

**ΑΠΟ ΤΟ «ΠΑΥΕ ΝΑ ΡΩΤΑΣ*» ΣΤΟ «ΠΑΜΕ ΝΑ
ΚΑΝΟΥΜΕ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ»: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ
ΤΩΝ ΝΟΜΩΝ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΣΕ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑ ΦΥΣΙΚΩΝ
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΩΝ ΛΥΚΕΙΩΝ**

(*μνημονικός κανόνας για την καταστατική εξίσωση $PV=nRT$)

Καλογερόπουλος Νίκος
Χημικός, Επιμορφωτής Ενδοσχολικής
Επιμόρφωσης
nkaloger@sch.gr

Γάτσιος Γιάννης
Φυσικός, Υπεύθυνος ΕΚΦΕ Ν. Σμύρνης,
mail@ekfe-n-smyrn.att.sch.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία αποτελεί καλό παράδειγμα αξιοποίησης των δυνατοτήτων που προσφέρουν οι ΝΤ για την εκτέλεση πειραμάτων, τα οποία πολύ δύσκολα θα μπορούσαν να εκτελεστούν με συμβατικό εξοπλισμό στα σχολικά εργαστήρια.

Περιγράφεται μια σειρά από απλά και γρήγορα πειράματα για τη μελέτη των :

- Σχέση μεταξύ P - V (ισόθερμη μεταβολή)
- Σχέση μεταξύ V - T (ισόχωρη μεταβολή)
- Σχέση μεταξύ P - T (ισοβαρής μεταβολή)
- Σχέση μεταξύ αριθμού moles (n) και πίεσης (P)

Από τα πειραματικά δεδομένα, οι μαθητές οδηγούνται στην «επανανακάλυψη» της καταστατικής εξίσωσης των αερίων καθώς και στον υπολογισμό της τιμής του κλάσματος PV/nT (δηλαδή της παγκόσμιας σταθεράς των αερίων R).

Περιγράφεται επίσης ένα εκπαιδευτικό σχέδιο εργασίας (project) για τους νόμους των αερίων, στο οποίο εντάσσονται τα περιγραφόμενα πειράματα.

Τα πειράματα εκτελέστηκαν με τον εξοπλισμό που υπάρχει στα εργαστήρια Φυσικών Επιστημών των Λυκείων. Χρησιμοποιήθηκε διάταξη MBL (Microcomputer Based Laboratory) που περιλαμβάνει αισθητήρες πίεσης-θερμοκρασίας, συσκευή καταγραφής-αποθήκευσης μετρήσεων (MultiLog) και λογισμικό διαχείρισης των δεδομένων που προκύπτουν (DB-Lab). Ο μόνος επί πλέον εξοπλισμός που απαιτήθηκε ήταν 2 πλαστικές σύριγγες (των 10 και των 100mL) και μία τρίοδη βάνα (που χρησιμοποιείται σε μεταγίσεις και υπάρχει στα φαρμακεία). Οι μετρήσεις έγιναν με ατμοσφαιρικό αέρα.

Παρά τα απλά μέσα που χρησιμοποιήθηκαν και το γεγονός ότι ο ατμοσφαιρικός αέρας δεν είναι ιδανικό αέριο, τα αποτελέσματα (που εξήχθησαν στο Excel για περαιτέρω επεξεργασία) ήταν πολύ ικανοποιητικά και καθιστούν ρεαλιστική την ένταξη της πειραματικής μελέτης των νόμων των αερίων στη διδασκαλία Φυσικής και Χημείας του Λυκείου.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Νόμοι Αερίων, Microcomputer Based Laboratories, MultiLog, DB-Lab, MS Excel, Εργαστήρια Φυσικών Επιστημών

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται στην Ευρώπη μια απομάκρυνση των νέων από τις Φυσικές και έχει αναληφθεί σημαντική προσπάθεια για τη βελτίωση του τρόπου διδασκαλίας των αντιστοιχών μαθημάτων ώστε να γίνουν ελκυστικότερα για τους μαθητές και να αναδυθούν οι σχέσεις τους με την καθημερινή ζωή. Προς αυτή την κατεύθυνση είναι επιθυμητή η πρόταση και υλοποίηση δραστηριοτήτων και εκπαιδευτικών σχεδίων εργασίας (projects) που αποσκοπούν στην κινητοποίηση των μαθητών μέσω της εμπλοκής τους σε διαδικασίες έρευνας δράσης. Παράδειγμα τέτοιας προσέγγισης αποτελεί το Ευρωπαϊκό πρόγραμμα Encycloscience (<http://encycloscience.eun.org>) όπου οι μαθητές μελετούν και αναπαραγάγουν σημαντικές ανακαλύψεις και εφευρέσεις.

Οι νόμοι των αερίων και η καταστατική εξίσωση που προκύπτει από αυτούς είναι θεμελιώδεις στη διδασκαλία της Φυσικής και της Χημείας, ενώ οι διάφορες μεταβολές που υφίστανται τα αέρια (ισόθερμες, ισοβαρείς κλπ) διδάσκονται στη Θερμοδυναμική (θερμικές μηχανές). Ο όρος «αέριο» εισήχθη για πρώτη φορά από τον Johann Baptista van Helmont (1579-1644) και μόλις ανάμεσα στα τέλη του 17ου αιώνα και τις αρχές του 19ου διατυπώθηκαν οι νόμοι των αερίων, ορίστηκε το απόλυτο μηδέν και διατυπώθηκε η υπόθεση Avogadro. Αυτή η «καθυστέρηση» οφείλεται εν πολλοίς στο ότι η πειραματική επιβεβαίωση των νόμων των αερίων δεν είναι απλή εργασία. Ο όγκος των αερίων επηρεάζεται σημαντικά από τις μεταβολές της πίεσης και της θερμοκρασίας. Επομένως, για να μελετηθεί διεξοδικά η συμπεριφορά τους, απαιτείται η εκτέλεση σειράς πειραμάτων στα οποία δύο από τις παραμέτρους πίεση (P), όγκος (V), θερμοκρασία (T) και ποσότητα αερίου (n moles) παραμένουν σταθερές και μελετάται η σχέση ανάμεσα στις 2 που μεταβάλλονται. Τέτοια ποσοτικά πειράματα είναι εξαιρετικά δύσκολο να πραγματοποιηθούν σε σχολικά εργαστήρια, δεδομένης και της πίεσης χρόνου. Έτσι, παραδοσιακά, η διδασκαλία των νόμων των αερίων γίνεται μέσω απομνημόνευσης τύπων και προσφοράς έτοιμων γραφικών παραστάσεων στα βιβλία (όπως υποδηλώνει και ο τίτλος της εργασίας).

Με τη δυνατότητα ταυτόχρονης καταγραφής και αποθήκευσης μετρήσεων από πολλούς διαφορετικούς αισθητήρες που παρέχουν οι διατάξεις MBL (Microcomputer Based Laboratories), η διδασκαλία των νόμων των αερίων και της καταστατικής εξίσωσης μπορεί να υποστηριχθεί πειραματικά στα Εργαστήρια Φυσικών Επιστημών, ενώ επί πλέον μπορεί να ενταχθεί σε ευρύτερα σχέδια εργασίας (projects) που θα εκπονήσουν οι μαθητές εργαζόμενοι σε ομάδες στην τάξη και στο εργαστήριο.

Οι εργαστηριακές δραστηριότητες που υποστηρίζονται από Υπολογιστές (MBL, Microcomputer-Based Laboratory), θεωρούνται κατ' εξοχήν κατάλληλες για να γεφυρώσουν το χάσμα ανάμεσα στο εξωτερικό περιβάλλον και στα εργαλεία ανάλυσης και προσομοίωσης ή μοντελοποίησης στον υπολογιστή (Δημητρακοπούλου 1999).

ΣΧΕΔΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ (PROJECT) ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΝΟΜΟΥΣ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ

Τα σχολικά εγχειρίδια δεν συμφωνούν μεταξύ τους για την πατρότητα των νόμων των αερίων όπως φαίνεται ενδεικτικά στον Πίνακα 1. Με εξαίρεση τον Boyle στον οποίο όλοι αποδίδουν την πατρότητα της σχέσης μεταξύ όγκου-πίεσης, υπάρχει

Πηγή	Σχέση P,V	Σχέση V,T	Σχέση P,T
Αντωνίου κ.ά. (2000)	Boyle-Mariotte	-----	-----
Λιοδάκης κ.ά. (2001)	Boyle	Charles	Gay Lussac
Ιωάννου κ.ά. (2001)	Boyle	Gay Lussac	Charles
MultiLog Εγχειρίδιο πειραμάτων	Boyle	Charles-Gay Lussac	-----
Abbott (1982)	Boyle	Charles	Νόμος πιέσεων
PU (δικτυακός τόπος)	Boyle	Charles	Amonton
TAMU(δικτυακός τόπος)	Boyle	Charles	Amonton

Πίνακας 1: Νόμοι των αερίων σε σχολικά εγχειρίδια και σε δικτυακούς τόπους

σύγχυση για τους άλλους δύο νόμους, ειδικά για τη σχέση P-T η οποία αλλού αποδίδεται στον Charles, αλλού στον Gay-Lussac, αλλού και στους δύο, αλλού ονομάζεται «νόμος πιέσεων» και αλλού αποδίδεται στον Γάλλο φυσικό Guillaume Amonton.

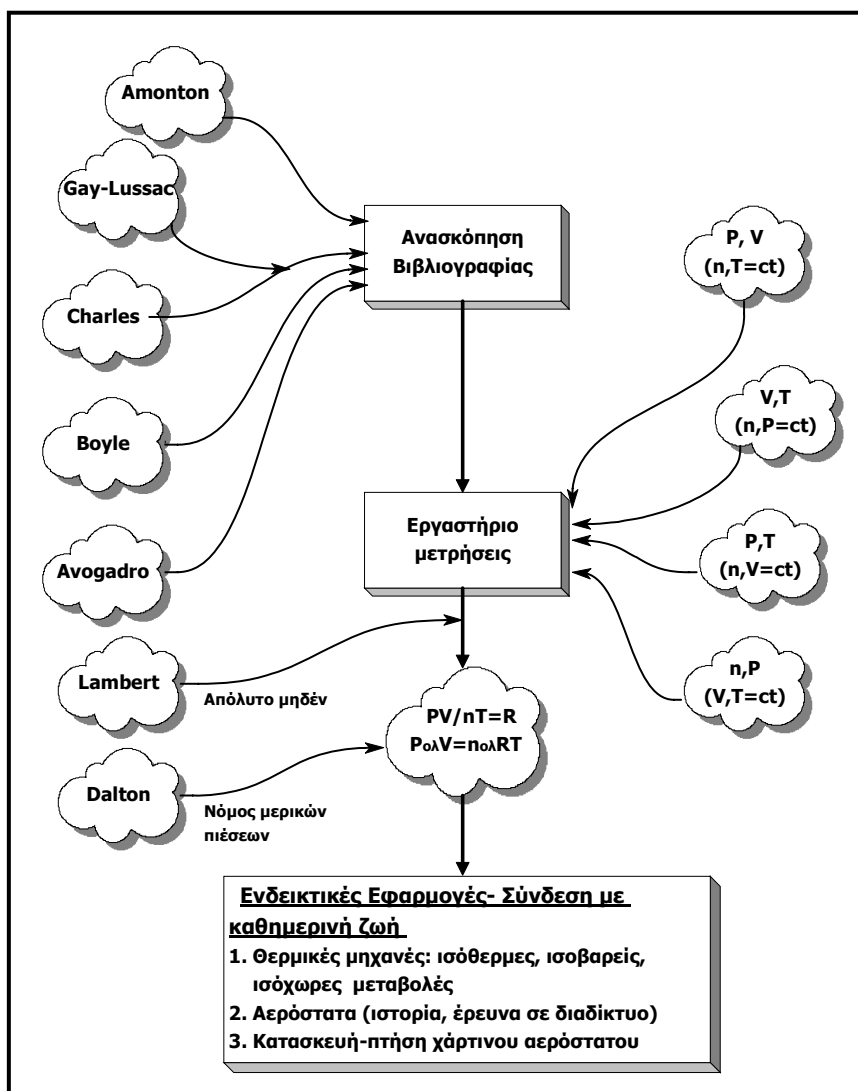
Επομένως έχει ενδιαφέρον η έρευνα της ιστορίας των επιστημονικών ανακαλύψεων για καθορισμό –αν είναι δυνατόν:

- της συμμετοχής καθενός από τους πρωτοπόρους αυτούς,
- των εφευρέσεων που προηγήθηκαν και τους ενέπνευσαν (είναι γνωστό για παράδειγμα, ότι οι πρώτες πτήσεις των αεροστάτων των αδελφών Joseph και Etienne Montgolfier ώθησαν τους Charles και Gay-Lussac να μελετήσουν στη συνέχεια τη σχέση πίεσης-θερμοκρασίας),
- των πειραματικών διατάξεων που χρησιμοποίησαν.

Η συμβολή των Robert Boyle, Jacques Charles, Joseph-Louis Gay-Lussac, Guillaume Amonton, Amadeo Avogadro καθώς και αυτή του Joseph Lambert (που εισήγαγε τον ορισμό του απολύτου μηδενός στην κλίμακα των θερμοκρασιών) και του John Dalton (νόμος μερικών πιέσεων) στην διαμόρφωση της τελικής μορφής του νόμου των αερίων μπορεί να αποτελέσει το πρώτο μέρος μιας ομαδικής εργασίας (project), σχεδιάγραμμα της οποίας δίνεται στο Σχήμα 1.

Το δεύτερο μέρος της ομαδικής εργασίας θα είναι η εκτέλεση των πειραμάτων που περιγράφονται στη συνέχεια, η λήψη μετρήσεων και η «επανανακάλυψη» των νόμων, μέσω και του υπολογισμού της παγκόσμιας σταθεράς των αερίων.

Ένα τρίτο μέρος θα αποτελέσουν εφαρμογές που συνδέουν τους νόμους των αερίων με την καθημερινή ζωή, για παράδειγμα οι θερμικές μηχανές, ή τα αερόστατα (έρευνα διευθύνσεων στο διαδίκτυο σχετικών με την ιστορία των αεροστάτων που θα καταλήξει στην κατασκευή μικρών χάρτινων αεροστάτων). Θετική θα είναι και η συμβολή διδασκόντων άλλων ειδικοτήτων, όπως ξένων γλωσσών (ξενόγλωσσο υλικό από το διαδίκτυο) και τεχνολογίας.



Σχήμα 1. Διάγραμμα εργασιών σχεδίου εργασίας (project)

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Οι μαθητές καλούνται να «εξάγουν» τους νόμους των αερίων διατηρώντας σταθερά δύο από τα μεγέθη P, V, T, n και μελετώντας τη μεταβολή των δύο άλλων. Συγκεκριμένα, ακολουθώντας το σχήμα των πειραμάτων (Πίνακας 2), θα χωρισθούν σε ομάδες κάθε μια από τις οποίες θα εκτελέσει ένα από τα πειράματα σε μια διδακτική ώρα και την επόμενη φορά θα

παρουσιάσουν τα αποτελέσματά τους και θα γίνει η σύνθεση. Αν δεν επαρκεί ο χρόνος μπορεί να γίνουν μόνο 1 ή 2 πειράματα σε μία διδακτική ώρα.

Πείραμα	Μεταβλητά μεγέθη	Σταθερά μεγέθη
1	P,n	T,V
2	P,V	T,n
3	P,T	V,n
4	V,T	P,n

Πίνακας 2. Πειράματα για την μελέτη των νόμων των αερίων

Οι μαθητές:

- Θα επιλέξουν τα υλικά που χρειάζονται για τα πειράματα
- Θα εκτελέσουν μετρήσεις και θα συμπληρώσουν πίνακες τιμών, αναφέροντας ποια μεγέθη παραμένουν σταθερά και ποια μεταβάλλονται κάθε φορά.
- Θα σχεδιάσουν γραφήματα της μιας παραμέτρου συναρτήσει της άλλης (με χαρτί και μολύβι ή με τη βοήθεια του Excel) και θα συμπεράνουν το είδος της σχέσης μεταξύ τους (μεγέθη ανάλογα ή αντιστρόφως ανάλογα).
- Στη συνέχεια θα «διατυπώσουν» τους νόμους και -συνδυάζοντάς τους- θα καταλήξουν στην εξίσωση των ιδανικών αερίων: $PV/nT = \text{σταθερό} = R$.
- Θα υπολογίσουν τις πειραματικές τιμές της παγκόσμιας σταθεράς των αερίων (R) και θα τις συγκρίνουν με την αποδεκτή τιμή της.
- Μπορούν επί πλέον να ακολουθήσουν την προσέγγιση του Joseph Lambert (1779) για τον ορισμό του *απολύτου μηδενός* (από το γράφημα $P-\theta$ ή $V-\theta$ με θερμοκρασίες σε $^{\circ}\text{C}$ και προέκταση έως το σημείο όπου $P=0$) και να προτείνουν τις πιθανές αιτίες για τις παρατηρούμενες αποκλίσεις των πραγματικών μετρήσεων από τις καμπύλες των ιδανικών αερίων που δίνονται στα σχολικά βιβλία

Με την προσέγγιση αυτή οι μαθητές κινητοποιούνται, εργάζονται ομαδικά, κάνουν μετρήσεις, τις μετατρέπουν σε πίνακες-γραφήματα, εξαγουν συμπεράσματα από αυτές και τα παρουσιάζουν στην τάξη. Βιώνοντας τη δημιουργία των σχέσεων που εκφράζουν τους νόμους των αερίων προσεγγίζουν τον επιστημονικό τρόπο εργασίας και εξοικειώνονται με διαδικασίες έρευνας.

ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ-ΛΗΨΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Για τη λήψη μετρήσεων και τη διαχείριση των δεδομένων, χρησιμοποιήθηκαν αισθητήρες θερμοκρασίας και πίεσης, η διάταξη MultiLog και το λογισμικό DBLab (εγκατεστημένο στον υπολογιστή του Εργαστηρίου Φυσικών Επιστημών). Επί πλέον χρησιμοποιήθηκαν 2 πλαστικές σύριγγες (μία μικρή των 10mL και μία μεγαλύτερη των 60 ή 100mL), μια τρίοδη βάνα μεταγίσεων, ένα ποτήρι ζέσης 500mL και θερμαντική πλάκα. Με εξαίρεση την τρίοδη βάνα και τις σύριγγες (που βρίσκονται στα φαρμακεία), όλα τα υπόλοιπα υπάρχουν στα Εργαστήρια Φυσικών Επιστημών των Λυκείων. Για τη λήψη των μετρήσεων ρυθμίστηκε η συσκευή καταγραφής μετρήσεων MultiLog σε λήψη Manual (καταγραφή των τιμών θερμοκρασίας πίεσης κάθε φορά

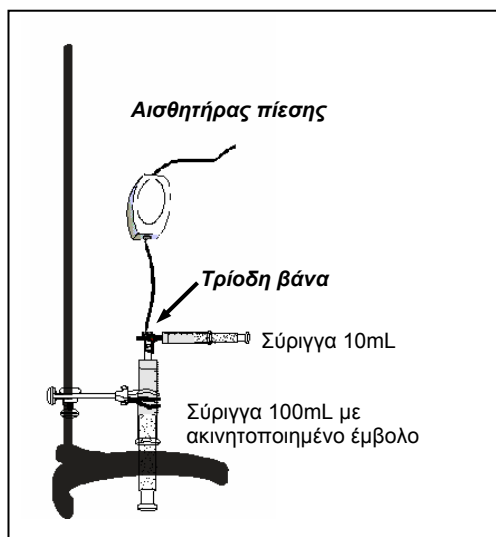
που πιέζεται το πλήκτρο “Samples”). Οι τιμές που καταγράφουν οι αισθητήρες απεικονίζονται στην οθόνη του υπολογιστή, ενώ η καταγραφή του όγκου του αέρα στο εσωτερικό της σύριγγας γινόταν με ανάγνωση των υποδιαίρεσεων της σύριγγας.

Στο τέλος κάθε πειράματος οι τιμές που κατέγραψαν οι αισθητήρες, αποθηκεύονται και μπορούν να εξαχθούν στο Excel για περαιτέρω επεξεργασία και δημιουργία γραφημάτων. Στις επόμενες παραγράφους περιγράφονται συνοπτικά τα πειράματα και δίνονται αποτελέσματα από πραγματικές μετρήσεις σε Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών (ΕΚΦΕ Ν. Σμύρνης). Σημειώνεται ότι κάθε πείραμα δεν διαρκούσε περισσότερο από 10 λεπτά.

ΠΕΙΡΑΜΑ 1: ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΣΧΕΣΗΣ N-P (V,T ΣΤΑΘΕΡΑ)

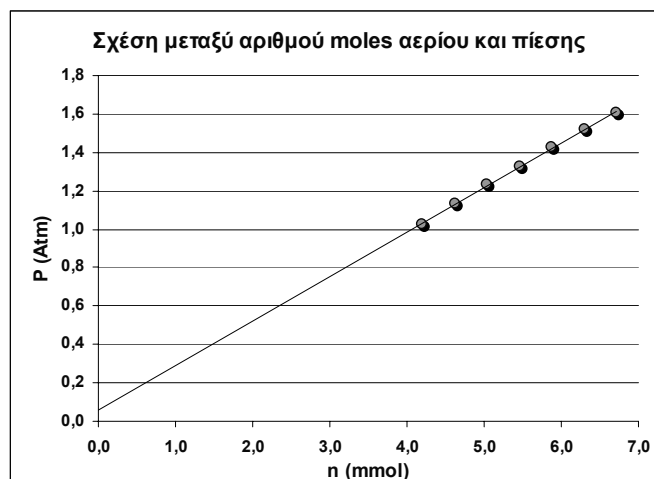
Στο Σχήμα 2 δίνεται η διάταξη για τη μελέτη της σχέσης αριθμού moles αερίου και πίεσης. Με τη βοήθεια της τρίοδης βάνας προστίθενται ποσότητες 10mL αέρα στη μεγάλη σύριγγα η οποία έχει ακινητοποιημένο έμβολο ($V=100\text{mL}=\text{σταθερός}$) και καταγράφεται η πίεση μετά κάθε προσθήκη. Το έμβολο ακινητοποιείται με τη βοήθεια ανοιγμένου συνδετήρα ή καρφιού, που αφού θερμανθεί, διαπερνά το πλαστικό σώμα της σύριγγας (Σχήμα 6). Η θερμοκρασία (καταγράφεται) μένει σταθερή, αυτή του περιβάλλοντος. Μετατρέποντας τον αρχικό και τους προστιθέμενους όγκους αέρα σε αριθμό moles σε ΚΣ, μπορεί να γίνει γραφική παράσταση των n,P με χαρτί-μολύβι ή με τη χρήση του Excel και να εξαχθούν συμπεράσματα για το είδος της σχέσης μεταξύ των μεγεθών.

Στο Σχήμα 3 δίνεται το γράφημα που προέκυψε από πραγματικές μετρήσεις, όπου φαίνεται η καλή γραμμική σχέση ανάμεσα στα δύο μεγέθη.



Σχήμα 2: Διάταξη για τη μελέτη της σχέσης $n-P$.

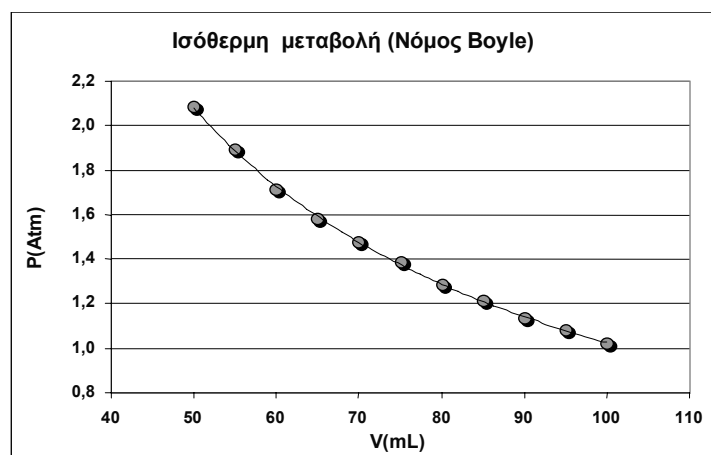
Η προέκταση της ευθείας μέχρι την αρχή των αξόνων, δεν περνά από το σημείο (0,0). Θα ζητηθεί από τους μαθητές να προτείνουν πιθανές αιτίες για αυτή την απόκλιση.



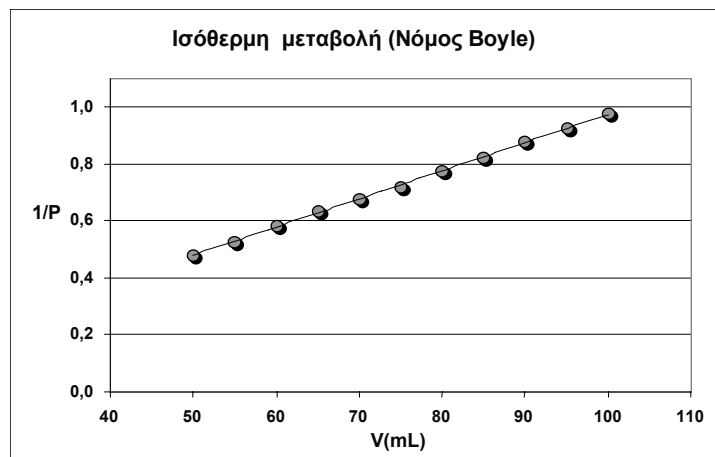
Σχήμα 3 : Γράφημα πειραματικών δεδομένων n - P .

ΠΕΙΡΑΜΑ 2: ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΣΧΕΣΗΣ P - V (N, T ΣΤΑΘΕΡΑ)

Για τη μελέτη της σχέσης ανάμεσα στα P - V χρησιμοποιήθηκε σύριγγα συνδεδεμένη με τον αισθητήρα πίεσης. Έγινε καταγραφή των πιέσεων για διάφορες τιμές όγκου (ανάγνωση από τις υποδιαίρεσεις της σύριγγας). Στο Σχήμα 4 δίνεται το γράφημα μεταξύ των P - V , στο οποίο είναι εμφανές ότι τα μεγέθη είναι αντιστρόφως ανάλογα. Αυτό αποδεικνύεται από τη γραμμικότητα του γραφήματος ανάμεσα στα μεγέθη $1/P$ - V (Σχήμα 5).



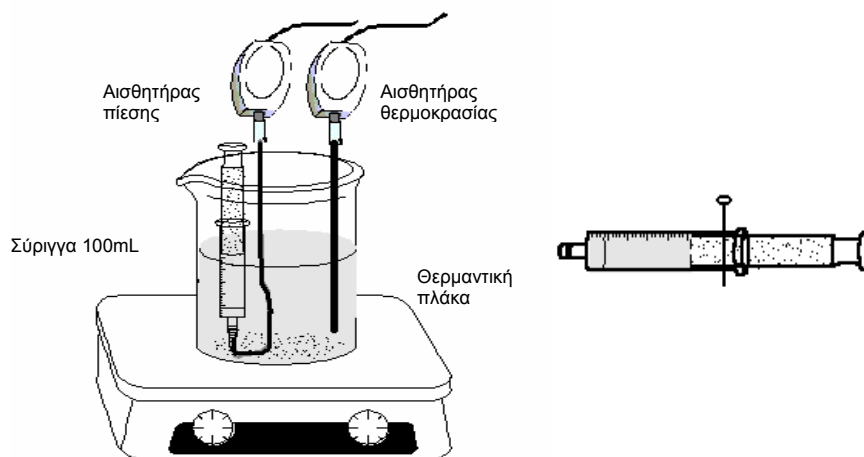
Σχήμα 4. Γράφημα πειραματικών δεδομένων P - V



Σχήμα 5. Γράφημα πειραματικών δεδομένων $1/P-V$

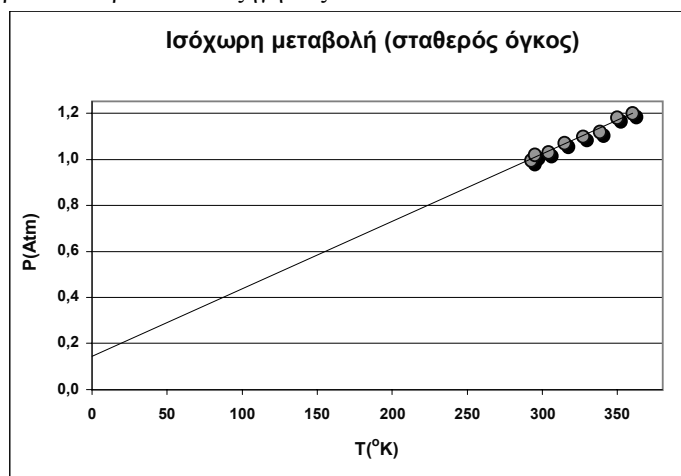
ΠΕΙΡΑΜΑ 3: ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΣΧΕΣΗΣ P-T (N,V ΣΤΑΘΕΡΑ)

Για τη μελέτη της σχέσης ανάμεσα στα P-T χρησιμοποιήθηκε σύριγγα με ακινητοποιημένο έμβολο ($V=\text{σταθερό}$) συνδεδεμένη με τον αισθητήρα πίεσης, μέσα σε υδατόλουτρο, η θερμοκρασία του οποίου καταγράφεται με τον αισθητήρα θερμοκρασίας (Σχήμα 6).



Σχήμα 6. Διάταξη για τη μελέτη της σχέσης P-T με $V=\text{σταθερό}$. Η σύριγγα έχει ακινητοποιημένο έμβολο

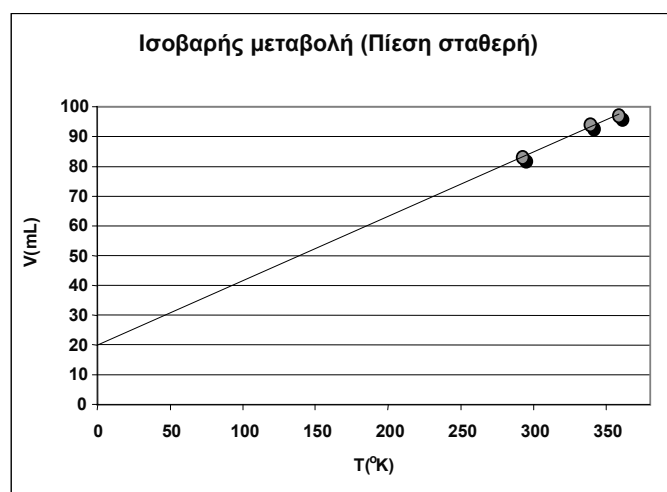
Έγινε καταγραφή των πιέσεων για διάφορες τιμές θερμοκρασίας. Στο Σχήμα 7 δίνεται το γράφημα των πειραματικών μετρήσεων P - T όπως προέκυψαν από το Excel. Στο ίδιο σχήμα, η προέκταση του γραφήματος δεν διέρχεται από το σημείο $(0,0)$ κάτι για το οποίο θα πρέπει να προταθούν εξηγήσεις.



Σχήμα 7. Γράφημα από μετρήσεις για τη μελέτη της σχέσης P - T με V =σταθερό

ΠΕΙΡΑΜΑ 4: ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΣΧΕΣΗΣ V - T (N, P ΣΤΑΘΕΡΑ)

Για τη μελέτη της σχέσης ανάμεσα στα V - T χρησιμοποιούμε διάταξη όμοια με αυτή του Σχήματος 6 με τη διαφορά ότι το έμβολο της σύριγγας δεν είναι ακινητοποιημένο.



Σχήμα 8. Γράφημα από μετρήσεις για τη μελέτη της σχέσης V - T με P =σταθερό.

Συνδέεται η σύριγγα με τον αισθητήρα πίεσης και βυθίζεται σε υδρόλουτρο, του οποίου καταγράφεται η θερμοκρασία. Σημειώνεται ο όγκος για τον οποίο η πίεση στο εσωτερικό της σύριγγας είναι έστω 1Atm. Επαναλαμβάνεται η μέτρηση σε διάφορες τιμές θερμοκρασίας, μετακινώντας κάθε φορά το έμβολο της σύριγγας μέχρι να επιτευχθεί πίεση ίση με την αρχική (1Atm) και σημειώνεται ο εκάστοτε όγκος. Έτσι επιτυγχάνεται σταθερή πίεση και προκύπτει η σχέση μεταξύ όγκου και θερμοκρασίας. (Σχήμα 8). Και πάλι η προέκταση του γραφήματος δεν διέρχεται από το σημείο (0,0) κάτι για το οποίο θα πρέπει να προταθούν εξηγήσεις.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑΣ ΣΤΑΘΕΡΑΣ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ (R)

Από τα δεδομένα κάθε πειράματος υπολογίστηκε η τιμή της παράστασης $P \cdot V / n \cdot T$ και συγκρίθηκε με την γνωστή τιμή του R ($0,082 \text{ L} \cdot \text{Atm} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 3. Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι τα πειράματα που περιγράφηκαν, αν και έγιναν γρήγορα και με απλά μέσα, έδωσαν αποτελέσματα με καλή ακρίβεια με εξαίρεση την ισοβαρή μεταβολή (V,T) για την οποία ελήφθησαν και οι λιγότερες μετρήσεις. Διδακτικά, ακόμη και τα «άσχημα» αποτελέσματα μπορούν να χρησιμεύσουν πχ εδώ μπορεί να τονισθεί η σημασία λήψης πολλών μετρήσεων, ή πειραματικές δυσκολίες που επηρεάζουν την ακρίβεια των μετρήσεων. Οι μικρές τιμές των τυπικών αποκλίσεων (SD) υποδηλώνουν καλή επαναληπτικότητα, επομένως ύπαρξη συστηματικών μάλλον παρά τυχαίων σφαλμάτων. Οι μαθητές θα πρέπει να προτείνουν πηγές σφαλμάτων τέτοιου είδους. Ενδεχόμενα η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων να γίνει από του ίδιους μαθητές την επόμενη χρονιά, στα πλαίσια της διδασκαλίας της Στατιστικής Γ' Λυκείου.

Πείραμα	Μεταβλητές	R (μ. όρος)	SD	Πλήθος μετρήσεων	% σφάλμα (μ. όρος)
1	n,P	0,0836	0,0007	7	1,97
2	P,V	0,0845	0,0006	11	3,01
3	P,T	0,0804	0,0011	8	-1,90
4	V,T	0,0732	0,0018	3	-10,7

Πίνακας 3. Αποτελέσματα υπολογισμού πειραματικών τιμών του R

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Δεδομένης της ταχύτητας λήψης μετρήσεων που προσφέρουν οι διατάξεις MBL και της διδακτικής αξίας που έχει η πειραματική διερεύνηση των σχέσεων ανάμεσα σε διάφορα φυσικά μεγέθη θεωρείται ρεαλιστική η ένταξη της εργαστηριακής μελέτης των νόμων των αερίων στη διδασκαλία της Φυσικής και της Χημείας Λυκείου αλλά και η εκπόνηση συναφών σχεδίων εργασίας (projects) με αξιοποίηση του υπάρχοντος εξοπλισμού των Εργαστηρίων Φυσικών Επιστημών. Σε περίπτωση έλλειψης χρόνου μπορούν να εκτελεσθούν κατά προτίμηση ένα -ή περισσότερα- από τα πρώτα 3 πειράματα που έδωσαν και τα ακριβέστερα αποτελέσματα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Abbott A.F. (1982). *Ordinary Level Physics*. Heinemann Educational Books, London, 3rd Ed., 177-188.
2. Multi Log, *Πειράματα Χημείας με το MultiLog*, Εγχειρίδιο χρήσης MultiLog σελ.129-137
3. PU (2003) Δικτυακός τόπος Τμήματος Χημείας του Purdue University <http://chemed.chem.purdue.edu/genchem/topicreview/bp/ch4/gaslaws3.html>
4. TAMU (2003) Δικτυακός τόπος Τμήματος Χημείας του Texas A&M University www.chem.tamu.edu/class/majors/tutorialnotefiles/laws.htm
5. Αντωνίου Ν., Βαλαδάκης Α., Δημητριάδης Π., Παπαμιχάλης Κ. και Παπατσιμπα Α. (2000). *Φυσική Β' Γυμνασίου*. ΟΕΔΒ, Αθήνα, σελ. 182
6. Δημητράκοπούλου Α. (1999). Οι εκπαιδευτικές εφαρμογές των τεχνολογιών της πληροφορίας στη διδακτική των φυσικών επιστημών: Τι προσφέρουν και πως τις αξιοποιούμε; *Επιθεώρηση Φυσικής*, Τόμος. Η', Νο 30, σελ. 48-58.
7. Ιωάννου Α., Ντάνος Γ., Πήττας Α. και Ράπτης Σ. (2001). *Φυσική Θετικής και Τεχνολογικής Κατεύθυνσης, Β' Τάξη Ενιαίου Λυκείου*. ΟΕΔΒ, Αθήνα, σελ. 9-11.
8. Λιοδάκης Σ., Γάκης Δ., Θεοδωρόπουλος Δ., Θεοδωρόπουλος Π. και Κάλλης Α. (2001). *Χημεία Α' Λυκείου*. ΟΕΔΒ, Αθήνα, σελ. 137-139