

ΤΠΕ και εργαστηριακή διδασκαλία. Δυο διδακτικές προσεγγίσεις για τη διδασκαλία των νόμων των αερίων.

ICT and laboratory teaching. Two teaching approaches on the Laws of Gases.

Νικόλαος Δ. Κυριακόπουλος, M.Sc. Φυσικός, Καθηγητής ΓΕΑ Νεμέας, nkyriak@gmail.com

Nikolaos D. Kyriakopoulos, M.Sc. Physics teacher, High School of Nemea, nkyriak@gmail.com

Abstract

The present project concerns a case study carried out on students attending the second class of High school who follow the Positive Sciences' direction, during teaching the Laws of Gases under two different teaching approaches. The first teaching approach made use of software simulating the alteration of gases and was held for two consecutive years on 43 students. The second teaching approach concerned laboratory teaching and was also held for two consecutive years on 41 students. In this project the procedure of each teaching approach is presented as well as the conclusions drawn after comparing the two approaches. The comparison led to a third teaching approach being suggested which will combine the first two.

Περίληψη

Η παρούσα εργασία αφορά σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε μαθητές της Β' Λυκείου θετικής και τεχνολογικής κατεύθυνσης κατά τη διδασκαλία των νόμων των αερίων με δυο διαφορετικές διδακτικές προσεγγίσεις. Η μια διδακτική προσέγγιση αφορούσε σε διδασκαλία με χρήση λογισμικού που προσομοίωνε μεταβολές αερίων και η έρευνα πραγματοποιήθηκε δύο διαδοχικές χρονιές σε σύνολο 43 μαθητών και η άλλη αφορούσε σε εργαστηριακή διδασκαλία και η έρευνα πραγματοποιήθηκε επίσης δύο διαδοχικές χρονιές σε σύνολο 41 μαθητών. Στην εργασία παρουσιάζεται το σενάριο διδασκαλίας για κάθε διδακτική προσέγγιση, καθώς και τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη σύγκριση των δυο διδασκαλιών. Η σύγκριση οδήγησε στο να προταθεί μια τρίτη διδακτική προσέγγιση που θα συνδυάζει τις δύο παραπάνω διδασκαλίες.

Λέξεις κλειδιά: ιδανικά αέρια, καθοδηγούμενη ανακάλυψη, ΤΠΕ, πείραμα, συσκευή GLA01.

Εισαγωγή

Η κατάσταση στην οποία βρίσκεται ένα αέριο περιγράφεται μακροσκοπικά από την πίεση (P), τον όγκο (V) και τη θερμοκρασία του (T). Τα μεγέθη αυτά (P, V, T) για ορισμένη ποσότητα n mole αερίου δεν είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους αλλά συσχετίζονται. Η διαπίστωση των συσχετίσεων μεταξύ των μακροσκοπικών θερμοδυναμικών μεταβλητών (P,V,T) από τους μαθητές, θα τους καθοδηγήσει στο να ανακαλύψουν τους τρεις νόμους των αερίων. (Ιωάννου κ.ά., 1999) Η καθοδήγηση όμως αυτή πραγματοποιείται με συγκεκριμένες διδακτικές μεθοδολογίες (Κόκκοτας, 2004 · Driver et al, 1998), οι οποίες υλοποιούνται είτε με τη συμβολή των ΤΠΕ (Καλκάνης, 2000), είτε με τη βοήθεια της εργαστηριακής πρακτικής (Αρναουτάκης κ.ά., 2005), είτε και με το συνδυασμό τους. (Ζησιμόπουλος κ.α., 2002) Η ανάπτυξη διδακτικών σεναρίων που θα υποστηρίζουν τις παραπάνω διδακτικές μεθοδολογίες, η εφαρμογή των σεναρίων στη σχολική τάξη, η εξαγωγή συμπερασμάτων από την εφαρμογή των σεναρίων στην τάξη, καθώς και η πρόταση για ένα νέο διδακτικό σενάριο που θα συνδυάζει ΤΠΕ και εργαστηριακή πρακτική είναι τα κύρια σημεία στα οποία εστιάζει η συγκεκριμένη εργασία.

1. Σενάριο διδασκαλίας με χρήση ΤΠΕ (Τεχνολογίες Πληροφορίας και Επικοινωνίας)

1.1. Σχέδιο μαθήματος

Διδακτικοί στόχοι:

Με τη διδασκαλία αυτού του μαθήματος, οι μαθητές θα πρέπει να:

- διαπιστώσουν την αναλογία α) μεταξύ P και $1/V$ για n και T σταθερά (Νόμος Boyle) β) μεταξύ P και T για n και V σταθερά (Νόμος Charles) και γ) μεταξύ V και T για n και P σταθερά (Νόμος Gay-Lussac),
- αναγνωρίσουν το ρόλο α) της τιμής της σταθερής θερμοκρασίας ως παραμέτρου πραγματοποίησης μιας ισόθερμης μεταβολής, β) της τιμής του σταθερού όγκου ως παραμέτρου πραγματοποίησης μιας ισόχωρης μεταβολής και γ) της τιμής της σταθερής πίεσης ως παραμέτρου πραγματοποίησης μιας ισοβαρούς μεταβολής,
- σχεδιάσουν τις γραφικές παραστάσεις P-V, P-T και V-T. (Ιωάννου κ.ά., 1999)

Διδακτική μεθοδολογία:

Καθοδηγούμενη ανακάλυψη. Οι μαθητές καθοδηγούνται μέσα από συγκεκριμένες δραστηριότητες ενός φύλλου εργασίας, έτσι ώστε να «ανακαλύψουν» τη νέα γνώση. (Αρναουτάκης κ.ά., 2005)

Εκτιμώμενη διάρκεια διδασκαλίας:

Δύο διδακτικές ώρες.

Προαπαιτούμενες γνώσεις μαθητών:

Για τη συγκεκριμένη διδασκαλία οι μαθητές θα πρέπει να γνωρίζουν ήδη τις καταστάσεις της ύλης, τις έννοιες/μεγέθη δύναμη, πίεση, όγκος, θερμοκρασία και τις μονάδες μέτρησής τους, τη σχέση που συνδέει τη δύναμη με την πίεση και τη χάραξη γραφικών παραστάσεων.

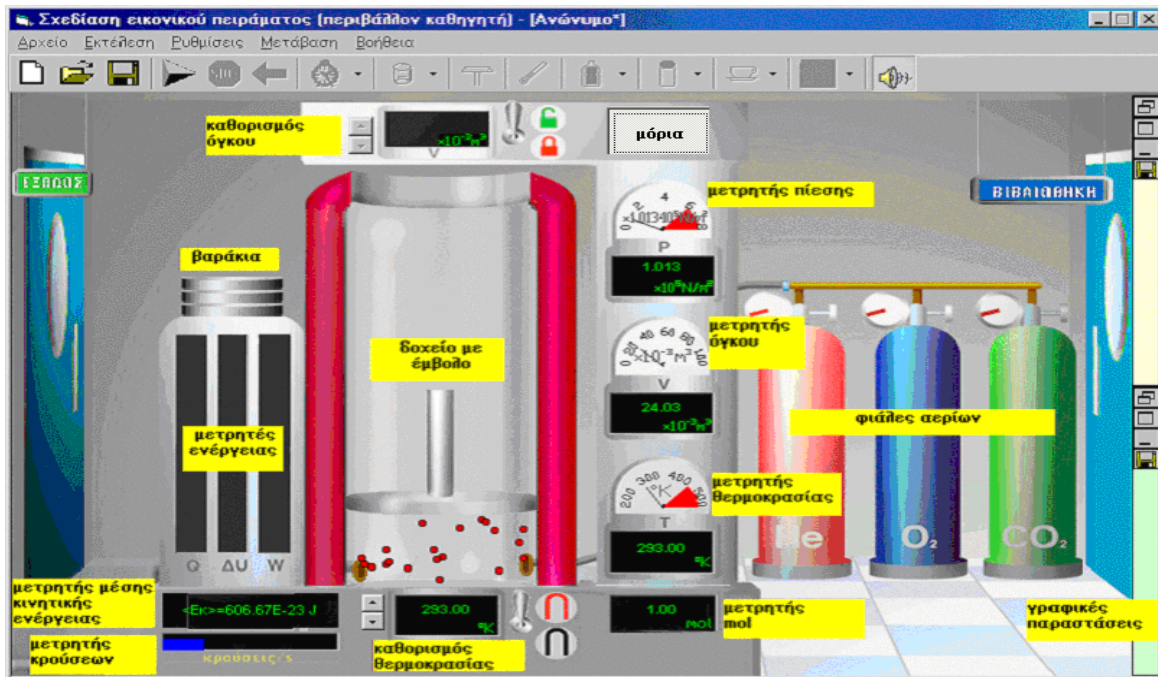
Λογισμικό που χρησιμοποιείται:

Η διδασκαλία πραγματοποιείται με τη βοήθεια του λογισμικού «Σύνθετο Εργαστηριακό Περιβάλλον» (Σ.Ε.Π.), όπως αυτό εικονίζεται στην παρακάτω Εικόνα 1, και το Εγχειρίδιο Χρήσης Λογισμικού Σ.Ε.Π. (Επιστημονική Ομάδα Προγράμματος «Ναυσικά», 1998). Στο εικονικό εργαστήριο θερμοδυναμικής προσομοιώνονται αρκετές μεταβολές των αερίων με παράλληλη απεικόνιση της κίνησης των μορίων του αερίου.

Οργάνωση της τάξης και απαιτούμενη υλικοτεχνική υποδομή:

Η/Υ, βιντεοπροβολέας, λογισμικό Σ.Ε.Π., φύλλο εργασίας.

Οι μαθητές είναι χωρισμένοι σε ομάδες των 4 ατόμων και δουλεύουν ομαδοσυνεργατικά. Οι μαθητές αλληλεπιδρούν με το λογισμικό Σ.Ε.Π και κάθε ομάδα καταγράφει τις μετρήσεις, τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά της, σύμφωνα με τις οδηγίες ενός φύλλου εργασίας.



Εικόνα 1: Λογισμικό Σ.Ε.Π. - Περιβάλλον εργαστηρίου θερμοδυναμικής

1.2. Φύλλο εργασίας

Το φύλλο εργασίας που ακολουθεί αποτελεί ένα αντιπροσωπευτικό μέρος του φύλλου εργασίας που δόθηκε στους μαθητές και εμπεριέχει τόσο τις προτεινόμενες απαντήσεις, όσο και το σκεπτικό της καθοδήγησης που ακολουθήθηκε σε κάθε δραστηριότητα.

Νόμος του Boyle (Μπόιλ, 1627-1691) - Ισόθερμη αντιστρεπτή μεταβολή.

Δραστηριότητες:

1. Στη συγκεκριμένη δραστηριότητα εκτελείται στο εικονικό εργαστήριο της θερμοδυναμικής, πείραμα ισόθερμης μεταβολής με 1mol αερίου He υπό σταθερή θερμοκρασία $T_1=293K$ και οι μαθητές συμπληρώνουν τον παρακάτω πίνακα τιμών (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Πίνακας τιμών ισόθερμης μεταβολής 1mol αερίου He υπό σταθερή θερμοκρασία $T_1=293K$

$V(x10^{-3}m^3)$	$P(x10^5N/m^2)$	PV(Nm)
5	4,868	2434
10	2,434	2434
15	1,623	2434,5
20	1,217	2434
25	0,974	2435

Με βάση τις μετρήσεις του Πίνακα 1, οι μαθητές καλούνται να απαντήσουν στα παρακάτω ερωτήματα:

- Τι παθαίνει η πίεση, όταν ο όγκος του αερίου αυξάνεται;

Απ.: Η πίεση του αερίου μειώνεται καθώς αυξάνεται ο όγκος του.

- Για κάθε ζεύγος μετρήσεων (V, P) τι παρατηρείτε για το γινόμενο PV;

Απ.: Το γινόμενο PV παραμένει σταθερό.

Με βάση τις απαντήσεις που δίνουν οι μαθητές στις παραπάνω ερωτήσεις, συμπληρώνουν το παρακάτω κείμενο που αποτελεί το νόμο του Boyle.

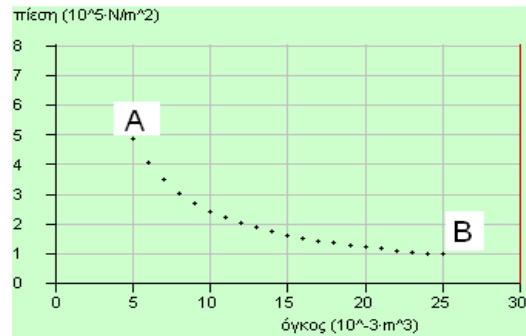
«Η πίεση (P) ορισμένης ποσότητας αερίου, του οποίου η θερμοκρασία (T) παραμένει σταθερή, είναιαντιστρόφως..... ανάλογη με τον όγκο του (V).

Η μαθηματική διατύπωση είναι:

$$(1) \text{ για } n, T \text{ σταθερά.}$$

Η μεταβολή ορισμένης ποσότητας αερίου στην οποία ο όγκος και η πίεση αλλάζει, αλλά η θερμοκρασία παραμένει σταθερή ονομάζεται ισόθερμη.»

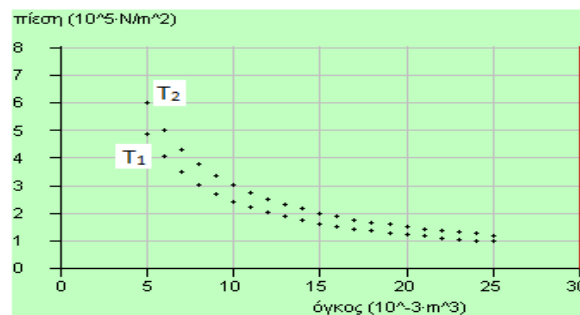
Ουσιαστικά αυτό που επιτυγχάνεται, από την παραπάνω δραστηριότητα, είναι ότι οι μαθητές μέσα από την πραγματοποίηση ενός εικονικού πειράματος και την επεξεργασία των μετρήσεων, καθοδηγούνται ώστε να «ανακαλύψουν» τον νόμο του Boyle. Στο φύλλο εργασίας ακολουθεί το διάγραμμα P-V, όπως το παρατηρούν οι μαθητές κατά την εξέλιξη του φαινομένου (Διάγραμμα 1).



Διάγραμμα 1. Διάγραμμα P-V ισόθερμης μεταβολής 1mol αερίου He υπό σταθερή θερμοκρασία $T_1=293K$

2. Οι μαθητές, μέσα από ένα δεύτερο πείραμα ισόθερμης μεταβολής 1mol αερίου He υπό σταθερή θερμοκρασία $T_2=363K$ και λαμβάνοντας τις αντίστοιχες μετρήσεις, αναγνωρίζουν τον ρόλο της τιμής της σταθερής θερμοκρασίας ως παραμέτρου της ισόθερμης μεταβολής (Διάγραμμα 2).

3. Οι μαθητές σχεδιάζουν τις γραφικές παραστάσεις P-T και V-T και για τα δύο τιμές σταθερής θερμοκρασίας.



Διάγραμμα 2. Κοινό διάγραμμα P-V ισόθερμης μεταβολής 1mol αερίου He υπό σταθερή θερμοκρασία $T_1=293K$ και $T_2=363K$

Νόμος του Charles (Σαρλ, 1746-1823) – Ισόχωρη αντιστρεπτή μεταβολή

Δραστηριότητες:

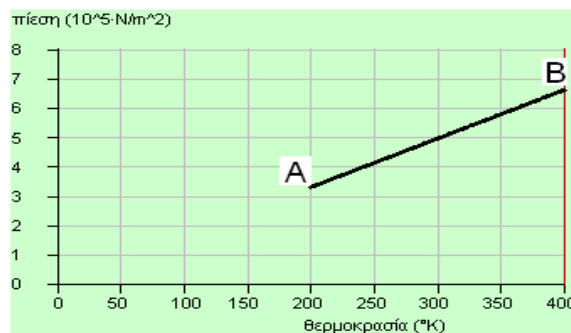
Η δομή και η φιλοσοφία των δραστηριοτήτων είναι όμοια με αυτή που ακολουθήθηκε κατά την ισόθερμη μεταβολή. Έτσι κατά την 1^η δραστηριότητα οι μαθητές εκτελούν, στο εικονικό εργαστήριο της θερμοδυναμικής, πείραμα ισόχωρης μεταβολής με 1mol αερίου He υπό σταθερό όγκο $V_1=5 \times 10^{-3} \text{m}^3$. Από την εκτέλεση του πειράματος λαμβάνουν ζεύγη τιμών (T, P) και υπολογίζουν κάθε φορά το πηλίκο P/T. Έτσι διαπιστώνουν την αναλογία μεταξύ πίεσης και θερμοκρασίας και διατυπώνουν το νόμο του Charles ως εξής.

«Η πίεση ορισμένης ποσότητας αερίου του οποίου ο όγκος διατηρείται σταθερός είναι*ανάλογη*..... με την απόλυτη θερμοκρασία του.

Η μαθηματική διατύπωση είναι:

$$(2) \text{ για } n, V=\text{σταθ.}$$

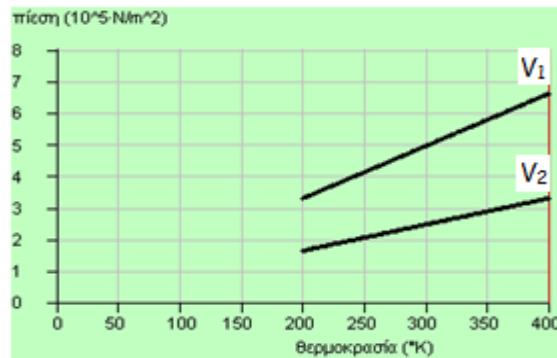
Η μεταβολή ορισμένης ποσότητας αερίου στην οποία η θερμοκρασία και η πίεση αλλάζει, αλλά ο όγκος παραμένει σταθερός, ονομάζεται ισόχωρη (Διάγραμμα 3)».



Διάγραμμα 3. Διάγραμμα P-T ισόχωρης μεταβολής 1mol αερίου He υπό σταθερό όγκο $V_1=5 \times 10^{-3} \text{m}^3$

Κατά τη 2^η δραστηριότητα οι μαθητές, μέσα από ένα δεύτερο πείραμα ισόχωρης μεταβολής 1mol αερίου He υπό σταθερό όγκο $V_2=10 \times 10^{-3} \text{m}^3$ και λαμβάνοντας τις αντίστοιχες μετρήσεις,

αναγνωρίζουν τον ρόλο της τιμής του σταθερού όγκου ως παραμέτρου της ισόχωρης μεταβολής (Διάγραμμα 4).



Διάγραμμα 4. Κοινό διάγραμμα P-T ισόχωρης μεταβολής 1mol αερίου He υπό σταθερό όγκο $V_1=5 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ και $V_2=10 \times 10^{-3} \text{ m}^3$

Κατά την 3^η δραστηριότητα οι μαθητές σχεδιάζουν τις γραφικές παραστάσεις P-V και V-T και για τις δύο τιμές σταθερού όγκου.

Νόμος του Gay-Lussac (Γκέι-Λουσσάκ, 1778-1850) - Ισοβαρής αντιστρεπτή μεταβολή

Δραστηριότητες:

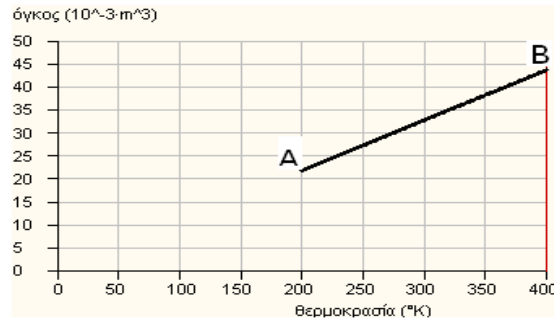
Κατά την 1^η δραστηριότητα οι μαθητές εκτελούν στο εικονικό εργαστήριο της θερμοδυναμικής, πείραμα ισοβαρούς μεταβολής 2mol αερίου He υπό σταθερή πίεση $P_1=1,520 \times 10^5 \text{ N/m}^2$. Από την εκτέλεση του πειράματος λαμβάνουν ζεύγη τιμών (T, V) και υπολογίζουν κάθε φορά το πηλίκο V/T. Έτσι διαπιστώνουν την αναλογία μεταξύ όγκου και θερμοκρασίας και διατυπώνουν το νόμο του Gay-Lussac, ως εξής:

«Ο όγκος ορισμένης ποσότητας αερίου του οποίου η πίεση διατηρείται σταθερή, είναιανάλογος..... με την απόλυτη θερμοκρασία του.

Η μαθηματική διατύπωση είναι:

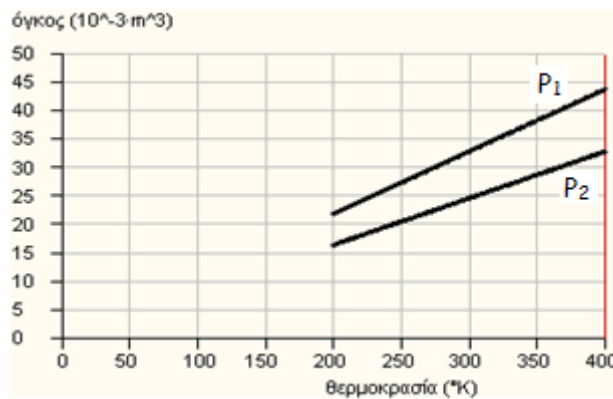
$$(3) \text{ για } n, P \text{ σταθερά.}$$

Η μεταβολή ορισμένης ποσότητας αερίου, στην οποία η θερμοκρασία και ο όγκος αλλάζει αλλά η πίεση παραμένει σταθερή, ονομάζεται ισοβαρής (Διάγραμμα 5)».



Διάγραμμα 5. Διάγραμμα V-T ισοβαρούς μεταβολής 2mol αερίου He υπό σταθερή πίεση $P_1=1,520 \times 10^5 \text{ N/m}^2$

Κατά τη 2^η δραστηριότητα οι μαθητές, μέσα από ένα δεύτερο πείραμα ισοβαρούς μεταβολής 2mol αερίου He υπό σταθερή πίεση $P_2=2,026 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ και λαμβάνοντας τις αντίστοιχες μετρήσεις, αναγνωρίζουν τον ρόλο της τιμής της σταθερής πίεσης ως παραμέτρου της ισοβαρούς μεταβολής (Διάγραμμα 6).



Διάγραμμα 6. Κοινό διάγραμμα V-T ισοβαρούς μεταβολής 2mol αερίου He υπό σταθερή πίεση $P_1=1,520 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ και $P_2=2,026 \times 10^5 \text{ N/m}^2$

Κατά την 3^η δραστηριότητα οι μαθητές σχεδιάζουν τις γραφικές παραστάσεις P-V και P-T και για τις δύο τιμές σταθερής πίεσης.

2. Σενάριο διδασκαλίας με εργαστηριακή πρακτική

2.1. Σχέδιο μαθήματος

Διδακτικοί στόχοι:

Είναι οι ίδιοι με αυτούς που αναφέρονται στη διδασκαλία με ΤΠΕ.

Διδακτική μεθοδολογία:

Καθοδηγούμενη ανακάλυψη.

Εκτιμώμενη διάρκεια διδασκαλίας:

Τρεις διδακτικές ώρες.

Προαπαιτούμενες γνώσεις μαθητών:

Είναι οι ίδιες που αναφέρονται στη διδασκαλία με ΤΠΕ.

Πειραματική διάταξη που χρησιμοποιείται:

Το πείραμα πραγματοποιείται με τη βοήθεια της συσκευής GLA01, η οποία υπάρχει στα Σχολικά Εργαστήρια Φυσικών Επιστημών. Η συσκευή αποτελείται από (Εικόνα 2):

- Κυλινδρικό μεταλλικό θάλαμο όγκου 360mL, που είναι κλειστός στο ένα άκρο και στο εσωτερικό του προσαρμόζεται χειροκίνητο έμβολο.
- Μεταλλικό μανόμετρο με κλίμακα από 0–2,5bar, στο οποίο είναι προσαρμοσμένος εύκαμπτος σωλήνας για τη σύνδεσή του με το μεταλλικό θάλαμο μέσω κατάλληλης στρόφιγγας τριών εισόδων.
- Ψηφιακό πολύμετρο/θερμόμετρο με αισθητήρα θερμοκρασίας.

- Βαθμονομημένη κλίμακα από 0–360mL, η οποία αντιστοιχεί στον όγκο του αέρα που εγκλωβίζεται στο θάλαμο σε κάθε φάση του πειράματος.
- Δύο στρόφιγγες τριών εισόδων κατάλληλα συνδεδεμένες μεταξύ τους.
- Κυλινδρικό δοχείο από PVC (υδατόλουτρο) μέσα στο οποίο τοποθετείται ο μεταλλικός θάλαμος για δημιουργία μεταβαλλόμενων συνθηκών θερμοκρασίας ή για τη δημιουργία περιβάλλοντος σταθερής θερμοκρασίας.



Εικόνα 2: Η συσκευή GLA01 συναρμολογημένη

Οργάνωση της τάξης και απαιτούμενη υλικοτεχνική υποδομή:

Η διδασκαλία πραγματοποιείται στο Σχολικό Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών. Συγκεκριμένα, οι μαθητές είναι χωρισμένοι σε ομάδες των 4 ατόμων και δουλεύουν ομαδοσυνεργατικά εκτελώντας τις δραστηριότητες που περιέχονται στο φύλλο εργασίας. Οι δραστηριότητες σχετίζονται τόσο με τον χειρισμό της παραπάνω πειραματικής συσκευής όσο και με τη λήψη πειραματικών μετρήσεων και την εξαγωγή συμπερασμάτων.

2.2. Φύλλο εργασίας

Νόμος του Boyle (Μπόιλ, 1627-1691) - Ισόθερμη αντιστρεπτή μεταβολή.

Δραστηριότητες:

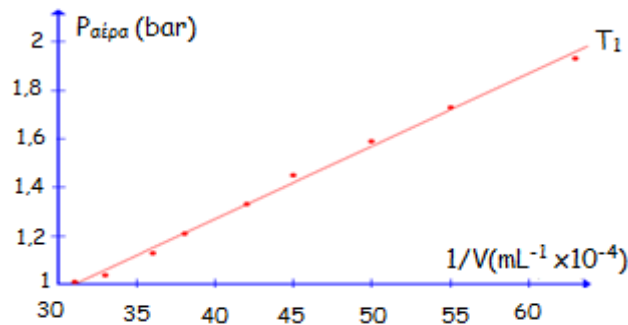
1. Οι μαθητές εισάγουν 320mL αέρα στον κυλινδρικό θάλαμο και στη συνέχεια γεμίζουν πολύ αργά το υδατόλουτρο με νερό 20°C περίπου ($T_1=293K$). Η θερμοκρασία αυτή θα παραμένει σταθερή για όλη τη διάρκεια του πειράματος. Στη συνέχεια μειώνουν τον όγκο του αέρα κατά 20mL κατεβάζοντας αργά το έμβολο στον κυλινδρικό θάλαμο και συμπληρώνουν τον παρακάτω πίνακα τιμών (Πίνακας 2).

Πίνακας 2. Πίνακας τιμών ισόθερμης μεταβολής αέρα υπό σταθερή θερμοκρασία $T_1=293K$

V(mL)	1/V(mL ⁻¹)	P _{μην} (bar)	P _{αέρα} (bar)	P _{αέρα} V(barmL)
320	0,0031	0	1,01	323,2
300	0,0033	0,03	1,04	312,0
280	0,0036	0,12	1,13	316,4
260	0,0038	0,20	1,21	314,6
240	0,0042	0,32	1,33	319,2
220	0,0045	0,44	1,45	319,0
200	0,0050	0,58	1,59	318,0
180	0,0055	0,72	1,73	311,4
160	0,0063	0,92	1,93	308,8

Κάθε στιγμή η πίεση του αέρα στο δοχείο είναι: $P_{αέρα} = P_{ατμοσφαιρική} + P_{μηνόμετρου}$

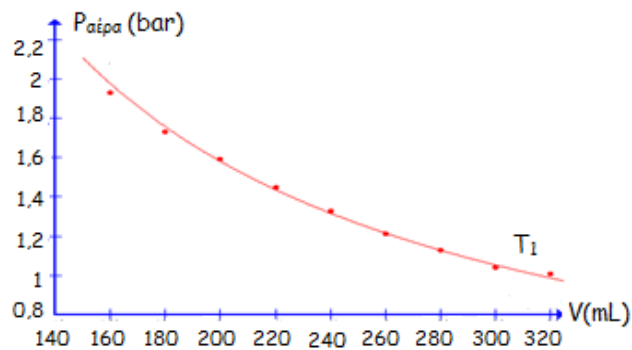
Με βάση τις μετρήσεις του Πίνακα 2, οι μαθητές διαπιστώνουν ότι η πίεση του αέρα αυξάνεται καθώς μειώνεται ο όγκος του, αλλά, προκειμένου να διαπιστώσουν την αναλογία μεταξύ $P_{αέρα}$ και V, καλούνται να απεικονίσουν τις πειραματικές μετρήσεις ($1/V-P_{αέρα}$) στο αντίστοιχο διάγραμμα και να φέρουν την καλύτερη ευθεία (Διάγραμμα 7).



Διάγραμμα 7. Διάγραμμα $P_{\text{αέρα}}-1/V$ ισόθερμης μεταβολής αέρα υπό σταθερή θερμοκρασία $T_1=293K$

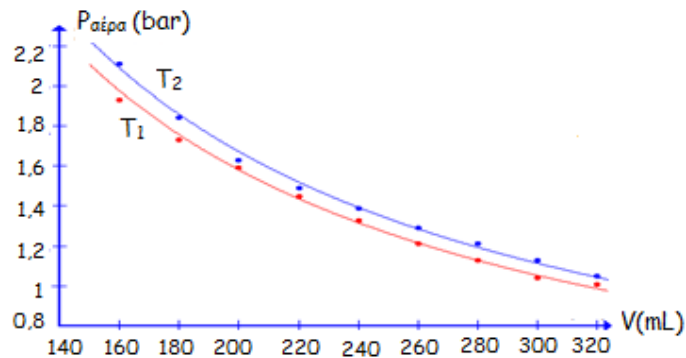
Από την τεχνική αυτή οι μαθητές διαπιστώνουν ότι τα ποσά $P_{\text{αέρα}}$ και $1/V$ είναι ανάλογα, άρα τα ποσά $P_{\text{αέρα}}$ και V είναι αντιστρόφως ανάλογα. Έτσι καθοδηγούνται στο να ανακαλύψουν το νόμο του Boyle.

2. Στη δεύτερη δραστηριότητα οι μαθητές σχεδιάζουν το διάγραμμα $P_{\text{αέρα}}-V$ (Διάγραμμα 8).



Διάγραμμα 8. Διάγραμμα $P_{\text{αέρα}}-V$ ισόθερμης μεταβολής αέρα υπό σταθερή θερμοκρασία $T_1=293K$

3. Οι μαθητές επαναλαμβάνουν την 1^η δραστηριότητα για την ίδια ποσότητα αέρα, αλλά αυτή τη φορά υπό σταθερή θερμοκρασία περίπου 60°C ($T_2=333K$), με σκοπό να αναγνωρίσουν τον ρόλο της τιμής της σταθερής θερμοκρασίας ως παραμέτρου της ισόθερμης μεταβολής και σχεδιάζουν το παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 9).



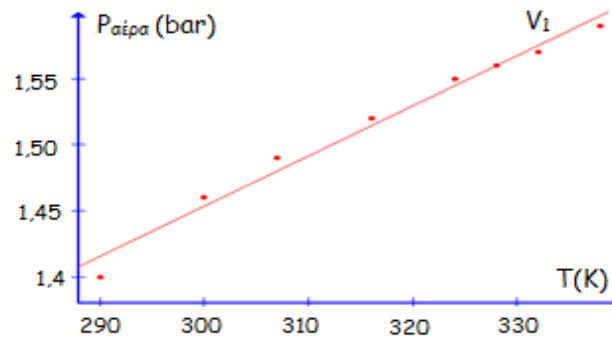
Διάγραμμα 9. Κοινό διάγραμμα $P_{\alpha\acute{\epsilon}\rho\alpha}$ - V ισόθερμης μεταβολής αέρα υπό σταθερή θερμοκρασία $T_1=293K$ και $T_2=333K$

4. Οι μαθητές σχεδιάζουν τις γραφικές παραστάσεις P-T και V-T και για τις δύο τιμές σταθερής θερμοκρασίας.

Νόμος του Charles (Σαρλ, 1746-1823) - Ισόχωρη μεταβολή

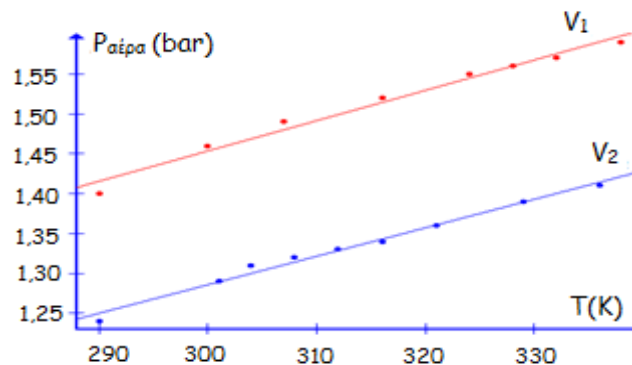
Δραστηριότητες:

1. Οι μαθητές εισάγουν στον κυλινδρικό θάλαμο ατμοσφαιρικό αέρα και καθορίζουν τον όγκο του ώστε να είναι σταθερός στην τιμή $V_1=130\text{mL}$. Σε επόμενο στάδιο γεμίζουν πολύ αργά το υδατόλουτρο με ζεστό νερό θερμοκρασίας περίπου 60°C . Οι μαθητές προκειμένου να μειώνουν τη θερμοκρασία του υδατόλουτρου και επομένως και του αερίου, αφαιρούν κάθε φορά περίπου 40mL ζεστό νερό από το στόμιο απορροής και προσθέτουν με τη σύριγγα 40mL κρύο νερό από το στόμιο πλήρωσης. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνουν μια ισόχωρη μεταβολή και λαμβάνουν κάθε φορά ζεύγη πειραματικών τιμών (T, $P_{\alpha\acute{\epsilon}\rho\alpha}$). Με βάση τις μετρήσεις, οι μαθητές διαπιστώνουν ότι η πίεση του αέρα μειώνεται καθώς μειώνεται η θερμοκρασία του, αλλά το συμπέρασμα για την αναλογία μεταξύ $P_{\alpha\acute{\epsilon}\rho\alpha}$ και T το εξάγουν μέσω της γραφικής παράστασης $P_{\alpha\acute{\epsilon}\rho\alpha}$ -T (Διάγραμμα 10). Έτσι οι μαθητές καθοδηγούνται ώστε να ανακαλύψουν το νόμο του Charles.



Διάγραμμα 10. Διάγραμμα $P_{\text{αέρα}}-T$ ισόχωρης μεταβολής αέρα υπό σταθερό όγκο $V_1=130\text{mL}$

2. Οι μαθητές επαναλαμβάνουν την 1^η δραστηριότητα για την ίδια ποσότητα αέρα, αλλά αυτή τη φορά υπό σταθερό όγκο $V_2=160\text{mL}$, με σκοπό να αναγνωρίσουν το ρόλο της τιμής του σταθερού όγκου ως παραμέτρου της ισόχωρης μεταβολής και σχεδιάζουν το παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 11).



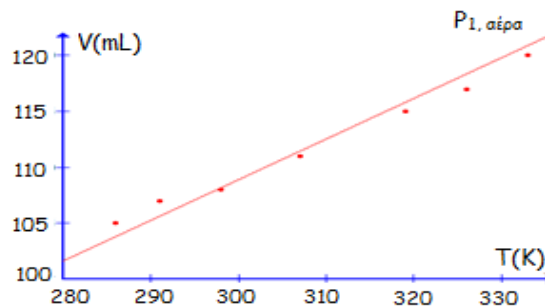
Διάγραμμα 11. Κοινό διάγραμμα $P_{\text{αέρα}}-T$ ισόχωρης μεταβολής αέρα υπό σταθερό όγκο $V_1=130\text{mL}$ και $V_2=160\text{mL}$

3. Οι μαθητές σχεδιάζουν τις γραφικές παραστάσεις P-V και V-T και για τις δύο τιμές σταθερού όγκου.

Νόμος του Gay-Lussac (Γκέι-Λουσσάκ, 1778-1850) - Ισοβαρής μεταβολή

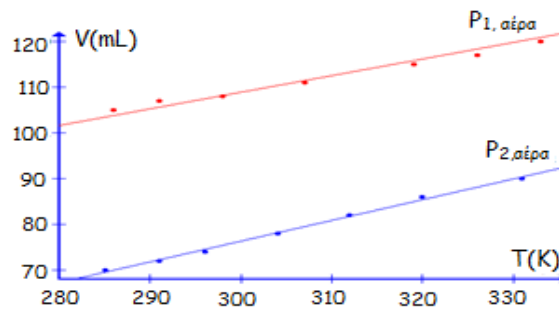
Δραστηριότητες:

1. Οι μαθητές εισάγουν ατμοσφαιρικό αέρα στον κυλινδρικό θάλαμο και καθορίζουν την πίεσή του, ώστε να είναι σταθερή στην τιμή $P_{1,αέρα}=1,71\text{bar}$. Στη συνέχεια γεμίζουν πολύ αργά το υδατόλουτρο με ζεστό νερό θερμοκρασίας περίπου 60°C και προκειμένου να μειώνουν τη θερμοκρασία του υδατόλουτρου και επομένως και του αερίου, αφαιρούν περίπου 40mL ζεστό νερό από το στόμιο απορροής και προσθέτουν 40mL κρύο νερό από το στόμιο πλήρωσης. Καθώς όμως θα μειώνεται η θερμοκρασία του αέρα θα τείνει να μειώνεται και η πίεσή του. Επειδή όμως επιχειρείται η πίεση του αερίου να παραμένει σταθερή, οι μαθητές προσπαθούν με δεξιότητες να μειώνουν πολύ αργά τον όγκο του δοχείου μέσω της χειρολαβής για όσο χρόνο μειώνεται η θερμοκρασία του αερίου έτσι ώστε η πίεση του αερίου να παραμένει σχεδόν σταθερή. Τελικά, το αέριο θα έχει φθάσει σε μια νέα κατάσταση με νέα θερμοκρασία και νέα τιμή όγκου. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται μια ισοβαρής μεταβολή και οι μαθητές λαμβάνουν πειραματικά ζεύγη τιμών (V, T). Με βάση τις μετρήσεις τους διαπιστώνουν ότι ο όγκος του αέρα μειώνεται καθώς μειώνεται η θερμοκρασία του και εξάγουν το συμπέρασμα ότι V και T είναι ανάλογα μέσα από τη σχεδίαση της γραφικής παράστασης V-T (Διάγραμμα 12). Έτσι οι μαθητές καθοδηγούνται ώστε να ανακαλύψουν το νόμο του Gay-Lussac.



Διάγραμμα 12. Διάγραμμα V-T ισοβαρούς μεταβολής αέρα υπό σταθερή πίεση $P_{1,αέρα}=1,71\text{bar}$

2. Οι μαθητές επαναλαμβάνουν την 1^η δραστηριότητα για την ίδια ποσότητα αέρα, αλλά αυτή τη φορά υπό σταθερή πίεση $P_{2,αέρα}= 2,11\text{bar}$, με σκοπό να αναγνωρίσουν τον ρόλο της τιμής της σταθερής πίεσης ως παραμέτρου της ισοβαρούς μεταβολής και σχεδιάζουν το παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 13).



Διάγραμμα 13. Κοινό διάγραμμα V-T ισοβαρούς μεταβολής αέρα υπό σταθερή πίεση $P_{1,αέρα}=1,71bar$ και $P_{2,αέρα}=2,11bar$

3. Οι μαθητές σχεδιάζουν τις γραφικές παραστάσεις P-V και P-T και για τις δύο τιμές σταθερής πίεσης.

3. Προετοιμασία δείγματος μαθητών και συλλογή δεδομένων

Το σενάριο διδασκαλίας με χρήση ΤΠΕ πραγματοποιήθηκε σε δείγμα 43 μαθητών ενώ το σενάριο διδασκαλίας με εργαστηριακή πρακτική πραγματοποιήθηκε σε δείγμα 41 μαθητών. Όλοι οι μαθητές φοιτούσαν στη Β' Λυκείου σε τμήματα θετικής και τεχνολογικής κατεύθυνσης. Κατά την εφαρμογή των σεναρίων, οι μαθητές δούλευαν ομαδοσυνεργατικά σε ομάδες των 4 ατόμων. Η σύνθεση των ομάδων έγινε λαμβάνοντας υπόψη τα κοινωνιομετρικά τεστ που είχαν συμπληρωθεί από τους μαθητές (Ματσαγγούρας, 2000) καθώς και την ανομοιογένεια που θα πρέπει να διακρίνει κάθε ομάδα, τόσο ως προς τις δεξιότητες των μελών της, όσο και ως προς τις πολιτισμικές τους καταβολές. (Ματσαγγούρας, 2005)

Όσον αφορά στη συλλογή των δεδομένων από την εφαρμογή κάθε σεναρίου, ακολουθήθηκαν δυο πρακτικές. Η πρώτη σχετιζόταν με την καταγραφή παρατηρήσεων από τον διδάσκοντα που αφορούσαν τόσο στα ποιοτικά χαρακτηριστικά της υλικοτεχνικής υποδομής, όσο και στην αποτελεσματικότητα του φύλλου εργασίας. Συγκεκριμένα δόθηκε έμφαση στο πόσο εύχρηστη ήταν η πειραματική διάταξη αλλά και στο πόσο οικείο και εύχρηστο ήταν και το λογισμικό προσομοίωσης από τους μαθητές. Επίσης καταγράφηκαν παρατηρήσεις που σχετιζόνταν με το κατά πόσο οι μαθητές «μνήθηκαν» στις εργαστηριακές τεχνικές αλλά και κατά πόσο ανέπτυξαν τη φυσική τους διαίσθηση βοηθούμενοι από το λογισμικό προσομοίωσης. Τέλος μελετήθηκε αν επιτεύχθηκαν οι διδακτικοί στόχοι μέσα από τις δραστηριότητες που έθετε το αντίστοιχο φύλλο εργασίας, με σκοπό την ανατροφοδότηση της όλης διαδικασίας.

Η δεύτερη πρακτική για τη συλλογή δεδομένων αφορούσε σε ερωματολόγιο που δόθηκε στους μαθητές να συμπληρώσουν, στο τέλος της διδασκαλίας. Οι ερωτήσεις που τέθηκαν σχετίζονταν με το αν ήταν προσιτή η πειραματική διάταξη και το περιβάλλον προσομοίωσης που κλήθηκαν να χρησιμοποιήσουν, αν οι δραστηριότητες ήταν κατανοητές, αν στην ομάδα υπήρξε συνεργασία, αν έκριναν ότι η εργασία σε ομάδες τους βοήθησε να αποκτήσουν τη νέα γνώση και τέλος αν προτιμούσαν τους μονολόγους του καθηγητή σε μια δασκαλοκεντρικού τύπου διδασκαλία σε σχέση με τη διδασκαλία στην οποία συμμετείχαν.

4. Παρατηρήσεις και συμπεράσματα από την εφαρμογή των δυο διδακτικών προσεγγίσεων

Οι παρατηρήσεις και τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων, έχουν ως εξής:

Παρατήρηση 1η: Στη διδασκαλία με ΤΠΕ οι μαθητές ταυτόχρονα με την πραγματοποίηση των εικονικών πειραμάτων παρακολουθούσαν το πώς αποτυπώνονταν τα πειραματικά ζεύγη τιμών (V, P), (T, P) (T, V) στα αντίστοιχα διαγράμματα P-V, P-T και V-T. Κατά την εργαστηριακή διδασκαλία οι μαθητές κατέγραφαν πρώτα τα πειραματικά ζεύγη τιμών (V, P), (T, P) (T, V) και στη συνέχεια σχεδίαζαν τα αντίστοιχα διαγράμματα P-V, P-T και V-T.

Συμπέρασμα: Στη διδασκαλία με ΤΠΕ, η πραγματοποίηση ενός πειράματος και η ταυτόχρονη απεικόνιση της αντίστοιχης γραφικής παράστασης βοηθάει τους μαθητές να διαπιστώσουν ότι οι γραφικές παραστάσεις αποτελούν ουσιαστικά την καταγραφή των αντίστοιχων φαινομένων και όχι ένα μαθηματικό «τρικ» που έπεται του φαινομένου. Κατά την εργαστηριακή διδασκαλία, όπου ζητείται από τους μαθητές να καταγράψουν πρώτα τις μετρήσεις τους και στη συνέχεια να σχεδιάσουν τις αντίστοιχες γραφικές παραστάσεις, επιχειρείται να αποκτήσουν οι μαθητές την καθεαυτού εργαστηριακή τεχνική και να διαπιστώσουν ότι η σωστή σχεδίαση και επεξεργασία των γραφικών παραστάσεων μπορούν να οδηγήσουν σε πολύτιμα συμπεράσματα. Πάντως και από τις δυο διδακτικές προσεγγίσεις αναδεικνύεται η αναγκαιότητα των γραφικών παραστάσεων, αφού δίνουν τη δυνατότητα της περιγραφής, αλλά και της πρόβλεψης ενός φαινομένου.

Παρατήρηση 2η: Κατά τη διδασκαλία με ΤΠΕ, στα εικονικά πειράματα χρησιμοποιήθηκε ιδανικό αέριο και οι μαθητές διαπίστωσαν ότι $PV=\text{σταθ.}$, $P/T=\text{σταθ.}$ και $V/T=\text{σταθ.}$, υπολογίζοντας μόνο τα αντίστοιχα γινόμενα ή πηλίκα. Αντίθετα, κατά την εργαστηριακή διδασκαλία, όπου χρησιμοποιήθηκε για τα πειράματα ατμοσφαιρικός αέρας, οι μαθητές

διαπίστωσαν τις παραπάνω σχέσεις μέσα από μια καθαρά εργαστηριακή τεχνική, τη μέθοδο της γραμμοποίησης.

Συμπέρασμα: Μέσα και από τις δυο διδακτικές προσεγγίσεις μπορούμε να εισάγουμε στους μαθητές το πρότυπο του ιδανικού αερίου, διατυπώνοντας την παρατήρηση ότι οι τρεις νόμοι των αερίων ισχύουν για τα διάφορα αέρια με μικρές ή μεγάλες αποκλίσεις και, συγκεκριμένα, ισχύουν με μεγαλύτερη ακρίβεια για ένα μονοατομικό αέριο παρά για ένα πολυατομικό αέριο.

Παρατήρηση 3η: Κατά τη διδασκαλία με ΤΠΕ οι μαθητές προσέγγισαν τις μεταβολές των αερίων και μακροσκοπικά μετρώντας πίεση, όγκο και θερμοκρασία, αλλά και μικροσκοπικά, έστω και με ποιοτικό χαρακτήρα, αφού είχαν τη δυνατότητα να παρατηρούν συνεχώς τις κινήσεις των μορίων του αερίου μέσω της προσομοίωσης. Κατά την εργαστηριακή διδασκαλία δεν υπήρξε η δυνατότητα της προσομοίωσης των μορίων του αερίου και έτσι το «μυστήριο» για το πώς είναι το αέριο μέσα στο κυλινδρικό θάλαμο παρέμεινε.

Συμπέρασμα: Με το περιβάλλον προσομοίωσης οι μαθητές αναπτύσσουν τη φυσική τους διαίσθηση μιας και τους δίνεται η δυνατότητα να κάνουν την πολυπόθητη κατάδυση στο εσωτερικό του μικρόκοσμου των αερίων (Κασσέτας, 2000). Στον αντίλογο βέβαια βρίσκεται η άποψη ότι κατά την εργαστηριακή διδασκαλία ο μαθητής καλλιεργεί τη φαντασία του για το πώς είναι ένα αέριο σε μικροσκοπικό επίπεδο, κάτι που διδακτικά κάποιες φορές όχι μόνο είναι αποδεκτό αλλά είναι και ζητούμενο.

Παρατήρηση 4η: Η διδασκαλία με ΤΠΕ ολοκληρώθηκε σε δυο ώρες, ενώ για την εργαστηριακή διδασκαλία απαιτήθηκαν πέντε με έξι ώρες.

Συμπέρασμα: Η διδασκαλία με ΤΠΕ συνήθως δεν κρύβει «εκπλήξεις», και ολοκληρώνεται μέσα στον εκτιμώμενο χρόνο των δυο ωρών. Αντίθετα, η εργαστηριακή διδασκαλία δύσκολα ολοκληρώνεται στον εκτιμώμενο χρόνο των τριών ωρών, διότι συχνά οι μαθητές αντιμετωπίζουν δυσκολίες κατά τον χειρισμό της πειραματικής διάταξης. Βέβαια αυτό είναι ένα γενικότερο συμπέρασμα που αφορά στην εργαστηριακή διδασκαλία, το οποίο όμως σε καμία περίπτωση δεν θα πρέπει να λειτουργεί αποτρεπτικά μιας και όλη η γοητεία της εργαστηριακής διδασκαλίας βρίσκεται στην ανάπτυξη δεξιοτήτων από τους μαθητές κατά την συναρμολόγηση και το χειρισμό της εκάστοτε πειραματικής διάταξης.

Παρατήρηση 5η: Κατά τη διδασκαλία με ΤΠΕ το 82% των μαθητών βρήκε αρκετά ελκυστικό το περιβάλλον προσομοίωσης, ενώ κατά την εργαστηριακή διδασκαλία το 73% των μαθητών χαρακτήρισε ενδιαφέρουσα την πειραματική διάταξη. Το υπόλοιπο ποσοστό

μαθητών, σε κάθε περίπτωση, περίμενε κάτι ποιο εντυπωσιακό, χωρίς όμως να προτείνει κάτι συγκεκριμένο.

Συμπέρασμα: Ανεξάρτητα από το διδακτικό αποτέλεσμα, οι μαθητές έδειξαν ελαφρά πιο εξοικειωμένοι, πιο δεκτικοί και ίσως πιο έτοιμοι να αλληλεπιδράσουν με το πρόγραμμα προσομοίωσης σε σχέση με το χειρισμό της πειραματικής διάταξης.

Παρατήρηση 6η: Η παρακάτω αυτή αφορά και στις δυο διδακτικές προσεγγίσεις και ίσως είναι από τις πιο σημαντικές. Όταν ζητήθηκε από τους μαθητές να τοποθετηθούν γενικότερα πάνω στη διδακτική προσέγγιση στην οποία συμμετείχαν, ένας μικρός αριθμός μαθητών, σε ποσοστό περίπου 20%, διατύπωσαν την άποψη ότι η διδασκαλία αν και ήταν πρωτότυπη και κατανοητή δεν τους βοήθησε να καταλάβουν κάτι περισσότερο σε σχέση με το να είχαν παρακολουθήσει μια δασκαλοκεντρικού τύπου διδασκαλία. Οι ίδιοι μαθητές, συνεχίζοντας τη σκέψη τους, παρατήρησαν ότι η εργασία σε ομάδες δεν τους προσέφερε περισσότερη βοήθεια και ότι θα δούλευαν το φύλλο εργασίας το ίδιο καλά ακόμα και μόνοι τους. Να σημειωθεί ότι οι μαθητές που έκαναν αυτές τις παρατηρήσεις είχαν αρκετά καλή πορεία κατά τη διάρκεια της σχολικής χρονιάς, ήταν επιμελείς και έλυναν ασκήσεις με σχετική ευκολία.

Συμπέρασμα: Στους μαθητές είναι βαθιά ριζωμένη η δασκαλοκεντρικού τύπου διδασκαλία, με αποτέλεσμα ορισμένοι όχι μόνο να μην επιζητούν μια νέα τύπου διδασκαλία που έχει στο κέντρο το μαθητή, αλλά αρκετές φορές να εκφράζουν και δυσαρέσκεια σε κάτι διαφορετικό. Επίσης, αναδεικνύεται η αδυναμία, αλλά και η απροθυμία μιας ικανής μερίδας μαθητών να δουλεύουν σε ομάδες. Βέβαια κάτι τέτοιο είναι αναμενόμενο αν αναλογιστούμε ότι οι μαθητές δεν έχουν συνηθίσει να δουλεύουν ομαδοσυνεργατικά. Η ομαδοσυνεργατική διδασκαλία εκφράζει μια ολόκληρη εκπαιδευτική και διδακτική φιλοσοφία, η οποία πρέπει να υποστηρίζεται και να εφαρμόζεται από πολύ μικρές τάξεις.

5. Πρόταση διδακτικής παρέμβασης που συνδυάζει ΤΠΕ και εργαστηριακή πρακτική

Με βάση τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματα που καταγράφηκαν κατά την εφαρμογή των δυο παραπάνω διδακτικών προσεγγίσεων, προτείνεται μια διδακτική παρέμβαση που θα συνδυάζει, αλλά και θα αξιοποιεί τόσο το περιβάλλον προσομοίωσης όσο και την εργαστηριακή πρακτική. (Ζησιμόπουλος κ.α., 2002)

Η φιλοσοφία της νέας διδακτικής προσέγγισης (σχέδιο μαθήματος και φύλλο εργασίας) θα είναι παρόμοια με τις δυο προηγούμενες, με τη διαφορά ότι θα απαιτηθούν περίπου έξι διδακτικές ώρες. Συγκεκριμένα, αυτό που προτείνεται να γίνεται σε κάθε μεταβολή (ισόθερμη, ισόχωρη και ισοβαρή) είναι το εξής:

- **Ισόθερμη μεταβολή:** Με τη βοήθεια του περιβάλλοντος προσομοίωσης θα πραγματοποιείται πείραμα ισόθερμης μεταβολής σε μια συγκεκριμένη τιμή σταθερής θερμοκρασίας και θα ακολουθούν οι δραστηριότητες που εμπεριέχονται στο φύλλο εργασίας με ΤΠΕ, μέχρι και τη διατύπωση του νόμου του Boyle. Στη συνέχεια, για μια καινούργια τιμή σταθερής θερμοκρασίας θα πραγματοποιείται πείραμα ισόθερμης μεταβολής με την πειραματική διάταξη και θα ακολουθούν οι δραστηριότητες που εμπεριέχονται στο φύλλο εργασίας της εργαστηριακής διδασκαλίας, μέχρι τη διατύπωση του νόμου του Boyle. Σε επόμενο στάδιο, θα ζητείται από τους μαθητές να σχολιάσουν τις όποιες διαφορές παρατηρούνται από την επεξεργασία των μετρήσεων που λαμβάνονται από το πραγματικό και το εικονικό εργαστήριο και θα καθοδηγούνται στο να εξηγήσουν τις παρατηρούμενες διαφορές. Έτσι στο σημείο αυτό θα εισάγεται το πρότυπο του ιδανικού αερίου. Αξιοποιώντας επίσης τη δυνατότητα που προσφέρει το λογισμικό για χρήση ιδανικού αερίου, μπορεί να τεθεί ένας επιπλέον στόχος που θα είναι η έννοια της αντιστρεπτής μεταβολής. Το συγκεκριμένο εικονικό εργαστήριο δίνει τη δυνατότητα πραγματοποίησης αντιστρεπτών μεταβολών με πολύ ελεγχόμενο τρόπο και έτσι ένας διδακτικός στόχος, που δεν μπορεί να επιτευχθεί εύκολα μέσω της πειραματικής διάταξης, θα μπορέσει να επιτευχθεί με την αξιοποίηση των δυνατοτήτων που προσφέρει το συγκεκριμένο λογισμικό.

- **Ισόχωρη μεταβολή και ισοβαρής μεταβολή:** Ακολουθούνται τα ίδια βήματα όπως και στην ισόθερμη μεταβολή, αλλά για δυο διαφορετικές τιμές σταθερού όγκου και δυο διαφορετικές τιμές σταθερής πίεσης αντίστοιχα.

6. Συζήτηση - Επίλογος

Οι παρατηρήσεις και τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή στην τάξη των δυο παραπάνω σεναρίων διδασκαλίας έρχονται να ενισχύουν έναν ικανό αριθμό μελετών που δείχνουν ότι τόσο η εργαστηριακή πρακτική (Κασσέτας, 2004), όσο και η χρήση ΤΠΕ (Καλκάνης, 2000) στη διδακτική πράξη έχουν τη δική τους προστιθέμενη αξία, αρκεί να γίνει η σωστή διδακτική αξιοποίησή τους. (Κόκκοτας, 2004) Για το λόγο αυτό τέθηκε και ως επόμενος στόχος η ανάπτυξη ενός διδακτικού σεναρίου διδασκαλίας που θα συνδυάζει και θα αξιοποιεί και τις δυνατότητες που προσφέρουν οι ΤΠΕ αλλά και την μοναδική και αξεπέραστη δυναμικότητα και γοητεία του εργαστηρίου (Κασσέτας, 2004 · Ζησιμόπουλος κ.α., 2002). Πέρα όμως από την διδακτική αξιοποίηση της κάθε μεθόδου, στη συγκεκριμένη εργασία αποτιμήθηκε και η γενικότερη φιλοσοφία της μαθητοκεντρικής διδασκαλίας που διέπει τα συγκεκριμένα διδακτικά σεναρία. Η συγκεκριμένη έρευνα, αλλά και πλήθος παρόμοιων μελετών ουσιαστικά δείχνουν ότι οποιοδήποτε διδακτικό μονοπάτι έχει στο κέντρο τους μαθητές, όσο δύσκολο και απαιτητικό και αν είναι, στο τέλος αποζημιώνει τόσο το διδάσκοντα όσο και τους μαθητές. (Ματσαγγούρας, 2005) Άλλωστε ας έχουμε στο μυαλό μας ότι:

Μέσα από μια μαθητοκεντρική διδασκαλία ίσως κάποιος διδάσκων και να αποτύχει. Αν όμως δεν την εφαρμόσει ποτέ, τότε σίγουρα δεν θα γευτεί ποτέ την επιτυχία της!

Βιβλιογραφία

- Αρναουτάκης, Ι., Καρανίκας, Ι., Καραπαναγιώτης, Β., Κόκκοτας, Π., Κουρελής, Ι. (2005). *Πειράματα Φυσικής για το Δημοτικό, το Γυμνάσιο και το Λύκειο*. Αθήνα: Γρηγόρης.
- Driver, R., Squires, A., Rushworth, P., Wood-Robinson, V. (1998). *Οικοδομώντας τις έννοιες των Φυσικών Επιστημών. Μια παγκόσμια σύνοψη των ιδεών των μαθητών*. (επιμέλεια Κόκκοτας Π., μετάφραση Χατζή Μ.). Αθήνα: Τυπωθήτω.
- Επιστημονική ομάδα του προγράμματος «Ναυσικά», (1998). *Εγχειρίδιο χρήσης λογισμικού Σ.Ε.Π.* Πάτρα: ΥΠΕΠΘ-ΕΠΕΑΕΚ.
- Ζησιμόπουλος, Γ., Καφετζόπουλος, Κ., Μουτζούρη, Ε., Παπασταματίου, Ν., (2002). *Θέματα διδακτικής για τα μαθήματα των Φυσικών Επιστημών*. Αθήνα: Πατάκης.
- Ιωάννου, Α., Ντάνος, Ι., Πήττας, Α., Ράπτης, Σ. (1999). *Φυσική θετικής και Τεχνολογικής Κατεύθυνσης Β' Τάξη Γενικού Λυκείου*. Αθήνα: ΟΕΔΒ.
- Καλκάνης, Θ., (2000). *Εφαρμογές των Τεχνολογιών Πληροφορικής στις Φυσικές Επιστήμες*. Αθήνα: Παν/μιο Αθηνών.
- Κασσέτας, Α. (2000). *Το μακρόν Φυσική προ του βραχέως διδάσκω*. Αθήνα: Σαββάλας.
- Κασσέτας, Α. (2004). *Το Μήλο και το Κουάρκ*. Αθήνα: Σαββάλας.
- Κόκκοτας, Π. (2004). *Διδακτική των Φυσικών Επιστημών*. Αθήνα: Γρηγόρης.
- Ματσαγγούρας, Η., (2000). *Ομαδοσυνεργατική διδασκαλία και μάθηση*. Αθήνα: Γρηγόρης
- Ματσαγγούρας, Η., (2005). *Η σχολική τάξη*. Αθήνα: Γρηγόρης