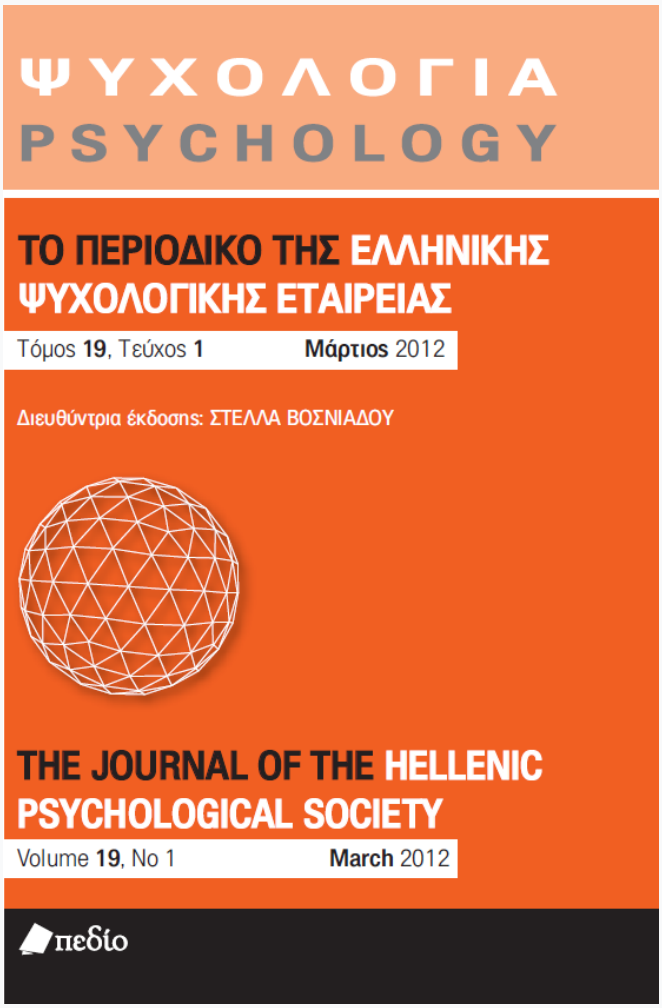
ePublishing

Psychology: the Journal of the Hellenic Psychological Society

Vol 19, No 1 (2012)



Recategorization of substances and physical changes of matter

Ουρανία Γκικοπούλου, Στέλλα Βοσνιάδου

doi: 10.12681/psy_hps.23605

Copyright © 2020, Ουρανία Γκικοπούλου, Στέλλα Βοσνιάδου

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0.

To cite this article:

Γκικοπούλου Ο., & Βοσνιάδου Σ. (2020). Recategorization of substances and physical changes of matter. *Psychology: The Journal of the Hellenic Psychological Society*, *19*(1), 1–21. https://doi.org/10.12681/psy_hps.23605

https://epublishing.ekt.gr | **e-Publisher:** EKT | **Downloaded at:** 08/01/2026 12:37:38

Επανακατηγοριοποίηση υλικών σωμάτων και φυσικές μεταβολές της ύλης

Ουρανια Γκικοπουλου[1]

Στελλα Βοσνιαδου[2]

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Προηγούμενες έρευνες στο χώρο των φυσικών επιστημών έχουν δείξει ότι πολλοί μαθητές δυσκολεύονται να κατανοήσουν τις επιστημονικές εξηγήσεις για τα φυσικά φαινόμενα. Υποθέτουμε ότι αυτή η δυσκολία οφείλεται στο γεγονός ότι κατηγοριοποιούν τα υλικά σώματα βασιζόμενοι στις μακροσκοπικές τους ιδιότητες (φυσική κατάσταση) και όχι στις μικροσκοπικές τους δομές (σωματιδιακή δομή), αποδίδοντάς τους τις ιδιότητες της αντίστοιχης κατηγορίας, οι οποίες λειτουργούν ως περιορισμοί στην κατανόηση των επιστημονικών ερμηνειών. Στόχος της έρευνας ήταν να διερευνήσει πειραματικά την παραπάνω υπόθεση και να εξετάσει αν υπάρχει αναδιοργάνωση της κατηγορίας των υλικών σωμάτων που δεν βασίζεται στη φυσική τους κατάσταση αλλά στη σωματιδιακή δομή τους, καθώς και αν αυτή συσχετίζεται με τις εξηγήσεις για τις φυσικές μεταβολές της ύλης. Στην έρευνα συμμετείχαν 40 μαθητές της Δ΄ και 40 της Στ΄ Δημοτικού, 35 της Γ΄ Γυμνασίου και 30 φοιτητές του ΠΤΔΕ. Τα αποτελέσματα επιβεβαίωσαν την υπόθεσή μας για την επανακατηγοριοποίηση των υλικών σωμάτων, ενώ διαπιστώθηκε υψηλού βαθμού συσχέτιση ανάμεσα στις κατηγοριοποιήσεις των συμμετεχόντων και στις εξηγήσεις τους για τις φυσικές μεταβολές της ύλης. Τα αποτελέσματα αυτά υποστηρίζουν την υπόθεση ότι η επανακατηγοριοποίηση των υλικών σωμάτων βάσει της σωματιδιακής τους δομής είναι προαπαιτούμενη για την κατανόηση των επιστημονικών εξηγήσεων σχετικά με τις φυσικές μεταβολές της ύλης.

Λέξεις-κλειδιά: Επανακατηγοριοποίηση, Αφελής θεωρία, Επιστημονική θεωρία, Μακροσκοπικές ιδιότητες, Σωματιδιακή δομή, Φυσικές μεταβολές της ύλης.

1. Διεύθυνση: Υποψήφια Διδάκτωρ, Τμήμα Μεθοδολογίας, Ιστορίας και Θεωρίας της Επιστήμης,Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Πανεπιστημιούπολη, 15771, Ιλίσια, Αθήνα, Τηλ.: 2107275506, 6945445380, E-mail: rgicop@phs.uoa.gr, gikopoulou@gmail.com

2. Διεύθυνση: Καθηγήτρια, Τμήμα Μεθοδολογίας, Ιστορίας και Θεωρίας της Επιστήμης, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Πανεπιστημιούπολη, 15771, Ιλίσια, Αθήνα, Τηλ: 210-7275506-7, E-mail: svosniad@phs.uoa.gr

1. Εισαγωγή

Στην παρούσα έρευνα προσπαθούμε να διερευνήσουμε αν υπάρχουν αλλαγές στην κατηγοριοποίηση της έννοιας της ύλης από τους μαθητές και αν αυτή η επανακατηγοριοποίηση σχετίζεται με τη διαδικασία της μάθησης και κατανόησης των επιστημονικών απόψεων για τις αλλαγές της φυσικής κατάστασης των σωμάτων. Υποστηρίζουμε ότι οι δυσκολίες των μαθητών να κατανοήσουν τις επιστημονικές εξηγήσεις για τα φυσικά φαινόμενα οφείλονται στο γεγονός ότι, βάσει των καθημερινών παρατηρήσεων και εμπειριών τους, συγκροτούν αρχικές ερμηνείες για τα φυσικά φαινόμενα προτού εκτεθούν σε συστηματική διδασκαλία, στο πλαίσιο μιας αφελούς φυσικής (Vosniadou & Mason, 2007). Υποθέτουμε ότι εξαιτίας αυτής της αφελούς θεωρίας τους για την ύλη, η οποία διαφέρει αισθητά από την αντίστοιχη επιστημονική, κατηγοριοποιούν τα υλικά σώματα βασιζόμενοι στις μακροσκοπικές τους ιδιότητες (φυσική κατάσταση) και όχι στις μικροσκοπικές τους δομές (σωματιδιακή δομή), αποδίδοντάς τους τις ιδιότητες της αντίστοιχης κατηγορίας, οι οποίες λειτουργούν ως περιορισμοί στην κατανόηση των επιστημονικών ερμηνειών, και ότι η κατανόηση των επιστημονικών ερμηνειών για τα φυσικά φαινόμενα προϋποθέτει αναδιοργάνωση της κατηγορίας των υλικών σωμάτων.

Αναλυτικότερα, πλήθος ερευνών στο χώρο της διδακτικής των φυσικών επιστημών έχει δείξει ότι τα παιδιά αντιμετωπίζουν σημαντικές δυσκολίες στην κατανόηση των επιστημονικών εξηγήσεων για τα φυσικά φαινόμενα. Από έρευνες των Smith, Carey και Wiser (1985) διαπιστώθηκε ότι οι μαθητές στην ηλικία των 10 ετών πιστεύουν ότι η ύλη είναι ομογενής και συνεχής. Οι σωματιδιακές ιδέες εμφανίζονται σε μεγαλύτερους μαθητές, αλλά ακόμη και στις περιπτώσεις όπου η ύλη εξηγείται με τη βοήθεια σωματιδίων, συχνά οι σωματιδιακές ιδέες των μαθητών δεν είναι σύμφωνες με τις επιστημονικές. Έρευνες του Nussbaum (1985) έδειξαν ότι ακόμη και μαθητές ηλικίας 15 ετών δυσκολεύονται να κατανοήσουν τη σωματιδιακή κατάσταση της ύλης και πιστεύουν ότι η ύλη είναι συνεχής και στατική, ενώ μεγάλη δυσκολία συναντούν επίσης στην κατανόηση της έννοιας του κενού, της αέναης κίνησης των σωμάτων και της αλληλεπίδρασης μεταξύ των σωματιδίων.

Από έρευνες των Stavy και Stachel (1985), οι οποίοι διερεύνησαν την εξέλιξη των ιδεών των παιδιών ηλικίας 5-12 ετών για τις έννοιες του υγρού και του στερεού, προέκυψε ότι τα παιδιά μπορούν σχετικά νωρίς να διακρίνουν τα υγρά σώματα εξαιτίας του νερού που λειτουργεί ως πρότυπο, ενώ αντίθετα για τα στερεά, για τα οποία δεν υπάρχει τέτοιο πρότυπο, τα παιδιά να δυσκολεύονται να κατατάξουν σώματα που δεν είναι σκληρά ή σκόνες. Έρευνες των Nakhlem και Samarapungavan (1999) για τις σωματιδιακές ιδέες μαθητών ηλικίας 7-10 ετών σχετικά με τις ιδιότητες της ύλης στις τρεις φυσικές καταστάσεις καθώς και τις μεταβολές της ύλης έδειξαν ότι ακόμη και οι μαθητές που είχαν μικροσωματιδιακές ιδέες αδυνατούσαν να γενικεύσουν τις σωματιδιακές τους απόψεις στις τρεις καταστάσεις της ύλης. Σύμφωνα με τους Driver και συνεργάτες (1994), οι μαθητές δυσκολεύονται να ταξινομήσουν τα υλικά σώματα σε στερεά, υγρά και αέρια γιατί οι ιδέες τους για την ύλη διαθέτουν ορισμένα χαρακτηριστικά που τους δημιουργούν εμπόδια: θεωρούν «στερεά» εκείνα τα σώματα που είναι σκληρά, δεν αλλάζουν εύκολα σχήμα, δεν σπάνε εύκολα και γενικότερα είναι ανθεκτικά, γι' αυτό και τα εύπλαστα ή εύθραυστα υλικά δεν εντάσσονται στα στερεά, ενώ το ίδιο ισχύει για τις σκόνες και τις πούδρες, εξαιτίας του χαρακτηριστικού τους να μεταφέρονται από δοχείο σε δοχείο «σαν να είναι υγρά». Για τα υγρά, το πρότυπο αναφοράς είναι το νερό και ειδικότερα η ρευστότητά του, οπότε παχύρρευστα υγρά, όπως το μέλι, προβληματίζουν τους μαθητές. Τέλος, μαθητές μικρής ηλικίας θεωρούν ότι ο αέρας δεν είναι υλικό σώμα και ότι δεν έχει βάρος.

Άλλες έρευνες υποστηρίζουν ότι υπάρχει σχέση ανάμεσα στην ύπαρξη εναλλακτικών αντιλήψεων στο μακροσκοπικό επίπεδο και στις δυσκολίες κατανόησης της σωματιδιακής θεωρίας ως ερμηνευτικού μοντέλου. Οι Snir, Smith και Raz (2003) έδειξαν ότι οι μαθητές που κατανόησαν πώς τα σωματίδια ερμηνεύουν μερικά μακροσκοπικά φαινόμενα είχαν επίσης κατανοήσει σωστά

μακροσκοπικά την ύλη, το βάρος, τον όγκο και την πυκνότητα, ενώ οι Lee και συνεργάτες (1993) έδειξαν ότι μακροσκοπικές και μικροσκοπικές παρανοήσεις συνυπάρχουν εξίσου στην 6η τάξη σε πολλά θέματα, όπως η αέρια φυσική κατάσταση, η αλλαγή κατάστασης, η διάλυση κ.λπ.

Η Κουκά (2000) διερεύνησε την ανάπτυξη της έννοιας του νερού ως χημικής ένωσης και τα αποτελέσματα της έρευνάς της υποστηρίζουν την άποψη ότι τα παιδιά σχηματίζουν ένα αρχικό επεξηγηματικό πλαίσιο για το νερό, σύμφωνα με το οποίο το νερό είναι υγρό και η ταυτότητά του προσδιορίζεται από κάποιες φυσικές ιδιότητες και δεν αλλάζει. Αυτό το αρχικό επεξηγηματικό πλαίσιο μεταβάλλεται σταδιακά μέσω της δημιουργίας συνθετικών μοντέλων, μέχρι να υιοθετηθεί το επιστημονικό μοντέλο. Η μελέτη των συνθετικών μοντέλων των μαθητών δείχνει ότι υπάρχει μια ακολουθία στην κατανόηση ορισμένων εννοιών που σχετίζονται με το νερό ως χημική ένωση. Φαίνεται δηλαδή ότι οι μαθητές αρχικά μαθαίνουν ότι η ταυτότητα του νερού προσδιορίζεται από το σύνολο των μακροσκοπικών του ιδιοτήτων, και όχι επειδή είναι άχρωμο και διαυγές υγρό, και στη συνέχεια κατανοούν ότι ο υδρατμός είναι επίσης νερό αλλά σε αέρια κατάσταση. Η εξήγηση του βρασμού ως διαδικασία μετατροπής του υγρού σε αέριο φαίνεται ότι εξαρτάται από την κατανόηση των δύο πρώτων. Η έρευνα αυτή της Κουκά (2000) έδειξε ότι η διαδικασία της εννοιολογικής ανάπτυξης προχωρά μέσω συνθετικών μοντέλων στη σταδιακή διαμόρφωση μιας συνεχώς αναδιοργανούμενης έννοιας του νερού που είναι πιο κοντά στην επιστημονική. Η ιδέα ότι κάτω από ορισμένες συνθήκες το νερό βρίσκεται στην αέρια ή τη στερεή κατάσταση δεν συμφωνεί με την καθημερινή εμπειρία των μαθητών, γι' αυτό και δυσκολεύονται να κατανοήσουν τον υδρατμό, ενώ αντίθετα η άποψη ότι το νερό είναι υγρό αποτελεί προϊόν καθημερινής παρατήρησης. Οι συνθετικές κατηγορίες είναι αυτές όπου το νερό συνεχίζει μεν να γίνεται αντιληπτό αποκλειστικά ως υγρό, αλλά οι μαθητές καταβάλλουν προσπάθεια να εξηγήσουν ότι και το περιεχόμενο του «ατμού» είναι κατά κάποιον τρόπο νερό.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, θα μπορούσαμε να πούμε ότι οι μαθητές αντιλαμβάνονται την ύλη ως συνεχή και χωρίς σωματίδια, ενώ ακόμη και όταν αναφέρουν σωματίδια, αυτά έχουν περισσότερο μακροσκοπικά χαρακτηριστικά και ιδιότητες παρά μικροσκοπικά, και ότι επιπλέον έχουν διαμορφώσει την άποψη ότι η ταυτότητα των υλικών σωμάτων προσδιορίζεται από λίγες μακροσκοπικές ιδιότητες και συχνά από τη φυσική τους κατάσταση, με αποτέλεσμα να αντιμετωπίζουν σημαντικές δυσκολίες στην κατανόηση των επιστημονικών εξηγήσεων για τα φυσικά φαινόμενα.

Θεωρούμε ότι οι δυσκολίες αυτές των μαθητών οφείλονται στο γεγονός ότι έχουν διαμορφώσει αρχικές ερμηνείες για την ύλη και τις ιδιότητές της βάσει των καθημερινών εμπειριών τους, οι οποίες ερμηνείες διαφέρουν αισθητά από τις επιστημονικά αποδεκτές. Έρευνες στο χώρο της γνωστικής ανάπτυξης έχουν δείξει ότι τα παιδιά από μικρή ηλικία διαμορφώνουν, βάσει των καθημερινών εμπειριών τους, αφελείς θεωρίες οι οποίες κατευθύνουν τον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβάνονται τις έννοιες και τα φαινόμενα γύρω τους (Βοσνιάδου, Βαμβακούση, & Σκοπελίτη, 2008. Carey, 1985). Αυτές οι αφελείς θεωρίες δεν είναι αποσπασματικές, διαθέτουν εσωτερική συνοχή και παρέχουν στα παιδιά τη δυνατότητα να κάνουν προβλέψεις και να δίνουν εξηγήσεις, διαφέρουν ωστόσο αισθητά από τις αντίστοιχες επιστημονικές και είναι δύσκολο να αλλάξουν, γι' αυτό και μπορεί να αποτελέσουν εμπόδιο κατά τη διαδικασία της μάθησης (και) στο χώρο των φυσικών επιστημών (Βοσνιάδου, Βαμβακούση, & Σκοπελίτη, 2008).

Σύμφωνα με τη θεωρία πλαισίου που έχει προταθεί από τη Βοσνιάδου και τους συνεργάτες της (Vosniadou & Mason, 2007) και όπως προκύπτει από σχετικές έρευνες (Vosniadou & Brewer, 1992, 1994. Vosniadou, 2006. Vosniadou & Vamvakousi, 2006. Vosniadou & Verschaffel, 2004. Vosniadou, Vamvakousi, & Skopeliti, 2008), συχνά οι μαθητές δυσκολεύονται να κατανοήσουν επιστημονικές έννοιες που διδάσκονται γιατί παραβιάζονται πολλές από τις αρχές των αφελών θεωριών τους, οι οποίες είναι καλά εδραιωμένες και τίθενται δύσκολα υπό αμφισβήτηση. Όταν οι μαθητές εκτίθενται στις επιστημονικές εξηγήσεις, προσπα-

θούν να ενσωματώσουν τις νέες μη συμβατές πληροφορίες στο υπάρχον επεξηγηματικό τους πλαίσιο, όμως αυτή η ασυμβατότητα μπορεί να οδηγήσει είτε σε εσωτερική ασυνέπεια (άρα και σε αποσπασματικότητα) είτε στη δημιουργία παρανοήσεων. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η κατανόηση των επιστημονικών εννοιών απαιτεί την αναδιοργάνωση των αφελών θεωριών, που μπορεί να θεωρηθεί ως «αλλαγή θεωρίας». Η μάθηση δηλαδή σε αυτή την περίπτωση δεν επιτυγχάνεται μόνο με την προσθήκη νέων πληροφοριών ή με την κάλυψη των κενών, αλλά απαιτεί ριζικές εννοιολογικές αλλαγές που εμπερικλείουν και οντολογικές αλλαγές.

2. Η παρούσα έρευνα

Έρευνες στο χώρο της αστρονομίας (Vosniadou & Skopeliti, 2005. Σκοπελίτη, 2008) έχουν δείξει ότι τα παιδιά αντιμετωπίζουν δυσκολίες στην κατανόηση του σφαιρικού σχήματος της Γης και αυτό αποδίδεται στο γεγονός ότι κατηγοριοποιούν τη Γη ως φυσικό σώμα αντί για ουράνιο, αποδίδοντάς της τις ιδιότητες των φυσικών σωμάτων (σταθερότητα, βαρύτητα από πάνω προς τα κάτω). Από τις έρευνες αυτές φάνηκε ότι για να μπορέσουν τα παιδιά να κατανοήσουν ότι η Γη έχει σφαιρικό σχήμα και βρίσκεται στο διάστημα κινούμενη γύρω από τον εαυτό της και γύρω από τον Ήλιο, είναι σημαντικό να έχουν επανακατηγοριοποιήσει τη Γη ως ένα ουράνιο σώμα που φέρει τις ιδιότητες των ουράνιων σωμάτων (και όχι των φυσικών). Τα αποτελέσματα των ερευνών αυτών επομένως (Vosniadou & Skopeliti, 2005. Σκοπελίτη, 2008) υποστηρίζουν την άποψη ότι η επανακατηγοριοποίηση της έννοιας της Γης είναι απαραίτητη για την πλήρη κατανόηση των επιστημονικών απόψεων για το σχήμα της.

Αντίστοιχα, έρευνες στο χώρο των φυσικών επιστημών έχουν δείξει ότι τα παιδιά αντιμετωπίζουν δυσκολίες στην κατανόηση των επιστημονικών εξηγήσεων για τα φυσικά φαινόμενα (Driver et al., 1994. Lee et al., 1993. Nakhlem & Samarapungavan, 1999. Nussbaum, 1985. Smith, Carey & Wiser, 1985. Snir, Smith, & Raz, 2003. Stavy & Stachel, 1985), καθώς συγκροτούν επεξηγηματικά πλαίσια για την ύλη και τις μεταβολές της τα οποία διαφέρουν σημαντικά από τα αντίστοιχα επιστημονικά. Αναλυτικότερα, σύμφωνα με το επεξηγηματικό πλαίσιο των μαθητών για την ύλη (Κουκά, 2000), τα σώματα είναι συνεχή, η ταυτότητά τους προσδιορίζεται από τη φυσική τους κατάσταση, η φυσική κατάσταση των σωμάτων προσδιορίζεται από λίγες ιδιότητες και τα σώματα δεν αλλάζουν ταυτότητα, ενώ βάσει του επιστημονικού επεξηγηματικού πλαισίου για την ύλη (Καλκάνης, 2007. Κουκά, 2000), τα φυσικά σώματα αποτελούνται από σωματίδια που βρίσκονται σε συνεχή κίνηση, η ταυτότητα των χημικών ουσιών βασίζεται στη μοριακή τους δομή, τα φυσικά σώματα είναι δυνατόν να αλλάζουν ταυτότητα και οι φυσικές καταστάσεις της ύλης περιγράφονται με τη βοήθεια των μορίων, η δε μετάβαση από τη μία φυσική κατάσταση στην άλλη εξηγείται με την αλλαγή των ελκτικών δυνάμεων ανάμεσα στα μόρια.

Υποθέτουμε ότι οι δυσκολίες των μαθητών να κατανοήσουν τις επιστημονικές εξηγήσεις για τα φυσικά φαινόμενα οφείλονται στο γεγονός ότι κατηγοριοποιούν τα υλικά σώματα βάσει της φυσικής τους κατάστασης (στερεά, υγρά, αέρια) αντί της μοριακής τους δομής, αποδίδοντας σε αυτά τις ιδιότητες της αντίστοιχης κατηγορίας (π.χ. τα στερεά είναι σκληρά, τα υγρά χύνονται, τα αέρια φεύγουν στον ουρανό κ.λπ.), οι οποίες δρουν ως περιορισμοί στην προσπάθειά τους να κατανοήσουν τις επιστημονικές απόψεις.

Το ερώτημα που προκύπτει είναι πώς συσχετίζεται η διαδικασία κατανόησης των επιστημονικών εξηγήσεων για τα φυσικά φαινόμενα με τη διαδικασία επανακατηγοριοποίησης των υλικών σωμάτων, από την κατηγοριοποίηση βάσει της φυσικής κατάστασης στην κατηγοριοποίηση βάσει της μοριακής δομής. Πιο συγκεκριμένα, μας ενδιαφέρει να διαπιστώσουμε με ποιον τρόπο οι μαθητές κατηγοριοποιούν τα υλικά σώματα, αν κάνουν λάθη και ποια κριτήρια χρησιμοποιούν, αν στην πορεία επανακατηγοριοποιούν τα υλικά σώματα και αν αυτή η επανακατηγοριοποίηση, η αλλαγή δηλαδή της οντολογικής κατηγορίας της ύλης, σχετίζεται με τη διαδικασία της μάθησης και

κατανόησης των επιστημονικών απόψεων για τις αλλαγές της φυσικής κατάστασης των σωμάτων.

Η παρούσα έρευνα εξετάζει τον τρόπο με τον οποίο μαθητές και φοιτητές κατηγοριοποιούν τα υλικά σώματα σε συνδυασμό με τις εξηγήσεις τους για τις φυσικές μεταβολές της ύλης. Στόχος της μελέτης είναι να διαπιστωθεί αν υπάρχει επανακατηγοριοποίηση της έννοιας της ύλης και κυρίως να εξεταστεί η συσχέτιση ανάμεσα στις κατηγοριοποιήσεις των συμμετεχόντων και στις εξηγήσεις τους για τα φυσικά φαινόμενα.

Υποθέτουμε ότι οι μικρότεροι μαθητές θα κατηγοριοποιήσουν τα υλικά σώματα βάσει της φυσικής τους κατάστασης, ενώ οι μεγαλύτεροι συμμετέχοντες θα είναι σε θέση να παραβλέψουν τις επιφανειακές ομοιότητες της φυσικής κατάστασης των σωμάτων και να τα κατηγοριοποιήσουν βάσει της μοριακής τους δομής. Περιμένουμε λοιπόν αλλαγές στην κατηγοριοποίηση των υλικών σωμάτων ανάλογα με την ηλικία.

Υποθέτουμε επίσης ότι θα υπάρχει ισχυρή συσχέτιση ανάμεσα στον τρόπο με τον οποίο οι συμμετέχοντες κατηγοριοποιούν τα υλικά σώματα και στις εξηγήσεις τους για τις φυσικές μεταβολές της ύλης. Περιμένουμε δηλαδή ότι οι συμμετέχοντες που θα κατηγοριοποιήσουν τα υλικά σώματα βάσει της φυσικής τους κατάστασης θα αντιμετωπίσουν μεγαλύτερες δυσκολίες στην ερμηνεία των φυσικών φαινομένων από ό,τι οι συμμετέχοντες που θα κατηγοριοποιήσουν τα υλικά σώματα βάσει της μοριακής τους δομής. Σύμφωνα με το θεωρητικό μας πλαίσιο, η μετάβαση από την κατηγοριοποίηση των σωμάτων βάσει της φυσικής τους κατάστασης στην κατηγοριοποίησή τους βάσει της μοριακής τους δομής φαίνεται να αποτελεί προϋπόθεση για την κατανόηση των επιστημονικών ερμηνειών σχετικά με τις φυσικές μεταβολές της ύλης. Για να μπορέσουν δηλαδή οι μαθητές να κατανοήσουν πλήρως τις επιστημονικές εξηγήσεις για τα φυσικά φαινόμενα, φαίνεται να είναι απαραίτητη η επανακατηγοριοποίηση της ύλης σε μια νέα οντολογική κατηγορία, προκειμένου να της αποδοθούν νέες ιδιότητες και να αρθούν οι αρχικές πεποιθήσεις των μαθητών που φαίνεται να εμποδίζουν τη μάθηση (Medin & Rips, 2005. Vosniadou, Vamvakoussi, & Skopeliti, 2008).

Για να ελέγξουμε τις παραπάνω υποθέσεις, πραγματοποιήσαμε μια εμπειρική μελέτη με μαθητές δημοτικού σχολείου, γυμνασίου και φοιτητές πανεπιστημίου, όπου χρησιμοποιήθηκαν ένα έργο κατηγοριοποίησης και δύο έργα ερμηνείας φαινομένων τα οποία σχεδιάσαμε για την έρευνα αυτή, αφού πρώτα τα δοκιμάσαμε πιλοτικά.

3. Μεθοδολογία

Συμμετέχοντες

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε δημοτικά σχολεία της Αργυρούπολης, σε γυμνάσιο της Αργυρούπολης και στο Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Αθηνών. Το δείγμα αποτέλεσαν 40 μαθητές της Δ΄ Δημοτικού (9-10 ετών), 40 μαθητές της Στ΄ Δημοτικού (11-12 ετών), 35 μαθητές της Γ΄ Γυμνασίου (14-15 ετών) και 30 τριτοετείς φοιτητές του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Αθηνών (21-25 ετών).

Διαδικασία

Οι συμμετέχοντες εξετάστηκαν ατομικά με τη μέθοδο της συνέντευξης. Οι συνεντεύξεις διαρκούσαν περίπου 50 λεπτά και πραγματοποιήθηκαν σε αίθουσα του σχολείου/πανεπιστημίου, χωρίς την παρουσία άλλων προσώπων. Οι ερωτήσεις που υποβλήθηκαν ήταν ίδιες για όλους τους συμμετέχοντες και η σειρά τους ακολουθήθηκε πιστά. Οι συμμετέχοντες κατέγραφαν τις απαντήσεις τους και έφτιαχναν τα σχέδιά τους σε ειδικό έντυπο που τους δόθηκε, ενώ και η ερευνήτρια κρατούσε σημειώσεις σε ειδικό ένθετο με τις ερωτήσεις. Αρχικά δόθηκε στους συμμετέχοντες το έργο κατηγοριοποίησης και στη συνέχεια τα δύο έργα ερμηνείας (φυσικών) φαινομένων.

Υλικά

Για το Έργο Κατηγοριοποίησης χρησιμοποιήθηκαν 8 καρτέλες πάνω στις οποίες ήταν γραμμένα τα ονόματα των εξής αντικειμένων: ΠΑΓΟΣ, ΝΕΡΟ, ΒΡΟΧΗ, ΟΜΙΧΛΗ, ΥΔΡΑΤΜΟΣ, ΣΥΝΝΕΦΟ, ΧΑΛΑΖΙ, ΧΙΟΝΙ, τα οποία οι συμμετέχοντες κα-

λούνταν να χωρίσουν σε ομάδες. Πρόκειται για αντικείμενα τα οποία μπορούσαν να κατηγοριοποιηθούν είτε με βάση τη φυσική τους κατάσταση (στερεά, υγρά, αέρια) είτε με βάση την (κοινή) μοριακή τους δομή (H_2O). Οι συμμετέχοντες καλούνταν να απαντήσουν σε 4 ερωτήσεις για την κατηγοριοποίηση των υλικών σωμάτων και να αιτιολογήσουν κάθε φορά την απάντησή τους, αφού η κάθε ερώτηση συνοδευόταν και από μία ερώτηση αιτιολόγησης («Γιατί έβαλες μαζί αυτά τα αντικείμενα;»). Οι ερωτήσεις κατηγοριοποίησης παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Στα Έργα Ερμηνείας (Φυσικών) Φαινομένων οι συμμετέχοντες καλούνταν να εξηγήσουν δύο φυσικά φαινόμενα: (α) την Τήξη του Πάγου και (β) το Βρασμό του Νερού, απαντώντας σε 7 και 8 ερωτήσεις, αντίστοιχα, περιγράφοντας και εξηγώντας τα φαινόμενα, προσδιορίζοντας τη σύσταση του νερού, του πάγου και του υδρατμού, και σχεδιάζοντας το εσωτερικό τους. Οι ερωτήσεις ερμηνείας των φαινομένων καταγράφονται στους Πίνακες 3 και 4.

4. Αποτελέσματα

Αρχικά παρουσιάζονται οι απαντήσεις και οι επιδόσεις των μαθητών στο έργο κατηγοριοποίησης προκειμένου να ελεγχθεί η πρώτη υπόθεση της έρευνας για την αλλαγή στις κατηγοριοποιήσεις των συμμετεχόντων. Στη συνέχεια εξετάζονται οι απαντήσεις και οι επιδόσεις των συμμετεχόντων στα έργα ερμηνείας φαινομένων προκειμένου να σχηματιστεί μια πιο γενική εικόνα για τις εξηγήσεις τους σχετικά με τις φυσικές μεταβολές της ύλης. Κατόπιν επιχειρείται η σύγκριση της επίδοσής τους στα δύο είδη έργων (κατηγοριοποίησης - ερμηνείας φαινομένων) με στόχο τον έλεγχο της δεύτερης υπόθεσής μας για τη συσχέτιση των κατηγοριοποιήσεών τους με τις εξηγήσεις τους για τα φυσικά φαινόμενα.

Έργο Κατηγοριοποίησης

Προκειμένου να ελέγξουμε την πρώτη υπόθεση της έρευνάς μας, εξετάσαμε τις κατηγοριοποιήσεις των συμμετεχόντων. Οι απαντήσεις τους στις δύο πρώτες ερωτήσεις κατηγοριοποίησης χωρίστηκαν σε τρεις βασικές κατηγορίες: (1) Τοποθετούν όλα τα αντικείμενα σε μία κατηγορία (H_2O). (2) Χωρίζουν στερεά, υγρά, αέρια. (3) Χρησιμοποιούν άλλες κατηγορίες (με βάση την ομοιότητα, τη χρήση κ.λπ.). Στην τρίτη ερώτηση διακρίθηκαν στις κατηγορίες: (1) Χωρίζουν στερεά, υγρά, αέρια. (2) Δεν χωρίζουν στερεά, υγρά, αέρια. Στην τελευταία ερώτηση ομαδοποιήσαμε τις απαντήσεις σε πέντε κατηγορίες: (1) Ναι, θα μπορούσαν να μπουν σε μία κατηγορία γιατί είναι η ίδια χημική ένωση (H_2O). (2) Ναι, θα μπορούσαν να μπουν σε μία κατηγορία γιατί είναι νερό σε διαφορετική φυσική κατάσταση. (3) Ναι, θα μπορούσαν να μπουν σε μία κατηγορία τα στερεά και τα υγρά, αλλά όχι τα αέρια. (4) Όχι, δεν θα μπορούσαν να μπουν σε μία κατηγορία γιατί δεν ταιριάζουν, δεν είναι ίδια. (5) Όχι, δεν θα μπορούσαν να μπουν σε μία κατηγορία γιατί δεν πάνε μαζί στερεά, υγρά και αέρια.

Η ομαδοποίηση των απαντήσεων στις ερωτήσεις κατηγοριοποίησης φαίνεται στον Πίνακα 1, μαζί με τα ποσοστά που συγκέντρωσε το κάθε είδος απάντησης.

Η σύγκριση των απαντήσεων των συμμετεχόντων σε κάθε ερώτηση και η ανάλυση του στατιστικού κριτηρίου chi-square (χ^2) έδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές ως προς την ηλικία και για τις τέσσερις ερωτήσεις: Ερώτηση 1: $\chi^2(6)=26{,}295$, $p<0{,}001$, Ερώτηση 2: $\chi^2(9)=21{,}077$, $p=0{,}012$, Ερώτηση 3: $\chi^2(3)=25{,}445$, $p<0{,}001$, Ερώτηση 4: $\chi^2(12)=97{,}615$, $p<0{,}001$.

Διαπιστώνουμε επομένως ότι αρχικά οι μαθητές χρησιμοποιούν ως κριτήριο κατηγοριοποίησης την ομοιότητα (στο σχήμα ή τη χρήση), αλλά μέχρι το τέλος του Δημοτικού είναι σε θέση να κατηγοριοποιούν τα σώματα βάσει της φυσικής τους κατάστασης και αρκετοί από αυτούς μπορούν να τα κατηγοριοποιούν και βάσει της μοριακής τους δομής, όταν τους ζητηθεί, ενώ το ποσοστό αυτό αυξάνεται στο Γυμνάσιο και κυρίως στο Πανεπιστήμιο. Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν να επιβεβαιώνουν την πρώτη υπόθεσή μας σχετικά με την επανακατηγοριοποίηση των υλικών σωμάτων με την ηλικία.

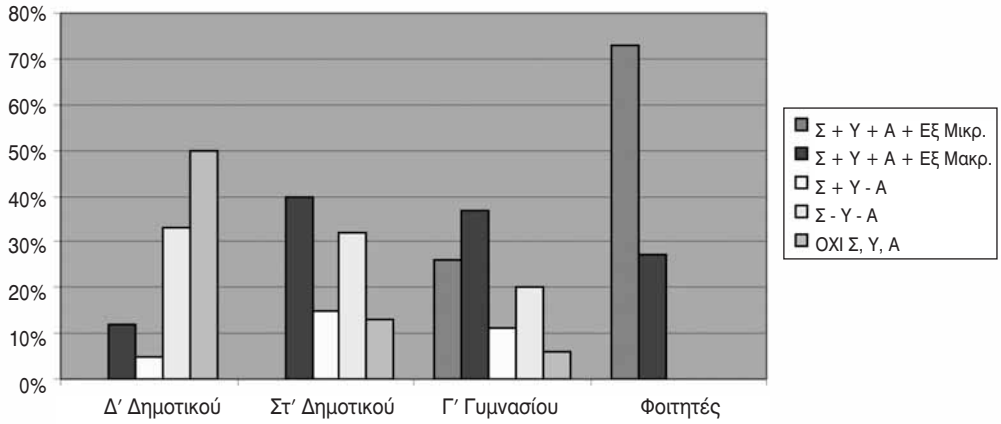
Πίνακας 1
Απαντήσεις συμμετεχόντων στις τέσσερις ερωτήσεις κατηγοριοποίησης

Ερωτήσεις	**Απαντήσεις**	**Δ′ Δημοτ. *N*=40**	**Στ′ Δημοτ. *N*=40**	**Γ′ Γυμνασ. *N*=35**	**Φοιτητ. ΠΤΔΕ *N*=30**
1. Θέλω να βάλεις μαζί αυτά τα πράγματα που ανήκουν στην ίδια κατηγορία στην ίδια ομάδα. Θέλω να βάλεις μαζί αυτά που πάνε μαζί.	1. Τα βάζουν σε μία κατηγορία H_2O	–	–	3%	7%
	2. Χωρίζουν στερεά, υγρά, αέρια	25%	25%	40%	70%
	3. Χρησιμοποιούν άλλες κατηγορίες (με βάση την ομοιότητα, χρήση)	75%	75%	57%	23%
2. Υπάρχει άλλος τρόπος που μπορείς να τα βάλεις μαζί;	1. Τα βάζουν σε μία κατηγορία H_2O	3%	8%	20%	27%
	2. Χωρίζουν στερεά, υγρά, αέρια	15%	25%	26%	20%
	3. Χρησιμοποιούν άλλες κατηγορίες (με βάση την ομοιότητα, χρήση)	40%	40%	23%	47%
	4. Δεν απαντούν	42%	27%	31%	6%
3. Μπορείς να χωρίσεις τα αντικείμενα σε στερεά, υγρά και αέρια;	1. Χωρίζουν στερεά, υγρά, αέρια	53%	86%	94%	100%
	2. Δε χωρίζουν στερεά, υγρά, αέρια	47%	14%	6%	–
4. Θα μπορούσαν να μπουν όλα τα αντικείμενα σε μία κατηγορία; Γιατί; Γιατί όχι;	1. ΝΑΙ, είναι η ίδια χημική ένωση H_2O	–	–	26%	73%
	2. ΝΑΙ, είναι νερό σε διαφορετική φυσική κατάσταση	12%	40%	37%	27%
	3. ΝΑΙ τα στερεά και τα υγρά, αλλά ΟΧΙ τα αέρια	5%	12%	11%	–
	4. ΟΧΙ δεν ταιριάζουν / δεν είναι ίδια	58%	30%	15%	–
	5. ΟΧΙ, γιατί δεν πάνε μαζί στερεά, υγρά και αέρια	25%	18%	11%	–

Προκειμένου να ελέγξουμε καλύτερα την υπόθεση αυτή, εξετάσαμε λεπτομερέστερα τις απαντήσεις των συμμετεχόντων στις δύο τελευταίες ερωτήσεις κατηγοριοποίησης συνδυαστικά. Θελήσαμε να ελέγξουμε αν οι συμμετέχοντες οι οποίοι κατηγοριοποιούν τα αντικείμενα βάσει της φυσικής τους κατάστασης (στερεά, υγρά, αέρια) μπορούν να τα κατηγοριοποιήσουν και βάσει της μοριακής τους δομής ή όχι. Έτσι, έγινε ένας συνδυασμός των διαφορετικών απαντήσεών τους στις δύο αυτές ερωτήσεις και προέκυψαν τέσσερις διαφορετικοί τύποι απαντήσεων, οι οποίοι φαίνονται στον Πίνακα 2: (1) Στερεά + Υγρά + Αέρια + Επιστημονική Εξήγηση Μικροσκοπική (οι συμμετέχοντες χωρίζουν τα αντικείμενα σε στερεά, υγρά και αέρια, και τα τοποθετούν και σε μία κατηγορία, αιτιολογώντας σωστά την επιλογή τους μικροσκοπικά, απαντούν δηλαδή ότι τα αντικείμενα μπορούν να μπουν σε μία κατηγορία γιατί είναι όλα η ίδια χημική ένωση H_2O). Αυτός ο τύπος απάντησης βαθμολογήθηκε με 5. (2) Στερεά + Υγρά + Αέρια + Επιστημονική Εξήγηση Μακροσκοπική (οι συμμετέχοντες χωρίζουν τα αντικείμενα σε στερεά, υγρά και αέρια, και τα τοποθετούν και σε μία κατηγορία, αιτιολογώντας σωστά την επιλογή τους μακροσκοπικά, απαντούν δηλαδή ότι τα αντικείμενα μπορούν να μπουν σε μία κατηγορία γιατί είναι όλα νερό σε διαφορετική

Πίνακας 2
Απαντήσεις συμμετεχόντων στις δύο τελευταίες ερωτήσεις κατηγοριοποίησης

Ερωτήσεις	Απαντήσεις	Δ′ Δημοτ. *N*=40	Στ′ Δημοτ. *N*=40	Γ′ Γυμνασ. *N*=35	Φοιτητ. ΠΤΔΕ *N*=30
Ερωτήσεις 3 + 4	1. Στερεά + Υγρά + Αέρια + Επιστ. Εξήγηση Μικροσκοπική (5)	–	–	26%	73%
	2. Στερεά + Υγρά + Αέρια + Επιστ. Εξήγηση Μακροσκοπική (4)	12%	40%	37%	27%
	3. Στερεά + Υγρά – Αέρια (3)	5%	15%	11%	–
	4. Στερεά – Υγρά – Αέρια (2)	33%	32%	20%	–
	5. ΟΧΙ Στερεά, Υγρά, Αέρια (1)	50%	13%	6%	–



Γράφημα 1
Απαντήσεις συμμετεχόντων στις δύο τελευταίες ερωτήσεις κατηγοριοποίησης

φυσική κατάσταση, είναι η στερεή, υγρή και αέρια μορφή του νερού κ.λπ.). Αυτός ο τύπος απάντησης βαθμολογήθηκε με 4. (3) Στερεά + Υγρά – Αέρια (οι συμμετέχοντες χωρίζουν τα αντικείμενα σε στερεά, υγρά και αέρια, και τοποθετούν σε μία κατηγορία μόνο τα στερεά και τα υγρά, απαντώντας ότι τα αέρια δεν ταιριάζουν). Αυτός ο τύπος απάντησης βαθμολογήθηκε με 3. (4) Στερεά – Υγρά – Αέρια (οι συμμετέχοντες χωρίζουν τα αντικείμενα σε στερεά, υγρά και αέρια, και δεν τα τοποθετούν σε μία κατηγορία, απαντώντας ότι δεν ταιριάζουν ή ότι τα στερεά, τα υγρά και τα αέρια δεν μπορούν να μπουν μαζί). Αυτός ο τύπος απάντησης βαθμολογήθηκε με 2. (5) ΟΧΙ Στερεά, Υγρά, Αέρια (οι συμμετέχοντες δεν χωρίζουν τα αντικείμενα σε στερεά, υγρά και αέρια, και δεν τα τοποθετούν σε μία κατηγορία, απαντώντας ότι δεν μπορούν να μπουν μαζί). Αυτός ο τύπος απάντησης βαθμολογήθηκε με 1.

Η σύγκριση των απαντήσεων των συμμετεχόντων με το στατιστικό κριτήριο chi-square (χ^2) έδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές ως προς

την ηλικία: $\chi^2(12)=108{,}137$, $p<0{,}001$. Επίσης υπολογίστηκε η επίδοση των συμμετεχόντων στις δύο αυτές ερωτήσεις κατηγοριοποίησης και πραγματοποιήθηκε Ανάλυση Διακύμανσης μονής κατεύθυνσης / One-way ANOVA (κατηγοριοποιήσεις X ηλικία), που έδειξε στατιστικά σημαντική επίδραση της ηλικίας: $F(3)=49{,}473$, $p<0{,}001$ υπέρ των μεγαλύτερων μαθητών. Από τους μέσους όρους των επιδόσεων των μαθητών φάνηκε ότι οι μεγαλύτεροι μαθητές έδωσαν περισσότερες επιστημονικές απαντήσεις στις δύο αυτές ερωτήσεις κατηγοριοποίησης (Δ′ Δημοτικού: *M.O.*=1,80/5 *T.A.*=1,018, Στ′ Δημοτικού *M.O.*=2,85/5 *T.A.*=1,145, Γ′ Γυμνασίου *M.O.*=3,57/5 *T.A.*=1,243, Φοιτητές ΠΤΔΕ *M.O.*=4,73/5 *T.A.*=0,450). Η κατανομή των απαντήσεων των συμμετεχόντων στις ερωτήσεις κατηγοριοποίησης 3 + 4 φαίνονται καλύτερα στο Γράφημα 1.

Τα αποτελέσματα αυτά επιβεβαιώνουν την υπόθεσή μας για επανακατηγοριοποίηση των υλικών σωμάτων με την ηλικία, καθώς βρίσκουμε ότι οι μικρότεροι μαθητές κατηγοριοποιούν τα υλικά σώματα βάσει της φυσικής τους κατάστασης, ενώ οι μεγαλύτεροι συμμετέχοντες μπορούν και παραβλέπουν τις επιφανειακές ομοιότητες της φυσικής τους κατάστασης και τα κατηγοριοποιούν βάσει της μοριακής τους δομής.

Έργα Ερμηνείας (Φυσικών) Φαινομένων – Τήξη Πάγου – Βρασμός Νερού

Στη συνέχεια, προκειμένου να έχουμε μια γενική εικόνα για τις εξηγήσεις των συμμετεχόντων σχετικά με τις φυσικές μεταβολές της ύλης, εξετάσαμε τις επιδόσεις τους στα έργα ερμηνείας φαινομένων. Το δύο έργα ερμηνείας φαινομένων αφορούσαν την τήξη του πάγου και τον βρασμό του νερού, και αποτελούνταν από 7 και 8 ερωτήσεις, αντίστοιχα. Οι ερωτήσεις καθώς και οι κατηγορίες απαντήσεων των συμμετεχόντων φαίνονται στους Πίνακες 3 και 4. Με βάση τις απαντήσεις τους, οι συμμετέχοντες κατηγοριοποιήθηκαν σε τέσσερις κατηγορίες εξηγήσεων. Τα *κριτήρια* που χρησιμοποιήσαμε για την κατηγοριοποίηση των εξηγήσεων των συμμετεχόντων στις ερωτήσεις αυτές είναι: (1) Αν περιγράφουν απλώς το φαινόμενο ή δίνουν και κάποια εξήγηση, αν η εξήγηση που δίνουν είναι σωστή ή περιέχει λάθη και παρανοήσεις, και αν η ερμηνεία τους είναι μακροσκοπική ή μικροσκοπική. (2) Τι αναφέρουν για τη σύσταση του πάγου και του νερού ή του νερού και του υδρατμού, και κυρίως αν δέχονται ότι το νερό και ο πάγος ή το νερό και ο υδρατμός αποτελούνται από τα ίδια συστατικά ή όχι. (3) Τα σχέδιά τους για το νερό και τον πάγο ή το νερό και τον υδρατμό, αν είναι σωματιδιακά ή συνεχή, και κυρίως αν τα σχεδιάζουν ίδια ή διαφορετικά. Με βάση αυτά τα κριτήρια διακρίναμε τους τέσσερις τύπους εξηγήσεων για κάθε φαινόμενο.

Στον Πίνακα 3 παρουσιάζεται το πρότυπο των αναμενόμενων απαντήσεων για την τήξη του πάγου, δηλαδή το είδος των απαντήσεων που οι συμμετέχοντες έπρεπε να δώσουν σε κάθε ερώτηση προκειμένου να ενταχθούν σε έναν από αυτούς τους τέσσερις τύπους εξηγήσεων.

Στον Πίνακα 4 παρουσιάζεται το πρότυπο των αναμενόμενων απαντήσεων για το βρασμό του νερού, δηλαδή το είδος των απαντήσεων που οι συμμετέχοντες έπρεπε να δώσουν σε κάθε ερώτηση προκειμένου να ενταχθούν σε έναν από τους τέσσερις τύπους εξηγήσεων.

Και στις δύο περιπτώσεις φαινομένων στην *εξήγηση 1* (αρχική), οι συμμετέχοντες περιγράφουν απλώς το φαινόμενο χωρίς να το εξηγούν, ή δίνουν μια εξήγηση σε εντελώς φαινομενικό επίπεδο, βασιζόμενη στη χρονική ακολουθία. Ο πάγος ή ο υδρατμός είναι κάτι διαφορετικό από το νερό ή αποτελεί ένα είδος νερού. Συχνά αναφέρουν ότι ο πάγος γίνεται νερό / το νερό γίνεται πάγος ή ότι ο υδρατμός γίνεται νερό / το νερό γίνεται υδρατμός, χωρίς να εξηγούν το πώς ή το γιατί, και χωρίς να θεωρούν καν απαραίτητο να δώσουν μια ερμηνεία. Δεν δείχνουν να αντιλαμβάνονται την έννοια του «αποτελείται από», αφού ακόμη και όταν απαντούν ότι ο πάγος ή ο υδρατμός αποτελείται από νερό, στα σχέδιά τους τον ζωγραφίζουν με διαφορετικό τρόπο από το νερό. Στην *εξήγηση 2* (εναλλακτική), οι συμμετέχοντες δίνουν κάποιου είδους εξήγηση (σε μακροσκοπικό ή μικροσκοπικό επίπεδο), η οποία όμως περιέχει λάθη και παρανοήσεις. Θεωρούν ότι το νερό ή ο υδρατμός έχει κάποια κοινά με τον πάγο, αλλά

Πίνακας 3
Πρότυπο αναμενόμενων απαντήσεων για την τήξη του πάγου

	Εξήγηση	**Ερώτηση 1** Εδώ βλέπεις ένα παγάκι που λιώνει. Πώς γίνεται αυτό;	**Ερώτηση 2** Τι παθαίνει ο πάγος; Γιατί λιγοστεύει;	**Ερώτηση 3** Από τι αποτελείται ο πάγος;	**Ερώτηση 4** Από τι αποτελείται το νερό;	**Ερώτηση 5** Το νερό είναι το ίδιο πράγμα με τον πάγο; Έχουν τίποτα κοινό;	**Ερώτηση 6** Σχεδίασε πώς είναι μέσα το παγάκι.	**Ερώτηση 7** Σχεδίασε πώς είναι μέσα το νερό.
Αρχική	**Εξήγηση 1** Χρονική ακολουθία σε επίπεδο φαινομενικό. Ο πάγος είναι κάτι διαφορετικό από το νερό ή ένα είδος νερού.	Το νερό γίνεται πάγος, ο πάγος γίνεται νερό Περιγραφή και όχι εξήγηση του φαινομένου Εξήγηση σε φαινομενικό επίπεδο.		νερό, κρύο νερό, παγωμένο νερό	νερό, σύννεφα, βροχή	Όχι ή Ναι (αλλά περι-γράφει χρονική σχέση πάγου-νερού)	Συνεχές	Συνεχές
				Δεν καταλαβαίνει την έννοια του «αποτελείται από»			Τα ζωγραφίζει διαφορετικά	
Εναλλακτική	**Εξήγηση 2** Το νερό έχει κάποια κοινά με τον πάγο, αλλά δεν είναι ίδιο.	Κάποιου είδους εξήγηση (σε μακροσκποπικό ή μικροσκοπικό επίπεδο) + λάθη / παρανοήσεις Διαφορετική σύσταση των δύο σωμάτων, μεταφορά μακροσκοπικών ιδιοτήτων της ύλης στο μικρόκοσμο (κρύα μόρια...).		οξυγόνο ή υδρογόνο, οξυγ+υδρογ+ κάτι άλλο, κρύα μόρια νερού, ακίνητα μόρια νερού	οξυγόνο + υδρογόνο μόρια νερού	Όχι Ναι	Συνεχές ή Σωματιδ	Συνεχές ή Σωματιδ
							Τα ζωγραφίζει διαφορετικά	
Επιστημονική 1	**Εξήγηση 3** Και το νερό και ο πάγος αποτελούνται από τα ίδια συστατικά.	Λιώνει λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας (περιβάλλον, ...) και μετατρέπεται από στερεό σε υγρό. Δεν ελαττώνεται, αλλάζει κατάσταση (κυρίως μακροσκοπική ερμηνεία).		νερό, υδρογόνο + οξυγόνο	νερό, υδρογόνο + οξυγόνο	Ναι (είναι τα ίδια συστατικά σε άλλη μορφή / κατάσταση)	Σωματιδ	Σωματιδ
							Τα ζωγραφίζει ίδια	
Επιστημονική 2	**Εξήγηση 4** Και το νερό και ο πάγος αποτελούνται από **μόρια νερού** (H_2O)	Λιώνει λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας και μετατρέπεται από στερεό σε υγρό. Αυξάνεται η κινητική ενέργεια των μορίων του πάγου (+οι αποστάσεις τους). Δεν ελαττώνεται, αλλάζει κατάσταση (μικροσκοπική ερμηνεία).		H_2O, μόρια H_2O	H_2O, μόρια H_2O	Ναι (είναι η ίδια χημική ένωση H2O, αλλάζουν οι αποστάσεις και οι κινήσεις των μορίων)	Σωματιδ	Σωματιδ
							Τα ζωγραφίζει ίδια	

Πίνακας 4
Πρότυπο αναμενόμενων απαντήσεων για το βρασμό του νερού

	Εξήγηση	**Ερώτηση 1** Εδώ βλέπεις το νερό που βράζει μέσα στο δοχείο. Πώς γίνεται αυτό;	**Ερώτηση 2** Πού πάει το νερό; Γιατί ελαττώνεται;	**Ερώτηση 3** Αυτό που βγαίνει πάνω από το νερό τι είναι;	**Ερώτηση 4** Από τι αποτελείται το νερό;	**Ερώτηση 5** Από τι αποτελείται ο υδρατμός;	**Ερώτηση 6** Το νερό είναι το ίδιο πράγμα με τον υδρατμό; Έχουν τίποτα κοινό;	**Ερώτηση 7** Σχεδίασε πώς είναι μέσα το νερό.	**Ερώτηση 8** Σχεδίασε πώς είναι μέσα ο υδρατμός.
Αρχική	**Εξήγηση 1** Χρονική ακολουθία σε επίπεδο φαινομενικό. Ο υδρατμός είναι κάτι διαφορετικό από το νερό ή ένα είδος νερού.	Το νερό γίνεται υδρατμός, ο υδρατμός γίνεται νερό Περιγραφή και όχι εξήγηση του φαινομένου Εξήγηση σε φαινομενικό επίπεδο.		Ατμός, Καπνός, Αέρας, ...	Νερό, σύννεφα, βροχή, ...	νερό, αέρα, νερό+αέρα, βραστό / εξατμισμένο νερό...	Όχι ή Ναι (αλλά περι-γράφει χρονική σχέση πάγου-νερού)	Συνεχές	Συνεχές
					Δεν καταλαβαίνει την έννοια του «αποτελείται από»			Τα ζωγραφίζει διαφορετικά	
Εναλλακτική	**Εξήγηση 2** Το νερό έχει κάποια κοινά με τον υδρατμό, αλλά δεν είναι ίδιο.	Κάποιου είδους εξήγηση (σε μακροσκοπικό ή μικροσκοπικό επίπεδο) + λάθη / παρανοήσεις Διαφορετική σύσταση των δύο σωμάτων, μεταφορά μακροσκοπικών ιδιοτήτων της ύλης στο μικρόκοσμο (π.χ. ζεστά μόρια...).		αέρας, καπνός, οξυγόνο, ...	οξυγόνο + υδρογόνο μόρια νερού ...	οξυγόνο ή υδρογόνο, οξυγ+υδρογ+ κάτι άλλο (αέρα, καπνό), ζεστά / βραστά / εξατμισμένα μόρια νερού	Όχι Ναι	Συνεχές ή Σωματιδ	Συνεχές ή Σωματιδ
								Τα ζωγραφίζει διαφορετικά	
Επιστημονική 1	**Εξήγηση 3** Και το νερό και ο υδρατμός αποτελούνται από τα ίδια συστατικά.	Βράζει λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας και μετατρέπεται από υγρό σε αέριο. Δεν ελαττώνεται, αλλάζει κατάσταση (κυρίως μακροσκοπική ερμηνεία).		υδρατμός δηλαδή νερό, υδρογ+οξυγ, νερό σε αέρια κατάσταση	νερό, υδρογ+οξυγ	νερό, υδρογ+οξυγ	Ναι (ίδια συστατικά σε άλλη μορφή / κατάσταση)	Σωματιδ	Σωματιδ
								Τα ζωγραφίζει ίδια	
Επιστημονική 2	**Εξήγηση 4** Και το νερό και ο υδρατμός αποτελούνται από **μόρια νερού** (H_2O)	Βράζει λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας (στους 100ο) και μετατρέπεται από υγρό σε αέριο. Αυξάνεται η κινητική ενέργεια των μορίων του νερού (+οι αποστάσεις τους) Δεν ελαττώνεται, αλλάζει κατάσταση (μικροσκοπική ερμηνεία).		Υδρατμός δηλαδή νερό σε αέρια κατάσταση H_2O	H_2O, μόρια νερού	H_2O, μόρια νερού	Ναι (είναι η ίδια χημική ένωση H_2O αλλάζουν οι αποστάσεις και οι κινήσεις των μορίων)	Σωματιδ	Σωματιδ
								Τα ζωγραφίζει ίδια	

Πίνακας 5
Ποσοστά συμμετεχόντων ανά τύπο εξήγησης για την τήξη του πάγου

Εξήγηση Τήξης	**Δ′ Δημοτ. *N*=40**	**Στ′ Δημοτ. *N*=40**	**Γ′ Γυμν. *N*=35**	**Φοιτητ. ΠΤΔΕ *N*=30**
Εξήγηση 1 (αρχική) *Ο πάγος είναι κάτι διαφορετικό από το νερό ή ένα είδος νερού* (1)	85%	48%	17%	–
Εξήγηση 2 (εναλλακτική) *Το νερό έχει κάποια κοινά με τον πάγο, αλλά δεν είναι ίδιο* (2)	5%	42%	29%	3%
Εξήγηση 3 (επιστημονική Α) *Και το νερό και ο πάγος αποτελούνται από τα ίδια συστατικά (κυρίως μακροσκοπική ερμηνεία)* (3)	10%	10%	40%	40%
Εξήγηση 4 (επιστημονική Β) *Και το νερό και ο πάγος αποτελούνται από **μόρια νερού**, H_2O (μικροσκοπική ερμηνεία)* (4)	–	–	14%	57%

Πίνακας 6
Ποσοστά συμμετεχόντων ανά τύπο εξήγησης για το βρασμό του νερού

Εξήγηση Βρασμού	**Δ′ Δημοτ. *N*=40**	**Στ′ Δημοτ. *N*=40**	**Γ′ Γυμν. *N*=35**	**Φοιτητ. ΠΤΔΕ *N*=30**
Εξήγηση 1 (αρχική) *Ο υδρατμός είναι κάτι διαφορετικό από το νερό ή ένα είδος νερού* (1)	85%	55%	17%	–
Εξήγηση 2 (εναλλακτική) *Το νερό έχει κάποια κοινά με τον υδρατμό, αλλά δεν είναι ίδιο* (2)	7,5%	35%	34%	3%
Εξήγηση 3 (επιστημονική μακροσκοπική) *Και το νερό και ο υδρατμός αποτελούνται από τα ίδια συστατικά* (3)	7,5%	10%	35%	40%
Εξήγηση 4 (επιστημονική μικροσκοπική) Και το νερό και ο υδρατμός αποτελούνται από μόρια νερού, H_2O (4)	–	–	14%	57%

δεν είναι ίδιο. Στην προσπάθειά τους να ερμηνεύσουν τα φαινόμενα αναφέρονται σε διαφορετική σύσταση των δύο σωμάτων (πχ. το νερό έχει οξυγόνο και υδρογόνο, ενώ ο πάγος νερό και υδρογόνο, και ο υδρατμός μόνο οξυγόνο ή μόνο υδρογόνο) ή μεταφέρουν μακροσκοπικές ιδιότητες της ύλης στο μικρόκοσμο (π.χ. ο πάγος αποτελείται από παγωμένα μόρια, ο υδρατμός αποτελείται από ζεστά μόρια κ.λπ.). Στα σχέδιά τους (συνεχή ή σωματιδιακά) απεικονίζουν με διαφορετικό τρό-

Πίνακας 7
Ποσοστά συμμετεχόντων ανά τύπο εξήγησης και για τα δύο φαινόμενα

Εξήγηση Τήξης + Βρασμού	**Δ′ Δημοτ. *N*=40**	**Στ′ Δημοτ. *N*=40**	**Γ′ Γυμν. *N*=35**	**Φοιτητ. ΠΤΔΕ *N*=30**
Εξήγηση 1+1 (αρχική και για τα δύο φαινόμενα) (1)	85%	48%	17%	–
Εξήγηση 2+1 (αρχική + εναλλακτική) (2)	–	7%	–	–
Εξήγηση 2+2 (εναλλακτική και για τα δύο φαινόμενα) (3)	5%	35%	29%	3%
Εξήγηση 3+2 (επιστ. μακροσκ. + εναλλακτική) (4)	2,5%	–	6%	–
Εξήγηση 3+3 (επιστ. μακροσκ. και για τα δύο φαινόμενα) (5)	7,5%	10%	34%	40%
Εξήγηση 4+4 (επιστ. μικροσκ. και για τα δύο φαινόμενα) (6)	–	–	14%	57%

πο το νερό από τον πάγο και τον υδρατμό. Στην *εξήγηση 3* (επιστημονική μακροσκοπική), οι συμμετέχοντες δίνουν σωστή επιστημονικά εξήγηση για τα φαινόμενα, η οποία όμως είναι κυρίως μακροσκοπική. Αναφέρουν δηλαδή ότι, λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας, ο πάγος μετατρέπεται από στερεό σε υγρό ή το νερό μετατρέπεται από υγρό σε αέριο, και ότι δεν ελαττώνεται αλλά αλλάζει κατάσταση. Απαντούν ότι και το νερό και ο πάγος ή και το νερό και ο υδρατμός αποτελούνται από τα ίδια συστατικά και στα σχέδιά τους τα απεικονίζουν με τον ίδιο τρόπο. Στην *εξήγηση 4* (επιστημονική μικροσκοπική), οι συμμετέχοντες δίνουν και πάλι σωστή επιστημονικά εξήγηση για τα φαινόμενα, η ερμηνεία τους όμως είναι κυρίως μικροσκοπική. Ερμηνεύουν τα φαινόμενα με αναφορά στο μικρόκοσμο και τις κινήσεις και τις αποστάσεις των σωματιδίων του, οι οποίες αυξάνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος, κάτι που απεικονίζουν και στα σχέδιά τους.

Τα ποσοστά των συμμετεχόντων που τοποθετήθηκαν σε κάθε τύπο εξήγησης για την τήξη του πάγου φαίνονται στον Πίνακα 5 και για το βρασμό του νερού στον Πίνακα 6. Η ανάλυση του στατιστικού κριτηρίου chi-square (χ^2) έδειξε στατιστικά σημαντικές ηλικιακές διαφορές και για τα δύο φαινόμενα, τήξη πάγου: $\chi^2(9)=111{,}073$, p?0,001 και βρασμός νερού: $\chi^2(9)=110{,}930$, p?0,001.

Οι εξηγήσεις των συμμετεχόντων βαθμολογήθηκαν με 1 όταν έδιναν αρχική ερμηνεία του φαινομένου, με 2 όταν έδιναν εναλλακτική ερμηνεία του φαινομένου, με 3 όταν έδιναν επιστημονική ερμηνεία μακροσκοπική, και με 4 όταν έδιναν επιστημονική ερμηνεία μικροσκοπική (με αναφορά στις κινήσεις και τις αποστάσεις των σωματιδίων του μικροκόσμου).

Υπολογίστηκε η συνολική βαθμολογία των συμμετεχόντων και πραγματοποιήθηκε Ανάλυση Διακύμανσης μονής κατεύθυνσης / One-way ANOVA (ερμηνεία φαινομένου Χ ηλικία), που έδειξε ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική επίδραση της ηλικίας και στα δύο φαινόμενα, τήξη πάγου: $F(3)=67{,}798$, $p<0{,}001$ και βρασμός νερού: $F(3)=71{,}999$, $p<0{,}001$. Οι μεγαλύτεροι συμμετέχοντες έδωσαν περισσότερες επιστημονικές -και κυρίως μικροσκοπικές- ερμηνείες για τα φαινόμενα σε σχέση με τους μικρότερους (μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις για τήξη πάγου: Δ′ Δημοτικού:

Πίνακας 8
Συσχέτιση κατηγοριοποιήσεων και εξηγήσεων για την τήξη του πάγου

Ερώτ. Κατηγοριοποίησης 3+4	Εξήγηση για Τήξη Πάγου			
	εξήγηση 1 (αρχική)	εξήγηση 2 (εναλλακτ.)	εξήγηση 3 (επιστημ. Α)	εξήγηση 4 (επιστημ. Β)
1. Στερεά + Υγρά + Αέρια + Επιστ. Εξήγηση Μικροσκοπική	–	–	9 (27%)	22 (100%)
2. Στερεά + Υγρά + Αέρια + Επιστ. Εξήγηση Μακροσκοπική	–	19 (64%)	23 (67%)	–
3. Στερεά + Υγρά – Αέρια	3 (5%)	7 (23%)	2 (6%)	–
4. Στερεά – Υγρά – Αέρια	30 (51%)	3 (10%)	–	–
5. ΟΧΙ Στερεά, Υγρά, Αέρια	26 (44%)	1 (3%)	–	–
Σύνολο	59	30	34	22

Μ.Ο. = 1,25/4 *Τ.Α.* = 0,630, Στ′ Δημοτικού: *Μ.Ο.* = 1,63/4 *Τ.Α.* = 0,667, Γ′ Γυμνασίου: *Μ.Ο.* = 2,51/4 *Τ.Α.* = 0.951, Φοιτητές ΠΤΔΕ: *Μ.Ο.* = 3,53/4 *Τ.Α.* = 0,571 / μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις για βρασμό νερού: Δ′ Δημοτικού: *Μ.Ο.* = 1,23/4 *Τ.Α.* = 0,577, Στ′ Δημοτικού: *Μ.Ο.* = 1,55/4 *Τ.Α.* = 0,677, Γ′ Γυμνασίου: *Μ.Ο.* = 2,46/4 *Τ.Α.* = 0,950, Φοιτητές ΠΤΔΕ: *Μ.Ο.* = 3,53/4 *Τ.Α.* = 0,571).

Τέλος, στον Πίνακα 7 φαίνεται η κατανομή των συμμετεχόντων βάσει των εξηγήσεων που έδωσαν και για τα δύο φαινόμενα μαζί (τήξη πάγου και βρασμό νερού) καθώς και η βαθμολογία κάθε είδους εξήγησης. Και σε αυτή την περίπτωση η Ανάλυση Διακύμανσης μονής κατεύθυνσης / One-way ANOVA (ερμηνεία τήξης + βρασμού Χ ηλικία) έδειξε στατιστικά σημαντική ηλικιακή διαφορά: $F(3) = 67{,}010$, $p < 0{,}001$ υπέρ των μεγαλύτερων μαθητών (μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις: Δ′ Δημοτικού: *Μ.Ο.* = 1,48/6 *Τ.Α.* = 1,198, Στ′ Δημοτικού: *Μ.Ο.* = 2,18/6 *Τ.Α.* = 1,318, Γ′ Γυμνασίου: *Μ.Ο.* = 3,83/6 *Τ.Α.* = 1,671, Φοιτητές ΠΤΔΕ: *Μ.Ο.* = 5,50/6 *Τ.Α.* = 0,682).

Συσχετίσεις Κατηγοριοποιήσεων - Ερμηνείας Φαινομένων

Για τον έλεγχο της δεύτερης υπόθεσής μας εξετάσαμε αν οι κατηγοριοποιήσεις των συμμετεχόντων συσχετίζονται με τις εξηγήσεις που δίνουν για τα φυσικά φαινόμενα. Σύμφωνα με τη δεύτερη υπόθεσή μας, περιμένουμε ότι οι συμμετέχοντες που κατηγοριοποιούν τα υλικά σώματα βάσει της φυσικής τους κατάστασης να αντιμετωπίζουν μεγαλύτερες δυσκολίες στην ερμηνεία των φυσικών φαινομένων σε σχέση με τους συμμετέχοντες που κατηγοριοποιούν τα υλικά σώματα βάσει της μοριακής τους δομής. Επιλέξαμε τη συνδυαστική ερώτηση κατηγοριοποίησης 3+4 και ελέγξαμε τις απαντήσεις των συμμετεχόντων σε αυτή σε σχέση με τις εξηγήσεις που έδωσαν για την τήξη του πάγου και το βρασμό του νερού. Οι δείκτες συσχέτισης Spearman rho, που υπολογίστηκαν για τις κατηγοριοποιήσεις και για κάθε φαινόμενο χωριστά αλλά και για τα δύο μαζί, δείχνουν ότι η υπόθεσή μας επαληθεύεται.

Αναλυτικότερα, ο δείκτης συσχέτισης Spearman rho (κατηγοριοποίηση Χ εξήγηση για τήξη πάγου) έδειξε στατιστικά σημαντική συσχέτιση ανάμεσα στις κατηγοριοποιήσεις των συμμετεχόντων και στις εξηγήσεις που έδωσαν για την τήξη του πάγου ($rs = 0{,}909$, $p < 0{,}001$). Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 8, όλοι οι μαθητές που έδωσαν επιστημονική εξήγηση μικροσκοπική (4) για την τήξη του πάγου μπορούν και κατηγοριοποιούν τα σώματα και βάσει της μοριακής τους δομής και βάσει της φυσικής τους κατάστασης. Το

Πίνακας 9
Συσχέτιση κατηγοριοποιήσεων και εξηγήσεων για το βρασμό του νερού

Ερώτ. Κατηγοριοποίησης 3+4	Εξήγηση για Βρασμό Νερού			
	εξήγηση 1 (αρχική)	εξήγηση 2 (εναλλακτ.)	εξήγηση 3 (επιστημ. Α)	εξήγηση 4 (επιστημ. Β)
1. Στερεά + Υγρά + Αέρια + Επιστ. Εξήγηση Μικροσκοπική	–	–	9 (29%)	22 (100%)
2. Στερεά + Υγρά + Αέρια + Επιστ. Εξήγηση Μακροσκοπική	–	20 (67%)	22 (71%)	–
3. Στερεά + Υγρά – Αέρια	6 (10%)	6 (20%)	–	–
4. Στερεά – Υγρά – Αέρια	30 (48%)	3 (10%)	–	–
5. ΟΧΙ Στερεά, Υγρά, Αέρια	26 (42%)	1 (3%)	–	–
Σύνολο	62	30	31	22

ίδιο ισχύει και για το 94% των συμμετεχόντων που έδωσαν επιστημονική εξήγηση μακροσκοπική (3) (ακόμη και οι μικρότεροι μαθητές). Υπήρξαν μόνο δύο μαθητές που έδωσαν επιστημονική εξήγηση μακροσκοπική για την τήξη του πάγου οι οποίοι έβαλαν σε μία κατηγορία τα στερεά και τα υγρά, αλλά όχι τα αέρια. Όλοι οι συμμετέχοντες οι οποίοι δίνουν την αρχική εξήγηση (1) για την τήξη του πάγου δεν κατηγοριοποιούν τα σώματα βάσει της μοριακής τους δομής, είτε τα χωρίζουν σε στερεά, υγρά και αέρια είτε όχι. Υπήρξαν μόνο τρεις μαθητές οι οποίοι έβαλαν σε μία κατηγορία τα στερεά και τα υγρά, αλλά όχι τα αέρια. Τέλος, στην ενδιάμεση εναλλακτική εξήγηση (2) τα ποσοστά είναι μοιρασμένα.

Αντίστοιχα, ο δείκτης συσχέτισης Spearman rho (κατηγοριοποίηση Χ εξήγηση για βρασμό νερού) έδειξε στατιστικά σημαντική συσχέτιση και ανάμεσα στις κατηγοριοποιήσεις των συμμετεχόντων και στις εξηγήσεις τους για το βρασμό του νερού ($rs=0{,}909$, $p<0{,}001$).

Τέλος, ελέγξαμε τη συσχέτιση των κατηγοριοποιήσεων των συμμετεχόντων με τις εξηγήσεις που έδωσαν και για τα δύο φυσικά φαινόμενα και ο δείκτης συσχέτισης Spearman rho (κατηγοριοποίηση Χ εξήγηση για τήξη πάγου και βρασμό νερού) έδειξε και πάλι ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική συσχέτιση ανάμεσα στις κατηγοριοποιήσεις των συμμετεχόντων και στις εξηγήσεις τους για τα δύο φαινόμενα ($rs=0{,}915$, $p<0{,}001$).

Από τον Πίνακα 10 προκύπτει ότι όλοι οι μαθητές που έδωσαν επιστημονική εξήγηση μικροσκοπική (4+4) και για τα δύο φαινόμενα μπορούν και κατηγοριοποιούν τα σώματα και βάσει της φυσικής τους κατάστασης και βάσει της μοριακής τους δομής (δίνοντας μάλιστα εξήγηση επιστημονική μικροσκοπική). Το ίδιο ισχύει και για όλους τους συμμετέχοντες που έδωσαν επιστημονική εξήγηση μακροσκοπική (3+3) και για τα δύο φαινόμενα (με το 29% από αυτούς να κατηγοριοποιούν τα σώματα βάσει της μοριακής δομής δίνοντας εξήγηση επιστημονική μικροσκοπική). Τρεις από τους συμμετέχοντες έδωσαν επιστημονική εξήγηση μακροσκοπική για το ένα φαινόμενο και εναλλακτική για το άλλο (3+2). Από αυτούς ο ένας μπόρεσε να κατηγοριοποιήσει τα αντικείμενα και βάσει της φυσικής τους κατάστασης και βάσει της μοριακής τους δομής (δίνοντας επιστημονική μακροσκοπική εξήγηση), ενώ οι υπόλοιποι δύο τοποθέτησαν σε μία κατηγορία τα στερεά και τα υγρά, αλλά όχι τα αέρια. Οι μαθητές αυτοί εξήγησαν επιστημονικά μακροσκοπικά την τήξη του πάγου (που αφορά αλλαγή από στερεό σε υγρό), ενώ δυσκολεύτηκαν περισσότερο στην εξήγηση του βρασμού του νερού, όπου εμπλέκεται και η αέρια κατάσταση. Όλοι οι συμμετέχο-

Πίνακας 10
Συσχέτιση κατηγοριοποιήσεων και εξηγήσεων και για τα δύο φαινόμενα

Ερώτηση Κατηγοριοποίησης 3+4	**Εξήγηση τήξης πάγου και βρασμού νερού**					
	εξήγηση 1+1	**εξήγηση 2+1**	**εξήγηση 2+2**	**εξήγηση 3+2**	**εξήγηση 3+3**	**εξήγηση 4+4**
1. Στερεά + Υγρά + Αέρια + Επιστ. Εξήγηση Μικροσκ.	–	–-	–	–	9 (29%)	22 (100%)
2. Στερεά + Υγρά + Αέρια + Επιστ. Εξήγηση Μακροσκ.	–	–	19 (70%)	1 (33%)	22 (71%)	–
3. Στερεά + Υγρά – Αέρια	3 (5%)	3 (100%)	4 (15%)	2 (67%)	–	–
4. Στερεά – Υγρά – Αέρια	30 (51%)	–	3 (11%)	–	–	–
5. ΟΧΙ Στερεά, Υγρά, Αέρια	26 (44%)	–	1 (4%)	–	–	–
Σύνολο	59	3	27	3	31	22

ντες οι οποίοι δίνουν την αρχική εξήγηση για τα φαινόμενα (1+1) δεν κατηγοριοποιούν τα σώματα βάσει της μοριακής τους δομής, είτε τα χωρίζουν σε στερεά, υγρά και αέρια (51%) είτε όχι (44%), και μόνο ένα ποσοστό 5% τοποθετεί μαζί τα στερεά και τα υγρά, αλλά όχι τα αέρια. Όλοι οι συμμετέχοντες οι οποίοι δίνουν αρχική εξήγηση στο ένα φαινόμενο και εναλλακτική στο άλλο (2+1) κατηγοριοποίησαν τα σώματα βάσει της φυσικής τους κατάστασης και έβαλαν μαζί τα στερεά και τα υγρά, αλλά όχι τα αέρια. Τέλος, στην ενδιάμεση εναλλακτική εξήγηση (2+2) τα ποσοστά είναι μοιρασμένα.

Παρά το γεγονός ότι ο δείκτης συνδιακύμανσης προβλέπει μια συσχέτιση για το 20% των περιπτώσεων του δείγματος, μπορούμε να μιλάμε για κάποιες ενδείξεις ισχυρής συσχέτισης ανάμεσα στον τρόπο κατηγοριοποίησης και στις εξηγήσεις για την τήξη του πάγου και το βρασμό του νερού.

Προκειμένου να μελετήσουμε περαιτέρω τη σχέση ανάμεσα στις κατηγοριοποιήσεις των συμμετεχόντων και στις ερμηνείες τους για τα φαινόμενα, πραγματοποιήσαμε ανάλυση παλινδρόμησης. Η ανάλυση παλινδρόμησης (με την ερμηνεία των φαινομένων ως εξαρτημένη μεταβλητή και τις κατηγοριοποιήσεις στις ερωτήσεις 3+4 ως προβλεπτικό παράγοντα) υπήρξε στατιστικά σημαντική $F(1,143)=580,973$, $p<0,001$, $R^2=0,802$. Οι κατηγοριοποιήσεις των υλικών σωμάτων φαίνεται να αποτελούν σημαντικό προβλεπτικό παράγοντα για την ερμηνεία των φυσικών φαινομένων (*Beta*=-0,812, $p<0,001$). Φαίνεται ότι αν γνωρίζουμε τις κατηγοριοποιήσεις των συμμετεχόντων στις ερωτήσεις 3+4, μπορούμε να προβλέψουμε κατά 80% τις ερμηνείες τους για τα φυσικά φαινόμενα.

Φαίνεται επομένως ότι η αλλαγή θεωρίας από την κατηγοριοποίηση βάσει της φυσικής κατάστασης στην κατηγοριοποίηση βάσει της μοριακής δομής προηγείται της πλήρους κατανόησης της ερμηνείας των φαινομένων και μοιάζει να είναι απαραίτητη (καθώς η μεγάλη πλειονότητα των συμμετεχόντων που έδωσαν επιστημονική εξήγηση, και κυρίως μικροσκοπική, για την τήξη του πάγου και το βρασμό του νερού είχε κατηγοριοποιήσει τα σώματα βάσει της μοριακής τους δομής), αλλά όχι και επαρκής (δεδομένου ότι ένα ποσοστό συμμετεχόντων που κατηγοριοποίησε τα σώματα βάσει της μοριακής τους δομής έδωσε εναλλακτική εξήγηση) προϋπόθεση για την κατανόηση των επιστημονικών ερμηνειών αναφορικά με τα φυσικά φαινόμενα της τήξης του πάγου και του βρασμού του νερού.

5. Συζήτηση

Οι ηλικιακές διαφορές στις κατηγοριοποιήσεις των συμμετεχόντων και ιδιαίτερα στις δύο τελευταίες ερωτήσεις κατηγοριοποίησης, όπου ζητάμε ξεκάθαρα από τους συμμετέχοντες να κατηγοριοποιήσουν τα αντικείμενα βάσει της φυσικής τους κατάστασης (ερώτηση 3) και βάσει της μοριακής τους δομής (ερώτηση 4), υποστηρίζουν την αρχική μας υπόθεση ότι υπάρχει επανακατηγοριοποίηση των υλικών σωμάτων από τους συμμετέχοντες που συντελείται κατά τη μάθηση. Στην αρχή οι κατηγοριοποιήσεις των μαθητών βασίζονται κυρίως στην ομοιότητα των σωμάτων στο σχήμα, το χρώμα ή τη χρήση κ.λπ. Στην πορεία, καθώς έρχονται σε επαφή με τις επιστημονικές ιδέες για τα υλικά σώματα, χρησιμοποιούν κυρίως τη φυσική κατάσταση των σωμάτων (στερεά, υγρά, αέρια) ως κριτήριο κατηγοριοποίησης. Ακολουθεί μια κατηγοριοποίηση όπου τα στερεά και τα υγρά μπορούν να ενταχθούν σε μία κατηγορία, τα αέρια όμως εξακολουθούν να δημιουργούν πρόβλημα και να μην μπορούν να ενσωματωθούν στην κατηγορία αυτή. Τέλος, καθώς οι μαθητές αποκτούν περισσότερες γνώσεις για τη δομή της ύλης και τα σωματίδια του μικρόκοσμου, επανακατηγοριοποιούν τα σώματα βάσει της μοριακής τους δομής.

Αναλυτικότερα, η πλειονότητα των μικρότερων μαθητών (Δ΄ Δημοτικού) χρησιμοποιεί ως κριτήριο κατηγοριοποίησης των σωμάτων την ομοιότητα στο σχήμα, το χρώμα ή τη χρήση, και ακόμη και όταν τους ζητηθεί να χωρίσουν τα αντικείμενα σε στερεά, υγρά και αέρια (φυσική κατάσταση), ένα ποσοστό 45% δεν τα καταφέρνει. Αντίθετα, η πλειονότητα των μαθητών της Στ΄ Δημοτικού (88%), σχεδόν όλοι οι μαθητές της Γ΄ Γυμνασίου (94%) και όλοι οι φοιτητές (100%) κατηγοριοποιούν τα σώματα βάσει της φυσικής τους κατάστασης.

Παρατηρούμε επίσης (στην τελευταία ερώτηση κατηγοριοποίησης) μια σταδιακή αύξηση του ποσοστού των μαθητών που κατηγοριοποιούν τα σώματα βάσει της κοινής μοριακής τους δομής, το οποίο ξεκινά από το 18% στην Δ΄ Δημοτικού, γίνεται 47% στην Στ΄ Δημοτικού, 66% στην Γ΄ Γυμνασίου και φτάνει το 100% στους φοιτητές. Διαπιστώνουμε επομένως ότι μέχρι το τέλος του Δημοτικού οι μαθητές είναι σε θέση να κατηγοριοποιούν τα υλικά σώματα βάσει της φυσικής τους κατάστασης, ενώ αρκετοί από αυτούς μπορούν να τα κατηγοριοποιούν και βάσει της μοριακής τους δομής, όταν τους ζητηθεί. Το ποσοστό αυτό αυξάνεται στο Γυμνάσιο και κυρίως στο Πανεπιστήμιο.

Τα αποτελέσματα αυτά επιβεβαιώνουν προηγούμενα επιχειρήματα που μιλούν για αλλαγή θεωρίας στις εννοιολογικές γνώσεις των παιδιών (Carey, 1985. Chi, 1992. Vosniadou, 1999) και δείχνουν να επιβεβαιώνουν πειραματικά ότι η διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής απαιτεί οντολογικές αλλαγές, υπόθεση που έχει μελετηθεί από αρκετούς ερευνητές (Carey, 1991. Inagaki & Hatano, 2002). Ενισχύουν έτσι και το θεωρητικό μας πλαίσιο για τη σχέση της εννοιολογικής αλλαγής και της διαδικασίας των κατηγοριοποιήσεων. Θεωρούμε ότι τα παιδιά από μικρή ηλικία διαμορφώνουν μια αφελή θεωρία φυσικής (Vosniadou & Mason, 2007) και βάσει αυτής οι έννοιες εντάσσονται αυτόματα σε κατηγορίες, αποκτώντας τις ιδιότητες των κατηγοριών αυτών (Carey, 1985. Murphy & Medin, 1985). Οι περισσότερες από τις παρανοήσεις των μαθητών οφείλονται σε τέτοιου είδους λανθασμένες κατηγοριοποιήσεις (Chi, 2008). Στην πορεία, αν το επεξηγηματικό πλαίσιο εμπλουτιστεί και αναδομηθεί, αυτομάτως επηρεάζεται και ο τρόπος κατηγοριοποίησης των εννοιών. Όταν μια έννοια επανακατηγοριοποιείται, της αποδίδονται νέα χαρακτηριστικά και ιδιότητες, καθώς οι νόμοι και οι αρχές που ισχύουν για τη νέα κατηγορία τώρα εφαρμόζονται πλέον σε αυτή την έννοια (Medin & Rips, 2005). Σε ένα τέτοιο πλαίσιο η διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής μπορεί να θεωρηθεί μια διαδικασία κατά την οποία οι έννοιες επαναξιολογούνται και οι κατηγορίες στις οποίες εντάσσονται ανανεώνονται (Vosniadou & Mason, 2007).

Επιπλέον, από την έρευνα προέκυψαν ενδείξεις ισχυρής συσχέτισης ανάμεσα στον τρόπο με τον οποίο οι συμμετέχοντες κατηγοριοποιούν και στις εξηγήσεις που δίνουν για τα φυσικά φαινόμενα. Φαίνεται ότι η αλλαγή θεωρίας από την κατηγοριοποίηση βάσει της φυσικής κατάστασης

στην κατηγοριοποίηση βάσει της μοριακής δομής προηγείται της πλήρους κατανόησης της ερμηνείας των φυσικών φαινομένων και μοιάζει να είναι απαραίτητη (καθώς η μεγάλη πλειονότητα των συμμετεχόντων που έδωσαν επιστημονική εξήγηση, και κυρίως μικροσκοπική, είχε κατηγοριοποιήσει τα σώματα βάσει της μοριακής τους δομής), αλλά όχι και επαρκής (δεδομένου ότι ένα ποσοστό συμμετεχόντων που κατηγοριοποίησαν τα σώματα βάσει της μοριακής τους δομής έδωσε εναλλακτική εξήγηση) προϋπόθεση για την κατανόηση των επιστημονικών ερμηνειών σχετικά με τα φαινόμενα της αλλαγής της φυσικής κατάστασης των σωμάτων.

Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με τις παρατηρήσεις και προτάσεις και άλλων ερευνητών (Wiser και Smith, 2008), που υποστηρίζουν ότι προκειμένου οι μαθητές της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης να προσεγγίσουν τη σωματιδιακή θεωρία για την ύλη, πρέπει να προηγηθεί η κατανόηση μερικών μακροσκοπικών εννοιών, ενώ η προσέγγιση των σωματιδιακών ιδεών για την ύλη σε αυτή την ηλικία είναι απαραίτητη, γιατί τους βοηθά να παγιώσουν την κατανόηση για την ύλη αλλά και να προσεγγίσουν καλύτερα άλλες μακροσκοπικές έννοιες που χωρίς τη σωματιδιακή θεωρία δεν είναι εύκολο να ερμηνευτούν (π.χ. αλλαγή κατάστασης).

Συνεπώς, τα αποτελέσματα της έρευνας υποστηρίζουν την υπόθεση ότι οι δυσκολίες των μαθητών να κατανοήσουν τις επιστημονικές εξηγήσεις για τα φυσικά φαινόμενα οφείλονται στην τάση τους να κατηγοριοποιούν τα υλικά σώματα βάσει της φυσικής τους κατάστασης (αντί της μοριακής τους δομής) και κατ' επέκταση να τους αποδίδουν τις ιδιότητες της αντίστοιχης κατηγορίας, και ότι η επανακατηγοριοποίηση της έννοιας της ύλης σε μια νέα οντολογική κατηγορία μοιάζει να είναι απαραίτητη για την πλήρη κατανόηση των επιστημονικών εξηγήσεων για τα φυσικά φαινόμενα.

Γενικότερα, σε περιπτώσεις όπου οι μαθητές έχουν να κατανοήσουν δύσκολες έννοιες, και ιδιαίτερα όταν οι επιστημονικές ιδέες εντάσσονται σε ένα επεξηγηματικό πλαίσιο που έρχεται σε αντίθεση με το αφελές επεξηγηματικό πλαίσιο των μαθητών, φαίνεται ότι οι μηχανισμοί εμπλουτισμού δεν είναι αποτελεσματικοί και απαιτείται μια ριζική αναδιοργάνωση των αρχικών γνωστικών δομών προκειμένου να επιτευχθεί πιο άμεσα η διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής (Vosniadou, Vamvakoussi, & Skopeliti, 2008. Vosniadou & Mason, 2007), η οποία περιλαμβάνει τον επαναπροσδιορισμό των εννοιών και την επανένταξή τους σε άλλες οντολογικές κατηγορίες ή τη δημιουργία νέων (Carey, 1991). Σύμφωνα με την Carey (1985), η εννοιολογική αλλαγή σε πολλές περιπτώσεις απαιτεί την επανατοποθέτηση μιας έννοιας σε μια διαφορετική οντολογική κατηγορία ή τη δημιουργία νέων οντολογικών κατηγοριών –όπως όταν η έννοια της Γης εντάσσεται στην κατηγορία των αστρονομικών αντικειμένων αντί των φυσικών αντικειμένων (Chi, 2008. Vosniadou & Skopeliti, 2005)–, ενώ άλλες φορές απαιτεί τη διαφοροποίηση ή τη συνένωση εννοιών –όπως τη διαφοροποίηση των εννοιών «θερμότητα» και «θερμοκρασία» ή «βάρος» και «πυκνότητα» (Carey, 1985. Carey & Spelke, 1994. Wiser & Carey, 1983). Όταν μια έννοια ενταχθεί σε μια νέα κατηγορία, αυτό σημαίνει ότι τα χαρακτηριστικά και οι αρχές που ισχύουν για τη νέα κατηγορία τώρα πλέον εφαρμόζονται σε αυτή την έννοια, δηλαδή αποδίδονται πια στην έννοια νέα χαρακτηριστικά και ιδιότητες (Medin & Rips, 2005). Σε ένα τέτοιο πλαίσιο η διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής μπορεί να θεωρηθεί μια διαδικασία κατά την οποία οι έννοιες επαναξιολογούνται και οι κατηγορίες στις οποίες εντάσσονται ανανεώνονται.

Η δυσκολία πολλών μαθητών να κατανοήσουν τις έννοιες των φυσικών επιστημών οφείλεται συχνά στο ότι το ζήτημα της εννοιολογικής αλλαγής δεν λαμβάνεται υπόψη κατά τη διδασκαλία, καθώς πολλοί εκπαιδευτικοί θεωρούν ότι οι νέες πληροφορίες που παρέχουν μπορούν να ενσωματωθούν εύκολα στις υπάρχουσες γνώσεις των μαθητών, και δεν συνειδητοποιούν ότι μερικές φορές η προϋπάρχουσα γνώση μπορεί να σταθεί εμπόδιο στην περαιτέρω μάθηση, όταν οι νέες πληροφορίες που διδάσκονται είναι μη συμβατές με τις υπάρχουσες (Βοσνιάδου, Βαμβακούση, & Σκοπελίτη, 2008).

Βιβλιογραφία

Βοσνιάδου, Σ., Βαμβακούση, Ξ., & Σκοπελίτη, Ε. (2008). Το Πρόβλημα της Εννοιολογικής Αλλαγής στην Ψυχολογία. *ΝΟΗΣΙΣ*, *3*, 137-180.

Carey, S., & Spelke, E.S. (1994). Domain specific knowledge and conceptual change. In L. Hirschfeld & S. Gelman (Eds.), *Domain-specificity in cognition and culture* (pp. 169-200). New York, NY: Cambridge University Press.

Carey, S. (1985). *Conceptual Change in Childhood*. Cambridge, MA: MIT Press.

Carey, S. (1991). Knowledge Acquisition: Enrichment or Conceptual Change? In S. Carey & R. Gelman (Eds.), *The Epigenesis of Mind: Essays on Biology and Cognition* (pp. 257-292). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Chi, M.T.H. (1992). Conceptual change within and across ontological categories: Examples from learning and discovery in science. In R. Giere (Ed.), *Cognitive Models of Science: Minnesota studies in the philosophy of science*. Mineapolis, MN: University of Minnesota Press.

Chi, M.T.H. (2008). Three types of conceptual change: Belief revision, mental model transformation, and categorical shift. In S. Vosniadou (Ed.), *International handbook of research on conceptual change* (pp. 61-82). New York, NY: Routledge.

Driver R. et al. (1994). *Οι ιδέες των παιδιών στις Φυσικές Επιστήμες*. Αθήνα: Τροχαλία.

Gelman, S.A., & Markman, E.M. (1986). Categories and Induction in young children. *Cognition, 23*, 183-209.

Gopnik, A. & Meletzoff, A. (1997). *Words, thoughts and theories*. Cambridge, MA: MIT Press.

Griffiths, A., & Preston, K. (1992). Grade-12 Students' misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules. *Journal of Research in Science Teaching, 29*, 611-628.

Inagaki, K., & Hatano, G. (2002). *Young children's naïve thinking about the biological world.* Philadelphia, PA: Psychology Press.

Καλκάνης, Γ.Θ. (2007). *Πρωτοβάθμια ΕκΠαίδευση στις-με τις Φυσικές Επιστήμες. Τόμ. Ι: Οι Θεωρίες. Τόμ. ΙΙ: Τα Φαινόμενα*. Αθήνα

Κουκά, Α., (2000). *Η έννοια του νερού στη χημική εκπαίδευση: Αντιλήψεις, παρανοήσεις, δυσκολίες στην κατανόηση*. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Χημείας.

Lee, O., Eichinger, D.C., Anderson, C.W., Berkheimer, G.D., & Blakeslee, T.D. (1993). Changing middle school students' conceptions of matter and molecules. *Journal of Research in Science Teaching*, *30*(3), 249-270.

Medin, D.L., & Rips, L.J. (2005). Concepts and categories: memory, meaning and metaphysics. In K.J. Holyoak & R.G. Morrison (Eds.), *Cambridge Handbook of Thinking and Reasoning* (pp. 37-72). Cambridge: Cambridge University Press.

Murphy, G.L., & Medin, D.L. (1985). The Role of Theories in Conceptual Coherence. *Psychological Review, 92*(3), 289-316.

Nakhlem, M., & Samarapungavan, A. (1999). Elementary school children's beliefs about matter. *Journal of Research in Science Teaching, 36*, 777-805.

Nussbaum, J. (1985). Η σωματιδιακή μορφή της ύλης στην αέρια κατάσταση. Στο R. Driver et al. (επιμ.), *Οι ιδέες των παιδιών στις Φυσικές Επιστήμες*. Αθήνα: Τροχαλία.

Osborne, R., & Cosgrove, M. (1983). Children's conceptions of the changes of the state of water. *Journal of Research in Science Teaching*, *20*, 825-838.

Σκοπελίτη, Ε. (2008). *Το πρόβλημα της εννοιολογικής αλλαγής στο χώρο των φυσικών επιστημών. Μεθοδολογικά και θεωρητικά ζητήματα*. Διδακτορική Διατριβή. Τμήμα Μεθοδολογίας, Ιστορίας και Θεωρίας της Επιστήμης, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Smith, C., Carey, S., & Wiser, M. (1985). On differentiation: A case study of the development of the concepts of size, weight and density. *Cognition, 21*, 177-237.

Smith, C.L. (2007). Bootstraping Processes in the Development of Students' Commonsense Matter Theories: Using Analogical Mappings, Thought Experiments and Learning to Measure to Promote Conceptual Restructuring, Cognition and Instruction, volume 25, issue 4, p. 337-398, Dec 2007.

Snir, J., Smith, C., & Raz, G. (2003). Linking phenomena with competing underlying models: A software tool for introducing students to the particulate model of matter, *Science Education, 87*, 794-830.

Stavy, R., & Stachel, D. (1985). Children's ideas about "solid" and "liquid". *European Journal of Education, 7*, 407-421.

Vosniadou, S. & Brewer, W.F. (1992). Mental models

of the earth: a study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology, 24*, 535-585.

Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction, 4*, 45-69.

Vosniadou, S. (1999). Conceptual Change Research: State of the Art and Future Directions. In W. Schnotz, S. Vosniadou & M. Carretero (Eds.), *New Perspectives on Conceptual Change* (pp. 3-13). Oxford: Elsevier Science.

Vosniadou, S., & Skopeliti, I. (2005). Developmental Shifts in Children's Categorization of the Earth. In B. Bara, L. Barsalou & M. Bucciarelli (Eds.) *Proceedings of the XXVII Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp. 2325-2330). Mahwah, NJ: Erlbaum.

Vosniadou, S., Vamvakousi, X., & Skopeliti, E. (2008). The Framework Theory Approach to the Problem of Conceptual Change. In S. Vosniadou (Ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp. 3-34). New York, NY: Routledge.

Vosniadou, S., & Mason, L. (υπό δημοσίευση, 2012). Conceptual Change induced by Instruction: A Complex Interplay of Multiple Factors. In K.R. Harris, S. Graham & T. Urdan (Editors-in-Chief), *APA Educational Handbook*. *Vol. 2: Individual Differences and Cultural and Contextual Factors*. American Psychological Association.

Wiser, M., & Carey, S. (1983). When heat and temperature were one. In D. Gentner & A. Stevens (Eds.), *Mental models* (pp. 267-297). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Wiser, M., & Smith, C. (2008). Teaching about matter in grades K-8: When should the atomic-molecular theory be introduced? In S. Vosniadou (Ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change*. New York, NY: Routledge.

Recategorization of substances and physical changes of matter

Ourania Gikopoulou[1]

Stella Vosniadou[2]

ABSTRACT Previous research has shown that students have difficulties in understanding the scientific explanations of the physical changes of state of matter. We hypothesized that these difficulties stem from the fact that they categorize substances to belong to one of three distinct states (solid, liquid, gas), instead of their molecular structure (particular nature of matter), and apply to them the properties of the corresponding physical state (e.g., solids are rigid, liquids are flexible, gases are invisible, etc.). The purpose of the study was to examine whether there is a recategorization of substances with development and if this is correlated with students' explanations of physical changes of state. The participants were 40 4th graders, 40 6th graders, 35 9th graders and 30 university students. The results of the study confirmed the hypothesis regarding the recategorization of substances and high correlations were obtained between participants' categorizations of substances and their explanations of physical changes of state, supporting the idea that the shift from categorizing substances based on their physical state to categorizing them based on their molecular structure is probably a prerequisite to a full understanding of the change of state of matter.

Keywords: Recategorization, Naïve theory, Scientific theory, Macroscopic properties, Particular nature of matter, Physical changes of state.

1. *Address*: PhD Student, Department of Philosophy and History of Science, National and Kapodistrian University of Athens, Panepistimioupolis, A. Ilisia 15771, Tel: +302107275506, +306945445380, E-mail: rgicop@phs.uoa.gr, gikopoulou@gmail.com
2. *Address*: Professor, Department of Philosophy and History of Science, National and Kapodistrian University of Athens, Panepistimioupolis, A. Ilisia 15771, Tel. +302107275506-07, E-mail: svosniad@phs.uoa.gr