

Ιδέες των μαθητών (12-15 ετών) σε σχέση με θεμελιώδεις ιδιότητες της ατμοσφαιρικής πίεσης

Κωνσταντίνος Καμπουράκης¹, Γεώργιος Τσαπαρλής²

¹ Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση, Γυμνάσιο Παναγιάς

² Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Τμήμα Χημείας gtseper@cc.uoi.gr

Περίληψη. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τη μελέτη των απαντήσεων μαθητών, σε τρεις ανοικτού τύπου ερωτήσεις, που αναφέρονται στην ατμοσφαιρική πίεση. Το δείγμα αποτέλεσαν μαθητές στην πρώτη βαθμίδα της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Η έρευνα διαπιστώνει ότι, αν και παρατηρείται μια βελτίωση στην κατανόηση και εφαρμογή της έννοιας της ατμοσφαιρικής πίεσης με την ηλικία, η έννοια αυτή είναι δυσπρόσιτη για την πλειονότητα των μαθητών. Οι μαθητές δεν έχουν μια ικανοποιητική εικόνα για τη διαστρωμάτωση της γήινης ατμόσφαιρας και για την ασκούμενη από αυτήν ατμοσφαιρική πίεση. Για την εξήγηση της διατήρησης του σχήματος ενός φουσκωμένου μπαλονιού, η πλειονότητα των μαθητών δεν λαμβάνει υπόψη της την ατμοσφαιρική πίεση, όσοι δε την αναφέρουν δεν την συσχετίζουν με την εξισορρόπηση της από την πίεση που ασκεί ο αέρας στο εσωτερικό του. Για την ισορροπία ενός λεπτού φύλλου χαρτιού στον αέρα, η πλειονότητα των μαθητών δεν έχει κατανοήσει τον τρόπο που δρα η ατμοσφαιρική πίεση σε ένα σώμα που βρίσκεται μέσα σ' αυτό.

Εισαγωγή

Η έννοια της πίεσης που ασκείται από αέρια και ιδιαίτερα από τον ατμοσφαιρικό αέρα έχει γίνει αντικείμενο ενός αριθμού μελετών στη διδακτική των φυσικών επιστημών (Sere 1982, 1986, Engel Clough & Driver 1985, 1986, Borghi κ.ά. 1988, Brook & Driver 1988, Rollnick & Rutherford 1990, 1993, deBerg 1992, 1995, Sheparson κ.ά. 1994, Basca κ.ά. 2000, Basca & Grotzer 2001).

Οι Engel Clough και Driver (1985), ερευνώντας τις ιδέες των παιδιών ηλικίας 12, 14 και 16 ετών, βρήκαν ότι σε υψηλά ποσοστά κυριαρχούσε η άποψη ότι η πίεση αυξάνεται με την απόσταση από την επιφάνεια υγρού, ενώ συχνά θεωρούνταν ότι η πίεση δρα προς όλες τις κατευθύνσεις στο νερό ή στον αέρα. Η άποψη ότι η πίεση που δρα προς τα κάτω ήταν ισχυρότερη. Για να ερμηνεύσουν πώς ρουφάμε νερό με ένα καλαμάκι ή πώς παίρνουμε υγρό με μια σύριγγα, οι μαθητές έκαναν συχνές αναφορές «σε μια αναρρόφηση είτε του αέρα είτε του κενού». Αν και αναφέρονται στο «σπρώξιμο» από την ατμοσφαιρική πίεση, λίγοι μαθητές ερμήνευσαν σχετικά πειράματα στο πλαίσιο της διαφοράς πιέσεων.

Η Sere (1982, 1986) διαπίστωσε ότι για την πλειονότητα των μαθητών 11-16 ετών οι δυνάμεις ασκούνται από τον αέρα μόνο όταν μια εξωτερική δύναμη προκαλεί την κίνησή του και οι δυνάμεις αυτές ενεργούν κατά τη διεύθυνση της κίνησής του. Μόνο το ένα τρίτο των μαθητών 16 ετών αναγνώρισαν ότι οι δυνάμεις που ασκεί ο αέρας μεταδίδονται προς όλες τις κατευθύνσεις. Στην κατάσταση ισορροπίας, ο αέρας «δεν κάνει τίποτε».

Ο deBerg (1995) βρήκε ότι μαθητές λυκείου αναγνώριζαν ότι η πίεση του περιεχόμενου αέρα σε μια σύριγγα αυξάνεται όταν αυτός συμπιέζεται. Το 70% από αυτούς θεωρούσαν ότι ο περιεχόμενος αέρας δεν ασκεί πίεση όταν αυτός δεν συμπιέζεται. Οι Kariotoglou & Psilos (1993) επίσης επισήμαναν ότι η επίδραση της ατμοσφαιρικής πίεσης συχνά δεν είναι

προφανής και ανιχνεύσιμη για τους μαθητές.

Ο Tyler (1992, 1998) διαπίστωσε ότι οι μαθητές πιστεύουν ότι η έννοια της πίεσης εφαρμόζεται μόνο στον αέρα, σε μια «μη-κανονική κατάσταση», η πεποίθηση δε αυτή θα διαταρασσόταν από την υιοθέτηση της έννοιας της ατμοσφαιρικής πίεσης. Η εμμονή σε μια ατμόσφαιρα που δεν ασκεί πίεση, εξηγεί, σ' ένα βαθμό, τις λανθασμένες εξηγήσεις σε μια σειρά φαινομένων που την περιλαμβάνουν. Ο παραπάνω ερευνητής, μελετώντας τη διαδρομή των ιδεών των παιδιών, ηλικίας 6-12 ετών, διατύπωσε σειρά λόγων για τις δυσκολίες απόκτησης της έννοιας της ατμοσφαιρικής πίεσης, και υποστήριξε ότι οι μαθητές δημοτικού σχολείου δεν είναι έτοιμοι γι' αυτήν την έννοια επειδή δεν έχουν την προαπαιτούμενη γνώση σχετικά με τον αέρα.

Δοθείσης της κεντρικότητας της έννοιας της πίεσης σε πολλά γνωστικά αντικείμενα, αξίζει να εξετάσουμε γιατί ένας μεγάλος αριθμός μαθητών έχει δυσκολίες με την κατανόηση της πίεσης και γιατί πολλοί δάσκαλοι αισθάνονται άβολα όταν την διδάσκουν. Η παρούσα έρευνα αποτελεί μέρος μιας ευρύτερης έρευνας που αφορούσε γνώσεις φυσικής και χημείας που διατηρούν οι μαθητές όταν έρχονται από το δημοτικό στο γυμνάσιο (Τσαπαρλής κ.ά. 1997, Γεωργούση κ.ά. 1998, Kampourakis et al. 2001, Georgousi et al. 2001), αλλά επεκτάθηκε και σε μαθητές α' λυκείου.

Η ταυτότητα της έρευνας

Οι μαθητές της έρευνας (μέγιστο $N = 398$) προέρχονταν από εννέα γυμνάσια (πέντε σε αστική περιοχή και τα υπόλοιπα σε ημιαστική) και από οκτώ γενικά λύκεια (τέσσερα σε αστική περιοχή και τέσσερα από ημιαστική). Οι μαθητές ήταν στην αρχή της α' γυμνασίου ($147 < N < 158$), στην αρχή της β' γυμνασίου ($147 < N < 151$) και στην αρχή της α' λυκείου ($90 < N < 103$). Λόγω του ότι η γυμνασιακή φυσική και χημεία αρχίζουν στην β' τάξη, είναι φανερό ότι οι γνώσεις των μαθητών γυμνασίου προέρχονταν ουσιαστικά από τις τυπικές γνώσεις των φυσικών επιστημών στο δημοτικό σχολείο (ε' και στ' τάξη). Όμοια για τους μαθητές λυκείου οι γνώσεις τους προέρχονταν από το γυμνάσιο.

Σχετικές με την παρούσα έρευνα ήταν τρεις ανοικτές ερωτήσεις σύντομης ανάπτυξης που περιέχονται είτε αυτούσιες είτε προκύπτουν άμεσα από την παρουσίαση των εννοιών της πίεσης στα βιβλία του μαθητή της ε' και στ' τάξης του δημοτικού σχολείου, «Ερευνώ το Φυσικό Κόσμο» (Δασκαλάκης κ.ά. 1993, Αλεξόπουλος κ.ά. 1994).

Οι απαντήσεις των μαθητών σε κάθε ερώτηση ομαδοποιήθηκαν πρώτα από τον έναν ερευνητή (Κ.Κ.). Ως βάση για την ομαδοποίηση ελήφθησαν κοινές αναφορές των απαντήσεων σε μία ή περισσότερες έννοιες σχετικές με την ερώτηση, καθώς και ο βαθμός συσχέτισής τους που καθορίζει το επίπεδο μιας αποδεκτής απάντησης. Επιπλέον, ελήφθησαν υπόψη κοινές αναφορές σε ιδιότητες των αντικειμένων που αναφέρονται στις ερωτήσεις και του περιβάλλοντός τους. Σε κάποιες περιπτώσεις, δεν ήταν σαφές τι ακριβώς εννοούσαν οι μαθητές στις απαντήσεις τους. Αυτές οι περιπτώσεις σημειώθηκαν και αφέθηκαν να συζητηθούν.

Στη συνέχεια τρεις έμπειροι εκπαιδευτικοί ομαδοποίησαν τις απαντήσεις των μαθητών, καθένας για μια διαφορετική ερώτηση. Στις περισσότερες περιπτώσεις, υπήρξε ταύτιση των ομαδοποιήσεων με την αρχική του ερευνητή. Στις περιπτώσεις διαφορετικών εκτιμήσεων, έγινε συζήτηση μεταξύ του εκπαιδευτικού και του ερευνητή και καταλήξαμε σε συμφωνία. Απαντήσεις για τις οποίες δεν προέκυπτε κάποιο νόημα ή εξακολουθούσε να υπάρχει ισχυρή διαφωνία καταχωρίστηκαν στην ομάδα «αταξινόμητες».

Για να ελεγχθεί περαιτέρω η αξιοπιστία της ομαδοποίησης, η ομαδοποίηση και για τις τρεις ερωτήσεις έγινε από έναν τέταρτο έμπειρο εκπαιδευτικό. Από τη σύγκριση των δύο ομαδοποιήσεων προέκυψε ότι η διάταξη των ομαδοποιήσεων με βάση το ποσοστό των μαθητών που συγκέντρωνε η κάθε ομάδα απαντήσεων, για κάθε ερώτηση και για κάθε

σχολική τάξη, διατηρήθηκε υψηλό. Οι μικρές αποκλίσεις που παρατηρήθηκαν δεν άλλαζαν τον εννοιολογικό πυρήνα κάθε ομάδας απαντήσεων. Με εφαρμογή του συντελεστή συσχέτισης Pearson (r) μεταξύ του αριθμού των μαθητών για κάθε ομάδα-τύπο απάντησης ανά ερώτηση και ανά τάξη μεταξύ των δύο τελευταίων ομαδοποιήσεων, βρέθηκε ισχυρή θετική συνάφεια: οι τιμές του r κυμάνθηκαν από +0,7 έως και +1,0.

Με την παραπάνω διαδικασία οι απαντήσεις που δόθηκαν από τους μαθητές δομήθηκαν σε ομαδοποιημένες απαντήσεις-εξηγήσεις, που στηρίζονται σε κοινά εννοιολογικά χαρακτηριστικά για τα τρία διαφορετικά ηλικιακά επίπεδα των μαθητών.

Αποτελέσματα και σχόλια

Από τη σύγκριση της διαφοράς δύο ποσοστών σε δύο ανεξάρτητα δείγματα, με εφαρμογή του στατιστικού κριτηρίου Z προέκυψε ότι το ποσοστό των μαθητών της α' λυκείου που απάντησαν (61,0%, αποδεκτές και μη απαντήσεις) στις τρεις ερωτήσεις, παρουσιάζει στατιστικά σημαντική διαφορά σε σχέση με το ποσοστό των μαθητών της α' γυμνασίου (33,4%) και της β' γυμνασίου (41,1%) ($Z = 7,42, p < 0,01$ και $Z = 3,76, p < 0,01$, αντίστοιχα). Επίσης και οι διαφορές των ποσοστών μεταξύ των μαθητών α' και β' γυμνασίου είναι στατιστικά σημαντικές ($Z = 2,39, p < 0,05$). Αυτό μπορεί να αποδοθεί στη νοητική ανάπτυξη και στη συσσώρευση πληροφοριών με τα χρόνια διδασκαλίας.

Το ποσοστό των αποδεκτών απαντήσεων της α' λυκείου (27,5%) στις τρεις ερωτήσεις σε σχέση με εκείνο της α' γυμνασίου (21,6%) δεν είναι στατιστικά σημαντικό, ενώ σε σχέση με το ποσοστό της β' γυμνασίου (12,0%) είναι ($Z = 3,71, p < 0,01$). Το ποσοστό δε μαθητών της α' γυμνασίου που δίνει αποδεκτές απαντήσεις σε σχέση με της β' γυμνασίου είναι στατιστικά σημαντικό ($Z = 2,37, p < 0,05$). Μπορούμε να υποστηρίξουμε ότι οι μαθητές της α' λυκείου έφεραν υψηλότερη επίδοση από τους μαθητές της β' γυμνασίου, όχι όμως και από της α' γυμνασίου και επιπλέον οι μαθητές της α' γυμνασίου έφεραν καλύτερη επίδοση από της β' γυμνασίου. Η κάμψη στην επίδοση των μαθητών της β' γυμνασίου μπορεί να αποδοθεί στο ότι μεσολάβησε μια χρονιά χωρίς να διδαχθούν φυσική και χημεία.

Ακολουθεί η παρουσίαση και ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων για καθεμιά από τις τρεις ερωτήσεις.

Ερώτηση 1. *Όσο ανεβαίνουμε υψηλότερα, η ατμοσφαιρική πίεση τι κάνει, αυξάνεται, ελαττώνεται ή μένει η ίδια και γιατί;*

Η εξήγηση της μείωσης της ατμοσφαιρικής πίεσης με το ύψος οφείλεται στην ελάττωση της πυκνότητας του αέρα. Ο Πίνακας 1 δίδει τους τύπους των απαντήσεων των μαθητών ανά τάξη. Αιτιολογημένες απαντήσεις, ανεξάρτητα αν αυτές περιέχουν αποδεκτά στοιχεία ή όχι, έδωσαν οι μισοί περίπου μαθητές (49,2%). Από αυτούς, το 54,6%, αιτιολόγησαν ότι η ατμοσφαιρική πίεση ελαττώνεται με την απόσταση από την επιφάνεια της Γης και το 39,3% ότι η ατμοσφαιρική πίεση αυξάνεται. Το υπόλοιπο 6,1% είναι αταξινόμητες απαντήσεις. Τα ποσοστά των μαθητών που απαντούν ότι η ατμοσφαιρική πίεση ελαττώνεται με στοιχεία αποδεκτά παρουσιάζουν μια βαθμιαία αύξηση με την ηλικία.

Το 18,4% των μαθητών αιτιολόγησαν ότι η ατμοσφαιρική πίεση ελαττώνεται επειδή ελαττώνεται η πυκνότητα του αέρα (τύπος Α). Το ποσοστό των μαθητών της α' λυκείου (28,3%) είναι σχεδόν διπλάσιο του μέσου ποσοστού των μαθητών της α' και β' γυμνασίου. Μικρό ποσοστό (5,6%) (τύπος ΣΤ) είχε μια αντεστραμμένη εικόνα για τη σχέση της πυκνότητας του ατμοσφαιρικού αέρα με την απόσταση από την επιφάνεια της Γης, που προέρχεται από τη μη κατανόηση της διαστρωμάτωσης της ατμόσφαιρας. Αυτοί ισχυρίστηκαν ότι «η πυκνότητα του ατμοσφαιρικού αέρα, όσο ανεβαίνουμε υψηλότερα μεγαλώνει, αφού ο αέρας πηγαίνει προς τα πάνω» και έτσι η ατμοσφαιρική πίεση αυξάνεται.

Η επόμενη αιτιολόγηση που συγκεντρώνει το μεγαλύτερο ποσοστό (11,2%) στηρίζεται στην πληροφορία ότι η περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε οξυγόνο ελαττώνεται με την απόσταση από την επιφάνεια της Γης (τύπος Β). Αν και μια τέτοια αιτιολόγηση θα μπορούσε να θεωρηθεί ως μερικώς ορθή, από τις διατυπώσεις διαφαίνεται ότι δεν συνδυάζεται με την ελάττωση της πυκνότητας του αέρα και με τη γνώση της σύστασης της ατμόσφαιρας. Απλώς οι μαθητές συνδέουν με ένα τρόπο μονοσήμαντο την πληροφορία ότι το οξυγόνο μειώνεται με την απόσταση από την επιφάνεια της Γης με την μείωση της ατμοσφαιρικής πίεσης. Η διαπίστωση αυτή ενισχύεται και από το γεγονός ότι το 14,3% (τύπος Ζ) ισχυρίζεται ότι η ατμοσφαιρική πίεση αυξάνεται με το ύψος λόγω ελάττωσης του οξυγόνου και αύξησης των άλλων αέριων συστατικών της ατμόσφαιρας.

Πίνακας 1. Τύποι απαντήσεων των μαθητών ανά τάξη στην ερώτηση 1.

ΤΥΠΟΣ ΑΠΑΝΤΗΣΗΣ, ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΕΣ ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΣΕΙΣ	α' γυμν. N = 158	β' γυμν. N = 150	α' λυκ. N = 90
Ποσοστό %			
Απαντούν	43,0	45,3	66,7
Η ατμοσφαιρική πίεση ελαττώνεται			
Α. Επειδή ελαττώνεται η πυκνότητα του αέρα	16,2	13,2	28,3
Η πυκνότητα του ατμοσφαιρικού αέρα ελαττώνεται. Γιατί όσο ψηλότερα ανεβαίνουμε / τόσο λιγότερος αέρας υπάρχει / δεν υπάρχει αέρας.			
Β. Γιατί ελαττώνεται το οξυγόνο του αέρα	10,3	11,8	11,7
Γιατί το οξυγόνο λιγοστεύει, όσο ψηλότερα ανεβαίνουμε Γιατί στη γη υπάρχει πολύ οξυγόνο και λίγο άζωτο. / Όσο πιο ψηλά πηγαίνουμε ελαττώνεται το οξυγόνο και αυξάνεται το άζωτο.			
Γ. Γιατί απομακρυνόμαστε από την έλξη της Γης	5,9	8,8	18,3
Η βαρύτητα ελαττώνεται γι' αυτό και στο διάστημα δεν υπάρχει βαρύτητα. Γιατί όσο πιο ψηλά πηγαίνουμε το ίδιο το βάρος ελαττώνεται.			
Δ. Γιατί απομακρυνόμαστε από την ατμόσφαιρα της Γης	13,2	7,3	1,7
Γιατί όσο ψηλότερα ανεβαίνουμε τόσο πιο κοντά στο διάστημα βρισκόμαστε και στο διάστημα δεν υπάρχει ατμοσφαιρική πίεση. Γιατί απομακρυνόμαστε από την ατμόσφαιρα της γης. Από ένα ύψος και μετά η ατμόσφαιρα αρχίζει να χάνεται.			
Ε. Γιατί αλλάζουν τα στρώματα τις ατμόσφαιρας	7,3	4,4	8,3
Η γη περιέχει διάφορα στρώματα αέρα που όσο πιο πάνω πας, τόσο η ατμοσφαιρική πίεση ελαττώνεται. Όλο και πιο πολύ μικραίνουν τα στρώματα του αέρα.			
Η ατμοσφαιρική πίεση αυξάνεται			
ΣΤ. Γιατί υπάρχει περισσότερος αέρας	2,9	11,8	1,7
Γιατί όσο πάμε πιο ψηλά τόσο περισσότερο αέρα έχει. Γιατί όλος ο ατμοσφαιρικός αέρας ανεβαίνει προς τα πάνω.			
Ζ. Γιατί ελαττώνεται το οξυγόνο του αέρα	11,8	16,2	11,7
Γιατί το οξυγόνο λιγοστεύει όσο πιο ψηλά ανεβαίνουμε. Γιατί από την ατμόσφαιρα και μετά το οξυγόνο ελαττώνεται ενώ τα άλλα αέρια αυξάνουν.			
Η. Λόγω της ελκτικής δύναμης της Γης	5,9	5,9	3,3
Όσο ανεβαίνουμε ψηλότερα η ατμοσφαιρική πίεση αυξάνεται γιατί σε τραβάει η γη με τη βαρύτητα. Γιατί η γη έλκει προς τα κάτω και όταν ένα σώμα πάει προς τα πάνω πέφτει.			
Θ. Γιατί συναντάμε διαφορετικά στρώματα ατμόσφαιρας	13,2	8,8	3,3
Γιατί όσο ανεβαίνουμε βρίσκουμε διαφορετικά / καινούργια στρώματα αέρα. Γιατί τα στρώματα του αέρα είναι μεγαλύτερα και πιο χοντρά.			
Ι. Γιατί είναι ανάλογη με το ύψος	5,9	5,9	8,3
Γιατί όσο ανεβαίνουμε ψηλότερα δεχόμαστε μεγαλύτερη πίεση. Η ατμοσφαιρική πίεση είναι ανάλογη με το ύψος.			
Αταξινόμητες	7,3	5,9	3,3

Η συσχέτιση της ελάττωσης της ατμοσφαιρικής πίεσης με την ελάττωση της ελκτικής δύναμης της Γης γίνεται κυρίως από τους μαθητές της α΄ λυκείου (18,3%) (τύπος Γ), χωρίς όμως να εξηγείται γιατί η μείωση της ελκτικής δύναμης της Γης επηρεάζει την ατμοσφαιρική πίεση. Απλώς υπάρχει η σύνδεση μιας πληροφορίας (αίτιο) με την ζητούμενη εξήγηση (αποτέλεσμα). Η μη κατανόηση της σύνδεσης της βαρύτητας με τη μεταβολή της ατμοσφαιρικής πίεσης υπογραμμίζεται και από τον τύπο Η (4,6%), όπου χρησιμοποιήθηκε η βαρυτική δύναμη για να υποστηριχθεί το αντίθετο, «η ατμοσφαιρική πίεση αυξάνεται λόγω της ελκτικής δύναμης της Γης». Στην περίπτωση αυτή τα ποσοστά των μαθητών ανά τάξη δεν διαφοροποιούνται.

Ο τύπος Δ δόθηκε κυρίως από τους μικρότερους μαθητές και στηρίζεται στο δεδομένο ότι «όσο απομακρυνόμαστε από την επιφάνεια της Γης, απομακρυνόμαστε και από την ατμόσφαιρα της Γης και στο διάστημα η ατμόσφαιρα δεν υπάρχει». Εδώ λαμβάνεται έμμεσα υπόψη η πυκνότητα του αέρα, όμως η μη γνώση της διαστρωμάτωσης της ατμόσφαιρας της Γης βρίσκεται στη βάση τέτοιων τύπων απαντήσεων. Οι τύποι Ε και Θ δείχνουν επίσης ότι οι μαθητές δεν έχουν ικανοποιητική εικόνα της διαστρωμάτωσης της ατμόσφαιρας, απλώς έχουν την πληροφορία ότι η ατμόσφαιρα αποτελείται από διάφορα στρώματα. Για το 8,7% η ατμοσφαιρική πίεση ελαττώνεται επειδή «τα στρώματα όσο απομακρυνόμαστε από την επιφάνεια της Γης δεν είναι τόσο πυκνά» ή «όλο και πιο πολύ μικραίνουν» ενώ για το 6,6% η ατμοσφαιρική πίεση αυξάνεται γιατί όσο ανεβαίνουμε από την επιφάνεια της Γης τα στρώματα «είναι μεγαλύτερα και πιο χονδρά» ή «είναι διαφορετικά». Τέλος στον τύπο Ι, η πρόταση «η ατμοσφαιρική πίεση είναι ανάλογη με το ύψος», που δηλώνεται από το 6,1%, θεωρούμε ότι είναι μια τυπική περίπτωση όπου οι μαθητές μαθαίνουν κάποιες διατυπώσεις τις οποίες «κολλούν» αδιακρίτως ως απαντήσεις σε ένα αριθμό ερωτήσεων.

Ερώτηση 2. *Γιατί η ατμοσφαιρική πίεση δεν τσαλακώνει ένα φουσκωμένο μπαλόνι;*

Η ερώτηση 2 αναφέρεται στην σχέση της ατμοσφαιρικής πίεσης με την πίεση του αέρα σε ένα φουσκωμένο μπαλόνι. Μια αποδεκτή απάντηση θα πρέπει να κάνει αναφορά στην εξισορρόπηση της πίεσης που ασκεί ο περιεχόμενος στο μπαλόνι αέρας, με την ατμοσφαιρική πίεση που ασκείται στην εξωτερική επιφάνεια του μπαλονιού. Ο Πίνακας 2 δίδει τους τύπους των απαντήσεων των μαθητών ανά τάξη.

Αιτιολογημένη απάντηση έδωσαν λιγότεροι από τους μισούς μαθητές (45,3%). Κι εδώ έχουμε αύξηση των μαθητών που δίνουν απαντήσεις με την ηλικία, με την α΄ λυκείου να έχει σχεδόν διπλάσια ποσοστά από την α΄ γυμνασίου. Στις αποδεκτές και εν μέρει αποδεκτές απαντήσεις (τύποι Ε και ΣΤ) προηγούνται οι μαθητές της α΄ λυκείου και ακολουθούν οι της α΄ και β΄ γυμνασίου (36,7%, 14,0% και 7,8%). Οι περισσότεροι τύποι απαντήσεων εστιάζονται σε ένα γεγονός ή σε έναν προφανή παράγοντα ή σε ένα χαρακτηριστικό του μπαλονιού ή σε ένα μόνο φυσικό μέγεθος. Ο τύπος Α δίνεται από το 30,0% των μαθητών, οι οποίοι εστιάζονται μόνο σε ένα προφανές δεδομένο: «το μπαλόνι περιέχει αέρα» και αυτό αποτελεί την αιτιακή εξήγηση, χωρίς καμιά αναφορά στην πίεση. Αυτός ο τύπος απάντησης δίδεται περισσότερο από την α΄ και β΄ γυμνασίου, ενώ στην α΄ λυκείου έχουμε περίπου τρεισήμισι φορές μικρότερο ποσοστό. Ως υποπερίπτωση του Α μπορεί να θεωρηθεί ο τύπος Β που προήλθε από μικρό ποσοστό μαθητών περίπου ισοκατανεμημένο στις τρεις τάξεις: το μπαλόνι διατηρείται φουσκωμένο λόγω ιδιοτήτων τόσο του περιεχομένου αέρα, όσο και του ατμοσφαιρικού αέρα που το περιβάλλει: ο περιεχόμενος αέρας είναι «ζεστός», «συμπιεσμένος» ενώ ο περιβάλλων το μπαλόνι αέρας είναι «αραιός», «έχει μικρότερη δύναμη», «μοιράζεται σ' όλο το μπαλόνι».

Οι τύποι Γ και Δ κάνουν σαφή αναφορά στην πίεση ή «στη δύναμη που ασκεί η πίεση», με εστίαση σε μία από τις επιφάνειες του μπαλονιού, στο ένα μέλος της σχέσης των πιέσεων. Ένα τέτοιο μοντέλο θα μπορούσε να χαρακτηριστεί μονόδρομο ή γραμμικό. Στον τύπο Γ (15,5%), δηλώνεται σαφώς ότι το φουσκωμένο μπαλόνι δεν τσαλακώνεται από την

Πίνακας 2. Τύποι απαντήσεων των μαθητών ανά τάξη στην ερώτηση 2.

ΤΥΠΟΣ ΑΠΑΝΤΗΣΗΣ, ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΕΣ ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΣΕΙΣ	α' γυμν. N = 147	β' γυμν. N = 147	α' λυκ. N = 103
	Ποσοστό %		
Απαντούν	29,2	52,4	58,2
A. Το μπαλόνι έχει στο εσωτερικό του αέρα	32,6	42,8	11,7
Το μπαλόνι έχει στο εσωτερικό του αέρα / είναι γεμάτο αέρα / είναι φουσκωμένο με αέρα.			
B. Αναφορά σε ιδιότητες του αέρα που περιέχεται στο μπαλόνι	7,0	5,2	6,7
Ο αέρας που βρίσκεται μέσα στο μπαλόνι / είναι ζεστός / είναι συμπιεσμένος /, ενώ ο ατμοσφαιρικός αέρας είναι αραιός και έχει μικρότερη δύναμη / μοιράζεται σ' όλο το μπαλόνι.			
Γ. Ο αέρας μέσα στο μπαλόνι ασκεί πίεση / δύναμη	16,3	14,3	16,6
Στο μπαλόνι υπάρχει αέρας ο οποίος / πιέζει τα τοιχώματα του μπαλονιού / ασκεί πίεση στα τοιχώματα του μπαλονιού.			
Τα μόρια του αέρα στο μπαλόνι κινούνται / ασκούν πίεση / και το μπαλόνι παραμένει φουσκωμένο.	2,3	0,0	3,3
Δ. Αναφορά μόνο στην ατμοσφαιρική πίεση	16,2	10,4	10,0
Η ατμοσφαιρική πίεση ασκείται από όλες τις μεριές η ίδια και όχι μόνο από τη μία πλευρά. Γιατί η ατμοσφαιρική πίεση είναι πάρα πολύ μικρή / δεν είναι τόσο μεγάλη.			
E. Ο αέρας μέσα στο μπαλόνι ασκεί δύναμη και εξισορροπεί την ασκούμενη από τον εξωτερικό αέρα	7,0	0,0	11,7
Δημιουργούνται και από μέσα στο μπαλόνι δυνάμεις, έτσι συγκρούονται με τις δυνάμεις του αέρα απ' έξω. Οι εσωτερικές δυνάμεις που ασκεί ο αέρας στα εσωτερικά τοιχώματα του μπαλονιού αντιστέκονται στην εξωτερική ατμοσφαιρική πίεση. Έτσι οι δύο δυνάμεις αντισταθμίζονται και αποφεύγεται το τσαλάκωμα του μπαλονιού.			
ΣΤ. Πίεση ασκείται και από τις δύο επιφάνειες του μπαλονιού	7,0	7,8	25,0
Ο αέρας που υπάρχει στο μπαλόνι ασκεί και αυτός πίεση στα τοιχώματα κι έτσι οι δύο πιέσεις εξουδετερώνονται / αντισταθμίζονται. Το μπαλόνι δέχεται πιέσεις εσωτερικά από τον αέρα που έχει μέσα και εξωτερικά από την ατμοσφαιρική πίεση.			
Z. Αναφορά σε ιδιότητες του μπαλονιού	9,3	9,1	11,6
Το μπαλόνι είναι στρογγυλό και ασκείται η ίδια πίεση σ' όλα τα μέρη του / σ' όλη την επιφάνειά του. Το μπαλόνι είναι ελαστικό και ξαναγυρίζει την ατμοσφαιρική πίεση / Το μπαλόνι αφήνει να περάσει η ατμοσφαιρική πίεση.			
Αταξινόμητες	2,3	10,4	3,3

ατμοσφαιρική πίεση γιατί «ο αέρας που έχει στο εσωτερικό του ασκεί πίεση/δύναμη». Στις διατυπώσεις υποδηλώνεται μια σχέση πίεσης/δύναμης μέσα και έξω από το μπαλόνι, αλλά τα μέρη της σχέσης δεν αναφέρονται καθαρά και επιπλέον δεν αναφέρεται μια σχέση εξισορρόπησης των δύο πιέσεων / δυνάμεων. Μικρό ποσοστό (1,7%) ανέφεραν ότι η πίεση που ασκεί ο περιεχόμενος στο μπαλόνι αέρας οφείλεται στην κίνηση των μορίων του. Στον τύπο Δ, η εστίαση γίνεται στην πίεση που ασκεί ο ατμοσφαιρικός αέρας στο ένα μέλος της σχέσης των πιέσεων (11,7%). Ο αιτιακός παράγοντας αποδίδεται σε «ιδιότητες της ατμοσφαιρικής πίεσης», όπως «η ατμοσφαιρική πίεση ασκείται η ίδια σε όλες τις πλευρές του μπαλονιού» και «η ατμοσφαιρική πίεση είναι πάρα πολύ μικρή».

Στον τύπο Z γίνεται αναφορά στην ατμοσφαιρική πίεση αλλά αυτή συσχετίζεται με ιδιότητες του μπαλονιού. Ο αιτιακός παράγοντας αποδίδεται αφενός στην ατμοσφαιρική πίεση, αφετέρου σε χαρακτηριστικά του μπαλονιού: «το μπαλόνι είναι στρογγυλό και ασκείται η ίδια πίεση σ' όλα τα μέρη του», «το μπαλόνι είναι ελαστικό και ξαναγυρίζει την ατμοσφαιρική πίεση» κ.ά. Ένας στους δέκα μαθητές έδωσε αυτόν το τύπο απάντησης. Το παραπάνω χαρακτηριστικό που αναφέρεται στον ένα παράγοντα μιας σχέσης και όχι στη σχέση δύο ή περισσότερων παραγόντων, εν προκειμένω στη σχέση των δύο πιέσεων, εμφανίζεται σε μεγάλο ποσοστό σε άτομα που δεν είναι ειδικοί σε ένα γνωστικό αντικείμενο. Αυτή η εστίαση είναι ένας τύπος γραμμικού αιτιακού συλλογισμού, με την έννοια ότι τα

άτομα αποτυγχάνουν να αναγνωρίσουν τον άλλο παράγοντα στη σχέση. Αποτελεί χαρακτηριστικό της σκέψης των μαθητών και έχει τεκμηριωθεί σε πολλά γνωστικά πεδία στο χώρο της διδακτικής των φυσικών επιστημών (Rollnick & Rutherford 1993).

Τέλος, στους τύπους Ε και ΣΤ γίνεται αναφορά σε δύο δυνάμεις ή σε δύο πιέσεις, δηλαδή σε δύο παράγοντες. Στον τύπο Ε, «το μπαλόνι δεν τσαλακώνεται γιατί η δύναμη που ασκεί ο εξωτερικός αέρας εξισορροπείται από την δύναμη που ασκεί ο αέρας στο εσωτερικό του μπαλονιού» (5,5% κυρίως από την α' λυκείου). Η μη διάκριση μεταξύ δύναμης και πίεσης από τους μαθητές όταν προσπαθούν να εξηγήσουν φαινόμενα σχετικά με την πίεση, κυρίως ρευστών, έχει καταγραφεί και από άλλους ερευνητές (Engel Clough & Driver 1985, Kariotoglou & Psilos 1993). Ο τύπος ΣΤ δόθηκε από το 13,3%, με την α' λυκείου να απαντά σε ποσοστό μεγαλύτερο από το τριπλάσιο της α' και της β' γυμνασίου. Οι μαθητές αυτοί έχουν κατακτήσει ένα σύνθετο νοητικό μοντέλο που αναφέρεται στην αλληλεπίδραση μεταξύ δύο πιέσεων, της εσωτερικής που ασκεί ο αέρας στο μπαλόνι και της εξωτερικής ατμοσφαιρικής πίεσης. Η εξισορρόπηση των δύο πιέσεων που ασκούνται στην ίδια επιφάνεια είναι η ορθή αιτιακή εξήγηση.

Οι απαντήσεις του τύπου ΣΤ μπορούν να χαρακτηριστούν ως συσχετισμένα αιτιακά μοντέλα συλλογιστικής, προς τα οποία η διδασκαλία των φυσικών επιστημών στοχεύει να μετατοπίσει τους μαθητές. Αναφέρονται σε ένα μοντέλο αλληλεπίδρασης μεταξύ αιτιών και αποτελεσμάτων (Perkins & Grotzer 2000). Στα μοντέλα αυτά δεν υπάρχει ο παράγοντας Α ούτε ο Β μεμονωμένοι, αλλά η αλληλεπίδραση και των δύο που πρέπει να εξεταστεί. Σε πιο σύνθετα μοντέλα υπάρχει η αλληλεπίδραση περισσότερων παραγόντων.

Ερώτηση 3. *Γιατί παρά την ατμοσφαιρική πίεση μπορούμε να κρατήσουμε οριζόντιο ακόμη και ένα φύλλο χαρτιού;*

Η τελευταία ερώτηση είναι η πιο απαιτητική, εγείροντας «επιστημολογικά εμπόδια» που απαιτούν μια εκλεπτυσμένη κατανόηση του τρόπου με τον οποίο ασκείται η ατμοσφαιρική πίεση σε μια λεπτή επίπεδη επιφάνεια που βρίσκεται μέσα στον αέρα. Στην ερώτηση απάντησε το 40,5% των μαθητών: από την α' και β' γυμνασίου περίπου ένας στους τέσσερις, και από την α' λυκείου λίγο παραπάνω από ένας στους δύο.

Στον τύπο Α (28,1%) γίνεται αναφορά μόνο στη βαρύτητα «που έλκει το χαρτί», χωρίς ορθή αντίληψη του τρόπου δράσης της βαρυτικής δύναμης. Αν δεχθούμε ότι οι μαθητές αυτοί έχουν την αντίληψη ότι «η βαρύτητα δρα προς τα κάτω», τότε θα πρέπει να υπονοούν ότι η ατμοσφαιρική πίεση δρα με κατεύθυνση από κάτω προς τα πάνω στο οριζόντιο φύλλο χαρτιού και εξισορροπεί τη δύναμη της βαρύτητας. Τα ποσοστά αυτού του μοντέλου μειώνονται δραστικά από την α' γυμνασίου (30,9%) στην α' λυκείου (10,3%).

Στον τύπο Β οι μαθητές αναφέρουν δύο παράγοντες, τη βαρύτητα και την ατμοσφαιρική πίεση. Οι απαντήσεις μπορούν να θεωρηθούν ως διευκρινιστικές των απαντήσεων του τύπου Α. Το μοντέλο αυτό, αν και συγκεντρώνει μόνο το 3,6% των μαθητών που απάντησαν, θεωρεί να δρουν στο φύλλο χαρτιού δύο δυνάμεις, η βαρύτητα και «η δύναμη της ατμοσφαιρικής πίεσης» που «αντιστέκεται» στην πρώτη. Η ατμοσφαιρική πίεση φαίνεται να δρα μόνο στη μια επιφάνεια του χαρτιού και η βαρύτητα στην άλλη. Στον τύπο Γ (7,9%), γίνεται αναφορά σε τρεις παράγοντες, στην ατμοσφαιρική πίεση, την άνωση και το βάρος. Η άνωση εδώ δρα προς τα πάνω και εξισορροπεί το βάρος του χαρτιού ή την ατμοσφαιρική πίεση. Η ατμοσφαιρική πίεση υπονοείται ότι δρα στο χαρτί μόνο από πάνω προς τα κάτω.

Στον τύπο Δ (17,3%) γίνεται αναφορά σε δύο δυνάμεις, στη δύναμη του χεριού μας, που κρατάει το χαρτί και στη δύναμη από την ατμοσφαιρική πίεση. Η ατμοσφαιρική πίεση μπορεί να θεωρηθεί εδώ ότι δρα από πάνω προς τα κάτω, «δεν είναι τόσο δυνατή, είναι μηδαμινή». Στον τύπο Ε (14,4%) γίνεται προσπάθεια να συσχετιστεί η τιμή της ατμοσφαιρικής πίεσης με χαρακτηριστικά του φύλλου χαρτιού: μπορούμε και κρατάμε το χαρτί οριζόντιο γιατί η ατμοσφαιρική πίεση που ασκείται σ' αυτό «είναι αμελητέα», «επειδή το χαρτί έχει μεγάλη

Πίνακας 3. Τύποι απαντήσεων των μαθητών ανά τάξη στην ερώτηση 3.

ΤΥΠΟΣ ΑΠΑΝΤΗΣΗΣ, ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΕΣ ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΣΕΙΣ	α' γυμν. N = 153	β' γυμν. N = 151	α' λυκ. N = 99
Απαντούν	Ποσοστό %		
A. Λόγω της έλξης της γης στο χαρτί / το χαρτί έχει βάρος Εξαιτίας της βαρύτητας έλκεται από τη γη. Η γη έχει την ιδιότητα να έλκει τα πράγματα Οφείλεται στο βάρος του χαρτιού.	30,9	23,1	10,3
B. Η βαρύτητα και η ατμοσφαιρική πίεση κρατούν το χαρτί οριζόντιο Η βαρύτητα αντισταθμίζεται στη δύναμη της ατμοσφαιρικής πίεσης. Το βάρος του χαρτιού είναι μικρότερο από την ατμοσφαιρική πίεση.	0,0	5,1	5,2
Γ. Εκτός από την ατμοσφαιρική πίεση και το βάρος του χαρτιού, υπάρχει και η άνωση Εκτός από την ατμοσφαιρική πίεση, υπάρχει και η άνωση του αέρα που σπρώχνει το σώμα προς τα πάνω. Το βάρος του χαρτιού είναι αμελητέο και η άνωση που δέχεται είναι συγκρίσιμη με το βάρος του.	9,5	5,1	8,6
Δ. Η ατμοσφαιρική πίεση / δεν το επηρεάζει / δεν είναι τόσο δυνατή Η ατμοσφαιρική πίεση δεν είναι τόσο ισχυρή / είναι μηδαμινή. Η ατμοσφαιρική πίεση δεν είναι τόσο δυνατή ώστε να μην μπορούμε να κρατήσουμε ένα λεπτό φύλλο οριζόντιο.	11,9	17,9	20,7
Ε. Το φύλλο χαρτιού έχει μεγάλη επιφάνεια / είναι ελαφρύ / έχει μικρό / όγκο Η επιφάνεια του είναι μεγάλη και η ατμοσφαιρική πίεση που ασκείται δεν είναι τόσο ισχυρή / είναι αμελητέα. Το λεπτό φύλλο έχει μεγάλη επιφάνεια αλλά μηδαμινό βάρος, έτσι η ατμοσφαιρική πίεση είναι αμελητέα	9,5	15,4	17,2
ΣΤ. Στο φύλλο ασκούνται και άλλες δυνάμεις που το βοηθούν να κρατιέται οριζόντιο Οι δυνάμεις που ασκούνται πάνω στο φύλλο είναι αντίθετες και εξουδετερώνονται. Εκτός από την ατμοσφαιρική πίεση, ασκούνται και άλλες δυνάμεις που το βοηθούν να κρατιέται οριζόντιο.	2,4	2,6	12,1
Z. Η ατμοσφαιρική πίεση στην πάνω και στην κάτω επιφάνεια του χαρτιού εξισορροπούνται Το χαρτί δέχεται την ίδια πίεση και στο κάτω και στο πάνω μέρος του και έτσι ισορροπεί. Υπάρχει και η ατμοσφαιρική πίεση κάτω από το χαρτί και αντισταθμίζει την ατμοσφαιρική πίεση από πάνω. Το χαρτί δέχεται ατμοσφαιρική πίεση απ' όλες τις επιφάνειές του.	19,0	17,9	17,2
Αταξινόμητες	16,7	12,8	8,6

επιφάνεια» ή «μικρό όγκο» ή «είναι λεπτό». Η ατμοσφαιρική πίεση θεωρείται κι εδώ ότι ασκείται μόνο από πάνω προς τα κάτω, ενώ γίνεται ανάκληση του τύπου ορισμού της πίεσης, μικρή πίεση). Στον τύπο ΣΤ (6,5%), η στατική κατάσταση του χαρτιού, που το κρατάμε οριζόντιο, ανακαλεί στη σκέψη των μαθητών τη συνθήκη ισορροπίας υλικού σημείου, γι' αυτό ισχυρίζονται ότι «στο χαρτί ασκούνται και άλλες δυνάμεις που το βοηθούν να κρατιέται οριζόντιο», χωρίς να τις αναφέρουν.

Σε όλες τις προηγούμενες περιπτώσεις γίνεται αναφορά άμεσα ή έμμεσα στην ατμοσφαιρική πίεση, ως η μια πλευρά της σχέσης, και στην άλλη πλευρά παραθέτουν τη βαρύτητα, την άνωση, τη δύναμη από το χέρι μας, άλλες δυνάμεις και ιδιότητες της επιφάνειας του χαρτιού. Οι μαθητές δεν έχουν επομένως μια σαφή αντίληψη για το πώς ασκείται η ατμοσφαιρική πίεση σε ένα σώμα που βρίσκεται μέσα στην ατμόσφαιρα.

Τέλος, στον τύπο Z (17,9%), χωρίς ουσιαστικές διαφορές ανάμεσα στις τρεις τάξεις, γίνεται σαφής αναφορά σε δύο πιέσεις που αντισταθμίζονται και ασκούνται στις δύο επιφάνειες του χαρτιού. Οι μαθητές αυτοί κατέχουν ένα σύνθετο μοντέλο και αντιλαμβάνονται την κατάσταση ισορροπίας ενός λεπτού φύλλου μέσα στον αέρα ως

αποτέλεσμα της εξισορρόπηση των ίσων ατμοσφαιρικών πιέσεων που ασκούνται στις δύο επιφάνειές του.

Συμπεράσματα και συνέπειες για τη διδακτική πράξη

Πολύ μεγάλα ποσοστά μαθητών στην πρώτη βαθμίδα της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, έχουν δυσκολία να κατανοήσουν την έννοια της ατμοσφαιρικής πίεσης και να την εφαρμόσουν για να απαντήσουν σε φαινόμενα της καθημερινής ζωής. Αδυνατούν να συσχετίσουν την αλληλεπίδραση της ατμοσφαιρικής πίεσης με την πίεση που ασκεί ο αέρας, που περιέχεται σε κλειστές επιφάνειες, καθώς και με τον τρόπο που η ατμοσφαιρική πίεση δρα σε ένα σώμα που βρίσκεται μέσα στον αέρα.

Η σχέση μεταξύ της ατμοσφαιρικής πίεσης και της πίεσης του αέρα στο εσωτερικό κλειστών δοχείων, η σχέση στήλης υγρού με την ατμοσφαιρική πίεση, καθώς και η πίεση που ασκεί αέριο που είναι περιορισμένο σε ορισμένο χώρο, είναι ζητήματα με τα οποία οι μαθητές θα πρέπει να εμπλακούν για να κατανοήσουν την έννοια της πίεσης. Τα παιδιά βρίσκουν δυσκολία στο να μετατοπίσουν την εστίασή τους από τα άμεσα και προφανή χαρακτηριστικά του αέρα στην ατμοσφαιρική πίεση. Κάνουν υποθέσεις σχετικά με τα αίτια και τα αποτελέσματα και προσδοκούν να εξηγήσουν τη συμπεριφορά των σχετικών φαινομένων, χωρίς όμως να λαμβάνουν υπόψη τους μη προφανή αίτια και αποτελέσματα.

Το χαμηλό ποσοστό αποδεκτών απαντήσεων (20,2%, στο σύνολο του δείγματος και για τις τρεις ερωτήσεις) μπορεί να αποδοθεί και στο γεγονός ότι η διαπραγμάτευση της έννοιας της πίεσης και των μεταβολών της στα σχολικά βιβλία δεν γίνεται με μια μέθοδο ενεργού/εποικοδομητικής μάθησης. Η έννοια της πίεσης που ασκούν τα ρευστά αντιμετωπίζεται σύντομα, ενώ η έμφαση δίδεται σε επιφανειακές ποσοτικές εφαρμογές και προβλήματα, παραμερίζοντας τη βαθύτερη ποιοτική κατανόηση (deBerg 1992). Οι διδάσκοντες εστιάζουν τη διδασκαλία τους περισσότερο σε δεδομένα και περιγραφές, παρά σε αίτια και σε σχέσεις παραγόντων (Newton & Newton 2000).

Σε μια τυπική διδασκαλία, η παρουσίαση μιας σειράς δεδομένων, περιγραφών και ορισμών δεν είναι αρκετή για την κατανόηση των εννοιών. Η παρουσίαση και η διερεύνηση απλών πειραμάτων, με υλικά της καθημερινής ζωής, όπως αυτά που περιγράφουν οι τεθείσες ερωτήσεις, φέρνουν τους μαθητές αντιμέτωπους με κάτι προβληματικό γι' αυτούς, λόγω των ατελών γνώσεών τους και της πολυπλοκότητας που εμπεριέχει μια πειραματική ή πραγματική κατάσταση. Μέσα από μια τέτοια διδακτική μεθοδολογία μπορεί να ενισχυθεί η κατανόηση των εννοιών και ο μαθητής να ασκείται στο να εφαρμόζει με τρόπο παραγωγικό ένα πλέγμα επιμέρους δεδομένων και εννοιών στο πλαίσιο κάποιων γενικών αρχών.

Παραπομπές

- Αλεξόπουλος, Β., Θεριανός, Ο., Κώνστας, Κ. (1994). Ερευνώ το Φυσικό Κόσμο - Φυσικά ΣΤ΄ τάξης, 1^ο και 2^ο μέρος. Ο.Ε.Δ.Β., Αθήνα.
- Γεωργούση, Κ., Καμπουράκης, Κ., Τσαπαρλής, Γ. (1998). Καλοί μαθητές στη Φυσική και Χημεία του δημοτικού σχολείου: Χαρακτηριστικά επιδόσεων, μορφωτικό επίπεδο γονέων, ενδιαφέροντα και στάση προς τις φυσικές επιστήμες. 1^ο Πανελλήνιο Συνέδριο «Δ Φ Ε και Ν Τ.Ε». Π.Τ.Δ.Ε του Αριστοτέλειου Παν/μίου Θεσ/νίκης. Πρακτικά, σ. 294, Θεσσαλονίκη.
- Δασκαλάκης, Δ., Ζηκίδης, Μ., Θεοδοσιάδης, Α., Κώνστας, Κ., Λυμπεροπούλου, Σ., Σπηλιώτης, Μ. (1993). Ερευνώ το Φυσικό Κόσμο - Φυσικά Ε΄ τάξης, 1^ο και 2^ο μέρος. Ο.Ε.Δ.Β., Αθήνα.
- Τσαπαρλής, Γ., Γεωργούση, Κ., Καμπουράκης, Κ., Λώλας, Θ., Κοντογεωργίου, Μ. (1997). Γνώσεις Φυσικής και Χημείας που φέρνουν οι μαθητές από το Δημοτικό στο Γυμνάσιο. Διημερίδα «Οι Φυσικές Επιστήμες και η Τεχνολογία στην Α)βάθμια Εκπαίδευση», Π.Τ.Δ.Ε - Πανεπιστήμιο Αθηνών. Πρακτικά, σελ.35, Αθήνα.

- Basca, B. B., Grotzer, T. A., Donis, K., & Shaw, S. (2000). Using domino and relational causality to analyze ecosystem: Realizing that what goes around comes around. Paper presented at the annual meeting of NARST, New Orleans, and L. A.
- Basca, B. B., Grotzer, T. A. (2001). Focusing on the nature of causality in a unit on pressure: How does it affect students' understanding? Presented at AERA, Seattle, April 10-14.
- Borghi, L., DeAmbrosis, A., Massara, C. I., Grossi, M. G., Zoppi, D. (1988). Knowledge of air: A study of children aged between 6 and 8 years. *International Journal of Science Education*, 10, 179-188.
- Brook, A., Driver, R. (1988). Progression in science: The development of pupils' understanding of physical characteristics of air across the age range 5-16 years. Leeds: University of Leeds, Children's Learning in Science Project.
- deBerg, K. C. (1992). Students thinking in relation to pressure-volume changes of a fixed amount of air: The semi-quantitative context. *International Journal of Science Education*, 14, 295-303.
- deBerg, K. C. (1995). Student understanding of the volume, mass, and pressure of air within a sealed syringe in different states of compression. *Journal of Research in Science Teaching*, 23, 871-884.
- Engel Clough, E., Driver, R. (1985). What do children understand about pressure in fluids? *Research in Science & Technological Education*, 3(2), 133-144.
- Engel Clough, E., Driver, R. (1986). A study of consistency in the use of students' conceptual frameworks across different task contexts. *Science Education*, 70(4), 473-496.
- Georgousi, K., Kampourakis, K., Tsaparlis, G. (2001). Physical science knowledge and patterns of achievement at the primary-secondary interface. Part 2. Able and top-achieving students. *Chemistry Education Research and Practice*, 2, 253-263.
- Kampourakis, K., Georgousi, K., Tsaparlis, G. (2001). Physical science knowledge and patterns of achievement at the primary-secondary interface. Part 1. General student population. *Chemistry Education Research and Practice*, 2, 241-252.
- Kariotoglou, P., Psillos, D. (1993). Pupils pressure models and their implication for instruction. *Research in Science & Technological Education*, 11, 95-108.
- Newton, D. P., Newton, L. D. (2000). Do teachers support causal understanding through their discourse when teaching primary science? *British Educational Research Journal*, 26, 599-613.
- Perkins, D. N., Grotzer, T. A. (2000). Models and moves: Focusing on dimensions of complex causality to achieve deeper scientific understanding. Paper presented at the annual meeting of the National Association of Research in Science Teaching, New Orleans, and L. A.
- Rollnick, M., Rutherford, M. (1990). African primary school teachers – What do they hold on air and air pressure? *International Journal of Science Education*, 12, 101-113.
- Rollnick, M., Rutherford, M. (1993). The use of a conceptual change model and mixed language strategy for remediating misconceptions on air. *International Journal of Science Education*, 15, 363-381.
- Sere, M. (1982). A study of some frameworks of the field of mechanics, used by children (aged 11-13) when they interpret experiments about air pressure. *European Journal of Science Education*, 4, 299-309.
- Sere, M. (1986). Children's conception of the gaseous state, prior to teaching. *European Journal of Science Education*, 8, 314-425.
- Shepardson, D. P., Moj, E. B., Kennard-McClelland, A. M. (1994). The impact of a science demonstration on children's understanding of air pressure. *Journal of Research in Science Teaching*, 31, 243-258.
- Tyler, R. (1992). Children's explanations of air pressure generated by small group activities. *Research in Science Education*, 22, 393-402.
- Tyler, R. (1998). Children's conceptions of air pressure: Exploring the nature of conceptual change. *International Journal of Science Education*, 20, 929-958.