τρίτη διδακτική ενότητα αναπτύχθηκε κατά την 5^η συνάντηση διάρκειας δυο ωρών.

Πίνακας 1. Συνοπτική δομή της ΔΜΑ

ΕΝΟΤΗΤΕΣ	ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ -ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ	ΕΝΝΟΙΕΣ
Διδακτική προσέγγιση εννοιών μέσω φαινομένου διάχυσης χρωστικής σε νερό	Μακροσκοπική παρατήρηση – μοντελοποίηση φαινομένου	Μεταβλητές, κατάσταση, σύστημα – περιβάλλον, ισορροπία
	Μικροσκοπική προσέγγιση Μοντελοποίηση μικροκαταστάσεων	Μακροκατάσταση, μικροκατάσταση, μεταβλητές, μακροκατάσταση ισορροπίας, εντροπία
Διδακτική προσέγγιση εννοιών μέσω φαινομένου θερμικής επαφής δυο στερεών κύβων διαφορετικής θερμοκρασίας	Μακροσκοπική περιγραφή φαινομένου Μοντελοποίηση στερεού Κβάντωση ενέργειας	Θερμική ισορροπία, (απομονωμένο) σύστημα – περιβάλλον, μακροκατάσταση, μεταβλητές, ενέργεια
	Μικροσκοπική προσέγγιση Μοντελοποίηση μικροκαταστάσεων	Μακροκατάσταση, μικροκατάσταση, μεταβλητές, ενέργεια, θερμική ισορροπία, εντροπία
Εφαρμογή εννοιών στο φαινόμενο τήξης του πάγου	Μακροσκοπική περιγραφή φαινομένου Μικροσκοπική προσέγγιση Μοντελοποίηση μικροκαταστάσεων	Μακροκατάσταση, μικροκατάσταση, μεταβλητές, ενέργεια, μακροκατάσταση ισορροπίας, εντροπία
Συζήτηση	Εντυπώσεις - προβληματισμοί	Όλες

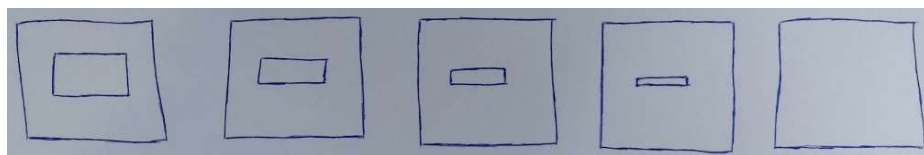
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η ερευνήτρια εισάγει το φαινόμενο απευθύνοντας την ερώτηση: «ας υποθέσουμε ότι έχουμε ένα παγάκι, το βγάζουμε από την κατάψυξη, έστω ότι η αρχική του $\Theta = 0^\circ\text{C}$ και το τοποθετούμε σε ένα ποτήρι σε ένα χώρο με

$\Theta = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Τι θα συμβεί; Τι θα παρατηρήσουμε;» και οι φοιτήτριες περιγράφουν μακροσκοπικά, χωρίς να χρησιμοποιήσουν τον όρο μακροκατάσταση – έχει εισαχθεί στην 1^η ενότητα - ή να προτείνουν μεταβλητές της, όπως θερμοκρασία, όγκος στερεού, όγκος υγρού. Η ίδια δεν επιδεικνύει κάποιες μακροκαταστάσεις ούτε προτρέπει τις φοιτήτριες να σχεδιάσουν μερικές. Ωστόσο όταν μετέπειτα κλήθηκαν να αιτιολογήσουν την αύξηση της εντροπίας προτείνοντας μικροσκοπικά μοντέλα, σχεδίασαν μακροκαταστάσεις (Σχήμα 1α) αλλά δεν διερευνήθηκε ποιες είναι οι μεταβλητές που παρατηρούν μακροσκοπικά και πώς αυτές συνδέονται με τις μικροκαταστάσεις. Στον νέο κύκλο διδασκαλιών επιδεικνύεται στις φοιτήτριες φωτογραφία με μια αρχική μακροκατάσταση του συστήματος (Σχήμα 1β) ώστε να σχεδιάσουν οι ίδιες επόμενες μακροκαταστάσεις, τόσες όσες θεωρούν αναγκαίες για να αναδειχτούν οι μεταβλητές που τις περιγράφουν, εξυπηρετώντας έτσι την ομαλή μετάβαση από το μακροεπίπεδο στο μικροεπίπεδο. Ο σχεδιασμός των μακροκαταστάσεων αρχικά, αλλά και των μικροκαταστάσεων στη συνέχεια, διευκολύνεται χρησιμοποιώντας στη φωτογραφία μια παγοθήκη με σταθερό σχήμα κύβου.

Σχήμα 1

α. Μακροσκοπική περιγραφή τήξης πάγου από φοιτήτρια



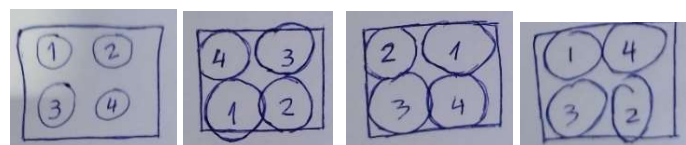
β. φωτογραφία: πάγος $0\text{ }^{\circ}\text{C}$



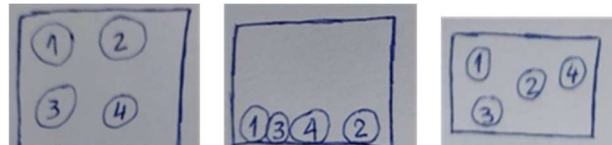
Κατά τη μικροσκοπική περιγραφή της τήξης του πάγου, οι δύο φοιτήτριες επισημαίνουν αύξηση της ταχύτητας ή της κινητικής ενέργειας των μορίων εξαιτίας της αύξησης της θερμοκρασίας και αναφέρονται σε αλλαγή θέσεων των μορίων. Για την αιτιολόγηση της αύξησης της εντροπίας αναπτύσσουν τον ακόλουθο συλλογισμό: τα μόρια στα υγρά έχουν μεγαλύτερη ελευθερία κίνησης συνεπώς καταλαμβάνουν περισσότερες δυνατές θέσεις με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο αριθμός δυνατών τρόπων διάταξής τους σε αυτές. Συγκεκριμένα η μια επισημαίνει: «η εντροπία θα αυξηθεί αφού όταν ήταν το παγάκι στο ψυγείο ήταν στερεό οπότε τα μόρια είχαν συγκεκριμένες θέσεις οπότε δεν άλλαζε η κατανομή και ήταν ακίνητα δηλ. δεν μπορούσαν να πάρουν κάποια άλλη θέση, αλλά μόλις το παγάκι άρχισε να λιώνει τα μόρια κινήθηκαν άρα συγκρούστηκαν άρα οι θέσεις τους άλλαξαν άρα δεν υπάρχουν πολλοί δυνατοί τρόποι ώστε να κατανομηθούν τα μόρια; Άρα υπάρχουν και πολλές μικροκαταστάσεις». Επομένως αποδίδουν την αύξηση της εντροπίας στην αύξηση του αριθμού των μικροκαταστάσεων λόγω αύξησης αριθμού δυνατών θέσεων αλλά παραβλέπουν την αύξηση του αριθμού των τρόπων κατανομής ενέργειας στα μόρια. Τα μικροσκοπικά μοντέλα που προτείνουν ώστε να δείξουν πώς προκύπτουν οι διαφορετικές μικροκαταστάσεις που αντιστοιχούν στην ίδια μακροκατάσταση, καταδεικνύουν: α. σχεδιασμό των μορίων του υγρού σε διαφορετικές θέσεις αλλά απουσία αναπαράστασης της αύξησης της ταχύτητας- ενέργειας του κάθε μορίου στερεού ή υγρού (Σχήμα 2α και 2β) και β. σχεδιασμό των μορίων του υγρού σε τυχαίες θέσεις (Σχήμα 2β) σύμφωνα με το σωματιδιακό μοντέλο (deVos & Verdonk 1996) καθιστώντας αδύνατο τον ορισμό συγκεκριμένων μικροκαταστάσεων και την καταμέτρηση αυτών.

Σχήμα 2 Μικροκαταστάσεις που αντιστοιχούν στην μακροκατάσταση όπου όλο το στερεό έγινε υγρό

α μόρια διατεταγμένα (σαν σε πλέγμα)



β μόρια υγρού σε τυχαίες θέσεις



Παρόλο που έχει γίνει προεργασία για να εισάγουν και την ενέργεια στην ερμηνεία της αύξησης της εντροπίας, αυτό δε γίνεται εξαρχής. Οι φοιτήτριες φαίνεται να έχουν εστιάσει στην μεταφορική κίνηση - τα μόρια στο υγρό κινούνται, στο στερεό δεν κινούνται - και δε λαμβάνουν υπόψη την ενέργεια των μορίων στο

στερεό εξαιτίας της ταλάντωσής τους. Στον νέο κύκλο διδασκαλιών οι φοιτήτριες καλούνται να προτείνουν οι ίδιες τρόπους αναπαράστασης της κίνησης των μορίων στο στερεό, ήδη από τη δεύτερη ενότητα της Θεκ, ώστε από εκεί να γίνει η σύνδεση της κίνησης με την ενέργεια. Επιδεικνύοντας στη συνέχεια το μοντέλο του στερεού που προτάθηκε στη Θεκ, καθοδηγούνται σε μια νέα νοητική αναπαράσταση όπου δίνεται έμφαση στην ταλάντωση των μορίων του στερεού η οποία υποδηλώνεται με τη χρήση αντιδιαμετρικών καμπυλών. Διευκολύνεται με αυτόν τον τρόπο η μετάβαση στο μοντέλο ενός υγρού που τα μόριά του θα αλλάζουν θέσεις σε ένα πλέγμα και ταυτόχρονα αντιστοιχεί σ' αυτό ένα ποσό ενέργειας που κατανέμεται με διαφορετικό τρόπο στα μόρια. Ως εκ τούτου οι διαφορετικές μικροκαταστάσεις προκύπτουν όχι μόνο και ως διαφορετικοί τρόποι διάταξης των μορίων στις δυνατές θέσεις (spatial configurations) αλλά και ως διαφορετικοί τρόποι κατανομής της ενέργειας στα μόρια (energy distributions) (Carson & Watson, 2002· Haglund & Jeppsson, 2012).

Αξιοποιώντας το δεύτερο συμπέρασμα που προκύπτει από τα προτεινόμενα μοντέλα, στον νέο κύκλο διδασκαλιών επιδεικνύονται τα μοντέλα των προηγούμενων δραστηριοτήτων και υπενθυμίζεται η χρήση του πλέγματος με σκοπό την ανάπτυξη συζήτησης ότι οι θέσεις των μορίων στο στερεό είναι διατεταγμένες και σταθερές ενώ στο υγρό τα μόρια βρίσκονται σε οποιεσδήποτε θέσεις ενός πλέγματος εκτός από αυτές στις οποίες βρίσκονται τα μόρια του στερεού.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Για την ερμηνεία των εννοιών της μικροκατάστασης και της εντροπίας στο νέο φαινόμενο καταδεικνύονται σημαντικά αφενός ο σχεδιασμός των μακροκαταστάσεων ώστε η μετάβαση στο μικρόκοσμο και ο σχεδιασμός μικροκαταστάσεων να έρθουν ως φυσική συνέχεια και αφετέρου να προηγηθεί της υπενθύμισης των μοντέλων που εφαρμόστηκαν στις προηγούμενες δραστηριότητες, η διερεύνηση των νοητικών μοντέλων των φοιτητριών για το υγρό και το στερεό. Τα σχέδιά τους και οι ερωτήσεις που θα τους απευθύνουμε θα αποτελέσουν μέσο για τη διαμόρφωση και εξωτερίκευση των μοντέλων αυτών για να προχωρήσουμε στην αναζήτηση απάντησης στο ερώτημα πώς αυτά εξυπηρετούν στην ερμηνεία της αύξησης της εντροπίας.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Carson, E. M., & Watson, J. R. (2002). Undergraduate students' understandings of entropy and Gibbs' free energy. *Univ. Chem. Educ.*, 6(1), 4–12. Ανακτήθηκε στις 20/04/2022 από: https://www.perplex.ethz.ch/thermo_course/various_thermodynamics_texts/p2_carson.pdf
- deVos, W., & Verdonk, A. H. (1996). The particulate nature of matter in science education and in science. *Journal of Research in Science Teaching*, 33, 557–664. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199608\)33:6%3C657::AID-TEA4%3E3.0.CO;2-N](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199608)33:6%3C657::AID-TEA4%3E3.0.CO;2-N)
- Haglund, J., & Jeppsson, F. (2012). Using self-generated analogies in teaching of thermodynamics. *Journal of Research in Science Teaching*, 49(7), 898–921. <http://dx.doi.org/10.1002/tea.21025>
- Komorek, M., & Duit, R. (2004). The teaching experiment as a powerful method to develop and evaluate teaching and learning sequences in the domain of non-linear systems. *International Journal of Science Education*, 26(5), 619–633. <https://doi.org/10.1080/09500690310001614717>
- Méheut, M., & Psillos, D. (2004). Teaching–learning sequences: aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education*, 26(5), 515–535. <https://doi.org/10.1080/09500690310001614762>
- Reif, F. (1999). Thermal physics in the introductory physics course: Why and how to teach it from a unified atomic perspective. *American Journal of Physics*, 67(12), 1051–1062. <https://doi.org/10.1119/1.19181>