

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΓΕΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ, ΛΑΡΙΣΑ**  
**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**  
**«ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ»**

**Διερεύνηση των ιδεών μαθητών Λυκείου σε σχέση με τη  
Θερμοδυναμική. Μια διδακτική παρέμβαση με χρήση  
Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ).**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**  
**ΚΑΜΠΙΟΣΗ ΜΑΡΙΑ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΤΣΕΛΙΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**

**ΛΑΡΙΣΑ**  
**ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ ΕΤΟΣ: 2019 – 2020**

## Βεβαίωση εκπόνησης εργασίας

Δηλώνω υπεύθυνα ότι η συγκεκριμένη μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία για τη λήψη του μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών του ΠΜΣ Πλήρους Φοίτησης του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας: «*Διοίκηση Εκπαιδευτικών Μονάδων*» έχει συγγραφεί από εμένα προσωπικά και δεν έχει υποβληθεί ούτε έχει εγκριθεί στο πλαίσιο κάποιου άλλου μεταπτυχιακού ή προπτυχιακού τίτλου σπουδών, στην Ελλάδα ή στο εξωτερικό. Η εργασία αυτή έχοντας εκπονηθεί από εμένα, αντιπροσωπεύει τις προσωπικές μου απόψεις επί του θέματος και το κείμενο είναι γραμμένο με τα δικά μου λόγια και δεν αποτελεί προϊόν λογοκλοπής από τρίτες πηγές. Οι πηγές στις οποίες ανέτρεξα για την εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής αναφέρονται στο σύνολό τους, δίνοντας πλήρεις αναφορές στους συγγραφείς, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

*Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου Δημήτριο Τσέλιο, η βοήθεια του οποίου ήταν πολύτιμη σε κάθε στάδιο εκπόνησης της παρούσας εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συναδέλφους μου εκπαιδευτικούς, Δήμο Ζάρρα και Αναστάσιο Νομικό, για τη βοήθειά τους στη συλλογή στοιχείων κατά τη διαδικασία της διδακτικής παρέμβασης για την πραγματοποίηση αυτής της πιλοτικής έρευνας.*

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή διερευνά τα αποτελέσματα της χρήσης των Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) στη διδασκαλία βασικών εννοιών της Θερμοδυναμικής. Η έρευνα εστιάζεται στην κατανόηση των εννοιών της θερμότητας, της θερμοκρασίας, της θερμικής ισορροπίας και της εσωτερικής ενέργειας των σωμάτων, στην εφαρμογή της αρχής διατήρησης της ενέργειας μέσω του 1<sup>ου</sup> θερμοδυναμικού νόμου, στη μέτρηση–σχεδίαση των νόμων των αερίων και στην εφαρμογή τους στην καθημερινότητα. Στην έρευνα συμμετείχαν 70 μαθητές και μαθήτριες Β΄ Λυκείου και ως ερευνητική μέθοδος χρησιμοποιήθηκε το ‘πείραμα’, μέσω συμπλήρωσης pre και post test από τους μαθητές, πριν και μετά την υλοποίηση κατάλληλα σχεδιασμένης διδακτικής παρέμβασης με χρήση ΤΠΕ. Η υπόθεση ήταν ότι η προσομοίωση των φαινομένων μέσω του υπολογιστή θα βοηθούσε στην κατανόηση των εννοιών από τους μαθητές και τα αποτελέσματα ήταν ιδιαίτερα ενθαρρυντικά. Οι μαθητές βελτίωσαν το επίπεδο κατανόησης των εννοιών που μελετήθηκαν, ενώ σημείωσαν την ικανοποίησή τους σχετικά με το διαδραστικό περιβάλλον διδασκαλίας. Η έρευνα αυτή θα μπορούσε να επεκταθεί και σε διαφορετικούς τομείς της Φυσικής και να πραγματοποιηθεί σε μεγαλύτερο αριθμό μαθητών, πιθανώς και με μεγαλύτερη χρονική διάρκεια.

### ΛΕΞΕΙΣ – ΚΛΕΙΔΙΑ

Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ), Θερμοδυναμική, προσομοιώσεις, παρανοήσεις μαθητών, διδακτικές τεχνικές.

## ABSTRACT

This paper explores the impact of the use of Information and Communication Technologies (ICT) in the teaching of the basic concepts of Thermodynamics. It focuses on understanding the concepts of heat, temperature, thermal equilibrium and the internal energy of the bodies, applying the principle of conservation of energy through the 1st thermodynamic law, creating Gas Laws graphs and applying them to everyday life. The study involved 70 high school students 16-17 years old. The experiment was used as a research method, by completing a pre-test and a post-test by students, before and after the implementation of a well-designed ICT-based teaching intervention. The hypothesis was that computer simulation of phenomena would help students understand the basic concepts and the results were very encouraging. Students improved their level of understanding of the concepts studied, and noted their satisfaction with the interactive teaching environment. This research could be extended to different areas of Physics and be conducted to a larger number of students, possibly with longer duration.

## KEYWORDS

Information and Communication Technologies (ICTs), Thermodynamics, simulations, students' misconceptions, teaching techniques.

## Περιεχόμενα

<b>ΒΕΒΑΙΩΣΗ ΕΚΠΟΝΗΣΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ .....</b>	<b>ii</b>
<b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....</b>	<b>iii</b>
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>v</b>
<b>ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ-ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ-ΠΙΝΑΚΩΝ.....</b>	<b>viii</b>
<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. ΤΟ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. ΟΙ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ .....</b>	<b>3</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>: ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ ΚΑΙ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΗΣ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1.1. Αποσαφήνιση εννοιών .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1.2. Η αναγκαιότητα εισαγωγής της καινοτομίας στην εκπαίδευση .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1.3. Μορφές καινοτομίας στην εκπαίδευση .....</b>	<b>8</b>
<b>2.1.4. Καινοτομία και ψηφιακές τεχνολογίες στη διδασκαλία.....</b>	<b>11</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ.....</b>	<b>15</b>
<b>3.1. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ .....</b>	<b>15</b>
<b>3.2. Η ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΩΣ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ.....</b>	<b>17</b>
<b>3.2.1. Παρανοήσεις των μαθητών σχετικές με έννοιες της Θερμοδυναμικής.....</b>	<b>18</b>
<b>3.3. ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ.....</b>	<b>21</b>
<b>3.3.1. Προβλήματα στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών.....</b>	<b>21</b>
<b>3.3.2. Περιβάλλοντα μάθησης με χρήση ΤΠΕ.....</b>	<b>25</b>
<b>3.3.3. Χρήση προσομοιώσεων για τη διδασκαλία της Θερμοδυναμικής.....</b>	<b>30</b>

3.3.4. Κατηγοριοποίηση των υπολογιστικών προσομοιώσεων .....	34
3.3.5. Το εικονικό εργαστήριο Θερμότητας – Θερμοδυναμικής ΣΕΠ .....	36
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>: Η ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ.....</b>	<b>38</b>
4.1. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ .....	38
4.2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ .....	39
4.2.1. Σχεδιασμός του Ερωτηματολογίου .....	40
4.2.2. Η διδακτική παρέμβαση .....	44
4.3. ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ .....	51
4.4. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ .....	53
4.4.1. Ποσοτική Ανάλυση .....	53
4.4.2. Ποιοτική Ανάλυση: Η συνέπεια των απαντήσεων .....	59
4.4.3. Ποιοτική Ανάλυση: Γενικές παρατηρήσεις.....	72
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ .....</b>	<b>75</b>
5.1. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	75
5.2. ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ – ΕΠΕΚΤΑΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	79
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>81</b>
ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ.....	81
ΕΛΛΗΝΙΚΗ.....	85
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ .....</b>	<b>89</b>
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I: Πίνακες βαθμολογιών pre και post test .....	89
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II: Ερωτηματολόγιο .....	94
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ III: Φύλλα Εργασίας .....	97

## Ευρετήριο Σχημάτων – Διαγραμμάτων - Πινάκων

Σχήμα 3.1.	Το εικονικό εργαστήριο .....	37
Σχήμα 4.1	Θερμική ισορροπία .....	45
Σχήμα 4.2	Αύξηση της θερμοκρασίας σώματος μέσω της τριβής .....	46
Σχήμα 4.4	Ισόχωρη μεταβολή – νόμος του Charles .....	47
Σχήμα 4.5	Ισοβαρής μεταβολή – νόμος Gay Lussac .....	48
Σχήμα 4.6	Αδιαβατική μεταβολή .....	49
Σχήμα 4.7α	Γραφήματα pre test .....	65
Σχήμα 4.7β	Γραφήματα post test .....	65
Διαγράμματα 4.1	Αναπάντητες Ερωτήσεις .....	54
Διάγραμμα 4.2	Μέσος όρος Βαθμολογίας στα pre και post test .....	56
Διαγράμματα 4.3	Μέσος όρος βαθμολογίας ανά ερώτηση .....	57
Διάγραμμα 4.4	Μέσοι όροι επίδοσης ανά ομάδα και υποομάδα ερωτήσεων .....	59
Διάγραμμα 4.5	1 <sup>ος</sup> Θερμοδυναμικός Νόμος στην Ισόχωρη μεταβολή .....	70
Διάγραμμα 4.6	Σύγκριση των μέσων όρων των απαντήσεων στις ερωτήσεις αιτιολόγησης .....	72
Πίνακας 3.1	Ποσοστά μαθητών της Β΄ ΓΕΛ κατά το σχ. έτος 2017-18 με βαθμό μικρότερο του 9 και με βαθμό μικρότερο του 10 σε συγκεκριμένα μαθήματα που έχουν αυξημένη πιθανότητα να είναι λειτουργικά αναλφάβητοι .....	22
Πίνακας 4.1	Ανάλυση Βαθμών στα pre και post test .....	55
Πίνακας 4.2	Μέσος όρος βαθμολογίας ανά ομάδα ερωτήσεων .....	58
Πίνακας 4.3	Μεταφορά Θερμότητας_Εξήγηση pre test .....	61
Πίνακας 4.4	Μεταφορά Θερμότητας_Εξήγηση post test .....	62
Πίνακας 4.5	Θέρμανση σώματος_Εξήγηση pre test .....	63
Πίνακας 4.6	Θέρμανση σώματος_Εξήγηση post test .....	64
Πίνακας 4.7	Ισόθερμη, Ισόχωρη, Ισοβαρής και Αδιαβατική μεταβολή .....	66
Πίνακας 4.8	Εσωτερική Ενέργεια_Μάζα_Θερμοκρασία_Εξήγηση pre test .....	68
Πίνακας 4.9	Εσωτερική Ενέργεια_Μάζα_Θερμοκρασία_Εξήγηση post test .....	69
Πίνακας 4.10	1 <sup>ος</sup> Θερμοδυναμικός νόμος pre και post test .....	71



## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1. ΤΟ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Η διαρκής έρευνα στον τομέα της διδακτικής των φυσικών επιστημών έχει διαδραματίσει ουσιαστικό ρόλο όχι μόνο στην ανάλυση της πραγματικής κατάστασης του επιστημονικού γραμματισμού και της διδασκαλίας του στα σχολεία αλλά και στη βελτίωση της εκπαιδευτικής πρακτικής και εκπαίδευσης των εκπαιδευτικών. Απογοητευτικά αποτελέσματα διεθνών μελετών παρακολούθησης όπως το PISA (Πρόγραμμα για τη Διεθνή Αξιολόγηση σπουδαστών) πυροδότησαν μια γενική συζήτηση σχετικά με την ανάγκη για ένα επαρκές επίπεδο του επιστημονικού γραμματισμού και της ανάγκης βελτίωσης της ποιότητας της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών στο σχολείο. Μέσα σε αυτό το πλαίσιο, είναι σημαντικό να δοθεί προσοχή στο γεγονός ότι η βελτίωση της παρεχόμενης εκπαίδευσης αποτελεί συνδυασμό πολλών μεταβλητών. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι δεν αναμένεται να βελτιωθεί δραματικά η επίδοση των σπουδαστών στις φυσικές επιστήμες αλλάζοντας μόνο μία μεταβλητή, π.χ. εισάγοντας νέα πειράματα ή προσομοιώσεις πειραμάτων μέσω υπολογιστών (Duit, 2007).

Ωστόσο, η διάδοση και η ευρεία χρήση των τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνιών στην εκπαίδευση θέτει νέα δεδομένα και επηρεάζει την ίδια άμεσα. Αυτό φαίνεται και από το γεγονός ότι όλο και περισσότεροι εκπαιδευτικοί εντάσσουν στη διδακτική πρακτική τα εκπαιδευτικά λογισμικά ώστε να διευρύνουν τη διδασκαλία τους. Άλλωστε, αποτελεί δεδομένο για τη σύγχρονη εκπαιδευτική πραγματικότητα ότι η εισαγωγή των ψηφιακών τεχνολογιών μπορεί να ενισχύσει τη μάθηση, ώστε να υποστηριχθεί η αλλαγή και η καινοτομία στις σχολικές μονάδες. Οι ψηφιακές τεχνολογίες, όταν χρησιμοποιούνται σωστά, μπορούν να εμπλουτίσουν σε σημαντικό βαθμό τις μαθησιακές εμπειρίες και να προωθήσουν την ανάπτυξη των μαθητών πέρα από την απόκτηση ψηφιακών δεξιοτήτων. Μολονότι, μόνο το ένα τέταρτο των μαθητών στην Ευρώπη έχουν εκπαιδευτικούς που χρησιμοποιούν με άνεση με τις ψηφιακές τεχνολογίες (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2017), αυτές θα μπορούσαν εύκολα να υποστηρίξουν αφενός τη συνεργασία και την επικοινωνία τόσο μέσα στα σχολεία όσο και μεταξύ των σχολικών μονάδων και αφετέρου να ενισχύσουν τη συμμετοχή των μαθητών στη μαθησιακή διαδικασία.

Ακόμη περισσότερο, τα περιβάλλοντα συνεργατικής μάθησης και οι τεχνολογίες πληροφορικής και επικοινωνιών, μπορούν να διευκολύνουν το έργο των εκπαιδευτικών που διδάσκουν φυσικές επιστήμες. Ο λόγος είναι ότι οι φυσικές επιστήμες μελετούν καθολικούς νόμους της φύσης, συνδέονται στενά με το πείραμα και την παρατήρηση και παράλληλα παρουσιάζουν σημαντικές δυσκολίες στην κατανόηση εννοιών για την επίλυση προβλημάτων. Μία από τις αρετές των ηλεκτρονικών υπολογιστών στη διδασκαλία της Φυσικής έγκειται στη δυνατότητά τους να χρησιμοποιούν προσομοιώσεις φυσικών φαινομένων, δηλαδή να επιτρέπουν στους σπουδαστές να εξασκηθούν και να αποκτήσουν γνώση σε συγκεκριμένα πειράματα χωρίς τις πραγματικές συνέπειες μιας αποτυχίας. Η μάθηση σε περιβάλλοντα προσομοίωσης είναι επομένως ένα από τα πλεονεκτήματα της χρήσης των υπολογιστών και μία ενδιαφέρουσα παιδαγωγική πρακτική που ακολουθείται, τόσο στα Μαθηματικά και τη Φυσική, όσο και σε άλλους τομείς - αν και συνήθως θα πρέπει να συμπληρώνεται και με άλλες διδακτικές πρακτικές (OECD, 2017). Όμως, ο σχεδιασμός μίας διδακτικής παρέμβασης που υλοποιείται μέσω προσομοιώσεων είναι ένα πολύπλοκο εγχείρημα, καθώς καλείται να συνδυάσει διαφορετικά μεταξύ τους επιστημονικά πεδία, τη διδακτική, τις φυσικές επιστήμες και την τεχνολογία/πληροφορική. Σε αντίθεση με την κλασική διδασκαλία, η οποία στέκεται αυτόνομα και με ευκολία μέσα στην τάξη, η διδασκαλία με τη χρήση των ψηφιακών τεχνολογιών προσπαθεί να συγκεράσει όλα εκείνα τα στοιχεία που προέρχονται από τις τρεις επιστήμες και που θα καταστήσουν τη διδασκαλία πιο ευχάριστη και εν τέλει πιο αποτελεσματική.

Ειδικότερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ο σχεδιασμός διδακτικών παρεμβάσεων με χρήση προσομοιώσεων στη Θερμοδυναμική, που αποτελεί έναν τομέα της φυσικής επιστήμης που παρουσιάζει σημαντικές δυσκολίες κατανόησης. Η μελέτη των νόμων της Θερμοδυναμικής είναι ιδιαίτερα σημαντική, όχι μόνο λόγω του ότι αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα πεδία της φυσικής επιστήμης, αλλά διότι η γνώση βασικών αρχών της Θερμοδυναμικής αποτελεί προϋπόθεση για την κατανόηση πιο σύνθετων εννοιών όπως η διατήρηση της ενέργειας, η εντροπία, διάφορα ατμοσφαιρικά φαινόμενα, η λειτουργία των θερμικών μηχανών, κ.ο.κ.. Επιπλέον, η διδασκαλία των νόμων της Θερμοδυναμικής ως αυτόνομη περιοχή μελέτης έχει ενσωματωθεί από δεκαετίες στα ευρωπαϊκά προγράμματα σπουδών. Είναι χαρακτηριστικό ότι σε έγκριτα επιστημονικά περιοδικά

υπάρχει πληθώρα άρθρων που αναφέρονται σε θέματα διδασκαλίας της Θερμοδυναμικής, καθώς και στις δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι μαθητές στην κατανόησή της (Kesidou & Duit, 1993; De Berg, 1995; Arnold & Millar, 1996; Harrison, 1996; Viennot, 1998; Ben-Zvi, 1999; Loverude *et al.*, 2002; Sozibilir, 2003; Huang & Gramoll, 2004; Meltzer, 2004; Anderson *et al.*, 2005; Junglas, 2006; Alwan, 2009; Liu, 2009; Sokrat *et al.*, 2014; Georgiou, 2014; Μελή, 2016; Saricayir *et al.*, 2016; Kamcharean & Wattanakasiwich, 2016; Hakim *et al.*, 2017).

## 1.2. ΟΙ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

Η παρούσα έρευνα εστιάζεται στις αρχικές ιδέες των μαθητών για τους θερμοδυναμικούς νόμους και μελετά την εξέλιξη των ιδεών αυτών μετά από μια ειδικά σχεδιασμένη διδακτική παρέμβαση με χρήση Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ). Συγκεκριμένα, στην έρευνα έλαβαν μέρος 70 μαθητές και μαθήτριες Λυκείου (16-17 ετών). Αρχικά διερευνήθηκαν οι ιδέες και απόψεις των μαθητών/ριών με ένα ερωτηματολόγιο-τεστ (pre test), στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε διδακτική παρέμβαση με τη χρήση του ειδικά σχεδιασμένου λογισμικού προσομοίωσης πειραμάτων Θερμότητας/Θερμοδυναμικής, ΣΕΠ, και μετά τη λήξη της διδασκαλίας συμπληρώθηκε το ίδιο ερωτηματολόγιο-τεστ (post test) για τον έλεγχο των τελικών ιδεών των μαθητών. Η διδασκαλία πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο πληροφορικής και δόθηκε η δυνατότητα στους μαθητές να ασχοληθούν με δραστηριότητες σχετικές με τη Θερμότητα/Θερμοδυναμική, να παρακολουθήσουν αυτοματοποιημένα πειράματα και να δουν προσομοιώσεις φυσικών φαινομένων μέσω του υπολογιστή.

Ο σκοπός αυτής της μελέτης είναι να διερευνηθούν τα παρακάτω ερωτήματα:

- Ποιες είναι οι δυσκολίες στην κατανόηση των νόμων της Θερμοδυναμικής που έχουν οι μαθητές και ποιες οι συνήθεις παρανοήσεις τους;
- Ποιες είναι οι προτάσεις διδασκαλίας σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία, και σε ποια μαθησιακά μοντέλα βασίζονται και προτείνουν;
- Πώς μια ειδικά σχεδιασμένη διδακτική παρέμβαση με χρήση ΤΠΕ, μπορεί να αλλάξει τις αντιλήψεις των μαθητών;

- Τελικά, η χρήση των ΤΠΕ στη διδασκαλία των συγκεκριμένων επιστημονικών εννοιών βοηθά τους μαθητές να κατανοούν πληρέστερα τα φυσικά φαινόμενα και να συνδέουν τις επιστημονικές έννοιες με δραστηριότητες της καθημερινότητάς τους;

Στην εργασία αυτή, αρχικά διερευνάται η ανάγκη για την εισαγωγή της καινοτομίας σε ό,τι αφορά στην εκπαίδευση και ειδικότερα στη διδακτική πρακτική, αφού οι παραδοσιακές τεχνικές διδασκαλίας δεν ανταποκρίνονται πλέον στη σημερινή εκπαιδευτική πραγματικότητα. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι δυσκολίες των μαθητών στην κατανόηση των φυσικών επιστημών και ειδικότερα μελετώνται οι συνηθισμένες παρανοήσεις που αφορούν σε έννοιες σχετικές με τη Θερμότητα/Θερμοδυναμική, ενώ γίνεται αναφορά και σε επισημάνσεις ερευνητών σχετικές με τη διδακτική τους και το ρόλο των ψηφιακών τεχνολογιών σε αυτή. Τέλος, αφού γίνει λεπτομερής παρουσίαση της διδακτικής παρέμβασης, ερευνώνται τα αποτελέσματα-επιδόσεις των μαθητών που συμμετείχαν στη διδασκαλία. Από τα αποτελέσματα αυτά είναι δυνατόν να βγουν κάποια συμπεράσματα που να μας υποδεικνύουν αν όντως οι μαθητές της Β΄ τάξης Λυκείου κατανοούν βασικές έννοιες της Φυσικής και κατά πόσο υπάρχουν περιθώρια αλλαγής των αρχικά λανθασμένων απόψεών τους με τη βοήθεια υπολογιστικών προσομοιώσεων στη διδασκαλία.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>: ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ ΚΑΙ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ

### 2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΗΣ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ

#### 2.1.1. Αποσαφήνιση εννοιών

Κύριος στόχος των σύγχρονων εκπαιδευτικών μεθόδων είναι η βελτιστοποίηση των επιτυχημένων παραδοσιακών πρακτικών και η ανάδειξη καινοτόμων προσεγγίσεων, οι οποίες οφείλουν να ανταποκρίνονται αφενός στη σημερινή πραγματικότητα και αφετέρου στις προσδοκίες των μαθητών καθώς και στις ανάγκες και απαιτήσεις της ευρύτερης κοινωνίας με σκοπό πάντα τη βελτίωση της παρεχόμενης εκπαίδευσης (Μουρατίδου & Παπαχρήστου, 2018). Άλλωστε, στη σύγχρονη κοινωνία, τα σχολεία, όπως και οι άλλοι θεσμοί, πρέπει να είναι καινοτόμοι οργανισμοί. Για το σκοπό αυτό, δεν πρέπει να αποτελούν μόνο οργανισμούς και φορείς εκπαίδευσης, αλλά πρέπει επίσης να είναι φορείς καινοτομίας (Omur & Argon, 2016).

Η εκπαιδευτική καινοτομία μπορεί να συμβάλλει στην επίτευξη καλύτερων ακαδημαϊκών αποτελεσμάτων και στην αύξηση της συνολικής ποιότητας της εκπαίδευσης. Η βελτίωση των εκπαιδευτικών συστημάτων για την παροχή ποιότητας, η εκπαίδευση για όλους - και η ενθάρρυνση μιας ευρύτερης κουλτούρας της καινοτομίας στην κοινωνία γενικότερα – παραμένει μεταξύ των κεντρικών στόχων της ατζέντας της Ευρωπαϊκής Ένωσης (European Union, 2018).

Τι ορίζεται όμως ως καινοτομία; Η καινοτομία, είναι ένα πολύπλευρο φαινόμενο που αναφέρεται όχι μόνο στην έρευνα και την τεχνολογία, αλλά έχει και οργανωτικές, διοικητικές, και κοινωνικές πλευρές, ενώ πολύ συχνά απαιτεί και διανοητική και καλλιτεχνική δημιουργικότητα (Miles *et al*, 2002). Αντίστοιχα, ο Rogers (2003), χαρακτήρισε την καινοτομία ως μια ιδέα, μία πρακτική ή ένα αντικείμενο που γίνεται αντιληπτό από κάποιον ως κάτι νέο, καινούριο (αναφ. Dungan, 2018, σελ. 2). Ένας ειδικότερος ορισμός από τον ΟΟΣΑ (OECD, 2010) καθορίζει ότι η καινοτομία (innovation) αποτελεί «*την παραγωγή ενός νέου ή σημαντικά βελτιωμένου προϊόντος (δηλαδή υλικού αγαθού ή υπηρεσίας), την εφαρμογή μιας νέας ή σημαντικά βελτιωμένης διεργασίας, μιας νέας μεθόδου μάρκετινγκ, μιας νέας οργανωτικής μεθόδου στις επιχειρηματικές πρακτικές, στην οργάνωση του εργασιακού χώρου ή στις εξωτερικές σχέσεις*».

Εντούτοις, όλες οι καινοτομίες δεν είναι ίδιες ούτε σε κλίμακα ούτε σε προσδοκώμενους στόχους. Μικρότερες καινοτομίες εισάγονται συχνά από τους εκπαιδευτικούς στα σχολεία και διαχέονται οριζόντια στις άλλες μονάδες του σχολείου πριν από τη διάχυση κάθετα σε άλλα επίπεδα ή ομάδες σχολείων. Αντίθετα, μεγαλύτερες καινοτομίες ή προγράμματα στα σχολεία εισάγονται από την ηγεσία του σχολείου ή από την πολιτική ηγεσία και διαχέονται προς τα κάτω (Dungha, 2018). Ο βασικός βέβαια λόγος που εισάγεται μία καινοτομία σε έναν εκπαιδευτικό οργανισμό είναι η επιθυμία των εμπλεκόμενων να προστεθεί αξία στο εκπαιδευτικό έργο. Οι αλλαγές, που θα προκύψουν από την εφαρμογή μίας καινοτόμου ιδέας στο σχολικό περιβάλλον, μπορεί να διαφέρουν ως προς την έκταση, το περιεχόμενο και τις συνέπειές τους. Κάποιες μπορεί να είναι ευρείας κλίμακας και να αφορούν σε ολόκληρο τον εκπαιδευτικό οργανισμό, ενώ άλλες μπορεί να αφορούν σε μικρότερα τμήματά του (Παπαδοπούλου, 2016).

Μελετώντας την εφαρμογή καινοτομιών στο πλαίσιο των σχολικών μονάδων, μπορούμε να διακρίνουμε τρεις βασικές κατηγορίες καινοτομιών (Stoner & Freeman, 1992; Griffin, 1987; Damanpour, 1987), όπως αναφέρει η Γιαννακάκη (2005):

- Εκπαιδευτική - παιδαγωγική καινοτομία
- Διοικητική - οργανωτική καινοτομία
- Καινοτομία σε ό,τι αφορά στο σχολικό κλίμα και στις ανθρώπινες σχέσεις

Σε ό,τι αφορά στην εκπαιδευτική καινοτομία αυτή εστιάζεται σε δύο άξονες: τις καινοτόμες διδακτικές προσεγγίσεις και τις καινοτόμες χρήσεις τεχνολογικών μέσων (Fullan, 1991). Τις τελευταίες δεκαετίες το Υπουργείο Παιδείας έχει ξεκινήσει κάποιες προσπάθειες ένταξης της καινοτομίας στην εκπαίδευση, όπως με τα προγράμματα: Σχολικών Δραστηριοτήτων (Περιβαλλοντικά, Αγωγής Υγείας, Αγωγής Σταδιοδρομίας, Erasmus+, 1992), Επιμόρφωση Εκπαιδευτικών για την Αξιοποίηση των ΤΠΕ στην Εκπαίδευση (2002), Νέο Σχολείο (2011), Ψηφιακό Σχολείο (2011), Φωτόδεντρο (2012), κ.ά.

### **2.1.2. Η αναγκαιότητα εισαγωγής της καινοτομίας στην εκπαίδευση**

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του ΟΟΣΑ (PISA, 2015), κατά μέσο όρο, ένας στους πέντε σπουδαστές της Ευρωπαϊκής Ένωσης στερούνται επαρκούς επιπέδου βασικών δεξιοτήτων (ανάγνωση, μαθηματικά και φυσικές επιστήμες). Για να βελτιωθούν αυτά τα στοιχεία, τα σχολεία πρέπει να προσαρμοστούν στο μεταβαλλόμενο πλαίσιο εντός του οποίου

λειτουργούν, συμπεριλαμβανομένης της ψηφιακής εποχής και της αυξανόμενης ποικιλομορφίας στην κοινωνία. Για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων, οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής πρέπει να επανεξετάσουν τα σχολικά προγράμματα, τα προγράμματα σπουδών και τις μεθόδους αξιολόγησης, όπως και την εισαγωγή πιο διαφοροποιημένων προσεγγίσεων διδασκαλίας και εκμάθησης για την κάλυψη των αναγκών όλων των μαθητών. Η καινοτομία μπορεί να διαδραματίσει καθοριστικό ρόλο στα εκπαιδευτικά συστήματα και στα σχολεία για τη δημιουργία ευκαιριών για ανάπτυξη ευνοϊκών μαθησιακών περιβαλλόντων και ευέλικτων διδακτικών προσεγγίσεων, εξασφαλίζοντας ότι κάθε μαθητής μπορεί να συνειδητοποιήσει τις δυνατότητές του (European Union, 2018).

Η σωστή εφαρμογή των καινοτομιών μπορεί να βελτιώσει την εκπαιδευτική διαδικασία σε ό,τι αφορά και στους εκπαιδευτικούς και στους μαθητές. Οι πρώτοι, βελτιώνοντας τις διδακτικές τους πρακτικές θα αποκτήσουν περισσότερο ενθουσιασμό και αφοσίωση στη διδασκαλία τους και οι δεύτεροι αναμένεται ότι θα μεγιστοποιήσουν τις επιδόσεις τους (Hofman *et al*, 2013). Άλλωστε, οι μαθητές είναι εκείνοι που αποτελούν τον πυρήνα της εκπαιδευτικής διαδικασίας και ταυτόχρονα το εργαλείο για την εφαρμογή και προώθηση των εκπαιδευτικών καινοτομιών. Ο στόχος πάντα είναι οι μαθητές να αποκτούν ενεργητικό ρόλο και συμμετοχή στη διδασκαλία, ώστε να ανακαλύπτουν μόνοι τους τη γνώση μέσω καινοτόμων διδακτικών πρακτικών, και ταυτόχρονα να αναπτύσσουν κατάλληλες δεξιότητες που να τους βοηθούν να προσαρμόζονται στις σύγχρονες απαιτήσεις.

Επιπρόσθετα, σε έρευνα του ΟΟΣΑ (2017), παρατηρήθηκε ότι σε όλες τις συμμετέχουσες χώρες σημειώθηκαν προσπάθειες για την εφαρμογή καινοτόμων παιδαγωγικών πρακτικών σε τομείς όπως η σύνδεση των μαθημάτων με την πραγματική ζωή, οι αυξημένες δεξιότητες και η εξατομίκευση της διδασκαλίας, καθώς έχει διαπιστωθεί ότι μέσω αυτών των καινοτόμων προγραμμάτων αυξάνεται η επίδοση των σπουδαστών. Επιπρόσθετα, η προώθηση της κριτικής σκέψης των μαθητών είναι ένα από τα βασικά στοιχεία των εκπαιδευτικών στόχων των προγραμμάτων σπουδών στις περισσότερες χώρες τόσο για οικονομικούς όσο και για κοινωνικούς λόγους. Μια προϋπόθεση για την εφαρμογή αυτών των καινοτομιών - δεξιοτήτων είναι πρωτίστως οι εκπαιδευτικοί να κατανοήσουν πώς θα μπορούσαν να προσαρμόσουν τη διδακτική τους

πρακτική προς αυτήν την κατεύθυνση (Vincent-Lancrin *et al*, 2017). Σε παρόμοιο συμπέρασμα κατέληξε και η έρευνα του οργανισμού “European Expert Network on Economics of Education (EENEE)”, σύμφωνα με τον οποίο η εισαγωγή καινοτόμων προσεγγίσεων στην εκπαίδευση οδηγεί στην κατάκτηση περισσότερων δεξιοτήτων από τους σπουδαστές (Falch & Mang, 2015).

Παράλληλα, η εισαγωγή των καινοτομιών στο σχολείο αποτελεί βασικό παράγοντα στη διαμόρφωση της εκπαιδευτικής κουλτούρας του. Ωστόσο, δεν είναι πάντα εύκολο να υιοθετηθούν σε μια σχολική μονάδα οι αλλαγές, επειδή η συνήθεια και οι προσωπικοί στόχοι πολλές φορές δεν το επιτρέπουν. Αποτελεί πρόβλημα και ταυτόχρονα μεγάλη πρόκληση για το διευθυντή η εισαγωγή της καινοτομίας στο σχολείο του, διότι είναι αυτός που μπορεί να δει, να κατανοήσει και να κοινοποιήσει τα προβλήματα που διέπουν τη σχολική κοινότητα και στη συνέχεια να τα επιλύσει (Ράπτης & Βιτσιλάκη, 2007). Στοιχεία ερευνών της Ευρωπαϊκής Ένωσης δείχνουν ότι τα σχολεία που πέτυχαν να μεταμορφώσουν τις πρακτικές τους τείνουν να αναπτύσσουν συγκεκριμένους στόχους για την υποστήριξη των καινοτόμων πολιτικών τους. Οι περιπτωσιολογικές μελέτες δείχνουν ότι ο σχεδιασμός και η συμφωνία για ένα σαφές όραμα για το μέλλον μπορούν να συμβάλλουν στη βελτίωση του έργου των σχολείων. Επιπλέον, μια κοινή προσέγγιση προς τους στόχους και τις απαιτήσεις της καινοτομίας σε όλα τα επίπεδα της εκπαίδευσης, συμβάλλει στη δημιουργία αίσθησης αφοσίωσης, ιδιοκτησίας και σταθερότητας μεταξύ των μελών της εκπαιδευτικής κοινότητας και παράλληλα ενισχύει τη δέσμευση όλων των ενδιαφερομένων να εργαστούν για την επίτευξη κοινών στόχων (European Union, 2018). Επιπλέον, είναι απαραίτητο για τη βελτίωση των εκπαιδευτικών συστημάτων, να καθιερωθούν τόσο οι στενοί δεσμοί μεταξύ των σχολείων και του περιβάλλοντος τους, όσο και η χρήση των δυνατοτήτων των ΤΠΕ στην εκπαίδευση, προκειμένου να βελτιωθεί η εφαρμογή της καινοτομίας στις τάξεις μέσω νέων διδακτικών μεθόδων όπως είναι η χρήση ψηφιακών μέσων ή η συνεργατική μάθηση (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2017).

### **2.1.3. Μορφές καινοτομίας στην εκπαίδευση**

Κρίσιμο ωστόσο είναι να απαντηθούν ερωτήματα όπως, ποια οφείλει να είναι η μορφή των καινοτομιών στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, αν υπάρχουν κριτήρια που



χαρακτηρίζουν την εισαγωγή μία καινοτόμου ιδέας ως επιτυχημένη και ποια είναι αυτά και ακόμη, ποια επίδραση έχει η εφαρμογή καινοτομιών στην ποιότητα των σχολικών μονάδων και στη μετέπειτα σταδιοδρομία των μαθητών.

Αρχικά, σύμφωνα με τον Dungan (2018), για να είναι αναγκαία η εισαγωγή μιας καινοτομίας πρέπει να έχει διαμορφωθεί μία -κατά κανόνα- αρνητική κατάσταση, ένα πρόβλημα το οποίο πρέπει να αντιμετωπιστεί. Η απάντηση στο ερώτημα «τι πρέπει να κάνουμε για να αλλάξει αυτή η κατάσταση;» προσδιορίζει και το περιεχόμενο της καινοτομίας, που μπορεί να είναι, είτε ένα πρόγραμμα, είτε μια δραστηριότητα – ενέργεια, τα οποία θα αναφέρονται: σε μία νέα παιδαγωγική μέθοδο, σε τροποποίηση των δομών της οργάνωσης της εκπαίδευσης, σε νέες τεχνικές (όπως εισαγωγή νέων τεχνολογιών στη διδασκαλία ή χρήση πολυμέσων) ή σε εισαγωγή νέων μεθόδων ανάπτυξης του προσωπικού. Ειδικά για το τελευταίο, οι εκπαιδευτικοί πρέπει να εκπαιδευτούν ώστε να διαθέτουν και να αναπτύσσουν μία βάση γνώσεων για αποτελεσματικότερη διδασκαλία και μία βάση γνώσεων για την αλλαγή των συνθηκών που επηρεάζουν τη διδασκαλία. Επιπλέον, βασικό είναι να αντιλαμβάνονται και να χρησιμοποιούν τα οφέλη της συνεργασίας στη διδασκαλία (Fullan, 1993).

Σημαντικότετος για την εισαγωγή της κουλτούρας της καινοτομίας στη σχολική κοινότητα είναι ο ρόλος του διευθυντή της σχολικής μονάδας. Η έρευνα της Hale (2017) κατέληξε στο συμπέρασμα ότι ο καινοτόμος ηγέτης διαθέτει χαρακτηριστικά υποστήριξης, συνεργασίας, επικοινωνίας και σύνδεσης του σχολείου με την κοινωνία. Επιπλέον, ως καινοτόμοι σχολικοί ηγέτες θεωρούνται ως εκείνοι που προωθούν την ανάληψη πρωτοβουλιών, ενώ η υποστήριξη από την ηγεσία είναι το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό για την εξασφάλιση ενός καινοτόμου περιβάλλοντος σε ένα σχολείο. Πιο συγκεκριμένα, οι ηγέτες που παρείχαν στήριξη βρέθηκαν να ενισχύουν την εκπαιδευτική κοινότητα να δημιουργήσει νέες ιδέες και να εφαρμόσει καινοτομίες. Συνεπώς, ο ρόλος του διευθυντή δεν είναι να εισαγάγει τις ίδιες τις καινοτομίες αλλά, αντίθετα, να παράσχει υποστήριξη και όραμα για την υλοποίησή τους από τους εκπαιδευτικούς, τους μαθητές και το σύνολο των συμμετεχόντων στο εκπαιδευτικό έργο.

Αλλά και οι ίδιες οι καινοτόμες εκπαιδευτικές δράσεις που θα υλοποιηθούν από τη σχολική μονάδα, δεν έχουν ως στόχο να προσφέρουν στους μαθητές νέες γνώσεις και πρόσθετη ύλη. Στη βάση τους αποτελούν νέες παιδαγωγικές στρατηγικές, οι οποίες

στοχεύουν στην υιοθέτηση νέων μορφών διδασκαλίας, στην εξέλιξη των ήδη υπαρχόντων και στην αλλαγή των στάσεων και των αντιλήψεων των εμπλεκομένων. Η εισαγωγή της εκπαιδευτικής καινοτομίας στα σχολεία δεν είναι τίποτε άλλο παρά μια διαρκής και εξελισσόμενη διαδικασία, κατά την οποία αξιοποιούνται νέες πρακτικές και διαμορφώνονται συνδυασμοί παλαιών και καινούριων μεθόδων διδασκαλίας με στόχο τη βελτίωση της μάθησης (Fullan, 2001).

Ωστόσο, περιορισμένος αριθμός σχολικών μονάδων δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης καταφέρνουν να αλλάζουν θεμελιωδώς, αλλά και αυτές οι πρωτοβουλίες αλλαγής σπάνια διαρκούν ή εξαπλώνονται. Πράγματι, παρόλο που πολλές καινοτομίες μπορούν να υλοποιηθούν όταν συνυπάρχουν παράγοντες όπως η αποτελεσματική ηγεσία, οι επαρκείς επενδύσεις και η ισχυρή εσωτερική και εξωτερική υποστήριξη, λίγες καινοτομίες φτάνουν στο στάδιο της θεσμοθέτησης όταν γίνονται αβίαστα μέρος της πρακτικής των περισσότερων εκπαιδευτικών (Hargreaves & Goodson, 2006).

Σύμφωνα με τους Κυριακώδη & Τζιμογιάννη (2015) οι εκπαιδευτικές καινοτομίες θεωρούνται ως επιτυχημένες όταν είναι βιώσιμες, δηλαδή μπορούν να διατηρηθούν από το σχολείο για ικανό χρονικό διάστημα, όταν μπορούν να εφαρμοστούν και να αξιοποιηθούν και από άλλους εκπαιδευτικούς, διαφορετικών σχολικών μονάδων και όταν έχουν σημαντική παιδαγωγική αξία και αξιόλογο μαθησιακό αποτέλεσμα. Οι ίδιοι ερευνητές επισημαίνουν και ένα επιπρόσθετο πρόβλημα που καθορίζει την επιτυχία της εφαρμογής των καινοτομιών στα σχολεία και που σχετίζεται με την απροθυμία των εκπαιδευτικών να συμμετέχουν σε καινοτόμες δράσεις που τους επιβάλλονται. Πάνω σε αυτό, ο Fullan (2009) προτείνει ένα διαφορετικό χειρισμό διαχείρισης των εκπαιδευτικών αλλαγών, σύμφωνα με τον οποίο η σχολική εκπαιδευτική κοινότητα ορίζει μόνη της τους στόχους που θα διαμορφώνει η εισαγωγή της καινοτομίας ώστε να αναλαμβάνει πρωτοβουλίες προσαρμοσμένες σε καθορισμένες ανάγκες που την αφορούν. Όπως και να είναι, υποχρεωτικά ή μη, τα καινοτόμα προγράμματα όταν εφαρμόζονται ενδυναμώνουν τη σχολική κοινότητα και ταυτόχρονα αποτελούν και τη διασύνδεσή της με την κοινωνία (Σπυροπούλου κ.ά., 2008).

Την αναγκαιότητα της διασύνδεσης του σχολείου με την κοινωνία τονίζει και η Ευρωπαϊκή Ένωση, σημειώνοντας ότι η καινοτομία μπορεί να συμβάλει στη μετατροπή των διδακτικών και μαθησιακών πρακτικών, επιτρέποντας την ανάπτυξη του εύρους των

δεξιοτήτων και ικανοτήτων των σπουδαστών που είναι απαραίτητες για το μέλλον τους. Η καινοτομία μπορεί επίσης να εκληφθεί ως ένας τρόπος αντιμετώπισης του προβλήματος της παραγωγικότητας στα εκπαιδευτικά συστήματα και, με την αξιοποίηση των δυνατοτήτων των νέων τεχνολογικών εργαλείων, μπορεί να συμβάλει στη μετεξέλιξη της διδασκαλίας και της μάθησης, καθιστώντας την πιο διαδραστική, εξατομικευμένη και παραγωγική. Οι ευέλικτες μέθοδοι διδασκαλίας με επίκεντρο τον μαθητή μπορούν να βοηθήσουν στην προσαρμογή της εκπαιδευτικής διαδικασίας, επιτρέποντας στους εκπαιδευτικούς να ανταποκριθούν καλύτερα στις ατομικές ανάγκες κάθε εκπαιδευόμενου και, όπου χρειάζεται, να προσφέρουν έγκαιρη υποστήριξη. Ο ταχύς ρυθμός των κοινωνικών και οικονομικών αλλαγών απαιτεί οι εκπαιδευόμενοι να είναι καλά εξοπλισμένοι με τις απαραίτητες βασικές ικανότητες για να αντιμετωπίσουν την αβεβαιότητα, να είναι ικανοί να συνεργάζονται για την επίλυση σύνθετων προβλημάτων και να γίνουν ενεργοί πολίτες (European Union, 2018).

Εντούτοις, όπως επισημαίνουν οι Κυριακώδη & Τζιμογιάννης (2015), αν και ζούμε σε εποχή δυναμικών αλλαγών όπου οι καινοτόμες ιδέες ενσωματώνονται ταχύτατα σε άλλους τομείς (π.χ. ιατρική, επικοινωνίες, τεχνολογία κ.λπ.), η καινοτομία στην εκπαιδευτική πραγματικότητα αναπτύσσεται με αδύναμους ρυθμούς, καθώς τα σχολεία δεν έχουν αλλάξει τη δομή των προγραμμάτων σπουδών, τις παιδαγωγικές πρακτικές, τα εκπαιδευτικά μέσα και τους τρόπους αξιολόγησης. Ταυτόχρονα, πολλοί είναι εκείνοι που τείνουν να ταυτίσουν την εισαγωγή της αλλαγής στην εκπαίδευση με τη χρήση των ψηφιακών τεχνολογιών και να θεωρήσουν ότι η χρήση των τεχνολογιών επικοινωνίας και πληροφορικής (ΤΠΕ) αποτελούν από μόνες τους καινοτομία. Όμως, μόνον όταν τα εργαλεία των ΤΠΕ χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση νέων παιδαγωγικών προσεγγίσεων και όχι ως συμπλήρωμα των κλασικών δασκαλοκεντρικών διδακτικών μεθόδων μπορούν να εκληφθούν ως διδακτική καινοτομία.

#### **2.1.4. Καινοτομία και ψηφιακές τεχνολογίες στη διδασκαλία**

Πράγματι, οι ψηφιακές τεχνολογίες έχουν γίνει ένα κοινό εργαλείο μάθησης και οργάνωσης σε πολλά σχολεία, καθώς έχουν τη δυνατότητα να υποστηρίξουν και να επεκτείνουν την εφαρμογή και την εκμάθηση των πρακτικών της επιστήμης. Αυτά τα εργαλεία έχουν τη δυνατότητα να υποστηρίξουν, να ενισχύσουν και ακόμη να

μετασηματίσουν τη μαθησιακή εμπειρία, αν χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά, συνδυάζοντάς τα, δηλαδή, με σύγχρονες παιδαγωγικές πρακτικές. Ο ρόλος του εκπαιδευτικού μετασηματίζεται και οι νέες εμπειρίες που προσφέρει ο υπολογιστής στους μαθητές διευκολύνουν τον εκπαιδευτικό, αφού οι μαθητές μπορεί να συμμετέχουν ενεργά στη μαθησιακή διαδικασία και ο εκπαιδευτικός πλέον να έχει καθαρά διευκολυντικό και συμβουλευτικό ρόλο, αντί για εκείνον που διαδραμάτιζε σε μια παραδοσιακή τάξη (Parker *et al.*, 2019).

Σύμφωνα με τον Κόμη (2015), το πρώτο βήμα για τη χρήση των ψηφιακών τεχνολογιών στο διδακτικό έργο είναι, αφού έχει προηγηθεί η κατανόηση των βασικών εννοιών του διδακτικού αντικειμένου και του πλαισίου που σχετίζεται με τη σύνδεσή του με τις ΤΠΕ, να εφαρμοστεί στην πράξη η στοχευμένη ενσωμάτωση των ΤΠΕ στη διδασκαλία και τη μάθηση με το σχεδιασμό μίας ολοκληρωμένης διδακτικής παρέμβασης. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι πρέπει να σχεδιαστεί και να υλοποιηθεί μία συγκροτημένη διδασκαλία με ξεκάθαρες διδακτικές και παιδαγωγικές προδιαγραφές και προκαθορισμένους διδακτικούς στόχους και στρατηγικές ώστε να διδαχθεί ένα κεφάλαιο/τμήμα του αναλυτικού προγράμματος οποιουδήποτε γνωστικού αντικειμένου (μαθηματικά, φυσικές επιστήμες, φιλολογικά μαθήματα κ.λπ.).

Γίνεται λοιπόν σαφές ότι η καινοτομία, όταν συνδυάζεται με τις ψηφιακές τεχνολογίες ως μέσο νέων παιδαγωγικών πρακτικών, υπάρχει μόνο όταν οι εκπαιδευτικοί χρησιμοποιούν τις τεχνολογίες επικοινωνιών και πληροφορικής στην προσπάθειά τους να σχεδιάσουν και υλοποιήσουν νεότερες μορφές μαθησιακών δραστηριοτήτων, αντί απλώς να εμπλουτίζουν τις παραδοσιακές διδακτικές μεθόδους (Κυριακώδη & Τζιμογιάννης, 2015). Παράλληλα, ο σχεδιασμός αυτών των νέων διδακτικών πρακτικών απαιτεί μεγάλη ατομική και συλλογική προσπάθεια εκ μέρους των εκπαιδευτικών και της σχολικής κοινότητας. Αυτό όμως συχνά δεν είναι αρκετό, διότι χρειάζεται και συνεχής υποστήριξη και αναγνώριση από τη διεύθυνση του σχολείου, επιμόρφωση των εκπαιδευτικών στην παιδαγωγική χρήση των ψηφιακών τεχνολογιών, αλλαγή του τρόπου αξιολόγησης και -το κυριότερο- νέα σύγχρονα προγράμματα σπουδών (Bocconi, Kamprylis, Punie, 2012).

Με ποιον τρόπο, όμως, εντάσσονται οι ψηφιακές τεχνολογίες στην εκπαίδευση ώστε να εξυπηρετούν την καινοτομία; Σύμφωνα με τους Κόμη & Παπανδρέου (2005) η ένταξη αυτή μπορεί να υλοποιηθεί με τρεις τρόπους:

- Ως αυτόνομο γνωστικό αντικείμενο, που πρακτικά σημαίνει ότι οι μαθητές πρέπει να αποκτήσουν γνώσεις πληροφορικής και προγραμματισμού και ως εκ τούτου διδάσκονται την πληροφορική ως ανεξάρτητο γνωστικό αντικείμενο. Αυτή η προσέγγιση τείνει να εγκαταλειφθεί τουλάχιστον σε ό,τι αφορά στις χαμηλότερες βαθμίδες εκπαίδευσης, ενώ πλέον δίνεται έμφαση στην ανάπτυξη δεξιοτήτων σχετικών με τις ψηφιακές τεχνολογίες (Computer literacy).
- Με την ενσωμάτωση των τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνιών σε όλα τα επιμέρους γνωστικά αντικείμενα του αναλυτικού προγράμματος σπουδών. Θεωρείται ότι αυτή η διάχυση του αντικειμένου της πληροφορικής σε όλα τα μαθήματα μπορεί να βοηθήσει στην ανάπτυξη συνεργατικών μοντέλων διδασκαλίας. Βέβαια, για την επιτυχημένη εφαρμογή των παραπάνω απαιτούνται αλλαγές στα προγράμματα σπουδών και στην κατάρτιση των εκπαιδευτικών.
- Ως συνδυασμός των δύο παραπάνω προσεγγίσεων, δηλαδή η παράλληλη διδασκαλία ενός αμιγούς μαθήματος πληροφορικής, που θα συνοδεύεται με την προοδευτική ένταξη της χρήσης των ψηφιακών τεχνολογιών στη διδακτική πρακτική. Η μέθοδος αυτή συνδυάζει τα πλεονεκτήματα της ολοκληρωμένης διδακτικής προσέγγισης με την ανάγκη για τεχνολογικό αλφαριθμητισμό των μαθητών. Έτσι, οι ΤΠΕ δεν αποτελούν μόνο ένα γνωστικό αντικείμενο που προάγει τον τεχνολογικό αλφαριθμητισμό, αλλά και ένα πολύτιμο εποπτικό - διδακτικό μέσο.

Ο υπολογιστής, λοιπόν, αντιμετωπίζεται ως ένα «γνωστικό εργαλείο» το οποίο αποτελεί το μέσο υλοποίησης της θεωρητικής προσέγγισης της γνώσης και ταυτόχρονα το μέσο οικοδόμησης της γνώσης (Μικρόπουλος, 2006). Συνεπώς, με τη χρήση των ψηφιακών τεχνολογιών, οι μαθητές συνεργάζονται μεταξύ τους, αλλά και με τον εκπαιδευτικό, και μελετούν το αντικείμενο διδασκαλίας, μεταφέρουν τη γνώση σε νέες θεματικές ενότητες και αντικείμενα, εντάσσοντάς το σε ένα ολοκληρωμένο μαθησιακό πλαίσιο. Έτσι, ο υπολογιστής αξιοποιείται εύκολα στη διδακτική πράξη, χωρίς να απαιτούνται εξειδικευμένες τεχνικές γνώσεις και δεξιότητες. Όπως αναφέρει ο ίδιος συγγραφέας, ο βασικός στόχος αυτής της διδακτικής μεθόδου είναι η αξιοποίηση των ΤΠΕ με κέντρο το μαθητή και όχι την τεχνολογία, ώστε οι μαθητές να δημιουργούν μόνοι τους το δικό τους μαθησιακό περιβάλλον, να καταλήγουν σε συμπεράσματα και να αξιολογούν τα αποτελέσματα των εργασιών τους. Οι μαθητές ως ερευνητές καινοτομούν,

διατυπώνοντας ένα ερώτημα προς το περιβάλλον (πραγματικό ή προσομοιωμένο από υπολογιστή) και μαθαίνοντας από τον τρόπο που το περιβάλλον ανταποκρίνεται. Ωστόσο, είναι σημαντικό να τονιστεί ο καθοριστικός ρόλος του εκπαιδευτικού στην παραπάνω διερευνητική διαδικασία μάθησης, διότι η καθοδήγηση του εκπαιδευτικού είναι απαραίτητη για την οικοδόμηση και το μετασχηματισμό της γνώσης (Δημητριάδης, 2015).

Ειδικότερα, η χρήση του υπολογιστή ως γνωστικό εργαλείο στη διδακτική των φυσικών επιστημών βρίσκει ένα ευρύ πεδίο εφαρμογών και ο λόγος είναι ότι η Φυσική μελετά φυσικούς νόμους και φαινόμενα, έχει πειραματική διάσταση, ενώ παρουσιάζει σημαντικές δυσκολίες στην αντίληψη και κατανόηση εννοιών και συνεπώς δεν είναι ελκυστική για τους περισσότερους μαθητές. Σύμφωνα με απόψεις των ίδιων των εκπαιδευτικών, όπως σημειώνει ο Λεγοντής (2010), με τη χρήση εκπαιδευτικών λογισμικών γίνεται το μάθημα της Φυσικής πιο ελκυστικό για τους διδασκόμενους, καθώς μπορούν να προσομοιωθούν επικίνδυνες και ακριβές πειραματικές διατάξεις και μάλιστα με θεαματικό τρόπο, να εξοικονομηθούν χώρος και χρόνος και να βοηθηθούν οι μαθητές να αντιληφθούν αφηρημένες και θεωρητικές έννοιες, αναπτύσσοντας πρωτοβουλία και εμφανίζοντας παράλληλα ιδιαίτερα αυξημένο ενδιαφέρον για τη διδακτική διαδικασία.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

### 3.1. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

Η Θερμοδυναμική αποτέλεσε έναν ανεξάρτητο κλάδο των Φυσικών Επιστημών μετά από την καθοριστική συμβολή των Carnot (1824), Clapeyron (1834), Mayer (1842), Joule (1843), Rankine (1850), Clausius (1854), Kelvin (1856), Gibbs (1883) και πολλών άλλων εξεχόντων επιστημόνων. Είναι ένας κλάδος της Φυσικής που ασχολείται με την ενέργεια και το έργο ενός συστήματος. Γεννήθηκε το 19ο αιώνα καθώς οι επιστήμονες αρχικά ανακάλυψαν πώς να κατασκευάζουν και να λειτουργούν ατμομηχανές και έχει τη βάση της σε τρεις θεμελιώδεις νόμους (NASA, 2019). Οι νόμοι της θερμοδυναμικής παίζουν κεντρικό ρόλο στην κατανόηση διάφορων ατμοσφαιρικών φαινομένων (Χαλδούπης, 2015), στις αρχές λειτουργίας μηχανών, στη χημεία, στη βιολογία και στην επιστήμη υλικών (Cengel & Boles, 2011).

Σύμφωνα με τον Αυλωνίτη (2017, σ.2) *«Η Κλασική Θερμοδυναμική είναι μία φαινομενολογική φυσική θεωρία, η οποία γενικεύει ένα περιορισμένο αριθμό μακροσκοπικών παρατηρήσεων της συμπεριφοράς του πραγματικού κόσμου σε απλούς φυσικούς νόμους καθολικής ισχύος»*.

Απαραίτητη προϋπόθεση για τη μελέτη των θερμοδυναμικών φαινομένων είναι ο καθορισμός ενός θερμοδυναμικού συστήματος, δηλαδή *«μιας ποσότητας μάζας ή περιοχής που επιλέγεται να μελετηθεί»* (Cengel & Boles, 2011, σ.10). Για να περιγραφεί ένα θερμοδυναμικό σύστημα χρειάζεται να γνωρίζουμε κάποια στοιχεία του. Για παράδειγμα, ορισμένη ποσότητα αερίου που βρίσκεται σε ένα δοχείο μπορεί να περιγραφεί αν γνωρίζουμε τον όγκο του, τη θερμοκρασία του και την πίεσή του. Τα στοιχεία αυτά ονομάζονται θερμοδυναμικές μεταβλητές.

Όταν σε ένα θερμοδυναμικό σύστημα οι θερμοδυναμικές μεταβλητές που το περιγράφουν διατηρούνται σταθερές με το χρόνο, το σύστημα βρίσκεται σε κατάσταση θερμοδυναμικής ισορροπίας (Βλάχος & άλλοι, 2013, σ.99). Πρακτικά, σύμφωνα με τους Halliday & Resnick (1976, σ.526): *«υπάρχει μία ποσότητα, που λέγεται θερμοκρασία, η οποία είναι ιδιότητα όλων των θερμοδυναμικών συστημάτων σε κατάσταση ισορροπίας, τέτοια που η ισότητα της θερμοκρασίας είναι αναγκαία και ικανή συνθήκη για τη θερμική ισορροπία»* (Μηδενικός Νόμος της Θερμοδυναμικής).

Ως Θερμότητα ορίζεται η ενέργεια που ρέει από ένα σώμα σε κάποιο άλλο εξ αιτίας μία διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ τους. Μπορούμε να διακρίνουμε τη θερμότητα και το έργο, ορίζοντας ως έργο την ενέργεια που μεταφέρεται από ένα σύστημα σε ένα άλλο, δίχως να μας ενδιαφέρει αν η θερμοκρασία έπαιξε κάποιο ρόλο σε αυτήν τη μεταφορά. Τονίζεται επιπλέον ότι το έργο που παράγεται, καθώς και η θερμότητα που παίρνει ή χάνει ένα σύστημα, εξαρτώνται όχι μόνο από την αρχική και τελική κατάσταση του συστήματος, αλλά και από τις ενδιάμεσες καταστάσεις, δηλαδή από το δρόμο της διεργασίας (Halliday & Resnick, 1976).

$$\Delta U = Q - \Delta W$$

Η παραπάνω εξίσωση είναι γνωστή ως ο 1<sup>ος</sup> νόμος της Θερμοδυναμικής. Μπορούμε να τον εκφράσουμε ως εξής: *«Κάθε θερμοδυναμικό σύστημα σε μία κατάσταση ισορροπίας χαρακτηρίζεται από μία καταστατική μεταβλητή, που λέγεται εσωτερική ενέργεια U και της οποίας η μεταβολή ΔU δίνεται από την παραπάνω εξίσωση»* (Halliday & Resnick, 1976, σ.561). Σημειώνεται ότι ο 1<sup>ος</sup> θερμοδυναμικός νόμος είναι η εφαρμογή της αρχής διατήρησης της ενέργειας στη Θερμοδυναμική (Βλάχος & άλλοι, 2013). Μικροσκοπικά, ως εσωτερική ενέργεια ορίζεται το άθροισμα των κινητικών και δυναμικών ενεργειών των σωματιδίων που αποτελούν ένα σύστημα και εξαρτάται από τη θερμοκρασία και τη μάζα του συστήματος (Varotsos & Alexopoulos, 1986). Πρόκειται για μία μορφή ενέργειας η οποία έχει την ιδιότητα να «αποταμιεύεται» σε ένα σύστημα (Baehr, 2007). Εντούτοις, αυτό που μας ενδιαφέρει για ένα θερμοδυναμικό σύστημα είναι η μεταβολή ΔU της εσωτερικής ενέργειας, η οποία εξαρτάται μόνο από την αρχική και τελική του κατάσταση (Halliday & Resnick, 1976).

Σύμφωνα με τον Clausius ο 2<sup>ος</sup> Θερμοδυναμικός νόμος μπορεί να διατυπωθεί ως εξής: *«Είναι αδύνατο οποιαδήποτε μηχανή να μην προκαλεί άλλο αποτέλεσμα από το να μεταφέρει συνεχώς θερμότητα από ένα σώμα σε ένα άλλο σε ψηλότερη θερμοκρασία»* (όπως αναφέρουν οι Halliday & Resnick, 1976, σ. 628). Ο πρώτος Θερμοδυναμικός νόμος δεν θέτει περιορισμούς στις μετατροπές της ενέργειας. Σύμφωνα με το δεύτερο, όμως, η φύση θέτει περιορισμούς στη μετατροπή ενέργειας από τη μια μορφή στην άλλη. Η θερμότητα δεν μπορεί να μετασχηματιστεί κατά 100% σε μηχανική ενέργεια. (Βλάχος & άλλοι, 2013).



### 3.2. Η ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΩΣ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ

Λαμβάνοντας υπόψη τη σπουδαιότητα της Θερμοδυναμικής ως κλάδου των φυσικών επιστημών, αποτελεί αντικείμενο έρευνας η διδασκαλία της σε διάφορα επίπεδα εκπαίδευσης. Όπως αναφέρει η Μελή (2015), το ερώτημα για το αν πρέπει να διδάσκεται η Θερμοδυναμική ως διακριτό κεφάλαιο της Φυσικής στα σχολεία, έχει τεθεί από τα μέσα της δεκαετίας του 1970 και έχει απαντηθεί θετικά. Ο δε Κουμαράς (2015) τονίζει και την κοινωνική διάσταση της διδασκαλίας της Θερμοδυναμικής στα σχολεία, καθώς θα βοηθήσει τους μαθητές να κατανοήσουν θέματα όπως η ρύπανση, η κλιματική αλλαγή και η εξοικονόμηση ενέργειας.

Όπως αναφέρουν οι Maréchal & Bilani (2008) η διδασκαλία της Θερμοδυναμικής είναι μια μακρά διαδικασία. Στις περισσότερες χώρες η διδασκαλία της Θερμοδυναμικής ξεκινά στο δημοτικό σχολείο αρχίζοντας από την έννοια της θερμοκρασίας. Στη συνέχεια, η θερμότητα εισάγεται ως έννοια εμπλεκόμενη με την αλλαγή της κατάστασης του νερού (πάγος–νερό–ατμός). Αργότερα, στην ανώτερη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, εισάγονται οι έννοιες της ενέργειας και του έργου παράλληλα με τη χημική και θερμοδυναμική ισορροπία. Στην τριτοβάθμια εκπαίδευση ακολουθεί μεγαλύτερη εξειδίκευση.

Παρόμοια πορεία διδακτικής των θερμοδυναμικών φαινομένων ακολουθείται και στο ελληνικό εκπαιδευτικό σύστημα, ενώ ως αυτόνομο κεφάλαιο της Φυσικής η Θερμοδυναμική διδάσκεται στη Β' τάξη του Γενικού Λυκείου σε μαθητές που ακολουθούν τη θετική ομάδα προσανατολισμού. Σύμφωνα με το επίσημο πρόγραμμα σπουδών (αριθμός εγκυκλίου του Υπουργείου Παιδείας: 142742/Δ2/04-09-2018) οι μαθητές πρέπει να διδαχθούν τους «Νόμους των αερίων», με παράλληλη πειραματική επιβεβαίωση του γενικού νόμου των ιδανικών αερίων (οποιαδήποτε θεωρεί κατάλληλη ο εκπαιδευτικός) και να κατανοήσουν τις έννοιες: Ισορροπία θερμοδυναμικού συστήματος, Αντιστρεπτές μεταβολές, Θερμότητα, Εσωτερική ενέργεια, Πρώτος θερμοδυναμικός νόμος, Θερμικές μηχανές, Δεύτερος θερμοδυναμικός νόμος, Μηχανή του Carnot, σε διάστημα 25 διδακτικών ωρών από τις οποίες μόνον οι 2 ώρες προτείνονται για πραγματοποίηση πειραμάτων.

Αναφορικά με την ενδεικνυόμενη διδασκαλία της Θερμοδυναμικής έχουν πραγματοποιηθεί έρευνες που έχουν αντιμετωπίσει ορισμένα σημαντικά θέματα, όπως τη σωστή παρουσίαση των βασικών εννοιών και αρχών, τη σειρά με την οποία τα θέματα

θα πρέπει να αντιμετωπίζονται, και τα πλεονεκτήματα μιας μακροσκοπικής ή μικροσκοπικής θεώρησης των εννοιών. Ωστόσο, όπως επισημαίνουν οι Loverude *et al* (2001), ως επί το πλείστον, οι αναλύσεις δεν συνοδεύονται από μια λεπτομερή κατανόηση του πώς οι μαθητές μαθαίνουν καλύτερα. Ειδικότερα, έχει ευρέως μελετηθεί και τεκμηριωθεί η τάση να συγχέονται οι έννοιες της θερμότητας, της θερμοκρασίας και της εσωτερικής ενέργειας. Εντούτοις, οι ίδιοι ερευνητές τονίζουν ότι αυτές οι ιδέες και αναλύσεις είχαν ελάχιστες επιπτώσεις στο πώς η θερμοδυναμική πρέπει να διδάσκεται μέσα στο περιβάλλον μίας πραγματικής τάξης.

### 3.2.1. Παρανοήσεις των μαθητών σχετικές με έννοιες της Θερμοδυναμικής

Επιπρόσθετα, έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί σε μαθητές Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης έχουν καταλήξει ότι υπάρχουν ισχυρές παρανοήσεις πάνω σε βασικές έννοιες και οι μαθητές δύσκολα αλλάζουν τη στάση τους πάνω σε αυτές. Οι Kesidou και Duit (1993) αναφέρουν ότι, σε έρευνα που πραγματοποίησαν σε μαθητές 15-16 ετών στη Γερμανία, διαπιστώθηκε μεγάλη δυσκολία κατανόησης της ενέργειας, καθώς και δυσκολία διάκρισης των εννοιών της θερμότητας και της θερμοκρασίας. Οι ερευνητές εντοπίζουν ακόμη μεγαλύτερα προβλήματα στην κατανόηση της διαδικασίας θέρμανσης ενός σώματος, όπου οι μαθητές θεωρούν ότι ένα σώμα θερμαίνεται μόνο με διαβίβαση θερμότητας. Παράλληλα, διαπιστώνουν ότι οι μαθητές δεν αναγνωρίζουν ότι η ενέργεια δεν χάνεται, αλλά μετασχηματίζεται στη διάρκεια μίας διαδικασίας. Καταλήγουν λοιπόν, σε δύο βασικά συμπεράσματα: ότι η παραδοσιακή διδασκαλία της Θερμοδυναμικής δεν βοηθά τους μαθητές να κατανοήσουν τις βασικές αρχές των θερμοδυναμικών νόμων και ότι οι μαθητές χρειάζεται να σχηματίσουν μία νέα εννοιολογική δομή που να τους βοηθήσει να καταλάβουν την ιδέα της αντιστρεψιμότητας των θερμοδυναμικών μεταβολών.

Ομοίως, οι Arnold & Millar (1996) σημειώνουν ότι οι μαθητές θεωρούν τη θερμότητα ταυτόσημη με τη θερμοκρασία και δεν μπορούν να κατανοήσουν την θερμική ισορροπία ενός συστήματος. Σε έρευνά τους οι Ben-Zvi (1999) και Viennot (1998), επίσης, αναφέρουν ότι οι έφηβοι συγχέουν τη θερμοκρασία με τη μεταφορά θερμότητας και δεν ξεχωρίζουν το έργο και την ενέργεια. Ο Harrison (1996), έχοντας επίσης διαπιστώσει ότι οι μαθητές Λυκείου δυσκολεύονται να διακρίνουν διαφορές ανάμεσα στη θερμότητα και τη

θερμοκρασία, χρησιμοποίησε ένα μαθησιακό περιβάλλον που επέτρεπε στους μαθητές να προχωρήσουν με τον δικό τους ρυθμό και να διαπραγματευτούν συνεργατικά τα μαθησιακά αποτελέσματα σε συζητήσεις μικρής ομάδας και ολόκληρης τάξης, μετατρέποντας την τάξη που εστιάζεται στον εκπαιδευτικό σε τάξη που εστιάζει στο μαθητή. Με αυτόν τον τρόπο διαπίστωσε ότι κάποιοι μαθητές μπόρεσαν να ανασυγκροτήσουν τα εννοιολογικά τους πλαίσια και να διαφοροποιήσουν τη θερμότητα από τη θερμοκρασία.

Επιπρόσθετα, ο De Berg (1995) επισημαίνει ότι ένα ποσοστό 34-38% μαθητών 17-18 ετών δύο κολλεγίων στην Αγγλία δεν αντιλαμβάνονται τη διαφορά ανάμεσα στον όγκο και μάζα. Οι Sarıcağır *et al.* (2016), σε έρευνα που πραγματοποίησαν σε 418 μαθητές 11 Λυκείων στην Τουρκία, απέδειξαν ότι το επίπεδο κατανόησης των μαθητών σε θέματα της Θερμοδυναμικής είναι πολύ χαμηλό, παρά το γεγονός ότι διδάσκονται σχετικές έννοιες από το δημοτικό. Στο ελληνικό εκπαιδευτικό σύστημα, οι Meli *et al.* (2016) αναφέρουν τη μεγάλη δυσκολία των μαθητών της Β' Λυκείου (16-17 ετών) να κατανοήσουν τον 1<sup>ο</sup> Θερμοδυναμικό Νόμο. Κοινός τόπος των παραπάνω ερευνών είναι το συμπέρασμα ότι η θερμότητα συχνά ερμηνεύεται ως ιδιότητα ενός αντικειμένου και η θερμοκρασία ως μέτρο της έντασης της. Ακόμη, συχνά, η θερμοκρασία και η θερμότητα θεωρούνται συνώνυμες έννοιες. Εναλλακτικά, η θερμότητα συχνά ερμηνεύεται ως μια συγκεκριμένη ποσότητα ενέργειας που κατέχει ένα σώμα με τη θερμοκρασία να είναι ένα μέτρο αυτής της ποσότητας (Meltzer, 2004).

Διδάσκοντες στο πανεπιστήμιο συχνά έχουν σημειώσει παρόμοιες ιδέες μεταξύ των φοιτητών τους, όπως αναφέρεται σε πλήθος ερευνών που έχουν πραγματοποιηθεί τις τελευταίες δεκαετίες. Μάλιστα ο Junglas (2006) σημειώνει ότι για τους φοιτητές των Πολυτεχνείων η Θερμοδυναμική αποτελεί ένα από τα πιο μισητά αντικείμενα, εξαιτίας της δυσκολίας που παρουσιάζει στην κατανόησή της, και εξετάζει εναλλακτικές μεθόδους διδασκαλίας της με χρήση προσομοιώσεων. Την ίδια άποψη εκφράζουν και οι Sokrat *et al.* (2014) και την αιτιολογούν ως αποτέλεσμα της έλλειψης κινήτρων, της απουσίας συγκέντρωσης και του κακού προγράμματος σπουδών. Οι Loverude *et al.* (2001) εντοπίζουν, εκτός από τη δυσκολία κατανόησης του 1<sup>ου</sup> Θερμοδυναμικού Νόμου, και την αδυναμία σύνδεσής του με απλές εφαρμογές της καθημερινότητας. Επιπρόσθετα, ο Alwan (2009), μετά από έρευνα που πραγματοποίησε σχετικά με την κατανόηση εννοιών

της θερμοδυναμικής σε 54 φοιτητές, κατέληξε ότι αυτοί έχουν ήδη διαμορφώσει τις αντιλήψεις τους πριν μπουν στην τάξη και ότι ο καθηγητής οφείλει να προσεγγίσει την ανάπτυξη του μαθήματος χρησιμοποιώντας μοντέρνες μεθόδους διδασκαλίας. Την αδυναμία των φοιτητών να κατανοήσουν, να αναλύσουν και τελικά να επιλύσουν προβλήματα θερμοδυναμικής τονίζει και ο Liu, (2009) και προτείνει ένα πρόγραμμα σπουδών βασισμένο στη χρήση υπολογιστών ως μέσων διδασκαλίας. Σε παρόμοια συμπεράσματα και κατευθύνσεις οδηγήθηκαν και άλλοι ερευνητές όπως οι: Wisser & Amin (2001); Huang & Gramoll (2004); Meltzer, (2004); Anderson *et al.*, (2005); Georgiou, (2014); Kamcharean & Wattanakasiwich, (2016); Hakim *et al.*, (2017).

Οι παραπάνω έρευνες επιστρατεύουν διάφορες τεχνικές για να συγκεντρώσουν πληροφορίες σχετικές με τις παρανοήσεις των μαθητών, όπως εννοιολογικούς χάρτες, ανοιχτού τύπου ερωτήσεις, ερευνητικές δραστηριότητες, συνεντεύξεις και επισκοπικές έρευνες. Από τις δυνατές επιλογές, προτιμώνται οι ερωτήσεις πολλαπλών επιλογών λόγω της ευκολίας στη συγκέντρωση και επεξεργασία των πληροφοριών. Παρ' όλα αυτά, οι γενικές ερωτήσεις πολλαπλών επιλογών στερούν από τους ερευνητές τη δυνατότητα της εις βάθος μελέτης των παρανοήσεων των μαθητών. Επομένως, υπάρχει μια τάση για την ανάπτυξη «ερωτήσεων δύο επιπέδων» προκειμένου να αποκτήσουν περισσότερες πληροφορίες σχετικά με την κατανόηση των μαθητών. Οι ερωτήσεις δύο επιπέδων αποτελούνται συνήθως από μια ερώτηση περιεχομένου και μια ερώτηση αιτιολογίας που έχει βρεθεί ότι παρέχουν σημαντικά καλύτερα αποτελέσματα σε ό,τι αφορά τις παρερμηνείες των μαθητών σε σύγκριση με τις παραδοσιακές ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής (Kamcharean & Wattanakasiwich, 2016). Ο Treagust (1995) διαπίστωσε ότι τα τεστ που αποτελούνται από ερωτήσεις πολλαπλών επιλογών δύο επιπέδων είχαν τη δυνατότητα να συμβάλουν πολύτιμα στην έρευνα των αντιλήψεων των μαθητών, λόγω δύο σημαντικών πλεονεκτημάτων έναντι των τυπικών ερωτήσεων πολλαπλών επιλογών. Πρώτον, επιτρέπουν τη διερεύνηση δύο πτυχών του ίδιου φαινομένου. Οι μαθητές καλούνται να προβλέψουν ένα αποτέλεσμα μιας συγκεκριμένης κατάστασης σε πρώτο επίπεδο και να δώσουν τη συλλογιστική τους στο δεύτερο επίπεδο. Η συλλογιστική των σπουδαστών παρέχει λεπτομέρειες για τις εναλλακτικές τους απαντήσεις. Δεύτερον, μειώνουν την αβεβαιότητα μέτρησης από μία τυχαία απάντηση των μαθητών. Ενώ οι μαθητές έχουν 25% πιθανότητα να μαντέψουν σωστά σε μια ερώτηση με τέσσερις

επιλογές, σε ερωτήσεις δύο επιπέδων, οι μαθητές πρέπει να απαντήσουν σωστά και στους δύο τύπους ερωτήσεων, οπότε έχουν μόνο 6,25% πιθανότητα να μαντέψουν σωστά. Όπως σωστά επισημαίνουν οι Kamcharean & Wattanakasiwich (2016), τεστ τέτοιας μορφής παρέχουν στους καθηγητές Φυσικής μια πολύτιμη πηγή για την αξιολόγηση των μαθησιακών αντιλήψεων, τόσο στην αρχή της διδασκαλίας της Θερμοδυναμικής όσο και στο τέλος, και οι ερωτήσεις στο τεστ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να δημιουργήσουν συζήτηση στην τάξη για τον τρόπο διδασκαλίας και μάθησης της Θερμοδυναμικής.

Όπως και να έχει, όπως ορθά καταλήγουν οι Dukhan & Schumack (2013), οι δυσκολίες κατανόησης της Θερμοδυναμικής είναι σημαντικές, εκτεταμένες και συνεχιζόμενες. Έχουν δε αποδειχθεί μέσω ερευνών, ερωτηματολογίων και συνεντεύξεων που πραγματοποιήθηκαν σε ολόκληρο τον κόσμο. Προκειμένου να αντιστραφεί αυτή η τάση, έχουν γίνει προσπάθειες βελτίωσης των επιδόσεων των μαθητών με τη χρήση εναλλακτικών μεθόδων διδασκαλίας, όπως μέσω πειραμάτων, επίλυσης πραγματικών προβλημάτων, ερευνητικών εργασιών και χρήσης τεχνολογίας. Όπως επισημαίνουν όμως οι παραπάνω ερευνητές, τα αποτελέσματα αυτών των προσπαθειών αξιολογούνται σε διάφορες έρευνες με όχι ξεκάθαρα αποτελέσματα.

### **3.3. ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**

Το ζητούμενο στην παρούσα εργασία είναι το πώς πρέπει να οργανωθεί η διδασκαλία ώστε να γίνουν κατανοητές έννοιες σχετικές με το αντικείμενο της Θερμοδυναμικής στο επίπεδο των μαθητών Λυκείου. Έχουν ήδη εντοπιστεί οι σημαντικότερες δυσκολίες των μαθητών στην κατανόηση των παραπάνω εννοιών, άρα ο πρώτος στόχος είναι να διερευνηθεί από προηγούμενες εκπαιδευτικές έρευνες η θεωρητική τεκμηρίωση της εισαγωγής των Τεχνολογιών της Πληροφορίας και της Επικοινωνίας (ΤΠΕ) στη διδασκαλία της Φυσικής και να αναζητηθούν διδακτικές στρατηγικές διαφορετικές από την παραδοσιακή διδασκαλία.

#### **3.3.1. Προβλήματα στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών**

Η έκθεση του 2019 της Αρχής Διασφάλισης της Ποιότητας στην Πρωτοβάθμια και Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση (Α.ΔΙ.Π.Π.Δ.Ε.) καταλήγει ότι όλοι οι εμπλεκόμενοι στη διαδικασία σχεδιασμού και παροχής του εκπαιδευτικού έργου οφείλουν να εντάξουν στις

άμεσες προτεραιότητές τους στόχους που να σχετίζονται με την πρόληψη και αποφυγή του λειτουργικού αναλφαβητισμού σε ολόκληρο το φάσμα των διδασκόμενων μαθημάτων στην πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Πρακτικά, από την ίδια έκθεση, γίνεται αντιληπτό ότι η παρεχόμενη εκπαίδευση στην Ελλάδα προσφέρει στους μαθητές γνώσεις με τη μορφή πληροφοριών-δεδομένων και όχι επίγνωση της γνώσης, ώστε να δημιουργεί μαθητές με υψηλό επίπεδο δεξιοτήτων. Είναι σχεδόν βέβαιο ότι οι μαθητές που πετυχαίνουν χαμηλές βαθμολογίες έχουν μεγαλύτερες πιθανότητες να παραμείνουν λειτουργικά αναλφάβητοι (Πίνακας 3.1). Παρατηρείται, μάλιστα, ότι οι μαθητές της Β΄ Γενικού Λυκείου τις χαμηλότερες βαθμολογίες τις σημειώνουν στο μάθημα της Φυσικής, η οποία σε αυτήν την τάξη πραγματεύεται το αντικείμενο της Θερμοδυναμικής.

**Πίνακας 3.1:** Ποσοστά μαθητών της Β΄ ΓΕΛ κατά το σχ. έτος 2017-18 με βαθμό μικρότερο του 9 και με βαθμό μικρότερο του 10 σε συγκεκριμένα μαθήματα που έχουν αυξημένη πιθανότητα να είναι λειτουργικά αναλφάβητοι (Α.ΔΙ.Π.Π.Δ.Ε., 2019, σελ.122)

<b>Β΄ Γενικού Λυκείου 2017-18</b>		
<b>Μάθημα</b>	<b>Βαθμός ≤ 9</b>	<b>Βαθμός ≤ 10</b>
Νεοελληνική Γλώσσα	3,3%	7,1%
Άλγεβρα	30,5%	38,9%
Γεωμετρία	33,4%	44,2%
Φυσική	39,2%	48,4%
Βιολογία	12,6%	21,5%
Χημεία	23,8%	35,1%
Ιστορία	11,2%	18,9%
Εισαγωγή στις Αρχές Επιστήμης των Η/Υ	9,4%	16,9%

Όπως αναφέρουν οι Tiberghien & Megalaki (1995), δεν υπάρχει επαρκής θεωρία που να εξηγεί πώς επιτυγχάνεται η μάθηση μιας σύνθετης γνώσης όπως της Φυσικής. Παράλληλα, διάφορες έρευνες που γίνονται σε παγκόσμιο επίπεδο, καταγράφουν μείωση του ενδιαφέροντος των μαθητών και των σπουδαστών για τις φυσικές επιστήμες και, για την Ελλάδα τουλάχιστον, η μείωση αυτή μπορεί να αποδοθεί στην ακαδημαϊκή φύση της διδασκαλίας τους και στην αναντιστοιχία της διδακτέας ύλης με την κοινωνική πραγματικότητα (Πιερράτος κ.ά., 2008). Σημειώνουν λοιπόν με έμφαση, όπως και πολλοί άλλοι ερευνητές, ότι προκειμένου να ενεργοποιηθεί το ενδιαφέρον των μαθητών για τις

φυσικές επιστήμες, προτείνεται η υιοθέτηση εναλλακτικών διδακτικών προσεγγίσεων πέρα από τις κλασικές, δασκαλοκεντρικές προσεγγίσεις. Ωστόσο, κάθε είδους διδασκαλία οφείλει να βασίζεται σε ορισμένες παραδοχές σχετικά με το τι αξίζει να μάθει ο μαθητής, το πώς είναι καλύτερο να το μάθει και σε τι είδους μαθησιακό περιβάλλον. Απαιτείται δηλαδή να καθοριστούν οι στόχοι, το περιεχόμενο και η διαδικασία της μάθησης των Φυσικών Επιστημών. Αναζητώντας λοιπόν διδακτικές πρακτικές αξίζει να σημειωθεί η πρόταση των Redish & Steinberg (1999), σύμφωνα με τους οποίους το ζητούμενο είναι ο εκπαιδευτικός να παρακολουθεί τι κάνουν οι μαθητές. Το πρόβλημα δεν είναι, κατά τη γνώμη τους, να τους υποδείξει ο διδάσκων τη σωστή απάντηση, αλλά να καταλάβει τον τρόπο που αυτοί σκέφτονται. Υποστηρίζουν δε, ότι η εκπαιδευτική έρευνα που αφορά στη βελτίωση της διδασκαλίας της Φυσικής, οφείλει να επικεντρωθεί στην απάντηση τριών ερωτημάτων: α) Τι εμπλέκεται στην κατανόηση της Φυσικής; (π.χ. έννοιες και δεξιότητες των μαθηματικών), β) Τι απόψεις και στάσεις κουβαλούν μαζί τους οι μαθητές στην τάξη; (π.χ. καθημερινές αντιλήψεις, που αποδεικνύονται συνήθως λανθασμένες) και γ) Πώς ανταποκρίνονται σε αυτά που διδάσκονται; (π.χ. τους κεντρίζουν το ενδιαφέρουν ή είναι παρωχημένα και κουραστικά).

Πράγματι, όπως επισημαίνουν οι Driver *et al.* (1993), φαίνεται ότι οι παρατηρήσεις που κάνουν οι μαθητές και οι ερμηνείες που δίνουν για τα φυσικά φαινόμενα επηρεάζονται από τις προσωπικές τους ιδέες και τις προσδοκίες τους. Αν η πληροφορία που επιχειρήσει να μεταδώσει ο εκπαιδευτικός έρχεται σε αντίθεση με τις προβλέψεις του μαθητή και δεν ταιριάζει με τα πιστεύω του, αυτό πιθανότατα θα τον εμποδίσει να αναδομήσει τις ιδέες του. Για να γίνει αυτό πρέπει να του δοθούν εναλλακτικές διδακτικές προσεγγίσεις που να του προσφέρουν νέες εμπειρίες που να αναιρέσουν τις προηγούμενες.

Από την άλλη πλευρά, οι Κασσέτας κ.ά. (2014) επισημαίνουν ότι στη διδασκαλία της Φυσικής επικρατεί συνήθως μια πολύ υπεραπλουστευμένη αντίληψη για τις επιστημονικές πρακτικές. Σύμφωνα με αυτή, ο έλεγχος και η παρουσίαση των θεωριών περιορίζεται στη διεξαγωγή πειραμάτων (πραγματικών ή εικονικών), ενώ παραλείπονται οι αξιολογικές διαδικασίες και τα κριτήρια επιλογής. Τα εμπειρικά δεδομένα, όμως, οφείλουν να παίζουν αρχικά βασικό ρόλο για τη διαμόρφωση, την αναθεώρηση ή απόρριψη μιας πρότασης. Όντως, η εγκυρότητα και εγκαθίδρυση των επιστημονικών

προτάσεων αποφασίζεται σε σχέση με τα δεδομένα παρατηρήσεων και πειραμάτων, ωστόσο το πείραμα δεν μπορεί να αποτελεί σε όλες τις περιπτώσεις το μοναδικό κριτή για την ορθότητα ή μη των επιστημονικών υποθέσεων. Σύμφωνα με τους ίδιους ερευνητές, οι μαθητές πρέπει να συνειδητοποιούν με τη βοήθεια του εκπαιδευτικού το σκοπό των εργαστηριακών δραστηριοτήτων ή των εικονικών πειραμάτων, και το ρόλο τους στη μαθησιακή διαδικασία. Επιπρόσθετα, η Λευκοπούλου (2008) συμπεραίνει ότι οι πειραματικές δραστηριότητες ερευνητικού τύπου απομυθοποιούν τη βεβαιότητα με την οποία οι μαθητές συνήθως περιβάλλουν τις φυσικές επιστήμες και συνειδητοποιούν ότι η ανακάλυψη στις επιστήμες αυτές δεν είναι χωρίς προβλήματα.

Η πρόκληση είναι να αναπτύσσονται δραστηριότητες ενεργής μάθησης που να είναι απλές, κατανοητές και συμβατές με το επίπεδο του μαθητή. Όπως σημειώνουν οι Anderson *et al.* (2002), οι μαθητές κατακτούν τη γνώση σε ένα ποσοστό 20% ακούγοντας, 40% βλέποντας και ακούγοντας και 75% ακούγοντας, βλέποντας και πράττοντας. Τονίζουν δε, ότι καλά σχεδιασμένα σε υπολογιστή μοντέλα προσομοίωσης φυσικών φαινομένων, υψηλής διαδραστικότητας, μπορούν να προσφέρουν την πιθανότητα της επίτευξης του επιθυμητού 75%.

Ειδικότερα, στον τομέα της Θερμοδυναμικής, εξαιτίας της δυσκολίας κατανόησης του αντικειμένου, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τις τελευταίες δεκαετίες έχουν δημοσιευθεί πολλές έρευνες που προτείνουν διαφορετικούς τρόπους και μεθόδους διδασκαλίας της. Ενδεικτικά, από την επισκοπική έρευνα των Mulop *et al.* (2012) προκύπτει ότι οι προτεινόμενες μέθοδοι διδασκαλίας εισηγούνται την ενεργή μάθηση που βασίζεται στον εποικοδομητισμό, τη συνεργατικότητα και τη διαδραστικότητα, στην πλειονότητά τους με τη χρήση κατάλληλων υπολογιστικών προσομοιώσεων. Συγκεκριμένα, ανάμεσα σε 15 προτεινόμενες μεθόδους διδασκαλίας, μόνον οι 2 δεν χρησιμοποιούν υπολογιστικές ή πολυμεσικές εφαρμογές. Την ίδια άποψη για τη χρήση των υπολογιστών στη διδασκαλία της Θερμοδυναμικής εκφράζουν και οι: Liu, 2009; Bullen & Russel, 2007; Junglas, 2007; Hassan & Mat, 2005; Huang & Gramoll, 2004; Cox *et al.*, 2003; Anderson *et al.*, 2002; Lewis *et al.*, 1993.



### 3.3.2. Περιβάλλοντα μάθησης με χρήση ΤΠΕ

Η δασκαλοκεντρική – βιβλιοκεντρική προσέγγιση, χωρίς τη χρήση κατάλληλου εποπτικού υλικού, δεν μπορεί να προσφέρει στο μαθητή τη δυνατότητα να κατανοήσει τα φυσικά φαινόμενα. Η χρήση νέων διδακτικών μοντέλων που αναδεικνύουν τη χρήση των νέων τεχνολογιών (ΤΠΕ) μέσα σε ένα συνεργατικό περιβάλλον βοηθούν το μαθητή να οικοδομήσει νέα γνώση έχοντας τον εκπαιδευτικό ως συντονιστή και καθοδηγητή στη διαδικασία της μάθησης.

#### α) Θεωρία του εποικοδομητισμού

Σήμερα θεωρείται ως το πιο κατάλληλο εργαλείο μάθησης εκείνο που βασίζεται στο μοντέλο του εποικοδομητισμού (constructivism), που ξεκίνησε από τον Piaget και προωθήθηκε ακόμη περισσότερο από τον Vygotsky, ο οποίος εισήγαγε και την έννοια της κοινωνικής αλληλεπίδρασης ως βασικό στοιχείο της μάθησης. Φαίνεται ότι τα ανοιχτά προβλήματα, οι σύνθετες ομαδικές εργασίες, η αλληλοδιδασκτική μεταξύ των μαθητών, οι έρευνες, η εργασία με υπολογιστές κ.ά. είναι, κατά τη θεωρία του κοινωνικού εποικοδομητισμού, δραστηριότητες που μπορούν να ωφελήσουν όλους τους μαθητές (Zarras & Solomonidou, 2007).

Σύμφωνα με την εποικοδομητική θεωρία, σημασία έχει να δίνεις στους μαθητές καλά πράγματα να κάνουν έτσι ώστε να μπορούν να μάθουν κάνοντας πολύ καλύτερα απ' ότι μπορούσαν πριν. Όπως χαρακτηριστικά σημειώνουν οι Kafai & Resnick (1996), κατά την εφαρμογή του εποικοδομητισμού, οι μαθητευόμενοι ανακαλύπτουν νέες ιδέες όταν ενεργά ασχολούνται με τη δημιουργία μίας εξωτερικής κατασκευής (όπως είναι π.χ. ένα ρομπότ, ένα ποίημα, ένα πείραμα, ένα κάστρο στην άμμο, ένα πρόγραμμα στον υπολογιστή) πάνω στις οποίες αναστοχάζονται και ταυτόχρονα τις μοιράζονται με άλλους.

Όπως εύστοχα εξηγούν οι Jonassen *et al.* (1998), ο εποικοδομητισμός ασχολείται με τη διαδικασία κατασκευής της γνώσης. Όταν οι μαθητές αναπτύσσουν θέματα φυσικών επιστημών, για παράδειγμα, δημιουργούν τη δική τους αντίληψη πάνω στα θέματα αυτά, διότι ο τρόπος με τον οποίο κατασκευάζεται η γνώση εξαρτάται από αυτό που ήδη γνωρίζουμε, το οποίο εξαρτάται από τα είδη των εμπειριών που είχαμε, πώς οργανώσαμε αυτές τις εμπειρίες στη γνώση και τι πιστεύουμε για αυτό που γνωρίζουμε. Αυτό δεν σημαίνει ότι μπορούμε να κατανοήσουμε μόνο τη δική μας ερμηνεία της πραγματικότητας. Αντίθετα, οι μαθητές είναι σε θέση να κατανοήσουν μία ποικιλία

ερμηνειών και να χρησιμοποιήσουν την κάθε μία για την κατασκευή προσωπικών γνώσεων. Ειδικότερα, οι εποικοδομητικές προσεγγίσεις στη μάθηση προσπαθούν να δημιουργήσουν περιβάλλοντα όπου οι μαθητές συμμετέχουν ενεργά στο περιβάλλον με τρόπους που αποσκοπούν στην οικοδόμηση προσωπικής γνώσης. Με αυτόν τον τρόπο, αντί να πρέπει ο εκπαιδευτικός να ερμηνεύσει τον κόσμο και να μεταδώσει έτοιμη γνώση, εξασφαλίζει ότι οι μαθητές συμμετέχουν ενεργά στην ερμηνεία του εξωτερικού κόσμου. Η έννοια της ενεργής συμμετοχής δεν υπονοεί ότι οι εκπαιδευόμενοι ακούνε «ενεργά» και στη συνέχεια αντανακλούν μια σωστή άποψη της πραγματικότητας, αλλά ότι οι μαθητές πρέπει να συμμετέχουν και να αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον ώστε να δημιουργούν τη δική τους άποψη για το θέμα. Πρακτικά, ο μαθητής πρέπει να μπορεί να είναι ο ενεργός μεσολαβητής στην οικοδόμηση της δικής του, προσωπικής, γνώσης.

Εφαρμογές της θεωρίας του εποικοδομητισμού αποτελούν το συνεργατικό περιβάλλον, η ανακαλυπτική μάθηση, το ανοικτό μοντέλο διδασκαλίας, η σχετική αυτονομία και η ενεργός συμμετοχή των μαθητών, η ενθάρρυνσή τους να μαθαίνουν με το δικό τους τρόπο, ενώ ο δάσκαλος δρα ως σύμβουλος και βοηθός των μαθητών. Παράλληλα, ο εποικοδομητισμός χρησιμοποιεί την παιδαγωγικά σχεδιασμένη εργασία, συνήθως με τη χρήση των ΤΠΕ, έχει διεπιστημονικό και διαθεματικό χαρακτήρα, αξιοποιεί την προηγούμενη γνώση και η ύλη διδάσκεται με σπειροειδή και επαγωγικό τρόπο (Mandinach & Greer, 1992; Driver *et al.*, 1993; Jonassen *et al.*, 1998; Kanuka & Anderson, 1999; McGee *et al.*, 2005; Lin *et al.* 2013; Worthington, 2017).

Βασικό μειονέκτημα της διερευνητικής μεθόδου είναι ότι απαιτεί ιδιαίτερη προετοιμασία και είναι χρονοβόρα σε σχέση με την παραδοσιακή διδασκαλία, όπου ο εκπαιδευτικός παρουσιάζει προφορικά, συνήθως χωρίς εποπτικά μέσα, τη νέα γνώση στους διδασκόμενους. Στις φυσικές επιστήμες αυτή η μέθοδος συνήθως απαιτεί εργασία στο εργαστήριο φυσικών επιστημών, χρονοβόρα προετοιμασία, με υλικά και όργανα τα οποία έχουν κόστος, είναι ευαίσθητα και πολλές φορές εμπεριέχουν κινδύνους. Μία λύση στα παραπάνω προβλήματα φαίνονται να την προσφέρουν οι ηλεκτρονικές εφαρμογές - προσομοιώσεις που σχεδιάζονται σε υπολογιστή (Γκαράς & Δημητρακοπούλου, 2016).

#### *β) Συνεργατική μάθηση με τη χρήση ΤΠΕ*

Παράλληλα με την εργασία των μαθητών στο πλαίσιο της ομάδας, με την οποία αναπτύσσεται η μεταξύ τους αλληλεπίδραση και συλλογική μάθηση, σήμερα υπάρχει και

το ευρύ πεδίο της επικοινωνίας μέσω των δικτύων και των διαφόρων δικτυακών υπηρεσιών. Μιλάμε πλέον για συνεργατική μάθηση με τη χρήση ΤΠΕ (Lehtinen *et al.*, 1999), που χρησιμοποιείται για να περιγράψει εργαλεία και τεχνικές που συμβάλλουν σ' αυτού του είδους τη μάθηση. Η μάθηση με χρήση Η/Υ, βασισμένη στη θεωρία του εποικοδομητισμού, αξιοποιεί τις γνωστικές και μεταγνωστικές λειτουργίες και οργανώνει εκ νέου τους τρόπους που οι μαθητές αναπαριστούν τη γνώση τους (Jonassen, 1998).

Η αλματώδης ανάπτυξη και διάδοση των ΤΠΕ, ο τεράστιος όγκος και η πολλαπλότητα της διαθέσιμης σήμερα ψηφιακής πληροφορίας, σε συνδυασμό με την ταχύτατη παραγωγή νέας γνώσης, διαμορφώνουν ένα νέο κοινωνικό, πολιτισμικό και εκπαιδευτικό περιβάλλον. Στο πλαίσιο αυτό, οι ΤΠΕ αποτελούν βασικό εργαλείο για το μετασχηματισμό του σχολείου, την υποστήριξη και ενίσχυση της μάθησης και, τελικά, την αναβάθμιση του εκπαιδευτικού αποτελέσματος. Τα νέα περιβάλλοντα των ΤΠΕ αλλάζουν ριζικά τον τρόπο με τον οποίο εκπαιδευτικοί και μαθητές έχουν πρόσβαση, συγκεντρώνουν, αναλύουν, αναπαριστάνουν και παρουσιάζουν την πληροφορία, επικοινωνούν και συνεργάζονται μεταξύ τους (Τζιμογιάννης κ.ά., 2014). Χρησιμοποιώντας κατάλληλα την ψηφιακή τεχνολογία είναι δυνατόν να πραγματοποιήσουμε πειράματα (προσομοιώσεις) που δεν θα μπορούσαν ποτέ να διεξαχθούν στον πραγματικό κόσμο με ρεαλιστικά αποτελέσματα και που να είναι ισοδύναμα με τα κλασικά πειράματα (Psycharis, 2018). Πάνω σε αυτήν την παραδοχή, επινοήθηκε και ο όρος STEM [Science, Technology, Engineering and Mathematics], που χρησιμοποιείται για να ενοποιήσει εκπαιδευτικά τα πεδία που αναφέρονται στις Φυσικές Επιστήμες, την Πληροφορική, τη Μηχανική και τα Μαθηματικά. Με το STEM επιχειρείται ο μετασχηματισμός από το επίπεδο της παραδοσιακής δασκαλοκεντρικής διδασκαλίας, στη διδασκαλία όπου κυρίαρχο ρόλο θα διαδραματίζει η επίλυση του προβλήματος και η διερευνητική μάθηση. Το STEM παρέχει ευκαιρίες για την ανάπτυξη δεξιοτήτων ενθαρρύνοντας τους μαθητές να απαντούν σε ερωτήματα και να εμπλέκονται σε παιγνιώδεις δραστηριότητες με θέματα από ολόκληρο το φάσμα των θετικών επιστημών (<https://stem.edu.gr>).

#### γ) Μοντελοποίηση - Προσομοίωση

Τι είναι όμως η προσομοίωση ενός πειράματος Φυσικής; Όπως σημειώνει ο Shannon (1975), «*Προσομοίωση είναι η διαδικασία σχεδιασμού μοντέλου ενός αληθινού συστήματος και η διενέργεια πειραμάτων με το μοντέλο αυτό, είτε για την κατανόηση της*

συμπεριφοράς του συστήματος, είτε για την αξιολόγηση διαφορετικών στρατηγικών (εντός συγκεκριμένων ορίων που τίθενται από ένα κριτήριο ή μία ομάδα κριτηρίων) για τη λειτουργία του συστήματος» (όπως αναφ. οι Γλέζου & Γρηγοριάδου, 2007, σ.2). Αλλά και η Σταυρίδου (1995), με τον όρο μοντελοποίηση, προσδιορίζει τις διαδικασίες επινόησης και χρήσης μοντέλων με σκοπό να επιτελέσουν μία ή περισσότερες από τις βασικές λειτουργίες ενός συστήματος. Επιπρόσθετα, οι Fesakis *et al.* (2001, σ.2) ορίζουν ότι: «'Μοντέλο' είναι μια εξιδανίκευση και απλοποίηση ενός συστήματος του πραγματικού κόσμου που παράγεται με επιλεκτική αφαίρεση και πιθανά μπορεί να εμφανίσει συμπεριφορά ανάλογη με μέρος της συμπεριφοράς του αρχικού συστήματος», όπου το μοντέλο αυτό αξιολογείται με βάση την πιστότητα της προσομοίωσης της συμπεριφοράς του αρχικού συστήματος στο πλαίσιο της επίλυσης ενός προβλήματος. Τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται στη διδασκαλία μαθημάτων με ευρύ πεδίο εφαρμογών, όπως είναι η Φυσική, για να είναι συμβατά με τον πραγματικό κόσμο και τους περιορισμούς που θέτουν οι υπάρχουσες γνώσεις των μαθητών, μπορούν να αξιολογούνται ως προς: α) την ερμηνευτική τους ισχύ, δηλαδή την ικανότητά τους να αναπαριστούν με πιστότητα το σύστημα που ερευνάται, β) την προβλεπτική τους ικανότητα, όπου εκτιμώνται τα αποτελέσματα μίας ή περισσότερων παρεμβάσεων στο σύστημα και γ) του κόστους τους, ειδικότερα σήμερα που τα περισσότερα είναι λογισμικά και αναφερόμαστε στην πολυπλοκότητά τους (Fesakis *et al*, 2001).

Η δε θεωρία της μοντελοποίησης, εξηγεί τι πρέπει να περιλαμβάνει ένα μάθημα και πώς ο εκπαιδευτικός και ο μαθητής μπορούν να προχωρήσουν στην εκπλήρωση των απαιτήσεων των μαθημάτων με τον πιο ουσιαστικό και αποτελεσματικό τρόπο (Halloun, 2007). Ο ίδιος ερευνητής επισημαίνει ότι για την ουσιαστική μάθηση της επιστήμης, οι μαθητές πρέπει να συμμετέχουν συστηματικά στην αναγνώριση και μοντελοποίηση φυσικών μοτίβων και να διαρθρώνουν ρητά οποιαδήποτε επιστημονική θεωρία γύρω από ένα καλά επιλεγμένο σύνολο μοντέλων. Για το σκοπό αυτό, οι μαθητές πρέπει να διαθέτουν τα κατάλληλα επιστημονικά και γνωστικά εργαλεία και κανόνες και να συμμετέχουν σε δραστηριότητες κατασκευής και ανάπτυξης μοντέλων, οι οποίες είναι συστηματικά διαφοροποιημένες και σχεδιαζόμενες, έτσι ώστε να καλύπτουν θεμελιώδεις πτυχές της εμπειρικής και ορθολογικής διαλεκτικής που χαρακτηρίζουν τη επιστημονική έρευνα.

Η σύνδεση ανάμεσα στη θεωρητική γνώση και στο πειραματικό πεδίο μπορεί να βοηθήσει τους μαθητές στην οικοδόμηση κατάλληλων συσχετίσεων μεταξύ των φυσικών φαινομένων και της ερμηνείας τους. Άλλωστε, οι Tiberghien *et al.* (1995) σημειώνουν ότι οι θεωρητικές κατασκευές διαφοροποιούνται από τις πειραματικές, διότι οι πρώτες έχουν υποθετικό χαρακτήρα, ενώ τα πειράματα γίνονται με πραγματικά αντικείμενα και γεγονότα, είτε πραγματοποιούνται στο εργαστήριο, είτε προσομοιώνονται μέσω υπολογιστή.

Σε σχέση με την εκπαιδευτική τεχνολογία που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επίτευξη των παραπάνω επιδιώξεων, υπάρχει μία σύγκλιση των απόψεων πολλών ερευνητών προς τη χρήση του υπολογιστή ως εργαλείο κυρίως αναπαράστασης και προσομοίωσης των φυσικών φαινομένων. Ειδικά για τις φυσικές επιστήμες, ο υπολογιστής μπορεί εύκολα να υποστηρίξει γνωστικές δραστηριότητες και έτσι ο εκπαιδευτικός, με τη βοήθεια του υπολογιστή, να προωθήσει το μετασχηματισμό των εμπειριών του μαθητή σε γνώση (Ράπτης & Ράπτη, 2003).

Συνεπώς, ερευνητές όπως ο Steinberg (2000) δίνουν βαρύτητα στην προσομοίωση των φαινομένων, μολονότι επισημαίνουν ότι μια αναπαράσταση μέσω του υπολογιστή διαφέρει σημαντικά από ένα πραγματικό πείραμα. Ωστόσο, η αξιοποίηση των ΤΠΕ στις φυσικές Επιστήμες και τα μαθηματικά συνοδεύεται από μια ευρεία βιβλιογραφική υποστήριξη, η οποία αναφέρεται στην εκπαιδευτική τους αξία και τη μαθησιακή τους αποτελεσματικότητα. Παρόλη την ευρύτητα των ερευνητικών δεδομένων, εργασίες μετα-ανάλυσης των ερευνών και ντοκουμέντα ανασκόπησης δεν υποστηρίζουν με σαφήνεια αν οι προσομοιώσεις σε υπολογιστή αποτελούν ένα αναντικατάστατο εργαλείο, το οποίο διευκολύνει και αυξάνει την κατανόηση στις φυσικές Επιστήμες και τα μαθηματικά (Πολυζώης & Μπουμπούλης, 2016). Η σκεπτικιστική στάση για την αξιοποίηση των προσομοιώσεων εκφράζεται και από την ερώτηση του Steinberg (2000): “To simulate or not to simulate?”. Από την άλλη πλευρά, η Σολομωνίδου (2001) υποστηρίζει ότι στον τομέα της διδακτικής των φυσικών επιστημών οι δυνατότητες χρήσης των υπολογιστών και των τεχνολογιών επικοινωνίας είναι θεωρητικά απεριόριστες. Πάντως, η προσομοίωση διδακτικών ενοτήτων με τη βοήθεια Η/Υ αποτελεί ήδη αντικείμενο διδασκαλίας σε τριτοβάθμια ιδρύματα και υπάρχει γι’ αυτό το θέμα πλούσια

βιβλιογραφία: Δημητριάδης, (2015); Δημουλάς, (2015); Ράπτης (2003); Σολομωνίδου (2001); Στυλιαράς & Δήμου, (2015); Τζιβινίκου, (2015), κ.ά.

Έναν επιπλέον προβληματισμό για την αποτελεσματικότητα της χρήσης των τεχνολογιών επικοινωνίας θέτει η Σολομωνίδου (2001, σ.298), καθώς σημειώνει ότι: «από τις έρευνες φάνηκε ότι καλύτερα αποτελέσματα στη μάθηση προκαλούσε όχι μόνο η χρήση των τεχνολογικών μέσων, αλλά το διδακτικό πλαίσιο, τα δε αποτελέσματα της μάθησης ήταν περισσότερο διαρκή και ουσιαστικά, όταν τα τεχνολογικά μέσα χρησιμοποιούνταν για πιο μεγάλο χρονικό διάστημα και για μεγάλο αριθμό γνωστικών αντικειμένων, δηλαδή με έναν τρόπο περισσότερο ολοκληρωμένο και όχι πρόσκαιρο ή αποσπασματικό, καθώς και όταν εντάσσονταν σε παιδαγωγικές μεθόδους βασισμένες σε συνεργατικά και εποικοδομιστικά μοντέλα μάθησης».

Ακόμη ένα θέμα που προβληματίζει, είναι το κατά πόσο οι εκπαιδευτικοί είναι ικανοί και πρόθυμοι να εντάξουν τη συνεργατική μάθηση με τη χρήση ΤΠΕ στην τάξη τους. Όπως σημειώνουν οι Lin *et al.* (2013), αν και οι εκπαιδευτικοί έχουν ενισχύσει τις ψηφιακές τους ικανότητες και χρησιμοποιούν πόρους ψηφιακού περιεχομένου για τη βελτίωση της ατομικής τους ανάπτυξης και αποδοτικότητας, η εφαρμογή των ΤΠΕ σε εκπαιδευτικά περιβάλλοντα είναι συνήθως περιστασιακή και στις περισσότερες περιπτώσεις αποτελεί ένα μεμονωμένο γεγονός στην τάξη, στο πλαίσιο της δασκαλοκεντρικής διδασκαλίας και όχι εργαλείο μάθησης και υποστήριξης δραστηριοτήτων των μαθητών. Φαίνεται ότι οι εκπαιδευτικοί δεν καταφέρνουν να ολοκληρώσουν τις επιμέρους γνώσεις τους, ώστε να σχεδιάσουν μαθησιακές δραστηριότητες με ΤΠΕ και να υποστηρίξουν διδακτικά σενάρια που να είναι αρκετά διαφορετικά σε σχέση με τις συνήθεις - παραδοσιακές πρακτικές στην τάξη (Δημητρίου & Τζιμογιάννης, 2016). Ακόμη, οι εκπαιδευτικοί χρειάζονται απλά και πρακτικά σχεδιαστικά μοντέλα τα οποία να μπορούν οι ίδιοι να προσαρμόζουν ώστε να αξιοποιούν τις ΤΠΕ στη διδασκαλία. Τα μοντέλα αυτά πρέπει να δίνουν έμφαση στη διαδραστικότητα με το γνωστικό αντικείμενο και στα διαλογικά στοιχεία της μάθησης (Φεσάκης & Δημητρακοπούλου, 2009).

### 3.3.3. Χρήση προσομοιώσεων για τη διδασκαλία της Θερμοδυναμικής

Για αφηρημένες έννοιες της Θερμοδυναμικής, που οι μαθητές είναι δύσκολο να κατανοήσουν, μπορούν αυτές να απεικονίζονται με τη μορφή κινούμενων σχεδίων,

προσομοιώσεων και εικονικών εργαστηρίων. Ωστόσο, αυτής της μορφής η δυναμική απεικόνιση δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω των εκτυπωμένων βιβλίων, οπότε χρειάζεται να επιστρατευθεί η τεχνολογία των υπολογιστών για τη δημιουργία δυναμικών απεικονίσεων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη διαδικασία εκμάθησης. Η οπτικοποίηση μπορεί να επιτυγχάνεται μέσω διαδραστικής πολυμεσικής εφαρμογής ή λογισμικού εκμάθησης (Hakim *et al.*, 2017)

Αρκετά χρόνια πριν, οι Lewis *et al.* (1993) πειραματίστηκαν με χρήση ενός διδακτικού μοντέλου, διάρκειας 11 εβδομάδων, βασισμένο σε προσομοιώσεις με ηλεκτρονικούς υπολογιστές, για να βοηθηθούν μαθητές Γυμνασίου να αντιληφθούν τη διαφορά ανάμεσα στη θερμότητα και τη θερμοκρασία. Διαπίστωσαν ότι οι μαθητές κατανόησαν και χρησιμοποίησαν τις προσομοιώσεις των πραγματικών φαινομένων χωρίς δυσκολίες και με τον ίδιο τρόπο που χρησιμοποίησαν τα δεδομένα από τα πραγματικά πειράματα. Εντούτοις, αν και οι μαθητές βελτίωσαν το επίπεδο κατανόησης των φαινομένων, συχνά δεν συνειδητοποιούσαν το στόχο και το σκοπό του πειράματος και τροποποιούσαν τα αποτελέσματα ώστε να ταιριάζουν με αυτά που ανέμεναν. Κατέληξαν λοιπόν στο συμπέρασμα ότι οι γνώσεις των μαθητών μπορεί να βελτιώνονται, χρειάζεται όμως προσοχή στον τρόπο σχεδιασμού της προσομοίωσης.

Στην προσπάθειά του να προτείνει, αλλά και να αξιολογήσει τα αποτελέσματα χρήσης της τεχνολογίας στη διδασκαλία, ο Weston (2002) δημιούργησε δικτυακό τόπο (<http://www.engr.siu.edu/staff1/weston/thermo>) στον οποίο ανέπτυξε προσομοιώσεις Θερμοδυναμικής τις οποίες και αξιολόγησαν οι φοιτητές του τμήματος τεχνολογίας του Southern Illinois University, απαντώντας σε ερωτήσεις όπως: “*Το λογισμικό αύξησε την κατανόησή σας για τις βασικές αρχές της μεταφοράς θερμότητας;*”. Το αποτέλεσμα ήταν ότι η πλειοψηφία των ερωτηθέντων διαπίστωσε ότι το λογισμικό προσομοίωσης είχε αξία ενισχύοντας την κατανόησή τους σε βασικά αντικείμενα.

Αργότερα, η έρευνα των Anderson, Sharma & Taraban (2005) παρουσίασε μέθοδο ενεργής μάθησης που χρησιμοποίησε ως βάση τον υπολογιστή για την ανάπτυξη διδασκαλίας για την εισαγωγή στη Θερμοδυναμική σε σπουδαστές των Texas Tech University (TTU) και University of Wyoming (UWyo). Η έρευνα περιλάμβανε, μέσω ερωτηματολογίων,: α) αξιολόγηση των τεχνολογικών αναγκών και προκλήσεων που αντιμετώπισαν οι φοιτητές σχετικά με τη χρήση της τεχνολογίας, β) εκτίμηση του επιπλέον

χρόνου που απαιτούνταν να αφιερώσουν, γ) λεπτομερή ανάλυση του τρόπου σκέψης των σπουδαστών πάνω στις έννοιες και τα διδακτικά μέσα και δ) εντοπισμό του αντικτύπου της χρήσης υπολογιστών για τη γνώση του υλικού του μαθήματος. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι περισσότεροι σπουδαστές χρησιμοποίησαν με ευκολία το υλικό, διότι ήταν πολύ εξοικειωμένοι με τη χρήση υπολογιστών, όμως ακόμη και τα ελάσσονος σημασίας τεχνικά προβλήματα που πιθανόν να αντιμετώπισαν τους αποθάρρυναν από την εφαρμογή της προσομοίωσης. Επιπλέον, χρειαζόταν σαφείς και λεπτομερείς οδηγίες χρήσης της εικονικής πειραματικής διάταξης, γεγονός που εγείρει κάποια ανησυχία σχετικά με τη μεταγνωστική επεξεργασία των εννοιών. Επιπλέον, δεν προέκυψαν στοιχεία που να δείχνουν ότι οι φοιτητές είχαν κατανοήσει εις βάθος βασικές έννοιες, όπως θα αποδείκνυαν περισσότερες μεταγνωστικές παρατηρήσεις, π.χ. αύξηση ερωτήσεων, δημιουργία προβλέψεων, εξαγωγή συμπερασμάτων και αξιολόγηση περιεχομένου διδασκαλίας. Παρ' όλα αυτά, οι συσχετισμοί μεταξύ της χρήσης των προσομοιώσεων και της απόδοσης των σπουδαστών ήταν θετικοί, υποδεικνύοντας ότι αποτελούν ένα χρήσιμο εργαλείο μάθησης.

Πρόσφατα, οι Hakim *et al.* (2017) αξιολόγησαν τη χρήση διαδραστικών πολυμέσων στη διδακτική της Θερμοδυναμικής με τη μέθοδο του πειράματος με ομάδα ελέγχου και με pre και post tests. Τα αποτελέσματα της έρευνάς τους κατέληξαν ότι η χρήση των διαδραστικών πολυμέσων μπορεί α) να βελτιώσει τη δημιουργική σκέψη και τις δεξιότητες του δασκάλου της φυσικής και β) να βελτιώσει τη δημιουργική σκέψη των μαθητών, όπου οι δεξιότητες εμφανίζονται κυρίως στο δείκτη ευελιξίας παρά στους δείκτες πρωτοτυπίας.

Εν τω μεταξύ, πολλοί ερευνητές προχώρησαν στη δημιουργία μοντέλων προσομοίωσης θερμοδυναμικών μεταβολών, μεταξύ των οποίων είναι οι Huang & Gramoll (2004) με τη δημιουργία ενός eBook που περιλαμβάνει θεωρία, προβλήματα και προσομοιώσεις φαινομένων και προτείνεται και για εξ αποστάσεως μάθηση, αλλά και για κλασική διδασκαλία. Ομοίως, ο Junglas (2006) κατασκεύασε έξι προσομοιώσεις, ως παραδείγματα διδασκαλίας θερμοδυναμικών φαινομένων στους φοιτητές του, και συμπέρανε ότι οι αντιδράσεις τους σχετικά με τη χρήση τους ήταν πολύ θετικές. Μάλιστα, διαπίστωσε ότι οι βαθμοί τους στις εξετάσεις αυξήθηκαν. Ακόμη, ο Liu (2009) παρουσίασε



μία πρόταση διδασκαλίας βασισμένη σε υπολογιστές χρησιμοποιώντας μαθηματικά μοντέλα και αλγοριθμική, κατάλληλη για την επίλυση προβλημάτων.

Στην ελληνική πραγματικότητα, η Μελή (2015) δημιούργησε μία υπολογιστική προσομοίωση για τη διδασκαλία των θερμοδυναμικών μεταβολών ιδανικών αερίων ειδικά για τη διδασκαλία της θερμοδυναμικής σε μαθητές Β΄ Λυκείου. Επιπρόσθετα, η ερευνήτρια προχώρησε σε πιλοτική αξιολόγηση του μοντέλου που δημιούργησε μέσω ενός ερωτηματολογίου στάσεων που απεύθυνε στους μαθητές. Τα ενθαρρυντικά σχόλια που συγκεντρώθηκαν οδηγούν στο συμπέρασμα ότι είναι θετικό εργαλείο για τη διδασκαλία.

Παράλληλα, ήδη κυκλοφορούν έτοιμα εργαλεία κατασκευής προσομοιώσεων που σχετίζονται με εικονικά εργαστήρια: ΣΕΠ Α.Π.Θ., Phet Colorado University, Physlets, Thermolab κ.λπ. Χαρακτηριστικά, οι Cox *et al.* (2003) προχώρησαν σε δημιουργία πλήρους και αιτιολογημένης πρότασης διδασκαλίας με τη χρήση της εφαρμογής Physlets για την ανάπτυξη ασκήσεων που βοηθούν τους μαθητές να μελετήσουν τη θερμοδυναμική παρέχοντας δυναμικές συνδέσεις μεταξύ γραφημάτων και θερμοδυναμικών διεργασιών. Ο Κυριακόπουλος (2013), χρησιμοποιώντας το ΣΕΠ σχεδίασε ασκήσεις θερμοδυναμικής, και παρατήρησε τις θετικές επί το πλείστον αντιδράσεις των μαθητών του στη διδασκαλία, σε συνδυασμό όμως με την κλασική πειραματική εφαρμογή. Ακόμη, οι Γκαράς & Δημητρακοπούλου (2016) παρουσίασαν μια χρήση της διαδραστικής προσομοίωσης Phet, "Gas Properties", και ζήτησαν από τους μαθητές να προτείνουν οι ίδιοι και να εκτελέσουν πειράματα για να ελέγξουν τις υποθέσεις που έχουν κάνει για να εξηγήσουν ένα φαινόμενο. Κατέληξαν ότι οι διαδραστικές διαδικτυακές εφαρμογές, όταν είναι ευχάριστες και εύχρηστες, ερεθίζουν την περιέργεια των μαθητών και συμβάλλουν στην ανάπτυξη δεξιοτήτων και ίσως και στην κατανόηση των επιστημονικών εννοιών. Σημειώνεται, εντούτοις, ότι κανείς από τους παραπάνω δεν επιχείρησε να αξιολογήσει τις προσομοιώσεις που χρησιμοποιήθηκαν μέσω ερωτηματολογίων δύο επιπέδων που θα κατέτασσαν το επίπεδο των γνώσεων που κατέκτησαν οι μαθητές μετά από τη διδακτική τους παρέμβαση, ώστε να διαπιστώσουν αν όντως ξεπέρασαν τις συνήθεις παρανοήσεις τους σχετικά με τη θερμοκρασία, τη θερμότητα, την εσωτερική ενέργεια και τη θερμική ισορροπία.

### 3.3.4. Κατηγοριοποίηση των υπολογιστικών προσομοιώσεων

Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι είναι αρκετές οι προσφερόμενες προσομοιώσεις των φυσικών φαινομένων (αρκετές μάλιστα προσφέρονται στο διαδίκτυο). Πολλές από αυτές είναι εξαιρετικής ποιότητας, εγγυημένες από πανεπιστημιακούς και ερευνητικούς οργανισμούς και παρέχονται χωρίς κόστος. Σημαντικό χαρακτηριστικό τους είναι η διαδραστικότητα αφού ο χρήστης τους μπορεί να επέμβει και να μεταβάλει τις τιμές των παραμέτρων. Ωστόσο, τα εικονικά πειράματα των προσομοιώσεων σαφώς υστερούν σε σχέση με τα πραγματικά πειράματα στο εργαστήριο ως προς την συνολική ποιότητα της εμπειρίας. Όμως, η πραγματικότητα δεν μας εμφανίζεται χωρίς γενικεύσεις, απλουστεύσεις και παρεμβάσεις. Οι ίδιοι κατασκευάζουμε τη δική μας θεώρηση της πραγματικότητας και όταν πρέπει να την επαληθεύσουμε ή να τη διαψεύσουμε καταφεύγουμε στην τεχνολογία και στα τεχνικά όργανα παρατήρησης, τα οποία όμως είναι κατασκευασμένα με περιορισμούς οι οποίοι δεν είναι άμοιροι των θεωριών των επιστημόνων (Γκαράς & Δημητρακοπούλου, 2016).

Ως προς την ποιότητα, πιστότητα και ελευθερία παρέμβασης των προγραμμάτων αυτών, σύμφωνα με τον Κόμη (2004), συναντώνται τρεις τύποι προσομοιώσεων φυσικών μοντέλων: α) προσομοιώσεις που απλά παρουσιάζονται από τον εκπαιδευτικό, χωρίς σημαντική εμπλοκή των μαθητών και δρουν υποστηρικτικά στο πλαίσιο μιας κλασικής δασκαλοκεντρικής προσέγγισης, β) προσομοιώσεις που επαληθεύουν το φυσικό φαινόμενο και που χρησιμοποιούνται από τους μαθητές με καθοδήγηση όμως από τον εκπαιδευτικό της τάξης και γ) χρήση προσομοίωσης απευθείας από τους μαθητές, ατομικά ή συνεργατικά.

Επιπρόσθετα, όπως χαρακτηριστικά αναφέρει η Μελή (2015), παρά το γεγονός ότι όλες οι προσομοιώσεις περιλαμβάνουν την έννοια της αλληλεπίδρασης ανάμεσα στο χρήστη και το μοντέλο που αναπαριστά ο υπολογιστής, το επίπεδο αυτής της αλληλεπίδρασης διαφέρει από λογισμικό σε λογισμικό. Είναι δυνατόν ο/οι χρήστης/ες να περιορίζονται σε συγκεκριμένες ενέργειες με ελάχιστη δυνατότητα παραμετροποίησης (π.χ. τα εικονικά πειράματα του Phet Colorado), είτε να διαθέτουν μεγάλο βαθμό ελευθερίας, αλλάζοντας ακόμη και τον κώδικα της εφαρμογής (προσομοιώσεις που έχουν κατασκευαστεί σε περιβάλλοντα όπως Net Logo, Scratch, AppInventor κ.λπ.). Σε ένα ενδιάμεσο επίπεδο ανήκουν τα εικονικά εργαστήρια, τα οποία παρέχουν σημαντική

δυνατότητα παραμετροποίησης των φαινομένων που προσομοιώνουν. Εδώ ανήκει και το εικονικό εργαστήριο Θερμότητας – Θερμοδυναμικής ΣΕΠ που σχεδιάστηκε από το Τμήμα Φυσικής του ΑΠΘ (Ψύλλος *et al.*, 2000).

Ο τρόπος παρουσίασης του φαινομένου που προσομοιώνεται διαφέρει, επίσης, και σύμφωνα με τον Aldrich (2009) μπορεί να είναι μέσω: α) *διακλαδώσεων*, όπου ο μαθητής καλείται να επιλέξει μία εν των πολλών επιλογών που του προσφέρονται και που καθορίζουν την έκβαση του πειράματος – προσομοίωσης, β) *διαδραστικών υπολογιστικών φύλλων*, όπου οι μαθητές καθορίζουν τις τιμές των ανεξάρτητων μεταβλητών οι οποίες επηρεάζουν έμμεσα και τις υπόλοιπες μεταβλητές του μοντέλου, γ) *διαδραστικών διαγραμμάτων*, όπου ο μαθητής προχωρά σε σύνδεση των εννοιών μέσω της οπτικοποίησής τους και αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση διαγραμμάτων που συνδέουν τις βασικές έννοιες και δ) *εικονικών εργαστηρίων*, όπου οι μαθητές δημιουργούν ένα μοντέλο του πραγματικού κόσμου, το υποβάλλουν σε μία συγκεκριμένη διαδικασία και παρατηρούν τα αποτελέσματά της.

Στον τομέα της Θερμοδυναμικής ειδικότερα, μπορεί κάποιος να βρει πολλά applets στο διαδίκτυο που να μελετούν 1) την κινητική θεωρία των αερίων και τη στατιστική προέλευση των μακροσκοπικών νόμων ή και 2) προσομοιώσεις που να βασίζονται στην κλασική προσέγγιση και να επικεντρώνονται στις εξής πτυχές:

α) στη σημασία των διαφορετικών μορφών ενέργειας και τη συμπεριφορά τους κατά τη διάρκεια αλλαγών (επαλήθευση της αρχής διατήρησης της ενέργειας),

β) στο τι σημαίνουν και πώς συνδέονται μεταξύ τους μεγέθη όπως η θερμοκρασία (T), η θερμότητα (Q), η πίεση (P), ο όγκος (V) και η εσωτερική ενέργεια (U),

γ) στη γραφική αναπαράσταση των διαδικασιών στο διάγραμμα πίεσης – όγκου (p-V) που δείχνει τη συμπεριφορά των αερίων όταν αλλάζουν οι θερμοδυναμικές μεταβλητές και βοηθά στην κατανόηση των διαφόρων φυσικών φαινομένων (π.χ. ατμοσφαιρικές συνθήκες, μηχανές εσωτερικής καύσης κ.λπ.).

Δεν αρκεί όμως να χρησιμοποιούνται προσομοιώσεις που απλώς παρουσιάζουν ένα οπτικά καλαίσθητο περιβάλλον, αλλά και που παρέχουν δυνατότητες κατανόησης του φαινομένου με σύνθετα και πολλαπλά μέσα πληροφοριών, όπως με επεξεργασία και απεικόνιση πληροφοριών, κείμενα διασυνδεδεμένα με γραφικά και animation. Σημαντικό είναι να προσφέρεται και η δυνατότητα παραμετροποίησης των αντικειμένων, ώστε να

υπάρχει η μέγιστη αλληλεπίδραση με το χρήστη (Ψύλλος *et al.*, 2000). Στον τομέα της Θερμοδυναμικής, όπως υποστηρίζουν οι ίδιοι ερευνητές, τα εικονικά περιβάλλοντα έχουν να αντιμετωπίσουν προβλήματα όπως η πολύ αργή εξέλιξη των φαινομένων (π.χ. θερμική ισορροπία), που οδηγεί σε αδυναμία κατασκευής γραφικών παραστάσεων πραγματικού χρόνου και η δυνατότητα μελέτης των φαινομένων μόνο από μακροσκοπική πλευρά.

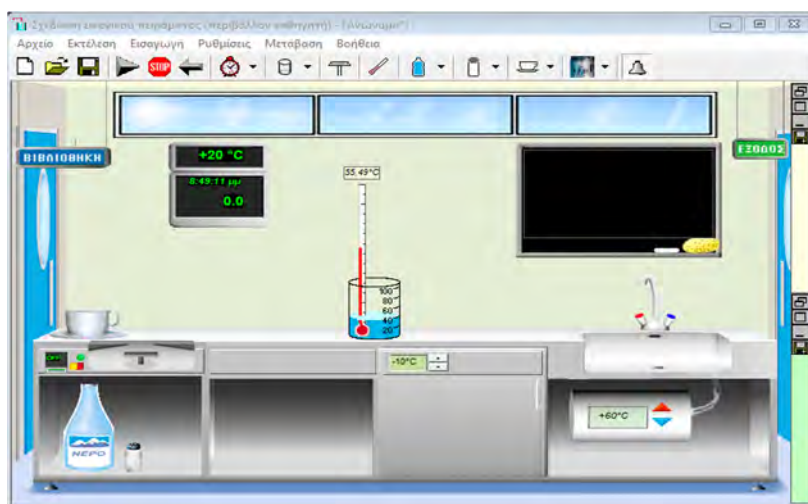
Όπως και να έχει, σύμφωνα με τον Junglas (2006), οι προσομοιώσεις πρέπει να περιλαμβάνουν: α) Μια πειραματική προσέγγιση που να συμπληρώνει τις θεωρητικές παραδοχές. β) Απεικόνιση αφηρημένων εννοιών όπως αυτές του έργου, της εσωτερικής ενέργειας και της θερμότητας. γ) Την προώθηση της ποιοτικής κατανόησης, ώστε να μπορούν να αναπαραστήσουν ένα πείραμα που να μπορεί να καθορίσει, να αναλύσει και να βελτιστοποιήσει διαδικασίες μικρής πολυπλοκότητας.

### 3.3.5. Το εικονικό εργαστήριο Θερμότητας – Θερμοδυναμικής ΣΕΠ

Το τμήμα Φυσικής του ΑΠΘ σχεδίασε το 2000, στο πλαίσιο του προγράμματος «Ναυσικά» του Υπουργείου Παιδείας, ένα ολοκληρωμένο εικονικό εργαστήριο με αντικείμενο τη Θερμοδυναμική/Θερμότητα, που αποτέλεσε ένα φιλόδοξο και πρωτότυπο έργο σε παγκόσμια κλίμακα. Βασικό χαρακτηριστικό του είναι ότι στηριζόμενο στις αρχές του αντικειμενοστραφούς προγραμματισμού, συνοδεύεται με μαθηματικούς αλγορίθμους μεγάλης επιστημονικής ακρίβειας, μέσω των οποίων αναπαρίστανται τα σύνθετα φαινόμενα των θερμικών ανταλλαγών. Κατά τη σχεδίαση της προσομοίωσης λήφθηκαν υπόψη έρευνες που αφορούν στις γνωστικές δυσκολίες των μαθητών σχετικά με τα αντικείμενα της Θερμοδυναμικής-Θερμότητας, καθώς και στις δυσκολίες που αντιμετωπίζουν στο χειρισμό των γραφικών παραστάσεων. Ακόμη δίνεται δυνατότητα στο χρήστη να περιορίζει επιλεκτικά τον αριθμό των μεταβλητών ποσοτήτων, ώστε να απλοποιεί τη συνθετότητα του φυσικού φαινομένου. Έτσι, ο χρήστης της προσομοίωσης έχει μπροστά του ένα ολοκληρωμένο εργαστήριο μέσω του οποίου μπορεί να εκτελεί πειράματα Θερμοδυναμικής οι συνθήκες των οποίων ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα με υψηλή πιστότητα (Ψύλλος *et al.*, 2000).

Αποτελείται από δύο ξεχωριστά εικονικά εργαστήρια: «Θερμότητας» και «Θερμοδυναμικής», ενώ παράλληλα προσφέρει και «Εικονική Βιβλιοθήκη» που περιλαμβάνει μία επιλεγμένη πολυμεσική σειρά με ιστορικές αναφορές, άρθρα, video,

προσομιώσεις φαινομένων και πειράματα. Τα εργαστήρια διαμορφώνουν έναν μικρόκοσμο που προσομοιώνει φαινόμενα της Φυσικής, χωρίς να είναι προκατασκευασμένα τα πειράματα, ώστε ο εκπαιδευτικός μπορεί να δημιουργεί τις δικές του πειραματικές συνθήκες σύμφωνα με τη διδασκαλία που αυτός σχεδιάζει. Η δε οπτική απεικόνιση, οι χειρισμοί και οι λειτουργίες του έχουν μεγάλη πιστότητα και είναι απολύτως ρεαλιστικές (σχήμα 3.1). Ο τρόπος λειτουργίας του εξαρτάται από το αν αναφέρεται στον εκπαιδευτικό ή στο μαθητή, καθώς στον εκπαιδευτικό δίνει περισσότερους βαθμούς ελευθερίας κατά τη σχεδίαση του πειράματος. Επιπρόσθετα, ανάλογα με τη μορφή που έχει προεπιλέξει ο εκπαιδευτικός, ο μαθητής έχει στη διάθεσή



**Σχήμα 3.1.** Το εικονικό εργαστήριο

του, είτε μια προκαθορισμένη πειραματική διάταξη, είτε μπορεί να συνθέσει μόνος του μια ελεύθερη πειραματική διάταξη, στηριζόμενος στα διαθέσιμα όργανα, συσκευές και υλικά που βρίσκονται στον πάγκο εργασίας.

Επιπλέον, δίνεται έμφαση στη χρήση και στο συσχετισμό των γραφικών παραστάσεων. Σημειώνεται ότι η επιλογή των μεγεθών και η κλίμακα των γραφικών παραστάσεων γίνεται από το χρήστη, ενώ η τροποποίηση των μεταβλητών κατά την εκτέλεση των πειραμάτων αποτυπώνεται άμεσα και στα διαγράμματα.

Συμπερασματικά, πρόκειται για ένα ολοκληρωμένο διαδραστικό περιβάλλον που δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα να συμμετέχει, να κατευθύνει, να παρακολουθεί και να έχει στη διάθεσή του γραφικές παραστάσεις σύνθετων φαινομένων της Θερμοδυναμικής-Θερμότητας, ενώ εύκολα μπορεί να ενταχθεί σε πολλαπλά διδακτικά μοντέλα σε συνδυασμό με τις κατάλληλες οδηγίες του εκπαιδευτικού (Ψύλλος *et al.*, 2000).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>: Η ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Ο γενικός σκοπός της έρευνας είναι η μελέτη της επίδρασης των ΤΠΕ σε μαθητές Γενικού Λυκείου (16-17 χρόνων) στην κατανόηση βασικών εννοιών της Θερμοδυναμικής.

Οι ειδικότεροι στόχοι της διδακτικής παρέμβασης είναι :

1. Να κατανοήσουν οι μαθητές τις έννοιες της *Θερμοκρασίας*, της *Θερμότητας* και της *Θερμικής Ισορροπίας* και επιπλέον να είναι σε θέση να περιγράψουν *διαφορετικούς μηχανισμούς* με τους οποίους είναι δυνατόν να θερμαίνεται ένα σώμα.
2. Να συνειδητοποιήσουν τη *χρησιμότητα της γνώσης των νόμων των αερίων*, συνδέοντάς τους παράλληλα με καθημερινές τους εμπειρίες (ατμοσφαιρικά φαινόμενα, πίεση ελαστικών, λειτουργία κινητήρων εσωτερικής καύσης κ.ο.κ.)
3. Να γνωρίσουν την *Εσωτερική Ενέργεια* των σωμάτων και από ποιες μεταβλητές αυτή επηρεάζεται, καθώς και να μελετήσουν, μέσω του *1<sup>ου</sup> Θερμοδυναμικού Νόμου*, τις έννοιες του έργου, της εσωτερικής ενέργειας και της θερμότητας, καθώς και των συσχετίσεών τους στα θερμοδυναμικά συστήματα.
4. Να συνεργαστούν και να χρησιμοποιήσουν με εποικοδομητικό τρόπο τον υπολογιστή στη διαδικασία της μάθησης.

### 4.1. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Η έρευνα διεξήχθη σε τέσσερα συνολικά τμήματα της Β' Τάξης δύο Λυκείων της Καρδίτσας. Τα τρία τμήματα ανήκαν στο 1<sup>ο</sup> Γενικό Λύκειο και το τέταρτο στο 4<sup>ο</sup> Γενικό Λύκειο της πόλης. Συνολικά συμμετείχαν 70 μαθητές/ριες στην έρευνα (28 μαθητές και 42 μαθήτριες). Κατά την έναρξη της έρευνας, οι μαθητές είχαν ήδη διδαχθεί με την κλασική μετωπική διδασκαλία τις προβλεπόμενες από το αναλυτικό πρόγραμμα έννοιες της Θερμοδυναμικής, όπως αυτές παρουσιάζονται στο σχολικό εγχειρίδιο της «Φυσικής Προσανατολισμού» της Β' Λυκείου (υπ. αριθμ. 142742/Δ2/04-09-2018 εγκύκλιος ΥΠΕΘ). Όλοι τους ήταν μαθητές της ομάδας προσανατολισμού 'Θετικών Σπουδών', άρα «κατανοούσαν» τη Φυσική περισσότερο από το μέσο όρο, ενώ σημειώνουμε ότι η Θερμοδυναμική ως ενότητα της Φυσικής δεν διδάσκεται στα τοπικά φροντιστήρια, καθώς, παρότι προβλέπεται από το αναλυτικό πρόγραμμα η διδασκαλία της για περίπου 3 μήνες, δεν εξετάζεται στις πανελλαδικές εξετάσεις, άρα όλοι είχαν το ίδιο σημείο εκκίνησης. Τέλος, επισημαίνεται ότι ήταν μαθητές που φοιτούσαν σε γενικά λύκεια αστικής περιοχής,

όπου ο ανταγωνισμός είναι ισχυρός. Η επίδοση των περισσότερων μαθητών το προηγούμενο σχολικό έτος στα μαθήματα των φυσικών επιστημών ήταν από σχεδόν καλή έως μέτρια, με εξαίρεση 10-15 μαθητές που είχαν πολύ καλή έως άριστη επίδοση.

#### 4.2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Ως ερευνητική στρατηγική χρησιμοποιήθηκε το *πείραμα* με τη χρήση κατάλληλα διαμορφωμένων pre και post tests που δόθηκαν να συμπληρωθούν από τους μαθητές, ενώ ενδιάμεσα από τα pre test και post test πραγματοποιήθηκε η διδακτική παρέμβαση με χρήση ΤΠΕ.

Πιο συγκεκριμένα, τα δεδομένα για τις ιδέες και αντιλήψεις των παιδιών σχετικά με τις έννοιες που διερευνήθηκαν, συλλέχθηκαν με τη χρήση ενός pre-test (διάρκειας μίας διδακτικής ώρας) που συμπλήρωσαν οι συμμετέχοντες μαθητές. Το pre-test σχεδιάστηκε κατάλληλα με σκοπό να καλύπτει τους ειδικούς στόχους της έρευνας, με ισορροπία μεταξύ των ερωτήσεων, ώστε να πληροί τους κανόνες της αξιοπιστίας, της εγκυρότητας και της συνέπειας. Οι στόχοι των ερωτήσεων στο pre-test είναι: Στην πρώτη ομάδα ερωτήσεων εξετάζεται η προηγούμενη γνώση και οι πιθανές λανθασμένες ιδέες των μαθητών σε απλές έννοιες της Φυσικής και συγκεκριμένα στην ενότητα *«τι είναι και σε τι διαφέρουν η θερμοκρασία από τη θερμότητα»*. Αυτό κρίθηκε απαραίτητο λόγω της πληθώρας των αναφορών στη βιβλιογραφία για εσφαλμένες θεωρήσεις των εννοιών από τους σπουδαστές. Η παρατήρηση αυτή επιβεβαιώνεται άλλωστε και από την προσωπική εμπειρία στη διδακτική πράξη. Στη δεύτερη ομάδα ερωτήσεων, διερευνάται η δυνατότητα των μαθητών να συνδέουν τις μεταβολές των αερίων με αντίστοιχες εφαρμογές της καθημερινότητάς τους, όπως για παράδειγμα με τα ατμοσφαιρικά φαινόμενα και την πίεση των ελαστικών. Στην τρίτη ομάδα, που περιλαμβάνει και ερωτήσεις αυξημένης δυσκολίας, επιχειρείται η διερεύνηση των απόψεων των μαθητών που αφορούν στη συσχέτιση της Αρχής Διατήρησης της Ενέργειας με τον 1<sup>ο</sup> Θερμοδυναμικό Νόμο, με παράλληλη σύνδεσή τους με φαινόμενα που συχνά συναντούν, όπως είναι π.χ. οι καύσεις.

Αμέσως μετά πραγματοποιήθηκε η διδακτική παρέμβαση διάρκειας τριών ωρών (όχι συνεχόμενων) στην αίθουσα του εργαστηρίου Πληροφορικής των σχολείων, όπου όλοι οι μαθητές είχαν στη διάθεσή τους Η/Υ και σύνδεση στο διαδίκτυο. Επιπρόσθετα, υπήρχε και βιντεοπροβολέας που χρησιμοποιήθηκε από τους διδάσκοντες σε εξειδικευμένες

διδασκτικές παρεμβάσεις. Οι μαθητές χωρίστηκαν σε ομάδες των 2-3 ατόμων (για κάθε τμήμα των 17-18 μαθητών) της δικής τους επιλογής και πραγματοποίησαν τις προσομοιώσεις που σχεδιάστηκαν ειδικά για αυτούς στο εικονικό εργαστήριο ΣΕΠ. Κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης των εικονικών πειραμάτων τους ζητήθηκε να συμπληρώσουν το κατάλληλα διαμορφωμένο Φύλλο Εργασίας και τους έγινε σαφές ότι μπορούν να συνεργάζονται και με τις άλλες ομάδες για την αντιμετώπιση των όποιων δυσκολιών. Ο ρόλος των εκπαιδευτικών που συμμετείχαν ήταν καθαρά συμβουλευτικός – υποστηρικτικός, ενώ προηγήθηκε ολιγόλεπτη παρουσίαση του εργαστηριακού περιβάλλοντος και υπενθύμιση του θεωρητικού υπόβαθρου του θέματος που μελετούσαν με τη χρήση του βιντεοπροβολέα.

Στο μάθημα που ακολούθησε τη διδακτική παρέμβαση, ζητήθηκε από τους μαθητές να συμπληρώσουν ένα post-test (το ίδιο ακριβώς με το pre-test), προκειμένου να διαπιστωθεί αν υπήρξαν αλλαγές στην κατανόηση των εννοιών της Θερμοδυναμικής μετά τη διδακτική παρέμβαση. Η διάρκεια της διαδικασίας ήταν μία διδακτική ώρα και ακολουθήθηκε η ίδια ακριβώς μεθοδολογία με τη συμπλήρωση του pre-test. Τα tests ήταν ακριβώς τα ίδια ώστε να υπάρχει η δυνατότητα άμεσων συγκρίσεων ως προς το βαθμό επίτευξης των αρχικών στόχων.

#### 4.2.1. Σχεδιασμός του Ερωτηματολογίου

Το ερωτηματολόγιο (βλ. παράρτημα Ι) αποτελείται από επτά (7) ερωτήσεις, εκ των οποίων οι τέσσερις (4) είναι δύο επιπέδων και οι υπόλοιπες τρεις (3) είναι πολλαπλής επιλογής. Οι ερωτήσεις δύο επιπέδων αποτελούνται από ένα υποερώτημα κλειστού τύπου και ένα υποερώτημα αιτιολόγησης με σκοπό αφενός να μειωθεί η αβεβαιότητα μέτρησης από μία τυχαία απάντηση των μαθητών και αφετέρου να επιτραπεί η περαιτέρω εμβάθυνση στο φυσικό φαινόμενο ώστε να παροτρύνονται οι μαθητές να αναπτύξουν τη συλλογιστική τους για την εξήγησή του.

Η επιλογή και η διατύπωση των ερωτήσεων έγινε μετά από προσεκτική μελέτη ερευνών πάνω στην ανάπτυξη και εφαρμογή διαγνωστικών τεστ προκειμένου να διαπιστωθεί η ικανότητα των μαθητών να κατανοούν τα φαινόμενα της Θερμοδυναμικής. Οι έρευνες ανασκόπησης των Wattanakasiwich, Taleab, Sharma, and Johnston (2013) και των Kamcharean and Wattanakasiwich (2016) αποτέλεσαν έναν ιδιαίτερα χρήσιμο οδηγό,



καθώς έχουν συγκεντρώσει ερευνητικά ερωτήματα παλαιότερων μελετητών, που έχουν ήδη καταλήξει σε τεκμηριωμένες απόψεις σχετικές με τις παρανοήσεις των μαθητών πάνω σε έννοιες της Θερμοδυναμικής, και παράλληλα δημιούργησαν ερωτηματολόγια βασισμένα πάνω σε αυτές και που καλύπτουν σχεδόν ολόκληρο το φάσμα της Θερμοδυναμικής. Έτσι, και με βάση την ύλη της Β΄ Λυκείου που διδάχθηκαν οι μαθητές των δύο σχολείων, καθώς και το γενικότερο γνωσιακό τους επίπεδο, επιλέχθηκαν ως ερευνητικοί θεματικοί άξονες:

- Η συσχέτιση της θερμοκρασίας και της μάζας ενός σώματος με τη διαδικασία της θερμικής ισορροπίας (ερώτηση 1).
- Η αύξηση της θερμοκρασίας και η σχέση της με τη μεταφορά θερμότητας, αλλά και με τους πιθανούς τρόπους θέρμανσης ενός σώματος (ερωτήσεις 2,6,7).
- Οι νόμοι των αερίων και η ικανότητα των μαθητών να δημιουργούν γραφικές παραστάσεις που τους αναπαριστούν (ερώτηση 3).
- Οι εφαρμογές των νόμων των αερίων σε φαινόμενα της καθημερινότητας (ερώτηση 4).
- Η εσωτερική ενέργεια των σωμάτων και οι μεταβλητές που την καθορίζουν (ερώτηση 5).
- Ο σχέσεις των μεγεθών (έργο, θερμότητα, εσωτερική ενέργεια) κατά τη διάρκεια μίας θερμοδυναμικής μεταβολής και η σύνδεσή τους με την αρχή διατήρησης της ενέργειας (ερώτηση 7).

Πιο συγκεκριμένα, και προκειμένου να διαπιστωθεί αν οι μαθητές αντιλαμβάνονται σωστά τη θερμική ισορροπία, δόθηκε η υποτιθέμενη πειραματική διάταξη: «*Διατηρούμε δοχείο με νερό (όγκος νερού: 130mL) στους 23 °C, ενώ θερμαίνουμε έναν συμπαγή κύβο σιδήρου (Fe) στους 60 °C. Αμέσως μετά τοποθετούμε τον κύβο (όγκος κύβου: 40 mL) μέσα στο δοχείο με το νερό. Σημειώνουμε ότι η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι 20 °C*». Από τους μαθητές ζητήθηκε να βρουν και στη συνέχεια να αιτιολογήσουν την τελική θερμοκρασία των δύο σωμάτων, ενώ παράλληλα τους τέθηκαν και ερωτήσεις σωστού λάθους, ώστε να επιλέξουν αν σημειώθηκε «*αύξηση θερμότητας*» ή «*αύξηση θερμοκρασίας*» και προς ποια κατεύθυνση έγινε η μεταφορά θερμότητας. Τέλος, κλήθηκαν να αιτιολογήσουν «*πώς άλλαξε η θερμοκρασία του νερού και του κύβου στο παραπάνω πείραμα*», αναμένοντας ότι θα κατανοήσουν ότι έγινε μεταφορά θερμότητας από το θερμό προς το ψυχρό σώμα μέχρι να φθάσουν και τα δύο σε θερμική ισορροπία.

Η ερώτηση 2, που αναφέρεται σε αύξηση της θερμοκρασίας ενός σώματος, δίχως όμως να γίνει μεταβίβαση θερμότητας σε αυτό, αναμένονταν ότι θα είχε αυξημένο βαθμό δυσκολίας για τους μαθητές. Αρχικά, δόθηκε η υπόθεση: *«Αρχικά ένα μίξερ που περιέχει νερό και ο αναδευτήρας του βρίσκονται στην ίδια θερμοκρασία. Όταν ο αναδευτήρας του μίξερ περιστρέφεται μέσα στο νερό, η θερμοκρασία του νερού και του αναδευτήρα αυξάνονται»* και, καθώς η ερώτηση είναι δύο επιπέδων, ζητήθηκε αρχικά η απάντηση σε προφανείς ερωτήσεις Σωστού –Λάθους και στη συνέχεια να αιτιολογηθεί: *«Πώς μπορούμε να θερμάνουμε ένα σώμα δίχως να του μεταβιβάσουμε θερμότητα;»*. Εδώ η απάντηση απαιτούσε συνδυαστικές γνώσεις Φυσικής, ώστε οι μαθητές να καταλάβουν ότι μέρος του έργου που παράγει ο αναδευτήρας χρησιμοποιείται για αύξηση της εσωτερικής ενέργειας του νερού και συνεπώς για την αύξηση της θερμοκρασίας του.

Η σχέση εσωτερικής ενέργειας και αύξησης της θερμοκρασίας ενός αερίου, χωρίς την παραγωγή έργου αυτή τη φορά, εξετάζεται στη ερώτηση 6. Η υπόθεση εδώ είναι: *«Μέσα σε ένα δοχείο με ακλόνητα (σταθερά) τοιχώματα καίει ένα κεριό και –πριν σβήσει– θερμαίνει τον αέρα του δοχείου»*. Σε αυτή την περίπτωση οι μαθητές καλούνται να διαπιστώσουν ότι, παρά το γεγονός ότι πραγματοποιείται καύση του κεριού, δεν παράγεται έργο, διότι τα τοιχώματα του δοχείου είναι ακλόνητα. Συνεπώς πρέπει να κατανοήσουν αφενός ότι δεν παράγεται έργο, διότι δεν έχουμε μετακίνηση του σημείου εφαρμογής κάποιας δύναμης, και αφετέρου ότι το αέριο προχωρεί στην ουσία σε μία ισόχωρη θέρμανση.

Οι γνώσεις των μαθητών πάνω στις μεταβολές των αερίων (ισόχωρη, ισοβαρής και ισόθερμη μεταβολή), καθώς και η δυνατότητά τους να τις αναπαριστούν με γραφικές παραστάσεις, ελέγχονται στην ερώτηση 3. Στη δε ομάδα ερωτήσεων 4, επιχειρείται η σύνδεση των παραπάνω μεταβολών με φαινόμενα της καθημερινότητας μέσω ασκήσεων όπως: *«Ο όγκος των ελαστικών ενός αυτοκινήτου παραμένει σταθερός, ενώ η θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό τους κατά τη διάρκεια του ταξιδιού αυξήθηκε παράλληλα με την αύξηση της πίεσής τους»*, όπου ζητείται να γράψουν οι μαθητές το όνομα της μεταβολής (ισόχωρη, διότι δεν μεταβάλλεται ο όγκος των ελαστικών) που συντελείται στον αέρα των ελαστικών. Στην υπόθεση: *«Τοποθετούμε ένα μπαλόνι γεμάτο στους 30 °C με αέριο He (ήλιο) σε ψυγείο όπου επικρατεί σταθερή πίεση και η θερμοκρασία του είναι 4 °C. Παρατηρούμε ότι το μπαλόνι ‘ξεφουσκώνει’»*, αναμένεται να σημειώσουν ότι η

μεταβολή του αερίου στο μπαλόνι είναι ισοβαρής ψύξη με ταυτόχρονη συμπίεση, διότι έχουμε μείωση της θερμοκρασίας και του όγκου του σε συνθήκες σταθερής πίεσης. Τέλος, όταν: *«Οι φυσαλίδες που δημιουργούνται στον πυθμένα ενός δοχείου με νερό σταθερής θερμοκρασίας ανεβαίνουν προς την επιφάνεια και αυξάνεται ο όγκος τους»*, διότι πραγματοποιείται ισόθερμη εκτόνωση του αέρα που εγκλωβίζεται στις φυσαλίδες, αφού έχουμε μείωση της πίεσης που ασκείται σε αυτές σε συνθήκες σταθερής θερμοκρασίας.

Τις μεταβλητές που επηρεάζουν την εσωτερική ενέργεια ενός σώματος εξετάζει η ερώτηση 6. Πιο συγκεκριμένα, ερευνάται η δυνατότητα των μαθητών, όχι μόνο να γνωρίζουν ποιες είναι αυτές, αλλά και σε ποιο βαθμό μπορούν να τη μεταβάλλουν. Για παράδειγμα, όταν ζητείται να απαντήσουν αν: *«Ένα παγόβουνο ή ένας κύβος πυρακτωμένου σιδήρου έχουν μεγαλύτερη εσωτερική ενέργεια;»* και στη συνέχεια να αιτιολογήσουν την απάντησή τους, πρέπει να συνειδητοποιήσουν ότι ναι μεν η εσωτερική ενέργεια εξαρτάται και από τη μάζα και από τη θερμοκρασία, αλλά το μέγεθος (τεράστια μάζα) του παγόβουνου, έστω κι αν είναι πολύ χαμηλή η θερμοκρασία του, του προσδίδει πολύ μεγαλύτερη εσωτερική ενέργεια, έστω κι αν ο μικρός κύβος είναι καυτός. Η δεύτερη ερώτηση δύο επιπέδων κρίνεται απλούστερη, διότι οι μαθητές καλούνται να διαπιστώσουν ότι όταν μεταβάλλεται η θερμοκρασία δύο σωμάτων, διότι: *«Βυθίζουμε ένα παγάκι σε ένα ποτήρι νερό που βρίσκεται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος»*, κατόπιν θα *«μεταβληθεί και η εσωτερική τους ενέργεια»*.

Τέλος, η εφαρμογή του 1<sup>ου</sup> νόμου της Θερμοδυναμικής και κατά συνέπεια και της αρχής διατήρησης της ενέργειας, διερευνάται με την ερώτηση 7. Η υποτιθέμενη πειραματική διάταξη είναι: *«Σε ένα γυάλινο σωλήνα μικρής διατομής ερμητικά κλειστό με έμβολο, τοποθετούμε μία ποσότητα αερίου υπό πίεση και ένα μικρό κομμάτι εύφλεκτου υφάσματος. Συμπιέζουμε απότομα-ακαριαία (αδιαβατική μεταβολή) το έμβολο και παρατηρούμε ότι το ύφασμα αρχίζει να καίγεται»*. Σημειώνεται ότι οι Meli *et al* (2016), σε έρευνα που πραγματοποίησαν σε μαθητές Λυκείου για το επίπεδο κατανόησης τους σχετικά με την αδιαβατική μεταβολή αερίων, πραγματοποίησαν την παραπάνω πειραματική διάταξη σε πραγματικές συνθήκες εργαστηρίου. Πάνω στο δεδομένο της καύσης του υφάσματος δίχως τη χρήση κάποιου τεχνητού μηχανισμού ανάφλεξης, οι μαθητές καλούνται να διαπιστώσουν ότι ένα σώμα μπορεί να θερμανθεί, και μάλιστα σημαντικά, μέσω μίας αδιαβατικής συμπίεσης, χωρίς να υπάρξει ανταλλαγή θερμότητας

με το περιβάλλον. Τους ζητείται δε να συνδέσουν τα μεταβαλλόμενα μεγέθη του πειράματος (Θερμότητα, Μεταβολή Εσωτερικής Ενέργειας αερίου και κατανάλωση Έργου) με τις μεταβλητές που συνδυάζονται στον 1<sup>ο</sup> Θερμοδυναμικό Νόμο.

#### 4.2.2. Η διδακτική παρέμβαση

Μετά τη συμπλήρωση από τους μαθητές των ερωτήσεων του pre test, ακολούθησε η διδακτική παρέμβαση, διάρκειας 3 διδακτικών ωρών, που πραγματοποιήθηκε στα εργαστήρια πληροφορικής των σχολείων με τη βοήθεια του λογισμικού του εικονικού εργαστηρίου ΣΕΠ.

Αρχικά, δόθηκε χρόνος στους μαθητές να διερευνήσουν το περιβάλλον του εικονικού εργαστηρίου ΣΕΠ και στη συνέχεια, αφού χωρίστηκαν σε ομάδες 2-3 ατόμων, πραγματοποίησαν τις παρακάτω δραστηριότητες. Παράλληλα, κλήθηκαν να συμπληρώσουν φύλλα εργασίας (Παράρτημα ΙΙ) που έθεταν ερωτήματα με διττό σκοπό, αφενός να τους βοηθήσουν να πραγματοποιήσουν το πείραμα και αφετέρου να θέσουν ερωτήματα για συζήτηση-συνεργασία που θα τους προβλημάτιζαν και θα τους προετοίμαζαν για την απάντηση των ερωτήσεων του post test.

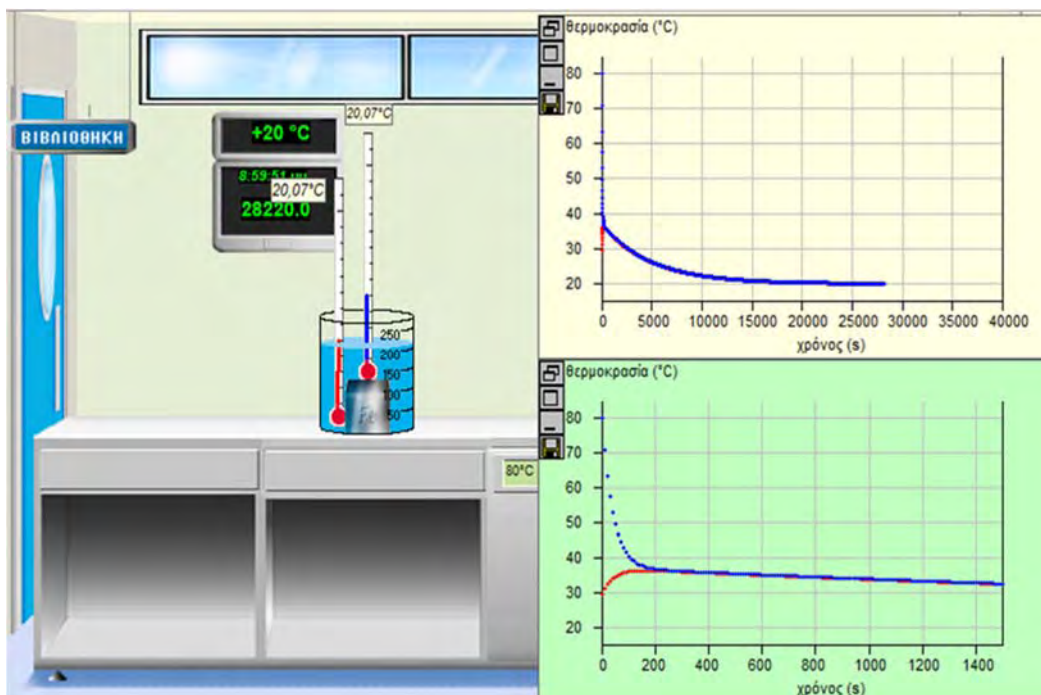
Ο ρόλος των εκπαιδευτικών ήταν βοηθητικός σχετικά με τη διαδικασία εκτέλεσης των πειραμάτων και υποστηρικτικός σε ό,τι αφορούσε γενικότερες απορίες των μαθητών πάνω στο αντικείμενο της Θερμοδυναμικής, αλλά σε καμία περίπτωση καθοδηγητικός ως προς το επιθυμητό αποτέλεσμα της πειραματικής διαδικασίας.

Σε αυτήν την ενότητα παρουσιάζονται αναλυτικά τα διδακτικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διδασκαλία που πραγματοποιήθηκε σε καθένα από τα τέσσερα τμήματα μαθητών. Η παρουσίαση γίνεται με βάση τη σειρά των δραστηριοτήτων που πραγματοποίησαν οι μαθητές.

- *Θερμική ισορροπία*

Ο σκοπός του πειράματος (βλ. σχήμα 4.1) ήταν οι μαθητές να βοηθηθούν να απαντήσουν στην ερώτηση 1 και πιο συγκεκριμένα να μπορούν:

α) να διαπιστώσουν το ρόλο του περιβάλλοντος, ως μέσου ανταλλαγής θερμότητας με τα σώματα



Σχήμα 4.1: Θερμική ισορροπία

β) να διαπιστώσουν ότι η θερμική αλληλεπίδραση με το περιβάλλον είναι διαρκής, σε οποιαδήποτε θερμοκρασία και αν βρίσκεται ένα σώμα

γ) να ερμηνεύσουν γραφικές παραστάσεις θερμοκρασίας σε συνάρτηση του χρόνου ( $\theta-t$ )

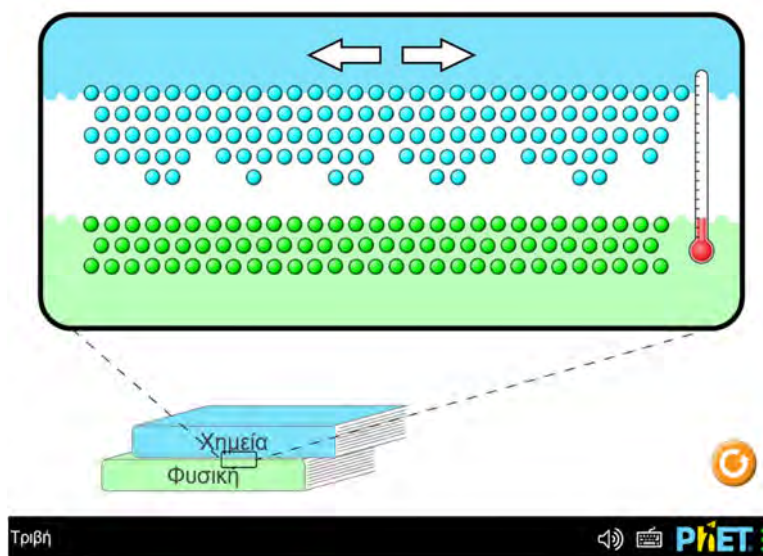
δ) να συνθέσουν (εικονικές) πειραματικές διατάξεις

ε) να χρησιμοποιήσουν (εικονικά) μετρητικά όργανα και πειραματικές συσκευές

- *Θέρμανση σώματος*

Σε αυτήν τη δραστηριότητα δόθηκε επιπρόσθετα μία προσομοίωση (java applet) σχεδιασμένη από το Phet Colorado (βλ. σχήμα 4.2) που δίνει τη δυνατότητα στους μαθητές να κατανοήσουν με ποιον τρόπο μπορούμε να θερμάνουμε σώματα δίχως να γίνει μεταφορά θερμότητας από το ένα στο άλλο.

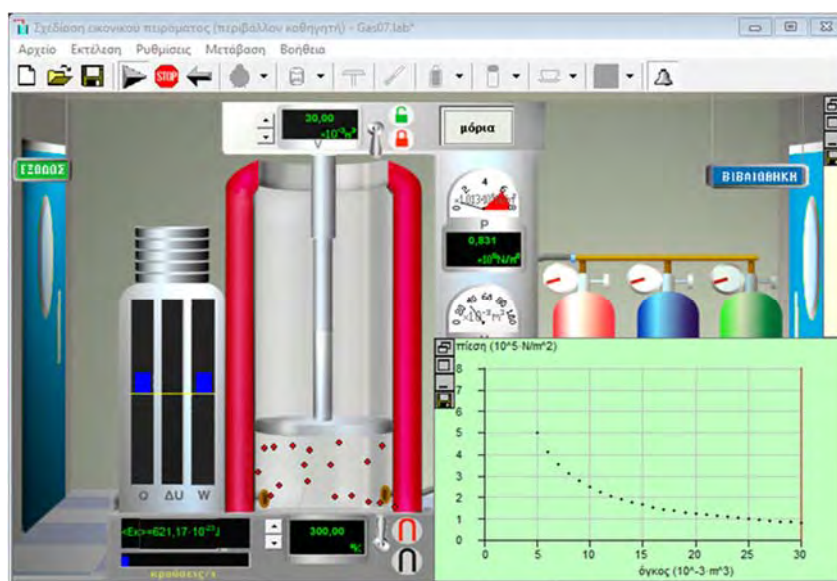
Ο στόχος ήταν να διαπιστώσουν οι μαθητές ότι, αν και τα δύο σώματα (βιβλία Φυσικής – Χημείας) βρίσκονται στην ίδια θερμοκρασία αρχικά, μέσω της τριβής αυξάνεται η κινητική ενέργεια των μορίων τους, γεγονός που οδηγεί σε αύξηση της εσωτερικής τους ενέργειας και κατά συνέπεια της θερμοκρασίας τους. Επιδιώκεται οι μαθητές να διαπιστώσουν το λάθος στην κοινά χρησιμοποιούμενη πρόταση «με την τριβή παράγεται θερμότητα» και να την τροποποιήσουν ως εξής: «με την τριβή αυξάνεται η θερμοκρασία ενός σώματος» (ερώτηση 2).



Σχήμα 4.2.: Αύξηση της θερμοκρασίας σώματος μέσω της τριβής

Νόμοι των αερίων

1) ισόθερμη μεταβολή - νόμος του Boyle



Σχήμα 4.3: Ισόθερμη μεταβολή – νόμος του Boyle

Εδώ οι μαθητές μεταβάλλουν τον όγκο ενός δοχείου με αέριο και παρακολουθούν τη μεταβολή πίεσης τόσο με μετρητή, όσο και με γραφική παράσταση P-V, που εξελίσσεται μαζί με το πείραμα. Σε όλη τη διάρκεια του πειράματος όμως δεν μεταβάλλουν τη θερμοκρασία. Ο στόχος του πειράματος (βλ. σχήμα 4.3) ήταν οι μαθητές:

(α) να συσχετίσουν την πίεση (P) με τον όγκο (V) σε συνθήκες σταθερής θερμοκρασίας

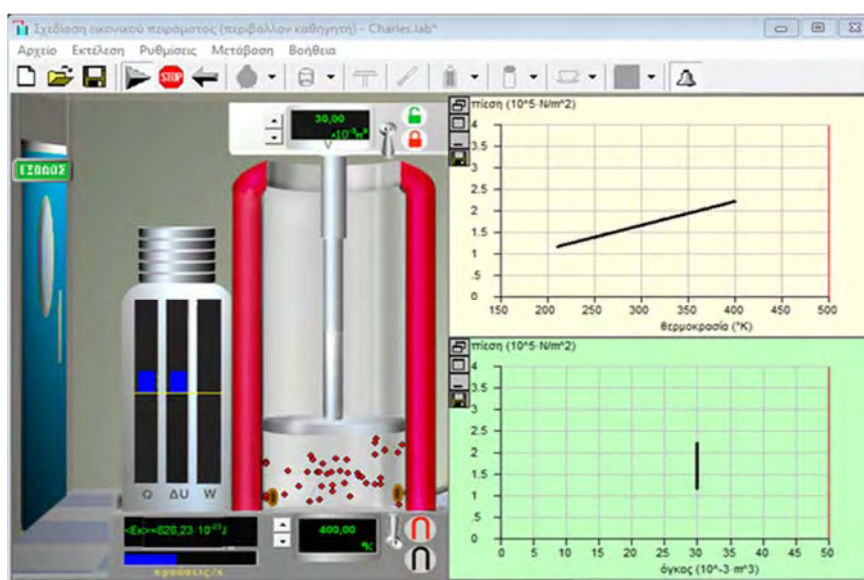
(β) να συμπεράνουν την παραγωγή /κατανάλωση έργου συσχετίζοντάς την και με την κίνηση του εμβόλου

(γ) να σχεδιάσουν τη γραφική παράσταση P-V

(δ) να συσχετίσουν τη μεταβολή της θερμοκρασίας ( $\Delta T$ ) και της μάζας (mole) με τη μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας ( $\Delta U$ )

(ε) να επαληθεύσουν τον 1<sup>ο</sup> θερμοδυναμικό νόμο:  $Q = \Delta U + W$ , όπου η θερμότητα Q που προσφέρεται στο αέριο μετατρέπεται σε παραγωγή έργου W, ενώ  $\Delta U=0$ .

## 2) Ισόχωρη μεταβολή - Νόμος Charles



**Σχήμα 4.4:** Ισόχωρη μεταβολή – νόμος του Charles

Εδώ οι μαθητές μεταβάλλουν τη θερμοκρασία του αερίου (βλ. σχήμα 4.4) και παρακολουθούν τη μεταβολή πίεσης τόσο με μετρητή, όσο και με γραφικές παραστάσεις P-T και P-V που εξελίσσονται μαζί με το πείραμα. Σε όλη τη διάρκεια του πειράματος δεν μεταβάλλουν τον αριθμό των moles του αερίου στο δοχείο ούτε τον όγκο του δοχείου- η θέση του εμβόλου διατηρείται σταθερή. Ο στόχος ήταν:

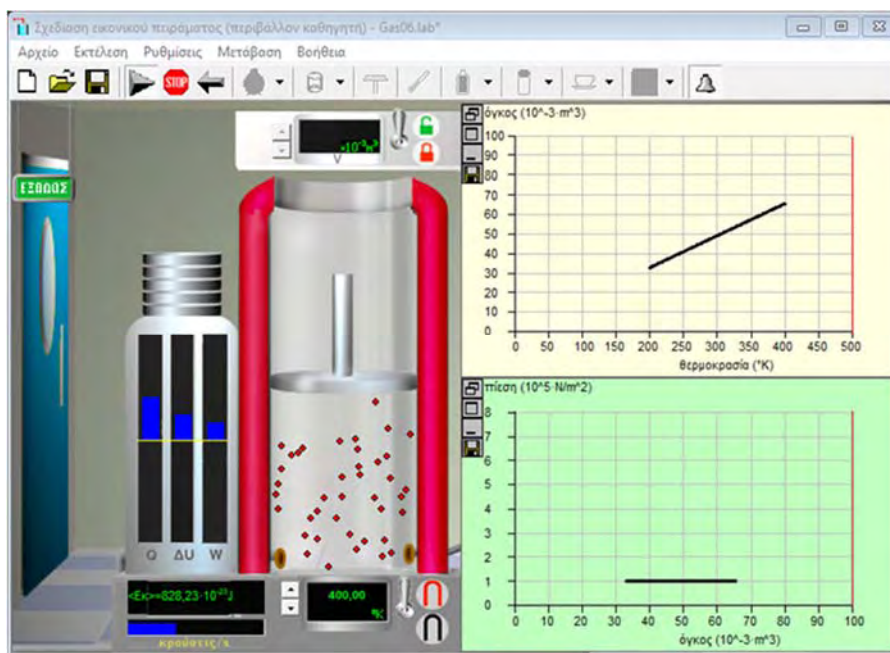
(α) να συσχετίσουν την πίεση (P) με τη θερμοκρασία (T)

(β) να σχεδιάσουν τις γραφικές παραστάσεις P-T και P-V

(γ) να συμπεράνουν τη μη παραγωγή /κατανάλωση έργου συσχετίζοντάς την και με την ακινησία του εμβόλου.

(δ) να επαληθεύσουν τον 1<sup>ο</sup> θερμοδυναμικό νόμο:  $Q = \Delta U + W$ , όπου  $W=0$  και ολόκληρη η θερμότητα  $Q$  που προσφέρθηκε στο αέριο μετατράπηκε σε αύξηση της εσωτερικής του ενέργειας  $\Delta U$ .

### 3) Ισοβαρής μεταβολή - Νόμος Gay Lussac



**Σχήμα 4.5:** Ισοβαρής μεταβολή – νόμος Gay Lussac

Σε αυτό το εικονικό πείραμα (βλ. σχήμα 4.5), οι μαθητές μεταβάλλουν τη θερμοκρασία του αερίου και παρακολουθούν τη μεταβολή του όγκου τόσο με μετρητή, όσο και με γραφικές παραστάσεις V- T και P - V, που εξελίσσονται μαζί με το πείραμα. Σε όλη τη διάρκεια του πειράματος δεν μεταβάλλουν τον αριθμό των moles του αερίου στο δοχείο ούτε την πίεση – η οποία ισούται με την εξωτερική, καθώς το έμβολο είναι ελεύθερο. Οι μαθητές καλούνται:

(α) να συσχετίσουν τον όγκο ( $V$ ) με τη θερμοκρασία ( $T$ )

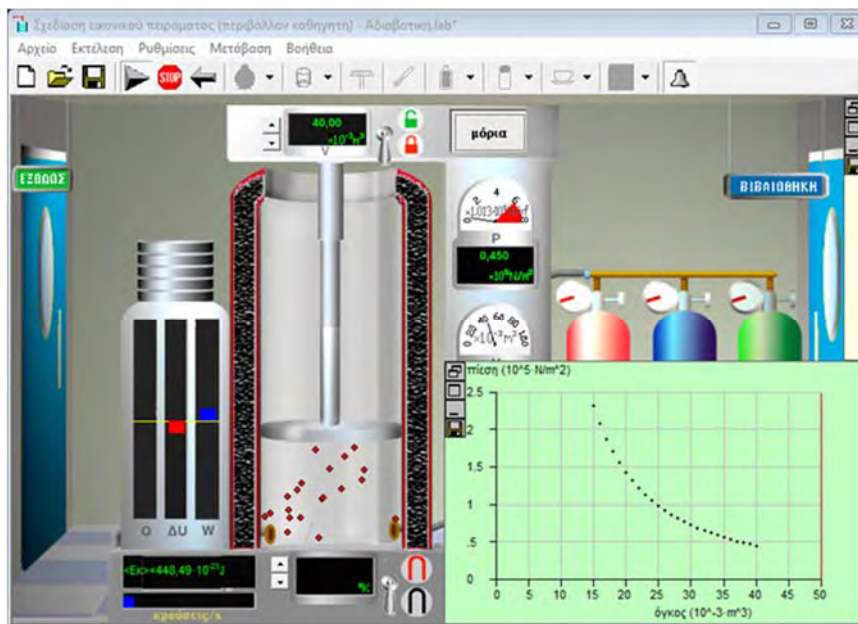
(β) να σχεδιάσουν τις γραφικές παραστάσεις V-T και P-V

(γ) να συμπεράνουν την παραγωγή /κατανάλωση έργου συσχετίζοντάς την και με την κίνηση του εμβόλου.

(δ) να επαληθεύσουν τον 1<sup>ο</sup> θερμοδυναμικό νόμο:  $Q = \Delta U + W$ , όπου η θερμότητα  $Q$  που προσφέρεται στο αέριο μετατρέπεται σε αύξηση της εσωτερικής του ενέργειας  $\Delta U$  και παραγωγή έργου  $W$ .



#### 4) Αδιαβατική μεταβολή



**Σχήμα 4.6:** Αδιαβατική μεταβολή

Εδώ καλούνται οι μαθητές να μεταβάλλουν τον όγκο του θερμικά μονωμένου αυτή τη φορά δοχείου (αδιαβατικά τοιχώματα) και να παρακολουθούν τη μεταβολή πίεσης και θερμοκρασίας τόσο με μετρητές, όσο και με γραφική παράσταση P- V, που εξελίσσεται μαζί με το πείραμα. Σε όλη τη διάρκεια του πειράματος δεν μεταβάλλουν τον αριθμό των moles του αερίου στο δοχείο. Το έμβολο είναι ελεύθερο κατά την εισαγωγή αερίου και έπειτα κλειδωμένο. Ο στόχος του πειράματος (βλ. σχήμα 4.6) ήταν οι μαθητές:

- (α) να συσχετίσουν τις μεταβολές πίεσης και θερμοκρασίας με εκείνες του όγκου
- (β) να σχεδιάσουν τη γραφική παράσταση P-V
- (γ) να παρατηρήσουν το αμετάβλητο της θερμότητας
- (δ) να συμπεράνουν την παραγωγή /κατανάλωση έργου συσχετίζοντάς την και με την κίνηση του εμβόλου.
- (ε) να συγκρίνουν την κλίση της καμπύλης P-V της αδιαβατικής μεταβολής με εκείνη της καμπύλης P-V της ισόθερμης μεταβολής και να επαληθεύσουν την πιο απότομη μεταβολή της θερμοκρασίας στην αδιαβατική μεταβολή
- (στ) να συσχετίσουν τη μεταβολή της θερμοκρασίας ( $\Delta T$ ) με τη μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας ( $\Delta U$ )

(ζ) να επαληθεύσουν τον 1<sup>ο</sup> θερμοδυναμικό νόμο:  $Q = \Delta U + W$ , όπου αφού δεν προσφέρεται θερμότητα  $Q$  στο αέριο, η μείωση της εσωτερικής του ενέργειας  $\Delta U$  μετατρέπεται ολόκληρη σε παραγωγή έργου  $W$ .

Η ομάδα των δραστηριοτήτων που αφορά στους νόμους των αερίων αναμένεται να έχει καθοριστική συμβολή στην ικανότητα των μαθητών να σχεδιάζουν τις γραφικές παραστάσεις που ζητούνται στην ερώτηση 3, διότι, όπως αναφέρει ο Junglas (2006), τα σκίτσα των γραφικών παραστάσεων αντικαθίστανται με τη βοήθεια του υπολογιστή από ακριβείς καμπύλες που μπορούν να μελετηθούν αλληλεπιδραστικά από τους μαθητές απλώς μέσω της μεταβολής των παραμέτρων τους.

Στην ίδια ομάδα, συνδυαστικά πρέπει να σκεφτούν οι μαθητές, ώστε να μπορέσουν να αντιστοιχίσουν κάθε μία από τις μεταβολές (ισόθερμη, ισόχωρη και ισοβαρή) με φαινόμενα της καθημερινότητας που ζητείται από την ερώτηση 4. Προσδοκείται ότι με την οπτικοποίηση μεταβλητών, όπως ο όγκος, η θερμοκρασία και η πίεση, θα βοηθηθούν να δημιουργήσουν μία διαίσθηση της συμπεριφοράς τους και στα φαινόμενα της καθημερινότητας (Junglas, 2006). Όπως άλλωστε αναφέρουν και οι Jimoyiannis & Komis (2001), μία εναλλακτική εποικοδομητική διδακτική προσέγγιση μέσω υπολογιστή θα πρέπει να διευκολύνει τους μαθητές να εφαρμόζουν αποτελεσματικά φυσικές έννοιες και αρχές σε νέες καταστάσεις που αφορούν στην καθημερινότητα.

Σε όλες της δραστηριότητες που σχετίζονται με τις μεταβολές των αερίων, ζητείται από τους μαθητές να σημειώσουν τις μεταβολές των τιμών των μεγεθών που συμμετέχουν στον 1<sup>ο</sup> θερμοδυναμικό νόμο ( $W$ ,  $Q$ ,  $\Delta U$ ), όπως αυτές παρουσιάζονται από τους «μετρητές ενέργειας» της πειραματικής διάταξης. Ιδιαίτερα με την πειραματική διάταξη της ισόθερμης μεταβολής αναμένεται να επιβεβαιώσουν μέσω των μετρητών ότι «όταν δεν υπάρχει μεταβολή θερμοκρασίας, η θερμότητα που προσφέρεται στο αέριο μετατρέπεται εξ ολοκλήρου σε έργο», ενώ παράλληλα, και καθώς αυξάνουν τα *mole* του αερίου, θα εξετάσουν το ρόλο της εσωτερικής ενέργειας και τη συσχέτισή της με τη θερμοκρασία και τη μάζα (ερώτηση 5).

Με την πειραματική διάταξη της ισόχωρης μεταβολής, καλούνται οι μαθητές, αφού πρώτα κατανοήσουν ότι ισόχωρη είναι ή μεταβολή στην οποία έχουμε σταθερά τοιχώματα (σταθερό όγκο  $V$ ), να διαπιστώσουν ότι «όσο και με όποιον τρόπο και αν

μεταβάλλονται οι υπόλοιπες παράμετροι (θερμοκρασία και πίεση) σε ένα αέριο, δεν υπάρχει παραγωγή έργου  $W$  όταν η μεταβολή είναι ισόχωρη» (ερώτηση 6).

Ομοίως προβλέπεται να επιβεβαιώσουν με την πειραματική διάταξη της αδιαβατικής μεταβολής ότι «όταν δεν έχουμε ανταλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον και μειωθεί απότομα ο όγκος του αερίου, η μεταβολή της θερμοκρασίας μπορεί να είναι τόσο ακαριαία, ώστε να δημιουργηθεί ανάφλεξη». Οι συνθήκες κάτω από τις οποίες πραγματοποιείται μία αδιαβατική μεταβολή επιλέχθηκαν να χρησιμοποιηθούν για την επαλήθευση του 1<sup>ου</sup> Θερμοδυναμικού νόμου (ερώτηση 7). Εδώ αναμένεται οι μαθητές να έχουν επιβεβαιώσει από τις παραπάνω πειραματικές διατάξεις την ισχύ της σχέσης:  $Q = W + \Delta U$  για όλες τις περιπτώσεις και να είναι σε θέση να εξηγήσουν ότι «αφού στην αδιαβατική μεταβολή δεν υπάρχει ανταλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον ( $Q=0$ ), απαιτείται να προσφέρουμε έργο  $W$  προκειμένου να πετύχουμε αύξηση της εσωτερικής ενέργειας  $\Delta U$  και κατά συνέπεια της θερμοκρασίας του αερίου» και μάλιστα όταν προσφέρουμε απότομα έργο, θα προκαλέσουμε και ακαριαία αύξηση της θερμοκρασίας του αερίου που πολλές φορές είναι επιθυμητή (π.χ. ανάφλεξη στους κινητήρες εσωτερικής καύσης οχημάτων).

#### 4.3. ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Μετά την ολοκλήρωση της διδακτικής παρέμβασης, η οποία επαναλήφθηκε 4 φορές για τους 70 μαθητές/τριες των τεσσάρων τμημάτων, ακολούθησε σε σύντομο χρονικό διάστημα το post test που δόθηκε στους μαθητές με τις ίδιες ακριβώς ερωτήσεις που περιείχε και το pre test. Οι απαντήσεις των μαθητών στα pre και post test, οι απαντήσεις τους στα φύλλα εργασίας, αλλά και η στάση τους κατά τη διάρκεια της πειραματικής διδασκαλίας αποτέλεσαν αντικείμενα ερευνητικής επεξεργασίας.

Πιο αναλυτικά, η επεξεργασία των ερευνητικών δεδομένων έγινε:

α) με ποιοτική ανάλυση και

β) με στατιστική επεξεργασία των δεδομένων (με τη χρήση του SPSS, αλλά και του Microsoft Excel).

Η ποιοτική ανάλυση βασίστηκε στα ερωτηματολόγια και στην παρατήρηση του τρόπου με τον οποίο εργάστηκαν οι μαθητές. Συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια της διδακτικής παρέμβασης, παρατηρήθηκαν και κρατήθηκαν σημειώσεις ώστε να μελετηθούν:

- Η ικανοποίηση - δυσαρέσκεια από τη διαφορετική διδακτική προσέγγιση του μαθήματος μέσω της χρήσης του εικονικού εργαστηρίου ΣΕΠ σε έναν καινούριο χώρο διδασκαλίας με άλλη διάταξη και εξοπλισμό από το συνηθισμένο.
- Η συνεργασία των μελών της ομάδας για τη συμπλήρωση των φύλλων εργασίας, οι αιτήσεις για βοήθεια από τον εκπαιδευτικό, καθώς και η επικοινωνία των ομάδων μεταξύ τους.
- Η ικανότητα - δεξιότητα χρήσης των υπολογιστών και ο σχετικός χρόνος ενασχόλησης του κάθε μέλους της ομάδας με τον υπολογιστή και την εικονική πειραματική διάταξη.
- Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της υλικοτεχνικής υποδομής, δηλαδή το κατά πόσο ήταν εύχρηστη η προσομοίωση της πειραματικής διάταξης σε συνδυασμό με τα φύλλα εργασίας.
- Κατά πόσο η ενασχόληση με την προσομοίωση δημιούργησε στους μαθητές μία διαίσθηση της συμπεριφοράς των φυσικών μεταβλητών της θερμοδυναμικής, ώστε να τις συνδέουν και με τα φαινόμενα της καθημερινότητας.

Επιπρόσθετα, από την ποιοτική ανάλυση των απαντήσεων των ερωτηματολογίων μελετήθηκαν:

- Ο τρόπος απάντησης των μαθητών στις ερωτήσεις δύο επιπέδων, καθώς εξετάστηκε αν η αιτιολόγηση ήταν συγκεκριμένη, σαφής, πλήρης, πάνω στο θέμα, έδειχνε ικανότητα χειρισμού του γραπτού λόγου κ.λπ..
- Η πληρότητα των σχημάτων που σχεδιάστηκαν και αν αυτά ήταν απλά σκαριφήματα ή γραφικές παραστάσεις φαινομένων.
- Η συνέπεια των απαντήσεων στις ερωτήσεις δύο επιπέδων, ώστε να βρεθεί αν οι απαντήσεις στις ερωτήσεις σωστού – λάθους ήταν σε συμφωνία με την αιτιολόγηση που ακολουθούσε ή απαντήθηκαν τυχαία.

Η ποσοτική επεξεργασία των ερωτηματολογίων (pre – post test) έγινε με τη χρήση του SPSS και περιλαμβάνει:

- Έλεγχο της αξιοπιστίας των δύο test (δείκτης Cronbach's alpha και Kuder Richardson KR-20).
- Στατιστική ανάλυση των απαντήσεων των μαθητών και πιο συγκεκριμένα:
  - Σύγκριση του αριθμού απαντημένων/σύνολο ερωτήσεων στο pre-test και το post-test κάθε μαθητή.

- Σύγκριση του γενικού μέσου όρου βαθμολογίας των μαθητών για το σύνολο των ερωτήσεων στο pre-test και το post-test.
- Σύγκριση του μέσου όρου της βαθμολογίας των μαθητών σε κάθε ομάδα ερωτήσεων ξεχωριστά, πριν και μετά τη διδασκαλία.
- Έλεγχο της συνέπειας των απαντήσεων στις ερωτήσεις δύο επιπέδων.
- Αξιολόγηση της συσχέτισης μεταξύ των απαντήσεων του post-test και του προτεινόμενου τρόπου διδασκαλίας.

#### 4.4. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

##### 4.4.1. Ποσοτική Ανάλυση

- Έλεγχος αξιοπιστίας

Η αξιοπιστία εσωτερικής συνέπειας των απαντήσεων των μαθητών στο σύνολο των ερωτήσεων του τεστ εκτιμήθηκε μέσω του δείκτη  $\alpha$  του Cronbach, ενώ η εσωτερική συνέπεια των ερωτήσεων κλειστού τύπου εκτιμήθηκε μέσω του δείκτη Kuder Richardson (KR-20). Στο pre-test οι δείκτες ήταν 0.85 για το  $\alpha$  Cronbach και 0.77 για το KR-20, ενώ για το post test ήταν 0.79 και 0.76 αντίστοιχα. Δεδομένου ότι σύμφωνα με τις διεθνώς αποδεκτές τιμές η μετρήσιμη αξιοπιστία βρίσκεται εντός των ορίων ( $\geq 0.70$ ), το ερωτηματολόγιο που δόθηκε στους μαθητές θεωρείται ότι πληροί τους κανόνες της εσωτερικής συνέπειας (Tavakol & Dennick, 2011).

- Στατιστική ανάλυση των απαντήσεων των μαθητών

- A) Αναπάντητα ερωτήματα

Το ερωτηματολόγιο έχει 7 ερωτήσεις πολλαπλών επιπέδων και το σύνολο των υποερωτημάτων είναι 27. Αρχικά, έγινε σύγκριση των ερωτημάτων που άφησαν αναπάντητα οι μαθητές στο pre και post test. Συγκεκριμένα στο pre test οι μαθητές δεν απάντησαν σε 254 ερωτήματα (17,2% του συνόλου), ενώ στο post test δεν απαντήθηκαν 131 ερωτήματα (6,9%).

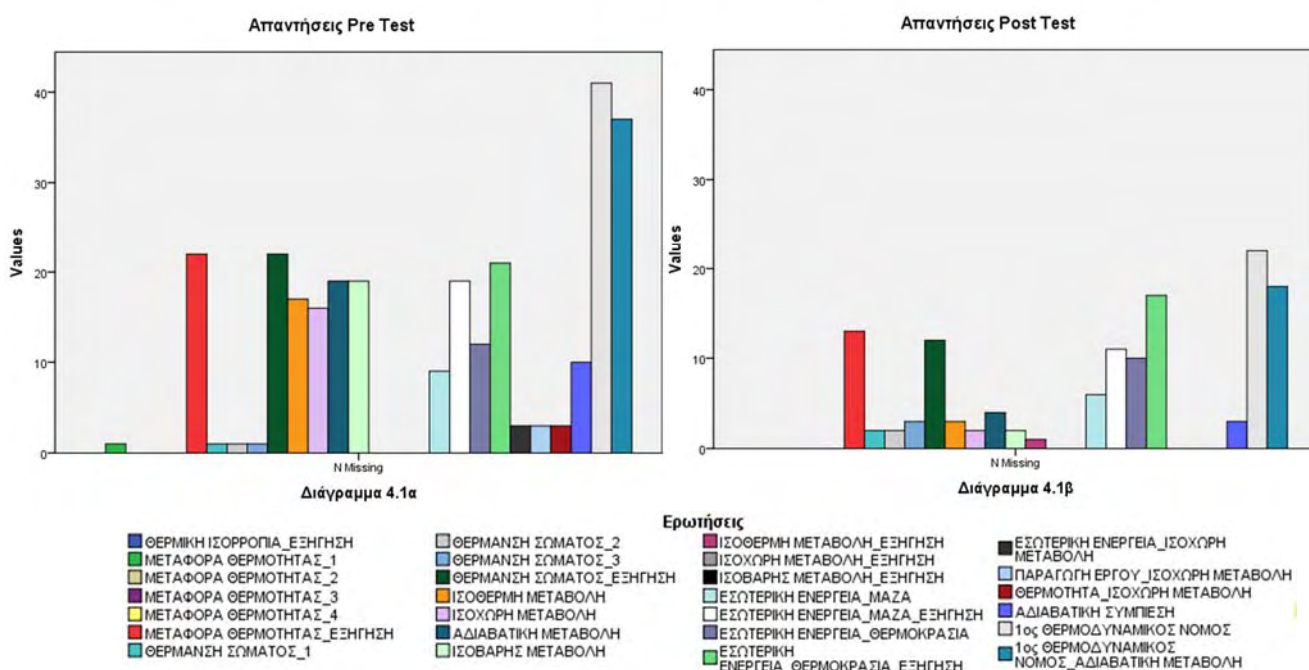
Η κάθε ερώτηση των pre test και post test βαθμολογήθηκε χωριστά με κλίμακα 0-1 για τις ερωτήσεις κλειστού τύπου (Λάθος – Σωστό) και 0-5 για τις ερωτήσεις αιτιολόγησης ('Τελείως Λανθασμένη', 'Σχεδόν Λάθος', 'Αρκετές Παρανοήσεις', 'Ελλιπής', 'Σχεδόν Σωστή', 'Σωστή'). Μοναδική εξαίρεση αποτελεί η ερώτηση «Αδιαβατική Συμπύεση» με κλίμακα 0-

2 ('Καμία σωστή απάντηση', 'Μία σωστή απάντηση', 'Σωστό'). Τα αποτελέσματα της βαθμολόγησης φαίνονται στον σχετικό πίνακα του Παραρτήματος III. Παρατηρήθηκε σημαντική μείωση του αριθμού των ερωτήσεων που έμειναν αναπάντητες στο post test (διευκρινίζεται ότι δεν εξετάζεται η ορθότητα ή μη των απαντήσεων, αλλά μόνον η ύπαρξη ή όχι απάντησης).

Στα παρακάτω διαγράμματα 4.1α και 4.1β φαίνεται αναλυτικά για κάθε ερώτημα ο αριθμός των μη απαντημένων ερωτήσεων στα pre και post test αντίστοιχα. Από τα διαγράμματα αυτά συμπεραίνουμε ότι οι ερωτήσεις που δεν απαντήθηκαν από τους μαθητές και στα δύο test είναι εκείνες των δύο επιπέδων και μάλιστα σε ό,τι αφορά το κομμάτι της αιτιολόγησης, αν και στο post test και ποσοστά είναι καλύτερα.

Αξιοσημείωτη είναι η δυσκολία των μαθητών να αιτιολογήσουν την εφαρμογή του 1<sup>ου</sup> Θερμοδυναμικού νόμου που ζητείται στις δύο τελευταίες ερωτήσεις, όπου στο pre test οι μαθητές που δεν απάντησαν σε αυτές είναι 58,6% και 53,9%, ενώ στο post test το αντίστοιχο ποσοστό είναι 31,4% και 25,7%.

**Διαγράμματα 4.1α & 4.1β: Αναπάντητες Ερωτήσεις**



## B) Μέσοι όροι Βαθμολογίας

Το μέγιστο σκορ των ορθών απαντήσεων στο κάθε τεστ είναι 56. Το σύνολο των ερωτήσεων είναι 27, ενώ ο αριθμός των συμμετεχόντων μαθητών είναι 70. Η συνολική

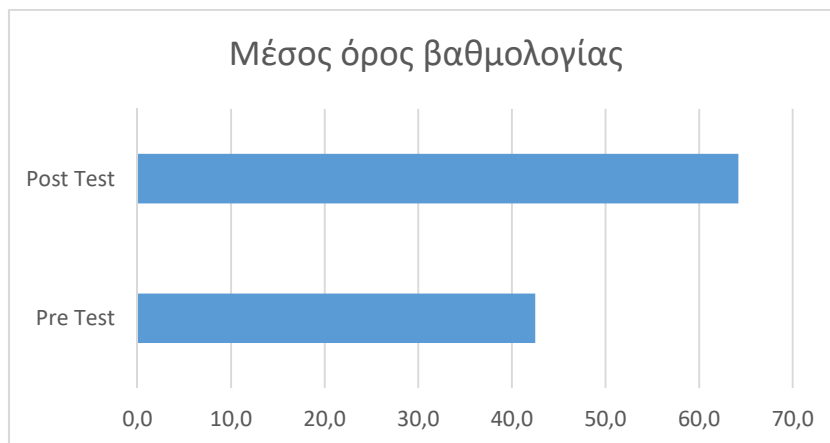
βαθμολογία που πέτυχαν οι μαθητές παρουσιάζεται στον πίνακα 4.1. Ο μέσος όρος της βαθμολογίας στο pre test είναι 23,8 και στο post test 36, με άριστα το 56 πάντα. Είναι δηλαδή αυξημένος κατά 12,2 μονάδες ή κατά 22,7% στο post test. Ομοίως, η ελάχιστη βαθμολογία αυξήθηκε από τις 5 στις 14 μονάδες (αύξηση 16,1%), ενώ στο post test η μέγιστη βαθμολογία (55) σχεδόν άγγιξε το απόλυτο άριστα στο σκορ.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η εξέταση της κλιμάκωσης της βαθμολογίας (βλ. πίνακα 4.1), όπου οι επιδόσεις των μαθητών κατηγοριοποιήθηκαν σε πέντε κλίμακες (A: με σκορ από 47 έως 56, B: με σκορ από 37 έως 46, Γ: με σκορ από 27 έως 36, Δ: με σκορ από 17 έως 26 και E: με σκορ από 16 και χαμηλότερα). Αναλυτικότερα, στο post test αυξήθηκε σημαντικά ο αριθμός των μαθητών των οποίων η επίδοση ανήκει στις υψηλότερες κλίμακες A και B: από 3 σε 25 (αύξηση 31,4%) για την κλίμακα A και από 13 σε 24 (αύξηση 15,8%) για την κλίμακα B. Αντίστοιχα, υπήρξε αξιοσημείωτη μείωση των χαμηλών βαθμολογιών, όπως αποδεικνύουν οι τιμές στις κλίμακες Δ και E: μείωση από 16 σε 3 (18,6%) για την κλίμακα E και από 22 σε 11 (15,8%) για την κλίμακα Δ. Τέλος σημειώθηκε και μία διαφοροποίηση της τάξης του 12,8% στην μεσαία κλίμακα Γ.

**Πίνακας 4.1:** Ανάλυση Βαθμών στα pre και post test

	Pre Test	Post Test
Αριθμός Μαθητών	70	70
Αριθμός Ερωτήσεων	27	27
Ολικό Σκορ	56	56
Μέσος όρος	23,8	36
Ελάχιστη Βαθμολογία	5	14
Μέγιστη Βαθμολογία	52	55
Βαθμολογία	Αριθμός Μαθητών	
Κλίμακα A (47-56)	3	25
Κλίμακα B (37-46)	13	24
Κλίμακα Γ (27-36)	16	7
Κλίμακα Δ (17-26)	22	11
Κλίμακα E (0-16)	16	3

Η σύγκριση των -κανονικοποιημένων με άριστα το 100- μέσων όρων βαθμολογίας των μαθητών στα δύο τεστ φαίνεται στο διάγραμμα 4.2., όπου διακρίνεται η διαφορά των 23 περίπου μονάδων που πέτυχαν υψηλότερα οι μαθητές στο post test.



**Διάγραμμα 4.2:** Μέσος όρος Βαθμολογίας στα pre και post test (για διευκόλυνση έγινε κανονικοποίηση των τιμών με άριστα το 100)

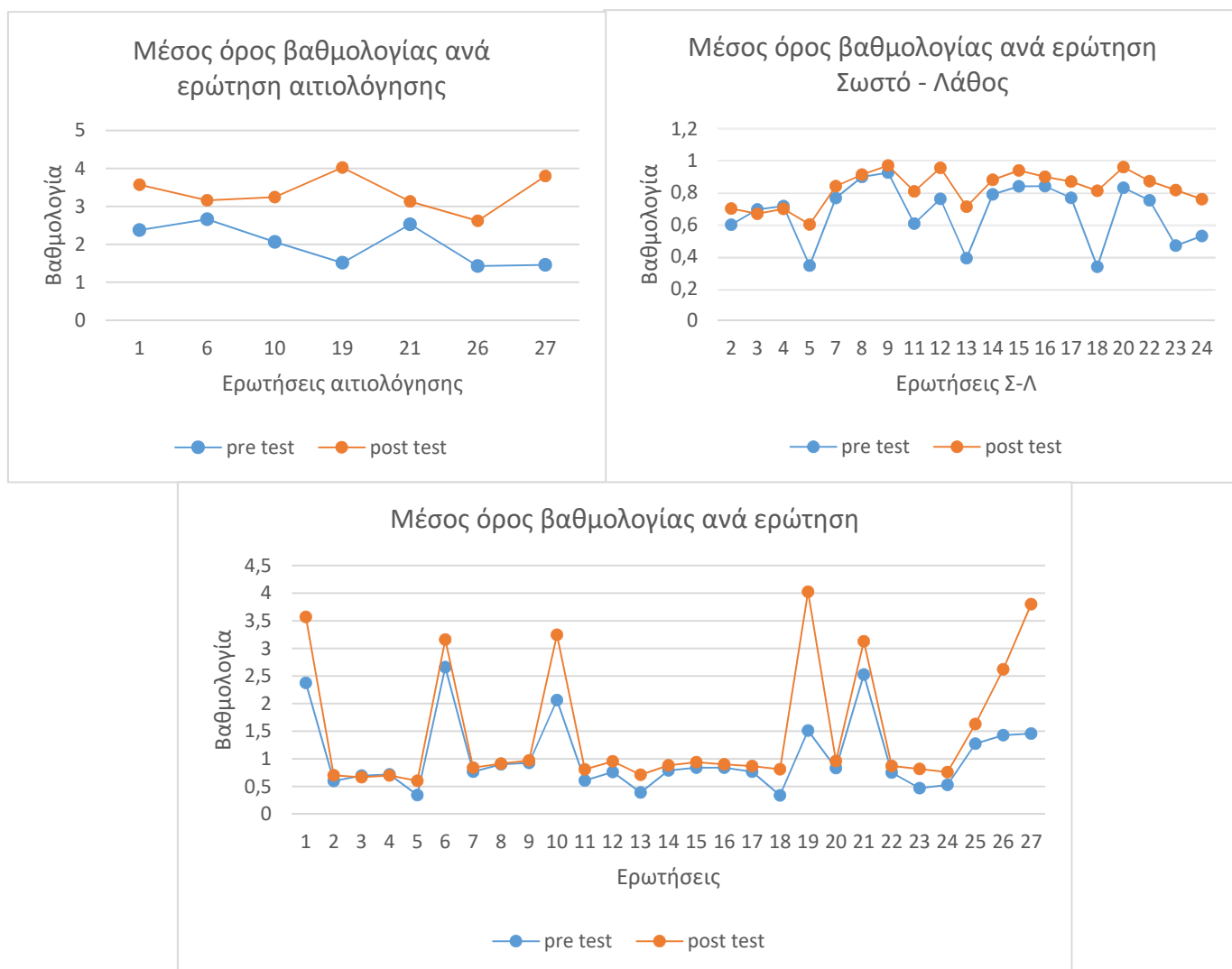
### Γ) Μέσοι όροι βαθμολογίας ανά ερώτηση

Χρήσιμο είναι να εξεταστεί και η επίδοση των μαθητών σε κάθε μία ερώτηση ξεχωριστά, αφού ο γενικός μέσος όρος (διάγραμμα 4.2) δίνει μια συνολική εικόνα μεν, αλλά κρύβει τις επιμέρους διαφορές των ερωτήσεων. Εντούτοις, επειδή η κλίμακα βαθμολογίας των ερωτήσεων κλειστού τύπου κυμαίνεται από 0 έως 1, ενώ των ερωτήσεων αιτιολόγησης από 0 έως 5, κρίθηκε σκόπιμο να παρουσιαστούν τα αποτελέσματα σε διαφορετικά διαγράμματα (βλ. διαγράμματα 4.3), όπου εμφανίζεται η σύγκριση των βαθμολογιών ανά ερώτηση συνολικά, ανά ερώτηση Σ-Λ και ανά ερώτηση αιτιολόγησης.

Από τα διαγράμματα φαίνεται το αναμενόμενο και από την παραπάνω ανάλυση, ότι συνολικά, αλλά και ανά ερώτηση ο μέσος όρος βαθμολογίας των μαθητών στο post test είναι μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο μέσο όρο στο pre test. Ωστόσο, είναι ενδιαφέρον να τονιστεί ότι η απόκλιση σε κάποιες ερωτήσεις είναι σημαντικότερη από αυτή σε κάποιες άλλες. Και αυτό αφορά κυρίως στις ερωτήσεις αιτιολόγησης, οι οποίες είναι και οι πιο αξιόπιστες, διότι αποδεικνύουν και το επίπεδο της κατανόησης των μαθητών πάνω στα εξεταζόμενα φαινόμενα της Θερμοδυναμικής. Για παράδειγμα η ερώτηση 6 (που σχετίζεται με τη μεταφορά θερμότητας από ένα σώμα σε κάποιο άλλο διαφορετικής θερμοκρασίας) δεν παρουσιάζει μεγάλη απόκλιση στη μέση βαθμολογία (2,7 στο pre test με 3,2 στο post test με άριστα το 5 – απόκλιση 10%), ενώ στην ερώτηση 19 (που αφορά



στη συσχέτιση της μάζας με την εσωτερική ενέργεια ενός σώματος) η απόκλιση είναι αρκετά μεγάλη (1,7 στο pre test με 4,2 στο post test με άριστα το 5 – απόκλιση 50%).



**Διαγράμματα 4.3:** Μέσος όρος βαθμολογίας ανά ερώτηση

Εντούτοις, και στις ερωτήσεις Σ-Λ παρατηρούνται μεγαλύτερες διαφοροποιήσεις σε κάποιες συγκεκριμένες ερωτήσεις ανάμεσα στα δύο τεστ. Αναλυτικότερα, οι ερωτήσεις 5 (μεταφορά θερμότητας και θερμική ισορροπία με το περιβάλλον), 13 (γραφική αναπαράσταση της αδιαβατικής μεταβολής) και 18 (συσχέτιση της μάζας με την εσωτερική ενέργεια) έχουν σημαντική διαφορά στο μέσο όρο της βαθμολογίας στα pre και post test. Σημειώνεται ότι η ερώτηση 18 είναι τμήμα ερώτησης δύο επιπέδων (συνδυάζεται με την ερώτηση αιτιολόγησης 19), όπου επίσης παρατηρείται πολύ μεγάλη απόκλιση μετά τη διδακτική παρέμβαση (βλ. διαγράμματα 4.3).

*Δ) Μέσοι όροι βαθμολογίας για ομάδες ερωτήσεων*

Το ερωτηματολόγιο, όπως παρουσιάστηκε αναλυτικά στην παράγραφο 4.2.1., περιλαμβάνει τρεις ομάδες ερωτήσεων που ανήκουν στους παρακάτω θεματικούς άξονες:

*Ομάδα Α:* Θερμότητα – Θερμοκρασία

*Ομάδα Β:* Μεταβολές και Νόμοι των αερίων

*Ομάδα Γ:* Εσωτερική Ενέργεια - Έργο - 1<sup>ος</sup> Θερμοδυναμικός Νόμος

Η ομάδα Α περιλαμβάνει τις υποομάδες ερωτήσεων: Α1 (δύο επιπέδων) και Α2 (δύο επιπέδων). Η ομάδα Β περιλαμβάνει τις υποομάδες ερωτήσεων: Β3 και Β4 κλειστού τύπου. Τέλος, η ομάδα Γ περιλαμβάνει τις υποομάδες ερωτήσεων: Γ5 (δύο επιπέδων), Γ6(Σ-Λ) και Γ7 (δύο επιπέδων). Στον πίνακα 4.2 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι της επίδοσης των μαθητών ανά ομάδα ερωτήσεων, καθώς και το μέγιστο σκορ ανά ομάδα ερωτήσεων που μπορεί να πετύχει κάποιος μαθητής αν απαντούσε ορθά σε όλες τις ερωτήσεις. Επίσης, δίνονται σε κανονικοποιημένη μορφή (με άριστα το 100, για διευκόλυνση της σύγκρισης) οι αποκλίσεις μεταξύ των μέσων όρων σε pre και post test, καθώς και οι αποκλίσεις μεταξύ των δύο τεστ και της μέγιστης βαθμολογίας.

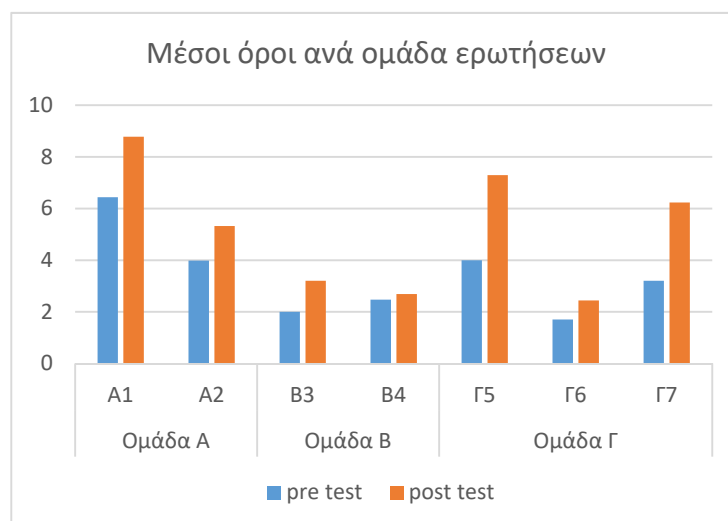
**Πίνακας 4.2:** Μέσος όρος βαθμολογίας ανά ομάδα ερωτήσεων

		Ολικό Σκορ	pre test	post test	Απόκλιση μέσων όρων ανάμεσα σε pre και post test (%)	Απόκλιση μέσων όρων από το μέγιστο σκορ - pre test (%)	Απόκλιση μέσων όρων από το μέγιστο σκορ - post test (%)
			Μέσος όρος	Μέσος όρος			
<b>Ομάδα Α</b>	<b>A1</b>	14	6,44	8,78	16,70	53,99	37,29
	<b>A2</b>	8	3,99	5,32	16,73	50,18	33,46
<b>Ομάδα Β</b>	<b>B3</b>	4	2,00	3,21	30,15	50,00	19,85
	<b>B4</b>	3	2,47	2,69	7,35	17,65	10,29
<b>Ομάδα Γ</b>	<b>Γ5</b>	12	4,00	7,29	27,45	66,67	39,22
	<b>Γ6</b>	3	1,71	2,44	24,51	43,14	18,63
	<b>Γ7</b>	12	3,21	6,24	25,25	73,28	48,04
<b>Σύνολο Ερωτήσεων</b>		56	23,81	35,97			

Εύκολα μπορεί να παρατηρηθεί ότι η ομάδα ερωτήσεων που δυσκόλεψε λιγότερο τους μαθητές είναι η Β, η οποία αφορά στους νόμους των αερίων, αφού η απόκλιση από το μέγιστο σκορ είναι μόλις 19,85% και 10,29% για τις υποομάδες Β3 και Β4 του post test.

Αντίθετα, η ομάδα Γ και ιδιαίτερα η υποομάδα Γ7 (που αφορά στον 1<sup>ο</sup> θερμοδυναμικό νόμο) παρουσιάζει πολύ μεγάλη απόκλιση από το μέγιστο σκορ της τάξης του 73,28% και 48,04% για τα pre και post test αντίστοιχα. Ωστόσο, σημαντική είναι η βελτίωση της απόδοσης των μαθητών στην ίδια ομάδα, καθώς η αντίστοιχη απόκλιση από το 61,03% στο pre test μειώθηκε μεσοσταθμικά στο 35,29% στο post test. Εντυπωσιακή, εντούτοις, είναι η βελτίωση του σκορ στην ερώτηση Β3, κατά 30,15%, γεγονός που όμως ήταν αναμενόμενο, διότι η συγκεκριμένη ερώτηση απαιτούσε σχεδιασμό γραφημάτων, όπου οι γραφικές αναπαραστάσεις των πολυμεσικών εφαρμογών που παρουσιάστηκαν είχαν σημαντικό ρόλο στη διδακτική παρέμβαση.

Οι διαφορές μεταξύ των μέσων όρων ανά ομάδα ερωτήσεων στα δύο τεστ παρουσιάζονται γραφικά στο διάγραμμα 4.4, όπου παρατηρείται βελτίωση της απόδοσης των μαθητών στο post test για όλες τις ομάδες και υποομάδες ερωτήσεων.



**Διάγραμμα 4.4:** Μέσοι όροι επίδοσης ανά ομάδα και υποομάδα ερωτήσεων

#### 4.4.2. Ποιοτική Ανάλυση: Η συνέπεια των απαντήσεων

Η εννοιολογική δομή του ερωτηματολογίου χωρίζεται στις εξής ενότητες:

Ενότητα 1, που περιλαμβάνει την υποομάδα ερωτήσεων Α1 και που απαντά στο ερώτημα: «Σε τι διαφέρουν η θερμοκρασία από τη θερμότητα;» .

Ενότητα 2, που περιλαμβάνει την υποομάδα ερωτήσεων A2 και που απαντά στο ερώτημα: *«Μπορούμε να αυξήσουμε τη θερμοκρασία ενός σώματος δίχως να του μεταφέρουμε θερμότητα από ένα άλλο σώμα;»*

Ενότητα 3, που περιλαμβάνει την υποομάδα ερωτήσεων B3 και που εξετάζει την ικανότητα των μαθητών να *«αποτυπώνουν με γραφικές παραστάσεις τους νόμους των ιδανικών αερίων»*.

Ενότητα 4, που περιλαμβάνει την υποομάδα ερωτήσεων B4 και που εξετάζει την ικανότητα των μαθητών να *«συσχετίζουν τους νόμους των αερίων με φαινόμενα της καθημερινότητάς τους»*.

Ενότητα 5, που περιλαμβάνει την υποομάδα ερωτήσεων Γ5 και που απαντά στην ερώτηση *«Είναι η θερμοκρασία ο μοναδικός δείκτης που σχετίζεται με την εσωτερική ενέργεια ενός σώματος;»*.

Ενότητα 6, που περιλαμβάνει την υποομάδα ερωτήσεων Γ6 και που απαντά στη ερώτηση *«Πότε έχουμε παραγωγή έργου σε μια θερμοδυναμική μεταβολή ενός αερίου;»*.

Ενότητα 7, που περιλαμβάνει την υποομάδα των ερωτήσεων Γ7 και που απαντά στην ερώτηση *«Πώς συσχετίζονται η Θερμότητα, το Έργο και η Εσωτερική Ενέργεια στον 1<sup>ο</sup> Θερμοδυναμικό Νόμο;»*.

Παρακάτω παρουσιάζεται η ανάλυση των απαντήσεων για κάθε ενότητα.

- *Ενότητα 1: Δυσκολίες των μαθητών στην κατανόηση της διαφοράς ανάμεσα στη θερμότητα και τη θερμοκρασία.*

Η ερώτηση A1 ζητούσε από τους μαθητές να «ανακαλύψουν» το μηχανισμό με τον οποίο σώματα διαφορετικής θερμοκρασίας καταλήγουν σε θερμική ισορροπία όταν έλθουν σε επαφή. Παρατηρήθηκε ότι, αν και οι περισσότεροι μαθητές εμπειρικά αντιλαμβάνονταν ότι τα σώματα τελικά θα αποκτήσουν την ίδια θερμοκρασία, στην αιτιολόγηση χρησιμοποιούσαν τις έννοιες «θερμοκρασία» και «θερμότητα» με τυχαίο και πολλές φορές αντίστροφο τρόπο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα η έκφραση *«ο θερμός κύβος σιδήρου μετέφερε θερμοκρασία στο κρύο νερό»*, αντί του ορθού *«ο θερμός κύβος σιδήρου μετέφερε θερμότητα στο κρύο νερό»*. Επιπλέον, δεν έδειχναν να αντιλαμβάνονται το ρόλο της μάζας ενός σώματος και πόσο αυτή μπορεί να επηρεάσει τη θερμοκρασία του. Συγκεκριμένα, πολλοί είναι εκείνοι που αγνόησαν τη θερμοκρασία του

περιβάλλοντος, αποδεικνύοντας ότι όταν οι σπουδαστές αντιμετωπίζουν ένα πρόβλημα με πολλαπλές μεταβλητές, έχουν την τάση να μειώνουν αυθαίρετα την πολυπλοκότητα αγνοώντας κάποιες από αυτές (Kamcharean & Wattanakasiwich, 2016).

Όπως ήδη έχουμε εντοπίσει από την ποσοτική ανάλυση (πίνακας 4.2), η επίδοση των μαθητών στο pre test στην ομάδα ερωτήσεων A1 παρουσίασε απόκλιση 53,99% από τη μέγιστη βαθμολογία. Επιπλέον, 22 μαθητές από τους 70 (ποσοστό 31,4%) δεν έδωσαν καμία απάντηση στο επίπεδο της ερώτησης που αφορούσε στην αιτιολόγησή της, ενώ αντίθετα μόλις 1 μαθητής δεν απάντησε στο επίπεδο που αφορούσε τις ερωτήσεις Σ-Λ (βλ. διάγραμμα 4.1α). Εντούτοις, από τους 48 που απάντησαν (ποσοστό 68,6%), κάποιιοι (ποσοστό 30%) κατανοούσαν τη διαφορά ανάμεσα στην θερμότητα και τη θερμοκρασία καθώς και το ρόλο της μάζας ενός σώματος, αν και το μεγαλύτερο ποσοστό (70%) δεν γνώριζε ή είχε σοβαρές παρανοήσεις. Στον παρακάτω πίνακα 4.3 δίνεται μια πλήρης εικόνα του τρόπου με τον οποίο απάντησαν οι μαθητές σε αυτήν την ερώτηση.

<b>Πίνακας 4.3: ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ_ΕΞΗΓΗΣΗ pre test</b>			
		Frequency	Percent
Valid	ΤΕΛΕΙΩΣ ΛΑΝΘΑΣΜΕΝΗ	8	11,4
	ΣΧΕΔΟΝ ΛΑΘΟΣ	5	7,1
	ΑΡΚΕΤΕΣ ΠΑΡΑΝΟΗΣΕΙΣ	10	14,3
	ΕΛΛΙΠΗΣ	4	5,7
	ΣΧΕΔΟΝ ΣΩΣΤΗ	10	14,3
	ΣΩΣΤΗ	11	15,7
	Total		48
Missing	System	22	31,4
Total		70	100

Για να διαπιστωθεί εάν πίσω από αυτήν τη σύγχυση υπάρχει κάποια άλλη παρανόηση, στους συγκεκριμένους μαθητές τέθηκε προφορικά το ερώτημα «*ποιο από τα σώματα μεταφέρει θερμότητα, αυτό που έχει τη μεγαλύτερη μάζα ή τη μεγαλύτερη θερμοκρασία;*». Οι απαντήσεις ήταν μοιρασμένες και μάλλον τυχαίες, αποδεικνύοντας ότι οι μαθητές αυτοί δεν κατανοούσαν κυρίως την έκφραση «μεταφορά θερμότητας». Όπως όμως ήδη έχει αναφερθεί στη βιβλιογραφική επισκόπηση, πολλοί είναι οι ερευνητές που έχουν καταλήξει σε παρόμοια συμπεράσματα σχετικά με αυτήν την παρανόηση των σπουδαστών.

Στη διδακτική παρέμβαση που ακολούθησε, παρουσιάστηκε εικονικό πείραμα, όπου τρία σώματα (περιβάλλον, καυτός κύβος σιδήρου και κρύο νερό) έρχονταν σε επαφή και ταυτόχρονα παρατηρούνταν γραφικά η μεταβολή των θερμοκρασιών τους. Οι μαθητές διαπίστωσαν ότι μετά από –μεγάλο σχετικά- χρονικό διάστημα τελικά όλα τα σώματα απέκτησαν τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος και ακολούθησε συζήτηση πάνω σε αυτό το θέμα. Μετά τη διδασκαλία οι επιδόσεις των μαθητών φαίνονται στον πίνακα 4.4. και παρουσιάζονται σαφώς βελτιωμένες, καθώς έχει δώσει απάντηση το 81,4% και το 45,7% έχει απαντήσει σωστά ή σχεδόν σωστά, ενώ το 35,7% εξακολουθεί να μην γνωρίζει ή να έχει πολλές παρανοήσεις.

		Frequency	Percent
Valid	ΤΕΛΕΙΩΣ ΛΑΝΘΑΣΜΕΝΗ	4	5,7
	ΣΧΕΔΟΝ ΛΑΘΟΣ	10	14,3
	ΑΡΚΕΤΕΣ ΠΑΡΑΝΟΗΣΕΙΣ	7	10
	ΕΛΛΙΠΗΣ	4	5,7
	ΣΧΕΔΟΝ ΣΩΣΤΗ	12	17,1
	ΣΩΣΤΗ	20	28,6
	Total	57	81,4
Missing	System	13	18,6
Total		70	100

Ωστόσο, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι οι περισσότεροι μαθητές, μετά τη διδακτική παρέμβαση, είχαν αντιληφθεί το ρόλο της μεγάλης μάζας του περιβάλλοντος στην επίτευξη της θερμικής ισορροπίας, ενώ λιγότεροι συνέχισαν να συγχέουν τις έννοιες της θερμοκρασίας και της θερμότητας. Οι γραφικές παραστάσεις της θερμοκρασίας των σωμάτων (βλ. σχήμα 4.1) έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στην οπτικοποίηση του φαινομένου, αποδεικνύοντας ότι η χρήση των ΤΠΕ σε τέτοιου είδους πειράματα είναι πολύ σημαντικές (Junglas, 2006). Με τη χρήση των γραφικών παραστάσεων οι περισσότεροι μαθητές φαίνεται ότι κατανόησαν την έννοια της θερμικής ισορροπίας. Αντίθετα, μάλλον δεν βοηθήθηκαν αρκετά από τις γραφικές παραστάσεις ώστε να ξεκαθαρίσουν ότι η θερμοκρασία δεν ταυτίζεται με τη θερμότητα, αλλά αποτελεί έναν δείκτη που υποδεικνύει το πόσο θερμό είναι ένα σώμα.

- *Ενότητα 2: Απόψεις των μαθητών για τους τρόπους με τους οποίους αυξάνεται η θερμοκρασία ενός σώματος*

Όπως φαίνεται και από τον πίνακα 4.2, οι επιδόσεις των μαθητών στην ερώτηση A2 στο pre test ήταν παρόμοιες με εκείνες της ερώτησης A1, γεγονός αναμενόμενο, εφόσον η ομάδα A διαπραγματεύεται τους τρόπους αλλαγής της θερμοκρασίας των σωμάτων. Πιο συγκεκριμένα, σε ό,τι αφορά στην ερώτηση δύο επιπέδων A2, ουσιαστικά το ερώτημα που τίθεται είναι αν αληθεύει η γνωστή φράση: «με την τριβή παράγεται θερμότητα;», η αποτελεί βίωμα για πολλούς μαθητές ((Louisa *et al.*, 1989).

Έτσι, δόθηκε στους μαθητές η υπόθεση: «αρχικά ένα μίξερ που περιέχει νερό και ο αναδευτήρας του βρίσκονται στην ίδια θερμοκρασία», και στη συνέχεια ζητήθηκε να απαντήσουν σε 3 ερωτήσεις Σ-Λ και κατόπιν να εξηγήσουν γιατί «όταν ο αναδευτήρας του μίξερ περιστρέφεται μέσα στο νερό, η θερμοκρασία του νερού και του αναδευτήρα αυξάνονται». Στον πίνακα 4.5 δίνονται περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με τον τρόπο που απαντήθηκε το δεύτερο επίπεδο της ερώτησης στο pre test.

Πίνακας 4.5:ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΣΩΜΑΤΟΣ_ΕΞΗΓΗΣΗ pre test			
		Frequency	Percent
Valid	ΤΕΛΕΙΩΣ ΛΑΝΘΑΣΜΕΝΗ	12	17,1
	ΣΧΕΔΟΝ ΛΑΘΟΣ	3	4,3
	ΑΡΚΕΤΕΣ ΠΑΡΑΝΟΗΣΕΙΣ	5	7,1
	ΕΛΛΙΠΗΣ	25	35,7
	ΣΧΕΔΟΝ ΣΩΣΤΗ	2	2,9
	ΣΩΣΤΗ	1	1,4
	Total	48	68,6
Missing	System	22	31,4
Total		70	100

Είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι μόλις 1 μαθητής απάντησε σωστά και πλήρως σε αυτήν την ερώτηση, ενώ το μεγαλύτερο ποσοστό (35,7%) απάντησε μεν ότι η τριβή έπαιξε ρόλο στην αύξηση της θερμοκρασίας, αλλά οι περισσότεροι δεν κατανοούσαν το μηχανισμό με τον οποίο έγινε αυτό. Με διαφορά, η συχνότερη απάντηση σε αυτήν την ερώτηση ήταν ότι «η θερμοκρασία αυξήθηκε λόγω της τριβής». Άλλες χαρακτηριστικές απαντήσεις ήταν «αυξάνεται η θερμοκρασία, διότι το έργο που μπορεί να παραχθεί από την τριβή δημιουργεί θερμότητα στο νερό και δεν τη μεταβιβάζει σε κάποιο άλλο σώμα» ή «αυξάνεται η θερμοκρασία μέσω του έργου που παράγεται από την κίνηση». Σχεδόν σωστή θεωρήθηκε η απάντηση μίας μαθήτριας που σημείωσε ότι «λόγω της ενέργειας του αναδευτήρα προκαλείται κίνηση στο νερό με μεγάλη ταχύτητα και αυξάνεται η

θερμοκρασία», ενώ εντελώς σωστή ήταν η απάντηση μίας συμμαθήτριάς της που έγραψε ότι «μπορούμε να θερμάνουμε ένα σώμα αυξάνοντας την κινητική ενέργεια των μορίων του».

Η διδακτική παρέμβαση, όπως περιγράφηκε στην παράγραφο 4.2.2., πραγματοποιούσε ένα παρόμοιο εικονικό πείραμα (βλ. σχήμα 4.2), όπου δύο σώματα αυξάνανε τη θερμοκρασία τους χωρίς μεταφορά θερμότητας από το ένα στο άλλο. Όταν οι μαθητές κλήθηκαν να απαντήσουν στο post test με ποιον τρόπο έγινε αυτό, τα αποτελέσματα παρουσίασαν αρκετό ενδιαφέρον (βλ. πίνακα 4.5).

		Frequency	Percent
Valid	ΤΕΛΕΙΩΣ ΛΑΝΘΑΣΜΕΝΗ	5	7,1
	ΑΡΚΕΤΕΣ ΠΑΡΑΝΟΗΣΕΙΣ	3	4,3
	ΕΛΛΙΠΗΣ	31	44,3
	ΣΧΕΔΟΝ ΣΩΣΤΗ	5	7,1
	ΣΩΣΤΗ	14	20
	Total	58	82,9
Missing	System	12	17,1
Total		70	100

Παρατηρείται, από τα δεδομένα του πίνακα 4.5, ότι εξακολουθούν οι περισσότεροι (44,3%) να δίνουν ελλιπή απάντηση και να εμμένουν στην αρχική εξήγησή τους ότι «η αύξηση της θερμοκρασίας οφείλεται στην τριβή». Για να αποδείξουν, όμως, ότι αντιλαμβάνονται το μηχανισμό, έπρεπε να συνδέσουν την τριβή με το παραγόμενο από αυτήν έργο και στη συνέχεια να σημειώσουν την αύξηση της κινητικής ενέργειας των μορίων που προέρχεται από αυτό (διαδικασία που το εικονικό πείραμα επιδείκνυε με σαφήνεια), η οποία έχει ως συνέπεια την αύξηση της εσωτερικής ενέργειας και της θερμοκρασίας των σωμάτων. Φαίνεται όμως ότι μόλις 14 (20%) συνειδητοποίησαν πλήρως τον παραπάνω μηχανισμό, ωστόσο μειώθηκε αισθητά το ποσοστό (από 28,5% σε 11,4%) εκείνων που πίστευαν ότι «με την τριβή παράγεται θερμότητα» αντί του ορθού «με την τριβή αυξάνεται η θερμοκρασία».

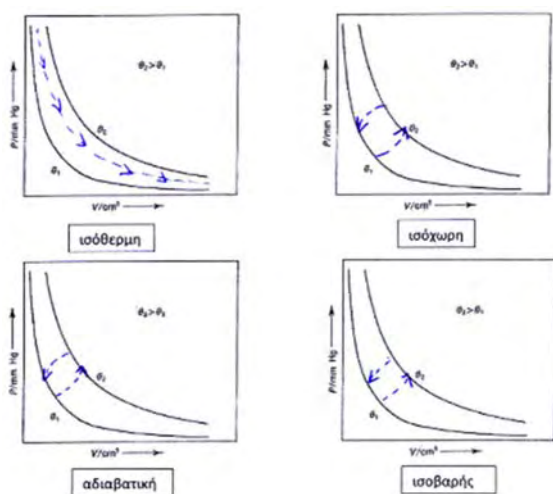
Ανακεφαλαιώνοντας σχετικά με την ομάδα ερωτήσεων Α, οι μαθητές κλήθηκαν να απαντήσουν και σε ερωτήσεις ανοιχτού τύπου, ώστε να συλλεγούν όλες οι δυνατές απόψεις των παιδιών πάνω στις βασικές έννοιες της θερμότητας και της θερμοκρασίας. Οι δυσκολίες τους στην κατανόηση έγινε μια προσπάθεια να ταξινομηθούν στις



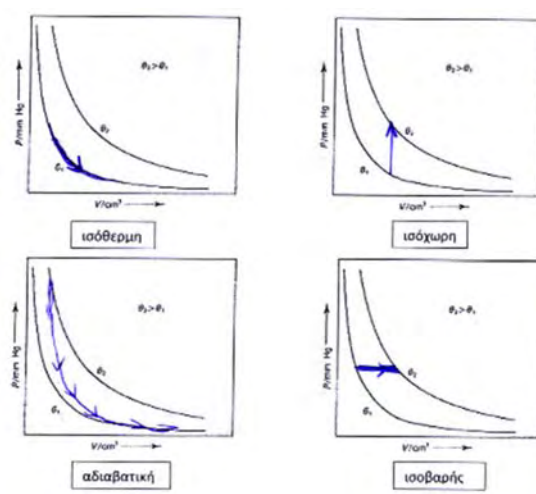
προηγούμενες παραγράφους. Η βασική παρατήρηση είναι ότι αρχικά οι περισσότεροι δεν μπορούσαν να διαφοροποιήσουν τις εσωτερικές ιδιότητες (θερμοκρασία) ενός σώματος από τις εξωτερικές (μεταφορά θερμότητας). Μάλιστα, στο ίδιο συμπέρασμα κατέληξαν και οι Kesidou & Duit (1996). Χαρακτηριστικά, επιπλέον σημειώνει ο Harrison (1996), ότι οι μαθητές τείνουν να πιστεύουν ότι η θερμότητα είναι μία οντότητα που μετακινείται ανάμεσα σε άλλες οντότητες, ενώ ταυτόχρονα πιστεύουν ότι μπορούν να υπάρξουν σώματα διαφορετικής θερμοκρασίας μέσα στο ίδιο περιβάλλον αγνοώντας εντελώς την έννοια της θερμικής ισορροπίας. Ο ίδιος ερευνητής καταλήγει ότι οι παραπάνω παρανοήσεις οφείλονται στις ισχυρά καθιερωμένες αντιλήψεις που έχουν διαμορφώσει οι μαθητές από προηγούμενες εμπειρίες τους.

• *Ενότητα 3: Αποτύπωση των γραφικών παραστάσεων των νόμων των αερίων*

Στην εικονική πειραματική διάταξη της διδακτικής παρέμβασης και στη συμπλήρωση των φύλλων εργασίας (βλ. παράρτημα II) οι μαθητές μετέβαλαν τις παραμέτρους και σχεδίασαν τις γραφικές παραστάσεις μίας ισόθερμης, μίας ισόχωρης, μίας ισοβαρούς και μίας αδιαβατικής μεταβολής ιδανικού αερίου. Η διαδικασία αυτή είχε ως αποτέλεσμα να βελτιώσουν σημαντικά τις επιδόσεις τους στο post test για τη συγκεκριμένη ενότητα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι απαντήσεις ενός μαθητή στα δύο τεστ, όπου η βελτίωση είναι προφανής, καθώς από εντελώς λανθασμένες γραφικές παραστάσεις αρχικά, δημιούργησε εντελώς ορθές μετά τη διδασκαλία με χρήση ΤΠΕ (βλ. σχήματα 4.7α & 4.7β).



Σχήμα 4.7α: Γραφήματα pre test



Σχήμα 4.7β: Γραφήματα post test

Πιο αναλυτικά, τα αποτελέσματα των επιδόσεων των μαθητών στην ερώτηση B3 παρουσιάζονται στον πίνακα 4.6, από τον οποίο αρχικά διαπιστώνεται ότι οι μαθητές δυσκολεύονται περισσότερο στη γραφική παράσταση της ισόθερμης και της αδιαβατικής μεταβολής, γεγονός που οφείλεται στο μαθηματικό υπόβαθρο της κάθε μίας, αφού ο σχεδιασμός μίας ευθείας είναι πάντα ευκολότερος. Εντούτοις, αυτό που πρέπει να παρατηρηθεί κυρίως είναι η σημαντική μείωση των κενών (missing) απαντήσεων και η σημαντική αύξηση των σωστών απαντήσεων που αγγίζουν σχεδόν το 100% για την ισόχωρη μεταβολή στο post test.

**Πίνακας 4.7**

		ΙΣΟΘΕΡΜΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ		ΙΣΟΧΩΡΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ		ΑΔΙΑΒΑΤΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ		ΙΣΟΒΑΡΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗ	
		Percent pre test	Percent post test	Percent pre test	Percent post test	Percent pre test	Percent post test	Percent pre test	Percent post test
Valid	ΛΑΘΟΣ	24,3	18,6	17,1	4,3	42,9	27,1	17,1	11,4
	ΣΩΣΤΟ	51,4	77,1	60,0	92,9	30,0	67,1	55,7	85,7
	Total	75,7	95,7	77,1	97,1	72,9	94,3	72,9	97,1
Missing	System	24,3	4,3	22,9	2,9	27,1	5,7	27,1	2,9
	Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Τα παραπάνω είναι λίγο ως πολύ αναμενόμενα, διότι, όπως αναφέρει ο Junglas (2006), με τη χρήση των διαγραμμάτων P-V στον υπολογιστή η διαφορά μεταξύ της ισόθερμης και της αδιαβατικής μεταβολής φαίνεται πιο ξεκάθαρα από ότι θα παρουσιαζόταν σε ένα απλό σκαρίφημα, ενώ οι μεταβολές των παραμέτρων (P,V,T) μπορούν να παρατηρηθούν σε πραγματικό χρόνο και να μελετηθούν και εξηγηθούν ευκολότερα.

- *Ενότητα 4: Συσχέτιση των νόμων των αερίων με φαινόμενα της καθημερινότητας*

Σε αυτήν την ενότητα οι ερωτήσεις του τεστ ήταν κλειστού τύπου (συμπλήρωσης κενών) χωρίς να ζητείται κάποια αιτιολόγηση, ενώ οι λέξεις που θα χρησιμοποιούνταν ήταν εκ των προτέρων γνωστές (απλά απαιτούνταν να τοποθετηθούν στα σωστά κενά). Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να μην υπάρχουν αναπάντητες ερωτήσεις ούτε στο pre ούτε στο post test. Μάλιστα, ήδη από το pre test οι σωστές απαντήσεις κυμαίνονταν από 75% έως 85% περίπου για κάθε μία από τις 3 ερωτήσεις, ενώ στο post test οι σωστές απαντήσεις έφθασαν στο 85%-95%. Αυτά τα πολύ υψηλά ποσοστά σωστών απαντήσεων –που δεν συμβαδίζουν με τα ποσοστά σωστών απαντήσεων των υπολοίπων ενοτήτων- πιθανότατα οφείλονται στον κλειστό τύπο των ερωτήσεων που ευνοεί τις «μηχανικές» απαντήσεις,

δηλαδή τις απαντήσεις που δίνονται δίχως ιδιαίτερη σκέψη, αλλά που πατώντας σε κάποιες λέξεις κλειδιά οδηγούν στη σωστή απάντηση. Για παράδειγμα, στην ερώτηση 4Α υπήρχε η αναφορά «δοχείο με νερό σταθερής θερμοκρασίας», στην ερώτηση 4Β σημειώνονταν ότι «ο όγκος των ελαστικών ενός αυτοκινήτου παραμένει σταθερός» και στην 4Γ ότι «στο ψυγείο επικρατεί σταθερή πίεση».

Οι ερωτήσεις αυτές δόθηκαν στοχευμένα, ώστε να διαπιστωθεί αν οι μαθητές που απαντούσαν σε αυτές διέθεταν τις ελάχιστες απαιτούμενες γνώσεις που θα πιστοποιούσαν την εγκυρότητα της συμμετοχής τους στη διαδικασία. Εννοείται ότι οι συμμετέχοντες ήταν μαθητές της Β' Λυκείου Θετικών Σπουδών, άρα όλοι όφειλαν να γνωρίζουν ότι σταθερή θερμοκρασία σημαίνει ισόθερμη μεταβολή, σταθερός όγκος σημαίνει ισόχωρη και σταθερή πίεση ισοβαρής, διότι αν δεν μπορούσαν να αντιληφθούν τις παραπάνω έννοιες, δεν θα ήταν σε θέση να κατανοήσουν βαθύτερες διαφορές και συσχετίσεις μεταξύ των θερμοδυναμικών μεταβλητών. Το γεγονός ότι τα ποσοστά των σωστών απαντήσεων ήταν ιδιαίτερα υψηλά υποδηλώνει ότι οι μαθητές είχαν διδαχθεί ήδη με τον κλασικό τρόπο και κατανοήσει τις βασικές μεταβλητές (P,V,T) που επηρεάζουν τα θερμοδυναμικά φαινόμενα.

Το ερώτημα όμως ήταν αν όντως κατανοούσαν την απάντηση που έδωσαν. Για το σκοπό αυτό, κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας με τη χρήση του εικονικού εργαστηρίου θερμοδυναμικής (ΣΕΠ), τους ζητήθηκε να συνεργαστούν ως ομάδες και να υποδείξουν, στο τέλος της πραγματοποίησης των πειραμάτων: α) *ισόθερμη*, β) *ισόχωρη* και γ) *ισοβαρής μεταβολή*, μία εφαρμογή της καθημερινότητάς τους που θα μπορούσε να αντιπροσωπεύει κάθε μία από τις παραπάνω μεταβολές. Χαρακτηριστικές απαντήσεις που δόθηκαν ήταν: «τα ατμοσφαιρικά φαινόμενα», «η πίεση των ελαστικών», «οι κινητήρες των αυτοκινήτων», «η άνοδος ενός μπαλονιού στην ατμόσφαιρα» κ.λπ.. Οι παραπάνω σωστές απαντήσεις τους επιβεβαιώνουν αυτό που επισημαίνει ο Ματσαγγούρας (2000), δηλαδή ότι η ομαδοσυνεργατική μάθηση υπό ορισμένες συνθήκες διευκολύνει τις ακαδημαϊκές επιδόσεις.

- *Ενότητα 5: Δυσκολίες των μαθητών να αντιληφθούν την έννοια της εσωτερικής ενέργειας και τις παραμέτρους από τις οποίες αυτή εξαρτάται*

Το ζητούμενο σε αυτήν την ενότητα ήταν να αντιληφθούν οι μαθητές ότι αύξηση της θερμοκρασίας ενός σώματος σημαίνει αύξηση της εσωτερικής του ενέργειας και όχι «αύξηση της θερμότητάς του», έκφραση που είναι λανθασμένη, αφού η θερμότητα δεν

αποτελεί ιδιότητα των σωμάτων. Όπως είναι σαφές, η ενότητα αυτή σχετίζεται και συμπληρώνει τις ερωτήσεις των εννοιών 1 και 2, αφού επαναφέρει την έννοια της θερμοκρασίας και τη σύνδεσή της με την εσωτερική ενέργεια του σώματος. Επιπρόσθετα, επαναφέρεται και ο ρόλος της μάζας των σωμάτων, από τη σκοπιά όμως του πόσο αυτή επηρεάζει την εσωτερική ενέργειά τους και κατά συνέπεια τη θερμοκρασία τους.

Σημειώνεται ότι οι μαθητές είχαν ήδη διδαχθεί τον τύπο που εκφράζει την εσωτερική ενέργεια:  $U = \left(\frac{3}{2}\right)nRT$ , όπου  $U$  η εσωτερική ενέργεια,  $n$  ο αριθμός των mole,  $T$  η θερμοκρασία και  $R$  η σταθερά των ιδανικών αερίων. Άρα, αναμένονταν από τη σχέση αυτή να γνωρίζουν την εξάρτηση της εσωτερικής ενέργειας από τη μάζα και από τη θερμοκρασία. Εντούτοις, αποδείχθηκε ότι η ενότητα αυτή τους δυσκόλεψε ιδιαίτερα, καθώς οι επιδόσεις τους στο αρχικό τεστ δεν ήταν καλές. Ειδικότερα, στην ερώτηση «ένα παγόβουνο ή ένας κύβος πυρακτωμένου σιδήρου έχει μεγαλύτερη εσωτερική ενέργεια», οι περισσότεροι αγνόησαν την τεράστια μάζα του παγόβουνου ως μέτρο της εσωτερικής του ενέργειας και κράτησαν μόνον την υψηλή θερμοκρασία του μικρού κύβου ως παράμετρο που αυξάνει την εσωτερική ενέργεια ενός σώματος. Η αιτιολόγησή τους ήταν: «ο κύβος, διότι έχει μεγαλύτερη θερμοκρασία». Στον πίνακα 4.8 παρουσιάζονται οι απαντήσεις που αφορούν στο κομμάτι της αιτιολόγησης των ερωτήσεων διπλού επιπέδου 5A και 5B.

Πίνακας 4.8	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ_ΜΑΖΑ_ΕΞΗΓΗΣΗ pre test			ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ_ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ_ΕΞΗΓΗΣΗ pre test		
		Frequency	Percent		Frequency	Percent
Valid	ΤΕΛΕΙΩΣ ΛΑΝΘΑΣΜΕΝΗ	33	47,1	ΤΕΛΕΙΩΣ ΛΑΝΘΑΣΜΕΝΗ	15	21,4
				ΣΧΕΔΟΝ ΛΑΘΟΣ	6	8,6
				ΑΡΚΕΤΕΣ ΠΑΡΑΝΟΗΣΕΙΣ	4	5,7
				ΣΧΕΔΟΝ ΣΩΣΤΗ	1	1,4
				ΣΩΣΤΗ	23	32,9
	Total	51	72,9	Total	49	70
Missing	System	19	27,1	Missing System	21	30
Total		70	100	Total	70	100

Μάλιστα, σε ό,τι αφορά στην ερώτηση 5A, που διερευνά το ρόλο της μάζας στην αύξηση της εσωτερικής ενέργειας, οι απαντήσεις παρουσίαζαν την ιδιομορφία ή να είναι

ή εντελώς σωστές ή εντελώς λάθος, χωρίς να υπάρχει η ενδιάμεση κλίμακα απαντήσεων και με το ποσοστό των λανθασμένων και των αναπάντητων να είναι 74,2%. Οι απαντήσεις αυτές βέβαια ήταν αναμενόμενες, καθώς πολλοί ερευνητές έχουν εντοπίσει τις δυσκολίες των σπουδαστών, ακόμη σε πανεπιστημιακά ιδρύματα, να αντιληφθούν τη έννοια της εσωτερικής ενέργειας (Loverude *et al.*, 2001; Kautz & Heron, 2002; Meltzer, 2004; Wattanakasiwich *et al.*, 2013).

Ωστόσο, μετά την εκτέλεση των εικονικών πειραμάτων στο ΣΕΠ τα αποτελέσματα για αυτήν την ερώτηση βελτιώθηκαν εντυπωσιακά με το ποσοστό των σωστών αιτιολογήσεων να φθάνει στο 68,5% (βλ. πίνακα 4.9).

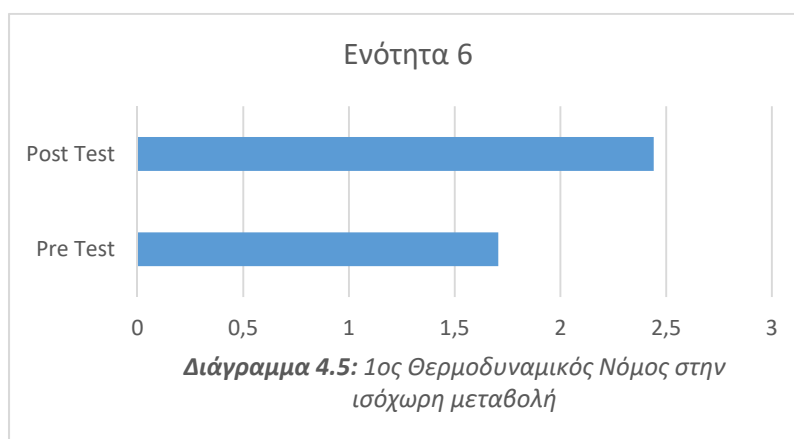
Πίνακας 4.9	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ_ΜΑΖΑ_ΕΞΗΓΗΣΗ post test		ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ_ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ_ΕΞΗΓΗΣΗ post test			
		Frequency	Percent		Frequency	Percent
Valid	ΤΕΛΕΙΩΣ ΛΑΝΘΑΣΜΕΝΗ	8	11,4	ΤΕΛΕΙΩΣ ΛΑΝΘΑΣΜΕΝΗ	14	20
	ΑΡΚΕΤΕΣ ΠΑΡΑΝΟΗΣΕΙΣ	1	1,4	ΣΧΕΔΟΝ ΛΑΘΟΣ	2	2,9
	ΕΛΛΙΠΗΣ	2	2,9	ΑΡΚΕΤΕΣ ΠΑΡΑΝΟΗΣΕΙΣ	3	4,3
	ΣΧΕΔΟΝ ΣΩΣΤΗ	1	1,4	ΕΛΛΙΠΗΣ	4	5,7
	ΣΩΣΤΗ	47	67,1	ΣΩΣΤΗ	30	42,9
	Total	59	84,3	Total	53	75,7
Missing	System	11	15,7	Missing System	17	24,3
Total		70	100	Total	70	100

Μικρότερης κλίμακας είναι οι διαφορές στην ερώτηση 5B, που αφορά στη σχέση της θερμοκρασίας με την εσωτερική ενέργεια όταν δεν μεταβάλλονται άλλες παράμετροι, όπως φαίνεται από τη σύγκριση των πινάκων 4.8 και 4.9 (από 32,9% αυξήθηκαν σε 42,9% οι σωστές αιτιολογήσεις). Εδώ, αξίζει να αναφερθεί ότι οι μαθητές απάντησαν σχεδόν όλοι σωστά στην αντίστοιχη ερώτηση Σ-Λ (σε ποσοστό 96,7% στο post test), όμως δεν ήταν σε θέση να αιτιολογήσουν το ίδιο σωστά την απάντησή τους. Μάλιστα, ένα ποσοστό 24,3% επέλεξε να μην εξηγήσει για ποιο λόγο «μεταβλήθηκε η εσωτερική ενέργεια ενός κομματιού πάγου όταν αυτό βυθίστηκε σε ένα ποτήρι νερό». Όπως φαίνεται, σε αυτήν την ερώτηση δεν διακρίνονται σημαντικές διαφορές ανάμεσα στα δύο τεστ, καθώς αρκετοί ήταν εκείνοι που επέλεξαν να δώσουν ως απάντηση ότι «η εσωτερική ενέργεια θα μεταβληθεί λόγω της θερμικής ισορροπίας», η οποία θεωρήθηκε ως λανθασμένη, διότι ζητήθηκε με σαφήνεια από τους μαθητές να εντοπίσουν τις μεταβλητές από τις οποίες

εξαρτάται η εσωτερική ενέργεια και όχι με ποιον τρόπο μεταβάλλεται η θερμοκρασία δύο σωμάτων που έρχονται σε επαφή (ερώτηση Α1).

- *Ενότητα 6: Εφαρμογή του 1<sup>ου</sup> Θερμοδυναμικού Νόμου σε ισόχωρη μεταβολή ιδανικού αερίου*

Σε αυτήν την ενότητα επιχειρήθηκε, μέσω ερωτήσεων κλειστού τύπου (Σ-Λ), να ανιχνευθεί η ικανότητα των μαθητών να εφαρμόζουν τον 1<sup>ο</sup> νόμο της θερμοδυναμικής για μία ισόχωρη μεταβολή. Επαληθεύοντας όσα ήδη έχουν απαντήσει στην ενότητα 4, όπου συνέδεσαν την ισόχωρη μεταβολή με το σταθερό όγκο (ακλόνητα τοιχώματα), και σε συνδυασμό με την ενότητα 5, ζητήθηκε να προχωρήσουν ένα βήμα παρακάτω και να εφαρμόσουν την αρχή διατήρησης της ενέργειας και να διαπιστώσουν ότι σε τέτοιου είδους μεταβολές η προσφερόμενη θερμότητα χρησιμοποιείται εξ ολοκλήρου για αύξηση της εσωτερικής ενέργειας (θερμοκρασίας) του αερίου (ερωτήσεις 6Α και 6Γ). Επιπλέον, στην ερώτηση 6Β έπρεπε να εφαρμόσουν τη γενική αρχή της φυσικής σύμφωνα με την οποία δεν παράγεται έργο εάν δεν μετακινηθεί το σημείο εφαρμογής μίας δύναμης. Οι ερωτήσεις της ενότητας κρίθηκαν ως σύνθετες και για αυτό το λόγο θεωρήθηκε σκόπιμο να μην ζητηθεί αιτιολόγηση, αλλά να συλλεγούν οι απαντήσεις που δίνονται διαισθητικά από τους μαθητές, αφού μάλιστα η εφαρμογή του 1<sup>ου</sup> θερμοδυναμικού νόμου (σε μία αδιαβατική μεταβολή) ζητείται πιο αναλυτικά στην επόμενη ενότητα.



Με άριστα το 3, η επίδοση των μαθητών στα δύο τεστ παρουσιάζεται στο διάγραμμα 4.5, όπου φαίνεται ότι σε γενικές γραμμές ακολουθεί την κλιμάκωση της βαθμολογίας της πλειονότητας των ερωτήσεων.

- *Ενότητα 7: Δυσκολίες στην εφαρμογή του 1<sup>ου</sup> Θερμοδυναμικού Νόμου σε αδιαβατική μεταβολή ιδανικού αερίου*

Ως συνέχεια της παραπάνω ενότητας, στην τελευταία και πιο σύνθετη ενότητα του ερωτηματολογίου, δόθηκε στους μαθητές μία υποθετική πειραματική διάταξη που πραγματοποιεί μία αδιαβατική μεταβολή ιδανικού αερίου (με προφανείς αναφορές και ομοιότητες με τους κινητήρες εσωτερικής καύσης), και ζητήθηκε, σε ερώτηση δύο επιπέδων, η εφαρμογή του 1<sup>ου</sup> Θερμοδυναμικού νόμου. Σημειώνεται δε ότι μεγάλο τμήμα της διδακτέας ύλης της Φυσικής Β' Λυκείου ομάδων προσανατολισμού θετικών σπουδών αφιερώνεται στην εφαρμογή του 1<sup>ου</sup> Θερμοδυναμικού νόμου. Συνεπώς, οι απαντήσεις εδώ αποτελούν και ένα βαρόμετρο του αν όντως οι σπουδαστές της Β' Λυκείου μπορούν και πρέπει να διδάσκονται έννοιες αντίστοιχης πολυπλοκότητας.

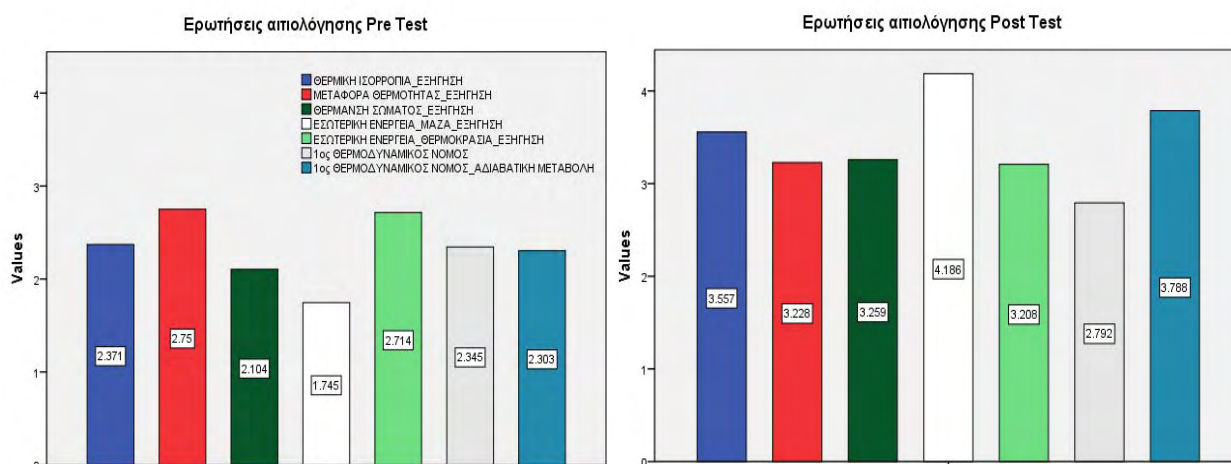
Πίνακας 4.10	1ος ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΝΟΜΟΣ pre test			1ος ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΝΟΜΟΣ post test		
		Frequency	Percent		Frequency	Percent
Valid	ΤΕΛΕΙΩΣ ΛΑΝΘΑΣΜΕΝΗ	5	7,1	ΤΕΛΕΙΩΣ ΛΑΝΘΑΣΜΕΝΗ	3	4,3
	ΣΧΕΔΟΝ ΛΑΘΟΣ	7	10	ΣΧΕΔΟΝ ΛΑΘΟΣ	9	12,9
	ΑΡΚΕΤΕΣ ΠΑΡΑΝΟΗΣΕΙΣ	3	4,3	ΑΡΚΕΤΕΣ ΠΑΡΑΝΟΗΣΕΙΣ	9	12,9
	ΕΛΛΙΠΗΣ	2	2,9	ΕΛΛΙΠΗΣ	8	11,4
	ΣΧΕΔΟΝ ΣΩΣΤΗ	11	15,7	ΣΧΕΔΟΝ ΣΩΣΤΗ	12	17,1
	ΣΩΣΤΗ	1	1,4	ΣΩΣΤΗ	7	10
	Total	29	41,4	Total	48	68,6
Missing	System	41	58,6	Missing System	22	31,4
Total		70	100	Total	70	100

Από τα δεδομένα του πίνακα 4.10, όπου δίνονται αναλυτικά οι απαντήσεις στο υποερώτημα 7B: «Χρησιμοποιώντας τον 1ο Θερμοδυναμικό νόμο (αρχή διατήρηση της ενέργειας) εξηγήστε πώς μεταβλήθηκαν τα: Θερμότητα ( $Q$ ), Μεταβολή Εσωτερικής Ενέργειας ( $\Delta U$ ) αερίου και κατανάλωση Έργου ( $W$ )», που αποτελεί και την αιτιολόγηση του 1<sup>ου</sup> Θερμοδυναμικού Νόμου, διαπιστώνεται ότι:

α) ποσοστό 58,6% στο pre test και ποσοστό 31,4% στο post test δεν απάντησαν καθόλου και

β) ποσοστά 17,1% και 27,1% αντίστοιχα απάντησαν σωστά ή σχεδόν σωστά. Συμπερασματικά, αν και είναι βελτιωμένη η βαθμολογία μετά τη διδακτική παρέμβαση,

αυτή η βελτίωση δεν τόσο σημαντική όπως στις υπόλοιπες ερωτήσεις αιτιολόγησης (βλ. διάγραμμα 4.6, ερώτηση: 1<sup>ος</sup> Θερμοδυναμικός νόμος).



**Διάγραμμα 4.6:** Σύγκριση των μέσων όρων των απαντήσεων στις ερωτήσεις αιτιολόγησης

Από την ποιοτική ανάλυση των απαντήσεων που δόθηκαν, διαπιστώθηκε επίσης ότι αρκετοί μαθητές έγραφαν τον «τύπο»  $Q=W+\Delta U$ , αλλά δεν συσχετίζουν τις μεταβλητές του με την πειραματική διάταξη. Η πιο σωστές απαντήσεις προχωρούσαν γράφοντας ότι αφού  $Q=0$  στην αδιαβατική μεταβολή, θα ισχύει και  $W=-\Delta U$ . Ωστόσο, η παράθεση των μαθηματικών τύπων δεν μπορεί να θεωρηθεί επαρκής εξήγηση του φαινομένου της αδιαβατικής συμπίεσης, όμως αποτελεί μία ένδειξη του μηχανικού και αυτοματοποιημένου τρόπου με τον οποίο έχουν μάθει να σκέφτονται οι μαθητές. Εντούτοις, οι παραπάνω απαντήσεις δεν αποτελούν έκπληξη, διότι οι αιτιολογήσεις του 1<sup>ου</sup> Θερμοδυναμικού νόμου, μαθητών Β' Λυκείου, σε παρόμοια πειραματική διάταξη μελετήθηκαν από τους Meli *et al* (2016), τα συμπεράσματα των οποίων κατέληξαν στο ότι οι εξηγήσεις που δόθηκαν δεν ήταν ανάλογες με το επίπεδο των γνώσεων των μαθητών, καθώς αυτοί δεν είναι εκπαιδευμένοι να συνδυάζουν πειραματικές διατάξεις με τους φυσικούς νόμους που τις διέπουν.

#### 4.4.3. Ποιοτική Ανάλυση: Γενικές παρατηρήσεις

Πέρα από το στόχο, που αφορούσε στην κατανόηση των φυσικών φαινομένων και το κατά πόσο αυτός επιτεύχθηκε κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας, επιπρόσθετα αξιολογήθηκε η ικανοποίηση – δυσαρέσκεια από το είδος της διδακτικής παρέμβασης, η



δεξιότητα χρήσης των υπολογιστών, η συνεργασία των μελών των ομάδων, καθώς και η ευχρηστότητα και πληρότητα της υλικοτεχνικής υποδομής. Έτσι, παρατηρήθηκαν τα εξής:

- Αρχικά, οι μαθητές υπέβαλαν ερωτήματα σχετικά με το στόχο και το σκοπό της διδακτικής παρέμβασης και, όταν τους εξηγήθηκε με σαφήνεια τι πρόκειται να κάνουν, έδειξαν μεγάλη προθυμία συμμετοχής.
- Προσπάθησαν να κάνουν αυτό που τους ζητήθηκε, χωρίς να δημιουργήσουν προβλήματα ανυπακοής ή δυσαρέσκειας. Αντίθετα, έδειξαν ενδιαφέρον και προβληματισμό για την πορεία του μαθήματος, στάση που δεν ήταν η συνηθισμένη κατά τη διάρκεια του παραδοσιακού μαθήματος.
- Έδειξαν πολύ μεγαλύτερη υπευθυνότητα στο να πραγματοποιήσουν τις εικονικές πειραματικές διατάξεις, δίχως να προσπαθούν να παραποιήσουν τα αποτελέσματα ή να αντιγράψουν από άλλες ομάδες συμμαθητών τους.
- Ικανοποιήθηκαν από τη συνολική διαδικασία και σημείωσαν με έντονο τρόπο ότι θα επιθυμούσαν να πραγματοποιούνται συχνότερα πειράματα (εικονικά ή όχι), διότι γίνεται το μάθημα πιο ενδιαφέρον.
- Δεν αντιμετώπισαν κάποια δυσκολία στη χρήση των προσομοιώσεων, επιδεικνύοντας σημαντικές ικανότητες και δεξιότητες στη χρήση υπολογιστών. Εντούτοις, αν και περιέγραψαν την εφαρμογή του εικονικού εργαστηρίου ΣΕΠ ως εύκολη και κατανοητή στη χρήση της, σημείωσαν ότι τα γραφικά της είναι πλέον ξεπερασμένα και ότι θα προτιμούσαν να τους εντυπωσιάζουν περισσότερο (η εφαρμογή σχεδιάστηκε από το εργαστήριο φυσικής του ΑΠΘ το 2000).
- Τα φύλλα εργασίας δεν τους δυσκόλεψαν ιδιαίτερα στη συμπλήρωσή τους και, σε συνδυασμό με τις δυνατότητες μεταβολής των παραμέτρων του ΣΕΠ, τους άφησαν σημαντικό βαθμό ελευθερίας για πειραματισμό.
- Συνεργάστηκαν ικανοποιητικά μέσα στις ομάδες τους. Ωστόσο, όταν διαπίστωναν αδυναμία στο να συμπληρώσουν τα φύλλα εργασίας, απευθύνονταν σχεδόν αμέσως στο διδάσκοντα για βοήθεια.

Μία γενική παρατήρηση που αφορά στην εφαρμογή της ομαδοσυνεργατικής διδασκαλίας στο συγκεκριμένο μοντέλο διδασκαλίας, είναι ότι χρειάζεται παραπάνω διερεύνηση. Παρατηρήθηκε μία τάση αποστασιοποίησης κάποιων μελών των ομάδων εις βάρος κάποιων άλλων, ενώ δεν ήταν σπάνιο το φαινόμενο οι «καλοί μαθητές» να

παίρνουν επάνω τους το μεγαλύτερο μέρος της εφαρμογής της εικονικής πειραματικής διάταξης και της συμπλήρωσης των φύλλων εργασίας. Τα παραπάνω μάλλον δικαιολογούνται από το γεγονός ότι στο ελληνικό εκπαιδευτικό σύστημα οι μαθητές δεν έχουν εκπαιδευτεί να δουλεύουν ομαδικά (Βακαλούδη & Δαγδιλέλης, 2014).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

### 5.1. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι έννοιες της θερμοκρασίας, της θερμότητας, της εσωτερικής ενέργειας, της θερμικής ισορροπίας, της μεταφοράς της θερμότητας, οι μεταβολές των αερίων, καθώς και οι συσχετίσεις τους με την παραγωγή ή κατανάλωση έργου, αποτελούν τα «κλειδιά» για τη θεμελίωση της Θερμοδυναμικής και των πολλαπλών εφαρμογών της στη σύγχρονη επιστήμη. Λαμβάνοντας αυτό το γεγονός υπόψη, σχεδιάστηκε μία διδακτική παρέμβαση σε 70 μαθητές/τριες 16-17 ετών, της Β΄ Λυκείου, θετικών σπουδών, ώστε να διερευνηθούν οι ιδέες τους επάνω στις παραπάνω βασικές έννοιες και παράλληλα να μελετηθεί η επίδραση της χρήσης των ψηφιακών τεχνολογιών στη διδασκαλία και στην αλλαγή των αρχικών ιδεών και στάσεων τους.

Οι απαντήσεις των μαθητών έδειξαν ότι γνωρίζουν κάποιες έννοιες, όμως δεν κατανοούν σε βάθος τα φυσικά φαινόμενα που σχετίζονται με κάθε μία από αυτές. Από τα ευρήματα της έρευνας, οι βασικές δυσκολίες των μαθητών σε ό,τι αφορά έννοιες που σχετίζονται με τη Θερμοδυναμική, μπορούν να κωδικοποιηθούν ως εξής:

- Υπάρχει δυσκολία διάκρισης της θερμοκρασίας από τη θερμότητα, καθώς πολλοί είναι οι μαθητές που τοποθετούν τη μία έννοια στη θέση της άλλης, χρησιμοποιώντας φράσεις όπως: «μεταφορά θερμοκρασίας» ή «αύξηση θερμότητας». Εντούτοις, στη Φυσική η διαφορά τους είναι καθορισμένη, αφού η θερμότητα (ή η μεταφορά θερμότητας) είναι μία μεταβλητή που εξαρτάται από τη διαδικασία και αντιπροσωπεύει τη μεταφορά μιας ορισμένης ποσότητας ενέργειας μεταξύ των σωμάτων και οφείλεται στη διαφορά θερμοκρασίας τους. Επιπλέον, σύμφωνα με την κινητική θεωρία των αερίων, η θερμοκρασία αποτελεί ένα μέτρο της μέσης κινητικής ενέργειας των μορίων σε ένα σώμα.

Όμως, η θερμότητα θεωρείται από πολλούς μαθητές ως ποσοτικό μέγεθος, δηλαδή ότι χαρακτηρίζεται αποκλειστικά από την ποσότητά της, και εξαιτίας αυτού πιστεύουν ότι ένα σώμα υψηλότερης θερμοκρασίας «δίνει» περισσότερη θερμότητα σε σχέση με ένα άλλο σώμα χαμηλότερης θερμοκρασίας. Επιπλέον, οι περισσότεροι από αυτούς δεν τη διαφοροποιούν από τη θερμοκρασία αφού θεωρούν ότι από τη στιγμή που τα σώματα φθάνουν στην ίδια θερμοκρασία, θα πρέπει να έχουν δεχθεί την ίδια ποσότητα θερμότητας.

- Σχετικά με τη θερμική ισορροπία, ενώ οι περισσότεροι μαθητές καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι με την πάροδο του χρόνου σώματα διαφορετικής θερμοκρασίας τελικά αποκτούν την ίδια θερμοκρασία, τείνουν να πιστεύουν ότι η αυξημένη θερμοκρασία του ενός σώματος είναι αυτή που θα καθορίσει την τελική θερμοκρασία, αγνοώντας τη μάζα των σωμάτων που εμπλέκονται.

Πολλοί θεωρούν ότι, όταν ένα θερμό αντικείμενο τοποθετείται μέσα σε ένα ψυχρότερο υγρό, το άθροισμα των θερμοκρασιών των δύο σωμάτων, πριν έρθουν σε επαφή και μετά την επίτευξη της θερμικής ισορροπίας, πρέπει να είναι το ίδιο, καθώς ως αιτία της ροής θερμότητας δεν θεωρείται η διαφορά θερμοκρασίας των σωμάτων, αλλά το ίδιο το θερμό/ψυχρό σώμα. Ακόμη, υπάρχουν και εκείνοι που δεν αντιλαμβάνονται ότι η θερμοκρασία που αποκτά τελικά ένα σώμα όταν βρίσκεται για ικανό χρονικό διάστημα μέσα σε ένα περιβάλλον συγκεκριμένης θερμοκρασίας, είναι ίση με τη θερμοκρασία αυτού του περιβάλλοντος.

- Οι μαθητές δεν έχουν ξεκαθαρίσει τον τρόπο που η κινητική ενέργεια (ή γενικότερα η μηχανική ενέργεια) προκαλεί τη θέρμανση ενός σώματος και τείνουν να παρουσιάζουν τη θερμότητα ως αποτέλεσμα της τριβής. Αυτή η αντίληψη οφείλεται στο γεγονός ότι παλαιότερα αποτελούσε θεωρία ευρείας αποδοχής και εκφράσεις όπως: *«με την τριβή παράγεται θερμότητα»* έγιναν βίωμα και διατηρούνται ακόμη και σήμερα σε αρκετά σχολικά εγχειρίδια.
- Για την εσωτερική ενέργεια ενός σώματος, αν και γνωρίζουν τη στενή σχέση της με τη θερμοκρασία, δεν έχουν κατανοήσει πλήρως τον τρόπο μεταβολής της και «ξεχνούν» το ρόλο της μάζας του σώματος στη διαδικασία αυτής της μεταβολής. Επιπλέον, πολύ συχνά ταυτίζουν την εσωτερική ενέργεια με τη θερμότητα.
- Σε ό,τι αφορά στον 1<sup>ο</sup> θερμοδυναμικό νόμο, υπάρχει εμφανής δυσκολία εφαρμογής του σε ένα απλό φυσικό φαινόμενο, καθώς, αν και συνήθως μπορούν να εφαρμόζουν τους μαθηματικούς τύπους, δεν είναι πάντα ξεκάθαρο στους μαθητές αν υπάρχει μεταφορά θερμότητας ή παραγωγή/κατανάλωση έργου και πώς αυτές οι ποσότητες σχετίζονται με την εσωτερική ενέργεια του σώματος.

Έως ένα βαθμό, οι παραπάνω απόψεις των μαθητών δικαιολογούνται από το γεγονός ότι οι έννοιες της θερμοδυναμικής είναι αναμφισβήτητα δύσκολες για τους μαθητές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Επιπλέον, πολλά βιβλία που πραγματεύονται βασικές

έννοιες προσφέρουν διαφορετικές εξηγήσεις της θερμότητας, για παράδειγμα, «η θερμότητα είναι ενέργεια», «η θερμότητα είναι μια μορφή ενέργειας», «η θερμότητα είναι συνιστώσα της εσωτερικής ενέργειας που επηρεάζεται από τις μεταβολές της θερμοκρασίας», κ.λπ. ή χρησιμοποιούν όρους όπως «θερμική ισχύς» και «ροή θερμότητας» και προκαλούν επιπρόσθετη σύγχυση. Όπως χαρακτηριστικά αναφέρει ο Sozibilir, η ακριβής η χρήση της ορολογίας των θερμότητα/θερμοκρασία/εσωτερική ενέργεια στη διδασκαλία και την έρευνα των επιστημών αποτελεί αμφισβητούμενη περιοχή. Την ίδια άποψη εκφράζουν άλλωστε και οι Doige & Day, καθώς παραθέτουν χρήσεις των παραπάνω εννοιών εκφρασμένες από διαφορετικούς έγκριτους συγγραφείς.

Ωστόσο, δεν αμφισβητείται το γεγονός ότι η διδασκαλία μόνο των ορισμών ή μόνο των μαθηματικών σχέσεων, που συνήθως γίνεται στο σχολείο, δεν μπορεί να είναι αποτελεσματική. Για να κατακτήσουν οι μαθητές βαθιά κατανόηση της θερμοδυναμικής/θερμότητας, πρέπει να είναι σε θέση να διακρίνουν τις διαφορετικές έννοιες και να περιγράψουν αυτές τις διαφορές με πολλούς τρόπους. Πρέπει ακόμη να μπορούν να εκφράζουν τις ιδέες τους για την επίλυση προβλημάτων και επιπλέον να τις εφαρμόζουν σωστά.

Η διδακτική παρέμβαση που έγινε είχε δύο στόχους: Α. να κατανοήσουν οι μαθητές τις έννοιες της θερμοκρασίας, της θερμότητας και της θερμικής ισορροπίας, να γνωρίσουν την εσωτερική ενέργεια των σωμάτων και από ποιες μεταβλητές αυτή επηρεάζεται, να μελετήσουν, μέσω του 1ου θερμοδυναμικού νόμου, τις έννοιες του έργου, της εσωτερικής ενέργειας και της θερμότητας και να συνειδητοποιήσουν τη χρησιμότητα της γνώσης των νόμων των αερίων, συνδέοντάς τους παράλληλα με καθημερινές τους εμπειρίες και Β. να συνεργαστούν και να χρησιμοποιήσουν με εποικοδομητικό τρόπο τον υπολογιστή στη διαδικασία της μάθησης. Βασίστηκε στη χρήση προσομοιώσεων φαινομένων μέσω εικονικού εργαστηρίου, στην εργασία-συμπλήρωση φύλλων εργασίας με δραστηριότητες μέσω του Η/Υ και σε ερωτήσεις κατανόησης ή ερωτήσεις πρόκλησης γνωστικής σύγκρουσης στους μαθητές.

Η διδακτική παρέμβαση που υλοποιήθηκε μέσω προσομοιώσεων αποτελεί ένα πολύπλοκο εγχείρημα, καθώς καλείται να «ενισχύσει» τη διδασκαλία της θερμοδυναμικής με τη χρήση των ψηφιακών τεχνολογιών και προσπαθεί να συνδυάσει όλα εκείνα τα στοιχεία της διδακτικής και της τεχνολογίας που θα κάνουν τη διδασκαλία

πιο αποτελεσματική. Μία πρώτη αξιολόγηση των συμπερασμάτων δείχνει ότι η διδακτική παρέμβαση άλλαξε σε ικανοποιητικό ποσοστό τις αρχικές ιδέες των μαθητών, αφού η συνολική διαφορά βαθμολογίας μεταξύ pre και post test ήταν 22,7%. Ωστόσο, για τις ερωτήσεις που υποστηρίχθηκαν από δραστηριότητες που ενέπλεκαν γραφικές παραστάσεις, η διαφορά της μέσης βαθμολογίας μεταξύ pre και post test ήταν αρκετά μεγαλύτερη, καθώς έφθασε σε κάποιες περιπτώσεις και το 37%. Από αυτή τη διαφοροποίηση αποδεικνύεται ότι το μεγάλο πλεονέκτημα της χρήσης των ψηφιακών τεχνολογιών στη διδασκαλία είναι η οπτικοποίηση των φαινομένων, που είτε εξελίσσονται γρήγορα είτε είναι δύσκολο να πραγματοποιηθεί με ακρίβεια σχετικό πείραμα, καθώς και οι γραφικές αναπαραστάσεις των φαινομένων.

Είναι, συνεπώς, ο υπολογιστής ένα εργαλείο που το καθιστά πολύτιμο στη διδασκαλία της φυσικής επιστήμης. Αυτό είναι εφικτό στη συγκεκριμένη διδακτική παρέμβαση, διότι στο σχολικό εργαστήριο φυσικών επιστημών σε πειράματα θερμοδυναμικής/θερμότητας μπορεί κάποιος να παρατηρήσει μόνο μακροσκοπικές μεταβολές, ενώ σε ένα εικονικό εργαστήριο μπορεί να παρατηρηθούν τα φαινόμενα και σε μικροσκοπική κλίμακα. Επιπρόσθετα, φαίνεται ότι η διδακτική παρέμβαση διαθέτει εκείνα τα μαθησιακά χαρακτηριστικά που δίνουν τη δυνατότητα στο μαθητή να ανακαλύψει και εφαρμόσει ως ένα βαθμό τα αποτελέσματα των πειραματικών διατάξεων που χρησιμοποίησε, αφού ο μαθητής ενθαρρύνεται να συμμετέχει, να συνεργαστεί ικανοποιητικά με την ομάδα του και να οικοδομήσει νέα γνώση. Άρα, η διαδραστική εφαρμογή προσομοίωσης που χρησιμοποιήθηκε, κρίθηκε ως εύκολη στη χρήση, ενεργοποίησε το ενδιαφέρον των μαθητών, συνέβαλε στην ανάπτυξη δεξιοτήτων και πιθανώς να βοήθησε και στην εμπάθυνση των επιστημονικών εννοιών. Σε καμία περίπτωση όμως δεν αντικαθιστά το εργαστηριακό μάθημα ή την κλασική διδασκαλία/μελέτη του αντικειμένου, αλλά δρα συμπληρωματικά.

Όμως, για να επιτευχθεί ο στόχος, που δεν είναι άλλος από την ορθότερη και αποτελεσματικότερη διδασκαλία, εκτός από τη χρήση των ΤΠΕ στη διδακτική της θερμοδυναμικής, πρέπει να απαντηθούν βαθύτερα ερωτήματα όπως: Η γνώση που προσφέρεται στους μαθητές της Β' Λυκείου, από τα βιβλία και σύμφωνα με το αναλυτικό πρόγραμμα, είναι άρτια, συνεπής και πλήρης; Μπορεί να συνδυάζονται η μακροσκοπική και η μικροσκοπική θεώρηση της θερμοδυναμικής με ευκολία; Απευθύνεται σε παιδιά της

Β' Λυκείου που έχουν προετοιμαστεί γνωστικά από προηγούμενες τάξεις ώστε να δύνανται να την κατανοήσουν;

Αφού απαντηθούν ερωτήματα όπως τα παραπάνω, υπάρχει άφθονος χώρος από τη σκοπιά της διδακτικής, με συνεχή έρευνα, να δημιουργηθούν νέα εκπαιδευτικά-επιστημονικά εργαλεία που θα προσφέρουν νέες προσεγγίσεις στη διδακτική του γνωστικού αντικείμενου της Θερμοδυναμικής, καθώς η σύγχρονη τάση σε αυτόν τον τομέα αποσκοπεί στο συνδυασμό της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών, των μαθηματικών, της μηχανικής και της τεχνολογίας (STEM) με στόχο τη δημιουργία ολιστικών μοντέλων.

## 5.2. ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ – ΕΠΕΚΤΑΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η έρευνα διεξάχθηκε σε 70 μαθητές/τριες της Β' Λυκείου της Θετικής Ομάδας Προσανατολισμού, δύο Γενικών Λυκείων της πόλης της Καρδίτσας, και τα αποτελέσματά της αναφέρονται σε σχολεία αστικής περιοχής με, κατά μέσο όρο, μέτριο υπόβαθρο σε ότι αφορά των τομέα των φυσικών επιστημών. Ο αριθμός των μαθητών/τριών, καθώς και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους, δεν δίνουν τη δυνατότητα να βγουν γενικότερα συμπεράσματα που να αφορούν στο σύνολο των μαθητών.

Επιπρόσθετα, από τα συμπεράσματα προκύπτει ότι θα ήταν χρήσιμη μία αξιολόγηση των ίδιων των μαθητών για τη διδακτική παρέμβαση, έτσι ώστε να διαπιστωθεί αν αυτή συνιστά ένα ικανοποιητικό εργαλείο διδακτικής της Θερμοδυναμικής σε επίπεδο δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Για παράδειγμα, σχετικά με την εμφάνιση της προσομοίωσης παρατήρησαν ότι το περιβάλλον των εικονικών πειραμάτων ήταν αρκετά απλό και δεν τους εντυπωσίασε, πράγμα φυσιολογικό, αφού είναι εξοικειωμένοι με πολύ εντυπωσιακά γραφικά περιβάλλοντα, οπότε σε αυτόν τον τομέα υπάρχουν περιθώρια βελτίωσης. Ακόμη, από τη συζήτηση που ακολούθησε τη διδακτική παρέμβαση, πολλοί ανέφεραν ότι η εφαρμογή ήταν αρκετά απλή στη χρήση της, ικανοποιητικά ρεαλιστική και μάλλον γρήγορη.

Ωστόσο, δεν δόθηκε κάποιου είδους ερωτηματολόγιο το οποίο να ζητά την αξιολόγησή της τόσο σε επίπεδο ευκολίας και εμφάνισης, όσο και σε επίπεδο επίτευξης των μαθησιακών στόχων, ώστε να διαπιστωθούν οι προβληματισμοί των μαθητών. Αντίθετα, περιορίστηκε η αξιολόγησή της στην καταγραφή και ανάλυση των επιδόσεων των

μαθητών στο γνωστικό αντικείμενο. Θα ήταν, λοιπόν, χρήσιμο στο μέλλον να διατυπωθεί και να διανεμηθεί ένα κατάλληλα σχεδιασμένο ερωτηματολόγιο που θα απευθύνεται στους μαθητές που συμμετέχουν στα pre και post test και που θα συλλέγει και αναλύει τις απόψεις τους σχετικά με τα χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης διδακτικής παρέμβασης.

Είναι πάντως σημαντικό να τονιστεί πως ο σκοπός της έρευνας δεν ήταν να διαπιστώσει αν οι μαθητές απέκτησαν καινούρια γνώση, αλλά να τους βοηθήσει να εμβαθύνουν στις έννοιες που ήδη γνώριζαν από την παραδοσιακή διδασκαλία. Ωστόσο, με τις βελτιώσεις που θα μπορούσαν να προταθούν και από την πλευρά των μαθητών, καθώς και με την εφαρμογή της σε μεγαλύτερο αριθμό μαθητών, αυτή η διδακτική παρέμβαση θα ήταν δυνατόν να συμβάλει στη βαθύτερη κατανόηση των δύσκολων εννοιών της θερμοδυναμικής επιστήμης.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

- Aldrich, C. (2009). *Learning Online with Games, Simulations, and Virtual Worlds: Strategies for Online Instruction*. Jossey-Bass. A Wiley Imprint. USA. Διαθέσιμο στο δικτυακό τόπο: [https://books.google.gr/books\(4-9-2019\)](https://books.google.gr/books(4-9-2019))
- Aldrich, C. (2009). Virtual Worlds, Simulations, and Games for Education: A Unifying View. *Innovate: Journal of Online Education*, 5(5). Διαθέσιμο στο δικτυακό τόπο: <https://www.learntechlib.org/p/104221/> (4-9-2019)
- Alwan, A.A. (2011). Misconception of heat and temperature among physics students. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, Volume 12, 2011, Pages 600-614
- Anderson, E., Sharma, M.P., Taraban, R. (2002). Application of active learning Techniques to computer – based. Instruction of Introductory Thermodynamics. Proceedings of 2002 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition. Session 1526
- Anderson, E., Taraban, R., Sharma, M.P. (2005). Implementing and Assessing Computer-based Active Learning Materials in Introductory Thermodynamics, *Int. J. Engng Ed.* Vol. 21, No. 6, pp. 1168 – 1176, 2005 Printed in Great Britain. TEMPUS Publications
- Arnold, M. and Millar, R. (1996). Learning the scientific ‘story’: A case study in the learning of elementary thermodynamics. *Science Education*, 80, 249-281.
- Baeher, H.D. (2007). *Θερμοδυναμική: Εισαγωγή στα θεμελιώδη και στις τεχνικές εφαρμογές*. Για την Ελληνική Έκδοση Κ.Ν. Παττάς. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Γιαχούδη.
- Ben-Zvi, R. (1999). Non-science oriented students and the second law of thermodynamics. *International Journal of Science Education*, 21, 1251-1267.
- Bocconi, S., Kampylis, P., Punie, Y. (2012). Innovating Learning: Key Elements for Developing Creative Classrooms in Europe. *JRC Scientific and Policy Reports. European Union, 2012*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2012
- Bullen, P., Russell, M. (2007). A blended learning approach to teaching first year engineering degree students. International Conference on Engineering Education – ICEE 2007. Coimbra, Portugal
- Cengel, Y.A., Boles, M.A. (2011). *Thermodynamics: An engineering approach*. (7<sup>th</sup> edition) New York: McGraw Hill.
- Cox, A., Belloni, M., Dancy, M., Christian, W. (2003). Teaching thermodynamics with Physlets® in introductory physics. *IOP Publishing Ltd PHYSICS EDUCATION* 38 (5)
- De Berg, 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
- Doige, C.A., Day, T. (2012). A Typology of Undergraduate Textbook Definitions of ‘Heat’ across Science Disciplines. *International Journal of Science Education*, 34:5, 677-700
- Driver, R., Guesne, E., Tiberghien, A. (1993): *Οι ιδέες των παιδιών στις φυσικές επιστήμες*. Μετάφρ.: Κρητικός, Σπηλιωτοπούλου – Παπαντωνίου, Σταυρόπουλος. Έκδοση: Ένωση Ελλήνων Φυσικών και Τροχαλία, Αθήνα.
- Duit, R. (2007). Science Education Research Internationally: Conceptions, Research Methods, Domains of Research. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 3(1), 3-15

- Dukhan, N., Schumack, M. (2013). Understanding the Continued Poor Performance in Thermodynamics as a First Step toward an Instructional Strategy. 120<sup>th</sup> ASEE Annual Conference & Exposition. Atlanta, June 23-26, 2013, paper ID #8096
- Dungan, J. (2018). Expediting and Sustaining Change: Diffusing Innovation in Dynamic Educational Settings, *FDLA Journal*: Vol. 3 , Article 9
- European Union (2018). Supporting School Innovation across Europe. Final Report to DG Education and Culture of the European Commission. Report prepared by PPMI. Publications Office of the European Union. Luxembourg. Διαθέσιμο στο δικτυακό τόπο: <https://www.schooleducationgateway.eu/downloads/innovation/Innovation%20Study.pdf> (9-11-2019)
- Falch, T., Mang, C. (2015). Innovations in education for better skills and higher employability. *EENEE Analytical Report No. 23*. Prepared for the European Commission.
- Fessakis, G., Dimitrakopoulou, A., Kalavassis, F. (2001). Technology based Modelling Activities in secondary Education: Exploration and experimentation. In (Ed) V. Makrakis, Proceedings of Hellenic congress with international participation, New Technologies in education and Distance Education, Atrapos Editions, pp. 673-688
- Fullan, M. (1991). *The New Meaning of Educational Change*. 3<sup>rd</sup> edition. Teachers College Press. Columbia University 2001
- Fullan, M. (1993). Why Teachers Must Become Change Agents. *Educational Leadership*. Volume 50, Number 6, March 1993
- Fullan, M. (2009). Large-scale reform comes of age. *Journal of Educational Change*, 10, 101-13.
- Georgiou, H. (2014). Doing Positive Work: On student understanding of thermodynamics. A thesis submitted in fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy Faculty of Science. University of Sydney Australia.
- Hakim A. et al, (2017). Interactive Multimedia Thermodynamics to Improve Creative Thinking Skill of Physics Prospective Teachers. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 13 (1) (2017) 33-40
- Hale, J. A. (2017). Characteristics of Innovation in K12 International Schools in Asia (Doctoral dissertation, Lamar University-Beaumont). Διαθέσιμο στο δικτυακό τόπο: <https://search.proquest.com/openview/dc4d5a3d8cccb6023f3a3f1ca7f83b32/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y>
- Halliday, D., Resnick, R. (1976). *Φυσική Ι*. Για την Ελληνική Έκδοση: Γ. Πνευματικός – Θ. Λύρας, Επιστημονικές και Τεχνικές Εκδόσεις Γ.Α. Πνευματικού. Αθήνα.
- Halloun, I.H. (2007). Mediated Modeling in Science Education. *Science and Education*. Vol. 16. Issues 6-7
- Hargreaves, A., & Goodson, I. (2006). Educational change over time? The sustainability and nonsustainability of three decades of secondary school change and continuity. *Educational Administration Quarterly*, 42(1), 3-41.
- Harisson, A. (1996). Student Difficulties in Differentiating Heat and Temperature. Paper presented in 21<sup>st</sup> Annual Conference of the Western Australian Science Education Association, Perth, November, 1996
- Hassan, O., Mat, R. (2005). A Comparative Study of Two Different Approaches in Teaching Thermodynamics. 2005 Regional Conference on Engineering Education. Johor.
- Hofman, R. H., de Boom, J., Meeuwisse, M., & Hofman, W. (2013). Educational Innovation, Quality, and Effects: An Exploration of Innovations and Their Effects in Secondary Education. *Educational Policy*, 27(6), 843-866.

- [https://www.oecd.org/education/ceeri/Measuring\\_Innovation\\_16x23\\_ebook.pdf](https://www.oecd.org/education/ceeri/Measuring_Innovation_16x23_ebook.pdf) (9-11-2019)
- Huang, M., Gramoll, K. (2004). Online Interactive Multimedia for Engineering Thermodynamics. Presented and Published at 2004 ASEE Conf., June 20 – 23, 2004, Salt Lake City, UT. Proceedings of the 2004 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition.
- Jimoyiannis, A., Komis, V. (2001). Computer simulations in physics teaching and learning: a case study on students' understanding of trajectory motion. *Computers & Education* 36 (2001) 183-204
- Jonassen, D. H., Carr, C., Yueh, H. P. (1998). Computers as Mindtools for Engaging Learners in Critical Thinking. *TechTrends, Institute of Education Sciences (IES) of the U.S. Department of Education*, v43 n2, p24-32, Mar 1998
- Junglas, P. (2006). Simulation Programs for Teaching Thermodynamics. *Global Journal of Engineering Education Vol.10, No.2*
- Kafai, Y., & Resnick, M. (1996). *Constructionism in practice: Designing, thinking, and learning in a digital world*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Kamcharean, C., Wattanakasiwich, P. (2016). Development and Implication of a Two-tier Thermodynamic Diagnostic Test to Survey Students' Understanding in Thermal Physics. *International Journal of Innovation in Science and Mathematics Education*, 24(2), 14-36, 2016
- Lehtinen, E., Hakkarainen, K., Lipponen, L., Rahikainen, M. and Muukkonen, H., 1999, Computer supported collaborative learning: A review, *The J.H.G.I. Giesbers Reports on Education, Number 10, Department of Educational Sciences, University of Nijmegen*
- Lewis, E. L., Stern J. L., Linn, M.C. (1993). The Effect of Computer Simulations on Introductory Thermodynamics Understanding. *Educational Technology* Vol. 33, No. 1 (January 1993), pp. 45-58 Published by: Educational Technology Publications, Inc. Page Count: 14
- Lin, T. C., Tsai, C. C., Chai, C. S., Lee, M. H. (2013). Identifying science teachers' perceptions of Technological Pedagogical and Content Knowledge (TPACK). *Journal of Science Educational Technology*, V.22, 325- 336.
- Liu Y., (2009). Development of Instructional Courseware in Thermodynamics Education 2009. *Wiley Periodicals, Inc. Comput Appl. Eng. Educ.* 19: 115\_124, 2011
- Louisa, M., Veiga, F. C. S., Costa Pereira, D. J.V., Maskill, P. (1989). Teachers' language and pupils' ideas in science lessons: can teachers avoid reinforcing wrong ideas? *International Journal of Science Education*, 11:4, 465-479
- Loverude, M., Kautz, C., Heron, P., (2002). Student understanding of the first law of thermodynamics: Relating work to the adiabatic compression of an ideal gas. *American Association of Physics Teachers*. 70(2), February 2002.
- Mandinach, E., & Greer, J. (1992). *Models of students' metacognition, motivation, and learning strategies*. In: Marlene Jones, & Philip H. Winne (Eds.), *Adaptive learning environments. Foundations and frontiers*. Berlin: Springer-Verlag.
- Maréchal, J.F., Bilani, R. (2008). Teaching and Learning Chemical Thermodynamics in School. *Int. J. of Thermodynamics* ISSN 1301-9724 Vol. 11 (No. 2), pp. 91-99, June 2008
- McGee, P., Carmean, C., Jafari, A. (2005). *Course Management Systems for Learning: Beyond Accidental Pedagogy*. Information Science Publishing. Hershey. USA
- Meli, K, Koliopoulos, D., Lavidas, K., Papalexiou, G. (2016). Upper secondary school students' understanding of adiabatic compression. *Review of Science, Mathematics and ICT Education*, 10(2), 131-147, 2016.

- Meltzer, D. E. (2004). Investigation of students' reasoning regarding heat, work, and the first law of thermodynamics in an introductory calculus-based general physics course. *American Association of Physics Teachers*, 72(11), November 2004.
- Miles, I., Malik, K., Butler, J., Lengrand, L. (2002). Innovation policy and the regulatory framework: Making innovation an integral part of the broader structural agenda. Innovation tomorrow. *European Commission*. Office for Official Publications of the European Communities, 2002.
- Mulop, N., Yusop, K., Tazir, Z. (2012). A Review on Teaching and Learning of Thermodynamics. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 56, 703-712.
- NASA (2019). What is Thermodynamics? National Aeronautics and Space Administration. USA. Ανακτήθηκε: <https://www.grc.nasa.gov/WWW/K-12/airplane/thermo.html> (25-8-2019)
- OECD (2017d), PISA 2015 Results in Focus, PISA, OECD Publishing. Διαθέσιμο στο δικτυακό τόπο: <https://www.oecd.org/pisa/pisa-2015-results-in-focus.pdf> (9-11-2019)
- Omur, Y. E. & Argon, T. (2016). Teacher opinions on the innovation management skills of school administrators and organizational learning mechanisms. *Eurasian Journal of Educational Research*, 66, 243-262
- Or-Bach, R. (2013). Higher Education—Educating for Higher Order Skills. *Creative Education* 2013. Vol.4, No.7A2, 17-21. Published Online July 2013 in SciRes. Ανακτήθηκε την 04-09-2019 από: <http://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=34352>
- Parker, C.E., Stylinski, C.D., Bonney, C.R. et al. (2019). Measuring Quality Technology Integration in Science Classrooms. *Journal of Science Education and Technology* 28:567–578
- Psycharis, S. (2018). STEAM in Education: A Literature review on the role of Computational Thinking, Engineering Epistemology and Computational Science, *Computational STEAM Pedagogy (CSP)*. *Scientific Culture Culture*, 4(2), 51-72
- Saricayir H., Selahattin A., Arif C., Gokhan C., Musa U. (2016). Determining Students' Conceptual Understanding Level of Thermodynamics. *Journal of Education and Training Studies* Vol. 4, No. 6; June 2016
- Shannon, R.E. (1975). *Systems Simulation: The Art and Science*. Prentice Hall
- Sokrat, H., Tamani, S., Moutaabbid, M., & Radid, M. (2014). 5 th World Conference on Educational Sciences - WCES 2013 Difficulties Of Students From The Faculty Of Science With Regard To Understanding The Concepts Of Chemical Thermodynamics.
- Sozobilir, M. (2003). A review of selected literature on students' misconceptions of heat and temperature. *Boğaziçi University Journal of Education*. Vol.20(1) 2003
- Steinberg, R. N. (2000). Computers in teaching science: To simulate or not to simulate?, *American Journal of Physics*, Volume 68, p.S37-S41
- Tavakol, M., & Dennick, R. (2011). Making sense of Cronbach's alpha. *International journal of medical education*, 2, 53.
- Tiberghien, A., Megalakaki, O. (1995). Characterization of a modelling activity for a first qualitative approach to the concept of energy. *European Journal of Psychology of Education* 1995, Vol. X, Issue 4, p. 369-383
- Tiberghien, A., Psillos, D., Koumaras, P. (1995). Physics instruction from epistemological and didactical bases. *Instructional Science* 22: 423-444, 1995. Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.
- Treagust, D. F. (1995). Diagnostic assessment of students' science knowledge. *Learning science in schools: Research reforming practice*, 1, 327-346.

- Varotsos, P.A., Alexopoulos, K.D. (1986). *Thermodynamics of Point Defects and Their Relation with Bulk Properties*. North-Holland, Amsterdam
- Viennot, L. (1998). *Experimental facts and ways of reasoning in thermodynamics: Learners' common approach*. In: Tiberghien, A., Jossem, E., Barojas, J.: Connecting research in physics education. An I.C.P.E. Book © International Commission on Physics Education 1997, 1998. Ανακτήθηκε από: <https://www.univie.ac.at/pluslucis/Archiv/ICPE/C3.html> (29-8-2019)
- Vincent-Lancrin, S., G. Jacotin, J. Urgel, S. Kar and C. González-Sancho (2017), *Measuring Innovation in Education: A Journey to the Future*. OECD Publishing. Paris. Ανακτήθηκε από:
- Wattanakasiwich, P., Taleab, P., Sharma, M.D., Johnston, I.D. (2013). Development and Implementation of a Conceptual Survey in Thermodynamics. *International Journal of Innovation in Science and Mathematics Education*, 21(1), 29-53.
- Weston, A.J. Interactive Thermodynamic Cycles using HTML and JavaScript. Department of Technology College of Engineering. Southern Illinois University at Carbondale. Διαθέσιμο στο δικτυακό τόπο: <https://www.engr.siu.edu/staff1/weston/thermo> (3-9-2019)
- Wiser, M., Amin, T. (2001). "Is heat hot?" Inducing conceptual change by integrating every day and scientific perspectives on thermal phenomena. *Learning and Instruction*. Volume 11, Issues 4–5, 2001
- Worthington, T. (2017). *Designing E-learning for International Students of Technology, Innovation and the Environment*. TomW Communications Pty Ltd. Australia
- Yucheng, L. (2009). Development of Instructional Courseware in Thermodynamics Education *Wiley Periodicals, Inc. Comput Appl Eng Educ* 19: 115\_124, 2011
- Zarras, D., Solomonidou, C. (2007). Studying students; difficulties in understanding wave phenomena using computer simulations. In Proceedings of the 10th IASTED International Conference Computers and Advanced Technology in Education (CATE) 2007, October 8-10, Beijing, China, p.158-163

## ΕΛΛΗΝΙΚΗ

- A.Δι.Π.Π.Δ.Ε. (2019). Ετήσια Έκθεση της Α.Δι.Π.Π.Δ.Ε. Αθήνα. Γενική επιμέλεια: Ηλίας Γ. Ματσαγγούρας. Διαθέσιμη στο δικτυακό τόπο: [www.adippde.gr](http://www.adippde.gr) (13-9-2019)
- Αυλωνίτης, Δ. (2017). *Γενική και Τεχνική Θερμοδυναμική με στοιχεία αεριοθερμοδυναμικής και θερμοδυναμικής διεργασιών*. Εκδόσεις Ζήτη. Θεσσαλονίκη.
- Βακαλούδη, Α., Δαγδιλέλης, Β. (2014). Η διαφοροποίηση στη διδασκαλία της Ιστορίας με την αξιοποίηση διαδραστικών εκπαιδευτικών λογισμικών. *Θέματα Επιστημών και Τεχνολογίας στην Εκπαίδευση*, 7(1-2), 59-75
- Βλάχος, Ι., & άλλοι. (2013). *Φυσική Ομάδας Προσανατολισμού Θετικών Σπουδών Β' Γενικού Λυκείου*. ΥΠΕΘ. ΙΤΥΕ «ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ»
- Γιαννακάκη, Σ. Μ. (2005). *Η εφαρμογή καινοτομιών στη σχολική μονάδα*. Άρθρο δημοσιευμένο στο: Καψάλης, Α. (2005) *Οργάνωση και Διοίκηση Σχολικών Μονάδων* (243-276). Θεσ/νίκη: Εκδόσεις Παν/μίου Μακεδονίας.
- Γκαράς, Γ., Δημητρακοπούλου, Κ. (2016). Διερευνητική Μάθηση με την Εφαρμογή "Gas Properties" του UCB. Πρακτικά Εργασιών 2ου Πανελληνίου Συνεδρίου για την Προώθηση της Εκπαιδευτικής Καινοτομίας, Λάρισα 21-23 Οκτωβρίου 2016.
- Γλέζου, Κ., & Γρηγοριάδου, Μ. (2007). Ανάπτυξη Προσομοίωσης της Ελεύθερης Πτώσης: Μία Εναλλακτική Διαθεματική Πρόταση Διδασκαλίας. Πρακτικά 4ου Πανελληνίου Συνεδρίου των

- Εκπαιδευτικών για τις ΤΠΕ «Αξιοποίηση των Τεχνολογιών της Πληροφορίας και της Επικοινωνίας στη Διδακτική Πράξη, 210-219.
- Δημητριάδης, Σ. (2015). *Θεωρίες Μάθησης & Εκπαιδευτικό Λογισμικό*. Ελληνικά Ακαδημαϊκά Συγγράμματα και Βοηθήματα. Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <https://repository.kallipos.gr/handle/11419/3397> (19-1-2019)
- Δημητρίου, Δ., Τζιμογιάννης, Α. (2016). Διερεύνηση της τεχνολογικής παιδαγωγικής γνώσης περιεχομένου εκπαιδευτικών για την ένταξη των ΤΠΕ στις εκπαιδευτικές πρακτικές της τάξης. Πρακτικά του 10ου Πανελληνίου Συνεδρίου με Διεθνή συμμετοχή «Οι ΤΠΕ στην εκπαίδευση». Ιωάννινα.
- Δημούλας, Χ. (2015). *Μεθοδολογίες και μοντέλα ανάπτυξης. Διαδικασίες παραγωγής περιεχομένου & συγγραφής λογισμικού πολυμέσων*. [Κεφάλαιο Συγγράμματος]. Τεχνολογίες συγγραφής και διαχείρισης πολυμέσων. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα: Σύσδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. Κεφ.2. Διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/4345> (17-1-2019)
- Ευρωπαϊκή Επιτροπή, (2017). Ανακοίνωση της Επιτροπής προς το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, το Συμβούλιο, την Ευρωπαϊκή Οικονομική και Κοινωνική Επιτροπή και την Επιτροπή των Περιφερειών. Ανάπτυξη των σχολείων και άριστη διδασκαλία για μια καλή αρχή στη ζωή {SWD(2017) 165 final}. Διαθέσιμο στο δικτυακό τόπο: <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2017/EL/COM-2017-248-F1-EL-MAIN-PART-1.PDF> (13-11-2019)
- Κασσέτας, Α. Ι., Σμυρναίου, Ζ., Σιτσανλής, Η., (2014). *Πρόγραμμα Σπουδών Φυσικής Γυμνασίου για το «Νέο Σχολείο»*. Πράξη: «ΝΕΟ ΣΧΟΛΕΙΟ (Σχολείο 21ου αιώνα) – Νέο Πρόγραμμα Σπουδών» στους Άξονες Προτεραιότητας 1,2,3 – Οριζόντια Πράξη Υπεύθυνη Πράξης: Γεωργία Φέρμελη Υποέργο 1: «Εκπόνηση Προγραμμάτων Σπουδών Υποχρεωτικής Εκπαίδευσης». Ανακτήθηκε από: <http://repository.edull.gr/1987> (30-8-2019)
- Κόμης, Β. (2015). *Εφαρμογές των Τεχνολογιών της Πληροφορίας και των Επικοινωνιών στη διδασκαλία και τη μάθηση, Ενότητα: Εργασίες μαθήματος*. Έκδοση: 1.0. Πάτρα 2015. Διαθέσιμο στο δικτυακό τόπο: <https://eclass.upatras.gr/courses/PN1441> (13-11-2019)
- Κόμης, Β., Παπανδρέου, Μ. (2005). Οι τεχνολογίες της πληροφορίας και των επικοινωνιών στην προσχολική εκπαίδευση: μια κριτική προσέγγιση του διαθεματικού ενιαίου πλαισίου προγράμματος σπουδών. *Ερευνώντας τον κόσμο του παιδιού*, 6, 59-75. Διαθέσιμο στο δικτυακό τόπο: <http://dx.doi.org/10.12681/icw.18402> (16-11-2019)
- Κόμης, Β.Ι. (2004). *Εισαγωγή στις εκπαιδευτικές εφαρμογές των Τεχνολογιών της Πληροφορίας και των Επικοινωνιών*. Αθήνα. Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών
- Κουμαράς, Π. (2015). *Μονοπάτια της σκέψης στον κόσμο της Φυσικής*. Αθήνα. Εκδόσεις Gutenberg.
- Κυριακόπουλος Ν., (2013). ΤΠΕ και εργαστηριακή διδασκαλία. Δύο διδακτικές προσεγγίσεις για τη διδασκαλία των νόμων των αερίων. *Επιστημονικό Εκπαιδευτικό Περιοδικό «Εκπ@ιδευτικός Κύκλος»*, Τόμος 1, Τεύχος 1, 2013
- Κυριακώδη, Δ., Τζιμογιάννης, Α. (2015). Οι εκπαιδευτικές καινοτομίες στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση: Μελέτη των βραβευμένων έργων της δράσης “Θεσμός Αριστείας και Ανάδειξη Καλών Πρακτικών”. *Θέματα Επιστημών και Τεχνολογίας στην Εκπαίδευση*, 8(3), 123-151
- Λεγοντής, Α. (2010). Η επιμόρφωση των καθηγητών φυσικών επιστημών στην αξιοποίηση των ΤΠΕ στην εκπαιδευτική και διδακτική διαδικασία. Μεταπτυχιακή Εργασία. Τμήμα Εκπαιδευτικής και Κοινωνικής Πολιτικής. Πανεπιστήμιο Μακεδονίας. Θεσσαλονίκη. Διαθέσιμο στο δικτυακό

- τόπο: [https://dspace.lib.uom.gr/bitstream/2159/13970/1/Legontis\\_Msc.2010.pdf](https://dspace.lib.uom.gr/bitstream/2159/13970/1/Legontis_Msc.2010.pdf) (28-11-2019)
- Λευκοπούλου, Σ. (2008). Εργαστηριακές Ασκήσεις: κλειστές ή ανοιχτές δραστηριότητες; Πρακτικά 4ου Πανελληνίου Συνεδρίου της Ένωσης για τη διδακτική των φυσικών επιστημών, Κεφ. 2, σ.348-357. Θεσσαλονίκη 9-11 Μαΐου 2008
- Ματσαγγούρας, Η. Γ. (2000). *Ομαδοσυνεργατική διδασκαλία και Μάθηση*. Αθήνα: Γρηγόρης
- Μελή, Κ. (2015). Διπλωματική Εργασία. ΠΜΣ Διδακτική Φυσικών Επιστημών. Πανεπιστήμιο Πατρών. “Κατασκευάζοντας μια εκπαιδευτική υπολογιστική προσομοίωση για τις θερμοδυναμικές μεταβολές ιδανικών αερίων”. Ανακτήθηκε από: <https://www.academia.edu/27074548> (30-8-2019)
- Μικρόπουλος, Τ. Α. (2006). *Ο υπολογιστής ως γνωστικό εργαλείο*. Αθήνα: Ελληνικά Γράμματα
- Μουρατίδου, Β., Παπαχρήστου, Σ. (2017). Εκπαιδευτική αλλαγή και καινοτομία – Ηγεσία. Πρακτικά 1ου Διεθνούς Επιστημονικού Συνεδρίου Εκπαιδευτική Ηγεσία, Αποτελεσματική Διοίκηση και Ηθικές Αξίες. 24 - 26 Νοεμβρίου 2017. Πανεπιστήμιο Μακεδονίας. Θεσσαλονίκη. Τόμος Γ΄, σελ. 227-236.
- Παπαδοπούλου, Γ. (2016). Στρατηγικός σχεδιασμός σε επίπεδο σχολικής μονάδας - μελέτη περίπτωσης. Πρακτικά Εργασιών 2<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου για την Προώθηση της Εκπαιδευτικής Καινοτομίας, Λάρισα 21-23 Οκτωβρίου 2016
- Πιερράτος, Θ., Κολτσάκης, Ε., Πολάτογλου, Χ. (2008). Εξιχνιάζοντας ένα έγκλημα: Μια πρόταση άτυπης διδακτικής προσέγγισης των Φυσικών Επιστημών στη Δευτεροβάθμια και Τριτοβάθμια Εκπαίδευση. Πρακτικά 4ου Πανελληνίου Συνεδρίου της Ένωσης για τη διδακτική των φυσικών επιστημών, Κεφ. 2, σ.312-317. Θεσσαλονίκη 9-11 Μαΐου 2008
- Πολυζώης, Γ., & Μπουμπούλης, Π. (2016). Επανεξετάζοντας την κινηματική με το λογισμικό GeoGebra: ο αρχικός σχεδιασμός. Πρακτικά Πανελληνίου Συνεδρίου «Διδακτικές προσεγγίσεις και πειραματική διδασκαλία στις Φυσικές Επιστήμες, 16-17 Απριλίου 2016, Θεσσαλονίκη, p. 51-58
- Ράπτης, Α., Ράπτη, Α., (2003). *Μάθηση και διδασκαλία στην εποχή της πληροφορίας. Ολική προσέγγιση*. Αθήνα: Α. Ράπτης
- Ράπτης, Ν., Βιτσιλάκη, Χρ. (2007). *Ηγεσία και Διοίκηση Εκπαιδευτικών Μονάδων. Η ταυτότητα του διευθυντή της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης*. Θεσσαλονίκη. Εκδοτικός οίκος: Αδελφών Κυριακίδη
- Σολομωνίδου, Χ. (2001). Σύγχρονη Εκπαιδευτική Τεχνολογία. Υπολογιστές και Μάθηση στην Κοινωνία της Γνώσης. Θεσσαλονίκη: Κώδικας
- Σπυροπούλου, Δ., Αναστασάκη, Α., Δεληγιάννη, Δ., Κούτρα, Χ., Μπούρας, Σ. (2008). Τα Καινοτόμα Προγράμματα στην Πρωτοβάθμια και Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση: Λειτουργική Διεσδυτικότητα και Βιωσιμότητα. Πρακτικά Δημερίδων Έκπαίδευση και ποιότητα στο ελληνικό σχολείο, Ίδρυμα Ευγενίδου-Πολυτεχνική Σχολή ΑΠΘ. Αθήνα- Θεσσαλονίκη
- Σταυρίδου, Ε., (1995). *Μοντέλα Φυσικών Επιστημών και διαδικασίες μάθησης*. Εκδόσεις Σαββάλα. Αθήνα.
- Στυλιάρης, Γ., Δήμου, Β. (2015). *Σύγχρονες διδακτικές προσεγγίσεις σε μαθητές με ειδικές μαθησιακές ανάγκες με αξιοποίηση ηλεκτρονικών μέσων*. [Κεφάλαιο Συγγράμματος]. Διδακτική της πληροφορικής. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. Κεφ.5. σ.162-206 Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://hdl.handle.net/11419/727> (19-1-2019)

- Τζιβινίκου, Σ. (2015). *Δυσκολίες στα μαθηματικά - διδακτικές παρεμβάσεις*. [Κεφάλαιο Συγγράμματος]. Μαθησιακές δυσκολίες - διδακτικές παρεμβάσεις. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. Κεφ.6. Διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/5336> (19-1-2019)
- Τζιμογιάννης, Α., κ.ά. (2014). *Πληροφορική Α'-Γ' Γυμνασίου. Πρόγραμμα Σπουδών*. «ΝΕΟ ΣΧΟΛΕΙΟ (Σχολείο 21ου αιώνα) – Νέο Πρόγραμμα Σπουδών» με κωδικό ΟΠΣ: 295450 Οριζόντια Πράξη στις 8 Π.Σ., 3 Π.Στ. Εξ., 2 Π.Στ. Εισ. Υποέργο 1 : Εκπόνηση Προγραμμάτων Σπουδών Υποχρεωτικής Εκπαίδευσης».
- Φεσάκης, Γ., Δημητρακοπούλου, Α. (2009). *Μοντέλα σχεδιασμού μαθησιακών δραστηριοτήτων που αξιοποιούν ΤΠΕ: τεχνολογικές και παιδαγωγικές προβολές*. Στο Αν. Κοντάκος, Φρ. Καλαβάσης (Επιμ.), *Θέματα Εκπαιδευτικού Σχεδιασμού*, τομ. 3ος, Εκδόσεις Ατραπός, σελ. 311-341
- Χαλδούπης, Χ. (2015). *Ατμοσφαιρική Θερμοδυναμική*. [Κεφάλαιο Συγγράμματος]. Στο Χαλδούπης, Χ. 2015. Εισαγωγή στην ατμοσφαιρική φυσική. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. κεφ 3. Διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/3276> (19-1-2019)
- Ψύλλος, Δ., et al. (2000). *Σύνθετο Εικονικό Περιβάλλον για τη διδασκαλία Θερμότητας-Θερμοδυναμικής*. Στο Β. Κόμης (επ.) *Πρακτικά 2ου Πανελληνίου Συνεδρίου, Οι Τεχνολογίες της Πληροφορίας και της Επικοινωνίας στην Εκπαίδευση*, 331-340, Πάτρα



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: Πίνακες βαθμολογιών pre και post test

ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑ ΕΡΩΤΗΣΗ PRETEST (1-35)																																		
Ερ. 1	Ερ. 2	Ερ. 3	Ερ. 4	Ερ. 5	Ερ. 6	Ερ. 7	Ερ. 8	Ερ. 9	Ερ. 10	Ερ. 11	Ερ. 12	Ερ. 13	Ερ. 14	Ερ. 15	Ερ. 16	Ερ. 17	Ερ. 18	Ερ. 19	Ερ. 20	Ερ. 21	Ερ. 22	Ερ. 23	Ερ. 24	Ερ. 25	Ερ. 26	Ερ. 27								
1	5	1	0	1	1	0	1	1	3	0	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	5	1	0	0	2	4	5							
2	0	1	1	1	0	2	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	2	4	2							
3	2	1	1	1	0	0	1	1	2	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1							
4	3	1	0	1	1	5	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	5	1	1	1	2	4	5							
5	2	0	1	1	0	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2									
6	3	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	2	0	0	0	0	1	1								
7	0	0	1	0	0	0	1	1																										
8	5	1	0	1	0	5	0	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	5	1	0	0	2	4	5							
9	4	0	1	0	0	4	1	1																										
10	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	2	1	0	0	2	0								
11	4	1	1	1	0		1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	5																
12	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	5	0	0	0	1	1	4	3							
13	4	1	0	0	1	5	1	1	3	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	5	0	0	1	2	0	1							
14	0	0	1	0	0	0	1	1	3																									
15	0	1	0	1	0	4	1	1	4	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	2	0								
16	0	0	1	0	0	1	1	1																										
17	2	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	0	0	1	0	0							
18	2	1	0	0	1	4	0	0	3	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	2	0	0							
19	1	1	1	0	3	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	5	1	0	0	2	2	5							
20	0	0	1	0	0	1	1	1																										
21	1	0	1	0	0	0	1	1	2	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0								
22	2	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0							
23	2	0	1	1	0	4	1	1	4																									
24	5	1	1	1	0	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	5													
25	4	0	1	1	1	2	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	2	2								
26	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	2	0								
27	0	0	0	0	0																													
28	0	1	0	0	1	2	0	1	3	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0										
29	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0															
30	5	1	0	1	1	4	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	5	0	0	1	2	3	5							
31	3	0	0	1	1	3	1	1																										
32	5	1	1	0	1	2	1	1	1																									
33	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	2	0	0	1	1									
34	5	1	1	1	0	2	0	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	5	1	1	1	2	5	5							
35	3	1	0	1	0	2	1	1	3																									

ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑ ΕΡΩΤΗΣΗ ΠΡΕΤΕΣΤ (36-70)

	Ep. 1	Ep. 2	Ep. 3	Ep. 4	Ep. 5	Ep. 6	Ep. 7	Ep. 8	Ep. 9	Ep. 10	Ep. 11	Ep. 12	Ep. 13	Ep. 14	Ep. 15	Ep. 16	Ep. 17	Ep. 18	Ep. 19	Ep. 20	Ep. 21	Ep. 22	Ep. 23	Ep. 24	Ep. 25	Ep. 26	Ep. 27	
36	5	1	0	1	1	5	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	4	5	
37	4	1	1	1	0	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	2		
38	2	0	1	0	0	1	1	1	1	3	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	2		
39	5	1	1	1	0	0	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	5	1	1	0	2	4	5	
40	1	0	1	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1			
41	4	1	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	1	1	1	0	0	
42	2	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1			
43	2	1	1	1	0	4	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	5	1	0	1	0	2		
44	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1			
45	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1			
46	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1		
47	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	4	
48	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1		
49	2	0	1	1	0	5	1	1	1	3	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
50	5	1	0	1	1	5	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	5	1	1	1	2	4	5	
51	3	0	1	1	0	3	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1		
52	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1		
53	5	1	0	1	1	5	0	1	1	3	1	0	1	0	1	1	1	1	5	1	5	1	0	1	2	2	1	
54	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1		
55	5	1	1	1	0	5	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	5	1	0	1	2	1		
56	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1		
57	2	0	1	1	0	4	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	5	1	1	0	1		
58	5	1	1	1	1	5	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	5	1	1	1	0	4	1	
59	3	1	1	1	1	5	1	1	1	3	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1		
60	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	2	1	0	
61	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	0	1	1	1	1	0	5	1	5	1	1	1	1	1		
62	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	5	1	1	0	1	1		
63	4	0	0	0	0	4	1	1	1	0	3	1	1	1	1	1	1	1	5	1	5	1	0	1	0	3	5	
64	3	1	0	1	1	3	1	1	1	5	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1		
65	5	1	0	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	5	1	0	0	2	4	5	
66	3	1	1	1	0	4	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1		
67	5	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1		
68	5	1	1	1	0	1	1	1	1	3	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	5	1	1	1	0	2	1	0
69	3	0	1	1	1	5	1	1	1	3	1	0	0	1	1	0	0	1	5	0	0	0	0	0	0	2		
70	2	1	1	1	0	4	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	5	1	1	0	1	0	2	

ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑ ΕΡΩΤΗΣΗ POST TEST (1-35)

	Ep.1	Ep.2	Ep.3	Ep.4	Ep.5	Ep.6	Ep.7	Ep.8	Ep.9	Ep.10	Ep.11	Ep.12	Ep.13	Ep.14	Ep.15	Ep.16	Ep.17	Ep.18	Ep.19	Ep.20	Ep.21	Ep.22	Ep.23	Ep.24	Ep.25	Ep.26	Ep.27
1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	0	0	1	5	1	5	1	1	1	2	4	0
2	2	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	5	1	1	1	2	4	5
3	2	1	1	0	1	0	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	4	1	5	1	1	1	2	4	5
4	5	1	0	0	1	5	1	1	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	5	1	1	1	2	5	5
5	3	0	1	0	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	0	1	1	1	5	1	5	1	1	1	1	1	5
6	5	1	0	1	1	4	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	5	1	1	1	2	2	5
7	4	1	1	1	0	3	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	5	0	0	1	2	5	5
8	4	1	1	1	1	4	0	1	1	3	1	0	1	0	1	1	1	1	5	1	5	1	1	1	2	4	5
9	2	1	1	1	0	3	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	0	1	1	0	2	3	5
10	4	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	5	1	1	1	2	3	4
11	3	1	1	1	0	5	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	2	1	0	0	2	1	1
12	4	0	0	1	1	4	1	1	1	5	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	5	1	1	1	2	3	4
13	4	1	1	0	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	5	1	1	1	1	2	1
14	4	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	5	1	1	1	1	1	1	1
15	4	1	1	0	1	1	1	1	1	5	1	1	1	1	1	0	1	1	5	1	5	1	1	1	1	1	1
16	4	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	5	1	1	1	1	1	1
17	2	1	1	0	0	1	1	1	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	5	0	1	1	1	1	2	1	1
18	4	1	1	0	1	4	1	1	1	3	0	1	0	1	1	1	1	1	3	1	0	0	0	1	2	4	5
19	5	1	0	1	1	5	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	3	1	1	1	2	2	5
20	1	0	0	0	0	1	1	1	1	2	1	1	1	0	1	0	0	1	2	1	5	1	1	1	0	1	1
21	4	1	1	1	0	2	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	5	1	5	1	1	1	2	1	1
22	2	1	1	1	0	2	1	1	1	5	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	5	1	1	0	2	5	5
23	4	1	1	1	0	5	1	1	1	5	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	0	1	1	1	2	3	0
24	4	1	0	0	1	5	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	5	1	1	1	2	4	5
25	4	1	1	0	1	4	1	1	1	5	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	5	1	1	0	2	3	5
26	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	1	2	0	0
27	3	1	0	0	0	2	1	1	1	3	0	1	0	0	1	1	1	1	5	1	5	1	0	1	2	2	2
28	4	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	5	1	5	1	0	1	0	2	1
29	4	0	0	1	0	2	1	1	1	5	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	0	1	1	1	1	4	5
30	4	0	1	1	0	1	1	1	1	5	0	1	0	1	1	1	1	1	5	1	5	1	1	1	2	3	5
31	5	1	0	1	1	5	1	1	1	5	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	5	1	1	1	2	5	5
32	4	1	1	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	5	1	1	0	2	0	1
33	4	0	1	1	0	1	1	1	1	5	1	1	0	1	1	1	1	1	5	1	5	1	1	0	2	0	1
34	5	1	0	1	1	2	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	5	1	1	1	2	5	5

ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑ ΕΡΩΤΗΣΗ POST TEST (36-70)

	Ep. 1	Ep. 2	Ep. 3	Ep. 4	Ep. 5	Ep. 6	Ep. 7	Ep. 8	Ep. 9	Ep. 10	Ep. 11	Ep. 12	Ep. 13	Ep. 14	Ep. 15	Ep. 16	Ep. 17	Ep. 18	Ep. 19	Ep. 20	Ep. 21	Ep. 22	Ep. 23	Ep. 24	Ep. 25	Ep. 26	Ep. 27	
35	4	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	5	1	2	1	1	0	2	0	
36	5	1	1	0	1	5	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	5	1	1	1	0	5	
37	5	0	0	1	0	1	1	1	1	3	0	1	0	1	1	1	1	1	1	5	1	1	1	0	1	1	5	
38	3	1	1	1	1	4	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	5	1	0	1	1	5	
39	5	1	0	0	1	5	1	1	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	5	1	1	1	1	2	5	
40	5	0	0	0	0	4	1	1	1	3	0	1	0	1	1	1	0	1	5	1	0	0	0	1	2	0	3	
41	4	1	1	1	1	3	1	1	1	3	0	1	0	1	1	1	1	1	5	1	0	0	0	1	2	0	3	
42	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	5	1	5	1	1	0	0	0	
43	4	0	1	0	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	5	1	1	1	2	3	5	
44	5	1	1	1	0	5	1	1	1	5	1	1	1	1	1	1	0	1	5	1	2	1	1	1	2	4	5	
45	3	1	0	0	1	1	1	1	1	5	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	0	1	1	1	1	3	5	
46	5	1	1	1	0	1	1	1	1	5	1	1	0	1	1	1	0	1	5	0	1	5	1	1	2	2	4	
47	0	1	0	1	1	5	1	1	1	5	1	1	1	1	1	1	1	0	1	3	1	1	1	1	1	1	1	
48	4	0	0	1	0	5	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	4	
49	3	0	1	1	0	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	
50	5	1	1	1	1	5	1	1	1	5	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	5	1	1	1	1	2	4	5
51	3	0	1	1	0	5	1	1	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	1	1	1	1	5	
52	2	0	0	1	0	4	1	1	1	3	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	5	1	1	0	1	1	4	
53	4	0	1	1	1	5	0	1	1	3	1	1	1	1	1	0	0	1	5	1	5	1	1	1	1	2	5	
54	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	5	
55	5	1	1	0	1	5	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	5	
56	3	1	0	1	1	1	0	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	
57	2	1	1	1	0	4	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	3	1	0	0	2	1	5	
58	5	1	1	1	1	4	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	5	1	1	1	2	5	1	
59	4	0	1	1	1	0	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	1	1	1	0	1	5	0	
60	0	0	1	1	0	0	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	
61	1	0	1	1	0	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	2	1	1	1	
62	4	1	1	1	1	2	1	1	1	3	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	5	1	0	1	2	1	5	
63	4	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	5	1	1	1	0	2	4	
64	2	1	1	1	1	5	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	5	1	1	1	1	4	5	
65	5	1	1	1	1	3	0	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	5	1	1	1	2	4	5	
66	5	0	1	1	1	5	1	1	1	3	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	
67	5	1	1	1	1	4	1	1	1	3	1	1	1	1	1	0	0	1	5	1	5	1	1	1	2	2	3	
68	4	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	2	2	3	
69	5	1	1	1	1	5	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	5	1	1	1	2	2	2	
70	3	1	1	1	1	5	0	0	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	0	1	1	1	0	2	4	

## Reliability Statistics – Pre-Test

Cronbach's Alpha	Cronbach's Alpha Based on Standardized Items	N of Items
,856	,884	27

	Scale Mean if Item Deleted	Scale Variance if Item Deleted	Corrected Item-Total Correlation	Cronbach's Alpha if Item Deleted
ΘΕΡΜΙΚΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ_ΕΞΗΓΗΣΗ	32,95	146,892	,630	,842
ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ_1	35,50	175,737	,377	,854
ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ_2	35,85	184,766	-,361	,863
ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ_3	35,50	175,737	,377	,854
ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ_4	35,80	176,379	,247	,855
ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ_ΕΞΗΓΗΣΗ	33,55	146,471	,582	,846
ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΣΩΜΑΤΟΣ_1	35,55	179,629	,015	,858
ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΣΩΜΑΤΟΣ_2	35,45	174,050	,603	,852
ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΣΩΜΑΤΟΣ_3	35,40	178,358	,189	,856
ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΣΩΜΑΤΟΣ_ΕΞΗΓΗΣΗ	34,25	150,408	,863	,833
ΙΣΟΘΕΡΜΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ	35,40	175,411	,553	,853
ΙΣΟΧΩΡΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ	35,45	178,050	,187	,856
ΑΔΙΑΒΑΤΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ	35,60	169,937	,804	,848
ΙΣΟΒΑΡΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗ	35,45	176,787	,317	,855
ΙΣΟΘΕΡΜΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ_ΕΞΗΓΗΣΗ	35,35	177,713	,377	,855
ΙΣΟΧΩΡΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ_ΕΞΗΓΗΣΗ	35,35	177,713	,377	,855
ΙΣΟΒΑΡΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗ_ΕΞΗΓΗΣΗ	35,40	176,358	,435	,854
ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ_ΜΑΖΑ	35,65	168,871	,857	,847
ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ_ΜΑΖΑ_ΕΞΗΓΗΣΗ	33,35	132,029	,734	,839
ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ_ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	35,40	176,779	,383	,854
ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ_ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ_ΕΞΗΓΗΣΗ	32,60	138,042	,770	,834
ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ_ΙΣΟΧΩΡΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ	35,60	174,042	,463	,852
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΡΓΟΥ_ΙΣΟΧΩΡΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ	35,90	178,937	,061	,857
ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ_ΙΣΟΧΩΡΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ	35,65	178,450	,101	,857
ΑΔΙΑΒΑΤΙΚΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ	34,90	175,463	,178	,856
1ος ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΝΟΜΟΣ	33,60	151,726	,625	,842
1ος ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΝΟΜΟΣ_ΑΔΙΑΒΑΤΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ	33,35	137,187	,732	,837

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II: Ερωτηματολόγιο

### Ερωτήσεις

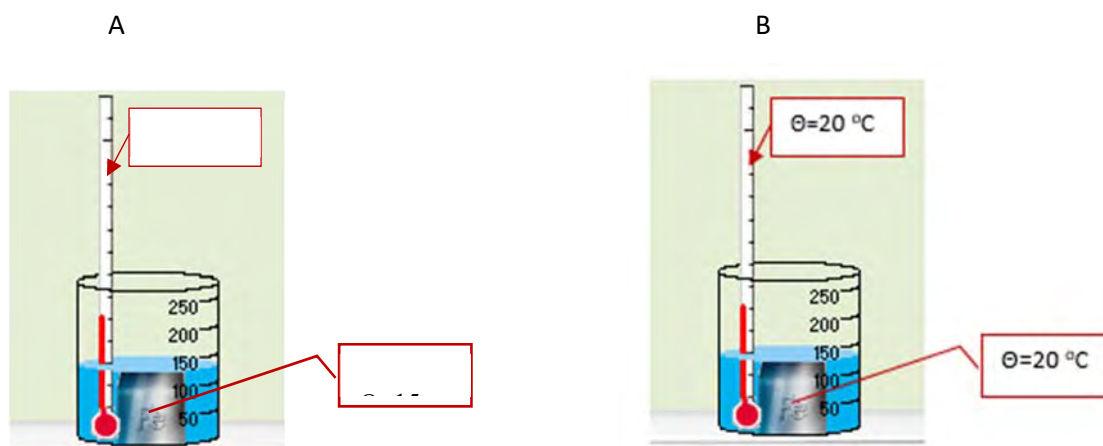
Τμήμα/Λύκειο: .....

Μαθητής/τρια: .....

Κωδικός: .....

### A. Θερμότητα – Θερμοκρασία

1. Διατηρούμε δοχείο με νερό (όγκος νερού: 130mL) στους 23 °C, ενώ θερμαίνουμε έναν συμπαγή κύβο σιδήρου (Fe) στους 60 °C. Αμέσως μετά τοποθετούμε τον κύβο (όγκος κύβου: 40 mL) μέσα στο δοχείο με το νερό, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Σημειώνουμε ότι η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι 20 °C. Επιλέξτε το σωστό σχήμα που δείχνει τι θα συμβεί μετά από λίγη ώρα.



Αιτιολογήστε την επιλογή σας .....

.....

Ποιο ή ποια από τα παραπάνω συνέβη/σαν όταν τοποθετήσαμε τον κύβο στο δοχείο με το νερό;

A. Μειώθηκε η θερμότητα του κύβου όταν τοποθετήθηκε στο κρύο νερό.

B. Αυξήθηκε η θερμοκρασία του νερού όταν τοποθετήσαμε σε αυτό τον θερμό κύβο.

Γ. Ο κύβος μετέφερε θερμότητα στο νερό.

Δ. Ο κύβος και το νερό μετέφεραν θερμότητα στο περιβάλλον.

Πώς αλλάξαμε τη θερμοκρασία του νερού και του κύβου στο παραπάνω πείραμα. Εξηγήστε:

.....

.....

2. Αρχικά ένα μίξερ που περιέχει νερό και ο αναδευτήρας του βρίσκονται στην ίδια θερμοκρασία. Όταν ο αναδευτήρας του μίξερ περιστρέφεται μέσα στο νερό, η θερμοκρασία του νερού και του αναδευτήρα αυξάνονται. Ποια ή ποιες από τις παρακάτω προτάσεις είναι σωστή/ές;

A. Ο αναδευτήρας μεταβιβάζει θερμότητα στο νερό.

B. Το έργο που παράγεται μέσω της κίνησης του αναδευτήρα προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας του νερού.

Γ. Το νερό αφαιρεί θερμότητα από τον αναδευτήρα.

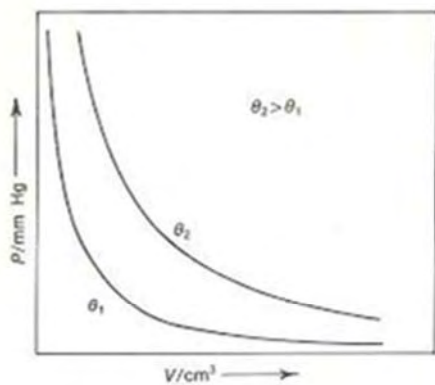
Τελικά μπορούμε να θερμάνουμε ένα σώμα δίχως να του μεταβιβάσουμε θερμότητα;

Εξηγήστε.....

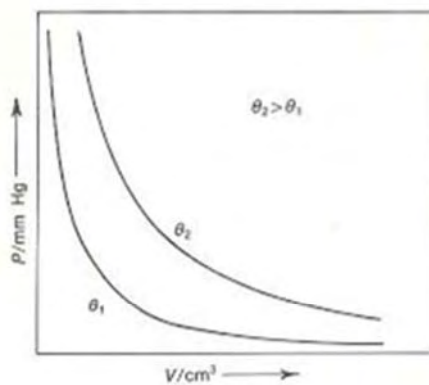
.....

## B. Μεταβολές αερίων

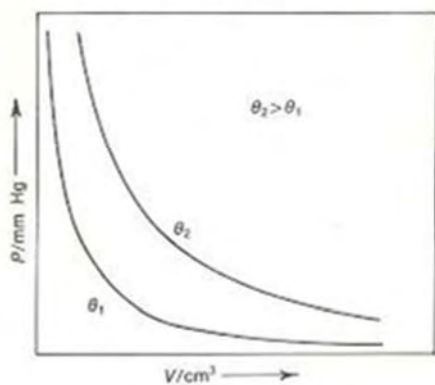
3. Προσπαθήστε να σχεδιάσετε σε άξονες P-V μία ισόχωρη, μία ισόθερμη, μία αδιαβατική και μία ισοβαρή αντιστρεπτή μεταβολή από μία κατάσταση A σε μία κατάσταση B. Τα A και B να βρίσκονται επάνω στις καμπύλες σταθερής θερμοκρασίας  $\theta_1$  και  $\theta_2$ .



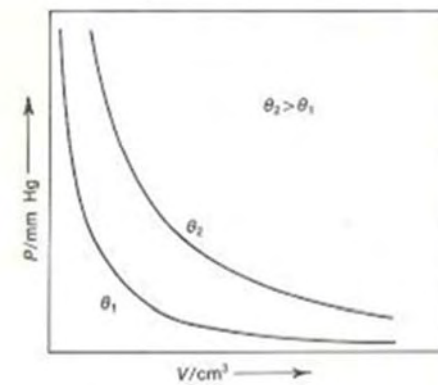
ισόθερμη



ισόχωρη



αδιαβατική



ισοβαρής

4. Σε ποια μεταβολή μπορείτε να αντιστοιχίσετε τα παρακάτω φαινόμενα:

A. Καθώς οι φυσαλίδες που δημιουργούνται στον πυθμένα ενός δοχείου με νερό σταθερής θερμοκρασίας ανεβαίνουν προς την επιφάνεια, αυξάνεται ο όγκος τους. (..... μεταβολή)

B. Ο όγκος των ελαστικών ενός αυτοκινήτου παραμένει σταθερός, ενώ η θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό τους κατά τη διάρκεια του ταξιδιού αυξήθηκε παράλληλα με την αύξηση της πίεσής τους. (..... μεταβολή)

Γ. Τοποθετούμε ένα μπαλόνι γεμάτο στους 30 °C με αέριο He (ήλιο) σε ψυγείο όπου επικρατεί σταθερή πίεση και η θερμοκρασία του είναι 4 °C. Παρατηρούμε ότι το μπαλόνι «ξεφουσκώνει» (..... μεταβολή)

### Γ. Εσωτερική Ενέργεια - Έργο - 1<sup>ος</sup> Θερμοδυναμικός Νόμος

5. Απαντήστε στις παρακάτω ερωτήσεις:

A. Ένα παγόβουνο ή ένας κύβος πυρακτωμένου σιδήρου έχουν μεγαλύτερη εσωτερική ενέργεια;

Γιατί:.....

B. Βυθίζουμε ένα παγάκι σε ένα ποτήρι νερό που βρίσκεται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Θα μεταβληθεί η εσωτερική ενέργειά τους;

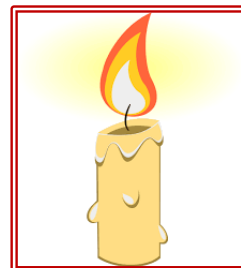
Γιατί:.....

6. Μέσα σε ένα δοχείο με ακλόνητα (σταθερά) τοιχώματα καίει ένα κερι και –πριν σβήσει- θερμαίνει τον αέρα του δοχείου. Ποια ή ποιες από τις παρακάτω προτάσεις είναι σωστή/ές;

A. Η εσωτερική ενέργεια του αέρα αυξάνεται γιατί αυξάνεται η θερμοκρασία του.

B. Η καύση του κεριού έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή έργου.

Γ. Το ποσό της θερμότητας που απορρόφησε ο αέρας χρησιμοποιήθηκε για την αύξηση της εσωτερικής του ενέργειας.



7. Σε ένα γυάλινο σωλήνα μικρής διατομής ερμητικά κλειστό με έμβολο, τοποθετούμε μία ποσότητα αερίου υπό πίεση και ένα μικρό κομμάτι εύφλεκτου υφάσματος. Συμπιέζουμε απότομα-ακαριαία (αδιαβατική μεταβολή) το έμβολο και παρατηρούμε ότι το ύφασμα αρχίζει να καίγεται.

A. Συμπληρώστε τα κενά επιλέγοντας από τα: ο όγκος, η θερμότητα, το έργο, η εσωτερική ενέργεια, η θερμοκρασία, η πίεση.

Το εύφλεκτο ύφασμα καίγεται διότι αυξάνεται απότομα ..... και κατά συνέπεια και .....

B. Χρησιμοποιώντας τον 1<sup>ο</sup> Θερμοδυναμικό νόμο (αρχή διατήρησης της ενέργειας) εξηγήστε πώς μεταβλήθηκαν τα: Θερμότητα (Q), Μεταβολή Εσωτερικής Ενέργειας ( $\Delta U$ ) αερίου και κατανάλωση Έργου (W).

.....

.....

.....

Γ. Τελικά είναι δυνατόν να ανεβάσουμε τη θερμοκρασία μιας ποσότητας αερίου χωρίς να του προσφέρουμε θερμότητα;

Εξηγήστε : .....

.....

.....



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ: Φύλλα Εργασίας

## Α. ΦΥΛΛΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

## Θερμική Ισορροπία

**Σύντομη περιγραφή:**


Στο πείραμα αυτό οι μαθητές:

- θα διαπιστώσουν το ρόλο του περιβάλλοντος, ως μέσου ανταλλαγής θερμότητας με τα σώματα.
- θα διαπιστώσουν ότι η θερμική αλληλεπίδραση με το περιβάλλον είναι διαρκής, σε οποιαδήποτε θερμοκρασία και αν βρίσκεται ένα σώμα.
- θα ερμηνεύσουν γραφικές παραστάσεις θερμοκρασίας ( $\theta$ - $t$ ).
- θα συνθέσουν (εικονικές) πειραματικές διατάξεις.
- θα χρησιμοποιήσουν (εικονικά) μετρητικά όργανα και πειραματικές συσκευές.

**Οδηγίες:**

1. Ανοίξτε το αρχείο «Θερμική Ισορροπία».
2. Γεμίστε το δοχείο με 175 mL νερό, αφού ρυθμίσετε τη θερμοκρασία του νερού στους 30 °C.
3. Τοποθετήστε τον κύβο Fe στο φούρνο στους 80 °C.
4. Σημειώστε στον παρακάτω πίνακα τις θερμοκρασίες.

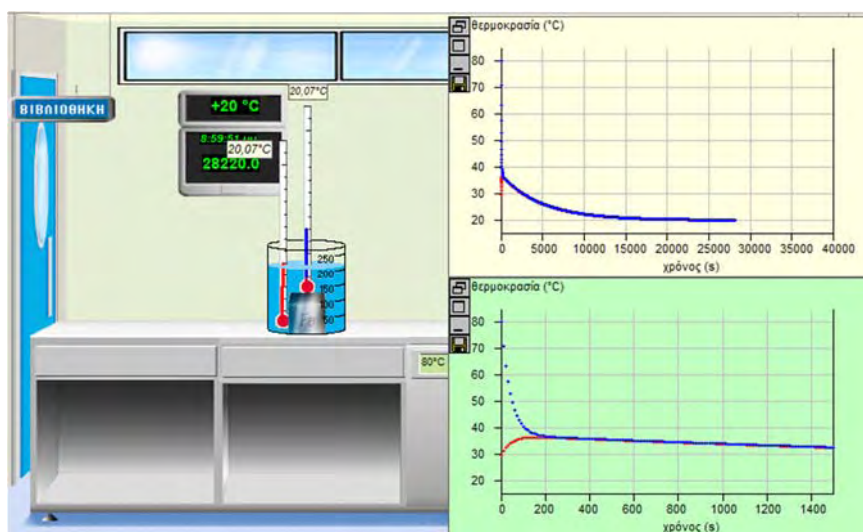
	Νερό	Κύβος	Περιβάλλον
$\theta$ (°C)			

5. Τοποθετήστε τον κύβο και το 1<sup>ο</sup> θερμόμετρο μέσα στο δοχείο νερού, ώστε να μετρά τη θερμοκρασία του νερού. Στη συνέχεια τοποθετήστε το 2<sup>ο</sup> θερμόμετρο πάνω στον κύβο, ώστε να μετρά τη θερμοκρασία του κύβου.
6. Αυξήστε την ταχύτητα εκτέλεσης x100.
7. Εμφανίστε τα διαγράμματα, πατώντας .
8. Ξεκινήστε την εκτέλεση του πειράματος.
9. Αλλάξτε την κλίμακα του χρόνου ώστε να φθάνει στα 1500s στο ένα από τα δύο διαγράμματα και σε αυτό παρακολουθήστε την καμπύλη ( $\theta$ - $t$ ). Για  $t=10000$  s συμπληρώστε τον πίνακα:

	Νερό	Κύβος	Περιβάλλον
$\theta$ (°C)			

10. Στο δεύτερο διάγραμμα για  $t=25000$  s συμπληρώστε πάλι τον πίνακα:

	Νερό	Κύβος	Περιβάλλον
$\theta$ (°C)			



## Β.ΦΥΛΛΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

### Ισόθερμη μεταβολή -Νόμος Boyle

#### Περιγραφή πειράματος:

Οι μαθητές μεταβάλλουν τον όγκο του δοχείου και παρακολουθούν τη μεταβολή πίεσης τόσο με μετρητή, όσο και με γραφική παράσταση P- V, που εξελίσσεται μαζί με το πείραμα. Σε όλη τη διάρκεια του πειράματος δεν μεταβάλλουν τη θερμοκρασία. Το έμβολο είναι κλειδωμένο. Καλούνται:

- (α) να συσχετίσουν την πίεση με τον όγκο  
 (β) να συμπεράνουν την παραγωγή /κατανάλωση έργου συσχετίζοντας την και με την κίνηση του εμβόλου.

#### Οδηγίες:

1. Ανοίξτε το αρχείο «Boyle».
2. Σημειώστε στον παρακάτω πίνακα τις τιμές των μεγεθών: (ανεξάρτητη μεταβλητή V)

	V ( $\times 10^{-3} \text{ m}^3$ )	P ( $\times 10^5 \text{ N/m}^2$ )	T (K)	Q (KJoule)	$\Delta U$ (KJoule)	W (KJoule)
Αρχική κατάσταση	5		300			

3. Πατήστε εκτέλεση του πειράματος.
4. Αυξήστε τον όγκο σε  $30 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ .
5. Συμπληρώστε τον πίνακα με τις νέες τιμές στον πίνακα:

	V ( $\times 10^{-3} \text{ m}^3$ )	P ( $\times 10^5 \text{ N/m}^2$ )	T (K)	Q (KJoule)	$\Delta U$ (KJoule)	W (KJoule)
Τελική κατάσταση	30		300			

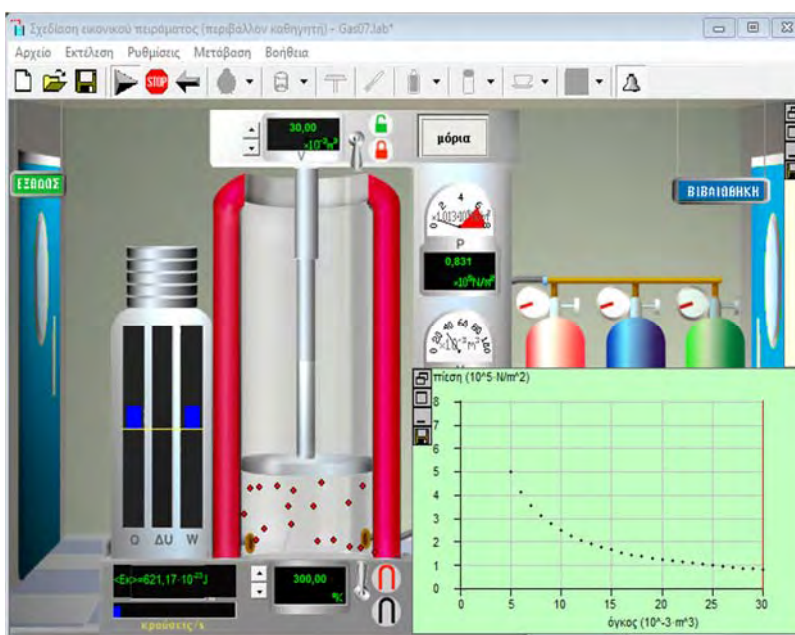
6. Παρατηρήστε την καμπύλη που σχηματίζεται στη γραφική παράσταση P–V. Παρατηρήστε ότι η πίεση P είναι αντιστρόφως ανάλογη της θερμοκρασίας T.

7. Παρατηρήστε τη μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας  $\Delta U$ . Είναι συμβατή με το γεγονός ότι η θερμοκρασία T είναι αμετάβλητη;

8. Τι θα συνέβαινε αν τώρα προσθέτατε 2 mole αερίου στο δοχείο; Παρατηρήστε την καμπύλη p-V. Ποια είναι η σχέση της  $\Delta U$  με τη T;

9. Τελικά, σε μία ισόθερμη μεταβολή, ο 1<sup>ος</sup> Θερμοδυναμικός Νόμος είναι:

$Q = \Delta U + W$ , όπου η θερμότητα Q που προσφέρεται στο αέριο μετατρέπεται σε παραγωγή έργου W, ενώ  $\Delta U=0$ .



## Γ. ΦΥΛΛΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

### Ισόχωρη μεταβολή - Νόμος Charles

#### Περιγραφή πειράματος:

Οι μαθητές μεταβάλλουν τη θερμοκρασία του αερίου και παρακολουθούν τη μεταβολή πίεσης τόσο με μετρητή, όσο και με γραφικές παραστάσεις P- T και P - V που εξελίσσονται μαζί με το πείραμα. Σε όλη τη διάρκεια του πειράματος δεν μεταβάλλουν τον αριθμό των moles του αερίου στο δοχείο ούτε τον όγκο του δοχείου- η θέση του εμβόλου διατηρείται σταθερή. Καλούνται:

- (α) να συσχετίσουν την πίεση με τη θερμοκρασία
- (β) να συμπεράνουν τη μη παραγωγή /κατανάλωση έργου συσχετίζοντάς την και με την ακινησία του εμβόλου.

#### Οδηγίες:

1. Ανοίξτε το αρχείο «Charles».
2. Σημειώστε στον παρακάτω πίνακα τις τιμές των μεγεθών: (ανεξάρτητη μεταβλητή T)

	V (x10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> )	P (x10 <sup>5</sup> N/m <sup>2</sup> )	T (K)	Q (KJoule)	ΔU (KJoule)	W (KJoule)
Αρχική κατάσταση	30		200			

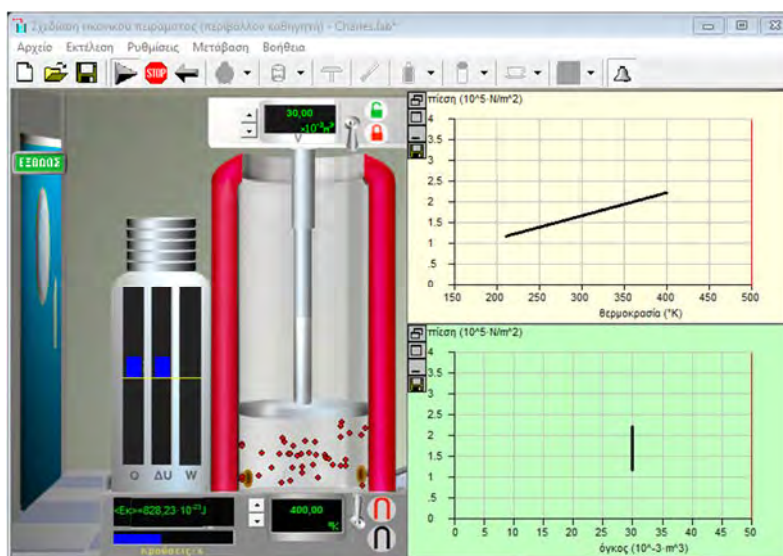
3. Πατήστε εκτέλεση του πειράματος.
4. Ανεβάστε τη θερμοκρασία στους 400 K.
5. Συμπληρώστε τον πίνακα με τις νέες τιμές στον πίνακα:

	V (x10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> )	P (x10 <sup>5</sup> N/m <sup>2</sup> )	T (K)	Q (KJoule)	ΔU (KJoule)	W (KJoule)
Τελική κατάσταση	30		400			

6. Παρατηρήστε τις ευθείες που σχηματίζονται στις γραφικές παραστάσεις P- T και P - V. Παρατηρήστε ότι η πίεση P είναι ανάλογη της θερμοκρασίας T.

7. Ποιο είναι το εμβαδόν του σχήματος στη γραφική παράσταση P - V; Συμφωνεί με την τιμή W που σημειώσατε στον πίνακα;

8. Τελικά, σε μία ισόχωρη μεταβολή, ο 1<sup>ος</sup> Θερμοδυναμικός Νόμος είναι:  
 $Q = \Delta U + W$ , όπου  $W=0$  και ολόκληρη η θερμότητα Q που προσφέρθηκε στο αέριο μετατράπηκε σε αύξηση της εσωτερικής του ενέργειας ΔU.



## Δ.ΦΥΛΛΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

### Ισοβαρής μεταβολή - Νόμος Gay Lussac

#### Περιγραφή πειράματος:

Οι μαθητές μεταβάλλουν τη θερμοκρασία του αερίου και παρακολουθούν τη μεταβολή όγκου τόσο με μετρητή, όσο και με γραφικές παραστάσεις V- T και P - V, που εξελίσσονται μαζί με το πείραμα. Σε όλη τη διάρκεια του πειράματος δεν μεταβάλλουν τον αριθμό των moles του αερίου στο δοχείο ούτε την πίεση – η οποία ισούται με την εξωτερική, καθώς το έμβολο είναι ελεύθερο. Καλούνται:

(α) να συσχετίσουν τον όγκο με τη θερμοκρασία

(β) να συμπεράνουν την παραγωγή /κατανάλωση έργου συσχετίζοντάς την και με την κίνηση του εμβόλου.

#### Οδηγίες:

1. Ανοίξτε το αρχείο «Gay Lussac».

2. Σημειώστε στον παρακάτω πίνακα τις τιμές των μεγεθών: (ανεξάρτητη μεταβλητή T)

	V (x10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> )	P (x10 <sup>5</sup> N/m <sup>2</sup> )	T (K)	Q (KJoule)	ΔU (KJoule)	W (KJoule)
Αρχική κατάσταση		1,013	200			

3. Πατήστε εκτέλεση του πειράματος.

4. Ανεβάστε τη θερμοκρασία στους 400 K.

5. Συμπληρώστε τον πίνακα με τις νέες τιμές στον πίνακα:

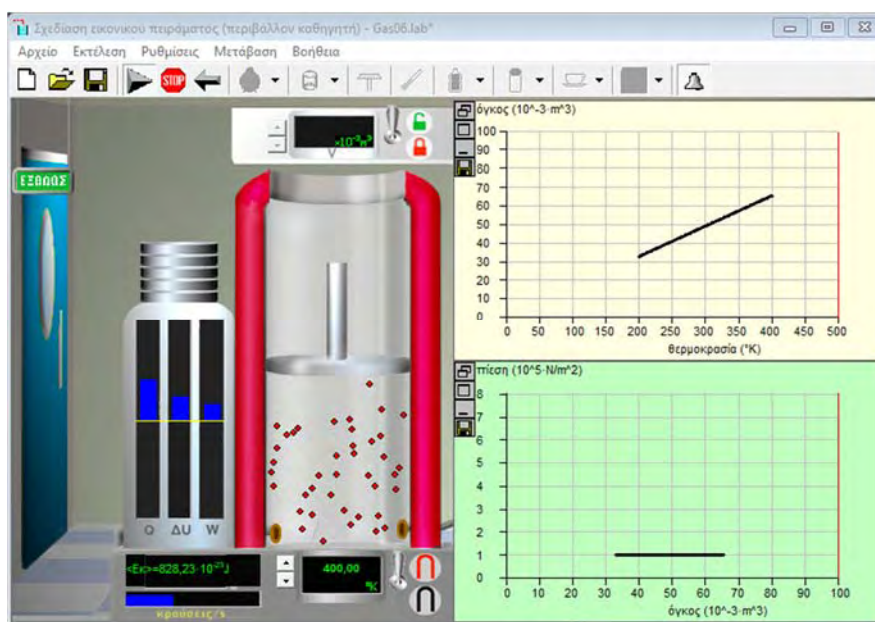
	V (x10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> )	P (x10 <sup>5</sup> N/m <sup>2</sup> )	T (K)	Q (KJoule)	ΔU (KJoule)	W (KJoule)
Τελική κατάσταση		1,013	400			

6. Παρατηρήστε τις ευθείες που σχηματίζονται στις γραφικές παραστάσεις V-T και P-V. Παρατηρήστε ότι η πίεση P είναι ανάλογη της θερμοκρασίας T.

7. Ποιο είναι το εμβαδόν του σχήματος στη γραφική παράσταση P - V; Συμφωνεί με την τιμή W που σημειώσατε στον πίνακα;

8. Τελικά, σε μία ισοβαρή μεταβολή, ο 1<sup>ος</sup> Θερμοδυναμικός Νόμος είναι:

$Q = \Delta U + W$ , όπου η θερμότητα Q που προσφέρεται στο αέριο μετατρέπεται σε αύξηση της εσωτερικής του ενέργειας ΔU και παραγωγή έργου W.



## Ε.ΦΥΛΛΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

### Αδιαβατική μεταβολή

#### Περιγραφή πειράματος:

Οι μαθητές μεταβάλλουν τον όγκο του δοχείου και παρακολουθούν τη μεταβολή πίεσης και θερμοκρασίας τόσο με μετρητές, όσο και με γραφική παράσταση P- V, που εξελίσσεται μαζί με το πείραμα. Σε όλη τη διάρκεια του πειράματος δε μεταβάλλουν τον αριθμό των μολ του αερίου στο δοχείο. Το έμβολο είναι ελεύθερο κατά την εισαγωγή αερίου και έπειτα κλειδωμένο. Καλούνται:

- (α) να συσχετίσουν τις μεταβολές πίεσης και θερμοκρασίας με εκείνες του όγκου
- (β) να παρατηρήσουν το αμετάβλητο της θερμότητας
- (γ) να συμπεράνουν την παραγωγή /κατανάλωση έργου συσχετίζοντάς την και με την κίνηση του εμβόλου.

#### Οδηγίες:

1. Ανοίξτε το αρχείο «Αδιαβατική».
2. Σημειώστε στον παρακάτω πίνακα τις τιμές των μεγεθών: (ανεξάρτητη μεταβλητή V)

	V ( $\times 10^{-3} \text{ m}^3$ )	P ( $\times 10^5 \text{ N/m}^2$ )	T (K)	Q (KJoule)	$\Delta U$ (KJoule)	W (KJoule)
Αρχική κατάσταση	15					

3. Πατήστε εκτέλεση του πειράματος.
4. Αυξήστε τον όγκο σε  $40 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ .
5. Συμπληρώστε τον πίνακα με τις νέες τιμές στον πίνακα:

	V ( $\times 10^{-3} \text{ m}^3$ )	P ( $\times 10^5 \text{ N/m}^2$ )	T (K)	Q (KJoule)	$\Delta U$ (KJoule)	W (KJoule)
Τελική κατάσταση	40					

6. Παρατηρήστε την καμπύλη που σχηματίζεται στη γραφική παράσταση P-V. Συγκρίνετε την κλίση της καμπύλης με εκείνη της ισόθερμης μεταβολής. Γιατί έχει μεγαλύτερη κλίση;

7. Παρατηρήστε ότι  $Q=0$ , διότι το δοχείο έχει αδιαβατικά τοιχώματα.

8. Τελικά, σε μία αδιαβατική μεταβολή, ο 1<sup>ος</sup> Θερμodynamικός Νόμος είναι:  
 $Q = \Delta U + W$ , όπου αφού δεν προσφέρεται θερμότητα Q στο αέριο, η μείωση της εσωτερικής του ενέργειας  $\Delta U$  μετατρέπεται σε παραγωγή έργου W.

