

Ερμηνεία της έννοιας της εντροπίας μέσω ενός μικροσκοπικού μοντέλου και της έννοιας του αριθμού των μικροκαταστάσεων

Περίληψη

Η παρούσα μελέτη εστιάζεται στις πορείες μάθησης που ακολουθούν υποψήφιοι δάσκαλοι για την εννοιολόγηση της εντροπίας. Η έρευνα σχεδιάστηκε ώστε να ανιχνευθούν οι ιδέες των συμμετεχόντων για έννοιες σχετικές με την εντροπία και να διερευνηθεί ποιες από τις έννοιες εμπλέκονται και με ποιόν τρόπο στη μικροσκοπική προσέγγιση της. Για τη διερεύνηση των ερευνητικών ερωτημάτων επιλέχτηκε ποιοτική προσέγγιση με εφαρμογή ενός διδακτικού πειράματος. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι εκτός από την εννοιολόγηση των εννοιών μικροκατάσταση και μακροκατάσταση, η μεταξύ τους διάκριση και η εννοιολόγηση των εννοιών σύστημα και ισορροπία αποτελούν απαραίτητες προϋποθέσεις για τη μικροσκοπική ερμηνεία της εντροπίας.

Abstract

The present study focuses on the learning paths followed by preservice teachers for the conceptualization of entropy. The study traces the ideas of the participants for concepts related to entropy and investigates which of these concepts are involved and in which way with its microscopic approach. In order to address the research questions the qualitative approach was chosen with the implementation of a teaching experiment. Results indicate that apart from the conceptualization of microstate and macrostate, the distinction between the two and the conceptualization of system and equilibrium are also prerequisites for the microscopic interpretation of entropy.

1. Εισαγωγή

Η κεντρικότητα της έννοιας της εντροπίας στα πεδία της Θερμοδυναμικής και της Στατιστικής Φυσικής οφείλεται στη σύνδεσή της με το δεύτερο θερμοδυναμικό νόμο και την υποβάθμιση της ενέργειας. Πρόκειται για έννοια που προσεγγίζεται μακροσκοπικά και μικροσκοπικά και για την ποιοτική ερμηνεία της χρησιμοποιήθηκαν από τους ερευνητές οι μεταφορές «αταξία», «διασπορά ενέργειας» (Lambert 2006, Leff 2007), «πληροφορία» (Ben-Naim 2008), «ελευθερία» (Brissaud 2005) και «πολλαπλότητα» (Martin et al 2013).

Στη διδακτική προσέγγιση που επιλέχτηκε γίνεται προσπάθεια να ερμηνευτεί η έννοια της εντροπίας με τη βοήθεια ενός μικροσκοπικού μοντέλου και της έννοιας του αριθμού των μικροκαταστάσεων. Η επιλογή της μικροσκοπικής προσέγγισης της έννοιας συμφωνεί με μελέτες που έδειξαν ότι μια μακροσκοπική προσέγγιση εμποδίζει την κατανόηση των υποκείμενων μηχανισμών των φυσικών φαινομένων και την κατασκευή οπτικοποιημένων νοητικών μοντέλων από τους φοιτητές (Reif 1999). Επιπλέον υιοθετώντας μια μακροσκοπική προσέγγιση θα έπρεπε να συμπεριληφθούν στη διδασκαλία έννοιες όπως θερμότητα, θερμοκρασία και ενέργεια για τις οποίες οι φοιτητές εμφανίζουν πληθώρα εναλλακτικών ιδεών (Driver R., 2000). Η έρευνα απευθύνεται σε φοιτητές Παιδαγωγικού τμήματος, το μεγαλύτερο ποσοστό των οποίων προέρχεται από θεωρητική κατεύθυνση, ως εκ τούτου κατά τη φοίτησή τους στο Λύκειο δεν έχουν διδαχτεί Θερμοδυναμική.

2. Μεθοδολογία

Σκοπός - Συμμετέχοντες

Ο σκοπός της παρούσας έρευνας είναι να διερευνηθούν και να χαρτογραφηθούν οι πορείες μάθησης που ακολουθούν οι συμμετέχοντες στο διδακτικό πείραμα για την εννοιολόγηση της εντροπίας. Πιο συγκεκριμένα, έγινε προσπάθεια να μελετηθεί ποιες έννοιες αναδεικνύονται κυρίαρχες στην εννοιολόγηση της εντροπίας σε μια μικροσκοπική προσέγγιση. Με ποιο τρόπο και σε ποια φάση της διδακτικής πορείας οι έννοιες αυτές εμπλέκονται; Στην έρευνα συμμετείχαν 22 δευτεροετείς φοιτητές του ΠΤΔΕ του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας κατά το ακαδημαϊκό έτος 2015-2016, εκ των οποίων οι 20 προέρχονται από θεωρητική κατεύθυνση κατά τη φοίτησή τους στο Λύκειο, 1 από θετική και 1 από τεχνολογική. Για την επιλογή των συμμετεχόντων χρησιμοποιήθηκε βολική δειγματοληψία (convenience sampling) (Creswell 2012).

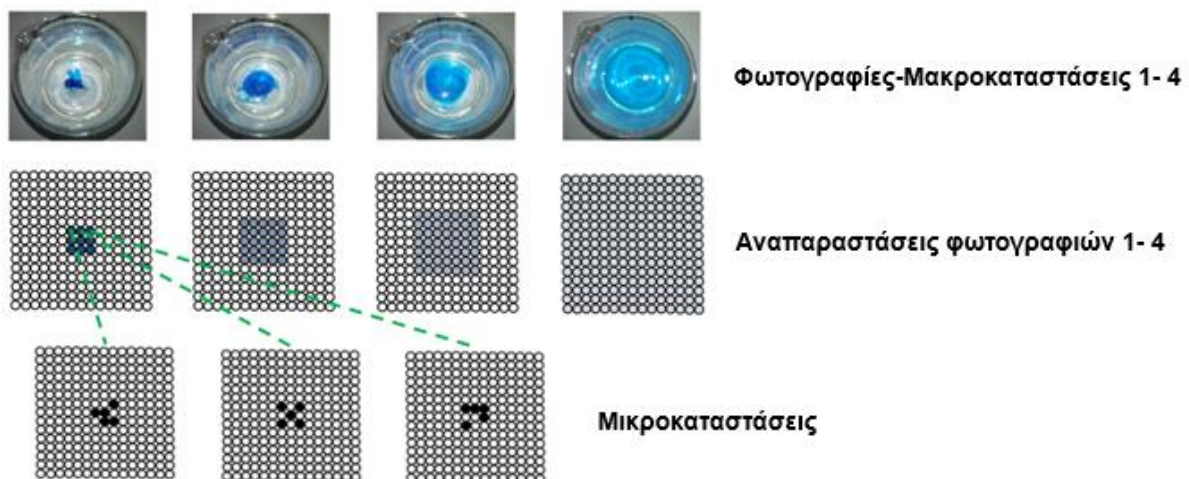
Σχεδιασμός

Η ανάγκη να μελετηθεί η ίδια η διαδικασία ανάπτυξης της μάθησης και όχι απλά το αποτέλεσμα της συντέλεσε στην επιλογή της ποιοτικής τύπου έρευνας. Σαν εργαλείο συλλογής δεδομένων χρησιμοποιήθηκε ένα διδακτικό πείραμα. Κατά την εφαρμογή μιας ευέλικτης διδακτικής παρέμβασης αποκαλύπτονται οι ιδέες των μαθητών για τις υπο διαπραγμάτευση έννοιες και διαδικασίες και μελετάται η μαθησιακή πορεία τους προς την στοχευόμενη συμβατή επιστημονικά γνώση (Komorek M. 2004).

Μια αρχική αποτύπωση των ιδεών των φοιτητών μέσω ενός ανοικτού τύπου ερωτηματολογίου και τα ευρήματα προηγούμενων ερευνών αποτέλεσαν τον σκελετό του σχεδιασμού και του προγραμματισμού ενός δίωρου διδακτικού πειράματος. Το διδακτικό πείραμα εφαρμόστηκε σε ζευγάρια φοιτητών. Οι καταγραφές των διδασκαλιών από μαγνητόφωνο και ψηφιακή κάμερα αποτέλεσαν τη βασική πηγή δεδομένων, ενώ οι γραπτές και προφορικές επισημάνσεις ενός μη συμμετοχικού παρατηρητή από τη μελέτη στο πεδίο, αποτέλεσαν μια επιπλέον πηγή.

Κατά την έναρξη της διδασκαλίας πραγματοποιήθηκε η επίδειξη της διάχυσης μιας χρωστικής στο νερό ως το πλαίσιο συζήτησης. Για την οπτικοποίηση των μικροκαταστάσεων χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο του συστήματος νερό-χρωστική όπως προτάθηκε από τους Martin et al (2013), για 4 διαφορετικά στιγμιότυπα σε αντιστοίχιση με 4 φωτογραφίες εξέλιξης του φαινομένου της επίδειξης. Η παρουσίαση της αναλογίας πραγματοποιήθηκε

Εικόνα 1: Παρουσίαση αναλογίας στιγμιότυπων διάχυσης χρωστικής με αντίστοιχα του μικροσκοπικού μοντέλου



μέσω προγράμματος προβολής διαφανειών (εικόνα 1). Στο μοντέλο το σύστημα αποτελείται από 225 σωματίδια εκ των οποίων τα 220 είναι μόρια νερού και τα 5 μαύρα είναι μόρια χρωστικής. Καθώς εισάγεται η χρωστική στο νερό, τα μόριά της καταλαμβάνουν τις πέντε από τις εννέα τυχαίες θέσεις σε ένα μπλε τετράγωνο 3×3 του συστήματος, όπως φαίνεται στην 1^η αναπαράσταση. Οι διαφορετικοί τρόποι διεύθεσης των μορίων χρωστικής στις πιθανές θέσεις αποτελούν διαφορετικές μικροκαταστάσεις του συστήματος που αντιστοιχούν στην ίδια μακροκατάσταση. Με κάθε αύξηση των πιθανών θέσεων, αυξάνει ο αριθμός των μικροκαταστάσεων. Η τελική μακροκατάσταση του συστήματος στην οποία η χρωστική διαχέεται σε όλο το νερό, αποτελείται από μέγιστο πλήθος μικροκαταστάσεων. Η διδασκαλία ολοκληρώθηκε με την εισαγωγή της έννοιας της εντροπίας κατά Boltzmann ως αύξουσα συνάρτηση του αριθμού των μικροκαταστάσεων και την εκτίμηση και αιτιολόγηση της μεταβολής της εντροπίας στο φαινόμενο που είχε προηγηθεί.

3. Αποτελέσματα

Η ανάλυση των δεδομένων ανέδειξε για την έννοια σύστημα τις ακόλουθες ιδέες: α. συλλογή αντικειμένων που βρίσκονται σε σχέση αλληλεπίδρασης, β. διαδικασίες και γ. κανόνες-ακολουθούμενη τακτική. Ακολουθώντας οι φοιτητές διαφορετικές πορείες μάθησης υιοθετούν την α ιδέα που αποτελεί τον ορισμό του συστήματος στις φυσικές επιστήμες.

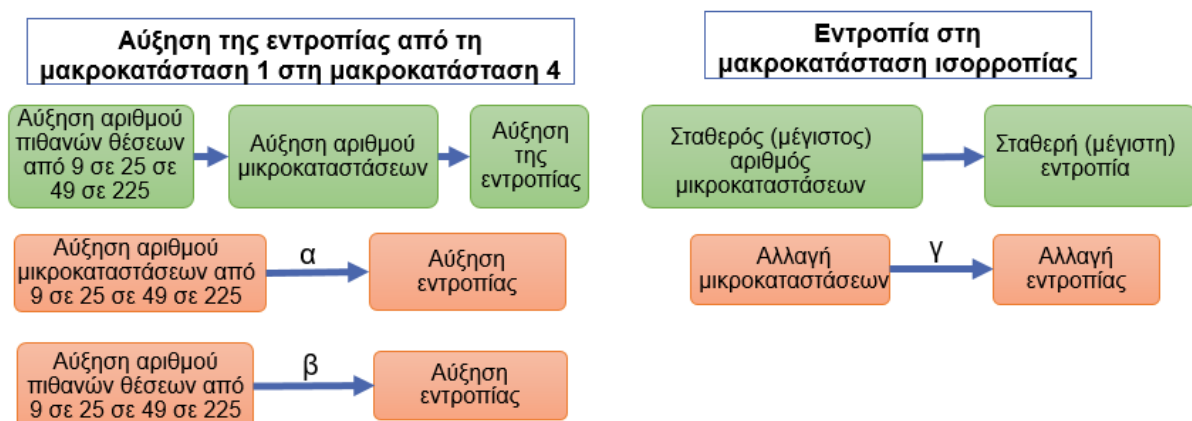
Η μακροκατάσταση περιγράφεται από τους περισσότερους φοιτητές ως η κατάσταση του συστήματος όταν το παρατηρούμε «πιο γενικά», «από μακριά» ενώ η μικροκατάσταση συνδέεται με τα μόρια της χρωστικής και τις πιθανές θέσεις τους και είναι αποτέλεσμα της «σε βάθος» παρατήρησης. Για αρκετούς όμως φοιτητές η μακροκατάσταση αποτελεί εξέλιξη της μικροκατάστασης στο χώρο ή στο χρόνο. Ενδεικτικά αναφέρεται από τον Σ16:

Σ16: *Μικροκατάσταση θα μπορούσαμε να πούμε τη στιγμή που πέφτει η σταγόνα στο νερό μέχρι που αρχίζει να εξαπλώνεται και από τη στιγμή που έχει εξαπλωθεί σ' όλο το νερό, από τότε να το θεωρήσουμε μακροκατάσταση.*

Οι φοιτητές περιγράφουν την κατάσταση ισορροπίας ως μια κατάσταση κατά την οποία ενώ μακροσκοπικά δεν εμφανίζονται παρατηρήσιμες μεταβολές, μικροσκοπικά συμβαίνουν μεταβολές. Συνήθως αναφέρονται έμμεσα σε αλλαγή των μικροκαταστάσεων καθώς κάνουν λόγο για «αλλαγή θέσεων των μορίων».

Στο σχήμα 1 αποτυπώνεται μέρος των πορειών μάθησης που διαγράφουν οι φοιτητές. Συγκεκριμένα μεγάλο μέρος των φοιτητών διαγράφουν εξ αρχής ολοκληρωμένες πορείες που αφορούν στην αιτιολόγηση της αύξησης της εντροπίας και της σταθεροποίησής της σε μια

Σχήμα 1: Πορείες μάθησης που διαγράφουν οι φοιτητές



μέγιστη τιμή στην μακροκατάσταση ισορροπίας. Οι πορείες αυτές απεικονίζονται με πράσινο χρώμα στο σχήμα 1. Στο ίδιο σχήμα, με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται κάποιες ελλειπείς πορείες που συνήθως ακολουθεί ο ένας εκ των δυο φοιτητών του ζευγαριού. Στην πορεία α , μικροκαταστάσεις θεωρούνται οι ίδιες οι πιθανές θέσεις και όχι οι πιθανοί τρόποι διάταξης των μορίων στις πιθανές θέσεις, γεγονός που καθιστά απαραίτητο τον επαναπροσδιορισμό της μικροκατάστασης ή το σχεδιασμό μικροκαταστάσεων, δεδομένων των αριθμών πιθανών θέσεων, από τους φοιτητές. Στην πορεία β δεν αναφέρεται η έννοια της μικροκατάστασης. Η αύξηση της εντροπίας συνδέεται με την αύξηση του αριθμού των πιθανών θέσεων ή με ό,τι παρατηρείται μακροσκοπικά, όπως αύξηση της επιφάνειας εξάπλωσης της χρωστικής. Τέλος στην πορεία γ η έννοια της εντροπίας αποδίδεται στη μικροκατάσταση και όχι στη μακροκατάσταση του συστήματος. Έτσι ενώ στη μακροκατάσταση ισορροπίας οι μεταβλητές διατηρούνται σταθερές, η εντροπία θεωρείται ότι αλλάζει εξαιτίας της αλλαγής των μικροκαταστάσεων.

4. Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι οι φοιτητές διαγράφουν πορείες μάθησης που οδηγούν στην μικροσκοπική ερμηνεία της εντροπίας καθώς και στην εκτίμηση και αιτιολόγηση της μεταβολής της, μέσω της έννοιας κυρίως του αριθμού των μικροκαταστάσεων. Επιπλέον η εννοιολόγηση της μακροκατάστασης και η διάκρισή της από την μικροκατάσταση καθώς και οι εννοιολογήσεις των εννοιών σύστημα και ισορροπία αποτελούν απαραίτητες προϋποθέσεις για την ανάπτυξη ολοκληρωμένων συλλογισμών. Τέλος για τη βαθύτερη κατανόηση της έννοιας της εντροπίας προτείνεται η επέκταση σε εφαρμογές όπου παρατηρείται μείωση της εντροπίας μερών ενός συστήματος αλλά όχι του συστήματος συνολικά.

5. Βιβλιογραφία

Driver R., Squires A., Rushworth P. & Wood-Robinson V. (2000). *Οικο-δομώντας τις έννοιες των φυσικών επιστημών – Μια παγκόσμια σύνοψη των Ιδεών των Μαθητών* (μετάφραση: Μ. Χατζή, επιμέλεια: Π. Κόκκοτας). Εκδόσεις Τυπωθήτω.

Ben-Naim, A. (2008). *A Farewell to Entropy: Statistical Thermodynamics Based on Information*, World Scientific Publishing, Singapore.

Brissaud J.B. (2005). The meanings of entropy. *Entropy*, 7(1), 68-96.

Creswell J. W. (2012). *Educational Research. Planning, Conducting, and Evaluating Quantitative and Qualitative Research*. 4th edition, Pearson Education.

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.

Lambert F. (2006). A modern view of entropy. *Chemistry*, 15, 13-21.

Leff H. S. (2007). Entropy, Its Language, and Interpretation. *Foundations of Physics*, 37(12), 1744-1766.

Martin J. S., Smith N. A. & Francis C. D. (2013). Removing the entropy from the definition of entropy: clarifying the relationship between evolution, entropy, and the second law of thermodynamics. *Evolution: Education and Outreach*, 6, 1-9.

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.