



## Η συλλογή και η μέτρηση του όγκου του διοξειδίου του άνθρακα σε υδατικό διάλυμα: Μια απόπειρα λύσης προβλήματος στο εργαστήριο

**Καμπουράκης Κ., Κώσης Κ., Τσαπαρλής Γ.**

Δευτεροβάθμια εκπαίδευση, 10 ΓΕΛ Φιλιππιάδας, ckampur@otenet.gr

ΠΤΔΕ Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, kkotsis@cc.uoi.gr

Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων – Τμήμα Χημείας, gtseper@cc.uoi.gr

Εφαρμόζεται η διδακτική μέθοδος «λύση προβλημάτων με τη βοήθεια πειραμάτων» από ομάδα φοιτητών στην περίπτωση συλλογής και μέτρησης του όγκου του διοξειδίου του άνθρακα σε ένα μπουκάλι coca-cola. Στο πλαίσιο της συνεργατικής μάθησης, μέσα από μια σειρά προτάσεων και διαλόγου με τον διδάσκοντα, η ομάδα προσπαθεί να διαμορφώσει μια πειραματική διάταξη που να δίνει λύση στο πρόβλημα. Το τελικό αποτέλεσμα, παρά τις δυσκολίες, δείχνει μια θετική στάση των φοιτητών. Επιπλέον, η αλληλεπικάλυψη θεωρίας, πειράματος και επιστημονικής μεθόδου φαίνεται να δημιουργεί μια προοπτική για μια βελτίωση των διδακτικών μεθόδων στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών.

### Εισαγωγή

Η λύση προβλημάτων που βασίζεται σε εργαστηριακή εργασία από μαθητές και φοιτητές είναι ένας τύπος εργαστηρίου που τα τελευταία χρόνια γίνεται δημοφιλής σε σχέση με τους άλλους τύπους εργαστηριακής διδασκαλίας (Johnstone & Al-Shuaili, 2001). Στη Γαλλία, μια σημαντική κίνηση για την ανανέωση των παιδαγωγικών και διδακτικών μεθόδων στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών (φ.ε.) αρχικά στα λύκεια, και στη συνέχεια στα γυμνάσια, επιχειρήθηκε το 1992 (BOEN, 1996, 1997, 1999) και έδωσε ιδιαίτερη έμφαση στη συστηματική προσφυγή στο πείραμα, όπου σε αυτήν επισημαίνονται «πορείες λύσης προβλημάτων με τη βοήθεια πειραμάτων» (Lefour & Meheut, 1996.)

Η δραστηριότητα λύσης προβλημάτων με πειράματα από σπουδαστές ορίστηκε από τους Duggan και Gott (1995) «ως ένα είδος προβλήματος για το οποίο οι σπουδαστές δεν μπορούν αμέσως να δουν την απάντηση ή να θυμηθούν τη μέθοδο που θα εφαρμόσουν για να φτάσουν στη λύση». Ο Millar (1996) διευκρίνισε τον παραπάνω ορισμό λέγοντας ότι «η λύση προβλημάτων με πειράματα είναι μια ερευνητική προσπάθεια. Η προσέγγιση που ακολουθείται για να απαντήσουμε σε μια ερώτηση ή να επιλύσουμε ένα πρόβλημα είναι 'ανοιχτή'. Οι σπουδαστές μπορούν ν' αποφασίσουν τι παρατηρούν, τι μετρούν, τι τροποποιούν, ποιον εξοπλισμό θα χρησιμοποιήσουν και πώς θα τον χειριστούν». Αυτοί οι ορισμοί, αντιστοιχούν σε υψηλά επίπεδα της ταξινόμησης διδακτικών στόχων.

Ο Wright (1996) έδωσε έμφαση στο ότι τα προβλήματα πρέπει να σχεδιάζονται ώστε να είναι εννοιολογικώς απλά, έτσι που οι μαθητές να συγκεντρώνονται στη μεθοδολογία, χωρίς να κατακλύζονται από την πολλαπλότητα και τη συνθετότητα των εννοιών, οι δε συσκευές και τα όργανα που θα χρησιμοποιήσουν να είναι όσο το δυνατόν πιο απλές. Τα προβλήματα δεν θα πρέπει να απαιτούν οι μαθητές να δομήσουν καινούργιες έννοιες, αλλά να εφαρμόσουν τις έννοιες που διδάχτηκαν σε μια συγκεκριμένη κατάσταση και να τους βοηθούν να συνειδητοποιήσουν κενά και αδύνατα σημεία από την προηγούμενη μάθησή τους (Kampourakis & Tsaparlis, 2003). Επιπλέον οι απαντήσεις από τα προβλήματα που τίθενται θα πρέπει να επιβεβαιώνουν ότι άξιζε η προσπάθεια πειραματισμού.

Ενώ αναγνωρίζεται ότι οι καταστάσεις λύσης προβλημάτων είναι πολύπλοκες και μεταβλητές και δεν αντιμετωπίζονται από μια απλή «επιστημονική μέθοδο», οι διδακτικοί δέχονται ότι υπάρχουν ορισμένα βασικά βήματα που συνιστούν τη διαδικασία λύσης προβλημάτων, όπως:

- Ν' αναγνωρίζεις το πρόβλημα που τίθεται.
- Να δομείς μια δοκιμαστική υπόθεση.
- Να σχεδιάζεις ένα πείραμα για να δοκιμάσεις την υπόθεση.
- Να εκτελείς το πείραμα και να καταγράφεις τα αποτελέσματα με κατάλληλους τρόπους.
- Να ερμηνεύεις τα αποτελέσματα και να αξιολογείς τα συμπεράσματα με αναφορά στην υπόθεση, για να δοκιμαστούν.

Αυτό το μοντέλο αναπαριστά μόνο ένα απλοποιημένο διάγραμμα της διαδικασίας. Η πραγματική κατάσταση για τη λύση προβλήματος είναι συνήθως περισσότερο πολύπλοκη, με συνδέσεις και αλληλεπιδράσεις κατά μήκος διαφορετικών φάσεων.

Ο δάσκαλος στη μάθηση που βασίζεται στη λύση προβλήματος υιοθετεί έναν ενθαρρυντικό και συμβουλευτικό ρόλο. Δίνει την ευκαιρία για συνεργασία των μαθητών σε ομάδες, τους παρέχει τα αναγκαία υλικά, παρεμβαίνει με το να υποδεικνύει αδυναμίες και κρίσιμα σημεία που πρέπει να ληφθούν υπόψη και γενικά παρωθεί τους μαθητές προς μια επιτυχή λύση του προβλήματος. Οι μαθητές απαιτείται να επινοήσουν ένα «βιώσιμο μονοπάτι» λύσης, να σκεφτούν σχετικά μ' αυτό, τι θα κάνουν, και γιατί επιλέγουν να κάνουν αυτό.

Η συνεισφορά της ομάδας στο πλαίσιο της συνεργατικής μάθησης παίζει σημαντικό ρόλο. Τα μέλη της ομάδας ανταλλάσσουν απόψεις και θέτουν σε κρίση ιδέες και προτάσεις για την εύρεση λύσης. Εάν η φάση αυτή καταλήξει σε μια θετική συγκατάθεση του διδάσκοντα, η ομάδα συνεχίζει με την εκτέλεση του πειράματος το οποίο θα οδηγήσει σε μια λύση.

Το πλαίσιο στο οποίο εκτυλίσσεται όλη η διαδικασία διεκδικεί την ένταξή του στον κοινωνικό εποικοδομισμό (social-constructivism). Ένα πρώτο στοιχείο αυτού του πλαισίου είναι ότι ο μαθητής αλληλεπιδρά με ένα περιβάλλον που είναι οργανωμένο από τον διδάσκοντα. Αυτό το στοιχείο συναντά την άποψη του Piaget, που υποστηρίζει ότι το παιδί σ' αυτό το περιβάλλον καλείται να παίζει ένα ρόλο, στη δόμηση της δικής του γνώσης. Το δεύτερο στοιχείο αφορά το ρόλο της αλληλεπίδρασης μεταξύ ομοίων (συμμαθητών) (Perret-Clermant, 1979) και το τρίτο στοιχείο είναι η κοινωνική διάσταση της μάθησης (Vygotsky, 1934).

### **Η έννοια της διαλυτότητας**

Η θεμελιώδης έννοια που υπεισέρχεται στην παρούσα εργασία είναι η *διαλυτότητα*. Από την έρευνα της διδακτικής των φ.ε. γνωρίζουμε ότι τα άτομα νεαρής ηλικίας κατέχουν ποικίλες αντιλήψεις για τη «διάλυση». Μέχρι την ηλικία των 8 ετών, τα παιδιά έχουν την τάση να εστιάζουν την προσοχή τους μόνο σε ένα από τα συστατικά του διαλύματος π.χ. στην περίπτωση διάλυσης της ζάχαρης στο νερό λένε ότι η ζάχαρη «απλά έφυγε», «εξαφανίστηκε», «έλιωσε», «διαλύθηκε» ή «μετατράπηκε σε νερό» (Holding, 1987, Longden, 1984).

Η διδασκαλία της χημείας προσδοκά οι μαθητές να αντιμετωπίζουν ένα διάλυμα ως ένα ομογενές μείγμα δύο ή περισσότερων ουσιών. Ωστόσο αρκετές μελέτες (Prieto, κ.ά., 1989, Fensham & Fensham, 1987) έχουν δείξει ότι μεγάλο ποσοστό μαθητών, στα πρώτα σχολικά χρόνια, δεν θεωρεί ένα διάλυμα ως μια μοναδική φάση αλλά ως ένα μείγμα, που αποτελείται από μεγάλα σωματίδια διαλυμένης ουσίας στο νερό, τα οποία μπορούν να απομακρυνθούν με φιλτράρισμα από το νερό. Ο Holding (1987) ερεύνησε κατά πόσο μαθητές ηλικίας 8-17 ετών χρησιμοποιούν τη σωματιδιακή άποψη για τη δομή της ύλης στο φαινόμενο της διάλυσης ζάχαρης στο νερό. Διαπίστωσε ότι μόνο στις ηλικίες των 15 και 17 ετών, ποσοστά 30% και 50% αντίστοιχα, απεικόνισαν τα «σωματίδια της ζάχαρης», αλλά από αυτούς μόνο οι μισοί απεικόνισαν επίσης και μόρια νερού.



Μαζί με την οικοδόμηση της έννοιας των υγρών διαλυμάτων οι μαθητές αναμένεται να αναπτύξουν και την έννοια για τα αέρια διαλύματα, έχοντας ως παράδειγμα τον αέρα. Σε μελέτη της Meheut κ.ά. (1985) αναφέρεται ότι μαθητές μικρών ηλικιών συχνά έχουν την ιδέα ότι ένα μείγμα, π.χ. ο αέρας, είναι μια ουσία.

### **Η ταυτότητα της έρευνας**

Η παρούσα εργασία είναι μέρος μιας ευρύτερης έρευνας που περιελάμβανε έξι προβλήματα, που αφορούσαν την αέρια κατάσταση και τέθηκαν σε ισάριθμες ομάδες φοιτητών για να τα απαντήσουν με τη βοήθεια σχετικού πειράματος που θα επινοούσαν στο εργαστήριο. Εδώ αναφερόμαστε στη λύση του ενός από τα έξι προβλήματα. Στόχος μας ήταν να διερευνηθεί κατά πόσο οι φοιτητές μπορούν να χρησιμοποιήσουν τις θεωρητικές τους γνώσεις καθώς και τις πειραματικές τους εμπειρίες για να επινοήσουν μια κατάλληλη πειραματική διάταξη που να δίνει απάντηση στο ερώτημα που θέτει το πρόβλημα. Η ομάδα που πήρε μέρος στη λύση του προβλήματος ήταν πρωτοετείς φοιτητές του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης (Π.Τ.Δ.Ε.) του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων κατά το ακαδημαϊκό έτος 2003-04.

Αρχικά οι φοιτητές όλων των ομάδων διδάχτηκαν από τον κύριο ερευνητή (Κ.Κ.), σε ένα πλήρες δίωρο (120 λεπτά), επτά θέματα σχετικά με θεμελιώδεις ιδιότητες της αέριας κατάστασης. Το διδακτικό μοντέλο που εφαρμόσαμε για τα θέματα αυτά ήταν το διαλεκτικό με τη βοήθεια πειραμάτων επίδειξης. Ο διδάσκων διαπραγματεύθηκε κάθε θέμα με καθοδηγούμενο διάλογο με μία ομάδα φοιτητών, με ακροατήριο τους υπόλοιπους φοιτητές. Στόχος ήταν η υπενθύμιση και η βελτίωση της κατανόησης θεμελιωδών εννοιών της αέριας κατάστασης.

Έπειτα από μία εβδομάδα, ανατέθηκε στο εργαστήριο σε κάθε μία από τις έξι ομάδες η λύση ενός διαφορετικού προβλήματος. Οι φοιτητές/τριες που πήραν μέρος στην παρούσα εργασία ήταν επτά και είχαν διαφορετική γνωστική υποδομή στις φυσικές επιστήμες: μία φοιτήτρια ήταν απόφοιτος θετικής κατεύθυνσης, δύο (ένα αγόρι και ένα κορίτσι) τεχνολογικής κατεύθυνσης και τέσσερις (τρία κορίτσια και ένα αγόρι) θεωρητικής κατεύθυνσης. Ο χρόνος που διατέθηκε για την όλη διαδικασία ήταν δύο ώρες. Η όλη διαδικασία που ακολουθήθηκε περιγράφεται στις παρακάτω έξι φάσεις το περιεχόμενο των οποίων προήλθε από σημειώσεις του διδάσκοντος καθώς και από σημειώσεις και σχήματα της ομάδας των φοιτητών. Οι διάλογοι μεταξύ του διδάσκοντος και των μελών της ομάδας μαγνητοφωνήθηκαν.

### **Αποτελέσματα και σχόλια**

#### *Φάση μεταβίβασης του προβλήματος (διδάσκων)*

Ο διδάσκων έδωσε γραπτώς στην ομάδα τη διατύπωση του προβλήματος και τους ζήτησε να τη μελετήσουν. Η διατύπωση του προβλήματος είχε ως εξής: «Να συζητήσετε ως ομάδα και να προτείνετε έναν τρόπο, ώστε να συλλέξουμε και να μετρήσουμε όλη την ποσότητα του διοξειδίου του άνθρακα που περιέχεται σε ένα μπουκάλι coca-cola. Στη συνέχεια να εκτελέσετε το πείραμα και να υπολογίσετε την % v/v περιεκτικότητα του διαλύματος σε διοξείδιο του άνθρακα». Να θεωρήσετε το CO<sub>2</sub> ως τη μοναδική διαλυμένη ουσία και το υγρό ως διαλύτη.

#### *Φάση οικειοποίησης του προβλήματος*

Μετά από λίγα λεπτά, ο διδάσκων ξεκινάει με την ομάδα μια συζήτηση (διάρκειας 15 περίπου λεπτών), για να οριοθετήσουν το εννοιολογικό πλαίσιο μέσα στο οποίο εντάσσεται το πρόβλημα. Η συζήτηση αναφέρθηκε αρχικά στην έννοια της διαλυτότητας και στους παράγοντες που την επηρεάζουν. Οι φοιτητές φάνηκε ότι είχαν κάποια γνώση της διαλυτότητας στερεών ουσιών στο νερό και σε μικρότερο βαθμό γνώριζαν την περίπτωση της διαλυτότητας αερίου σε υγρό. Ειδικότερα αναφερθήκαμε στη διαλυτότητα αερίου σε υγρό και επισημάναμε

με παραδείγματα την εξάρτηση της διαλυτότητας από τη φύση του διαλύτη και της διαλυμένης ουσίας, καθώς και την εξάρτηση της διαλυτότητας από τη θερμοκρασία και την πίεση.

Στη φάση αυτή ο διδάσκων βεβαιώθηκε ότι η ομάδα κατάλαβε τι τους ζητείται και ποια είναι η φύση του προβλήματος που τους τέθηκε. Επιπλέον οι φοιτητές με τη βοήθεια του διδάσκοντα κάνουν ανάκληση και αναφορά σε παραδείγματα των σχετικών με το πρόβλημα εννοιών που ήδη γνωρίζουν. Είναι μια μορφή προ-εργαστηριακής προετοιμασίας. Αυτό δίνει κατεύθυνση και ενίσχυση στην ομάδα ώστε να ξεκινήσουν την εμπλοκή τους στη συγκεκριμένη εργαστηριακή εργασία.

#### *Φάση διαμόρφωσης της πειραματικής διάταξης*

Η ομάδα έχει ήδη αρχίσει ενεργά να ασχολείται με το πρόβλημα, επιστρατεύοντας γνώσεις και διαδικασίες που κατά την άποψή της θα δώσουν μια λύση. Ο διάλογος μεταξύ της ομάδας και του διδάσκοντα που παρατίθεται προέρχεται από απομαγνητοφώνηση. Επίσης κάποιες από τις προτάσεις που παρουσιάζουμε παρακάτω η ομάδα τις περιέγραφε και με σχήματα.

*1<sup>η</sup> Πρόταση:* «Αρχικά θα αφαιρέσουμε το καπάκι και στο χείλος του μπουκαλιού θα εφαρμόσουμε ένα μπαλόνι με σκοπό να συλλέξουμε το CO<sub>2</sub>. Στη συνέχεια θα θερμάνουμε το μπουκάλι της coca-cola. Όσο θα αυξάνεται η θερμοκρασία, η διαλυτότητα του αερίου στο διάλυμα θα μειώνεται και θα συγκεντρώνεται το διοξείδιο στο μπαλόνι».

*Διδάσκων:* Το CO<sub>2</sub> που συγκεντρώνεται στο μπαλόνι θα «εμποδίζει» ή θα «διευκολύνει» το CO<sub>2</sub> που έχει απομείνει στο διάλυμα να αποβληθεί από αυτό;

*Φοιτητής:* « Αρχικά μόλις προσαρμόσουμε το μπαλόνι η πίεση πάνω από το διάλυμα θα ελαττωθεί αφού το διοξείδιο του άνθρακα μπορεί να καταλάβει μεγαλύτερο χώρο. Όταν όμως μετά τη θέρμανση το μπαλόνι δεν φουσκώνει άλλο η πίεση μέσα στο μπαλόνι και πάνω από το διάλυμα δεν μπορεί περαιτέρω να ελαττωθεί αφού σταθεροποιείται και γίνεται ίση με την ατμοσφαιρική».

*2<sup>η</sup> Πρόταση:* «Ξέρουμε ότι ο όγκος της coca-cola είναι 250 mL. Θα χύσουμε τα 250 mL της coca-cola σ' ένα δοκιμαστικό σωλήνα, που αναγράφονται τα mL, και μετά από θέρμανση της coca-cola το αέριο CO<sub>2</sub> θα ελευθερωθεί στον αέρα. Άρα η στάθμη της coca-cola θα είναι σίγουρα κάτω από τα 250 mL, που είναι ο αρχικός της όγκος. Στη συνέχεια από τον αρχικό όγκο της coca-cola θα αφαιρέσουμε αυτό που έμεινε στο δοκιμαστικό σωλήνα, που δεν έχει CO<sub>2</sub> και έτσι θα βρούμε τον όγκο του CO<sub>2</sub>».

*Διδάσκων:* Σε ένα διάλυμα ο όγκος του διαλύτη και ο όγκος της διαλυμένης αέριας ουσίας ισούνται με τον όγκο του διαλύματος. Σας θυμίζω ότι σε 1 L νερό στους 20 °C και σε πίεση 1 atm μπορούν να διαλυθούν γύρω στα 700 L αέριας αμμωνίας, αλλά ο όγκος του προκύπτοντος διαλύματος διαφέρει λίγο από το 1 L.

*Φοιτήτρια:* «Αφού όσο διοξείδιο του άνθρακα βάλαμε στην coca-cola τόσο υπάρχει και μέσα στο μπουκάλι, γιατί να μη είναι η coca-cola το άθροισμά τους»;

*Διδάσκων:* Θα συμφωνήσω μόνο αν αναφέρεσαι στη μάζα του διαλύτη και στη μάζα της διαλυμένης ουσίας. Πράγματι το άθροισμα των μαζών αυτών ισούται με τη μάζα του διαλύματος όχι όμως και με το άθροισμα των όγκων.

*3<sup>η</sup> Πρόταση:* «Να χρησιμοποιήσουμε ένα άδειο μπουκάλι πολύ μεγαλύτερο και να το συνδέσουμε με το μπουκάλι της coca-cola που έχει το διοξείδιο του άνθρακα μέσω ενός σωλήνα. Έπειτα, αφού κουνήσουμε το μπουκάλι, θα ελευθερωθεί το διοξείδιο του άνθρακα και θα μεταφερθεί στο άλλο. Στη συνέχεια θα θερμάνουμε την coca-cola μέσα σε ένα ειδικό δοχείο με νερό για να φύγει και άλλο διοξείδιο του άνθρακα. Στο τέλος όλο το διοξείδιο του άνθρακα θα πάει στο άλλο μπουκάλι».

*Διδάσκων:* Καθώς θα συλλέγουμε το διοξείδιο του άνθρακα στο άδειο μπουκάλι, η πίεση που θα ασκεί το διοξείδιο θα αυξάνεται και δεν θα «επιτρέπει» στο εναπομένον διοξείδιο του άνθρακα στο μπουκάλι να εγκαταλείψει το διάλυμα. Επιπλέον πώς θα μετρήσουμε τον όγκο του διοξειδίου του άνθρακα;



*Φοιτητής:* «Το μπουκάλι στο οποίο θα συλλέξουμε το διοξείδιο του άνθρακα θα είναι αρκετά μεγάλο και δεν θα υπάρχει περίπτωση η ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα να μη χωρέσει σ' αυτό. Άλλωστε όσο πιο μεγάλος είναι ο όγκος του δοχείου, τόσο πιο μικρή πίεση θα ασκεί το αέριο».

*Διδάσκων:* Συμφωνώ ότι με τον τρόπο αυτό θα συλλέξουμε περισσότερο CO<sub>2</sub> απ' ό,τι στην περίπτωση με το μπαλόνι. Πρώτα απ' όλα να μη ξεχνάμε ότι το «άδειο μπουκάλι» δεν είναι άδειο, αλλά περιέχει αέρα. Άρα πίεση στην επιφάνεια του διαλύματος δεν θα ασκεί μόνο το διοξείδιο του άνθρακα που συλλέγουμε στο μπουκάλι αλλά και ο αέρας που υπάρχει σ' αυτό. Δεύτερο, αν σε ένα κλειστό δοχείο εισάγουμε μια οποιαδήποτε ποσότητα αερίου, μικρή ή μεγάλη, αυτή θα καταλάβει ένα μέρος του δοχείου ή ολόκληρο το δοχείο;

*Φοιτήτρια:* «Τα αέρια καταλαμβάνουν όλο τον όγκο που τους διατίθεται».

*Διδάσκων:* Επομένως δεν μπορούμε να μετρήσουμε τον όγκο του αερίου που θα συλλέξουμε με τη μέθοδο που προτείνετε. Λάβετε δε υπόψη σας ότι, όταν ανοίγουμε το μπουκάλι με την coca-cola, μέχρι να προσαρμόσουμε το πόμα με το σωληνάκι, ένα μέρος του διοξειδίου του άνθρακα διαφεύγει. Κάτι πρέπει να σκεφτούμε, ώστε, όταν ανοίγουμε το μπουκάλι, να έχουμε όσο το δυνατό λιγότερη απώλεια διοξειδίου του άνθρακα.

*Φοιτήτρια:* «Θα βάλουμε την coca-cola στο ψυγείο να παγώσει. Αφού έχει παγώσει η διαλυτότητα του διοξειδίου του άνθρακα θα αυξηθεί και το αέριο που είναι πάνω από την coca-cola μέχρι το στόμιο θα διαλυθεί και έτσι, όταν ανοίξουμε το μπουκάλι για να βάλουμε το πόμα με το σωληνάκι, δεν θα φύγει. *Διδάσκων:* Όλα αυτά είναι σωστά και θα πρέπει να τα λάβουμε υπόψη μας. Τις προτάσεις σας που μέχρι τώρα συζητήσαμε θα πρέπει να τις σκεφτείτε, και να προτείνετε μια πειραματική διάταξη που να μπορεί να συλλέγει όλο σχεδόν το διοξείδιο του άνθρακα και ταυτόχρονα να μπορεί να μετρηθεί ο όγκος του.

*4<sup>η</sup> Πρόταση:* «Να πάρουμε μια παγωμένη coca-cola, να βάλουμε γρήγορα στο στόμιό της το πόμα με ένα σωληνάκι που να φτάνει λίγο πιο πάνω από τον πυθμένα. Μέσα από το σωληνάκι θα περνάει το διοξείδιο του άνθρακα. Στη συνέχεια να βάλουμε το μπουκάλι μέσα σε ένα δοχείο με νερό και με ένα γκαζάκι να θερμαίνουμε το νερό. Έτσι, όλο το διοξείδιο του άνθρακα θα φύγει. Το σωληνάκι στη συνέχεια θα το περνάμε μέσα σε ένα δοχείο με πολύ κρύο νερό και έτσι το αέριο διοξείδιο άνθρακα θα ψύχεται και στην άκρη του σωληνά, που θα την έχουμε έξω από το κρύο νερό, θα μαζεύουμε το διοξείδιο του άνθρακα σε υγρό. Τον όγκο του υγρού μπορούμε να τον μετρήσουμε και αυτός θα είναι ο όγκος του διοξειδίου».

*Διδάσκων:* Φαίνεται ότι ένα μέρος απ' αυτά που είπαμε τα λάβατε υπόψη σας. Όμως, ακόμη και αν με τη βοήθεια ψυχρού νερού μπορούσαμε να υγροποιήσουμε το διοξείδιο του άνθρακα, το ερώτημα που τίθεται είναι: Ο όγκος ορισμένης ποσότητας αερίου και ο όγκος του υγρού που προκύπτει από την υγροποίηση του αερίου θα είναι ίσοι;

*Φοιτητής:* Ο όγκος του υγρού θα είναι πολύ μικρότερος από τον όγκο του αερίου.

*Διδάσκων:* Μπορείς να δώσεις μια εξήγηση γιατί συμβαίνει αυτό, αναφερόμενος στα μόρια ενός αερίου και ενός υγρού;

*Φοιτητής:* Οι αποστάσεις μεταξύ των μορίων στα αέρια είναι πολύ μεγαλύτερες από τις αποστάσεις μεταξύ των υγρών και αυτές με τη σειρά τους είναι μεγαλύτερες από τις αποστάσεις μεταξύ των μορίων στα στερεά. Άλλωστε τα μόρια ενός αερίου κινούνται πολύ γρήγορα, ενώ ενός υγρού κινούνται λίγο.

*Διδάσκων:* Πώς σας ήλθε η ιδέα να υγροποιήσουμε το διοξείδιο του άνθρακα;

*Φοιτήτρια:* Αυτό κάνουμε με τους υδρατμούς, που είναι αέριο, για να τους μετατρέψουμε σε υγρό. Τους ψύχουμε. Έτσι δεν παίρνουμε το αποσταγμένο νερό;

*Διδάσκων:* Συμφωνώ για την περίπτωση των υδρατμών, μόνο που η υγροποίηση γενικά των αερίων δεν είναι μια εύκολη υπόθεση. Το διοξείδιο του άνθρακα μπορεί να υγροποιηθεί στη συνήθη θερμοκρασία, γύρω στους 30 °C, αν θυμάμαι καλά και με ταυτόχρονη συμπίεση μερικών δεκάδων ατμοσφαιρών. Ας

επανεέλθουμε στο πρόβλημα μας. Πρέπει να θυμηθούμε πώς συλλέγουμε ένα αέριο. Από τις τελευταίες τάξεις του δημοτικού σχολείου, έχετε δει τουλάχιστον εικονογραφημένο τον τρόπο συλλογής αερίου. Επίσης, στα βιβλία φυσικής και χημείας στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση περιγράφονται πειράματα συλλογής και μέτρησης του όγκου αερίων, που παράγονται από χημικές αντιδράσεις. Σχεδόν σε όλα τα βιβλία χημείας περιγράφεται εικονικά η αντίδραση ενός δραστικού μετάλλου με οξύ για την παρασκευή υδρογόνου π.χ. η αντίδραση υδροχλωρικού οξέος με ψευδάργυρο.

Η ομάδα δεν μπόρεσε να θυμηθεί κάτι σχετικό και μια απογοήτευση άρχισε να διαφαίνεται. Προφανώς σε όλη τη διαδρομή της στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση δεν είχαν εκτελέσει ένα σχετικό πείραμα ή αν είχαν παρακολουθήσει δεν μπορούν να το θυμηθούν, ώστε να το αναπαράγουν.

*Διδάσκων:* Έστω ότι θέλω να μετρήσω τον όγκο του αέρα που μπορώ να εκπνεύσω από τους πνεύμονές μου. Πήρα έναν ογκομετρικό κύλινδρο και μια γυάλινη λεκάνη γεμάτη με νερό μέχρι περίπου το μέσο. Γέμισα πλήρως τον κύλινδρο με νερό και τον αντέστρεψα. Στη συνέχεια, με τη βοήθεια ενός ορθοστάτη με μεταλλική λαβίδα, ο κύλινδρος κρατήθηκε κατακόρυφος. Πέρασα το ένα άκρο λεπτού πλαστικού σωλήνα κάτω από τον ογκομετρικό κύλινδρο και άρχισα να φυσάω σιγά-σιγά αέρα στο άλλο άκρο. Σχηματίστηκαν φυσαλίδες και η στάθμη του νερού στον κύλινδρο άρχισε να κατεβαίνει. Η ομάδα έδειξε να είναι ευχαριστημένη και μια φοιτήτρια είπε: «ήταν απλό αλλά ποτέ δεν είχαμε κάνει κάτι παρόμοιο».

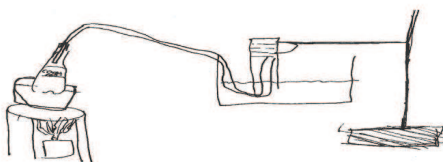
Από την ομάδα ο διδάσκων ζήτησε να ανακεφαλαιώσει γραπτώς την πειραματική διαδικασία στην οποία καταλήξαμε και να σχεδιάσει την πειραματική διάταξη. Ήδη από την έναρξη της διαδικασίας είχαν περάσει 65 λεπτά.

#### Φάση πραγματοποίησης του πειραματισμού

Η ομάδα με τη βοήθεια του διδάσκοντος συναρμολόγησε τη συσκευή. Η έλλειψη πειραματικής εμπειρίας και η αδεξιότητα χειρισμού απλών συσκευών ήταν εμφανείς. Πριν να βγάλουμε το καπάκι από την coca-cola, σημειώσαμε με ένα μαρκαδόρο τη στάθμη του διαλύματος στο μπουκάλι. Ο όγκος του εκτοπιζόμενου νερού στον κύλινδρο βρέθηκε ίσος με 265 mL Στη συνέχεια αδειάσαμε την ποσότητα της coca-cola που έμεινε στο μπουκάλι και το γεμίσαμε με νερό μέχρι το σημείο που είχαμε σημειώσει τη στάθμη της coca-cola, πριν να την ανοίξουμε. Αδειάσαμε το νερό σε ογκομετρικό κύλινδρο και βρήκαμε τον όγκο του διαλύματος, ίσο με 235 mL. Υπολογίσαμε την περιεκτικότητα της coca-cola σε διοξείδιο του άνθρακα.

Επισημάνθηκε ότι η τιμή του όγκου του διοξειδίου του άνθρακα θα πρέπει να είναι λίγο μεγαλύτερη από αυτή που μετρήθηκε, αφού μια ποσότητα, έστω και μικρή, διέφυγε μόλις βγάλαμε το καπάκι, παρόλον ότι είχαμε φροντίσει η coca-cola να είναι παγωμένη. Εξάλλου, μια μικρή ποσότητα του CO<sub>2</sub> διαλύθηκε στο νερό του κυλίνδρου.

*Εικόνα 1. Σχηματική αναπαράσταση της πειραματικής διάταξης από την ομάδα για την εύρεση της περιεκτικότητας του CO<sub>2</sub> σε ένα μπουκάλι coca-cola.*



#### Φάση ερμηνείας των αποτελεσμάτων

Στη φάση αυτή ο διδάσκων έθετε ερωτήσεις στην ομάδα σχετικές με τη διαλυτότητα αερίου σε υγρό και οι φοιτητές / τριες της ομάδας απαντούσαν με άνεση. Ουσιαστικά έγινε μια



ανακεφαλαίωση των εννοιών που σχετίζονται με το πρόβλημα και της πειραματικής διαδικασίας που ακολουθήθηκε. Εντύπωση έκανε στην ομάδα η μεγάλη τιμή του όγκου του διοξειδίου του άνθρακα, που ήταν διαλυμένο, σε σχέση με τον όγκο του διαλύματος.

#### *Φάση κοινωνιολόγησης*

Η ομάδα παρουσίασε στις άλλες ομάδες που ασχολήθηκαν με τη λύση άλλων προβλημάτων το πρόβλημα που της τέθηκε, την πειραματική διάταξη που χρησιμοποίησαν, καθώς και το αποτέλεσμα που βρήκαν.

#### *Συμπεράσματα και προτάσεις για τη διδακτική πράξη*

Όπως προκύπτει από τους διαλόγους που καταγράφονται στη φάση διαμόρφωσης της πειραματικής διάταξης, οι φοιτητές της έρευνάς μας δεν έχουν ή έχουν πολύ μικρή πειραματική εμπειρία. Η τεχνική συλλογής και μέτρησης του όγκου ενός αερίου με τη βοήθεια ανεστραμμένου κυλίνδρου μέσα σε λεκάνη με νερό, που είναι εδραιωμένη για ένα ειδικό, για τους φοιτητές φαίνεται να είναι ένα γνωστικό άλμα. Κατά τη γνώμη του διδάσκοντος, αν η ομάδα αφηνόταν μόνη της, χωρίς τη βοήθειά του, θα ήταν μάλλον απίθανο να καταλήξει σε μια «βιώσιμη» πειραματική διάταξη. Ο διάλογος του διδάσκοντος με την ομάδα στη διαμόρφωση μιας πειραματικής διάταξης έπαιξε καθοριστικό ρόλο.

Επίσης είναι φανερό από την περιγραφή της διαδικασίας που ακολουθήθηκε ότι αυτός ο τύπος εργαστηριακής εργασίας είναι χρονοβόρος και έχει μεγάλες απαιτήσεις από τον δάσκαλο και το φοιτητή, σε σχέση με την παραδοσιακή διδασκαλία τύπου διάλεξης και τα παραδοσιακά εργαστήρια επίδειξης και επαλήθευσης. Η όλη διαδικασία διήρκεσε 120 λεπτά και ο χρόνος της ενεργού συμμετοχής των φοιτητών τόσο μεταξύ των μελών της ομάδας όσο και μεταξύ της ομάδας και του διδάσκοντα σε όλες τις φάσεις, και ιδιαίτερα κατά τη φάση «επινόησης μιας πειραματικής διάταξης», κατέλαβε ένα μεγάλο μέρος. Αυτός θεωρούμε ότι είναι ένας βασικός παράγοντας που διαφοροποιεί αυτή τη διδακτική μέθοδο σε σχέση με άλλες και ιδιαίτερα με τις δασκαλοκεντρικές.

Η διαπραγμάτευση των προτάσεων της ομάδας μεταξύ του διδάσκοντος και της ομάδας, είτε με τη μορφή επαγωγικο-υποθετικών συλλογισμών είτε με τη βοήθεια πειραματικών συσκευών, αναβαθμίζει ποιοτικά και ποσοτικά τον χρόνο ενεργητικής συμμετοχής των φοιτητών και αυτός είναι ένας παράγοντας που μεγιστοποιεί τη μάθηση. Μια τέτοια μεθοδολογία, αν εφαρμοστεί συστηματικά, είναι πιθανό να καλλιεργεί την ανάπτυξη ανώτερης τάξεως γνωστικών δεξιοτήτων (HOCS). Στο πλαίσιο της ευρύτερης εργασίας που προαναφέραμε, οι φοιτητές που ασχολήθηκαν σε ομάδες με τη λύση προβλημάτων στο εργαστήριο αξιολογήθηκαν γραπτώς σε κοινά θέματα με ισοδύναμες ομάδες φοιτητών που διδάχτηκαν τα ίδια προβλήματα με διαφορετική μεθοδολογία (λύση των ίδιων προβλημάτων με πειράματα επίδειξης και λύση των προβλημάτων με περιγραφή και σχεδιασμό των πειραμάτων στο πίνακα χωρίς τη χρήση πειραματικών συσκευών) παρουσίασαν στατιστικά σημαντική υψηλότερη επίδοση (Καμπουράκης, 2006, σ. 284).

Η αυξημένη εμπλοκή των φοιτητών στο πλαίσιο της ομαδοσυνεργατικής διδασκαλίας οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην αίσθηση και στις ευκαιρίες επιλογής και αυτορρύθμισης που παρέχει (McCombs, 1988, σ. 153). Κατά τη φάση διαμόρφωσης της πειραματικής διαδικασίας, οι προτάσεις της ομάδας δείχνουν ότι αυτή είχε εμπλακεί στο πρόβλημα. Στη φάση αυτή φάνηκε καθαρά ποιες σχετικές εναλλακτικές ιδέες κατέχουν οι φοιτητές και ποιες έννοιες δεν έχουν κατανοηθεί. Η πρώτη πρόταση που διατύπωσε η ομάδα, λαμβάνει υπόψη της μόνο τον ένα παράγοντα, την αύξηση της θερμοκρασίας, και δεν λαμβάνει τον άλλο, την πίεση. Στην δεύτερη πρόταση φαίνεται ότι η ομάδα δεν είχε μια εικόνα της διάλυσης σε σωματιδιακό επίπεδο, αν και η σωματιδιακή δομή της ύλης διδάσκεται από τις τελευταίες τάξεις του

δημοτικού σχολείου. Στην τρίτη πρόταση, αποκαλύπτεται ότι η δηλωτική γνώση (declarative) που κατέχουν οι φοιτητές δεν τους εξασφαλίζει μια κατανόηση των εννοιών και αυτό φαίνεται καθαρά όταν προσπαθούν να τις εφαρμόσουν σε συγκεκριμένες πειραματικές καταστάσεις. Το πείραμα δεν αφήνει περιθώρια συγκάλυψης. Στην τέταρτη πρόταση, είναι εμφανής η προσπάθεια να μεταφέρουν σε μια καινούργια κατάσταση γνώσεις και διαδικασίες που ήδη κατέχουν με το νοητικό μηχανισμό της αναλογίας, χωρίς όμως να λαμβάνουν υπόψη τους τα όρια και τους περιορισμούς στις οποίες υπόκεινται. Από την άλλη πλευρά η έλλειψη εμπειρίας στο να χειρίζονται συσκευές και όργανα καθώς και η έλλειψη γνώσης της λειτουργικότητάς τους δείχνουν τη μικρή μέχρι και την ανύπαρκτη σχέση των αποφοίτων δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης με το εργαστήριο.

Η όλη διαδικασία που ακολουθήθηκε άφησε πολλά περιθώρια στην ομάδα να αισθανθεί ότι συμμετέχει σε μια δημιουργική εργασία και ότι η όλη διαδικασία κατευθυνόταν σε ένα βαθμό από τους ίδιους. Δεν αναπαρήγαγαν μια δεδομένη διαδικασία, όπως γίνεται στη λύση προβλημάτων με «χαρτί και μολύβι» ή με τα πειράματα επαλήθευσης. Αυτή η συμμετοχικότητα δημιούργησε ένα θετικό διδακτικό κλίμα στο εργαστήριο. Με την πραγματοποίηση του πειράματος και τη μέτρηση του όγκου του διοξειδίου του άνθρακα, η ομάδα συνειδητοποίησε ότι μπορεί να τα καταφέρει. Αισθάνθηκε ένα είδος αυτοεκτίμησης και κάποιοι φοιτητές δήλωσαν ότι «ήταν απλό αλλά μετά τις προτάσεις μας δεν πιστεύαμε ότι θα τα καταφέρουμε».

Το έργο του δασκάλου και των φοιτητών είναι πολύ δυσκολότερο στο πλαίσιο μιας τέτοιας διδασκαλίας, διότι ο δάσκαλος καλείται να δημιουργήσει τον προβληματισμό, που θα κινητοποιήσει τη διερευνητική διαδικασία των μαθητών, να βοηθήσει την ομάδα στην οργάνωση των νοητικών τακτικών που θα ακολουθήσει και τη διαδικασία που θα εφαρμόσει. Οι φοιτητές από την άλλη πλευρά καλούνται να αναπτύξουν δραστηριότητες που προϋποθέτουν ανώτερες νοητικές λειτουργίες, αναπτυγμένες μεθοδολογικές στρατηγικές και απαιτητικές κοινωνικές δεξιότητες. Οι δυσκολίες αυτές, μαζί με την έλλειψη υλικοτεχνικής υποδομής στα σχολεία και οι αργοί ρυθμοί διεξαγωγής του τύπου αυτού διδασκαλίας μπορούν να προβάλλουν ως βασικές αιτίες για να αποθαρρύνουν τους εκπαιδευτικούς να τις εφαρμόσουν.

Η διδακτική μέθοδος ενδείκνυται για μαθητές λυκείου και για φοιτητές καθώς απαιτεί οι μαθητές να έχουν σχηματίσει ένα εννοιολογικό υπόβαθρο σχετικό με τα πειράματα που θα διεξάγουν και να γνωρίζουν τη χρήση και λειτουργία ενός αριθμού βασικών συσκευών και οργάνων (Domin 1999). Κατά τη φάση ερμηνείας του αποτελέσματος ή των αποτελεσμάτων, η συσχέτιση των παρατηρούμενων φαινομένων κατά την εκτέλεση του πειράματος από τους φοιτητές και η ερμηνεία τους στο πλαίσιο της εννοιολογικής τους υποδομής είναι ένα κρίσιμο σημείο στη μάθηση. Στην περίπτωση του προβλήματος που ασχοληθήκαμε, ο όγκος του διοξειδίου του άνθρακα που μετρήθηκε (265 mL σε διάλυμα 235 mL) Προκάλεσε προβληματισμό σχετικά με το μέγεθος της διαλυτότητας του διοξειδίου του άνθρακα στο νερό. Αυτό μας οδήγησε «στη φάση της ερμηνείας των αποτελεσμάτων» να συνδέσουμε αυτή τη μακροσκοπική παρατήρηση με τη μικροσκοπική αναπαράσταση ενός διαλύματος και τη θεώρηση των κενών χώρων μεταξύ των μορίων.

Κατά τη φάση της κοινωνιολόγησης, όπου στην παρούσα εργασία δεν δώσαμε ιδιαίτερη βαρύτητα λόγω χρονικού περιορισμού, η ομάδα παρουσίασε το έργο της στις άλλες ομάδες και αυτές με τη σειρά τους το δικό τους. Η υποστήριξη από την ομάδα της πειραματικής διάταξης που διάρθρωσε και η επιχειρηματολογία των λόγων που κατέληξε σε αυτήν, μεταξύ άλλων εναλλακτικών, η παρουσίαση της μέτρησης που πήρε και το αποτέλεσμα στο οποίο κατέληξε, είναι σημαντικά στοιχεία που εισάγουν τους φοιτητές στην επιστημονική μεθοδολογία.

Η λύση προβλημάτων με τη βοήθεια πειραμάτων μπορεί να αναπτύξει ισχυρές συνδέσεις πειραματικής τεχνικής και επιστημονικής μεθόδου με τις έννοιες και τη θεωρία που διδάσκεται στην αίθουσα διδασκαλίας. Έτσι οι χώροι αυτοί επικαλύπτονται, με αποτέλεσμα οι έννοιες να





γίνονται πιο κατανοητές και η θεώρηση της επιστήμης ως συλλογικής κοινωνικής δραστηριότητας, να γίνεται πιο κατανοητή.

### Βιβλιογραφία

Καμπουράκης, Κ. (2006). Βελτιστοποίηση πειραματικών δραστηριοτήτων στη χημεία με στόχο τη θετική τους επίπτωση στην κατανόηση εννοιών και στη λύση προβλημάτων –Έμφαση στην αέρια κατάσταση. Διδακτορική διατριβή. Ιωάννινα.

BOEN (Bulletin Officiel de l' Education Nationale) hors série No. 45 du 12/12/96, No. 1 du 13/02/97, No. 6 du 12/08/99 – Programme du cycle central du collège.

Darley, B. (1994). Proposition d'un cadre possible pour une transposition didactique de la démarche scientifique. Actes 16emes J.I.E.S., A. Giordan, J. L. Martinand & D. Raichvarg (eds) 249-254.

Domin, D. S. (1999). A review of laboratory instruction. *Journal of Chemical Education*, 76 (4), 543-547.

Duggan, S., Gott, R. (1995). The place of investigations in practical work in the UK National Curriculum for Science. *International Journal of Science Education*, 17, 137-147.

Fensham, N., Fensham, P. (1987). Descriptions and frameworks of solutions and reactions in solutions. *Research in Science Education*, 17, 139-148.

Holding, B. (1987). Investigation of school children's understanding of the process of dissolving with special reference to the conservation of matter and development of atomistic ideas. Ph. D. thesis, University of Leeds.

Johnstone, A. H., Al-Shuaili, A. (2001). Learning in the laboratory; some thoughts from the literature. *University Chemistry Education*, 5, 42-51.

Kampourakis, C., Tsapalis, G. (2003). A study of the effect of a practical activity on problem solving in chemistry. *Chemistry Education Research and Practice* 4, 319-333. ([http:// www.rsc.org/cep](http://www.rsc.org/cep))

Lefour, J. M., Meheut, M. (1996). Les nouveaux programmes de chimie du secondaire. *L'Actualité Chimique*, juillet-aout, 5-6.

Longden, K. A. (1984). Understanding of dissolving by 11-12 year-old children. Unpublished M.Sc. thesis, University of Oxford.

Meheut, M., Saltiel, E., Tiberghien, A. (1985). Pupils' (11-12 year-old) conceptions of combustion. *European Journal of Science Education*, 7(1), 83-93.

Millar, R. (1996). Investigations des élèves en science: Une approche fondée sur la connaissance. *Didaskalia*, 9, 9-30.

McCombs, B. (1988). Motivational skills training. In Weinstein, C., et. al (eds), *Learning and Study Strategies*, Academic Press, San Diego.

Perret-Clermant, A. M. (1979). *La construction de l'intelligence dards l'interaction sociale*. Berne, Peter Lang.

Prieto, J., Blanco, A., Rodriguez, A. (1989). The ideas of 11-14 year-old students about the nature of solutions. *International Journal of Science Education* 11(4), 451-463.

Vygotski, L. S. (1934). *Thought and language*. Translated and edited by E. Hanfmann and G. Vakar. M.I.T. Press, 1962. (Σκέψη και γλώσσα. Μετάφρ.: Α. Ρόδη, εκδ. Γνώση, 1993, Αθήνα).

Wright, J. C. (1996). Authentic environment in analytical chemistry using cooperative methods and open-ended laboratories in large lecture classes. *Journal of Chemical Education*, 73 (9), 827-832.