

Psychology: the Journal of the Hellenic Psychological Society

Vol 9, No 1 (2002)



Understanding various transformations of matter by prospective primary school teachers

Νίκος Βαλανίδης

doi: [10.12681/psy_hps.24054](https://doi.org/10.12681/psy_hps.24054)

Copyright © 2020, Νίκος Βαλανίδης



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

To cite this article:

Βαλανίδης Ν. (2020). Understanding various transformations of matter by prospective primary school teachers. *Psychology: The Journal of the Hellenic Psychological Society*, 9(1), 37–57. https://doi.org/10.12681/psy_hps.24054

Κατανόηση διάφορων μετασχηματισμών της ύλης από υποψήφιας εκπαιδευτικούς της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης

ΝΙΚΟΣ ΒΑΛΑΝΙΔΗΣ
Πανεπιστήμιο Κύπρου

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Δείγμα είκοσι φοιτητριών, υποψήφιας εκπαιδευτικών της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης, που φοιτούσαν στο Πανεπιστήμιο Κύπρου, υποβλήθηκαν σε ατομικές συνεντεύξεις. Ζητήθηκε από αυτές να περιγράψουν τις μικροσκοπικές (χρώμα, γεύση, όγκος, πυκνότητα) και μικροσκοπικές μεταβολές (είδος και κίνηση μορίων) της ύλης κατά τη διάλυση στερεού (ζάχαρη ή άλας) σε νερό ή την ανάμιξη νερού και οιοπνεύματος, και κατά τη θέρμανση των διαλυμάτων που προκύπτουν. Εξετάστηκε, επίσης, η αναφεξιμότητα του οιοπνεύματος και του υδατικού διαλύματός του. Η ανάλυση των απομαγνητοφωνημένων συνεντεύξεων έδειξε ότι οι φοιτήτριες είχαν περιορισμένη εννοιολογική κατανόηση της δομής της ύλης και δύσκολα μπορούσαν να συσχετίζουν τις παρατηρήσιμες μεταβολές της ύλης με τα αόρατα μοριακά φαινόμενα (διάταξη και κίνηση των μορίων).

Λέξεις κλειδιά: Εναλλακτικές αντιλήψεις, Εννοιολογική αλλαγή, Οικοδόμηση της γνώσης.

Εισαγωγή

Η έρευνα για τη δομή της ύλης και τους μετασχηματισμούς της (Doran, 1972. Driver, Guesne, & Tiberghien, 1993. Gabel, Samuel, & Hunn, 1987. Griffiths & Preston, 1992. Lee, Eichinger, Anderson, Berkheimer, & Blakeslee, 1993. Novick & Nussbaum, 1978, 1981. Osborne & Freyberg, 1985) έδειξε ότι οι μαθητικές αντιλήψεις για έννοιες των φυσικών επιστημών είναι ριζικά διαφορετικές από τις αποδεκτές επιστημονικές απόψεις. Οι διαφορές αφορούν τόσο τις μικροσκοπικές ιδιότητες της ύλης και τους μετασχηματισμούς της (Bar, 1989. Osborne & Cosgrove, 1983. Stavy, 1988. Stavy & Stachel, 1985) όσο και τις ιδιότητες και τη συμπεριφορά των αόρατων μικροσκοπικών συστατικών της ύλης (Gabel

et al., 1987. Lee et al., 1993. Novick & Nussbaum, 1978, 1981).

Η κατανόηση της μικροσκοπικής δομής της ύλης είναι φυσικά απαραίτητη για την κατανόηση τόσο των χημικών μετασχηματισμών της (Anderson, 1986. Duncan & Johnstone, 1979. Hacking & Garnett, 1986) όσο και των καταστάσεων της ύλης ή των φυσικών μετασχηματισμών της κατά τη θέρμανση ή την ψύξη ενός υλικού (π.χ., θερμική διαστολή, τήξη ή εξαέρωση) (Bar, 1989. Hatzinikita & Koulaidis, 1997. Osborne & Cosgrove, 1983). Ο Anderson (1990) επισήμανε, επίσης, την κοινωνική σημασία της κατανόησης της δομής της ύλης και των μετασχηματισμών της επιμένοντας ότι "η γνώση αυτή πρέπει να αποτελεί μέρος των νοητικών εφοδίων κάθε πολίτη από τη στιγμή που εγκαταλείπει το σχολείο" (σ. 54).

Διάφορες άλλες έρευνες έδωσαν λεπτομερείς πληροφορίες για τις μαθητικές αντιλήψεις τόσο στο μακροσκοπικό όσο και στο μικροσκοπικό επίπεδο. Οι μαθητές, για παράδειγμα, αντιμετώπιζαν ιδιαίτερες δυσκολίες στην περίπτωση που έπρεπε να ερμηνεύσουν τις παρατηρήσιμες μακροσκοπικές μεταβολές με αναφορά στη μικροσκοπική δομή της ύλης, και "δεν ήταν σε θέση να αντιληφθούν τα άτομα και τα μόρια ως επεξηγηματικές οντότητες των μεταβολών αυτών παρά την έμφαση που δόθηκε σε αυτά στα μαθήματα χημείας" (Hesse & Anderson, 1992, p. 277). Σε μία άλλη έρευνα (Griffiths & Preston, 1992), που εξέτασε τις αντιλήψεις τελειόφοιτων μαθητών για τις χαρακτηριστικές ιδιότητες των ατόμων και των μορίων, εντοπίστηκαν επίσης αρκετές 'εναλλακτικές' αντιλήψεις.

Ο Lee et al. (1993) εξέτασαν τις απόψεις άλλων μαθητών ηλικίας 12-15 ετών για την ύλη και τα μόρια, ενώ στην ίδια έρευνα εντοπίστηκαν και διάφορες εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών σχετικά με το φαινόμενο της διάλυσης. Για παράδειγμα, οι μαθητές θεωρούσαν το φαινόμενο της διάλυσης στερεού σε υγρό ως ισοδύναμο με την εξαφάνιση του στερεού ή την τήξη του, αφού πίστευαν ότι μετά τη διάλυση "δεν υπήρχε τίποτε" ή "ότι η ζάχαρη γινόταν νερό ή υγρή ζάχαρη". Πολλοί επίσης μαθητές αδυνατούσαν να εξηγήσουν το φαινόμενο της διάλυσης με βάση τη συμπεριφορά των μορίων και υποστήριζαν ότι η ζάχαρη, όταν προστεθεί σε δοχείο που περιέχει νερό, θα καθήσει στον πυθμένα, γιατί είναι στερεό σώμα ή διότι τα μόριά της είναι βαρύτερα. Προηγούμενες έρευνες (Osborne & Cosgrove, 1983. Longden, Black, & Solomon, 1991) εξέτασαν, επίσης, τις μαθητικές αντιλήψεις για το φαινόμενο της διάλυσης στερεού σε υγρό, αλλά περιορίστηκαν κυρίως στη διατήρηση της ύλης. Οι έρευνες αυτές αποκάλυψαν παρόμοιες παρανοήσεις ανάμεσα στους μαθητές και επιβεβαίωσαν την 'επιβίωση' αντιλήψεων που κυριαρχούν στην καθημερινή ζωή.

Η διαδικασία της διάλυσης στερεού σε υγρό προσέλκυσε το ενδιαφέρον και άλλων ερευνών που εξέτασαν τη διαλυτότητα (Gennaro, 1981),

τη συγκέντρωση της διαλυμένης ουσίας (Gabel & Samuel, 1986) ή τον τρόπο επίδρασης εξωτερικών παραγόντων, όπως η ανάδευση ή η μεταβολή της θερμοκρασίας, στη διαδικασία της διάλυσης στερεού σε υγρό (Blanco & Prieto, 1997). Εξετάστηκε, επίσης, κατά πόσο οι αντιλήψεις των μαθητών σχετίζονται με τη διδασκαλία ή με τις καθημερινές εμπειρίες τους (Prieto, Blanco, & Rodriguez, 1989) και εντοπίστηκαν τόσο η φυσική όσο και η λογικο-μαθηματική γνώση των μαθητών για τα διαλύματα και η αλληλοσυσχέτιση των δύο αυτών μορφών γνώσης (Slone & Bokhurst, 1992).

Όλες οι έρευνες που αναφέρθηκαν μέχρι τώρα εξέτασαν αποκλειστικά τις αντιλήψεις μαθητών ηλικίας 5-18 ετών ή τη γνώση των εκπαιδευτικών για τις αντιλήψεις των μαθητών τους. Πολύ λίγες όμως έρευνες εξέτασαν τις αντιλήψεις εκπαιδευτικών για έννοιες ή φαινόμενα των φυσικών επιστημών. Ο Goodwin (1995), για παράδειγμα, διερεύνησε τις αντιλήψεις φοιτητών των τμημάτων φυσικών επιστημών που ολοκλήρωσαν τις πτυχιακές τους σπουδές και είχαν εγγραφεί σε πρόγραμμα παιδαγωγικής κατάρτισης με έμφαση στις αντιλήψεις τους για τη δομή της ύλης. Η έρευνα αυτή αποκάλυψε ότι και οι απόφοιτοι των τμημάτων των φυσικών επιστημών δεν ήταν σε θέση να ερμηνεύουν με ικανοποιητικό τρόπο τους μετασχηματισμούς της ύλης κατά την πήξη, το βρασμό και την εξαέρωση και με βάση τη συμπεριφορά των δομικών συστατικών της ύλης. Άλλες έρευνες με συμμετέχοντες εκπαιδευτικούς ή υποψήφιους εκπαιδευτικούς (Atwood, & Atwood, 1996. Bendall, Goldberg, & Galili, 1993. Haidar, 1997. Kokkotas, Vlachos, & Koulaidis, 1998. Kruger & Summers, 1989. Skamp, 1992) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το εύρος και το είδος των αντιλήψεων των εκπαιδευτικών είναι τα ίδια με αυτά των μαθητών τους.

Η παρούσα έρευνα επιχείρησε να εντοπίσει και να καταγράψει τις αντιλήψεις φοιτητριών του Τμήματος Επιστημών της Αγωγής του Πανεπιστημίου Κύπρου αναφορικά με τις μακροσκοπικές μεταβολές (γεύση, χρώμα, μάζα, όγκος,

πυκνότητα) που παρατηρούνται κατά τη διάλυση στερεού (ζάχαρης ή άλατος) σε νερό, τη διάλυση οιοπνεύματος σε νερό και τα αποτελέσματα της διήθησης ή της εξαέρωσης των διαλυμάτων που σχηματίζονται. Εξετάστηκε, επίσης, η αναφλεξιμότητα του οιοπνεύματος και του υδατικού διαλύματός του σε σύγκριση με τη μη αναφλεξιμότητα του νερού και διερευνήθηκαν οι αντιλήψεις των φοιτητριών για τη σχέση και την ερμηνεία των προηγούμενων μεταβολών με τη μικροσκοπική δομή της ύλης (είδος, διάταξη και κίνηση των μορίων).

Μέθοδος

Συμμετέχοντες

Για τη συλλογή δεδομένων έγιναν ατομικές συνεντεύξεις με 20 φοιτήτριες του Τμήματος Επιστημών του Πανεπιστημίου Κύπρου. Οι φοιτήτριες επιλέχθηκαν με τυχαίο τρόπο ανάμεσα από 123 φοιτητές (8 φοιτητές και 115 φοιτήτριες) δύο ακροατηρίων που, κατά τη διάρκεια του τρίτου εξαμήνου των σπουδών τους, παρακολουθούσαν το πρώτο από τα τρία υποχρεωτικά μαθήματα των φυσικών επιστημών του Τμήματος. Ο πολύ μικρός αριθμός αγοριών στα δύο ακροατήρια οδήγησε στην απόφαση να συμπεριληφθούν στο δείγμα μόνο φοιτήτριες. Οι φοιτητές ήταν, επίσης, μεγαλύτερης ηλικίας και μερικοί από αυτούς εισήχθησαν με ειδικά κριτήρια. Οι φοιτήτριες δεν είχαν παρακολουθήσει άλλα μαθήματα των φυσικών επιστημών μετά την αποφοίτησή τους από το λύκειο. Από τις 20 φοιτήτριες, μόνο 7 προέρχονταν από τμήματα του πρακτικού (επιστημονική κατεύθυνση σπουδών) όπου δίδεται ιδιαίτερη έμφαση στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών, ενώ οι υπόλοιπες ήταν απόφοιτες οικονομικών τμημάτων.

Έργα

Κατά τη διάρκεια των συνεντεύξεων, οι φοιτήτριες απάντησαν σε ερωτήσεις που δεν απαι-

τούσαν ειδικές γνώσεις και περιορίστηκαν σε φαινόμενα και έννοιες που διδάσκονται σε όλους τους συνδυασμούς του λυκείου ή στο γυμνάσιο, αφού ήταν γνωστό ότι οι φοιτήτριες προέρχονταν από διαφορετικούς συνδυασμούς του λυκείου με αποτέλεσμα να διαφέρουν σημαντικά οι γνώσεις και οι εμπειρίες τους για έννοιες και φαινόμενα των φυσικών επιστημών. Χρησιμοποιήθηκαν δύο κατηγορίες ερωτήσεων, χωρίς να σημαίνει ότι οι ερωτήσεις αυτές ήταν εντελώς ανεξάρτητες μεταξύ τους. Στην πρώτη κατηγορία ερωτήσεων, ζητήθηκε από τις φοιτήτριες να περιγράψουν τις μακροσκοπικές μεταβολές (χρώμα, γεύση, μάζα, όγκος, πυκνότητα) κατά τη διάλυση στερεού (άλας ή ζάχαρη) στο νερό ή κατά τη διάλυση οιοπνεύματος στο νερό. Εξετάστηκαν, επίσης, οι αντιλήψεις των φοιτητριών για τη διατήρηση της αναφλεξιμότητας του οιοπνεύματος σε υδατικό διάλυμά του και τα αποτελέσματα της διήθησης ή της εξαέρωσης των αντίστοιχων διαλυμάτων. Στη δεύτερη κατηγορία των ερωτήσεων, ζητήθηκε από τις φοιτήτριες να ερμηνεύσουν τις προηγούμενες αλλαγές και να τις δικαιολογήσουν με βάση τη μικροσκοπική δομή της ύλης (διάταξη των μορίων στο χώρο και τρόπος κίνησής τους).

Διαδικασία

Προσθήκη στερεού σε υγρό. Με κάθε φοιτήτρια έγινε συνέντευξη διάρκειας 30 περίπου λεπτών, η οποία μαγνητοφωνήθηκε για τους σκοπούς της έρευνας. Αρχικά παρουσιάστηκαν δύο διαφανή δοχεία που το ένα περιείχε ζάχαρη και το άλλο μαγειρικό άλας και δύο γυάλινα κυλινδρικά δοχεία χωρητικότητας 500 cm³ μέσα στο οποία τοποθετήθηκαν περίπου 300 cm³ νερό. Η θερμοκρασία του νερού ήταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος 20°C. Ζητήθηκε από κάθε φοιτήτρια να περιγράψει και να συγκρίνει τις μακροσκοπικές ιδιότητες (χρώμα, γεύση, πυκνότητα) των δύο στερεών και του νερού. Ζητήθηκε στη συνέχεια από κάθε φοιτήτρια να περιγράψει ή και να σχεδιάσει αυτό που θα έβλεπε αν είχε στη διάθεσή της ισχυρά μεγεθυντικά

γυαλιά με τα οποία θα μπορούσε να εξετάσει ένα μόνο κόκκο στερεού ή μία σταγόνα νερού. Σκοπός των ερωτήσεων αυτών ήταν η συλλογή πληροφοριών για τις αντιλήψεις τους για τη μικροσκοπική δομή των υγρών και των στερεών. Ακολουθούσαν πάντοτε διευκρινιστικές ερωτήσεις ανάλογα με τις αρχικές απαντήσεις των φοιτητριών.

Ζητήθηκε στη συνέχεια από κάθε φοιτήτρια να προβλέψει τις αλλαγές που θα παρατηρούσαν αν σε ένα από τα δοχεία που περιείχε νερό προσθέταμε αρχικά μία κουταλιά αλάτι ή ζάχαρη. Η ποσότητα του νερού ήταν αρκετή ώστε να σχηματίζεται ακόρεστο διάλυμα μετά τη διάλυση ολόκληρης της ποσότητας του στερεού. Μετά τις προβλέψεις των φοιτητριών ακολουθούσε η προσθήκη του στερεού στο νερό και συζήτηση με βάση τις παρατηρήσεις των φοιτητριών. Για παράδειγμα, γιατί το στερεό δε διαλύθηκε (κάθησε στον πυθμένα); Με ποιον τρόπο θα μπορούσαμε να το διαλύσουμε (χωρίς όμως να αυξήσουμε τη θερμοκρασία); Ποιος ήταν ο ρόλος της ανάδευσης; Χωρίς ανάδευση θα διαλυόταν το στερεό, αν περιμέναμε αρκετές ώρες ή ημέρες; Ποιες αλλαγές συνέβαιναν; Ποια η σχέση των φαινομένων με τη δομή της ύλης; Οι φοιτήτριες έπρεπε να απαντήσουν στις ίδιες περίπου ερωτήσεις και όταν σταδιακά προσθέταμε στο νερό νέα ποσότητα στερεού. Έπρεπε, επίσης, να περιγράψουν τις μεταβολές μάζας, όγκου και πυκνότητας που οφείλονταν στην προσθήκη στερεού στο νερό.

Τελικά ζητήθηκε από τις φοιτήτριες να εξηγήσουν τα αποτελέσματα της διήθησης ή της εξαέρωσης των διαλυμάτων άλατος και ζάχαρης που θα σχηματίζονταν σε κάθε περίπτωση και τις μεταβολές που θα παρατηρούσαν εξαιτίας της διήθησης ή της εξαέρωσης των αντίστοιχων διαλυμάτων. Εκτός από την προσθήκη στερεού στο νερό και την ανάδευση που επακολούθησε δεν εκτελέστηκαν άλλα πειράματα αλλά τα διάφορα φαινόμενα αναπαραστάθηκαν νοερά παρόλο που στις φοιτήτριες παρουσιάστηκαν διάφορα υλικά και δόθηκαν συγκεκριμένες εξηγήσεις. Για παράδειγμα, προετοιμάστη-

κε το πείραμα της διήθησης χωρίς όμως να γίνει διήθηση. Η διαδικασία αυτή προτιμήθηκε, αφού θεωρήθηκε ότι η εκτέλεση των πειραμάτων θα οδηγούσε σε απλή περιγραφή συγκεκριμένων παρατηρήσιμων μεταβολών και δε θα βοηθούσε στον εντοπισμό των αντιλήψεων των φοιτητριών για τα διάφορα φαινόμενα. Σε όσες περιπτώσεις κρίθηκε σκόπιμο, ζητήθηκε από τις φοιτήτριες να απεικονίσουν σε σχεδιαγράμματα τις απόψεις τους (π.χ., την κατανομή του στερεού στο υγρό).

Προσθήκη υγρού σε υγρό. Παρουσιάστηκαν δύο γυάλινα δοχεία που περιείχαν το ένα αποσταγμένο νερό και το άλλο άχρωμο οινόπνευμα καθαρότητας 98%. Ζητήθηκε αρχικά από κάθε φοιτήτρια να συγκρίνει το περιεχόμενο των δοχείων και να διαπιστώσει τη χαρακτηριστική οσμή του οινοπνεύματος. Έγινε, επίσης, επίδειξη της αναφλεξιμότητας του οινοπνεύματος. Στη συνέχεια τοποθετήθηκε σε ένα ογκομετρικό σωλήνα ορισμένος όγκος νερού (π.χ., 100 cm³) και σε ένα δεύτερο άχρωμο οινόπνευμα καθαρότητας 98% (π.χ., 80 cm³) και ζητήθηκε από τις φοιτήτριες να προβλέψουν τις μεταβολές που θα παρατηρηθούν αν το ένα από τα υγρά προστεθεί στο σωλήνα με το δεύτερο υγρό, ενώ στη συνέχεια έγινε ανάμιξη των υγρών παρουσία της κάθε φοιτήτριας. Μετά την ανάμιξη ζητήθηκε από τις φοιτήτριες να δικαιολογήσουν τη μείωση του όγκου που παρατηρήθηκε και να αναφέρουν άλλες μεταβολές που συνόδευαν το φαινόμενο αυτό. Στο τέλος τοποθετήθηκε μέσα στο διάλυμα του οινοπνεύματος ένα συνηθισμένο χαρτονόμισμα και, αφού ανασύρθηκε από αυτό, τοποθετήθηκε κοντά σε αναμμένο σπίρτο. Οι φοιτήτριες διαπίστωσαν τις φλόγες που δημιουργήθηκαν γύρω από το χαρτονόμισμα και εξέφρασαν αρχικά την αγωνία τους για το κάψιμο και την καταστροφή του χαρτονομίσματος. Οι φλόγες όμως έσβησαν και το βρεγμένο χαρτονόμισμα παρέμεινε άθικτο. Ζητήθηκε από τις φοιτήτριες να δικαιολογήσουν τις παρατηρήσεις αυτές.

Αποτελέσματα

Οι απομαγνητοφωνημένες συνεντεύξεις αναλύθηκαν προσεκτικά και εντοπίστηκαν μέσα από αυτές οι εναλλακτικές αντιλήψεις των φοιτητριών. Αφού προηγήθηκε η καταγραφή όλων των αντιλήψεων των φοιτητριών, οι αντιλήψεις ομαδοποιήθηκαν με στόχο την αποκάλυψη της συχνότητας εμφάνισής τους και ακολούθησε περιγραφή των κυριότερων συμπερασμάτων που προέκυψαν. Στην περιγραφή που ακολουθεί, οι αριθμοί σε παρένθεση αναφέρονται στους αριθμούς των φοιτητριών που εξέφρασαν τις συγκεκριμένες αντιλήψεις. Σε όσες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται δύο αριθμοί, ο πρώτος αναφέρεται στο άλας και ο δεύτερος στη ζάχαρη.

Διάλυση ζάχαρης ή άλατος στο νερό

Αρχικά οι φοιτήτριες έπρεπε να προβλέψουν και να περιγράψουν τα φαινόμενα που θα παρατηρηθούν, όταν σε δοχείο με νερό προστεθούν μία ή περισσότερες κουταλιές ζάχαρης ή (μαγειρικού) άλατος (NaCl). Συζητήθηκαν, επίσης, οι αντιλήψεις τους μετά την προσθήκη του στερεού και την ανάδευση που επακολούθησε. Στον Πίνακα 1 καταγράφονται οι κυριότερες προβλέψεις και οι αντίστοιχες ερμηνείες των φοιτητριών για το φαινόμενο της διάλυσης στερεού (άλατος ή ζάχαρης) στο νερό και για τα αποτελέσματα της διήθησης των αντίστοιχων διαλυμάτων.

Από τα στοιχεία που παρουσιάζονται στον Πίνακα 1 προκύπτει ότι υπήρχαν φοιτήτριες που πίστευαν ότι το στερεό, μετά την προσθήκη του στο νερό, θα βυθιζόταν (6 και 8) στον πυθμένα του δοχείου και θα παρέμενε εκεί, επειδή "είναι βαρύτερο από το υγρό". Αυτή η γενικευμένη τοποθέτηση φανερώνει ότι οι φοιτήτριες αυτές δε διαχώριζαν τα στερεά σε ευδιαλυτά και δυσδιαλυτά ούτε και απέδιδαν καμία σημασία στην αλληλεπίδραση διαλύτη-διαλυμένης ουσίας. Όταν μάλιστα προστέθηκε μία κουταλιά στερεού (ζάχαρη ή άλας) στο νερό και οι κόκκοι του εμφανίστηκαν στον πυθμένα του δοχείου, περισσότε-

ρες φοιτήτριες υποστήριξαν ότι το στερεό θα βυθίζεται (9 και 11), αφού μερικές υπέθεσαν ότι είχαν λάθος στις αρχικές προβλέψεις τους ότι το στερεό δε θα φαίνεται στο υγρό επειδή θα διαλύεται (2 και 2) ή θα "τήκεται" (λιώνει) (1 και 1). Οι άλλες φοιτήτριες θεωρούσαν ότι προηγήθηκε μερική μόνο διάλυση (6 και 1) ή "λιώσιμο" (5 και 8) με αποτέλεσμα να παραμένει ίζημα στον πυθμένα.

Όταν μετά την ανάδευση παρατήρησαν ότι το στερεό "δεν ήταν πλέον εκεί", υποστήριξαν ότι διαλύθηκε (8 και 5) ή "έλιωσε" (6 και 9). Οι φοιτήτριες που υποστήριξαν ότι το στερεό θα παρέμενε στον πυθμένα, πίστευαν ότι η ανάδευση προκαλούσε τη διάλυση ή το "λιώσιμο" του στερεού και ότι αν αποφεύγαμε την ανάδευση, το στερεό θα παρέμενε στον πυθμένα ανεξάρτητα από τη χρονική διάρκεια που θα περιμέναμε (π.χ., μέχρι την άλλη ημέρα ή εβδομάδα). Υπήρχαν ακόμα φοιτήτριες (4 και 4) που υποστήριξαν ότι μετά τη διακοπή της ανάδευσης το στερεό θα εμφανιζόταν και πάλι στον πυθμένα του δοχείου. Οι φοιτήτριες αυτές θεωρούσαν τη διάλυση ως "στιγμιαίο και αντιστρεπτό" φαινόμενο με γενεσιουργό αιτία την ανάδευση. Η αντίληψη αυτή βρέθηκε ότι κυριαρχούσε ανάμεσα σε μαθητές ηλικίας 12-18 ετών (Blanco & Prieto, 1997) και φαίνεται ότι σχετίζεται με τις καθημερινές εμπειρίες των ατόμων με διαλύματα στα οποία εμφανίζεται ίζημα στον πυθμένα του δοχείου που τα περιέχει.

Υπήρχαν φυσικά και φοιτήτριες που επέμεναν από την αρχή ότι το στερεό θα διαλυόταν στο νερό (8 και 3), ή ότι θα "έλιωνε" (8 και 11). Οι φοιτήτριες που υποστήριξαν ότι το στερεό θα διαλυόταν στο νερό ή δεν ήταν σε θέση να δώσουν καμία εξήγηση (3 και 1) ή νόμιζαν κυρίως ότι οι κόκκοι του στερεού θα διασπαστούν (τεμαχιστούν) σε "μικρότερους και αόρατους κόκκους". Δε θεωρούσαν όμως όλες οι φοιτήτριες ότι "οι μικρότεροι και αόρατοι κόκκοι" αποτελούσαν δομικά συστατικά της ύλης, αλλά υποστήριξαν ότι ήταν αποτέλεσμα της διαίρεσης (Pfundt, 1981), επειδή η συνεχής ύλη μπορεί ανάλογα με τις συνθήκες να διαιρεθεί σε μικρο-

Πίνακας 1
Συχνότητες των αντιλήψεων των φοιτητριών για τη διάλυση ζάχαρης ή άλατος στο νερό
και τη διήθηση των αντίστοιχων διαλυμάτων (N=20)

Αντιλήψεις	Προβλέψεις		Μετά την προσθήκη στερεού		Μετά την ανάδευση	
	Άλας	Ζάχαρη	Άλας	Ζάχαρη	Άλας	Ζάχαρη
Το στερεό βυθίζεται	6	8	9	11	4	4
Το στερεό "λιώνει"	6	9	5	8	8	11
Το στερεό διαλύεται	8	3	6	1	8	5
καμία εξήγηση					3	1
τεμαχίζεται σε μικρότερους κόκκους						
(α) με άνισα μεγέθη					3	3
(β) με ίσα μεγέθη					1	
ορθή εξήγηση					1	1
Ο όγκος διαλύματος ίσος με το άθροισμα των όγκων	20	20				
Διατήρηση της μάζας	20	20				
Πυκνότητα						
Είναι σταθερή σε όλο το διάλυμα	12	12				
Ελαττώνεται από τον πυθμένα προς την επιφάνεια	8	8				
Γεύση						
Γλυκιά		20				
Αλμυρή	20					
Είδος μεταβολής						
Φυσική μεταβολή	8	7				
Χημική μεταβολή	5	8				
Δεν ξέρω	7	5				
Διήθηση διαλυμάτων						
Το στερεό μένει στο διηθητικό χαρτί	7	13				
Μέρος του στερεού μένει στο διηθητικό χαρτί	3	3				
Το στερεό δε μένει στο διηθητικό χαρτί	10	4				

σκοπικά τεμάχια τα οποία διατηρούν τις ιδιότητες του υλικού. Μερικές μάλιστα επέμεναν ότι τα μικροσκοπικά αυτά σωματίδια δεν είναι ισομεγέθη (3, 3) και ότι το μέγεθος τους θα εξαρτάται από τις συνθήκες της διαίρεσης. Μία μόνο φοιτήτρια έδωσε σχεδόν ολοκληρωμένη απάντηση

υποστηρίζοντας ότι "οι μικρότεροι και αόρατοι κόκκοι" (τα μόρια) του στερεού προϋπάρχουν και ότι κατά τη διάλυση απλώς διαχωρίζονται και σχηματίζουν ένα ομοιογενές διάλυμα στο οποίο είναι αδύνατη η διάκριση των μορίων διαλύτη και διαλυμένης ουσίας. Η φοιτήτρια όμως αυτή

δε φάνηκε να αποδίδει οποιαδήποτε σημασία στην αλληλεπίδραση διαλύτη-διαλυμένης ουσίας, αφού ο διαλύτης δεν είχε κανένα ενεργητικό ρόλο. Οι κόκκοι της διαλυμένης ουσίας απορροφούσαν το διαλύτη με αποτέλεσμα να διαχωρίζονται τα προϋπάρχοντα μικροσκοπικά σωματίδια (μόρια).

Οι περισσότερες φοιτήτριες (12 και 12) θεωρούσαν όμως ότι μετά τη διάλυση ή το "λιώσιμο", το στερεό θα υπήρχε στο διάλυμα σε υγρή μορφή (Lee et al., 1993). Δύο από τις φοιτήτριες που πίστευαν ότι οι κόκκοι του στερεού θα "έλιωναν", όταν τους ζητήθηκε να διευκρινίσουν τις απόψεις τους, επέμεναν ότι θα έχουμε δύο υγρά που θα σχηματίζουν στρώματα και το υγρό με τη μικρότερη πυκνότητα θα επιπλέει του άλλου. Τα στρώματα όμως των υγρών δε θα ήταν διακριτά με γυμνό μάτι, γιατί και "τα δύο υγρά είναι αδιαφανή και άχρωμα". Οι όροι διάλυση και "τήξη" (λιώσιμο) δε χρησιμοποιήθηκαν με το επιστημονικό εννοιολογικό τους περιεχόμενο αλλά ως συνώνυμοι με τον όρο υγροποίηση ή υγροποίηση αρχικά και χημική αντίδραση μεταξύ των δύο υγρών και σχηματισμό ενός νέου υγρού στη συνέχεια, αφού υπήρχαν φοιτήτριες που πίστευαν ότι κατά τη διάρκεια της διάλυσης σχηματίζεται μία εντελώς διαφορετική ουσία (5 και 8).

Οι φοιτήτριες όμως αυτές υποστήριξαν ότι ο χημικός μετασχηματισμός των αρχικών ουσιών δε θα διαφοροποιούσε την αρχική γεύση του υλικού (αλμυρή ή γλυκιά). Επέμεναν ακόμα ότι "κατά τη διήθηση το άλας ή η ζάχαρη θα παρέμενε στο διηθητικό χαρτί", αφού θεωρούσαν ότι η διήθηση αποτελεί γενικευμένη διαδικασία διαχωρισμού ενός στερεού από τα υγρά μέσα στα οποία βρίσκεται (7 και 13), ανεξάρτητα από τη διαλυτότητά του. Μερικές φοιτήτριες υποστήριξαν ότι η δυνατότητα διαχωρισμού του στερεού από το "διάλυμα" θα εξαρτάται από το μέγεθος των "μικρότερων και αόρατων κόκκων", που δεν είναι σταθερό αλλά εξαρτάται από τη διαδικασία της ανάδευσης. Οι κόκκοι με το μεγαλύτερο μέγεθος μπορούν να διαχωρίζονται από ένα διάλυμα (3 και 3) και το διήθημα θα έχει επομένως λιγότερο αλμυρή ή γλυκιά γεύση

Πολλές από τις αντιλήψεις αυτές εντοπίστηκαν και σε άλλες έρευνες με εκπαιδευτικούς (Kruger & Summers, 1989) ή υποψήφιους εκπαιδευτικούς (Gabel et al., 1987) και είναι ασύμβατες με τη διάλυση στερεού σε υγρό, που αποτελεί, για τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν, φυσικό μετασχηματισμό της ύλης, αλλά και με τις αντιλήψεις εκείνων των φοιτητριών που υποστήριξαν ότι κατά τη διάλυση πραγματοποιείται χημικός μετασχηματισμός της ύλης του διαλύτη και της διαλυμένης ουσίας που οδηγεί στο σχηματισμό εντελώς διαφορετικού(ών) υλικού(ών), όπως συμβαίνει με την υδρόλυση αλάτων ή τους χημικούς μετασχηματισμούς που πραγματοποιούνται με άλλα στερεά και υγρά.

Οι εμπειρίες των φοιτητριών με φαινόμενα διαχωρισμού αδιάλυτων στερεών από τα υγρά κυριαρχούσαν στη σκέψη τους και επεκτείνονταν σε όλα τα στερεά ανεξάρτητα από τη διαλυτότά τους και ανεξάρτητα από τους χημικούς μετασχηματισμούς της ύλης. Κατά την αντίληψη των φοιτητριών, ο χημικός μετασχηματισμός αποτελεί "προσθετική διαδικασία" κατά την οποία διαφορετικά μόρια ενώνονται μεταξύ τους ή συσσωματώνονται χωρίς όμως να διαφοροποιούνται οι βασικές χημικές και φυσικές τους ιδιότητες. Ο σχηματισμός νέων μορίων γινόταν αντιληπτός ως διαδικασία πρόσθεσης ή ανάμιξης των αρχικών μορίων και όχι ως διαδικασία αναδόμησης των μορίων και δημιουργίας εντελώς νέων μορίων με διαφορετικές ιδιότητες (Anderson, 1984, 1990. Anderson & Renstrom, 1983. Meheut, Saltiel, & Tiberghien, 1985). Τα αποσπάσματα που ακολουθούν είναι από τις συζητήσεις του ερευνητή (EP) με τρεις φοιτήτριες (Φ1, Φ2 και Φ3).

ΕΡ. Όταν λες 'έλιωσε', τι ακριβώς εννοείς; Φ1. Εννοώ ότι έγινε υγρό. ΕΡ. Μπορείς να δώσεις ένα παράδειγμα για την αλλαγή αυτή; Φ1. Ναι, όταν θερμαίνουμε τον πάγο λιώνει. ΕΡ. Τι όμως σημαίνει λιώνει; Φ1. Μα είναι απλό σημαίνει ότι το στερεό γίνεται υγρό. ΕΡ. Τι πρέπει επομένως να γίνει για να μετατραπεί η ζάχαρη σε υγρό; Φ1. Να τη βάλουμε σε νερό ή άλλο υγρό. (Αφού προστέθηκε μία κουταλιά ζάχαρης στο δοχείο με το νερό, η ζάχαρη κάθησε στον πυθμένα ο διάλογος συνεχίστηκε

κε.) ΕΡ. Βλέπεις τώρα πού βρίσκεται η ζάχαρη; Εί-
 χες πει ότι θα γίνει υγρό. Φ1. Ναι αλλά πρέπει πρώ-
 τα να το ανακατέψουμε. ΕΡ. Αν αφήσουμε το δο-
 χείο όπως είναι, χωρίς να το ανακατέψουμε, και
 επιστρέψουμε αύριο ή μετά από μία εβδομάδα, θα
 διαλυθεί η ζάχαρη; Φ1. Χωρίς να το ανακατέψουμε;
 ΕΡ. Ναι, χωρίς καθόλου να το ανακατέψουμε. Φ1.
 Αν δεν το ανακατέψουμε δε θα διαλυθεί. Η ζάχαρη
 θα διαλυθεί μόνο αν το ανακατέψουμε δυνατά. ΕΡ.
 Ωστε χωρίς να το ανακατέψουμε δε θα διαλυθεί.
 (παύση) ... Ας το ανακατέψουμε λοιπόν. (Η ζάχαρη
 διαλύθηκε). Φ1. Βλέπεις τώρα, η ζάχαρη δε φαίνε-
 ται. Έλιωσε, και όταν λιώνει γίνεται υγρό. ΕΡ. Ίσως
 να μην υπάρχει πλέον ζάχαρη στο νερό. Φ1. Όχι,
 είναι εκεί. Δεν μπορούμε να τη δούμε γιατί έγινε
 υγρό ... έχουμε δύο υγρά τώρα. Δεν μπορούμε
 όμως να δούμε την υγρή ζάχαρη, γιατί και το νερό
 είναι υγρό... είναι παρόμοιο υγρό. ΕΡ. Πώς το ξέ-
 ρουμε αυτό; Φ1. (Γέλια) Μπορούμε να πιούμε λίγο
 νερό. Έτσι θα διαπιστώσουμε ότι υπάρχει ζάχαρη,
 αφού η γεύση θα είναι γλυκιά. ΕΡ. Υπάρχει άλλος
 τρόπος να διαπιστώσουμε ότι υπάρχει η ζάχαρη
 μέσα στο νερό; Φ1. (Ύστερα από αρκετό δισταγ-
 μό.) Νομίζω ότι αν κάμουμε διήθηση, τότε η ζάχα-
 ρη θα μείνει στο διηθητικό χαρτί. ΕΡ. Μου είχες πει
 ότι η ζάχαρη έγινε υγρό. Πώς είναι δυνατό να μείνει
 τώρα στο διηθητικό χαρτί; Φ1. Η υγρή ζάχαρη θα
 μείνει ... όχι, όχι ... οι κόκκοι της ζάχαρης θα μεί-
 νουν, αλλά ... δεν ξέρω γιατί.

Η ζάχαρη διαλύεται στο νερό

ΕΡ. Όταν η ζάχαρη διαλύεται στο νερό, τι ακριβώς
 παθαίνει, πού βρίσκεται τώρα; Φ2. Η ζάχαρη είναι
 στο νερό, αλλά έγινε χημική μεταβολή. Τα μόρια
 της ενώθηκαν με τα μόρια του νερού και ... έχουμε
 ένα νέο σώμα ... έχουμε κάτι σαν νερό ... έχουμε
 ας πούμε ... ζαχαρώδες νερό. ΕΡ. Είπες είναι κάτι
 σαν νερό, αλλά είναι νερό; Ποια η σχέση του με το
 νερό; Φ2. Δεν είναι νερό, αλλά μοιάζει, γιατί το ένα
 συστατικό που το σχημάτισε ήταν νερό. Τώρα
 όμως δεν έχουμε πλέον ούτε νερό ούτε ζάχαρη ...
 Μόνο από τη γεύση ξέρουμε ότι βάλαμε ζάχαρη
 στην αρχή ... ΕΡ. Υπάρχει κανένας τρόπος να ξε-
 χωρίσουμε τη ζάχαρη από το νερό; Φ2. ... Αν κά-
 νουμε διήθηση. ΕΡ. Με τη διήθηση τι θα γίνει; Φ2.
 Η ζάχαρη θα μείνει από πάνω ... στο διηθητικό χαρ-
 τί. ΕΡ. Μου είπες ότι σχηματίστηκε ένα νέο σώμα
 και δεν έχουμε πλέον ζάχαρη, πώς λοιπόν θα μείνει
 η ζάχαρη στο διηθητικό χαρτί; Φ2. Τα μόρια της
 ζάχαρης ενώθηκαν αρχικά με μόρια νερού ... αλλά

όταν γίνει διήθηση ... δεν μπορώ να το εξηγήσω,
 αλλά είμαι σίγουρη ότι οι κόκκοι της ζάχαρης δε θα
 περάσουν.

Μετά την ανάδευση του υγρού.

ΕΡ. Πού βρίσκεται τώρα η ζάχαρη; Φ3. Διαλύθηκε.
 ΕΡ. Όταν λες διαλύθηκε τι εννοείς; Φ3. Έλιωσε. ΕΡ.
 Προηγουμένως είχα το νερό που είναι υγρό και εί-
 χα και το στερεό ζάχαρη. Τώρα τι έχω; Φ3. Μόνο
 υγρό. ΕΡ. Δηλαδή η ζάχαρη βρίσκεται σε υγρή κα-
 τάσταση; Φ3. Όχι, ήταν στερεή. ΕΡ. Σωστά, ήταν
 στερεή, αλλά τώρα τι είναι; Φ3. Τώρα, η ζάχαρη
 διαλύθηκε, ο κόκκος, τα διάφορα μόρια ... τα μόρια
 της ζάχαρης είναι το καθένα μόνο του, πώς να το
 πω, ... Αλλά δεν είναι σε υγρή κατάσταση όμως.
 ΕΡ. Τα μόρια της ζάχαρης πριν και τώρα είναι τα
 ίδια ή διαφέρουν; Φ3. Τα μόρια διασπάστηκαν σε
 πιο μικρά κομματάκια, γιατί ... κομματιάστηκαν με
 το ανακάτεμα. ΕΡ. Πώς ξέρουμε ότι υπάρχει ζάχα-
 ρη στο δοχείο. Φ3. Να το δοκιμάσουμε ... η γεύση
 θα είναι γλυκιά. ΕΡ. Υπάρχει κανένας τρόπος να
 ξαναπάρω πίσω τη ζάχαρη; Φ3. Να το διηθήσουμε.
 ΕΡ. (Ετοιμάστηκε η συσκευή διήθησης). Αν το διη-
 θήσω τι θα γίνει; Φ3. Μπορώ να δοκιμάσω αυτό
 που διήθησα (εννοώντας το υγρό που θα περά-
 σει). ΕΡ. Να το δοκιμάσω, γιατί; Φ3. Η γεύση τώρα
 θα είναι λιγότερο γλυκιά. ΕΡ. Γιατί όμως; Φ3. Τα με-
 γαλύτερα κομμάτια των κόκκων δε θα περάσουν
 και έτσι θα έχω λιγότερη ζάχαρη και η γεύση θα εί-
 ναι λιγότερο γλυκιά. ΕΡ. Γιατί, άλλοι κόκκοι θα είναι
 μικροί και άλλοι μεγάλοι; ΕΡ. Εε ... Εξαρτάται από
 τον τρόπο που το ανακατέψαμε, πόσο δυνατά, πό-
 σο γρήγορα ... και δεν μπορούμε να το κάμουμε
 ακριβώς το ίδιο.

Οι έννοιες του κορεσμένου και ακόρεστου
 διαλύματος δεν εξετάστηκαν και σκόπιμα απο-
 φεύχθηκε η διάλυση στερεού μέχρι το σημείο
 κορεσμού. Διαπιστώθηκε ότι όλες οι φοιτήτριες
 αντιλαμβάνονταν τη διατήρηση της μάζας και
 ότι χρησιμοποιούσαν μαρτυρίες των αισθήσεών
 τους για να υποστηρίξουν την παρουσία του
 στερεού στο διάλυμα. Υποστήριζαν, για παρά-
 δειγμα, ότι η γεύση του υγρού (αλμυρή ή γλυ-
 κιά) αποτελεί απόδειξη της παρουσίας του στε-
 ρεού στο υγρό. Υποστήριζαν, επίσης, ότι ο
 όγκος του διαλύματος θα αυξάνεται όσο είναι ο
 όγκος του στερεού που προστίθεται στο νερό,
 αφού δεν αποδέχονταν την ύπαρξη κενού χώ-
 ρου μεταξύ των μορίων. Με βάση αυτές τις από-

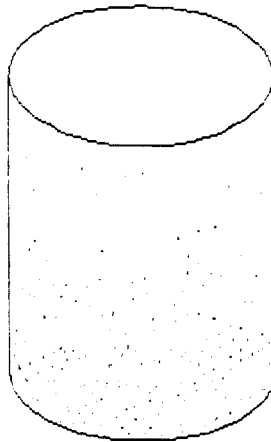
ψεις, υποστήριζαν ότι η πυκνότητα του διαλύματος θα αυξάνεται ανάλογα με την ποσότητα του στερεού που προστίθεται στο νερό, αφού “το άλας (και η ζάχαρη) που είναι στερεά έχουν μεγαλύτερη πυκνότητα από το νερό”. Η πυκνότητα του υγρού στο οποίο προστέθηκε στερεό (άλας ή ζάχαρη) θα είχε, κατά την άποψή τους, τιμή ενδιάμεση μεταξύ της πυκνότητας του νερού και της πυκνότητας του στερεού. Με την προσθήκη περισσότερου στερεού θα αυξανόταν και η τιμή της πυκνότητας, αφού θα άλλαζε η αναλογία των δύο συστατικών. Οι αντιλήψεις αυτές φαίνονται ανάλογες με τον υπολογισμό της μέσης τιμής δύο άνισων μεγεθών που υπάρχουν σε διαφορετικές αναλογίες.

Υπήρχαν επίσης φοιτήτριες που δεν αποδέχονταν ότι το διάλυμα που σχηματιζόταν ήταν ομοιογενές και υποστήριζαν ότι η πυκνότητα μειώνεται όσο αυξάνεται η απόσταση από τον πυθμένα του δοχείου (8 και 8), διότι τα στερεά τείνουν να βυθίζονται μέσα στα υγρά. Τέσσερις από αυτές ήταν μεταξύ εκείνων που υποστήριξαν ότι το στερεό θα βυθιστεί στον πυθμένα του δοχείου και θα μείνει εκεί και μετά την ανάδευση. Η προσθήκη του στερεού στο νερό και η εμφάνισή του στον πυθμένα του δοχείου καθώς και η διαδικασία της ανάδευσης ίσως να επηρέ-

ασε τις έντονες αντιλήψεις τους ότι “τα μόρια της ζάχαρης και του άλατος που είναι βαρύτερα από τα μόρια του νερού έχουν την τάση να βυθίζονται”. Μία δύναμη όμως “όμοια με την άνωση” τα παρεμπόδιζε να κινηθούν προς τον πυθμένα και τα κρατούσε σε ισορροπία πάνω από αυτόν, με αποτέλεσμα η συγκέντρωση των μορίων του στερεού μέσα στα υγρά να εμφανίζεται μεγαλύτερη όσο πλησιάζουμε προς τον πυθμένα. Η κατανομή των μορίων του στερεού στο υγρό παρουσιαζόταν όπως δείχνει το Σχήμα 1.

Οι φοιτήτριες αυτές θεωρούσαν ότι τα μόρια της ζάχαρης και του άλατος που υπήρχαν στο διάλυμα ήταν στερεά (8, 8) και ότι διατηρούσαν τις μακροσκοπικές ιδιότητες των αρχικών υλικών. Πίστευαν ακόμα ότι τα μόρια των στερεών δεν κινούνται, παρόλο που υποστήριζαν ότι τα μόρια των υγρών βρίσκονται σε συνεχή κίνηση. (Τις ίδιες απόψεις εξέφρασαν δύο ακόμα φοιτήτριες.) Δύο φοιτήτριες υποστήριξαν επίσης ότι το νερό θα αποκτούσε το χρώμα του στερεού (άσπρο) μετά την προσθήκη άλατος ή ζάχαρης σε αυτό.

Υπήρχαν επίσης περιπτώσεις που οι αρχικές απόψεις των φοιτητριών αντιστοιχούσαν με τη μικροσκοπική δομή της ύλης, αλλά οι εξηγήσεις που έδιναν στη συνέχεια αναιρούσαν αυτές τις



Σχήμα 1

Κατανομή των μορίων του στερεού στο υγρό διάλυμα.

απόψεις, ενώ δεν υπήρχαν καθόλου ενδείξεις που να βεβαιώνουν ότι οι φοιτήτριες κατανούσαν την ασυνέχεια της δομής της ύλης και την ύπαρξη κενού χώρου μεταξύ των μορίων. Για παράδειγμα, μερικές φοιτήτριες υποστήριζαν ότι το στερεό (άλας ή ζάχαρη) αποτελείται από μόρια που ήταν ακίνητα και χωρίς αποστάσεις μεταξύ τους, και ότι το στερεό θα διαλυόταν στο νερό, αλλά τα μόριά του, που θα ήταν σε υγρή ή στερεή κατάσταση, θα παρέμεναν ακίνητα μέσα στο υγρό. Οι φοιτήτριες αυτές ήταν θεωρητικά ενημερωμένες με την ορολογία της μικροσκοπικής δομής της ύλης. Ήταν όμως αδύνατο να αντιληφθούν το φαινόμενο της διάλυσης ως διαδικασία όπου τα μόρια του υγρού συγκρούονται με τους κόκκους του στερεού (ζάχαρη ή άλας) και διαχωρίζονται τελικά στα προϋπάρχοντα δομικά συστατικά της ύλης (μόρια) τα οποία διασκορπίζονται ομοιόμορφα στο διάλυμα, ενώ συνεχίζουν να βρίσκονται σε αδιάκοπη κίνηση και αλληλεπίδραση στον κενό χώρο που υπάρχει εντός της ύλης.

Τέλος, καμιά φοιτήτρια δεν έκανε αναφορά στη διαφορά μεταξύ του διαλύματος ζάχαρης και άλατος. Στις συζητήσεις που ακολουθούσαν, και παρά τις πολλές ερωτήσεις, δεν ήταν δυνατό να γίνει διάκριση των ιοντικών από τα μοριακά διαλύματα. Υπήρχαν όμως περιπτώσεις όπου οι αντιλήψεις των φοιτητριών για το φαινόμενο της διάλυσης άλατος και ζάχαρης στο νερό ήταν διαφορετικές. Για παράδειγμα, υπήρχαν φοιτήτριες που υποστήριζαν ότι κατά τη διάλυση ζάχαρης στο νερό γίνεται χημικός μετασχηματισμός της ύλης ή ότι η ζάχαρη κατακάθεται στον πυθμένα ή “λιώνει”, αλλά εξέφραζαν διαφορετικές αντιλήψεις για το φαινόμενο διάλυσης άλατος στο νερό. Υπήρχαν επίσης φοιτήτριες που υποστήριζαν ότι με τη διήθηση γίνεται διαχωρισμός της ζάχαρης από το διάλυμά της, χωρίς όμως να έχουν την ίδια άποψη για το διάλυμα άλατος.

Διάλυση οиноπνεύματος σε νερό

Η διαδικασία παρασκευής του αλκοολικού

διαλύματος ήταν σκόπιμα διαφορετική και απέβλεπε στη συστηματικότερη διερεύνηση των απόψεων των φοιτητριών για την ύπαρξη κενού χώρου μεταξύ των μορίων αλλά και τη διατήρηση των ιδιοτήτων των συστατικών υδατικού διαλύματος οινόπνευματος. Σε έναν ογκομετρικό σωλήνα τοποθετήθηκε ορισμένος όγκος νερού (π.χ., 100 cm³) και σε ένα δεύτερο άχρωμο οινόπνευμα καθαρότητας 98% (π.χ., 80 cm³). Ζητήθηκε από τις φοιτήτριες να προβλέψουν τις μεταβολές που θα παρατηρηθούν αν το ένα από τα υγρά προστεθεί στο σωλήνα με το δεύτερο υγρό, ενώ στη συνέχεια έγινε ανάμιξη των υγρών παρουσία της κάθε φοιτήτριας. Στον Πίνακα 2 φαίνονται ομαδοποιημένες οι κυριότερες αντιλήψεις των 20 φοιτητριών πριν και μετά την ανάμιξη των δύο υγρών.

Αρκετές φοιτήτριες (9) υποστήριζαν ότι το ένα από τα υγρά θα επέπλεε πάνω από το άλλο με αποτέλεσμα να φαίνονται δύο διαχωρισμένα στρώματα στον ογκομετρικό σωλήνα. Μερικές πίστευαν ότι το υγρό που θα προστεθεί δεύτερο θα επιπλέει (2), ενώ οι υπόλοιπες (7) θεωρούσαν ότι θα επιπλέει το υγρό με τη μικρότερη πυκνότητα. Υπήρχαν ακόμα φοιτήτριες (3) που υποστήριζαν ότι θα υπήρχαν τρία στρώματα στο σωλήνα χωρίς όμως να μπορούμε να τα διακρίνουμε. Το ενδιάμεσο στρώμα θα ήταν μίγμα των δύο υγρών και θα διαχώριζε το υγρό με τη μεγαλύτερη πυκνότητα, που θα βρισκόταν στον πυθμένα, από το υγρό με τη μικρότερη πυκνότητα, που θα επέπλεε. Λίγες μόνο φοιτήτριες (8) υποστήριζαν ότι τα δύο υγρά θα σχημάτιζαν ομοιογενές διάλυμα. Όταν το ένα από τα υγρά τοποθετήθηκε στο σωλήνα που περιείχε το δεύτερο υγρό, υπήρχαν φοιτήτριες (4) που επέμεναν ότι “υπάρχουν διαχωρισμένα στρώματα των δύο υγρών τα οποία όμως δεν είναι διακριτά, διότι και τα δύο υγρά είναι εξίσου αδιαφανή και άχρωμα”. Εάν γνωρίζαμε τις πυκνότητες των δύο υγρών θα ήταν εύκολο να καθορίσουμε τις θέσεις τους στο σωλήνα, ενώ αν το ένα από τα υγρά δεν ήταν άχρωμο (π.χ., λάδι), τότε θα ήταν ορατός ο διαχωρισμός τους. Οι αντιλήψεις αυτές και οι συζητήσεις που επακολούθησαν έδειχναν ότι οι

Πίνακας 2
Συχνότητες των αντιλήψεων των φοιτητριών για τη διάλυση οиноπνεύματος
στο νερό (N=20)

Αντιλήψεις	Πριν την ανάμιξη	Μετά την ανάμιξη
Σχηματίζονται δύο στρώματα		
Το υγρό που προστίθεται δεύτερο μένει στην επιφάνεια	2	1
Το υγρό με τη μικρότερη πυκνότητα μένει στην επιφάνεια	7	3
Σχηματίζονται τρία στρώματα	3	0
Τα υγρά αναμινύονται	8	16
Είδος μεταβολής		
Χημική μεταβολή	8	17
Φυσική μεταβολή	7	0
Δεν ξέρω	5	3
Το οινόπνευμα χάνει την αναφλεξιμότητά του	20	20
Διατήρηση του όγκου	20	0
Υπολείματα υγρού στον άλλο σωλήνα		5
Ατμοί διαφεύγουν από τα υγρά		6
Δεν ξέρω		9
Μέγεθος μορίων		
του οиноπνεύματος μεγαλύτερα	12	12
του νερού μεγαλύτερα	8	8
Τα μόρια κινούνται	20	20
Διατήρηση της μάζας	20	15

φοιτήτριες θεωρούσαν ότι όλα τα υγρά, ανεξάρτητα από τη σχέση τους με το άλλο υγρό και τη διαλυτότητά τους σε αυτό, συμπεριφέρονται κατά την ανάμιξή τους ομοιόμορφα.

Σχεδόν οι μισές φοιτήτριες (8) πίστευαν επίσης ότι με την ανάμιξη οиноπνεύματος και νερού θα έχουμε χημικό μετασχηματισμό και σχηματισμό μίας νέας ουσίας. Όλες όμως οι φοιτήτριες υποστήριζαν έντονα ότι ο συνολικός όγκος των δύο υγρών, μετά την ανάμιξή τους, θα ήταν το άθροισμα των δύο επιμέρους όγκων των υγρών. Μετά την ανάμιξη των δύο υγρών και τη διαπίστωση ότι ο συνολικός όγκος ήταν μικρότερος από το άθροισμα των αρχικών όγκων, ζητήθηκε από τις φοιτήτριες να εξηγήσουν τη μείωση του όγκου και να συγκρίνουν το διάλυμα με τα αλκοολούχα (οινοπνευματώδη) ποτά. Οι απαντήσεις τους έδειχναν ότι δεν ήταν σε θέση να δικαιολογήσουν το φαινόμενο της ανάμιξης νερού και οι-

νοπνεύματος. Υπήρχαν μάλιστα αρκετές φοιτήτριες οι οποίες άλλαξαν γνώμη και υποστήριζαν ότι η μείωση του όγκου αποτελούσε ένδειξη ότι πραγματοποιήθηκε χημική μεταβολή και όχι φυσική μεταβολή όπως υποστήριξαν αρχικά (7). Δύο φοιτήτριες, που αρχικά δεν ήταν σε θέση να τοποθετηθούν, υποστήριξαν επίσης ότι γίνεται χημική μεταβολή.

Όλες όμως οι φοιτήτριες υποστήριζαν ότι το οινόπνευμα χάνει την αναφλεξιμότητά του μετά την ανάμιξή του με το νερό και ανεξάρτητα από το είδος της μεταβολής (φυσικής ή χημικής) που πραγματοποιείται. Ακόμα και οι φοιτήτριες που υποστήριζαν ότι παρά τη χημική μεταβολή που πραγματοποιείται κατά τη διάλυση στερεού (ζάχαρης ή άλατος) στο νερό θα διατηρείται η γεύση (γλυκιά ή αλμυρή), επέμεναν ότι το οινόπνευμα χάνει την αναφλεξιμότητά του μετά την ανάμιξή του με νερό. Η δικαιολογία που πρόβαλλαν

ήταν ότι "το νερό χρησιμοποιείται για το σβήσιμο της φωτιάς και ότι είναι αδύνατο το οινόπνευμα να διατηρεί την αναφλεξιμότητά του, όταν αναμιγνύεται με το νερό." Σημαντικές δυσκολίες για τη διάκριση των φυσικών και χημικών μετασχηματισμών της ύλης διαπιστώθηκαν και σε προηγούμενες έρευνες με μαθητές μικρότερων ηλικιών. Για παράδειγμα, σε έρευνα με Έλληνες μαθητές ηλικίας 8-17 ετών (Stavridou & Solomoniδου, 1989) διαπιστώθηκε ότι υπάρχει μεγάλη ποικιλία εναλλακτικών αναπαραστάσεων για τους χημικούς και φυσικούς μετασχηματισμούς της ύλης.

Τοποθετήθηκε στη συνέχεια μέσα στο διάλυμα του οινόπνευματος ένα συνηθισμένο χαρτονόμισμα και αφού ανασύρθηκε από αυτό τοποθετήθηκε κοντά σε αναμμένο σπίρτο. Οι φοιτήτριες διαπίστωσαν τις φλόγες που δημιουργήθηκαν γύρω από το χαρτονόμισμα και εξέφρασαν αρχικά την αγωνία τους για το κάψιμο και την καταστροφή του χαρτονομίσματος. Οι φλόγες όμως έσβησαν και το βρεγμένο χαρτονόμισμα παρέμεινε άθικτο. Καμία από τις φοιτήτριες δεν έδωσε ικανοποιητική εξήγηση για το φαινόμενο αυτό αλλά όταν στη συνέχεια ρωτήθηκαν, ακόμα και αυτές που πίστευαν ότι γίνεται χημική μεταβολή, υποστήριζαν ότι το υδατικό διάλυμα οινόπνευματος είναι αναφλέξιμο.

Οι φοιτήτριες προέβαλαν διάφορες δικαιολογίες για να εξηγήσουν τη μείωση του όγκου που παρατηρήθηκε. Οι απαντήσεις τους έδειχναν ότι προσπαθούσαν να δικαιολογήσουν τις αρχικές τους απόψεις, αφού απέδιδαν τη μείωση του όγκου στις σταγόνες του υγρού που παρέμειναν στον άλλο σωλήνα (5), στην εξαέρωση των υγρών (6) ή δεν έδιναν καμιά εξήγηση (9). Η μείωση του όγκου ήταν γεγονός ασύμφωνο με τις αντιλήψεις των φοιτητριών και οδήγησε μερικές από αυτές στο συμπέρασμα ότι και η μάζα νερού-οινόπνευματος έπρεπε να είναι μικρότερη από το άθροισμα των μαζών των δύο υγρών (5). Επέμεναν μάλιστα ότι και στα προηγούμενα διαλύματα (άλατος και ζάχαρης) δεν έπρεπε να έχουμε διατήρηση της μάζας.

Οι Piaget και Inhelder (1974) διαπίστωσαν ότι

η διατήρηση της μάζας κατά το μετασχηματισμό εύπλαστου υλικού ή κατά τη διάλυση στερεού σε υγρό σχετίζεται με την κατανόηση του αντιστρέψιμου χαρακτήρα των μετασχηματισμών που πραγματοποιούνται. Ο αντιστρέψιμος χαρακτήρας της μεταβολής κατά τη διάλυση δεν είναι όμως εύκολα κατανοητός και επομένως η διατήρηση της μάζας κατά τη διάλυση εμφανίζει μεγαλύτερες δυσκολίες. Η εφαρμογή της αρχής διατήρησης της μάζας είναι ακόμα δυσκολότερη στην περίπτωση των χημικών μετασχηματισμών της ύλης (Hesse & Anderson, 1992). Σε όσες περιπτώσεις το αντιστρέψιμο μιας μεταβολής δεν είναι τόσο εμφανές, η αρχή της διατήρησης της μάζας πρέπει να εξηγείται με τις αόρατες μικροσκοπικές μεταβολές που συνοδεύουν τα φαινόμενα αυτά και τη διατήρηση και το αδιαίρετο των ατόμων.

Αρκετές φοιτήτριες (8) θεωρούσαν επίσης ότι τα μόρια του νερού είναι μεγαλύτερα από τα μόρια του οινόπνευματος και όλες υποστήριζαν ότι τα μόρια των υγρών κινούνται ταλαντευόμενα γύρω από τη θέση τους. Οι χημικοί τύποι του νερού (H_2O) και του οινόπνευματος (C_2H_5OH) που δόθηκαν στη συνέχεια δε βοήθησαν τις φοιτήτριες να αναγνωρίσουν ότι το μέγεθος των μορίων του οινόπνευματος είναι μεγαλύτερο. Αυτό έγινε κατορθωτό μόνο ύστερα από συζήτηση και υπόδειξη του ερευνητή. Ακόμα και όσες υποστήριζαν ότι τα αόρατα και μικροσκοπικά σωματίδια των στερεών δεν κινούνται, επέμεναν ότι τα μόρια των υγρών βρίσκονται σε συνεχή κίνηση, χωρίς όμως να υπάρχει κενός χώρος μεταξύ τους. Με βάση αυτές τις απόψεις, η συνεχής κίνηση των μορίων των υγρών δημιουργεί την ανάγκη να τοποθετούνται τα υγρά σε δοχεία για να αποφεύγεται η ροή και ο διασκορπισμός τους. Η κίνηση των μορίων των υγρών φαίνεται ότι σχετιζόταν με τη ρευστότητα των υγρών και δεν αποτελούσε ένδειξη για την κατανόηση της μικροσκοπικής δομής των υγρών και της κινητικής θεωρίας της ύλης, όπως προκύπτει από το διάλογο του ερευνητή (EP) με μία άλλη φοιτήτρια (Φ3) που υποστήριζε ότι μεταξύ των μορίων του υγρού δεν υπάρχει κενός χώρος.

ΕΡ. Αν υποθέσουμε ότι έχουμε μία σταγόνα νερό και εσύ διαθέτεις μεγεθυντικά (μαγικά) γυαλιά με τα οποία μπορείς να βλέπεις τη σταγόνα πολύ μεγαλύτερη. Πώς φαντάζεσαι ότι θα φαινόταν η σταγόνα; Φ3. Θα μπορούσα να βλέπω και στο εσωτερικό της; ΕΡ. Ναι, να υποθέσεις ότι η σταγόνα φαίνεται πολύ μεγάλη και μπορείς να βλέπεις και στο εσωτερικό της. Φ3. Η σταγόνα αποτελείται από πάρα πολλά μόρια που όμως δε φαίνονται. ΕΡ. Σωστά, αλλά εσύ να υποθέσεις ότι μεγαλώνουν τόσο, ώστε να διακρίνονται τα μόρια. Μπορείς αν θέλεις να μου σχεδιάσεις αυτά που θα έβλεπες. Φ3. (Σχεδιάζει σε ένα κομμάτι χαρτί πολλές τελείες σε επαφή μεταξύ τους.) ΕΡ. Γιατί τα σχηματίζεις έτσι; Τι δείχνουν οι τελείες; Φ3. Οι τελείες δείχνουν τα μόρια, που όλα μαζί σχηματίζουν τη σταγόνα. ΕΡ. Τα μόρια κινούνται ή είναι ακίνητα; Φ3. Αν είναι στερεό δεν κινούνται, ενώ αν είναι υγρό κινούνται. ΕΡ. Τι εννοείς; Φ3. Μπορώ, ... ας πούμε, να βάλω μία κουταλιά ζάχαρη πάνω στο τραπέζι. Αν όμως βάλω μία κουταλιά νερό, θα απλωθεί ... θα σκορπίσει ... διότι τα μόριά του κινούνται ... δε μένουν εκεί όπως του στερεού. ΕΡ. Αφού λες ότι κινούνται, δεν έπρεπε να υπάρχει χώρος μεταξύ τους; Πώς κινούνται αυτά που είναι στο εσωτερικό; Φ3. Το ότι κινούνται δε σημαίνει ότι πρέπει να έχουν και χώρο μεταξύ τους. ΕΡ. Ναι, αλλά αν δεν έχουν χώρο, πώς κινούνται; Φ3. Είναι μία κίνηση όπως την ταλάντωση, ... το ένα ακουμπά με το άλλο και μπορεί ... να γίνει μία κίνηση. (Η φοιτήτρια είχε κάμει το ίδιο σχήμα και για ένα κόκκο ζάχαρης, αλλά σε εκείνη την περίπτωση επέμενε ότι τα μόρια δεν κινούνται.) ... ΕΡ. Υπάρχει όμως κάτι που δεν κατάλαβα. Πριν μου είπες ότι τα μόρια της ζάχαρης δεν απλώνουν μένουν εκεί. Γιατί λοιπόν δε γίνεται το ίδιο και στις δύο περιπτώσεις; Φ3. Οι δεσμοί μεταξύ τους (των μορίων) είναι πιο χαλαροί στα υγρά και ... αφήνονται τα μόρια των υγρών (εννοούσε ότι δε συγκρατούνται μεταξύ τους), όταν δεν είναι μέσα σε δοχεία. ΕΡ. Αν είναι μέσα σε δοχεία, δεν κινούνται; Φ3. Μπορούν να κινούνται, αλλά εμποδίζονται από τα τοιχώματα των δοχείων.

Θέρμανση υδατικών διαλυμάτων και ιδιότητες των ατμών

Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται ομαδοποιη-

μένες οι κυριότερες απόψεις των φοιτητριών για τα αποτελέσματα της θέρμανσης των υδατικών διαλυμάτων που χρησιμοποιήθηκαν.

Οι μισές φοιτήτριες πίστευαν ότι σε μία ορισμένη θερμοκρασία, την οποία όμως δεν ήταν σε θέση να προσδιορίσουν, θα άρχιζε η εξαέρωση του υγρού. Αρκετές (8) φοιτήτριες δεν αποδέχονταν τη θερμική διαστολή των υγρών και άλλες υποστήριζαν ότι τα υγρά διαστέλλονται με τη θέρμανσή τους (10) ή ότι μόνο μερικά υγρά (π.χ., ο υδράργυρος) διαστέλλονται (2). Λίγες όμως φοιτήτριες (5) μπορούσαν να εξηγούν τη θερμική διαστολή των υγρών ως αποτέλεσμα της εντονότερης κίνησης των μορίων που είχε σχέση με την αύξηση της θερμοκρασίας. Μόνο οι φοιτήτριες αυτές αναγνώριζαν ότι η αύξηση της θερμοκρασίας είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της κινητικής ενέργειας των μορίων, αλλά καμία φοιτήτρια δεν αντιλαμβανόταν τη θερμοκρασία ως μέτρο (ένδειξη) ή επακόλουθο της μέσης κινητικής ενέργειας των μορίων του υγρού. Υπήρχαν μάλιστα φοιτήτριες (5) που απέδιδαν τη διαστολή του υγρού σε διαστολή των ίδιων των μορίων του. Αρκετές έρευνες με μαθητές (Garnett, Garnett, & Hackling, 1995) αλλά και έρευνες με υποψήφιους εκπαιδευτικούς (Gabel et al., 1987) έδειξαν ότι οι συμμετέχοντες σε αυτές απέδιδαν τη διαστολή των υλικών σε διαστολή των δομικών τους συστατικών και γενικότερα απέδιδαν στα μόρια μακροσκοπικές ιδιότητες της ύλης (Kokkotas et al., 1998).

Οι φοιτήτριες δεν ήταν, επίσης, σε θέση να διαχωρίζουν το βρασμό από την εξάτμιση και αδυνατούσαν να περιγράψουν τις ενεργειακές μετατροπές που σχετίζονται με την εξαέρωση (εξάτμιση ή βρασμό). Ενώ όλες αποδέχονταν ότι σε μία ορισμένη θερμοκρασία θα άρχιζε η μετατροπή του υγρού σε ατμό, πίστευαν ότι η θερμοκρασία θα συνέχιζε να αυξάνεται, εκτός αν διακόπταμε τη θέρμανση. Δεν αναγνώριζαν, επομένως, την ύπαρξη ενός συγκεκριμένου σταθερού σημείου βρασμού που αποτελεί χαρακτηριστική φυσική ιδιότητα του κάθε υγρού και ότι η σταθερή αυτή θερμοκρασία σχετίζεται με την πτητικότητα των υγρών. Και όταν ακόμα τους δόθηκε η

Πίνακας 3

Συχνότητες των αντιλήψεων των φοιτητριών για τη θέρμανση των υδατικών διαλυμάτων (N=20)

Αντιλήψεις	Συχνότητες
Αποτελέσματα θέρμανσης	
Τα υγρά διαστέλλονται	10
Διαστέλλονται τα μόρια	5
Τα μόρια δε διαστέλλονται	5
Μερικά υγρά διαστέλλονται	2
Τα υγρά δε διαστέλλονται	8
Εξαέρωση υγρού	
Φυσική μεταβολή	5
Χημική μεταβολή	13
Το νερό γίνεται αέρας	6
Σχηματίζονται αέρια οξυγόνου και υδρογόνου	7
Δεν ξέρω	2
Εξαέρωση διαλυμάτων	
Το στερεό μένει στον πυθμένα	
Άλας	16
Ζάχαρη	12
Μερική 'εξαέρωση' του στερεού	
Άλας	2
Ζάχαρη	3
Ολική 'εξαέρωση' του στερεού	
Άλας	2
Ζάχαρη	5
Η έννοια της κλασματικής απόσταξης άγνωστη	20
Δε διαχώριζαν το βρασμό από την εξαέρωση	20

πληροφορία ότι το σημείο βρασμού αποτελεί χαρακτηριστική θερμοκρασία του υγρού που διατηρείται αμετάβλητη κατά τη διάρκεια του βρασμού επέμεναν ότι "... αυτό είναι αδύνατο, αφού η θερμοκρασία θα συνεχίζει να αυξάνεται για όσο χρόνο συνεχίζεται η θέρμανση." Αγνοούσαν, επίσης, την έννοια της κλασματικής απόσταξης και δεν ήταν σε θέση να αντιληφθούν ότι ήταν δυνατό τα υγρά ενός διαλύματος να διαχωριστούν με βάση το διαφορετικό σημείο βρασμού τους. Και όταν ακόμα τους δόθηκαν τα σημεία βρασμού του νερού και του οιοπνεύματος (100 °C, 80 °C), μόνο δύο φοιτήτριες έδωσαν ικανοποιητικές εξηγήσεις για τον τρόπο (μερικού) διαχωρισμού των υγρών με κλασματική

απόσταξη. Οι φοιτήτριες αυτές επεχείρησαν μάλιστα να δώσουν εξήγηση στο φαινόμενο με το χαρτονόμισμα που παρέμεινε άθικτο παρά τις φλόγες που το περιέβαλαν. Διαφοροποίησαν μάλιστα τις προηγούμενες απόψεις τους και έκαναν αναφορά στην ανάμιξη νερού και οιοπνεύματος, που ορθά θεωρήθηκε ως φυσική μεταβολή, στο χαμηλότερο σημείο βρασμού και τη μεγαλύτερη πτητικότητα του οιοπνεύματος σε σχέση με το νερό και το εύφλεκτο των ατμών του οιοπνεύματος. Επέμεναν, μάλιστα, να διαφοροποιήσουν και τις απαντήσεις που έδωσαν για τη διάλυση στερεού (άλατος ή ζάχαρης) αναγνωρίζοντας ότι η πειραματική επίδειξη με το χαρτονόμισμα τις βοήθησε να κατανοήσουν

καλύτερα το φαινόμενο της διάλυσης και τις διαφορές των φυσικών και χημικών μετασχηματισμών της ύλης.

Για την επίδραση της θέρμανσης στη διαλυμένη ουσία (άλας ή ζάχαρη), οι περισσότερες φοιτήτριες υποστήριζαν ότι, μετά την εξαέρωση του υγρού, το στερεό θα παρέμενε στον πυθμένα του δοχείου (16 και 12). Άλλες όμως φοιτήτριες επέμεναν ότι οι ατμοί του νερού θα περιείχαν και μερικούς ατμούς στερεού (2 και 3) με αποτέλεσμα η ποσότητα του στερεού στον πυθμένα του δοχείου να είναι λιγότερη ή ότι ολόκληρη η ποσότητα του στερεού θα μετατρεπόταν σε ατμούς (2 και 5). Μερικές φοιτήτριες (5) αναγνώριζαν ότι η εξαέρωση ενός υγρού μεταβάλλει μόνο τη φυσική του κατάσταση χωρίς όμως να μεταβάλλεται η μάζα του ή η φύση και η δομή της ύλης που το αποτελεί. Αναγνώριζαν, επομένως, ότι ο ατμός θα περιείχε τα ίδια μόρια που υπήρχαν στο υγρό περιεχόμενο του δοχείου και ότι με τη θέρμανση τα μόρια τροποποιούν την κίνησή τους και τον τρόπο διάταξής τους στο χώρο, χωρίς όμως να διαφοροποιείται η δομή τους και η ταυτότητα του υλικού.

Οι υπόλοιπες φοιτήτριες (15) υποστήριζαν ότι τα μόρια του ατμού θα ήταν διαφορετικά από τα μόρια του υγρού ή τα μόρια που υπήρχαν στο διάλυμα. Μερικές φοιτήτριες (2) δεν έδωσαν καμία εξήγηση για τη διαφοροποίηση των μορίων, ενώ άλλες (6) υποστήριξαν ότι κατά την εξαέρωση το υγρό γίνεται αέρας. Οι φοιτήτριες αυτές θεώρησαν τις έννοιες του αέρα και των ατμών ως ταυτόσημες, ενώ θεωρούσαν ότι στον αέρα υπάρχει ένα μόνο είδος μορίων. Δεν ήταν, επομένως, σε θέση να αναγνωρίζουν τον αέρα ως μίγμα διαφορετικών αερίων (ατμών). Θεωρούσαν μάλιστα δυνατή και τη μετατροπή του αέρα σε νερό υποστηρίζοντας ότι και "... η βροχή προέρχεται από τον αέρα ή την ατμόσφαιρα". Οι φοιτήτριες αυτές είχαν επομένως λανθασμένες αντιλήψεις για τον "κύκλο του νερού" και την έννοια "της υγρασίας" που εισάγονται σε μικρές τάξεις του δημοτικού σχολείου.

Άλλες φοιτήτριες (7) υποστήριξαν ότι κατά την εξαέρωση τα μόρια του νερού μετασχηματί-

ζονται χημικά σε μόρια αερίων υδρογόνου και οξυγόνου, όπως πολύ χαρακτηριστικά υποστήριξε μία φοιτήτρια (Φ4) απαντώντας σε ερωτήσεις (ΕΡ).

ΕΡ. Τα μόρια του νερού και τα μόρια του ατμού που παράγεται είναι τα ίδια ή είναι διαφορετικά; Φ4. Το νερό είναι υγρό και αποτελείται από υδρογόνο και οξυγόνο (σημειώνει το χημικό τύπο του νερού- H_2O). Με τη θέρμανση το νερό σταματά να είναι υγρό ... εξατμίζεται και γίνεται ... αέρια. Παίρνουμε τα συστατικά του που είναι υδρογόνο και οξυγόνο. ΕΡ. Δηλαδή όταν θερμαίνουμε το νερό παίρνουμε άλλα υλικά; Φ4. Παίρνουμε αέρια που είναι του νερού ... και... όταν ψυχθούν ενώνονται ξανά ... σε νερό.

Οι Garnett et al. (1987) ανασκοπώντας τη βιβλιογραφία κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι συχνά οι μαθητές υποστηρίζουν, επίσης, ότι το νερό κατά το βρασμό γίνεται αέρας ή μετασχηματίζεται σε μίγμα αερίων υδρογόνου και οξυγόνου, ενώ παρόμοιες αντιλήψεις εντοπίστηκαν και ανάμεσα σε Έλληνες μαθητές ηλικίας 14-15 ετών (Hatzinikita & Koulaidis, 1997) ή εκπαιδευτικούς (Kruger & Summers, 1989).

Οι περισσότερες φοιτήτριες θεωρούσαν ότι η θέρμανση του υγρού προκαλεί αύξηση της ταχύτητας των μορίων και των μεταξύ τους αποστάσεων, ενώ άλλες (7) υποστήριζαν ότι το μέγεθος των μορίων είναι ανάλογο με τη θερμοκρασία, αφού η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί αύξηση των διαστάσεων των ίδιων των μορίων (θερμική διαστολή των μορίων). Μερικές μάλιστα φοιτήτριες (5) υποστήριξαν ότι τα μόρια των ατμών έπρεπε να είναι μεγαλύτερα από τα μόρια του αντίστοιχου υγρού, "αφού συνεχίζεται η θέρμανση και όπως είναι γνωστό τα σώματα διαστέλλονται όταν θερμαίνονται." Δύο από αυτές θεωρούσαν ότι τα μόρια του ατμού θα ήταν ελαφρότερα από τα μόρια του υγρού παρά το μεγαλύτερο μέγεθός τους. Οι φοιτήτριες αυτές υποστήριζαν ότι "... τα αέρια είναι πάντοτε ελαφρότερα από τα υγρά και τα στερεά" και δε φάνηκε να προβληματίζονται για το γεγονός ότι τα μόρια του ατμού, με βάση τις αντιλήψεις τους, έπρεπε να είναι ταυτόχρονα και μεγαλύτερα (λόγω διαστολής) αλλά και ελαφρότερα (μείωση της μάζας τους).

Όλες οι φοιτήτριες αναγνώριζαν ότι στα αέρια (ή τους ατμούς) τα μόρια απέχουν μεταξύ τους και ότι βρίσκονται σε αδιάκοπη κίνηση με αποτέλεσμα να συγκρούονται μεταξύ τους και με τα τοιχώματα των δοχείων που τα περιέχουν. Οι αντιλήψεις αυτές αποτελούν ισχυρές ενδείξεις ότι οι φοιτήτριες αναγνώριζαν ότι μεταξύ των μορίων, τουλάχιστον στα αέρια, υπάρχει κενός χώρος. Όταν τους ζητήθηκε να περιγράψουν την κίνηση των μορίων υποστήριξαν ότι η κίνηση μοιάζει περίπου με την κίνηση Brown. Τα μόρια κινούνται άτακτα και ακανόνιστα προς όλες τις διευθύνσεις, αλλά έχουν ταυτόχρονα την τάση να κινούνται προς τα πάνω, αφού τα αέρια και οι ατμοί είναι ελαφρότερα. Αρκετές όμως φοιτήτριες (14) δε θεωρούσαν τις συγκρούσεις μεταξύ των μορίων ή με τα τοιχώματα των δοχείων απαραίτητες για την αλλαγή της διεύθυνσης της κίνησης των μορίων. Οι φοιτήτριες αυτές απέδιδαν στα μόρια ανθρωπομορφικές ιδιότητες και θεωρούσαν ότι τα μόρια διαθέτουν "βούληση" ανάλογη με τα ανθρώπινα όντα. Άλλοι ερευνητές (Griffiths & Preston, 1992. Osborne & Freyberg, 1985) διαπίστωσαν ότι συχνά μικροί ή μεγαλύτεροι μαθητές αποδίδουν σε άψυχα αντικείμενα ιδιότητες ανθρώπων ή ζώων και ότι αυτό επεκτείνεται και για την εξήγηση φυσικών φαινομένων. Στο απόσπασμα, που ακολουθεί, φαίνονται οι απόψεις μιας φοιτήτριας (Φ5) για την κίνηση των μορίων των αερίων.

ΕΡ. Πώς κινούνται όμως τα μόρια των ατμών;
Φ5. Κινούνται προς τα πάνω. ΕΡ. Ωστε όλα κινούνται προς τα πάνω. Φ5. Ναι ... όχι νομίζω ότι αλλάζουν συχνά τη διεύθυνση της κίνησής τους ... δεν κινούνται πάντα στην ίδια διεύθυνση ... Τελικά όμως κινούνται προς τα πάνω, διότι είναι ελαφριά. ΕΡ. Πώς όμως αλλάζουν τη διεύθυνση της κίνησής τους, πώς νομίζεις που γίνεται αυτό; Φ5. Αυτός είναι ο τρόπος που κινούνται με βάση τη φύση τους. ΕΡ. Μήπως αλλάζουν διεύθυνση, ας πούμε, μόνο όταν γίνονται συγκρούσεις μεταξύ τους; Φ5. Δε νομίζω ότι αυτό είναι απαραίτητο. Μάθαμε στη φυσική ότι τα μόρια κινούνται άτακτα και ακανόνιστα προς όλες τις δι-

ευθύνσεις και ... από μόνα τους αλλάζουν συχνά τη διεύθυνση της κίνησής τους (Η φοιτήτρια σχεδιάζει κίνηση παρόμοια με την κίνηση Brown, όπως εμφανίζεται σε αρκετά σχολικά βιβλία).

Έρευνες με μαθητές (Garnett et al., 1995) ή με εκπαιδευτικούς της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης (Kruger & Summers, 1989) αποκάλυψαν πολλές παρόμοιες αντιλήψεις. Οι συμμετέχοντες στην παρούσα έρευνα δεν είχαν φυσικά ολοκληρώσει την προϋπηρεσιακή τους εκπαίδευση και υπήρχε θεωρητικά η δυνατότητα και η πρόθεση για διδακτική αντιμετώπιση των εναλλακτικών αντιλήψεών τους.

Συζήτηση

Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι η πλειοψηφία των φοιτητριών δεν κατανοούσε τις μακροσκοπικές αλλαγές που πραγματοποιούνται κατά τη διαδικασία της διάλυσης ούτε τα αποτελέσματα της διήθησης ή της θέρμανσης των αντίστοιχων διαλυμάτων. Είχαν επίσης περιορισμένη κατανόηση της μικροσκοπικής δομής της ύλης και δεν ήταν σε θέση να συσχετίζουν τις παρατηρήσιμες μακροσκοπικές μεταβολές (π.χ., τη μείωση του όγκου κατά την ανάμιξη νερού και οιοπνεύματος) με τα αόρατα μικροσκοπικά φαινόμενα που τα συνοδεύουν. Αρκετές φοιτήτριες χρησιμοποιούσαν σε πολλές περιπτώσεις επιστημονική ορολογία χωρίς ικανοποιητική κατανόηση των γλωσσικών εκφράσεων που χρησιμοποιούσαν, παρέμεναν προσκολλημένες στις παρατηρήσιμες μεταβολές της ύλης και έτειναν να αποδίδουν στα μόρια μακροσκοπικές ιδιότητες, αφού νόμιζαν ότι και τα μόρια υφίστανται τις παρατηρήσιμες μεταβολές της ύλης (Anderson, 1990. Griffiths & Preston, 1992. Lee et al., 1993). Θεωρούσαν, επομένως, ότι τα μόρια διαστέλλονται, συστέλλονται, τήκονται, θερμαίνονται ή ψύχονται. Δεν ήταν, επίσης, σε θέση να διαχωρίζουν τους χημικούς από τους φυσικούς μετασχηματισμούς της ύλης και να αντιλαμβάνονται ότι οι περισσότερες ιδιότητες

των υλικών σωμάτων και οι μετασχηματισμοί τους, που σχετίζονται πάντοτε με ενεργειακές μεταβολές, και εξηγούνται με τη διαφοροποίηση της κίνησης και του τρόπου διάταξης των μορίων στο χώρο (φυσικοί μετασχηματισμοί) ή/και τη ριζική αναδόμηση των αρχικών μορίων (χημικοί μετασχηματισμοί).

Το εύρος και η ποικιλία των εναλλακτικών αντιλήψεων που εντοπίστηκαν έδειξε η φύση και η μικροσκοπική δομή της ύλης δεν προσεγγίζονται με ικανοποιητικό τρόπο κατά τη διάρκεια της πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Οι διαπιστώσεις της έρευνας δε συμφωνούν, επίσης, με την άποψη του Piaget για την καθολικότητα της γνωστικής ανάπτυξης και των αντίστοιχων με αυτή εννοιών. Ο Piaget (1971, 1974), για παράδειγμα, ισχυρίστηκε ότι οι αντιλήψεις για την ατομική-μοριακή σύνθεση της ύλης είναι φυσικό επακόλουθο της φυσικής γνωστικής ανάπτυξης των ατόμων. Επομένως, τα παιδιά οικοδομούν την αντίληψη για την ατομική-μοριακή σύσταση της ύλης ως αποτέλεσμα των καθημερινών ενασχολήσεών τους με τα υλικά και τα αντικείμενα του φυσικού κόσμου. Αντίθετα, το εύρος και η φύση των αντιλήψεων που έχουν καταγραφεί φαίνεται να υποστηρίζει ότι η κατανόηση της μικροσκοπικής δομής της ύλης δεν είναι καθολική και προκύπτει κυρίως ως αποτέλεσμα της διδασκαλίας (Novick, & Nussbaum, 1978, 1981. Slone, & Bokhurst, 1992).

Υπάρχει όγκος ερευνητικών μαρτυριών που βεβαιώνει ότι οι αντιλήψεις των μαθητών διαφέρουν ριζικά από τις αποδεκτές επιστημονικές έννοιες και οι οποίες επιβιώνουν παρά τις συστηματικές διδακτικές προσπάθειες. Η πραγματικότητα αυτή σηματοδοτεί την ανάγκη για την ανάληψη οργανωμένης και συστηματικής προσπάθειας για το σχεδιασμό νέων αναλυτικών προγραμμάτων και την αναζήτηση αποδοτικότερων διδακτικών στρατηγικών. Η εκπαιδευτική όμως πραγματικότητα δε φαίνεται να δίνει ιδιαίτερη βαρύτητα στις προϋπάρχουσες αντιλήψεις των ατόμων με αποτέλεσμα αυτές να αναδεικνύονται σε σημαντικά γνωστικά εμπόδια κατά τη μαθησιακή διαδικασία.

Οι αντιλήψεις που κατέγραψε η παρούσα έρευνα αναδεικνύουν εκπαιδευτικά ελλείμματα που πιθανόν να υπάρχουν στην πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια εκπαίδευση και υποδεικνύουν ότι για την οικοδόμηση ορθών επιστημονικών εννοιών για τα φαινόμενα που εξετάστηκαν είναι απαραίτητο να επεκταθεί το διδακτικό ενδιαφέρον και σε άλλες πτυχές των φαινομένων, όπως η κίνηση και η αλληλεπίδραση των συστατικών της ύλης στο μοριακό επίπεδο, η αλληλεπίδραση και η σχέση διαλύτη-διαλυμένης ουσίας καθώς και η σημασία άλλων παραγόντων που απλά επιδρούν στην ταχύτητα του φαινομένου της διάλυσης, όπως η ανάδευση, η μεταβολή της θερμοκρασίας και η μορφή της διαλυμένης ουσίας. Η μελέτη των φαινομένων αυτών είναι χρήσιμο να συνδέει με ορθό τρόπο τις παρατηρήσιμες μεταβολές με τα αθέατα μικροσκοπικά φαινόμενα αλλά και με τις ενεργειακές μεταβολές που είναι απαραίτητες, ώστε να αντιμετωπίζεται με ικανοποιητικό τρόπο η σύνδεση των τριών καταστάσεων της ύλης και η διαφοροποίηση της συμπεριφοράς των δομικών τους συστατικών χωρίς διαφοροποίηση της ταυτότητάς τους.

Τα άτομα της έρευνας αυτής δεν ήταν φυσικά μαθητές αλλά φοιτήτριες παιδαγωγικού τμήματος, υποψήφιες εκπαιδευτικοί της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης. Διαπιστώθηκε όμως ότι, σε αρκετές περιπτώσεις, οι αντιλήψεις τους δε διαφέρουν από τις αντιλήψεις των μαθητών τους οποίους πρόκειται να διδάξουν και υποδηλώνει τον κίνδυνο διάχυσης λανθασμένων αντιλήψεων σε αρκετές γενιές μαθητών τους. Η καταγραφή των αντιλήψεων των εκπαιδευτικών ή υποψήφιων εκπαιδευτικών δεν πρέπει να αποτελεί αυτοσκοπό αλλά το αρχικό διαγνωστικό στάδιο για την επίλυση του συγκεκριμένου προβλήματος με απώτερο στόχο την αξιοποίηση των πληροφοριών αυτών για το σχεδιασμό και την εφαρμογή διδακτικών προσεγγίσεων βασισμένων στη θεωρία οικοδόμησης της γνώσης και τις εναλλακτικές αντιλήψεις των διδασκομένων.

Οι προσπάθειες αυτές μπορούν να συμβάλουν ουσιαστικά και σε γρήγορη κατάληξη των έντονων θεωρητικών προβληματισμών που σχε-

τίζονται με τις εναλλακτικές αντιλήψεις των "αρχαρίων" στις φυσικές επιστήμες. Για παράδειγμα, μία σημαντική διαφωνία στο χώρο της γνωστικής ψυχολογίας και της διδακτικής των φυσικών επιστημών είναι κατά πόσον οι αντιλήψεις των "αρχαρίων" οργανώνονται σε δομές που έχουν εσωτερική συνοχή υπό μορφή ατελών "θεωριών" ή "νοητικών μοντέλων" (Carey, 1985, 1986. McCloskey, 1983. Vosniadou, 1994) ή αντίθετα παραμένουν ασύνδετες και αποσπασματικές (diSessa, 1983, 1993). Σύμφωνα μάλιστα με την Carey (1986), οι "θεωρίες" των "αρχαρίων" δεν πρέπει να εξετάζονται υπό το πρίσμα της αποδεκτής επιστημονικής θεωρίας αλλά πρέπει να εξετάζονται και να κρίνονται στο πλαίσίό τους ως αυθύπαρκτες οντότητες.

Με βάση την κινητική θεωρία της ύλης, η κατάσταση ενός υλικού (στερεή, υγρή ή αέρια) καθορίζεται από τις επικρατούσες συνθήκες θερμοκρασίας ή/και πίεσης. Ανεξάρτητα όμως από την κατάσταση της ύλης, οι δομικοί της λίθοι (τα μόρια) βρίσκονται σε διαρκή κίνηση και μεταξύ τους υπάρχει πάντοτε κενός χώρος. Κάθε διαφοροποίηση των συνθηκών πίεσης και θερμοκρασίας επηρεάζει την κινητικότητα των μορίων και διαφοροποιεί τις ενδομοριακές αποστάσεις και δυνάμεις, ενώ σε οριακές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας έχουμε αλλαγή της κατάστασης του υλικού (τήξη/πτήξη ή βρασμός/υγροποίηση) χωρίς όμως να μεταβάλλεται η δομή των μορίων.

Υπό το πρίσμα της αποδεκτής επιστημονικής άποψης, οι αναπαραστάσεις των φοιτητριών για τις τρεις καταστάσεις της ύλης ήταν όχι μόνο ελλιπείς αλλά και ασύνδετες με αποτέλεσμα να αντιμετωπίζουν με διαφορετικό τρόπο τα στερεά, τα υγρά και τα αέρια. Υπήρχαν όμως ισχυρές ενδείξεις ότι οι χωριστές και ασύνδετες αναπαραστάσεις τους για κάθε μία από τις τρεις καταστάσεις της ύλης είχαν εσωτερική συνοχή και χρησιμοποιούνταν με συνέπεια για την ερμηνεία παρόμοιων φαινομένων. Για παράδειγμα, με βάση την επικρατούσα αναπαράσταση των φοιτητριών, τα στερεά αποτελούνται από μόρια που είναι ακίνητα και δεν αφήνουν κενό χώρο μεταξύ τους. Η αναπαράσταση μάλιστα αυτή δεν εφαρ-

μόζεται μόνο στη στερεή κατάσταση αλλά επεκτείνεται και στις περιπτώσεις που ένα στερεό 'διαλύεται' σε ένα υγρό με αποτέλεσμα τα μόρια του στερεού να διατηρούν την ακινησία τους και στα υγρά διαλύματά τους. Σε όσες μάλιστα περιπτώσεις θεωρήθηκε ότι το στερεό 'διαλυόμενο' μετατρέπεται σε υγρό ή το υγρό εξαιρεωνόταν, αρκετές φοιτήτριες θεωρούσαν ότι επέρχεται διαφοροποίηση της ύλης, αφού η στερεή, η υγρή και η αέρια κατάσταση της ύλης αποτελούνταν, κατά την επικρατούσα άποψη, από διαφορετική 'ύλη'. Οι αναπαραστάσεις επίσης της πλειοψηφίας των φοιτητριών για τα υγρά θεωρούσαν ότι τα μόρια των υγρών κινούνται χωρίς όμως να υπάρχει κενός χώρος μεταξύ τους, ενώ η ύπαρξη κενού χώρου μεταξύ των μορίων ήταν κυρίως αποδεκτή μόνο για τα αέρια.

Οι φοιτήτριες φαίνεται ότι αντιμετώπιζαν τις ιδιότητες και τη συμπεριφορά των στερεών, των υγρών και των αερίων με εντελώς διαφορετικό τρόπο και δεν ήταν δυνατό να αντιληφθούν ότι η ύλη και τα δομικά της συστατικά μπορούν να παραμένουν αναλλοίωτα κατά τις οριακές περιπτώσεις που οι συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας οδηγούν σε αλλαγές της κατάστασης των υλικών σωμάτων, ή κατά τη διάλυση στερεού σε υγρό, με αποτέλεσμα να θεωρούν τις μεταβολές αυτές χημικούς μετασχηματισμούς της ύλης ή να ερμηνεύουν διάφορα φαινόμενα (π.χ., διαστολή) αποδίδοντας μακροσκοπικές ιδιότητες στα μόρια.

Το περιορισμένο δείγμα της παρούσας έρευνας, η απουσία διαχρονικών ή και συγχρονικών δεδομένων με άτομα μικρότερων ηλικιών δεν επιτρέπει καταληκτικές ερμηνείες για το είδος και τη φύση των αναπαραστάσεων των φοιτητριών ή των οντολογικών και επιστημολογικών πεποιθήσεων που τις συνοδεύουν, και είναι δύσκολος ο εντοπισμός των αρχικών ή/και των συνθετικών μοντέλων που οικοδομούνται κατά τη διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής (Vosniadou, 1994). Οι ενδείξεις της έρευνας αυτής σηματοδοτούν την ανάγκη επέκτασης της ερευνητικής προσπάθειας για τον εντοπισμό και την καταγραφή των εναλλακτικών αντιλήψεων ατόμων διάφορων ηλικιών με σχεδιασμούς που

θα επιτρέπουν τη σε βάθος ανάλυσή τους. Οι προσπάθειες αυτές μπορούν να συμβάλουν ουσιαστικά στον προβληματισμό για τη φύση των αναπαραστάσεων του φυσικού κόσμου διαφορετικών ηλικιακών ομάδων και του τρόπου αντιμετώπισής τους ως γνωστικών εμποδίων.

Βιβλιογραφία

- Anderson, B. (1984). *Chemical reactions*. Report ELEVPERSPECTIV, Nr. 12, Göteborg: University of Göteborg, Department of Education, Sweden.
- Anderson, B. (1986). Pupils' explanations of some aspects of chemical reactions. *Science Education*, 70, 549-563.
- Anderson, B. (1990). Pupils' conceptions of matter and its transformations (age 12-16). *Studies in Science Education*, 18, 53-85.
- Anderson, B., & Renstrom, L. (1983). *How Swedish pupils, age 12-15 explain the copper pipe problem*. Unpublished manuscript, University of Göteborg, Sweden.
- Atwood, R. A., & Atwood, V. A. (1996). Prospective elementary teachers' conceptions of the causes of seasons. *Journal of Research in Science Teaching*, 33, 553-563.
- Bar, V. (1989). Children's views about the water cycle. *Science Education*, 73, 481-500.
- Bendal, S., Goldberg, F., & Galili, I. (1993). Prospective elementary teachers' prior knowledge about light. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 1169-1187.
- Blanco, A., & Prieto, T. (1997). Pupils' views on how stirring and temperature affect the dissolution of a solid in a liquid: A cross-age study (12 to 18). *International Journal of Science Education*, 19, 303-315.
- Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Carey, S. (1986). Cognitive science and science education. *American Psychologist*, 41(10), 105-225.
- DiSessa, A. A. (1983). Toward an epistemology of physics. *Cognition and Instruction*, 10(2-3), 105-225.
- DiSessa, A. A. (1993). Knowledge in pieces. In G. Forman & P. B. Pufall (Eds.), *Constructivism in the computer age* (pp. 49-70). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Doran, R. L. (1972). Misconceptions of selected science concepts held by elementary school students. *Journal of Research in Science Teaching*, 9, 127-137.
- Driver, R., Guesne, E., & Tiberghien, A. (1993). *Children's ideas in science*. Philadelphia: Open University Press.
- Duncan, I. M., & Johnstone, A. M. (1979). The mole concept. *Education in Chemistry*, 10(6), 213-214.
- Gabel, D. L., & Samuel, K. V. (1986). High School students' ability to solve molarity problems and their analog counterparts. *Journal of Research in Science Teaching*, 23, 167-176.
- Gabel, D. L., Samuel, K. V., & Hunn, D. (1987). Understanding the particulate nature of matter. *Journal of Chemical Education*, 64, 695-697.
- Garnett, P. J., Garnett, P. J., & Hackling, M. W. (1995). Students' alternative conceptions in chemistry. *Studies in Science Education*, 25, 69-95.
- Gennaro, E. D. (1981). Assessing junior high students' understanding of density and solubility. *School Science and Mathematics*, 81, 399-404.
- Goodwin, A. J. (1995). Understanding secondary school science: A perspective of the graduate scientist beginning teacher. *School Science Review*, 76(276), 100-109.
- Griffiths, A. K., & Preston, K. R. (1992). Grade-12 students' misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules. *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 611-628.
- Hackling, M. W., & Garnett, P. J. (1986). Chemical equilibrium: Learning difficulties and teaching strategies. *The Australian Science Teachers Journal*, 31(4), 8-13.

- Haidar, A. H. (1997). Prospective chemistry teachers' conceptions of the conservation of matter and related concepts. *Journal of Research in Science Teaching*, 34, 181-197.
- Hatzinikita, V., & Koulaidis, V. (1997). Pupils' ideas on conservation during changes in the state of water. *Research in Science & Technological Education*, 15, 53-70.
- Hesse, J. J., III, & Anderson, C. W. (1992). Students' conceptions of chemical change. *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 277-299.
- Kokkotas, P., Vlachos, I., & Koulaidis, V. (1998). Teaching the topic of the particulate nature of matter in prospective teachers' training courses. *International Journal of Science Education*, 20, 291-303.
- Kruger, C., & Summers, M. (1989). An investigation of some primary teachers' understanding of changes in materials. *School Science Review*, 71, 17-27.
- Lee, O., Eichinger, D. C., Anderson, C. W., Berkeheimer, G. D., & Blakeslee, T. D. (1993). Changing middle school students' conceptions of matter and molecules. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 249-270.
- Longden, K., Black, P., & Solomon, J. (1991). Children's interpretation of dissolving. *International Journal of Science Education*, 13(1), 59-68.
- McCloskey, M. (1983). Naive theories of motion. In D. Gentner & A. Stevens (Eds.), *Mental models* (pp. 299-324). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Meheut, M., Saltiel, E., & Tiberghien, A. (1985). Pupils' (11-12 years old) conceptions of combustion. *European Journal of Science Education*, 7, 83-93.
- Novick, S., & Nussbaum, J. (1978). Junior high school pupils' understanding of the particulate nature of matter: An interview study. *Science Education*, 62, 273-281.
- Novick, S., & Nussbaum, J. (1981). Pupils' understanding of the particulate nature of matter. A cross-age study. *Science Education*, 65, 187-196.
- Osborne, R. J., & Cosgrove, M. M. (1983). Children's conceptions of the changes of the state of water. *Journal of Research in Science Teaching*, 20, 825-838.
- Osborne, R. J., & Freyberg, P. (1985). *Learning in science: The implications of children's science*. London: Heineman.
- Pfundt, H. (1981). The atom: The final link in the division process or the first building block. *Chemica Didactica*, 7, 75-94.
- Piaget, J. (1971). *Structuralism*. London: Routledge & Kegan Paul.
- Piaget, J. (1974). *Understanding causality*. New York: Norton.
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1974). *The child's construction of quantity*. London: Routledge and Kegan Paul.
- Prieto, A., Blanco, A., & Rodriguez, A. (1989). The ideas of 11 to 14-year-old students about the nature of solutions. *International Journal of Science Education*, 11, 451-463.
- Skamp, K. (1992). Science discipline knowledge for primary teachers. *South Pacific Journal of Teacher Education*, 20(2), 121-136.
- Slone, M., & Bokhurst, F. D. (1992). Children's understanding of sugar solutions. *International Journal of Science Education*, 14, 221-235.
- Stavridou, H., & Solomonidou, C. (1989). Physical phenomena-chemical phenomena: Do pupils make the distinction? *International Journal of Science Education*, 11, 83-92.
- Stavy, R. (1988). Children's conception of gas. *International Journal of Science Education*, 10, 553-560.
- Stavy, R., Stachel, D. (1985). Children's ideas about solid and liquid. *European Journal of Science Education*, 7, 407-421.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modelling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4, 45-69.

Understanding various transformations of matter by prospective primary school teachers

NICOS VALANIDES

University of Cyprus

ABSTRACT

One-to-one interviews were conducted to a sample of twenty female Prospective Primary School Teachers (PPST), who were studying at the University of Cyprus. They were asked to describe the changes in macroscopic (colour, taste, volume, density) and microscopic (kind and movement of molecules) properties of substances when dissolving salt or sugar in water, when mixing water and alcohol, or when filtering or heating the respective water solutions. The flammability of alcohol and its water solution was also examined. Analysis of the transcribed interviews showed that the majority of the PPST exhibited limited conceptual understanding of the particulate nature of matter and had difficulties to relate the observable macroscopic changes to the invisible molecular events (arrangement and movement of molecules).

Key words: Alternative conceptions, Conceptual change, Construction of knowledge.

Address: Nicos Valanides, University of Cyprus, P.O. Box 20537, CY-1678, Nicosia, Cyprus. Tel.: *357-2-338881, Fax: *357-2-339064, E-mail: nichri@ucy.ac.cy