

9^ο

ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗΣ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΝΕΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ

Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής
Εκπαίδευσης
Παιδαγωγική Σχολή, Α.Π.Θ.



ΕΝΝΕΦΕΤ
Ένωση για την εκπαίδευση στις
Φυσικές Επιστήμες & την Τεχνολογία.

«ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ ΚΑΙ ΜΑΘΗΣΗ ΣΤΙΣ ΦΥΣΙΚΕΣ
ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ:
ΕΡΕΥΝΕΣ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΕΣ ΚΑΙ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ»

synedrioenephet-2015.web.auth.gr

Θεσσαλονίκη,
8-10.5.2015

Επιμέλεια:

Ψύλλος Δημήτρης,

Μολοχίδης Αναστάσιος,

Καλλέρη Μαρία

ΥΠΟ ΤΗΝ ΑΙΓΙΔΑ



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ

Υπουργείο Πολιτισμού, Παιδείας και Θρησκευμάτων

Πίεση, διαφορά πίεσης και αποτελέσματα – Μια διδακτική παρέμβαση σε φοιτητές του Παιδαγωγικού Τμήματος του Πανεπιστημίου Αθηνών

Κοτρώνη Γεωργία¹ και Καπότης Ευστράτιος²

¹Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών, Τεχνολογίας και Περιβάλλοντος, Παιδαγωγικό Τμήμα Δ.Ε., Πανεπιστήμιο Αθηνών, <http://micro-kosmos.uoa.gr>, georgkot@primedu.uoa.gr

²Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών, Τεχνολογίας και Περιβάλλοντος, Παιδαγωγικό Τμήμα Δ.Ε., Πανεπιστήμιο Αθηνών, <http://micro-kosmos.uoa.gr>, stratosxkapotis@gmail.com

Περίληψη

Η παρούσα εργασία αποτελεί τμήμα εκπαιδευτικής πρότασης και έρευνας σχετικά με τη μελέτη της πίεσης και σχετικών με αυτή φαινομένων. Προτείνεται διδασκαλία της πίεσης και διαφοράς πίεσης, δομημένη σύμφωνα με την Επιστημονική / Εκπαιδευτική Μέθοδο με διερεύνηση. Απευθύνεται σε φοιτητές και φοιτήτριες Παιδαγωγικού Τμήματος, αλλά και σε μαθητές πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης. Εφαρμόστηκε σε 30 προπτυχιακούς φοιτητές και φοιτήτριες του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Αθηνών κατά το ακαδημαϊκό έτος 2014-2015. Κατά τη διεξαγωγή της συμπληρώθηκαν ερωτηματολόγια (pre, post tests) για την αξιολόγηση για την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Abstract

This study is a part of an educational proposal- research carried on the air pressure and its phenomena. As a result, it is suggested the teaching of the air pressure and the air pressure difference, based on the “scientific/ educational by inquiry model” scientific/ educational model by inquiry. It concerns male and female students of Pedagogical Department and students of elementary education. It was applied in 30 undergraduate students of Pedagogical Department of Primary Education of the University of Athens during the academic year 2014/2015. Both pre and post tests were distributed among the students in order to assess the outcome.

Εισαγωγή

Η έννοια της πίεσης του αέρα απαιτεί την αντίληψη του αόρατου, του αφηρημένου, και των χαρακτηριστικών μιας διαδικασίας και γι’ αυτό έχει χαρακτηριστεί ως μια δύσκολη έννοια της επιστήμης. (She, 2005). Από τη βιβλιογραφική επισκόπηση φαίνεται ότι τόσο οι μαθητές όσο και οι φοιτητές συναντούν δυσκολίες στην κατανόησή της.

Έρευνες έδειξαν ότι μαθητές 11 έως 13 ετών δεν μπορούσαν να φανταστούν την πίεση του αέρα χωρίς να τη συνδέουν με κάποιου είδους κίνηση. Θεωρούσαν ότι καταστάσεις μη μετακίνησης αέριων μαζών οφείλονται σε έλλειψη πίεσης του αέρα και όχι σε ισορροπία ανάμεσα στις πιέσεις. (President and Fellows of Harvard College, 2003). Σταδιακά, ο αέρας

αρχίζει να θεωρείται ως μια ουσία που υπάρχει από μόνη της, ακόμη κι αν είναι ακίνητος. (Besson, 2004)

Τόσο οι μαθητές όσο και οι φοιτητές δύσκολα αναγνωρίζουν την πίεση και την αναφέρουν ως μεταβλητή προβλημάτων και αιτία φαινομένων. Από άλλες έρευνες (Tytler, 1998) φαίνεται ότι εκπαιδευόμενοι- μαθητές από 6 ετών έως και φοιτητές- αποτυγχάνουν να αναγνωρίσουν την πίεση του αέρα όταν εμπλέκεται σε επιστημονικές δραστηριότητες. Παρουσιάζεται, επίσης, δυσκολία στη μετατόπιση της προσοχής τους από τα εμφανή χαρακτηριστικά ενός φαινομένου στις αιτίες που προκαλούν τα φαινόμενα αλλά δεν είναι προφανείς γι' αυτούς, όπως η συμπεριφορά των ρευστών. Η αντίληψη των μαθητών και των φοιτητών για το πώς συμπεριφέρονται τα αέρια διαφέρει από την επιστημονική γνώση και έτσι δυσκολεύονται να κατανοήσουν φαινόμενα που σχετίζονται με την πίεση.

Λόγω της παρουσίας του αέρα, ζούμε σε ένα περιβάλλον με πίεση και το σώμα μας συνεχώς προσαρμόζεται σε αυτήν την ατμόσφαιρα. Ωστόσο, αυτές τις προσαρμογές του σώματός μας τις αντιλαμβανόμαστε μόνο όταν η πίεση του αέρα αλλάζει γρήγορα, όπως π. χ., όταν δυσχεραίνεται η ακοή μας κατά τη διάρκεια της απογείωσης ενός αεροπλάνου.

Οι περισσότεροι φοιτητές θεωρούν ότι ο αέρας παγιδεύεται αναμεσα στο ελαστικό μέρος της βεντούζας και σε μια επιφάνεια και ότι αυτός είναι ο λόγος που η βεντούζα κολλάει σε αυτήν, άρα δεν αναγνωρίζουν όλοι οι φοιτητές τον πραγματικό ρόλο του αέρα στη λειτουργία της βεντούζας (Rollnick & Rutherford, 1990).

Σε άλλη έρευνα (Polito, Tanner, & Monteverdi, 2008) παρατηρήθηκε ότι μόνο ένα πολύ μικρό ποσοστό φοιτητών δήλωσε ως αιτία του ανέμου τις διαφορές πίεσης του αέρα.

Καθώς η ηλικία των εκπαιδευόμενων μεγαλώνει, παρατηρήθηκε (Besson, 2004) ότι τα απλοϊκά, στοιχεώδη και αυθόρμητα επεξηγηματικά σχήματα εγκαταλείπονται ή μετατρέπονται σε πιο σύνθετα και πολύπλοκα. Αυτά τα συνδυάζουν με κανόνες που έμαθαν στο σχολείο και φτάνουν στο επόμενο στάδιο, όπου τα επεξηγηματικά σχήματα πρέπει να έρχονται σε συμφωνία με τις αποδεκτές και αποτελεσματικές εξηγήσεις.

Ένας τρόπος για να βοηθηθούν οι μαθητές στην αναγνώριση της ύπαρξης της πίεσης του αέρα είναι να βρουν τρόπους για να κάνουν τα αποτελέσματά της προφανή. Διαπιστώθηκε (deBerg, 1995) ότι οι μαθητές γυμνασίου συνειδητοποιούν ότι η πίεση του αέρα που περικλείεται σε μια σύριγγα αυξάνεται με τη συμπίεση αφού αισθάνονται την επίδραση της αυξημένης πίεσης στα χέρια τους.

Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε να μελετηθεί η πίεση και τα αποτελέσματα της διαφοράς πίεσης γιατί η συγκεκριμένη θεματική έχει συμβατότητα με το αναλυτικό πρόγραμμα της Στ' Δημοτικού και μπορεί να προταθεί ως μια προέκταση του υπάρχοντος κεφαλαίου. Επίσης, ερμηνεύει ένα ευρύτατο φάσμα φαινομένων της καθημερινής ζωής και βρίσκει εφαρμογή σε διάφορους τομείς.

Ο σκοπός αυτής της εργασίας είναι να ερευνηθεί η αποτελεσματικότητα μιας διδακτικής παρέμβασης, που βασίζεται στο διερευνητικά εξελισσόμενο πρότυπο, στην εκπαιδευτική διαδικασία των φοιτητών του Παιδαγωγικού Τμήματος. Στόχος της παρέμβασης είναι οι φοιτητές να μπορούν να επισημαίνουν, να περιγράφουν και να ερμηνεύουν φαινόμενα πίεσης και διαφοράς πίεσης στην καθημερινή ζωή.

Η εκπαιδευτική μεθοδολογία που χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη της συγκεκριμένης εκπαιδευτικής πρότασης είναι η Επιστημονική / ΕκΠαιδευτική Μέθοδος με Διερεύνηση (ή το ερευνητικά εξελισσόμενο εκπαιδευτικό πρότυπο), που αποτελεί μια παιδαγωγική προσέγγιση της ιστορικά καταξιωμένης επιστημονικής μεθόδου έρευνας, με την οποία ο επιστήμονας ερευνά τον φυσικό κόσμο και έχει διαμορφωθεί κατάλληλα σε εκπαιδευτική μέθοδο -ως επιστημονική/ εκπαιδευτική μέθοδος με διερεύνηση- με βήματα: 1 Έναυσμα ενδιαφέροντος- Παρατηρώ, Πληροφορούμαι, Ενδιαφέρομαι, 2. Διατύπωση Υποθέσεων- Προβληματίζομαι, Συζητώ, Υποθέτω, 3. Πειραματισμός- Ερευνώ, Ενεργώ, Πειραματίζομαι, 4. Διατύπωση

Θεωρίας- Συμπεραίνω, καταγράφω, Ερμηνεύω και 5. Συνεχής Έλεγχος- Ερμηνεύω, Γενικεύω (Καλκάνης, 2007).

Η επιλογή του ερευνητικά εξελισσόμενου προτύπου εξυπηρετεί και μια γενικότερη επιδίωξη, αυτήν της ανάπτυξης της γνώσης των διαδικασιών αντί της ανάπτυξης της γνώσης των εννοιών (Καλκάνης, 2007).

Μεθοδολογία

Περιγραφή της έρευνας

Η διδακτική παρέμβαση και έρευνα έγινε σε 30 τριτοετείς φοιτητές και φοιτήτριες του Εργαστηρίου Φυσικών Επιστημών του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Αθηνών, οι οποίοι επιλέχθηκαν με τυχαίο τρόπο μέσα από τα 5 εργαστηριακά δώρα που λειτουργούν κατά το ακαδημαϊκό έτος 2014-2015.

Οι φοιτητές και οι φοιτήτριες που συμμετείχαν στην έρευνα είχαν παρακολουθήσει τα εξαμηνιαία μαθήματα Φυσική Ι και Φυσική ΙΙ στο δεύτερο έτος των σπουδών τους. Το μάθημα Φυσική Ι διδάσκεται στο χειμερινό εξάμηνο και αναφέρεται στις θεωρίες που καλύπτουν όλους τους κλάδους της φυσικής. Το μάθημα Φυσική ΙΙ διδάσκεται στο εαρινό εξάμηνο και αναφέρεται στα φαινόμενα που εξηγούνται από τις θεωρίες που έχουν προηγηθεί. Και τα δύο μαθήματα δίνουν έμφαση στις ποιοτικές ερμηνείες και διδάσκονται με το παραδοσιακό μοντέλο. Συνεπώς, όλοι οι φοιτητές που συμμετείχαν είχαν διδαχθεί τη θεωρία (Τα Μηχανικά Ιδιοφαινόμενα των Ακίνητων και Κινούμενων Ρευστών- Χαρακτηριστικές Παράμετροι/ Ιδιότητες των Ρευστών- Τα ρευστά σε Μακροσκοπική Ακίνησια- Στατική των Ρευστών- Τα Ρευστά σε Μακροσκοπική Κίνηση- Δυναμική των Ρευστών) αλλά και τα φαινόμενα/ αποτελέσματα (διαπίστωση και μετρηση ατμοσφαιρικής πίεσης, εξαερισμός πλοίου, λύχνος Bunsen, αρπαγή στέγης κ. ά.) που σχετίζονται με την πίεση, καθώς και τις μικροσκοπικές ερμηνείες (κινήσεις και αλληλεπιδράσεις των μορίων).

Επειδή όλοι οι φοιτητές και οι φοιτήτριες είχαν διδαχθεί την προαναφερθείσα διδακτική με τον παραδοσιακό τρόπο δεν χωρίστηκαν σε ομάδες αναφοράς και ελέγχου. Η έρευνα ξεκίνησε με τη συμπλήρωση ενός pre-test από τους φοιτητές και τις φοιτήτριες, πριν την έναρξη της παρέμβασης. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε σε αυτούς η διδακτική παρέμβαση. Οι 10 ομάδες των 3 ατόμων εργάστηκαν επί δύο ώρες (προβλεπόμενο εργαστηριακό δίωρο) ακολουθώντας τα βήματα της προαναφερόμενης μεθοδολογίας, εκτελώντας πειράματα και συμπληρώνοντας φύλλα εργασίας. Μετά από την πραγματοποίηση της άσκησης συμπληρώθηκε post-test από το σύνολο των 30 φοιτητών και φοιτητριών. Η στατιστική επεξεργασία και ανάλυση των αποτελεσμάτων έγινε με το πρόγραμμα SPSS.

Περιγραφή των ερωτηματολογίων και των φύλλων εργασίας

Οι ερωτήσεις στο ερωτηματολόγιο που προηγήθηκε (pre) της διδακτικής παρέμβασης ήταν οι ίδιες με του ερωτηματολογίου που ακολούθησε (post) και αφορούσαν την πίεση του αέρα, τις διαφορές πίεσης και τα αποτελέσματά τους. Πιο συγκεκριμένα, οι συμμετέχοντες κλήθηκαν να αναγνωρίσουν την ύπαρξη ή μη της πίεσης και τα αποτελέσματά της σε διάφορες περιπτώσεις της καθημερινότητας- και όχι μόνο- (π.χ. λειτουργία βεντούζας, διαστημικός περίπατος), να αναγνωρίσουν την πίεση και τις διαφορές πίεσης ως αιτία φαινομένων και μεταβλητή προβλημάτων (π.χ. άνεμος, βαρομετρικά) και να σχεδιάσουν σχετικά στιγμιότυπα από τον μικρόκοσμο.

Τα φύλλα εργασίας δημιουργήθηκαν σύμφωνα με τα βήματα της επιστημονικής-εκπαιδευτικής διαδικασίας και περιέχουν περιγραφές και οδηγίες για την εκτέλεση των πειραμάτων, ερωτήσεις καταγραφής παρατηρήσεων και ερωτήσεις εξαγωγής συμπερασμάτων.

Περιγραφή των πειραμάτων

Ξεκινώντας από το γνωστό πείραμα για την ατμοσφαιρική πίεση που προτείνεται στον Εργαστηριακό Οδηγό του Εργαστηρίου Φυσικών Επιστημών αλλά και στο Βιβλίο Μαθητή της Στ' τάξης Δημοτικού, προτείνονται άλλα δύο απλά πειράματα, με υλικά που μπορεί κανείς εύκολα και με χαμηλό κόστος να προμηθευτεί. Τα πειράματα σχεδιάστηκαν με γνώμονα και την άρση των δυσκολιών των μαθητών, όπως η αδυναμία αναγνώρισης του ρόλου του αέρα στη λειτουργία της βεντούζας, τη δυσκολία συσχέτισης της διαφοράς πίεσης με την ανταλλαγή αέριων μαζών κ.ά.).

Πείραμα 1^ο: Πιέζουμε μια βεντούζα σε μια λεία και σε μια τραχιά επιφάνεια. Πιέζουμε ξανά τη βεντούζα στη λεία επιφάνεια και προσπαθούμε να την ξεκολλήσουμε ασκώντας τη λιγότερη δυνατή δύναμη.

Εικόνα 1: Βεντούζα



Εικόνα 2: Πιέζουμε σε λεία επιφάνεια



Εικόνα 3: Πιέζουμε σε τραχιά επιφάνεια



Πείραμα 2^ο : Γεμίζουμε με καπνό από λιβάνι ένα πλαστικό μπουκάλι, στο οποίο έχουμε κάνει από μια τρύπα στα πλαϊνά του. Ενώνουμε σε μια μεγάλη σύριγγα (τροφής) λάστιχο ορού που έχει και ρυθμιστή ροής επάνω του. Από μια τρύπα στο πλάι του μπουκαλιού τραβάμε καπνό με τη σύριγγα, μέχρι αυτή να γεμίσει, και κλείνουμε τον διακόπτη ροής. Ενώνουμε μια δεύτερη σύριγγα με το άλλο άκρο του λάστιχου ορού και τραβάμε το έμβολό της προς τα πίσω, ώστε η πίεση της να μειωθεί. Ανοίγουμε τον διακόπτη ροής, αποσυνδέουμε τη δεύτερη σύριγγα από το λάστιχο και πιέζουμε το έμβολό της τα προς τα μέσα.

Εικόνα 1: Υλικά πειράματος



Εικόνα 2: Από το πλάι του μπουκαλιού γεμίζουμε τη σύριγγα με καπνό.



Εικόνα 3: Αφού αποσυνδέσουμε το λάστιχο από τη σύριγγα, πιέζουμε το έμβολο προς τα μέσα.

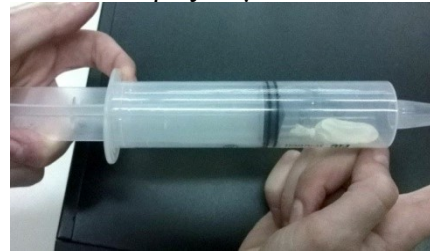


Πείραμα 3^ο: Τοποθετούμε στο εσωτερικό μιας μεγάλης σύριγγας (τροφής), ένα μικρό μπαλόνι ελαφρώς φουσκωμένο. Σφραγίζουμε το στόμιο της σύριγγας με το χέρι μας. Τραβάμε το έμβολο προς τα έξω και στη συνέχεια πιέζουμε το έμβολο προς τα μέσα.

Εικόνα 4: Πιέζοντας το έμβολο προς τα έξω.



Εικόνα 5: Πιέζοντας το έμβολο προς τα μέσα.



Αποτελέσματα και συζήτηση

Η ανάλυση Cronbach's α ανέδειξε την αξιοπιστία του ερωτηματολογίου με $\alpha = 0,874$. Οι απαντήσεις των συμμετεχόντων ταξινομήθηκαν στις εξής κατηγορίες και βαθμολογήθηκαν αντίστοιχα: «λανθασμένες -0» (όταν απαντούσαν απολύτως λάθος), «ελλειματικές -1» (όταν απαντούσαν σωστά σε λιγότερα από τα μισά), «ικανοποιητικές -2» (όταν απαντούσαν σωστά σε περισσότερα από τα μισά) και «πλήρεις -3» (όταν απαντούσαν πλήρως σύμφωνα με το επιστημονικό πρότυπο).

Στα εξαρτημένα δείγματα εφαρμόστηκε ο μη παραμετρικός έλεγχος Wilcoxon Signed Ranks Test, από τον οποίο προκύπτει ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά υπέρ του post test. Επίσης, η τυπική απόκλιση του δείγματος μειώθηκε, γεγονός που σημαίνει ότι το δείγμα ομογενοποιήθηκε μετά τη διδακτική παρέμβαση.

Descriptive Statistics

	N	Mean	Std. Deviation
mean_pre	30	1,4125	,70148
mean_post	30	2,0750	,52635
Valid N (listwise)	30		

Test Statistics^a

	mean_post - mean_pre
Z	-4,467 ^b
Asymp. Sig. (2-tailed)	,000

a. Wilcoxon Signed Ranks Test

b. Based on negative ranks.

Συμπεράσματα και προτάσεις

Φαίνεται ότι η διδακτική παρέμβαση βελτίωσε την κατανόηση της έννοιας της πίεσης και των αποτελεσμάτων της. Οι φοιτητές και οι φοιτήτριες μπορούν να εφαρμόζουν τη γνώση σε προβλήματα της καθημερινής ζωής και να εξηγούν φαινόμενα που σχετίζονται με τις συγκεκριμένες έννοιες. Τέλος, μπορούν να περιγράψουν με επιτυχία τις διαδικασίες του μικροκόσμου.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας, διαπιστώνεται ότι η επίδοση των φοιτητών και φοιτητριών σε ερωτήσεις περιγραφής και ερμηνείας των φαινομένων πίεσης και διαφοράς πίεσης υπερέχει αρκετά μετά την εφαρμογή της διδακτικής παρέμβασης. Αποσαφηνίστηκαν

οι έννοιες, έγιναν κατανοητά τα σχετικά φαινόμενα και επισημάνθηκαν οι εκδηλώσεις των φαινομένων στην καθημερινή ζωή. Τα επιστημονικά συμπεράσματα είναι:

Τα αέρια εξαιτίας της ενέργειας των μορίων τους, ασκούν δυνάμεις και έτσι δημιουργείται πίεση σε οποιοδήποτε σώμα βρίσκεται μέσα σε αυτά, οι διαφορές στην πίεση προκαλούν ροή αερίων μαζών από περιοχές με υψηλότερη σε περιοχές με χαμηλότερη πίεση και τέλος, η μεταβολή του όγκου των υλικών σωμάτων είναι αποτέλεσμα και της πίεσης στο εξωτερικό τους.

Η παρούσα εργασία αποτελεί μια προσπάθεια παρουσίασης, εφαρμογής και αξιολόγησης μιας εκπαιδευτικής πρότασης. Τα πρώτα συμπεράσματα είναι πολύ ενθαρρυντικά, ωστόσο προτείνεται η γενίκευση της έρευνας με μεγαλύτερο δείγμα. Θα ήταν πολύ ενδιαφέρον η παρούσα διδακτική πρόταση να χρησιμοποιηθεί και σε μαθητές της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης, ελαφρώς μετασχηματισμένη, και να αξιολογηθούν τα αποτελέσματά της.

Βιβλιογραφία

Γ. Θ. Καλκάνης, (2007), "Πρωτοβάθμια Εκπαίδευση στις-με τις Φυσικές Επιστήμες", Ι. οι Θεωρίες, ΙΙ. τα Φαινόμενα, Αθήνα, 2007

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*, 32(8), 871-884.

Henriques, L. (2002). Children's ideas about weather: a review of the literature. *School Science and Mathematics*, 102(5), 202-215.

Marissa Rollnick & Margaret Rutherford (1990) African primary school teachers—what ideas do they hold on air and air pressure?, *International Journal of Science Education*, 12:1, 101-113.

Polito, E., Tanner, K. D., & Monteverdi, J. P. (2008). Assessing Middle School and College Students' Conceptions about Tornadoes and Other Weather Phenomena (pp. P7.2 1-4). The Hilton DeSoto Hotel in Savannah, GA

President and Fellows of Harvard College, (2003), Causal Patterns in Air Pressure Phenomena, Lessons to Infuse into Pressure Units to Enable Deeper Understanding, Cambridge.

She, H.C. (2005). Promoting students' learning of air pressure concepts: the interrelationship of teaching approaches and student learning characteristics. *The Journal of Experimental Education*, 74(1), 29-51.

Tytler, R. T. (1998). Students' conceptions of air pressure: Exploring the nature of conceptual change. *International Journal of Science Education*, 20(8), 929-958.

Ugo Besson (2004) Students' conceptions of fluids, *International Journal of Science Education*, 26:14, 1683-1714