



«Σχολή Θετικών Επιστημών & Τεχνολογίας»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ ΚΑΘΗΓΗΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Κύκλος Carnot: Μεταφορά της επιστημονικής γνώσης στην
εκπαιδευτική διαδικασία»**

Αθανασιάδης Θεοφύλακτος

A.M. 150347

Επιβλέπων καθηγητής Α

ΚΑΠΟΛΟΣ Ι.

Επιβλέπουσα καθηγήτρια Β

ΚΟΛΙΑΔΗΜΑ Α.

Πάτρα, Σεπτέμβριος 2024

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ένθερμα και μέσα από την καρδιά μου τους επιβλέποντες καθηγητές μου, τον κο. Ιωάννη Καπόλο και την κα. Αθανασία Κολιαδήμα. Οι συμβουλές, η συμπαράσταση και οι παρατηρήσεις τους σε όλη τη διάρκεια της χρονιάς ήταν καθοριστικές στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την σύζυγο μου Εύα για την υποστήριξη και την υπομονή που υπέδειξε όλη αυτή την περίοδο.

Τέλος, θα ήθελα να αφιερώσω την παρούσα διπλωματική εργασία στα τρία μου παιδιά Θανάση, Μαρία και Ευμορφία!

Περίληψη

Αυτή η μελέτη διερευνά την αποτελεσματικότητα μιας διδακτικής παρέμβασης που στοχεύει στη βελτίωση της κατανόησης των μαθητών Λυκείου της θερμοδυναμικής, με ιδιαίτερη έμφαση στον κύκλο Carnot. Η παρέμβαση, που εκτείνεται σε έξι διδακτικές ώρες χωρισμένες σε τρεις δίωρες συνεδρίες, σχεδιάστηκε για να αποσαφηνίσει τις θεμελιώδεις θερμοδυναμικές αρχές και να ενισχύσει την κατανόηση των μαθητών του ρόλου του κύκλου Carnot στην αύξηση της απόδοσης του κινητήρα. Ένας πειραματικός σχεδιασμός που περιλάμβανε αξιολογήσεις πριν και μετά την παρέμβαση χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση των αλλαγών στη γνώση, τις στάσεις και την εμπιστοσύνη των μαθητών.

Τα αρχικά ευρήματα από το ερωτηματολόγιο πριν από την παρέμβαση αποκάλυψαν σημαντικές παρανοήσεις και ποικίλα επίπεδα κατανόησης μεταξύ των μαθητών σχετικά με τον Πρώτο και τον Δεύτερο Νόμο της Θερμοδυναμικής, την εντροπία και τις διακρίσεις μεταξύ θερμότητας και έργου. Πολλοί μαθητές ήταν ασαφείς σχετικά με τις ιδιαιτερότητες του κύκλου Carnot και τη θεωρητική του αποτελεσματικότητα. Επιπλέον, οι μαθητές επέδειξαν μικτά επίπεδα ενδιαφέροντος και ενασχόλησης με το θέμα, παράλληλα με μια αξιοσημείωτη έλλειψη εμπιστοσύνης στις ικανότητές τους να κατανοήσουν και να εφαρμόσουν τις θερμοδυναμικές αρχές.

Τα αποτελέσματα μετά την παρέμβαση έδειξαν ουσιαστικές βελτιώσεις στην κατανόηση των βασικών θερμοδυναμικών εννοιών από τους μαθητές. Υπήρξε μια αξιοσημείωτη αύξηση στις σωστές απαντήσεις σε ερωτήσεις σχετικά με τον Δεύτερο Νόμο της Θερμοδυναμικής, τη φύση της εντροπίας και τις φάσεις του κύκλου Carnot. Το ενδιαφέρον των μαθητών για τη θερμοδυναμική και η αναγνώρισή τους για τη συνάφειά της με τις εφαρμογές του πραγματικού κόσμου αυξήθηκε επίσης σημαντικά. Η ενασχόληση με επιστημονικά θέματα εκτός της τάξης βελτιώθηκε και οι μαθητές εξέφρασαν μεγαλύτερη εμπιστοσύνη στην κατανόηση και την εφαρμογή των θερμοδυναμικών αρχών.

Παρά αυτά τα θετικά αποτελέσματα, ορισμένες παρανοήσεις παρέμειναν και ένα μέρος των μαθητών παρέμεινε ουδέτερο ή αβέβαιο για τις ικανότητές του. Η μελέτη προτείνει ότι ενώ η διδακτική παρέμβαση ήταν σε μεγάλο βαθμό επιτυχής, είναι απαραίτητη η συνεχής έμφαση στην ενίσχυση των βασικών εννοιών, στη διαφοροποίηση των

θεωρητικών μοντέλων από τις πρακτικές εφαρμογές και στην παροχή πρόσθετης υποστήριξης και ευκαιριών δέσμευσης.

Η μελλοντική έρευνα θα πρέπει να επικεντρωθεί σε διαχρονικές μελέτες για την παρακολούθηση της διατήρησης της γνώσης, τις συγκριτικές αναλύσεις διαφορετικών μεθοδολογιών διδασκαλίας και την ενσωμάτωση προηγμένων τεχνολογικών εργαλείων στη διδασκαλία. Η αντιμετώπιση συγκεκριμένων παρανοήσεων, η διερεύνηση της μάθησης με τη βοήθεια ομοτίμων και η εξέταση της επιρροής του πολιτιστικού και εκπαιδευτικού υπόβαθρου θα ενισχύσουν περαιτέρω την αποτελεσματικότητα της εκπαίδευσης στη θερμοδυναμική. Αυτή η μελέτη καταδεικνύει ότι οι στοχευμένες εκπαιδευτικές παρεμβάσεις μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά την κατανόηση και την εκτίμηση των μαθητών περίπλοκων επιστημονικών εννοιών όπως η θερμοδυναμική.

Λέξεις Κλειδιά: Θερμοδυναμική Εκπαίδευση, Κύκλος Carnot, Διδακτική Παρέμβαση, Κατανόηση μαθητών, Εννοιολογικές Παρανοήσεις, Εκπαιδευτική Αποτελεσματικότητα

Abstract

This study investigates the effectiveness of a targeted teaching intervention aimed at improving students' understanding of thermodynamics, with a particular focus on the Carnot cycle. The intervention, spanning six teaching hours divided into three two-hour sessions, was designed to clarify fundamental thermodynamic principles and enhance students' comprehension of the Carnot cycle's role in increasing engine efficiency. An experimental design involving pre- and post-intervention evaluations was employed to assess changes in students' knowledge, attitudes, and confidence.

Initial findings from the pre-intervention questionnaire revealed significant misconceptions and varied levels of understanding among students regarding the First and Second Laws of Thermodynamics, entropy, and the distinctions between heat and work. Many students were unclear about the specifics of the Carnot cycle and its theoretical efficiency. Furthermore, students displayed mixed levels of interest and engagement with the subject, alongside a notable lack of confidence in their abilities to understand and apply thermodynamic principles.

Post-intervention results demonstrated substantial improvements in students' comprehension of key thermodynamic concepts. There was a marked increase in correct responses to questions about the Second Law of Thermodynamics, the nature of entropy, and the phases of the Carnot cycle. Students' interest in thermodynamics and their recognition of its relevance to real-world applications also increased significantly. Engagement with scientific topics outside the classroom improved, and students expressed greater confidence in their understanding and application of thermodynamic principles.

Despite these positive outcomes, some misconceptions persisted, and a portion of students remained neutral or unsure about their abilities. The study suggests that while the teaching intervention was largely successful, continued emphasis on reinforcing key concepts, differentiating theoretical models from practical applications, and providing additional support and engagement opportunities is necessary.

Future research should focus on longitudinal studies to track knowledge retention, comparative analyses of different teaching methodologies, and the integration of advanced technological tools in teaching. Addressing specific misconceptions,

exploring peer-assisted learning, and examining the influence of cultural and educational backgrounds will further enhance the effectiveness of thermodynamics education. This study demonstrates that targeted educational interventions can significantly improve students' understanding and appreciation of complex scientific concepts like thermodynamics.

Key Words: Thermodynamics Education, Carnot Cycle, Teaching Intervention, Student Understanding, Conceptual Misconceptions, Educational Effectiveness

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	II
Περίληψη	III
Abstract	V
Συντομογραφίες & Ακρωνύμια	XIII
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	1
1.1 Ιστορικό πλαίσιο της μελέτης	1
1.2 Σκοπός της μελέτης	4
1.3 Ερευνητικά Ερωτήματα	5
1.4 Σημασία της Μελέτης	5
Κεφάλαιο 2: Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	8
2.1 Ιστορική εξέλιξη του κύκλου Carnot	8
2.1.1 Προέλευση και εξέλιξη της έννοιας του κύκλου Carnot	8
2.1.2 Ορόσημα στην ιστορία της θεωρίας των θερμικών μηχανών	10
2.2 Θεμελιώδεις αρχές του κύκλου Carnot	12
2.2.1 Θερμοδυναμικές διεργασίες που διέπουν τον κύκλο Carnot	12
2.2.2 Θεωρητικά όρια απόδοσης	14
2.2.3 Η συνάφεια του κύκλου Carnot στην κατανόηση της μετατροπής ενέργειας	15
2.3 Ο ρόλος του κύκλου Carnot στην πρόοδο της θερμοδυναμικής	18
2.3.1 Ενοποίηση με άλλους θερμοδυναμικούς κύκλους και συστήματα	18
2.4 Ανασκόπηση προηγούμενων εκπαιδευτικών προσεγγίσεων για τη διδασκαλία του κύκλου Carnot	21
2.4.1 Παραδοσιακές μέθοδοι διδασκαλίας και τα αποτελέσματά τους	21
2.4.2 Προκλήσεις και παρανοήσεις στην εκμάθηση της θερμοδυναμικής	24
2.4.3 Συγκριτική ανάλυση εκπαιδευτικών στρατηγικών	27
2.5 Ανάλυση νέων τεχνολογιών και διαδραστικών μεθόδων διδασκαλίας στην επιστημονική εκπαίδευση	31
Διπλωματική εργασία	VII

2.5.1 Επίδραση ψηφιακών εργαλείων και προσομοιώσεων στη διδασκαλία πολύπλοκων εννοιών	35
2.5.2 Μελέτες περίπτωσης επιτυχούς ενσωμάτωσης τεχνολογίας στη θερμοδυναμική εκπαίδευση	39
Κεφάλαιο 3: Σχεδιασμός του Εκπαιδευτικού Υλικού της εργασίας	41
3.1 Γενικά.....	41
3.2 Εκπαιδευτικό Πλαίσιο	42
3.2.1 Πλαίσιο φιλοσοφίας και στόχων.....	42
3.2.2 Πλαίσιο θεωριών μάθησης	44
3.2.3 Άξονες περιεχομένου και διδακτική στρατηγική.....	47
3.3 Οι πυλώνες στήριξης του σχεδιασμού του ΕΥ	49
Κεφάλαιο 4: Διδακτική Παρέμβαση.....	52
4.1 Πρόγραμμα Διδακτικής Παρέμβασης: Κύκλος Carnot	52
Κεφάλαιο 5: Αποτίμηση του Εκπαιδευτικού υλικού.....	62
5.1. Μεθοδολογία Έρευνας.....	62
5.2 Σκοπός της Έρευνας	62
5.3 Ερευνητικά Ερωτήματα	62
5.4 Χρονική περίοδος διεξαγωγής της έρευνας.....	63
5.5 Είδος της Έρευνας	63
5.6 Δειγματοληψία.....	64
5.7 Μέσα Συλλογής Δεδομένων	64
5.8 Περιορισμοί της Έρευνας	64
5.9 Δεοντολογία Έρευνας.....	65
5.10 Ανάλυση Δεδομένων	65
Κεφάλαιο 6: Καταγραφή Αποτελεσμάτων	67
6.1 Pre-lesson Questionnaire	67
6.1.1 Διάσταση 1: Κατανόηση των Θερμοδυναμικών Αρχών (TP)	67
6.1.2 Διάσταση 2: Γνώση της διαδικασίας του κύκλου Carnot (CCP).....	70
Διπλωματική εργασία	VIII

6.1.3 Διάσταση 3: Εφαρμογή του κύκλου Carnot στον πραγματικό κόσμο (CCRW).....	73
6.1.4 Διάσταση 4: Αντίληψη και το ενδιαφέρον των μαθητών για τους επιστημονικούς κλάδους (AESS)	76
6.2 Post-lesson Questionnaire	78
6.2.1 Διάσταση 1: Κατανόηση των Θερμοδυναμικών Αρχών (TP)	78
6.2.2 Διάσταση 2: Γνώση της διαδικασίας του κύκλου Carnot (CCP).....	81
6.2.3 Διάσταση 3: Εφαρμογή του κύκλου Carnot στον πραγματικό κόσμο (CCRW).....	82
6.2.4 Διάσταση 4: Αντίληψη και το ενδιαφέρον των μαθητών για τους επιστημονικούς κλάδους (AESS)	85
6.3 Στατιστική Επεξεργασία Αποτελεσμάτων	87
Συμπεράσματα	91
Προτάσεις για Μελλοντικές Έρευνες	107
Βιβλιογραφικές Αναφορές	110
Παράρτημα.....	120

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Το Μοντέλο ADDIE (Kurt, 2017).....	42
Εικόνα 2: Στόχοι για μια δημοκρατική κουλτούρα (Council of Europe, 2018)	43
Εικόνα 3: Είσοδος στην πλατφόρμα Slack	57
Εικόνα 4: Καταγραφή προσωπικών στοιχείων	58
Εικόνα 5: Προσθήκης ηλεκτρονικού ταχυδρομείου μαθητών	59
Εικόνα 6: Τελική συνομιλία	59

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Απαντήσεις στις ερωτήσεις 11 και 12 του Pre lesson Questionnaire	73
Πίνακας 2: Απαντήσεις στις ερωτήσεις 14 και 15 του Pre-Lesson Questionnaire.....	75
Πίνακας 3: Απαντήσεις στις ερωτήσεις 6,7,8,9,10 του Post-Lesson Questionnaire ...	81
Πίνακας 4: Μέση βαθμολογία ανά διάσταση στα δύο ερωτηματολόγια που διαμοιράστηκαν	87
Πίνακας 5: Αποτελέσματα από τα ζευγαρωμένα δείγματα t-test	89

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Παγκόσμια κατά κεφαλήν κατανάλωση ενέργειας.....	1
Διάγραμμα 2: Γνώσεις περί εντροπίας.....	67
Διάγραμμα 3: Περιγραφή του πρώτου νόμου της θερμοδυναμικής	67
Διάγραμμα 4: Κύρια Διαφορά μεταξύ θερμότητας και έργου στη θερμοδυναμική	68
Διάγραμμα 5: Δεύτερος νόμος της θερμοδυναμικής	68
Διάγραμμα 6: Παράδειγμα αδιαβατικής διεργασίας.....	69
Διάγραμμα 7: Ενέργειες κατά τη φάση της ισοθερμικής διαστολής του κύκλου Carnot	70
Διάγραμμα 8: Κατά τη διάρκεια ποιας φάσης το σύστημα λειτουργεί στο περιβάλλον χωρίς μεταβολή της θερμοκρασίας.....	70
Διάγραμμα 9: Πώς η φάση της αδιαβατικής συμπίεσης επηρεάζει τη θερμοκρασία της ουσίας εργασίας;	71
Διάγραμμα 10: Ποια φάση του κύκλου Carnot συνεπάγεται μείωση του όγκου διατηρώντας σταθερή τη θερμοκρασία;.....	71

Διάγραμμα 11: Γιατί θεωρείται ο κύκλος Carnot ιδανικός;	72
Διάγραμμα 12: Ποια πρόταση περιγράφει καλύτερα την απόδοση ενός κινητήρα Carnot σε σύγκριση με πραγματικούς κινητήρες;	73
Διάγραμμα 13: Σε ποιο είδος τεχνολογίας είναι πιο σχετικός ο κύκλος Carnot;	73
Διάγραμμα 14: Πώς η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της πηγής θερμότητας και της ψυχρής δεξαμενής επηρεάζει την απόδοση του Carnot;.....	74
Διάγραμμα 15: Μια πραγματική θερμική μηχανή λειτουργεί μεταξύ 500 K και 300 K. Ποια είναι η θεωρητική μέγιστη απόδοση;.....	75
Διάγραμμα 16: Γιατί ο κύκλος Carnot δεν είναι πλήρως υλοποιήσιμος σε πρακτικές εφαρμογές;	75
Διάγραμμα 17: Πόσο ενδιαφέρεστε να μάθετε για τη θερμοδυναμική και τις σχετικές έννοιες;.....	76
Διάγραμμα 18: Πόσο σίγουροι είστε για την ικανότητά σας να κατανοείτε και να εφαρμόζετε τις θερμοδυναμικές αρχές;	76
Διάγραμμα 19: Πόσο συχνά ασχολείστε με επιστημονικά θέματα εκτός της τάξης (π.χ. ανάγνωση άρθρων, παρακολούθηση ντοκιμαντέρ);	77
Διάγραμμα 20: Πόσο σχετική πιστεύετε ότι είναι η θερμοδυναμική με τις εφαρμογές και τις τεχνολογίες του πραγματικού κόσμου;	77
Διάγραμμα 21: Πόσο πιθανό είναι να ακολουθήσετε περαιτέρω σπουδές ή καριέρα σε έναν τομέα που σχετίζεται με τη θερμοδυναμική;.....	77
Διάγραμμα 22: Τι υπονοεί ο Δεύτερος Νόμος της Θερμοδυναμικής.....	78
Διάγραμμα 23: Σε τι αναφέρεται ο όρος «σύστημα στη θερμοδυναμική.....	79
Διάγραμμα 24: Η εντροπία είναι σημαντική στη θερμοδυναμική επειδή.....	80
Διάγραμμα 25: Ποια πρόταση αντικατοπτρίζει με ακρίβεια τον Πρώτο Νόμο της Θερμοδυναμικής;.....	80
Διάγραμμα 26: Ισόθερμη διεργασία στη θερμοδυναμική σημαίνει:	80
Διάγραμμα 27: Πώς βοηθά ο κύκλος Carnot στην κατανόηση των περιορισμών των πραγματικών θερμικών μηχανών;.....	82
Διάγραμμα 28: Γιατί οι κινητήρες Carnot θεωρούνται σημαντικοί στη θεωρητική θερμοδυναμική;.....	82
Διάγραμμα 29: Ποια είναι η πρακτική εφαρμογή των αρχών που διδάχθηκαν από τον κύκλο Carnot;.....	83
Διάγραμμα 30: Πώς μπορεί η κατανόηση του κύκλου Carnot να βελτιώσει τη σύγχρονη μηχανική;	83

Διάγραμμα 31: Ποιος παράγοντας είναι κρίσιμος για τη μεγιστοποίηση της απόδοσης μιας θερμικής μηχανής σύμφωνα με τον κύκλο Carnot;	84
Διάγραμμα 32: Μετά το μάθημα, πόσο ενδιαφέρεστε να μάθετε περισσότερα για τη θερμοδυναμική και τις σχετικές έννοιες;	85
Διάγραμμα 33: Πόσο σίγουροι νιώθετε τώρα για την ικανότητά σας να κατανοείτε και να εφαρμόζετε τις θερμοδυναμικές αρχές;	85
Διάγραμμα 34: Πόσο συχνά ασχολείστε τώρα με επιστημονικά θέματα εκτός της τάξης (π.χ. ανάγνωση άρθρων, παρακολούθηση ντοκιμαντέρ);	85
Διάγραμμα 35: Πόσο σχετική πιστεύετε ότι είναι η θερμοδυναμική με τις εφαρμογές και τις τεχνολογίες του πραγματικού κόσμου μετά το μάθημα;	86
Διάγραμμα 36: Πόσο πιθανό είναι να συνεχίσετε περαιτέρω σπουδές ή καριέρα σε έναν τομέα που σχετίζεται με τη θερμοδυναμική μετά από αυτό το μάθημα;	86

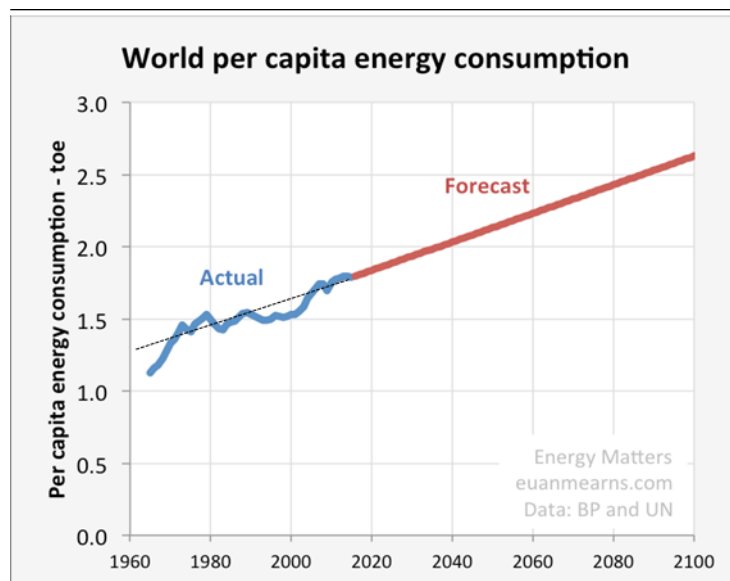
Συντομογραφίες & Ακρωνύμια

EY	Εκπαιδευτικό Υλικό
ΤΠΕ	Τεχνολογίες Πληροφορίας και Επικοινωνίας
ADDIE	Analyze, Design, Develop, Implement, Evaluate
AESS	Attitudes and Engagement with Scientific Subjects
AR	Augmented Reality
CAT	Computer Assisted Teaching
CCP	Carnot Cycle Processes
CCRW	Carnot Cycle in Real-world
COP	Coefficient of Performance
DVD	Digital Video Disc
ES	Experimental Support
MLE	Mobile Learning Engine
MUVE	Multi User Virtual Environments
PAL	Peer Assisted Learning
RS	Reflexive Support
S	Support
TP	Thermodynamic Principles
UNESCO	United Nations Educational Scientific and Cultural Organization
VR	Virtual Reality

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Ιστορικό πλαίσιο της μελέτης

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται ολοένα και μεγαλύτερη παραγωγή και κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, τόσο στις ανεπτυγμένες όσο και στις αναπτυσσόμενες χώρες. Το παρακάτω διάγραμμα δείχνει την παγκόσμια κατά κεφαλήν κατανάλωση ενέργειας τις τρεις τελευταίες δεκαετίες καθώς και τις μελλοντικές τάσεις ως προς αυτό στον κλάδο.



Διάγραμμα 1: Παγκόσμια κατά κεφαλήν κατανάλωση ενέργειας

Πηγή: <https://euanmearns.com/global-energy-forecast-to-2100/>

Το γράφημα εμφανίζει την τροχιά της παγκόσμιας κατά κεφαλήν κατανάλωσης ενέργειας από το 1960 και την προβάλλει μέχρι το έτος 2100 (Mearns, 2018). Η γραμμή που υποδεικνύει την πρόβλεψη, αντιπροσωπεύει μια προβολή που προϋποθέτει συνεχή αύξηση της κατά κεφαλήν κατανάλωσης ενέργειας, προβλέποντας σημαντική αύξηση έως το 2100. Αυτή η πρόβλεψη μπορεί να βασίζεται σε τρέχουσες τάσεις ανάπτυξης και προσδοκίες για τις μελλοντικές ενεργειακές απαιτήσεις λόγω παραγόντων όπως η τεχνολογική ανάπτυξη, η πληθυσμιακή αύξηση και η οικονομική επέκταση. Οι επιπτώσεις μιας τέτοιας πρόβλεψης είναι σημαντικές για τον σχεδιασμό των πόρων, την ενεργειακή πολιτική και την περιβαλλοντική βιωσιμότητα, λαμβάνοντας υπόψη την πιθανή πίεση στους φυσικούς πόρους και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που συνδέονται με την αυξημένη παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας (Mearns, 2018).

Μια άμεση λύση στην τρέχουσα κατάσταση της παγκόσμιας ενεργειακής κρίσης είναι η αύξηση της απόδοσης των θερμικών μηχανών καθώς μπορεί να οδηγήσει περαιτέρω σε μειώσεις των ενεργειακών αποβλήτων και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Με αυτόν τον τρόπο, στοχεύοντας να μιμηθούν την ιδανική απόδοση του κύκλου Carnot στους πρακτικούς σχεδιασμούς των θερμικών μηχανών, οι μηχανικοί και οι επιστήμονες μπορούν να εργαστούν για την ανάπτυξη εξυπνότερων, πιο βιώσιμων ενεργειακών συστημάτων, που στοχεύουν κυρίως στην ελαχιστοποίηση των αρνητικών επιπτώσεων της κατανάλωσης ενέργειας στο περιβάλλον και στην στροφή προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Feidt, 2020). Όσον αφορά το θεωρητικό όριο απόδοσης για τις θερμικές μηχανές, η εξέλιξη των κινητήρων Carnot είναι ακόμη πιο κρίσιμη για την επιτυχή επίλυση της παγκόσμιας ενεργειακής κρίσης, καθώς καθιστά δυνατή τη δημιουργία ενός πρακτικού σημείου αναφοράς για το σχεδιασμό και τη βελτίωση των τεχνολογιών μετατροπής ενέργειας (Feidt, 2020).

Ο κύκλος Carnot, μια θεμελιώδης έννοια στη θερμοδυναμική, αντιπροσωπεύει το ιδανικότερο θεωρητικό όριο απόδοσης στους θερμικούς κινητήρες — το όριο Carnot, συγκεκριμένα, και θέτει ένα ανώτερο όριο της απόδοσης ποσότητας έργου που μπορεί να επιτύχει ένας θερμικός κινητήρας υπό ιδανικές συνθήκες. Το 1824, ο Γάλλος φυσικός Sadi Carnot φαντάστηκε αυτόν τον κύκλο που θεωρείται ένα από τα πιο σημαντικά τμήματα των θερμοδυναμικών συστημάτων και παρέχει βαθιές γνώσεις σχετικά με τη μετατροπή της θερμότητας σε έργο και τους περιορισμούς που εφαρμόζονται από τον δεύτερο θερμοδυναμικό νόμο (Laranjeiras & Portela, 2016).

Η βασική ιδιότητα του κύκλου Carnot είναι μια αναστρέψιμη, υποθετική διεργασία που περιλαμβάνει δύο ισοθερμικές και δύο αδιαβατικές μεταβάσεις που λαμβάνουν χώρα μεταξύ μιας πηγής και ενός απαγωγού θερμότητας, με κύριο στόχο τον καθορισμό ενός ιδανικού προτύπου βάσει του οποίου θα κριθούν οι πραγματικές θερμικές μηχανές (Srinivasan, 2001). Η ιδέα των μηχανών Carnot αποτέλεσε τις βάσεις του 2^{ου} Θερμοδυναμικού νόμου καθώς επίσης εισήγαγε την έννοια της εντροπίας οδηγώντας στην επαναστατική έως τότε αντίληψη ότι υπάρχει αναπόφευκτα ένα άνω όριο για τον μετασχηματισμό της ενέργειας (Srinivasan, 2001).

Ο κύκλος Carnot αποτελεί ένα θεμελιώδες θέμα που καλύπτεται στα μαθήματα φυσικής Λυκείου και επικεντρώνονται στη διδασκαλία της θερμοδυναμικής (Laranjeiras & Portela, 2016). Παίζει καθοριστικό ρόλο στην εξήγηση της ιδέας της

εντροπίας και της επακόλουθης ανάπτυξης του δεύτερου νόμου. Αυτό σημαίνει ότι υψίστης σημασίας αποτελεί επίσης η παροχή της εκπαιδευτικής βάσης που απαιτείται για την κατανόηση του κύκλου Carnot καθώς και άλλων θερμοδυναμικών εννοιών στους μαθητές (Laranjeiras & Portela, 2016). Εκτός από τις θεωρητικές έννοιες, αυτή η μεταφορά θα πρέπει να ενσωματώνει πρακτικές εφαρμογές του κύκλου Carnot στα σύγχρονα τεχνολογικά και περιβαλλοντικά πλαίσια. Είναι μέσω της εισαγωγής νέων τεχνολογιών και διαδραστικών μεθοδολογιών διδασκαλίας που το παιδαγωγικό τοπίο μεταμορφώνεται σήμερα, παρέχοντας την ευκαιρία για παρουσίαση σύνθετων θεμάτων, συμπεριλαμβανομένου του κύκλου Carnot, με ελκυστικό τρόπο.

Ειδικότερα, η εκπαιδευτική διαδικασία υιοθετεί μια πολυδιάστατη προσέγγιση, παρέχοντας μια θεωρητική βάση καθώς και πρακτικά και προσομοιωμένα παραδείγματα, προκειμένου να γεφυρωθεί το χάσμα μεταξύ των αφηρημένων εννοιών και της πραγματικής κατανόησης (Abrams & Middleton, 2016; Ortiz-Revilla et al., 2021). Για να υιοθετηθεί, επομένως, αυτή η προσέγγιση περιλαμβάνει όχι μόνο μια ενδεδειγμένη κατανόηση των αρχών της θερμοδυναμικής αλλά και μια συσσώρευση δεξιοτήτων επίλυσης προβλημάτων που είναι κρίσιμες για την επίλυση τυχόν προβλημάτων διαχείρισης ενέργειας και βιωσιμότητας που μπορεί να προκύψουν στη σημερινή εποχή.

Ως εκ τούτου, η μελέτη του κύκλου Carnot και η χρήση παιδαγωγικών ιδεών για την ευκολότερη κατανόησή του γίνεται ένα ουσιαστικό σημείο τομής μεταξύ της επιστημονικής έρευνας και των εκπαιδευτικών καινοτομιών ανοίγοντας έναν δρόμο για την εύρεση μιας αποτελεσματικής μεθόδου για τη βελτίωση της απόδοσης των θερμικών μηχανών και τη βιώσιμη χρήση των πηγών ενέργειας (Almasri, 2022). Στόχος αυτής της μελέτης είναι η βελτιστοποίηση της κατανόησης της επιστημονικής γνώσης η οποία είναι απαραίτητη για την δημιουργία μιας καλά ενημερωμένης επιστημονικής βάσης που θα οδηγήσει στη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων, την αντιμετώπιση της πρόκλησης του μέλλοντος και την αντιμετώπιση ενός ευρέος φάσματος προκλήσεων στην κοινωνία.

1.2 Σκοπός της μελέτης

Σκοπός αυτής της μελέτης είναι η θεμελίωση των αρχών λειτουργίας των θερμικών μηχανών υιοθετώντας τον κύκλο Carnot ως ένα ισχυρό θεωρητικό εργαλείο για την αύξηση της απόδοσης των κινητήρων. Με αυτό τον τρόπο θα ολοκληρωθεί η σύνδεση μεταξύ της προηγμένης θερμοδυναμικής θεωρίας και των πρακτικών εκπαιδευτικών εφαρμογών με στόχο την κατανόηση της δυναμικής των ενεργειακών συστημάτων της παγκόσμιας ενεργειακής κατάστασης που παραμένει ιδιαίτερα προκλητική. Εξετάζοντας βιβλιογραφικά τον κύκλο του Carnot, θα γίνει προσπάθεια να τοποθετηθεί στο ιστορικό και σύγχρονο επιστημονικό πλαίσιο. Στη συνέχεια, θα αναπτυχθεί η πειραματική προσέγγιση μαζί με την ενεργή και καινοτόμο διδακτική παρέμβαση, η οποία θα αξιοποιεί νέες τεχνολογίες και διαδραστικές μεθοδολογίες, που θα περιλαμβάνουν 6 ώρες διδασκαλίας σε μαθητές δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης.

Επιπλέον, θα πραγματοποιηθεί μια αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας αυτής της διδακτικής παρέμβασης, συγκρίνοντας την απόδοση των μαθητών πριν και μετά από την παρέμβαση με στόχο να ληφθούν ποσοτικά αποτελέσματα σχετικά με την αφομοίωση των εννοιών του κύκλου Carnot. Θα ακολουθήσει ποσοτική ανάλυση των δεδομένων με γνώμονα τη συμβολή των διαδραστικών και υποστηριζόμενων από την τεχνολογία στρατηγικών διδασκαλίας στο επίπεδο κατανόησης και ανάκλησης των εννοιών θερμοδυναμικής από τους μαθητές. Ο τελικός στόχος της μελέτης είναι να αναλύσει διάφορες προσεγγίσεις της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών και να συμβάλει στην παρακίνηση για την δημιουργία κατάλληλων προγραμμάτων σπουδών επιδεικνύοντας τα πρακτικά οφέλη μιας εις βάθος κατανόησης του κύκλου Carnot. Ο σχεδιασμός της έρευνας, που βασίζεται στην πολύπλευρη προσέγγιση του θέματος, θα αντιμετωπίσει σημαντικά το βασικό πρόβλημα της χαμηλής ενεργειακής απόδοσης και θα συμβάλει στον παγκόσμιο διάλογο για την ενεργειακή βιωσιμότητα.

1.3 Ερευνητικά Ερωτήματα

Τα ερευνητικά ερωτήματα που θα καθοδηγήσουν τη μελέτη για τη μεταφορά της επιστημονικής γνώσης του κύκλου Carnot στην εκπαιδευτική διαδικασία είναι τα εξής:

1. Πώς αλλάζει η κατανόηση του κύκλου Carnot μεταξύ των μαθητών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης μετά από μια διαδραστική διδακτική παρέμβαση που χρησιμοποιεί σύγχρονα τεχνολογικά εργαλεία;
2. Με ποιους τρόπους οι νέες τεχνολογίες και οι διαδραστικές μέθοδοι διδασκαλίας επηρεάζουν την ικανότητα των μαθητών να εφαρμόζουν τις έννοιες του κύκλου Carnot σε προβλήματα του πραγματικού κόσμου που σχετίζονται με την ενεργειακή απόδοση και τη βιωσιμότητα;
3. Ποιες είναι οι ιστορικές και σύγχρονες τάσεις στις παιδαγωγικές προσεγγίσεις στη διδασκαλία του κύκλου Carnot και πώς έχουν εξελιχθεί με την έλευση της ψηφιακής τεχνολογίας στον εκπαιδευτικό τομέα;
4. Πώς επηρεάζει η ενσωμάτωση του κύκλου Carnot σε ένα διεπιστημονικό πρόγραμμα σπουδών τη συνολική εκτίμηση και κατανόηση των θερμοδυναμικών αρχών των μαθητών σε σύγκριση με την παραδοσιακή παιδαγωγική ειδική για τον κλάδο;
5. Σε ποιο βαθμό οι βελτιώσεις στην εννοιολογική κατανόηση του κύκλου Carnot μέσω καινοτόμων διδακτικών στρατηγικών συσχετίζονται με τη στάση των μαθητών και την ενασχόλησή τους με επιστημονικά θέματα, ιδιαίτερα τη θερμοδυναμική;

1.4 Σημασία της Μελέτης

Ο στόχος της τρέχουσας ερευνητικής μελέτης είναι υψίστης σημασίας τόσο για την επιστημονική όσο και για την εκπαιδευτική κοινότητα. Η σημασία του κύκλου Carnot ως θερμοδυναμική εξιδανίκευση και ως η βέλτιστη αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης είναι τεράστια, καθώς θέτει το ανώτατο επίπεδο ενεργειακής απόδοσης. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητη η ορθή κατανόηση του κύκλου Carnot, καθώς είναι ένα από τα βασικά σημεία για την ενίσχυση των σημερινών ενεργειακών συστημάτων για να γίνουν πιο περιβαλλοντικά υγιή - ένα αναπόφευκτο ζήτημα όταν αντιμετωπίζουμε το παγκόσμιο ενεργειακό πρόβλημα του αύριο.

Ουσιαστικά αυτή η έρευνα επιχειρεί να ενισχύσει την εκπαιδευτική διαδικασία η οποία βοηθά στην απόκτηση πολύπλοκων επιστημονικών ικανοτήτων. Η ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας και η αυξανόμενη ζήτηση για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας καθιστούν τον εξοπλισμό της επόμενης γενιάς με μια ισχυρή κατανόηση των θερμοδυναμικών αρχών ως την πιο έξυπνη επένδυση στο πλαίσιο των μελλοντικών παγκόσμιων ενεργειακών λύσεων. Αυτή η μελέτη θα εξετάσει πώς η ενσωμάτωση του κύκλου Carnot στα προγράμματα σπουδών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, μέσω διαδραστικών και τεχνολογικά βελτιωμένων μεθόδων διδασκαλίας, μπορεί να βελτιώσει τις δεξιότητες κατανόησης και επίλυσης προβλημάτων των μαθητών σε σχέση με την ενεργειακή απόδοση.

Η σημασία της έρευνας αυτής μπορεί να γίνει κατανοητή με πολλούς τρόπους. Από ακαδημαϊκής άποψης, προσθέτει στη βάση γνώσεων που σχετίζεται με τη νέα προσέγγιση στη διδασκαλία της φυσικής και της μηχανικής. Στοχεύει στον εντοπισμό του τρόπου με τον οποίο τα διαδικτυακά και διαδραστικά μέσα μάθησης βοηθούν στην επίτευξη πιο εστιασμένης δέσμευσης και κατανόησης των μαθητών, παρέχοντας αναλυτικά αποτελέσματα για να τεκμηριωθούν ή να αμφισβητηθούν οι υπάρχουσες πρακτικές μάθησης.

Η μελέτη θα μπορούσε να επηρεάσει έμμεσα τις στρατηγικές και πολιτικές εξοικονόμηση ενέργειας τόσο σε περιβαλλοντικό όσο και σε οικονομικό αντίκτυπο. Μέσω της διδασκαλίας της πολυπλοκότητας της θερμοδυναμικής σε νεαρά μυαλά, οι κοινωνίες δημιουργούν μια γενιά ανθρώπων που υπογραμμίζεται από ένα σώμα εμπειρών ατόμων, επαγγελματιών που βασίζονται στη φυσική και στα μαθηματικά, που θα συμβάλλουν στην επινόηση πιο οικονομικών ενεργειακών τεχνολογιών. Αυτό με τη σειρά του έχει ως αποτέλεσμα τα μειωμένα αποτυπώματα άνθρακα καθώς και πρακτικές κατανάλωσης που είναι πιο βιώσιμες.

Η σημαντικότητα της παρούσας μελέτης έγκειται στην προοπτική της να συνεισφέρει στο να αποκτηθούν αποτελεσματικές στρατηγικές από τους εκπαιδευτικούς για να έχουν την ικανότητα να διδάσκουν σύνθετες έννοιες, εμπλουτίζοντας έτσι το διδακτικό τους ρεπερτόριο και τα αποτελέσματα των μαθητών τους.

Η κριτική σκέψη και οι αναλυτικές δεξιότητες των μαθητών θα ενισχυθούν μέσω της εκμάθησης των βασικών αρχών του κύκλου Carnot καθιστώντας τους πιο ικανούς και

ανταγωνιστικούς. Επιπλέον, οι αξιολογητές της δομής διδασκαλίας μπορούν να επεξεργαστούν τα δεδομένα ώστε να προσαρμοστούν στη διόρθωση του προγράμματος σπουδών και στην κατανομή πόρων για τους μαθητές Λυκείου.

Καθώς η έρευνα για το ενεργειακό δίκτυο αρχίζει να επιτρέπει περαιτέρω άνοδο, οι αρχές του κύκλου Carnot εξακολουθούν να είναι απαραίτητες σε αυτήν την αναζήτηση. Ο τομέας της καινοτομίας δεν μπορεί να εξελιχθεί εάν δεν διερευνηθεί η βέλτιστη μεθοδολογία εκμάθησης των αρχών αυτών.

Εν κατακλείδι, τα ευρήματα της παρούσας έρευνας μπορεί να υπαγορεύουν διαφορετικές προσεγγίσεις μάθησης, μεθόδους διατήρησης του περιβάλλοντος και ολόκληρη τη διάσταση της θερμοδυναμικής κατ' επέκταση. Η μελέτη αυτή επικεντρώνεται στο επίκαιρο πρόβλημα του εγγύς μέλλοντος: πώς να εκπαιδεύσουμε και να προετοιμάσουμε τις νέες γενιές για τον ενεργειακό κόσμο, παρέχοντάς τους τη γνώση και τις δεξιότητες όχι μόνο για να αντιμετωπίσουν την κρίση αλλά και για να βρουν τις καλύτερες λύσεις σε αυτήν. Τα αποτελέσματα αναμένεται να είναι καθοριστικά για την επίτευξη ενός στόχου για την εκπαίδευση του κοινού σχετικά με την επιστήμη, την ανάπτυξη του κοινού με νέες επιστημονικές δεξιότητες και τη βοήθεια στον αγώνα για βιώσιμη ενέργεια.

Κεφάλαιο 2: Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1 Ιστορική εξέλιξη του κύκλου Carnot

2.1.1 Προέλευση και εξέλιξη της έννοιας του κύκλου Carnot

Όπως προαναφέρθηκε ο κύκλος Carnot, σχεδιάστηκε από τον Γάλλο μηχανικό Sadi Carnot το 1824 (Mendoza, 2019). Η εκτενής αναφορά του φυσικού Carnot στην κινητήρια δύναμη της θερμότητας με τίτλο "Réflexions sur la Puissance Motrice du Feu" δημιούργησε τη βάση για τον δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής και άλλαξε την οπτική των ανθρώπων απέναντι στις θερμικές μηχανές. Για τη διερεύνηση της πρόβλεψης του κύκλου Carnot, είναι σημαντικό να εξεταστεί το επιστημονικό πλαίσιο της εποχής του Carnot, η συμβολή του και οι επακόλουθες ανακαλύψεις που φώτισαν και διεύρυναν το όραμά του (Mendoza, 2019).

Στο πρώτο μισό του 19ου αιώνα, η θερμιδική θεωρία (caloric theory) ήταν αυτή που κυριαρχούσε αναφορικά με τη μελέτη της θερμότητας, και όριζε τη θερμότητα ως ένα άφθαρτο υγρό (με το όνομα θερμιδική) (Dixit et al., 2016). Η θεωρία αυτή, παρά το γεγονός ότι δεν ήταν σωστή, ενθάρρυνε τις έρευνες για τη φύση της θερμότητας και τη σύνδεσή της με τη μηχανική. Στην έρευνά του, ο Carnot εστίασε στη βελτιστοποίηση του τρόπου με τον οποίο η θερμότητα θα μπορούσε δυνητικά να μετατραπεί σε μηχανική εργασία (Dixit et al., 2016).

Η κριτική διορατικότητα του Carnot ήταν η αναγνώριση ότι η απόδοση μιας θερμικής μηχανής δεν εξαρτάται από την λειτουργική ουσία αλλά από τις θερμοκρασίες της πηγής θερμότητας και του απορροφητήρα θερμότητας (Bera et al., 2022). Εισήγαγε την έννοια ενός αναστρέψιμου κύκλου, που τώρα είναι γνωστός ως κύκλος Carnot, ο οποίος αποτελείται από δύο ισοθερμικές διεργασίες και δύο αδιαβατικές διεργασίες (Bera et al., 2022). Σύμφωνα με τον ίδιο, κατά την ισοθερμική διαστολή, η υποθετική αυτή ουσία απορροφά θερμότητα από την πηγή υψηλής θερμοκρασίας και παράγει έργο. Ακολουθεί η αδιαβατική διαστολή, όπου η ουσία συνεχίζει να παράγει έργο χωρίς εναλλαγή θερμότητας, οδηγώντας σε πτώση της θερμοκρασίας. Στη συνέχεια, κατά τη διάρκεια της ισοθερμικής συμπίεσης, η ουσία απελευθερώνει θερμότητα στον απορροφητήρα χαμηλής θερμοκρασίας ενώ παράγεται έργο σε αυτόν. Τέλος, η

αδιαβατική συμπίεση επαναφέρει την ουσία στην αρχική της κατάσταση χωρίς εναλλαγή θερμότητας (Bera et al., 2022).

Το έργο του Carnot αρχικά υπόκεινται στην περιφρόνηση των συναδέλφων επιστημόνων, ωστόσο, λόγω της μεταγενέστερης εργασίας των Clausius και William Thomson (Λόρδος Kelvin αργότερα), κέρδισε τελικά την αναγνώριση (Charles Coulston Gillispie & Pisano, 2013). Στη δεκαετία του 1850, ο Clausius εισήγαγε την ιδέα της εντροπίας και αναδιτάξε την αρχή του Carnot και σε αυτή τη βάση, θεσπίστηκε τελικά ο δεύτερος νόμος της θερμοδυναμικής. Το έργο του Clausius υπογράμμισε τη μη αναστρέψιμη φύση των πραγματικών διεργασιών και έθεσε τα θεμέλια για τη σύγχρονη θερμοδυναμική. Ο Thompson, αντιθέτως, έλαβε υπόψη την κλίμακα της απόλυτης θερμοκρασίας και εξήγησε με περισσότερες λεπτομέρειες τους νόμους που διέπουν τις θερμικές μηχανές (Charles Coulston Gillispie & Pisano, 2013).

Η εξελικτική πορεία του κύκλου Carnot οδήγησε στην εμφάνιση της στατιστικής μηχανικής στα τέλη του 19ου και στις αρχές του 20ου αιώνα (Charles Coulston Gillispie & Pisano, 2013). Από τον Ludwig Boltzmann και τον Josiah Willard Gibbs, προέκυψε μια μοριακή εξήγηση των θερμοδυναμικών μεγεθών συνδέοντας τους μακροσκοπικούς νόμους με τον μικρόκοσμο. Αυτή η στατιστική προσέγγιση προσέφερε βαθύτερες γνώσεις σχετικά με τους περιορισμούς που επιβάλλονται από τον δεύτερο θερμοδυναμικό νόμο και την εγγενή αναποτελεσματικότητα σε διαδικασίες του πραγματικού κόσμου (Charles Coulston Gillispie & Pisano, 2013).

Τον 20ο αιώνα, ο προσδιορισμός της απόδοσης της θερμικής μηχανής του κύκλου Carnot εφαρμόστηκε περισσότερο σε πολλούς τομείς εκτός από τις ατμομηχανές (Knuuttila & Boon, 2011). Οι τεχνολογικές ανακαλύψεις που βασίστηκαν στην κβαντική μηχανική και η γενικότερη πρόοδος της επιστήμης κατέστησαν δυνατές καινοτομίες στην ψύξη, την παραγωγή ενέργειας, ακόμα και τη θεωρία των πληροφοριών. Για παράδειγμα, η έννοια του αναστρέψιμου υπολογισμού, εμπνευσμένη από τις ιδέες του Carnot, έχει επιπτώσεις στη μείωση της διασποράς ενέργειας στα ψηφιακά κυκλώματα (Knuuttila & Boon, 2011).

Ο κύκλος Carnot όχι μόνο επιτρέπει την κατανόηση των θεμελιωδών ορίων για τις διαδικασίες μετατροπής ενέργειας, αλλά παίζει και το ρόλο ενός εκπαιδευτικού εργαλείου (Knuuttila & Boon, 2011). Υπό αυτή την έννοια, ο ιδανικός χαρακτήρας του

χρησιμοποιεί για τη μέτρηση των πραγματικών κινητήρων υπογραμμίζοντας τη σημασία της ελαχιστοποίησης των μη αναστρέψιμων διαδικασιών με στόχο την προσέγγιση της μέγιστης απόδοσης. Εκτός από την παροχή μιας απλής ερμηνείας σε μαθητές γυμνασίου και φοιτητές, αυτή η συνάφεια καλύπτει ένα ευρύ φάσμα πεδίων, όπως η περιβαλλοντική επιστήμη. Αυτό το πεδίο χρησιμοποιεί τον κύκλο για το σχεδιασμό βιώσιμων ενεργειακών συστημάτων καθώς και για τη μελέτη θερμικών διεργασιών στα φυσικά περιβάλλοντα και τα ανθρωπογενή οικοσυστήματα (Charles Coulston Gillispie & Pisano, 2013).

2.1.2 Ορόσημα στην ιστορία της θεωρίας των θερμικών μηχανών

Η ανάπτυξη της θεωρίας των θερμικών μηχανών έχει υποστεί μια σειρά από ανακαλύψεις και έχει τεράστια συμβολή στη μελέτη της γνώσης της θερμοδυναμικής. Από τις πρώτες εννοιολογήσεις της θερμότητας και του έργου έως την ανάπτυξη εξελιγμένων θεωρητικών πλαισίων, κάθε ορόσημο συνέβαλε στην εξέλιξη των θερμικών μηχανών και των εφαρμογών τους σε διάφορους τομείς.

Ο Γάλλος φυσικός Denis Papin συνέβαλε σημαντικά στην θεωρία των θερμικών μηχανών στα τέλη του 17ου αιώνα. Η εφεύρεση ενός ατμομάγειρα (πρώιμη έκδοση της χύτρας ταχύτητας) από τον Papin βοήθησε να συλληφθεί η μεταγενέστερη ιδέα της ατμομηχανής. Αν και τα μοντέλα του απέτυχαν να υιοθετηθούν σε μεγάλη κλίμακα, έπαιξαν ζωτικό ρόλο στις μελλοντικές καινοτομίες της ατμοηλεκτρικής ενέργειας (Storni, 2021).

Η γέννηση της εποχής των ατμομηχανών (αρχές 18^{ου} αι.), έχει ως ορόσημο την εμφάνιση της σύγχρονης ατμομηχανής από τον Άγγλο εφευρέτη, Thomas Newcomen (Kanefsky & Robey, 1980). Η μηχανή Newcomen, η οποία χρησιμοποιήθηκε κυρίως στην εξορυκτική δραστηριότητα για την άντληση νερού από ορυχεία, λειτουργούσε με ατμοσφαιρική πίεση και ήταν σχετικά αναποτελεσματική. Αν και σηματοδότησε ένα ορόσημο στην εκμετάλλευση της ατμοσφαιρικής ενέργειας για την εκτέλεση μηχανικών διεργασιών, δεν μπορούσε να εφαρμοστεί παντού (Kanefsky & Robey, 1980).

Ο James Watt πρόσθεσε το λιθαράκι του στη λίστα με τα σημαντικά ορόσημα που καταγράφουν οι βελτιώσεις της ατμομηχανής στα τέλη του 18ου αιώνα (Hahn, 2021). Ο Watt δημιούργησε τον ξεχωριστό συμπυκνωτή ο οποίος επέτρεψε μια τεράστια

βελτίωση των ατμομηχανών μειώνοντας σημαντικά τις απώλειες ενέργειας. Χάρη στις εφευρέσεις του, οι ατμομηχανές μετατράπηκαν από ανέφικτες για πολλές βιομηχανικές εργασίες σε αυτές που θα μπορούσαν πραγματικά να χρησιμοποιηθούν μέρα με τη μέρα, ξεκινώντας έτσι τη βιομηχανική επανάσταση (Hahn, 2021).

Το 1807, άρχισε να διερευνάται η αρχή της διατήρησης της ενέργειας και το 1824, ο κύκλος Carnot εισήχθη ως το θεμέλιο της θεωρίας των θερμικών μηχανών. Το 1824, ο Sadi Carnot δημοσίευσε το θεμελιώδες έργο του, "Réflexions sur la Puissance Motrice du Feu", στο οποίο εισήγαγε τον κύκλο Carnot όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως (Cahan, 2011).

Στις αρχές του 20ου αιώνα, η κβαντομηχανική σε συνδυασμό με την επέκταση της επιστήμης των υλικών επέφεραν θεμελιώδεις παραλλαγές στην κατασκευή θερμικών κινητήρων (Denzler & Lutz, 2021). Η κβαντομηχανική, αν μη τι άλλο, εισήγαγε την ανάγκη για μια πιο ακριβή περιγραφή της συμμετοχής των σωματιδίων σε μικροσκοπική κλίμακα επηρεάζοντας το σχεδιασμό και τη βελτιστοποίηση των σύγχρονων μηχανών θερμότητας. Η ανακάλυψη καινοτομιών όπως η ανάπτυξη των κινητήρων εσωτερικής καύσης, καθώς και οι αεριοστρόβιλοι και οι ψυκτικοί κύκλοι επέτρεψαν πολλές διαφορετικές εφαρμογές των θερμικών κινητήρων στις μεταφορές, την παραγωγή ενέργειας και τον έλεγχο του κλίματος (Denzler & Lutz, 2021).

Συμπληρωματικά, η θεωρία της πληροφορίας έδωσε στους υπολογιστές μια νέα κατεύθυνση στην εισαγωγή της ιδέας της αναστρέψιμης υπολογιστικής καθώς και του ενεργειακά αποδοτικού υπολογισμού. Δημιουργήθηκαν λόγω θερμοδυναμικών εννοιών, και αποσκοπούσαν στην ελαχιστοποίηση της διάχυσης ενέργειας στα ψηφιακά κυκλώματα, αναδεικνύοντας τις ευρύτερες επιπτώσεις της θεωρίας των θερμικών μηχανών πέρα από τις παραδοσιακές μηχανολογικές εφαρμογές (Irek Ulidowski et al., 2020).

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, η αναδυόμενη τάση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας από την ανάγκη για βιωσιμότητα οδήγησε στη μελέτη νέων ιδεών για θερμικούς κινητήρες όπως αυτοί που βασίζονται στην ηλιακή θερμική ενέργεια και στους κινητήρες χαμηλής θερμοκρασίας. Οι νέες εφευρέσεις προορίζονται για τη βελτιστοποιημένη εκμετάλλευση όχι μόνο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, αλλά

και την ελαχιστοποίηση της αρνητικής απόδοσης κατά τον μετασχηματισμό της ενέργειας (Tesfaye & Poeje, 2021).

2.2 Θεμελιώδεις αρχές του κύκλου Carnot

2.2.1 Θερμοδυναμικές διεργασίες που διέπουν τον κύκλο Carnot

Ο κύκλος Carnot, γνωστός για τις βάσεις του στη θεωρητική θερμοδυναμική, αποτελείται από τέσσερα διακριτά βήματα που αποτελούν τη βάση της λειτουργίας μιας εξιδανικευμένης θερμικής μηχανής. Αυτές οι διεργασίες είναι δύο ισοθερμικές διεργασίες που ακολουθούνται από δύο αδιαβατικές διεργασίες που διατάσσονται από τη διαδικασία μετατροπής θερμότητας με τη «υψηλότερη» απόδοση στη «χαμηλότερη». Η γνώση αυτών των φαινομένων είναι ζωτικής σημασίας για την πραγματοποίηση του σημείου εκκίνησης των ενεργών ανταλλαγών θερμότητας του κύκλου Carnot, και επομένως για την κατανόηση των θεμελιωδών αρχών της θερμοδυναμικής (Saggion et al., 2019; Hentschke, 2022; Astarita, 1989; Shell, 2015).

Η πρώτη διαδικασία στον κύκλο Carnot είναι η ισοθερμική διαστολή. Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης, η ουσία εργασίας (συντά μοντελοποιημένη ως ιδανικό αέριο) έρχεται σε επαφή με μια δεξαμενή θερμότητας υψηλής θερμοκρασίας. Η θερμοκρασία της ουσίας εργασίας διατηρείται σε σταθερό επίπεδο T_H (τη θερμοκρασία της δεξαμενής θερμότητας) καθώς απορροφά θερμότητα Q_H από τη δεξαμενή. Δεδομένου ότι η διεργασία είναι ισοθερμική, η εσωτερική ενέργεια του αερίου δεν αλλάζει και όλη η απορροφούμενη θερμότητα μετατρέπεται σε έργο που εκτελείται από το αέριο στο περιβάλλον του. Μαθηματικά, το δαπανώμενο έργο W_{12} κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας μπορεί να εκφραστεί χρησιμοποιώντας τον νόμο του ιδανικού αερίου και τον ορισμό του έργου στη θερμοδυναμική (Saggion et al., 2019; Hentschke, 2022):

$$W_{12} = Q_H = nRT_H \ln \frac{V_2}{V_1} = nRT_H \ln \frac{P_1}{P_2}$$

Όπου n είναι ο αριθμός των γραμμομορίων του αερίου, R είναι η καθολική σταθερά των αερίων, V_1 και V_2 είναι ο αρχικός και ο τελικός όγκος του αερίου και P_1 και P_2 είναι η αρχική και η τελική πίεση του αερίου, αντίστοιχα.

Η δεύτερη διαδικασία είναι η αδιαβατική διαστολή. Σε αυτή τη φάση, η ουσία εργασίας είναι θερμικά μονωμένη, που σημαίνει ότι δεν πραγματοποιείται ανταλλαγή

θερμότητας με το περιβάλλον ($Q=0$). Καθώς το αέριο συνεχίζει να διαστέλλεται, παράγει έργο στο περιβάλλον του, προκαλώντας πτώση της θερμοκρασίας του T_H στη χαμηλότερη θερμοκρασία T_C . Το έργο που παράχθηκε κατά τη διάρκεια αυτής της αδιαβατικής διαδικασίας W_{23} μπορεί να προσδιοριστεί χρησιμοποιώντας τη σχέση μεταξύ πίεσης, όγκου και θερμοκρασίας σε μια αδιαβατική διεργασία για ένα ιδανικό αέριο (Hentschke, 2022; Shell, 2015):

$$T_H V_2^{\gamma-1} = T_C V_3^{\gamma-1}$$

Όπου γ είναι ο λόγος θερμοχωρητικότητας (C_p / C_v) και V_3 είναι ο όγκος μετά την αδιαβατική διαστολή. Αντίστοιχα, από την καταστατική εξίσωση των αερίων η παραπάνω εξίσωση μπορεί να πάρει τη μορφή (Saggion et al., 2019; Hentschke, 2022; Shell, 2015):

$$P_2 V_2^\gamma = P_3 V_3^\gamma \text{ ή } P_2^{-(\gamma-1)} T_H^\gamma = P_3^{-(\gamma-1)} T_C^\gamma$$

Όπου P_3 η πίεση μετά την αδιαβατική διαστολή.

Η τρίτη διαδικασία είναι η ισοθερμική συμπίεση. Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης, η ουσία εργασίας έρχεται σε επαφή με μια δεξαμενή θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας σε θερμοκρασία T_C . Το αέριο συμπιέζεται ισοθερμικά, που σημαίνει ότι η θερμοκρασία του παραμένει σταθερή στο T_C και απελευθερώνει θερμότητα Q_C στην ψυχρή δεξαμενή. Το έργο W_{34} που παράχθηκε στο αέριο κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας είναι (Hentschke, 2022; Astarita, 1989):

$$W_{34} = Q_C = nRT_C \ln \frac{V_4}{V_3} = nRT_C \ln \frac{P_3}{P_4}$$

Η τέταρτη και τελευταία διαδικασία είναι η αδιαβατική συμπίεση. Σε αυτή τη φάση, η ουσία εργασίας είναι και πάλι θερμικά μονωμένη, αποτρέποντας οποιαδήποτε ανταλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον. Το αέριο συμπιέζεται καταναλώνοντας έργο, με αποτέλεσμα η θερμοκρασία του να αυξάνεται από T_C πίσω στο T_H . Το έργο W_{41} που καταναλώθηκε κατά τη διάρκεια αυτής της αδιαβατικής διαδικασίας μπορεί να περιγραφεί χρησιμοποιώντας την ίδια αδιαβατική σχέση όπως πριν (Hentschke, 2022; Shell, 2015):

$$T_C V_4^{\gamma-1} = T_H V_1^{\gamma-1}$$

Συνδυάζοντας αυτές τις διαδικασίες, ο κύκλος Carnot λειτουργεί ως ένα εξιδανικευμένο μοντέλο θερμικής μηχανής, επιτυγχάνοντας μέγιστη απόδοση ελαχιστοποιώντας την παραγωγή εντροπίας και αποφεύγοντας μη αναστρέψιμες απώλειες. Το συνολικό έργο W που καταναλώνεται από τον κινητήρα Carnot σε έναν πλήρη κύκλο είναι το άθροισμα του έργου που αντιστοιχεί στην κάθε μεμονωμένη διαδικασία (Saggion et al., 2019; Hentschke, 2022; Astarita, 1989; Shell, 2015):

$$W = W_{12} + W_{23} + W_{34} + W_{41}$$

Η απόδοση η του κύκλου Carnot δίνεται από τον λόγο της καθαρής παραγωγής έργου προς την εισερχόμενη θερμότητα στην υψηλή θερμοκρασία (Saggion et al., 2019; Hentschke, 2022; Astarita, 1989; Shell, 2015):

$$\eta = \frac{W}{Q_H} = \frac{Q_H - Q_C}{Q_H} = 1 - \frac{T_C}{T_H}$$

Αυτή η έκφραση υπογραμμίζει το θεμελιώδες όριο που επιβάλλει ο δεύτερος νόμος της θερμοδυναμικής στην απόδοση οποιασδήποτε θερμικής μηχανής, τονίζοντας ότι κανένας πραγματικός κινητήρας δεν μπορεί να ξεπεράσει την απόδοση ενός κινητήρα Carnot που λειτουργεί μεταξύ των ίδιων δύο θερμοκρασιών.

2.2.2 Θεωρητικά όρια απόδοσης

Η απόδοση Carnot θέτει το θεωρητικό ανώτατο όριο για την απόδοση οποιασδήποτε θερμικής μηχανής που λειτουργεί μεταξύ δύο δεδομένων θερμοκρασιών. Ωστόσο, δεν υπάρχει κινητήρας που να μπορεί να ξεπεράσει αυτήν την απόδοση λόγω της έλλειψης αντιστρεψιμότητας και ιδανικότητας σε πραγματικές διαδικασίες. Τα κύρια αποτελέσματα της απόδοσης του Carnot περιλαμβάνουν:

Μέγιστη απόδοση: Η απόδοση πλησιάζει το 100% μόνο εάν η θερμοκρασία της ψυχρής δεξαμενής T_C πλησιάζει το απόλυτο μηδέν (0 K), το οποίο είναι πρακτικά

ανέφικτο. Έτσι, κάθε πραγματικός κινητήρας θα έχει απόδοση μικρότερη από 1 (Bera et al., 2021).

Εξάρτηση από τη διαφορά θερμοκρασίας: Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της πηγής θερμότητας και της ψυχρής δεξαμενής ($T_H - T_C$) τόσο μεγαλύτερη είναι η απόδοση. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο οι κινητήρες υψηλής θερμοκρασίας, όπως αυτοί που χρησιμοποιούνται στα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας, είναι πιο αποδοτικοί από τους κινητήρες χαμηλής θερμοκρασίας (Abiuso & Perarnau-Llobet, 2019).

Αναστρεψιμότητα: Ο κύκλος Carnot είναι ένας εξιδανικευμένος κύκλος που αποτελείται από αναστρέψιμες διεργασίες. Οποιαδήποτε απόκλιση από την αντιστρεψιμότητα, όπως η τριβή, οι αναταράξεις ή η μη ιδανική συμπεριφορά του αερίου, μειώνει την απόδοση των πραγματικών κινητήρων (Selçuk Çakmak & Ferdi Altintas, 2021).

Συμπερασματικά, η μαθηματική διατύπωση του κύκλου Carnot παρέχει ένα σαφές πλαίσιο για την κατανόηση των ιδανικών ορίων απόδοσης θερμικής μηχανής. Η εξίσωση της απόδοσης

$$\eta = 1 - \frac{T_C}{T_H}$$

ενσωματώνει τον θεμελιώδη περιορισμό που επιβάλλει ο δεύτερος νόμος της θερμοδυναμικής, δίνοντας έμφαση στους εγγενείς περιορισμούς των διαδικασιών μετατροπής ενέργειας.

2.2.3 Η συνάφεια του κύκλου Carnot στην κατανόηση της μετατροπής ενέργειας

Η θεωρητική απόδοση του κύκλου Carnot υπογραμμίζει ότι η πλήρης μετατροπή της θερμότητας σε έργο είναι αδύνατη εκτός εάν η ψυχρή δεξαμενή βρίσκεται στο απόλυτο μηδέν, μια κατάσταση ανέφικτη (Oladimeji et al., 2024).

- Ιδανικό σημείο αναφοράς για πραγματικούς κινητήρες

Στην πράξη, ο κύκλος Carnot είναι στην πραγματικότητα ένα ιδανικό μοντέλο, το οποίο οι μηχανικοί και οι επιστήμονες εφαρμόζουν για την παρακολούθηση της πραγματικής απόδοσης των μηχανών θερμότητας (Denzler & Lutz, 2021). Παρά το γεγονός ότι

κανένας κινητήρας δεν μπορεί να πραγματοποιήσει αναστρέψιμες διαδικασίες στην εντέλεια και να αποφύγει την παραγωγή εντροπίας όπως στον κύκλο Carnot, η αρχή του κύκλου χρησιμοποιείται για την κατασκευή όλο και πιο αποδοτικών κινητήρων. Οι μηχανικοί έχουν τη δυνατότητα να δημιουργούν συστήματα που πλησιάζουν τη μέγιστη αποτελεσματικότητα που δηλώνει ο κύκλος Carnot μέσω της ελαχιστοποίησης της μη αναστρεψιμότητας (όπως η τριβή, οι αναταράξεις και η απώλεια θερμότητας) (Denzler & Lutz, 2021). Η τελειοποίηση των σύγχρονων κινητήρων εσωτερικής καύσης, των ατμοστρόβιλων καθώς και των συστημάτων ψύξης έγινε με στόχο να δημιουργηθούν συστήματα τόσο αποτελεσματικά όσο ο κύκλος Carnot (Denzler & Lutz, 2021).

- Βελτιστοποίηση και Καινοτομία στο Σχεδιασμό Κινητήρα

Οι γνώσεις του κύκλου Carnot σχετικά με τη σχέση μεταξύ των διαφορών θερμοκρασίας και της απόδοσης οδηγούν στην καινοτομία για τον σχεδιασμό των κινητήρων και των μονάδων παραγωγής ενέργειας. Οι υψηλότερες διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ της πηγής θερμότητας και της ψυχρής δεξαμενής οδηγούν σε μεγαλύτερη απόδοση, προκαλώντας την ανάπτυξη υλικών και τεχνολογιών ικανών να αντέχουν σε ακραίες θερμοκρασίες (Chen et al., 2021). Για παράδειγμα, οι προηγμένοι αεριοστρόβιλοι και τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνδυασμένου κύκλου λειτουργούν σε υψηλότερες θερμοκρασίες για την επίτευξη καλύτερης απόδοσης, εμπνευσμένοι από τις θεωρητικές αρχές του κύκλου Carnot. Αυτή η εστίαση στη μεγιστοποίηση των διαφορών θερμοκρασίας κατά τη διαχείριση πρακτικών περιορισμών είναι μια άμεση εφαρμογή των γνώσεων του κύκλου Carnot (Chen et al., 2021).

- Ευρύτερες επιπτώσεις για την ενεργειακή πολιτική και την αειφορία

Εκτός από την μηχανολογία και την ηλεκτρική μηχανική, ο κύκλος Carnot επηρέασε την ενεργειακή πολιτική και την αειφορία που εφαρμόζονται στις δημόσιες ή επιχειρηματικές πολιτικές. Η κατανόηση των ορίων απόδοσης της θερμικής μηχανής είναι ένα κρίσιμο ζήτημα αναφορικά με την ανάπτυξη βιώσιμων ενεργειακών συστημάτων. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η θερμική ενέργεια που αξιοποιείται από τον ήλιο και η γεωθερμική ενέργεια, ακολουθούν τους κανόνες θερμικής μετατροπής και απόδοσης (Cho et al., 2020). Ο κύκλος Carnot μπορεί να είναι

καλό μοντέλο για την εκτίμηση όλων των πιθανών τρόπων καθώς και των ορίων αυτών των τεχνολογιών. Μπορεί επίσης να αποτελέσει έμπνευση για χρηματοδότηση και έρευνες προς εκείνες τις κατευθύνσεις που μπορούν να προσφέρουν το καλύτερο αποτέλεσμα και τις χαμηλότερες δυνατές οικολογικές επιπτώσεις (Cho et al., 2020).

Είναι σημαντικό το γεγονός ότι μέσα από τη μεγιστοποίηση της απόδοσης στην πραγματικότητα δόθηκε έμφαση όχι μόνο στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας αλλά και στην ελαχιστοποίηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και στην υποχώρηση της κλιματικής αλλαγής. Είτε πρόκειται για τα κέρδη στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας, της βιομηχανίας ή της ηλεκτρικής ενέργειας, ενδέχεται να μειωθεί η κατανάλωση καυσίμου και οι εκπομπές ρύπων με αποτέλεσμα την αναβάθμιση των κινητήρων θερμότητας. Αυτό συνάδει με το γεγονός ότι οι παγκόσμιες επιχειρήσεις έχουν δεσμευτεί να χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και να επιτύχουν τους κλιματικούς στόχους (Cho et al., 2020).

- Εκπαιδευτική και Εννοιολογική Σαφήνεια

Ο κύκλος Carnot διαδραματίζει επίσης κρίσιμο εκπαιδευτικό ρόλο, προσφέροντας έναν σαφή και συναρπαστικό τρόπο εισαγωγής των σπουδαστών και των ερευνητών στις θεμελιώδεις έννοιες της θερμοδυναμικής (Smith et al., 2015). Η εξιδανικευμένη φύση του το καθιστά χρήσιμο παιδαγωγικό εργαλείο για την εξήγηση σύνθετων ιδεών όπως η εντροπία, η αντιστρεψιμότητα και ο δεύτερος νόμος της θερμοδυναμικής. Μελετώντας τον κύκλο Carnot, οι μαθητές αποκτούν μια βαθύτερη κατανόηση των θεωρητικών ορίων της μετατροπής ενέργειας και των πρακτικών προκλήσεων στην προσέγγιση αυτών των ορίων (Smith et al., 2015).

- Επιπτώσεις στις αναδυόμενες τεχνολογίες

Τέλος, η συνάφεια του κύκλου Carnot επεκτείνεται σε αναδυόμενες τεχνολογίες όπως οι θερμικές μηχανές μικροκλίμακας και νανοκλίμακας, όπου οι αρχές της θερμοδυναμικής εφαρμόζονται σε νέα περιβάλλοντα. Για παράδειγμα, στην ανάπτυξη ενεργειακά αποδοτικών υπολογιστικών συστημάτων, χρησιμοποιούνται έννοιες που προέρχονται από τον κύκλο Carnot για την ελαχιστοποίηση της διασποράς ενέργειας και τη βελτιστοποίηση της θερμικής διαχείρισης. Ομοίως, στην κβαντική θερμοδυναμική, οι ερευνητές διερευνούν τα θεμελιώδη όρια της μετατροπής ενέργειας

σε μικροσκοπικές κλίμακες, βασιζόμενοι στις γνώσεις που παρέχει ο κύκλος Carnot (Oladimeji et al., 2024).

2.3 Ο ρόλος του κύκλου Carnot στην πρόοδο της θερμοδυναμικής

2.3.1 Ενοποίηση με άλλους θερμοδυναμικούς κύκλους και συστήματα

Ο κύκλος Carnot σίγουρα αποτελεί την κατευθυντήρια αρχή για τη δημιουργία άλλων θερμοδυναμικών κύκλων και συστημάτων. Οι έννοιες της αντιστρεψιμότητας, της απόδοσης και της εντροπίας έχουν επεκταθεί σε όλες σχεδόν τις σφαίρες της θερμοδυναμικής, και έτσι έχουν παίξει σημαντικό ρόλο στη θεωρία των πρακτικών κινητήρων και συστημάτων. Η ενσωμάτωση του κύκλου Carnot σε άλλους θερμοδυναμικούς κύκλους δίνει σαφή εικόνα για το εύρος του ρόλου του (Feidt & Costea, 2024).

Αρχικά, ο κύκλος Carnot ορίζει τη θεωρητική μέγιστη απόδοση για οποιαδήποτε θερμική μηχανή που λειτουργεί μεταξύ δύο θερμοκρασιών, παρέχοντας ένα σημείο αναφοράς για την αξιολόγηση των πραγματικών θερμοδυναμικών κύκλων. Οι πρακτικοί κύκλοι, όπως οι κύκλοι Rankine, Otto, Diesel και Brayton, συγκρίνονται συχνά με τον κύκλο Carnot για να αξιολογηθεί η απόδοσή τους (Feidt & Costea, 2024).
Πιο συγκεκριμένα:

Κύκλος Rankine: η χρήση του είναι σε ατμοηλεκτρικούς σταθμούς, και στην πραγματικότητα μετατρέπει τη θερμότητα σε έργο χρησιμοποιώντας ένα λειτουργικό ρευστό (συνήθως νερό). Συγκρίνοντας τον κύκλο Rankine με τον κύκλο Carnot, οι μηχανικοί μπορούν να εντοπίσουν τομείς για βελτίωση της απόδοσης, όπως η αύξηση της θερμοκρασίας του ατμού που εισέρχεται στον στρόβιλο για να προσεγγίσει την ιδανική απόδοση Carnot (Zhao et al., 2022).

Otto Cycle: Ο κύκλος Otto είναι ο εξιδανικευμένος κύκλος για κινητήρες εσωτερικής καύσης με ανάφλεξη με σπινθήρα, όπως αυτοί που βρίσκονται στους βενζινοκινητήρες. Ενώ ο κύκλος Otto είναι λιγότερο αποτελεσματικός από τον κύκλο Carnot λόγω μη αναστρέψιμων διεργασιών και περιορισμών του πραγματικού κόσμου, η απόδοση Carnot παρέχει έναν στόχο για τη βελτιστοποίηση των παραμέτρων του κινητήρα, όπως ο λόγος συμπίεσης (Kroetz, 2024).

Κύκλος Diesel: Χρησιμοποιείται σε κινητήρες ανάφλεξης με συμπίεση, ο κύκλος Diesel είναι παρόμοιος με τον κύκλο Otto, αλλά διαφέρει στις διαδικασίες προσθήκης θερμότητας (που συμβαίνει υπό σταθερή πίεση) και συμπίεσης. Η απόδοση του κύκλου Diesel, είναι εγγενώς χαμηλότερη από την απόδοση του Carnot, αλλά η σύγκριση καθοδηγεί βελτιώσεις στις διαδικασίες έγχυσης καυσίμου και καύσης (Madakavil & Kim, 2017).

Κύκλος Brayton: Ο κύκλος Brayton περιγράφει τη λειτουργία αεριοστροβίλων και κινητήρων αεριοθωμένων, που περιλαμβάνει ισεντροπική συμπίεση, ισοβαρική προσθήκη θερμότητας, ισεντροπική διαστολή και ισοβαρική απόρριψη θερμότητας. Ο κύκλος Carnot χρησιμεύει ως ιδανικό μοντέλο για τη βελτίωση της απόδοσης του κύκλου Brayton, όπως με την αύξηση της αναλογίας πίεσης και τη χρήση τεχνικών ενδοψύξης και αναθέρμανσης (Feidt & Costea, 2024).

Επιπρόσθετα στα παραπάνω, οι αρχές που προκύπτουν από τον κύκλο Carnot οδήγησαν στην ενίσχυση διαφόρων θερμοδυναμικών συστημάτων, με στόχο την προσέγγιση της εξιδανικευμένης απόδοσης, όπως:

Αναγεννητικοί Κύκλοι: Οι κύκλοι αναγέννησης χρησιμοποιούν εσωτερική ανταλλαγή θερμότητας για την προθέρμανση του ρευστού εργασίας, μειώνοντας την ποσότητα θερμότητας που απαιτείται από εξωτερικές πηγές (Yu & Ouderji, 2023).

Συνδυασμένοι Κύκλοι: Οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής συνδυασμένου κύκλου ενσωματώνουν και τους δύο κύκλους Brayton και Rankine, χρησιμοποιώντας την απορριπτόμενη θερμότητα από έναν αεριοστρόβιλο για την παραγωγή ατμού για έναν ατμοστρόβιλο. Αυτή η ενοποίηση βελτιώνει τη συνολική απόδοση συλλέγοντας και επαναχρησιμοποιώντας ενέργεια που διαφορετικά θα χάνονταν, ευθυγραμμίζόμενη με την αρχή του κύκλου Carnot για μεγιστοποίηση της χρήσης ενέργειας μεταξύ των δεξαμενών θερμότητας (Yu & Ouderji, 2023).

Κύκλοι ψύξης και αντλίας θερμότητας: Οι αρχές του κύκλου Carnot ισχύουν εξίσου για τους κύκλους ψύξης και αντλίας θερμότητας, όπου ο στόχος είναι η μεταφορά θερμότητας από μια δεξαμενή χαμηλής θερμοκρασίας σε μια δεξαμενή υψηλής θερμοκρασίας. Ο κύκλος Carnot παρέχει τον μέγιστο δυνατό συντελεστή απόδοσης (COP) για αυτά τα συστήματα, καθοδηγώντας τον σχεδιασμό πιο αποτελεσματικών τεχνολογιών ψύξης και θέρμανσης (Yu & Ouderji, 2023).

Συμπληρωματικά, οι έννοιες του κύκλου Carnot επεκτείνονται σε προηγμένες και αναδυόμενες τεχνολογίες, παρέχοντας ένα θεωρητικό πλαίσιο για καινοτομία στη θερμοδυναμική με τον εξής τρόπο:

Μηχανές Μικρο και Νανο-κλίμακας: Στη μικρο και νανο κλίμακα, οι αρχές της θερμοδυναμικής εφαρμόζονται στο σχεδιασμό μικροσκοπικών θερμικών μηχανών και συσκευών (Guo & Wang, 2024). Οι ερευνητές χρησιμοποιούν τον κύκλο Carnot για να κατανοήσουν τα όρια της απόδοσης και τον ρόλο των θερμικών διακυμάνσεων σε αυτές τις μικρές κλίμακες, οδηγώντας τις εξελίξεις σε ενεργειακά αποδοτικά μικροσυστήματα (Bera et al., 2021).

Κβαντική Θερμοδυναμική: Στον τομέα της κβαντικής θερμοδυναμικής, ο κύκλος Carnot βοηθά στην εξερεύνηση των θεμελιωδών ορίων της μετατροπής ενέργειας σε κβαντικές κλίμακες. Οι γνώσεις από τον κύκλο Carnot καθοδηγούν τη μελέτη των κβαντικών θερμικών μηχανών και τον χειρισμό της εντροπίας σε κβαντικά συστήματα, οδηγώντας δυνητικά σε ανακαλύψεις στη συλλογή ενέργειας και την επεξεργασία πληροφοριών (Mohit Lal Bera et al., 2024).

Συστήματα Αειφόρου Ενέργειας: Η ώθηση για βιώσιμα ενεργειακά συστήματα, όπως η ηλιακή θερμική ενέργεια και οι προηγμένες γεωθερμικές τεχνολογίες, ενισχύονται από την έμφαση που δίνει ο κύκλος Carnot στις διαφορές θερμοκρασίας και στην απόδοση (Cho et al., 2020). Μεγιστοποιώντας τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της πηγής θερμότητας και της ψυχρής δεξαμενής, αυτές οι τεχνολογίες στοχεύουν στην επίτευξη υψηλότερης απόδοσης και στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, ευθυγραμμίζοντας με τα θεωρητικά ιδανικά του κύκλου Carnot (Zhao et al., 2022).

Τέλος, είναι υψίστης σημασίας να αναφερθεί ότι ο κύκλος Carnot χρησιμεύει ως θεμελιώδες εργαλείο διδασκαλίας στη θερμοδυναμική, απεικονίζοντας βασικές έννοιες και παρέχοντας ένα σαφές, εννοιολογικό πλαίσιο για μαθητές και ερευνητές (Laranjeiras & Portela, 2016). Μελετώντας τον κύκλο Carnot, οι εκπαιδευόμενοι αποκτούν γνώσεις σχετικά με τις αρχές της αντιστρεψιμότητας, της εντροπίας και των περιορισμών των διαδικασιών μετατροπής ενέργειας, οι οποίες είναι εφαρμόσιμες σε ένα ευρύ φάσμα θερμοδυναμικών συστημάτων (Smith et al., 2015).

Εν ολίγοις, το εγγενές μέρος του κύκλου Carnot σε συνδυασμό με άλλους κύκλους και συστήματα θερμοδυναμικής δείχνει τον κεντρικό ρόλο που διαδραματίζει στη

θερμοδυναμική. Χρησιμεύει στη δημιουργία μιας θεμελιώδους βάσης απόδοσης, εξηγεί το σκοπό του σχεδιασμού και της βελτιστοποίησης, επηρεάζει τις προηγμένες τεχνολογίες και είναι ένα ουσιαστικό εκπαιδευτικό στοιχείο. Οι κανόνες του κύκλου Carnot εξακολουθούν να αποτελούν έμπνευση για τις εξελίξεις της θερμοδυναμικής, ενός τομέα που οδηγεί την καινοτομία στη διαδικασία μετατροπής της ενέργειας και φέρνει τεχνολογική πρόοδο σε ποικίλες εφαρμογές (Laranjeiras & Portela, 2016).

2.4 Ανασκόπηση προηγούμενων εκπαιδευτικών προσεγγίσεων για τη διδασκαλία του κύκλου Carnot

2.4.1 Παραδοσιακές μέθοδοι διδασκαλίας και τα αποτελέσματά τους

Ο κύκλος Carnot είναι μια βασική έννοια της θερμοδυναμικής και οι κλασικοί τρόποι εξέτασης των θεμάτων μέσω των οποίων εξηγείται η θεωρία είναι καλά καθιερωμένοι και έχουν σαν στόχο να μεταφέρουν αποτελεσματικά τις αρχές του. Συνήθως χρησιμοποιούνται διαλέξεις, υλικό σχολικών βιβλίων, οπτικά βοηθήματα και εργαστηριακές ασκήσεις. Κάθε μία από τις μεθόδους που αναφέρθηκαν υπογραμμίζει τα δυνατά της σημεία, έτσι ώστε το φαινόμενο του κύκλου Carnot να γίνει πλήρως κατανοητό και το θέμα της θερμοδυναμικής να επεξεργαστεί διεξοδικά. Η παραδοσιακή μέθοδος διδασκαλίας είναι το επίκεντρο αυτής της ενότητας και τα αποτελέσματά της θα αναφερθούν παρακάτω (Smith et al., 2015; Feidt & Costea, 2024; Feidt, 2022).

Διαλέξεις

Οι διαλέξεις είναι η πιο παραδοσιακή και ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος διδασκαλίας του κύκλου Carnot. Οι εκπαιδευτές παρουσιάζουν τις θεωρητικές βάσεις, τις βασικές έννοιες και τις μαθηματικές διατυπώσεις του κύκλου Carnot. Οι διαλέξεις συχνά περιλαμβάνουν ιστορικό πλαίσιο, ξεκινώντας από το έργο του Sadi Carnot, και εξηγούν τα στάδια του κύκλου: ισοθερμική διαστολή, αδιαβατική διαστολή, ισοθερμική συμπίεση και αδιαβατική συμπίεση. Οι διαλέξεις παρέχουν μια δομημένη και συστηματική προσέγγιση της μάθησης, διασφαλίζοντας ότι οι μαθητές έχουν πρόσβαση σε όλες τις απαραίτητες πληροφορίες. Επιτρέπουν στους εκπαιδευτές να επισημάνουν σημαντικά σημεία και να αποσαφηνίσουν περίπλοκες έννοιες. Ωστόσο, οι διαλέξεις από μόνες τους μπορεί να μην εμπλέκουν πλήρως όλους τους μαθητές ή

να μην διευκολύνουν τη βαθιά κατανόηση χωρίς πρόσθετα διαδραστικά στοιχεία (Smith et al., 2015).

Σχολικά Βιβλία

Τα σχολικά βιβλία είναι βασικοί πόροι που συμπληρώνουν τις διαλέξεις. Παρέχουν λεπτομερείς επεξηγήσεις, διαγράμματα και παραδείγματα που επεξηγούν τις αρχές του κύκλου Carnot. Τα σχολικά βιβλία συχνά περιλαμβάνουν βήμα-προς-βήμα παραγώγους βασικών εξισώσεων και σχέσεων, όπως ο τύπος της απόδοσης.

$$\eta = 1 - \frac{T_C}{T_H}$$

Τα σχολικά βιβλία προσφέρουν μια ολοκληρωμένη αναφορά που μπορούν να συμβουλευτούν οι μαθητές εκτός τάξης, ενισχύοντας το υλικό των διαλέξεων. Επιτρέπουν στους μαθητές να μάθουν με τον δικό τους ρυθμό και να επανεξετάσουν τις δύσκολες έννοιες. Η στατική φύση των σχολικών βιβλίων μπορεί να περιορίσει την ικανότητά τους να αντιμετωπίζουν μεμονωμένες ερωτήσεις ή να προσαρμόζονται σε διαφορετικά στυλ μάθησης (Feidt & Costea, 2024).

Οπτικά βοηθήματα

Οπτικά βοηθήματα, όπως διαγράμματα και γραφήματα χρησιμοποιούνται για την απεικόνιση των σταδίων του κύκλου Carnot και των αλλαγών στις μεταβλητές κατάστασης (πίεση, όγκος, θερμοκρασία, εντροπία). Τα διαγράμματα P-V και T-S είναι ιδιαίτερα χρήσιμα στην απεικόνιση των διαδικασιών του κύκλου. Τα οπτικά βοηθήματα, εκτός του ότι βοηθούν στην αποφυγή της μονοτονίας, ενισχύουν την κατανόηση παρέχοντας σαφείς και διαισθητικές αναπαραστάσεις αφηρημένων εννοιών. Τα οπτικά βοηθήματα επιτρέπουν στους μαθητές να οπτικοποιήσουν τις σχέσεις μεταξύ των διαφορετικών θερμοδυναμικών μεταβλητών και της ροής της ενέργειας. Τα οπτικά βοηθήματα μπορούν να είναι πολύ αποτελεσματικά για να προσελκύσουν τους μαθητές και να κάνουν πιο προσιτές τις σύνθετες έννοιες (Feidt, 2022).

Εργαστηριακά Πειράματα

Τα εργαστηριακά πειράματα και οι επιδείξεις επιτρέπουν στους μαθητές να παρατηρήσουν στην πράξη τις αρχές του κύκλου Carnot. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει τη χρήση θερμοδομέτρων, θερμικών μηχανών ή προσομοιώσεων υπολογιστή για τη μοντελοποίηση του κύκλου και τη μέτρηση της απόδοσης. Τα πειράματα ενισχύουν τη θεωρητική γνώση μέσω πρακτικής εφαρμογής, εμβαθύνοντας την κατανόηση αναπτύσσοντας πειραματικές δεξιότητες και εκτίμηση για την εμπειρική βάση της θερμοδυναμικής (Feidt, 2022).

Ασκήσεις επίλυσης προβλημάτων

Η ανάθεση προβλημάτων και ασκήσεων που απαιτούν από τους μαθητές να εφαρμόσουν τις αρχές του κύκλου Carnot είναι μια βασική μέθοδος διδασκαλίας. Αυτές οι ασκήσεις περιλαμβάνουν συνήθως τον υπολογισμό του έργου, τη μεταφορά θερμότητας και την απόδοση για διάφορα στάδια του κύκλου Carnot. Η επίλυση προβλημάτων βοηθά τους μαθητές να εφαρμόσουν τις θεωρητικές έννοιες σε σενάρια του πραγματικού κόσμου, ενισχύοντας την κατανόησή τους προωθώντας την κριτική σκέψη και τις αναλυτικές δεξιότητες. Η τακτική εξάσκηση μέσω των προβλημάτων μπορεί να βελτιώσει την επάρκεια των μαθητών στη θερμοδυναμική (Feidt & Costea, 2024).

Οι παραδοσιακές μέθοδοι διδασκαλίας του κύκλου Carnot, όταν χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό, παρέχουν μια ολοκληρωμένη εκπαιδευτική εμπειρία που αντιμετωπίζει διαφορετικά στυλ μάθησης. Τα αποτελέσματα αυτών των μεθόδων περιλαμβάνουν συνήθως:

Κατανόηση των Θεωρητικών Εννοιών: Οι μαθητές αποκτούν μια ισχυρή αντίληψη των θεμελιωδών αρχών του κύκλου Carnot, συμπεριλαμβανομένων των σταδίων του, της έννοιας της αναστρεψιμότητας και των θεωρητικών ορίων της απόδοσης (Feidt, 2022; Laranjeiras & Portela, 2016).

Μαθηματική επάρκεια: Μέσω παραγώγων και ασκήσεων επίλυσης προβλημάτων, οι μαθητές αναπτύσσουν τις μαθηματικές δεξιότητες που είναι απαραίτητες για την ανάλυση και την κατανόηση των θερμοδυναμικών συστημάτων (Smith et al., 2015).

Πρακτική εφαρμογή: Εργαστηριακά πειράματα και παραδείγματα του πραγματικού κόσμου βοηθούν τους μαθητές να συνδέσουν τη θεωρητική γνώση με τις πρακτικές εφαρμογές, ενισχύοντας την εκτίμησή τους για τη συνάφεια του κύκλου Carnot (Feidt, 2022).

Κριτική σκέψη και επίλυση προβλημάτων: Η τακτική εξάσκηση με σύνολα προβλημάτων ενθαρρύνει την κριτική σκέψη και την ικανότητα εφαρμογής θερμοδυναμικών αρχών σε διάφορα σενάρια (García-Carmona, 2023).

Δέσμευση και κίνητρο: Η χρήση οπτικών βοηθημάτων, διαδραστικών στοιχείων και πρακτικών πειραμάτων μπορεί να αυξήσει τη συμμετοχή και τα κίνητρα των μαθητών, κάνοντας τη μάθηση πιο δυναμική και ευχάριστη (Riffert et al., 2020).

2.4.2 Προκλήσεις και παρανοήσεις στην εκμάθηση της θερμοδυναμικής

Η διαδικασία εκμάθησης της θερμοδυναμικής περιλαμβάνει πολλές προκλήσεις και παρανοήσεις που οφείλονται στη γενική της αφηρημένη και μαθηματική φύση και στην ανάγκη συστηματικής ενσωμάτωσης πολλών επιστημονικών αρχών. Είναι πολύ σημαντικό να επιλύονται αυτές οι παρανοήσεις έτσι ώστε να υπάρχει βαθιά κατανόηση του θέματος (Bain et al., 2014; Partanen, 2016).

Αφηρημένες Έννοιες

Η Θερμοδυναμική ασχολείται με ένα πλήθος εννοιών που είναι αφηρημένες όπως η εντροπία, η ενθαλπία και η ελεύθερη ενέργεια που μερικές φορές δεν είναι εύκολα κατανοητές (Bain et al., 2014). Αυτές οι έννοιες δεν έχουν άμεσα φυσικά ανάλογα που μπορούν να οπτικοποιηθούν εύκολα, καθιστώντας τις πιο δύσκολο να κατανοηθούν και να συσχετιστούν με φαινόμενα του πραγματικού κόσμου. Οι μαθητές συχνά αγωνίζονται να κατανοήσουν αυτές τις αφηρημένες ιδέες και τις επιπτώσεις τους σε διάφορες θερμοδυναμικές διεργασίες. Μια κοινή παρανόηση είναι ότι η εντροπία είναι απλώς ένα μέτρο της αταξίας, χωρίς να κατανοήσουμε την ποσοτική και πιθανολογική φύση της, καθώς και τις ευρύτερες επιπτώσεις της στον δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής (Bain et al., 2014).

Μαθηματική Πολυπλοκότητα

Ένας από τους κύριους κλάδους της θερμοδυναμικής είναι η μαθηματική αναπαράσταση θερμοδυναμικών εννοιών μέσω της χρήσης μηχανικού λογισμού, συμπεριλαμβανομένων διαφορικών εξισώσεων, ολοκληρωμάτων και λογαριθμικών συναρτήσεων (Bain et al., 2014). Το να γνωρίζει κανείς αυτά τα μαθηματικά εργαλεία είναι υψίστης σημασίας για την επίλυση θερμοδυναμικών ζητημάτων και την αποκρυπτογράφηση βασικών τύπων. Οι μαθητές μπορεί να βρουν τις μαθηματικές πτυχές της θερμοδυναμικής τρομακτικές και προκλητικές, ιδιαίτερα αν δεν έχουν ισχυρή βάση στον μαθηματικό λογισμό και την άλγεβρα. Μάλιστα, μπορεί να πιστεύουν λανθασμένα ότι οι εξισώσεις και οι τύποι στη θερμοδυναμική είναι αυθαίρετες αντί να προέρχονται από θεμελιώδεις αρχές και εμπειρικές παρατηρήσεις (Bain et al., 2014).

Ενσωμάτωση Πολλαπλών Επιστημών

Η Θερμοδυναμική συνδυάζει τις αρχές από τη φυσική, τη χημεία έως και τη μηχανική. Η γνώση της θερμοδυναμικής βασίζεται στην κινητική θεωρία, τη στατιστική μηχανική και τη γνώση χημικών αντιδράσεων, κρατώντας τους μαθητές απασχολημένους με τη μελέτη αυτών των δύσκολων θεμάτων. Η διεπιστημονική φύση της θερμοδυναμικής μπορεί να δυσκολέψει τους μαθητές να δουν τις συνδέσεις μεταξύ διαφορετικών τομέων της επιστήμης και να εφαρμόσουν τις γνώσεις τους ολιστικά. Οι μαθητές μπορεί να βλέπουν τη θερμοδυναμική ως μια συλλογή μεμονωμένων θεμάτων παρά ως ένα συνεκτικό πλαίσιο που εξηγεί ένα ευρύ φάσμα φυσικών φαινομένων (Partanen, 2016).

Έννοια της αναστρεψιμότητας και της μη αναστρεψιμότητας

Σε αντίθεση με άλλα επιστημονικά θέματα στα οποία λέξεις όπως το αναστρέψιμο και το μη αναστρέψιμο είναι άμεσα κατανοητές, η θερμοδυναμική είναι ένα θέμα που εισάγει τη σημασία αυτών των όρων με τρόπο που είναι δύσκολο να κατανοηθεί (Kostic, 2020). Η αναστρέψιμη διαδικασία είναι μια εξιδανικευμένη διαδικασία που δεν μπορεί να συμβεί στην πραγματικότητα, ενώ η μη αναστρέψιμη διαδικασία είναι μια πολύπλοκη διαδικασία που δεν είναι τόσο αποτελεσματική. Οι μαθητές συχνά δυσκολεύονται να κατανοήσουν γιατί οι αναστρέψιμες διαδικασίες είναι ιδανικές και πώς οι πραγματικές διεργασίες αποκλίνουν από αυτήν την εξιδανίκευση. Μια κοινή παρανόηση είναι ότι οι πραγματικοί κινητήρες μπορούν να γίνουν απόλυτα αποδοτικοί

εάν σχεδιαστούν σωστά, χωρίς να αναγνωρίζονται οι εγγενείς μη αναστρέψιμες δυνατότητες που υπάρχουν σε όλα τα πρακτικά συστήματα (Kostic, 2020).

Θερμοδυναμικοί Κύκλοι

Μετά από την κατανόηση των θερμοδυναμικών κύκλων, μεταξύ των οποίων οι κύκλοι Carnot, Otto και Rankine, οι οποίοι βασίζονται στη διαδικασία καύσης, χρειάζεται εις βάθος γνώση για την ενασχόληση με φαινόμενα που περιέχουν διεργασίες αλλαγής κατάστασης. Οι κύκλοι αυτοί, μπορούν να υλοποιήσουν πολλές φάσεις, οι οποίες μπορεί επίσης να συνοδεύονται από μεμονωμένες εξισώσεις και συνθήκες. Οι μαθητές μπορεί να δυσκολεύονται να παρακολουθήσουν τα διάφορα στάδια ενός θερμοδυναμικού κύκλου και τις αντίστοιχες αλλαγές στις ιδιότητες όπως η θερμοκρασία, η πίεση και ο όγκος. Μπορεί επίσης να υποθέσουν λανθασμένα ότι όλες οι θερμικές μηχανές λειτουργούν με τρόπο παρόμοιο με τον κύκλο Carnot, χωρίς να εκτιμούν τις διαφορές και τους περιορισμούς των πρακτικών κύκλων (Bain et al., 2014).

Παρεξήγηση της θερμότητας και του έργου

Η θερμότητα και το έργο είναι τα θεμελιώδη στοιχεία της θερμοδυναμικής, και συχνά φαίνεται ότι μένουν χωρίς την κατάλληλη εξήγηση. Η θερμότητα είναι η ανταλλαγή ενέργειας που συμβαίνει μέσω διαφορών στη θερμοκρασία, ενώ το έργο είναι η μεταφορά ενέργειας που συμβαίνει όταν ασκηθεί δύναμη σε μια ορισμένη απόσταση. Μερικές φορές οι μαθητές μπερδεύουν τις ποσότητες της θερμότητας και του έργου με την εσωτερική ενέργεια το οποίο τους δυσκολεύει στο να λύσουν τον πρώτο νόμο της θερμοδυναμικής (Bain et al., 2014).

Μια συχνή επίσης παρανόηση είναι ότι η θερμότητα και η θερμοκρασία είναι ίδιες, αντί να κατανοήσουμε ότι η θερμοκρασία είναι ένα μέτρο της μέσης κινητικής ενέργειας των σωματιδίων, ενώ η θερμότητα είναι η ενέργεια που μεταφέρεται μεταξύ των συστημάτων λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας (Bain et al., 2014).

Εντροπία και ο δεύτερος νόμος της θερμοδυναμικής

Οι σημαντικές έννοιες της θερμοδυναμικής όπως η εντροπία και ο δεύτερος νόμος της θερμοδυναμικής αντιπροσωπεύουν μερικές από τις πιο περίπλοκες έννοιες στη θερμοδυναμική. Ο δεύτερος νόμος περιλαμβάνει τον παράγοντα της εντροπίας που

αυξάνεται και την κατεύθυνση των φυσικών διεργασιών, η οποία μπορεί να είναι αντίθετη. Το να έχουν κατά νου τη στοχαστική φύση της εντροπίας και το γεγονός ότι σε μια μη αναστρέψιμη διαδικασία υπάρχουν συνέπειες, θεωρείται περίπλοκη από πολλούς μαθητές. Οι μαθητές μπορεί να πιστεύουν ότι η εντροπία πρέπει να αυξάνεται κατά τη διάρκεια οποιασδήποτε διαδικασίας, ανεξάρτητα από το γεγονός ότι η εντροπία μπορεί να μειωθεί τοπικά, εφόσον υπάρχει μια αντισταθμιστική αύξηση που ευθύνεται για το συνολικό ισοζύγιο εντροπίας (Struchtrup, 2020).

2.4.3 Συγκριτική ανάλυση εκπαιδευτικών στρατηγικών

Ο παρακάτω πίνακας αποτελεί μια σύνοψη των παραπάνω ευρημάτων για την καλύτερη κατανόηση της σύγκρισης μεταξύ των εκπαιδευτικών στρατηγικών:

Διδακτική Μέθοδος	Πλεονεκτήματα	Προκλήσεις	Σύγκριση
Διαλέξεις	Παρέχουν μια συστηματική και οργανωμένη παρουσίαση του κύκλου Carnot.	Συχνά προωθούν την παθητική μάθηση.	Οι διαλέξεις είναι αποτελεσματικές για την εισαγωγή του κύκλου Carnot και την παροχή μιας ολοκληρωμένης επισκόπησης. Ωστόσο, πρέπει να συμπληρωθούν με διαδραστικά στοιχεία για να εξασφαλιστεί η ενεργός μάθηση και διατήρηση.
	Οι εκπαιδευτές μπορούν να επισημάνουν βασικές έννοιες, να αντιμετωπίσουν κοινές	Ελάχιστη δυνατότητα για άμεση ανατροφοδότηση και αλληλεπίδραση.	

	<p>παρανοήσεις και να παρέχουν το πλαίσιο και το ιστορικό υπόβαθρο.</p>		
Σχολικά βιβλία	<p>Προσφέρουν κάλυψη σε βάθος, συμπεριλαμβανομένων των παραδειγμάτων και διαγραμμάτων.</p>	<p>Δεν παρέχει άμεση ανατροφοδότηση ή διαδραστικά στοιχεία.</p>	<p>Τα σχολικά βιβλία είναι πολύτιμα για λεπτομερή μελέτη και αναφορά. Η αποτελεσματικότητά τους μπορεί να βελτιωθεί με την ενσωμάτωσή τους με διαδραστικά και οπτικά εργαλεία μάθησης.</p>
	<p>Επιτρέπουν στους μαθητές να μάθουν με τον δικό τους ρυθμό και να ξανά επισκεφτούν τις ενότητες που τους δυσκολεύουν.</p>	<p>Οι γραπτές εξηγήσεις μπορεί να μην είναι σαφείς για όλους τους μαθητές, ειδικά εκείνους που δυσκολεύονται με μαθηματικές πτυχές.</p>	
Οπτικά βοηθήματα	<p>Τα διαγράμματα και οι προσομοιώσεις καθιστούν τις αφηρημένες έννοιες πιο συγκεκριμένες και πιο κατανοητές.</p>	<p>Μερικές φορές μπορεί να υπεραπλουστεύσουν περίπλοκες έννοιες, οδηγώντας σε ελλιπή κατανόηση.</p>	<p>Τα οπτικά βοηθήματα ενισχύουν σημαντικά τη μαθησιακή εμπειρία κάνοντας σύνθετες έννοιες προσιτές και ελκυστικές. Είναι πιο αποτελεσματικά όταν χρησιμοποιούνται παράλληλα με τις παραδοσιακές μεθόδους.</p>

	Τραβούν την προσοχή των μαθητών και κάνουν τη μάθηση πιο ελκυστική και διαδραστική.	Η δημιουργία οπτικών βοηθημάτων υψηλής ποιότητας απαιτεί πόρους και τεχνική εμπειρογνωμοσύνη.	
Εργαστηριακά Πειράματα	Επιτρέπουν στους μαθητές να τηρούν τις αρχές στην πράξη, ενισχύοντας τη θεωρητική γνώση.	Οι εργαστηριακές ρυθμίσεις μπορεί να είναι δαπανηρές και απαιτούν σημαντικούς πόρους, χρόνο και ζητήματα ασφάλειας.	Τα εργαστηριακά πειράματα παρέχουν ανεκτίμητη πρακτική εμπειρία και εμβαθύνουν την κατανόηση μέσω της πρακτικής μάθησης. Είναι πιο αποτελεσματικά όταν ενσωματώνονται με τη θεωρητική διδασκαλία.
	Αναπτύσσουν πρακτικές δεξιότητες, όπως συλλογή δεδομένων, ανάλυση και επιστημονική λογική.	Δεν μπορούν να αποδειχθούν εύκολα όλες οι πτυχές και τα πειράματα μπορεί μερικές φορές να υπεραπλουστεύουν τις πραγματικές συνθήκες.	
	Ενθαρρύνουν τους μαθητές να εφαρμόσουν θεωρητικές έννοιες σε πρακτικά σενάρια, ενισχύοντας την	Τα προβλήματα μπορεί να διαφέρουν ως προς τη δυσκολία και ορισμένοι μαθητές μπορεί να δυσκολευτούν χωρίς	Οι ασκήσεις επίλυσης προβλημάτων είναι απαραίτητες για την εφαρμογή της θεωρητικής γνώσης και την ανάπτυξη πρακτικών δεξιοτήτων.

Ασκήσεις επίλυσης προβλημάτων	κριτική σκέψη και τις δεξιότητες επίλυσης προβλημάτων.	επαρκή υποστήριξη και καθοδήγηση.	Θα πρέπει να σχεδιάζονται προσεκτικά ώστε να ταιριάζουν με τα επίπεδα δεξιοτήτων των μαθητών και να συμπληρώνονται με καθοδήγηση και ανατροφοδότηση.
	Η τακτική εξάσκηση μέσω ασκήσεων προάγει την ενεργό μάθηση και ενισχύει την κατανόηση.	Η επίλυση σύνθετων προβλημάτων μπορεί να είναι χρονοβόρα και οι μαθητές μπορεί να χρειαστούν πρόσθετη βοήθεια για να διασφαλίσουν ότι κατανοούν τις λύσεις.	
Ολοκληρωμένη Προσέγγιση	Συνδυάζει διάφορες μεθόδους για να παρέχει μια ολιστική προσέγγιση στη μάθηση.	Απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό και συντονισμό για να διασφαλιστεί ότι όλα τα στοιχεία αλληλοσυμπληρώνονται αποτελεσματικά.	Μια ολοκληρωμένη προσέγγιση είναι η πιο αποτελεσματική στρατηγική, παρέχοντας μια ολοκληρωμένη εκπαιδευτική εμπειρία που αντιμετωπίζει διαφορετικές ανάγκες και στυλ μάθησης.
	Απευθύνεται σε διάφορα στυλ μάθησης, διασφαλίζοντας ότι όλοι οι μαθητές έχουν την ευκαιρία να ασχοληθούν με το υλικό.	Μπορεί να απαιτούν επαρκή χρόνο, υλικά και την τεχνογνωσία του εκπαιδευτή.	Συνδυάζοντας διάφορες μεθόδους, οι εκπαιδευτικοί μπορούν να δημιουργήσουν ένα δυναμικό και ελκυστικό περιβάλλον μάθησης που προωθεί τη βαθιά κατανόηση και την

			πρακτική εφαρμογή των θερμοδυναμικών αρχών.
--	--	--	---

2.5 Ανάλυση νέων τεχνολογιών και διαδραστικών μεθόδων διδασκαλίας στην επιστημονική εκπαίδευση

Στόχος της διδασκαλίας των Φυσικών Επιστημών είναι η ανάπτυξη θεμελιωδών επιστημονικών γνώσεων και η εξοικείωση των μαθητών με την επιστημονική μεθοδολογία διερεύνησης και κατανόησης των φυσικών φαινομένων (Κουλαϊδης, 2001). Η φυσική είναι ένας επιστημονικός κλάδος που περιλαμβάνει τη διεξαγωγή πειραμάτων για τη μελέτη και την κατανόηση του κόσμου χρησιμοποιώντας μια συλλογή εννοιών, αρχών και κανόνων (Κολιόπουλος, 2006). Η Πλακίτση (2012) αναφέρει ότι η εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες εμφανίζεται σε πολλά εκπαιδευτικά πλαίσια και μαθησιακά περιβάλλοντα. Η χρήση μεθοδολογιών και διαδικασιών σε ποικίλα αποτελεσματικά περιβάλλοντα μάθησης έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή αξιόπιστου και τυποποιημένου εκπαιδευτικού υλικού.

Στον τομέα της εκπαίδευσης, η διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών περιλαμβάνει τη χρήση διαφόρων τεχνικών διδασκαλίας που βασίζονται σε διαφορετικά μοντέλα διδασκαλίας, συμπεριλαμβανομένου του παραδοσιακού μοντέλου και της ανακαλυπτικής προσέγγισης. Επιπλέον, εξετάζονται εκπαιδευτικά μοντέλα όπως η εποικοδομητική προσέγγιση και το μοντέλο διδασκαλίας που έχει αναπτυχθεί από την έρευνα (Κόκκοτας, 2002). Το μοντέλο που αναπτύχθηκε από την έρευνα είναι μια εκπαιδευτική μεθοδολογία που χρησιμοποιείται σε σύγχρονους οδηγούς διδασκαλίας (Καλκάνης, 2007; Αποστολάκης et al., 2009). Αυτό το μοντέλο περιλαμβάνει τον δάσκαλο να διεγείρει την περιέργεια των μαθητών να εντοπίσουν τα ερεθίσματα, να τους ενθαρρύνει να αναπτύξουν υποθέσεις, να τους εμπλέκουν στη διεξαγωγή πειραμάτων και στην τεκμηρίωση παρατηρήσεων, να προωθούν συζητήσεις για να διευρύνουν τις παρατηρήσεις και να εξάγουν συμπεράσματα και να καθοδηγούν τους μαθητές στη σταδιακή εφαρμογή και μεταφορά της γνώσης σε καθημερινά φαινόμενα (Καλκάνης, 2007).

Στις μέρες μας, η αξιοποίηση των ΤΠΕ (Τεχνολογίες Πληροφορίας και Επικοινωνίας) έχει ουσιαστικό αντίκτυπο στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών και στο ψυχοπαιδαγωγικό περιβάλλον στο οποίο εμφανίζεται (Becta, 2009). Το λογισμικό διαδραστικής σχεδίασης προσελκύει την προσοχή και την αντίληψη των μαθητών, ενισχύει την ικανότητά τους να θυμούνται και να αναγνωρίζουν στοιχεία πληροφοριών μέσω της εμφάνισης ή της αλληλεπίδρασής τους στην οθόνη του διαδραστικού πίνακα και παρέχει μια ευκαιρία για ερμηνευτική κατανόηση αυτών των στοιχείων (Mercer, Hennessy & Warwick, 2010). Επιπλέον, η χρήση λογισμικού διαδραστικού σχεδιασμού επιτρέπει περισσότερα από την απλή παρουσίαση πληροφοριών. Επιτρέπει την τροποποίηση των καθιερωμένων διδακτικών ρουτινών παρέχοντας ευελιξία στη ροή των δραστηριοτήτων, ενισχύοντας την ενεργό μάθηση και την ομαδική εργασία και διευκολύνοντας την επικοινωνία εντός και μεταξύ των σχολείων μέσω διαδικτυακών υπηρεσιών (Underwood, 2010).

Οι θεωρητικές αναφορές σε αυτό το θέμα δεν αφορούν κάποια συγκεκριμένη θεωρητική προσέγγιση ή θεωρία. Αντίθετα, επικεντρώνονται στον ρόλο των ΤΠΕ στην εκπαίδευση, ιδιαίτερα στη διδασκαλία και κατανόηση επιστημονικών εννοιών και φαινομένων. Με άλλα λόγια, καταδεικνύουν την επίδραση των ΤΠΕ στη διδασκαλία και τη μάθηση της επιστήμης.

Οι προβληματισμοί σε αυτήν την αρχική θεωρητική προσέγγιση βασίζονται σε 11 θέματα που κατηγοριοποιούν τις πρωτογενείς τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνιών (ΤΠΕ) που χρησιμοποιούνται στην εκπαίδευση των Φυσικών Επιστημών για διδασκαλία και μάθηση. Αυτά τα θέματα περιλαμβάνουν περιβάλλοντα μάθησης που βασίζονται σε προσομοίωση, στο Διαδίκτυο και στον Ιστό, σε υπολογιστή, σε πολυμέσα, σε τεχνολογία, σε κινούμενα σχέδια, περιβάλλοντα μάθησης κινητών (MLE), σε υπερμέσα, σε MUVE, σε παιχνίδια και εξ αποστάσεως εργαστηριακή διδασκαλία και μάθηση.

Η πρωτογενής τεχνολογία πληροφοριών και επικοινωνιών (ΤΠΕ) που χρησιμοποιείται στην εκπαίδευση των Φυσικών Επιστημών έχει ομοιότητες με την έννοια του Jonassen (2000) για τα «γνωστικά εργαλεία». Αυτή η έρευνα δεν παρουσιάζει ένα θεωρητικό πλαίσιο, αλλά προσφέρει εργαλεία για την επέκταση και την αναδιοργάνωση των γνωστικών διαδικασιών για την ενίσχυση της εκμάθησης των επιστημών. Σύμφωνα με τον Jonassen (2000), τα «γνωστικά εργαλεία» αναφέρονται σε εργαλεία υπολογιστών

που τροποποιούνται ή δημιουργούνται για να χρησιμεύσουν ως πνευματικοί σύντροφοι για τους μαθητές, με στόχο την προώθηση και διευκόλυνση της κριτικής σκέψης και την απόκτηση προηγμένης γνώσης.

Η χρήση αυτών των εργαλείων επιτρέπει την περαιτέρω διερεύνηση της έρευνας του Mayer (2009) για τη μάθηση πολυμέσων, παρέχοντας νέες γνώσεις για τη διδασκαλία και τη μάθηση (Starbek, Starčič Erjavec, & Peklaj, 2010· Tolentinoetal., 2009· Zheng, Yang, Garcia, & McCadden, 2008). Αυτές οι μελέτες στοχεύουν να ξεπεράσουν τη συνεχή χρήση παραδοσιακών μεθόδων διδασκαλίας σε πολλά σχολεία σήμερα.

Είναι απαραίτητο να εξεταστούν διεξοδικά οι θεωρητικές παραδοχές στις οποίες βασίζονται οι πρωτογενείς ΤΠΕ που χρησιμοποιούνται και η λειτουργία τους στην εκπαίδευση των Φυσικών Επιστημών. Αυτό είναι σημαντικό γιατί υπάρχει μια αυξανόμενη κλίση προς μια «θεωρία της τεχνολογικής εκπαίδευσης» (Bertrand, 2001) που δίνει προτεραιότητα στη συστηματική διάταξη των μεθόδων διδασκαλίας, ανεξάρτητα από το περιεχόμενο που διδάσκεται. Ο Bertrand (2001) προσδιορίζει μια «θεωρία της τεχνολογικής εκπαίδευσης» ως εμφανής όταν μια μελέτη ενσωματώνει όρους που σχετίζονται με τη διαδικασία, την επικοινωνία, την εκπαίδευση, την τεχνολογία, τις τεχνικές, τα ηλεκτρονικά περιβάλλοντα, τα διαδραστικά εργαστήρια, τα υπερμέσα και την εξατομικευμένη μάθηση. Επιπλέον, η μελέτη θα πρέπει να περιλαμβάνει τη χρήση τεχνολογιών επικοινωνίας όπως οπτικοακουστικός εξοπλισμός, DVD και υπολογιστές.

Κατά την εξέταση της πρωτογενούς τεχνολογίας πληροφοριών και επικοινωνιών (ΤΠΕ) που χρησιμοποιείται στην εκπαίδευση των Φυσικών Επιστημών, παρατηρούμε ότι οι συζητήσεις για τις θεωρητικές μεθόδους έχουν ομοιότητες με τα «γνωστικά εργαλεία» του Jonassen (2000) σε ορισμένες περιπτώσεις και με τη «θεωρία της τεχνολογικής εκπαίδευσης» του Bertrand (2001) σε άλλα. Η έρευνα για προσομοιώσεις περιλαμβάνει λεπτομερείς μελέτες για διάφορες πτυχές. Για παράδειγμα, υπάρχουν μελέτες για το πώς οι μαθητές αντιλαμβάνονται και μαθαίνουν χωρικά μέσω προσομοιώσεων επιστημονικών φαινομένων (Lindgren & Schwartz, 2009). Επιπλέον, υπάρχουν έρευνες σχετικά με την παρουσία ευρετικών που χρειάζονται οι μαθητές προκειμένου να συμμετάσχουν σε δραστηριότητες που βασίζονται σε προσομοιώσεις (Veermans, vanJoolingen, & deJong, 2006). Επιπλέον, προσομοιώσεις

χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση των θεωρητικών μελετών με τον πραγματικό κόσμο μέσω του χειρισμού μεταβλητών (Khan, 2010; Scaliseetal., 2011).

Το Διαδίκτυο και ο Ιστός αναφέρονται σε αρκετές μελέτες, συμπεριλαμβανομένων αυτών του Chin-Chung (2009), Dimopoulos and Asimakopoulos (2009), Gelbart, Brill, and Yarden (2009), Katz (2011), Kubasko et al., (2008), Leeetal. (2011), McCrory Wallace et al., (2000) και She et al. (2012). Στο συγκεκριμένο σημείο είναι σημαντικό να τονιστεί η έρευνα που ολοκλήρωσαν οι Leeetal. (2011), η οποία οδηγεί σε σημαντικά συμπεράσματα. Το να επιτρέπεται στους μαθητές να έχουν αυτονομία είναι ζωτικής σημασίας για την ενίσχυση της στάσης και των κινήτρων τους απέναντι στην επιστήμη που σπουδάζουν στο Διαδίκτυο. Ωστόσο, η κατάλληλη κατάρτιση και καθοδήγηση των δασκάλων και των συντονιστών είναι απαραίτητη για την εκπαίδευση των φυσικών επιστημών που διεξάγεται μέσω του Διαδικτύου.

Η έρευνα για τη "διδασκαλία και μάθηση με βάση υπολογιστή" ή "υποβοηθούμενη από υπολογιστή διδασκαλία (CAT)" αποκαλύπτει επίσης ορισμένα πρότυπα, ιδίως σε σχέση με την ενσωμάτωση της τεχνολογίας πληροφοριών και επικοινωνιών (ΤΠΕ), με ιδιαίτερη έμφαση στη χρήση των υπολογιστών στην επιστημονική εκπαίδευση. Πολλαπλές μελέτες έχουν εξετάσει την ικανότητα των υπολογιστών να βελτιώνουν την επιστημονική εκπαίδευση, εστιάζοντας σε εικονικά εργαστηριακά πειράματα, στην επίλυση προβλημάτων και στον χειρισμό μεταβλητών (Clark&Jorde, 2004; Devolderetal., 2012).

Η συζήτηση για τη διδασκαλία και τη μάθηση που βασίζεται σε πολυμέσα υποστηρίζει τις έννοιες της γνωστικής θεωρίας της μάθησης πολυμέσων (Mayer, 2009), η οποία δηλώνει ότι τα άτομα μαθαίνουν πιο αποτελεσματικά όταν εκτίθενται τόσο σε λέξεις όσο και σε εικόνες, σε αντίθεση με μόνο τις λέξεις (Starbek et al. ., 2010, Tolentino et al., 2009, Zheng et al., 2008).

Οι μελέτες που ενσωματώνουν τη "βασισμένη στην τεχνολογία διδασκαλία και μάθηση" στα θεωρητικά τους πλαίσια εξετάζουν πρωτίστως τον αντίκτυπο των διαφόρων τεχνολογιών στο πρόγραμμα σπουδών των φυσικών επιστημών, καθώς και τις εκπαιδευτικές στρατηγικές που χρησιμοποιούν οι εκπαιδευτικοί σε αυτά τα πλαίσια (Hsuetal., 2008; Mayer- Smith, Pedretti, &Woodrow, 2000)

Η αντικατάσταση των στατικών φωτογραφιών με κινούμενα οπτικά γραφικά εξετάζεται επίσης στο πλαίσιο της «διδασκαλίας και μάθησης που βασίζεται σε κινούμενα σχέδια». Οι επιστήμονες και οι εκπαιδευτικοί που μελετούν αυτό το θέμα πιστεύουν ότι η χρήση κινούμενων εικόνων για την απεικόνιση επιστημονικών μοντέλων έχει σημαντικές δυνατότητες να βελτιώσει τη διδασκαλία και τη μάθηση επιστημονικών εννοιών (Barak, Ashkar, & Dori, 2011; Dalacosta et al., 2009),

Τα κινητά περιβάλλοντα μάθησης (MLE) τυγχάνουν αυξανόμενης προσοχής τα τελευταία χρόνια, ιδιαίτερα λόγω της εμφάνισης των smartphone και των tablet. Αυτό έχει τονιστεί σε μελέτες των Looi et al. (2011) και Zhang et al. (2010).

Επί του παρόντος, στον τομέα της επιστημονικής εκπαίδευσης, υπάρχουν τεχνολογικές εξελίξεις που αφορούν εικονικά περιβάλλοντα πολλών χρηστών (MUVE) ή εικονικούς κόσμους (Nelson, 2007), τη διδασκαλία και τη μάθηση μέσω παιχνιδιών (Squire & Jan, 2007) και τη διδασκαλία και τη μάθηση χρησιμοποιώντας απομακρυσμένα εργαστήρια (Lowe, Newcombe & Stumpers, 2012).

Η χρήση των τεχνολογικών πόρων στην εκπαίδευση των Φυσικών Επιστημών έχει εξεταστεί χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η πιθανή επίδραση της βοήθειας των εκπαιδευτικών, του περιβάλλοντος της τάξης ή του ρόλου των τεχνολογικών πόρων στο πρόγραμμα σπουδών. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ενώ υπάρχουν μελέτες που δίνουν θεωρητικές προσεγγίσεις σε τεχνολογικές περιγραφές, μόνο μερικές από αυτές περιλαμβάνουν σε βάθος εξερευνήσεις γνωστικών θεωριών της γνώσης, όπως εξηγείται περαιτέρω παρακάτω.

2.5.1 Επίδραση ψηφιακών εργαλείων και προσομοιώσεων στη διδασκαλία πολύπλοκων εννοιών

Η επιστημονική εκπαίδευση προήλθε από την αναγνώριση από τη βικτοριανή κοινωνία ότι είχε υποστεί μετασχηματισμό, μεταβαίνοντας από έναν αγροτικό πολιτισμό σε έναν πολιτισμό που επηρεάζεται κυρίως από την επιστημονική και τεχνολογική γνώση και εξαρτάται από αυτήν. Η Μεγάλη Έκθεση του 1851 υπογράμμισε την ανάγκη για έναν καλά εκπαιδευμένο πληθυσμό στις επιστήμες και την τεχνολογία για να υποστηρίξει την ανάπτυξη της αναδυόμενης κοινωνίας. Αν και υπήρχε γενική συναίνεση για τη σημασία της ένταξης των φυσικών επιστημών στο πρόγραμμα σπουδών, έκτοτε έχουν γίνει πολλές συζητήσεις σχετικά με τη δομή και το περιεχόμενο της επιστημονικής

εκπαίδευσης. Ο Osborne και οι συνεργάτες του (2003) δήλωσαν ότι υπάρχουν αντιμαχόμενες ομάδες με διαφορετικές απόψεις. Η μία ομάδα πιστεύει ότι η εκπαίδευση στις φυσικές επιστήμες πρέπει να εστιάζει στην ανάπτυξη γνώσεων και κατανόησης των βασικών επιστημονικών αρχών, οι οποίες αποτελούν το θεμέλιο του αντικειμένου. Η άλλη ομάδα υποστηρίζει ότι η έμφαση θα πρέπει να δοθεί στις διαδικασίες σκέψης που εμπλέκονται στην επιστήμη. Σύμφωνα με τους Osborne κ.ά. (2003), το επικρατέστερο μοντέλο αναλυτικού προγράμματος θεωρεί την εκπαίδευση στις φυσικές επιστήμες ως μια προπαρασκευαστική προετοιμασία για τους σημερινούς μαθητές που θα γίνουν τελικά μελλοντικοί επιστήμονες. Αυτό το χαρακτηριστικό υπήρξε αναμφίβολα η αιτία της υποτίμησης των φυσικών επιστημών από το βρετανικό κατεστημένο, το οποίο ιστορικά θεωρούσε ότι οι φυσικές επιστήμες ήταν λιγότερο σημαντικές σε σύγκριση με άλλα μαθήματα, τα οποία συνήθως θεωρούνταν ότι παρείχαν μια πιο ολοκληρωμένη εκπαίδευση. Υπάρχουν τέσσερις κυρίαρχοι λόγοι για την εκπαίδευση στις φυσικές επιστήμες. Ο χρήστης δεν παρείχε κανένα κείμενο. Η ωφελμιστική προοπτική υποστηρίζει ότι η επιστημονική γνώση είναι καθολικά ωφέλιμη και εφαρμόσιμη. Η οικονομική προοπτική τονίζει την ανάγκη διατήρησης ενός επαρκούς αριθμού ατόμων με επιστημονική κατάρτιση προκειμένου να υποστηριχθεί και να βελτιωθεί μια βιομηχανική κοινωνία. Ο χρήστης δεν έδωσε κανένα κείμενο. Το Πολιτιστικό επιχείρημα θέτει ότι η επιστήμη και η τεχνολογία συγκαταλέγονται στα σημαντικότερα επιτεύγματα της σύγχρονης κοινωνίας και ότι η ολοκληρωμένη κατανόηση αυτών των τομέων αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για ένα μορφωμένο άτομο. Το δημοκρατικό επιχείρημα υποστηρίζει ότι πολλές πολιτικές και προκλήσεις που παρουσιάζει η σύγχρονη κοινωνία έχουν εγγενώς επιστημονικό χαρακτήρα. Για να συμμετάσχει κανείς στο διάλογο γύρω από αυτό το ψήφισμα, πρέπει να διαθέτει μια ολοκληρωμένη κατανόηση ορισμένων πτυχών της επιστήμης και της τεχνολογίας. Ως εκ τούτου, η παροχή εκπαίδευσης στο γενικό πληθυσμό στους τομείς της επιστήμης και της τεχνολογίας αποτελεί ζωτική ανάγκη για τη διατήρηση μιας εύρωστης δημοκρατικής κοινωνίας. (Osborne et al., 2003).

Η τρέχουσα επιθυμία των εκπαιδευτικών να χρησιμοποιούν τις ΤΠΕ στην τάξη επηρεάζεται αρνητικά από διάφορους περιορισμούς, όπως η έλλειψη χρόνου για την απόκτηση εμπιστοσύνης και εμπειρίας με την τεχνολογία. Ο χρήστης βιώνει περιορισμένη πρόσβαση σε αξιόπιστους πόρους λόγω ενός προγράμματος σπουδών φυσικών επιστημών που κατακλύζεται από την αξιολόγηση του περιεχομένου, το οποίο

δεν χρησιμοποιεί την τεχνολογία, και την έλλειψη συγκεκριμένων οδηγιών για τον τρόπο χρήσης των ΤΠΕ για την ενίσχυση της μάθησης. Αυτή η τεχνολογία έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί με διάφορους τρόπους για την υποστήριξη διαφορετικών στόχων του προγράμματος σπουδών και μεθόδων διδασκαλίας. Οι περιορισμοί συχνά εμποδίζουν τους εκπαιδευτικούς να αξιοποιήσουν πλήρως τη διαδραστικότητα των ΤΠΕ. Επί του παρόντος, η αξιοποίηση των ΤΠΕ στις τάξεις που είναι τόσο καλά ενσωματωμένη όσο και αποτελεσματική είναι ασυνήθιστη. Σε γενικές γραμμές, η χρήση των ΤΠΕ στα σχολικά εργαστήρια φυσικών επιστημών επηρεάζεται από το καθορισμένο πρόγραμμα σπουδών και τις καθιερωμένες μεθόδους διδασκαλίας, παρά προκαλεί σημαντικές αλλαγές σε αυτά. Συνολικά, οι εκπαιδευτικοί χρησιμοποιούν τις ΤΠΕ κυρίως για να ενισχύσουν, να εμπλουτίσουν και να συμπληρώσουν τις τρέχουσες μεθόδους διδασκαλίας, παρά για να αλλάξουν ριζικά το αντικείμενο, τους στόχους και τις μεθόδους διδασκαλίας. Παρ' όλα αυτά, η ορμή και η αφοσίωση των εκπαιδευτικών είναι έντονες και παρατηρείται σταδιακή αλλαγή της πρακτικής. Η αποτελεσματικότητα της κατάρτισης των εκπαιδευτικών στην ενσωμάτωση των ΤΠΕ στην τάξη φαίνεται να είναι πιο έντονη στον τομέα των θετικών επιστημών σε σύγκριση με άλλους ακαδημαϊκούς κλάδους. Οι εκπαιδευτικοί έχουν ήδη αρχίσει να δημιουργούν και να δοκιμάζουν νέες τακτικές που ξεπερνούν αποτελεσματικά τους περισπασμούς που προκαλεί η τεχνολογία και αντ' αυτού εστιάζουν την προσοχή στους επιδιωκόμενους μαθησιακούς στόχους (Osborne et al., 2003).

Η επικοινωνία της πληροφορικής είναι ζωτικής σημασίας για τη διευκόλυνση και την προσαρμογή στις απαιτήσεις του περιβάλλοντος στην καθημερινή μας ζωή. Η λειτουργία των ΤΠΕ στην εκπαίδευση των Φυσικών Επιστημών είναι ζωτικής σημασίας για την επίτευξη του στόχου της κοινωνικής και οικονομικής ανάπτυξης. Σε ολόκληρο τον κόσμο, υπάρχει ευρεία συναίνεση ότι η ανάπτυξη μπορεί να είναι σημαντική μόνο όταν καθοδηγείται από την επιστήμη και την τεχνολογία. Η υλοποίηση του στόχου και των προοπτικών των ΤΠΕ έχει σημαντικές επιπτώσεις στην εκπαίδευση των Φυσικών Επιστημών. - Επαρκείς οικονομικοί πόροι: Η αποτελεσματικότητα των ΤΠΕ στο πρόγραμμα εκπαίδευσης των φυσικών επιστημών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από οικονομικούς πόρους. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την αποτελεσματική άρθρωση και διαχείριση των οικονομικών του προγράμματος, ιδιαίτερα σε σχέση με την εκπαίδευση των Φυσικών Επιστημών. Η παροχή εκπαιδευτικού υλικού αναφέρεται

στην παροχή πόρων, εγκαταστάσεων και εξοπλισμού που χρησιμοποιούν οι δάσκαλοι για να δείξουν, να εξηγήσουν και να δώσουν έμφαση στα μαθήματα προκειμένου να ενισχύσουν την κατανόηση των μαθητών. - Πρόσληψη και επαγγελματική ανάπτυξη εκπαιδευτικών. Οι δάσκαλοι είναι τα κύρια ενδιαφερόμενα μέρη και οι βασικοί φορείς υλοποίησης ενός επιτυχημένου προγράμματος επιστημονικής εκπαίδευσης. Με τον αυξανόμενο αριθμό μαθητών που εγγράφονται σε μαθήματα φυσικών επιστημών και τις αλλαγές στο πρόγραμμα σπουδών, υπάρχει ανάγκη για επαρκή αριθμό καλά προετοιμασμένων και εμπνευσμένων δασκάλων στην εκπαίδευση των Φυσικών Επιστημών για να διασφαλιστεί η σωστή εφαρμογή του προγράμματος ΤΠΕ. - Ενίσχυση των αποδοχών και ενίσχυση των συνθηκών εργασίας των εκπαιδευτικών επιστημονικής εκπαίδευσης. Είναι ευρέως αναγνωρισμένο ότι η παροχή προαιρετικών συνθηκών εργασίας στους εκπαιδευτικούς ενισχύει θετικά τη συνολική ποιότητα της δημόσιας εκπαίδευσης. Το έργο του Ighezor το 2006, όπως αναφέρθηκε από τους Eya et al το 2012. Η κυβέρνηση πρέπει να αναλάβει το ουσιαστικό έργο της αποκατάστασης και αποκατάστασης της φήμης των εκπαιδευτικών. Ένας τρόπος για να επιτευχθεί αυτό είναι η βελτίωση των πακέτων αποζημίωσης για τους εκπαιδευτικούς, δηλαδή με την αύξηση των επιδομάτων στέγασης και των ενεργειακών επιδομάτων τους. Οι εκπαιδευτικοί που μεταφέρονται θα πρέπει να λάβουν επιδόματα μετάθεσης. Επιπλέον, είναι σημαντικό να παρέχονται συγκεκριμένα επιδόματα σε εκπαιδευτικούς που εργάζονται σε παραποτάμιες και αγροτικές περιοχές, προκειμένου να δοθεί κίνητρο για τη συνέχιση της συμμετοχής τους στο πρόγραμμα εκπαίδευσης των φυσικών επιστημών. - Παρακολούθηση και αξιολόγηση: συμμετέχουν όλα τα επίπεδα διακυβέρνησης και εκπαιδευτικής διοίκησης. Στόχος είναι να εντοπιστούν τυχόν περιορισμοί στο δυναμικό επιστημονικής εκπαίδευσης προκειμένου να εφαρμοστούν κατάλληλα μέτρα για την αντιμετώπισή τους. Η αναλογία δασκάλου-μαθητή είναι ένα σημαντικό πρόβλημα για τους εκπαιδευτικούς στην εφαρμογή της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών, όπως δηλώθηκε από την Ομοσπονδιακή Δημοκρατία της Νιγηρίας (2004). Η συνιστώμενη αναλογία δασκάλου-μαθητή είναι 1:35, ωστόσο στην πολιτεία Σοκότο, τώρα είναι 1:80.

Η μεθοδολογία διδασκαλίας αναφέρεται στις στρατηγικές και τις τεχνικές που χρησιμοποιούν οι δάσκαλοι για να παραδώσουν αποτελεσματικά τα μαθήματά τους, διασφαλίζοντας ότι η μαθησιακή εμπειρία είναι απτή και κατανοητή για τους μαθητές. Ο Mbakwe (2005) υποστηρίζει στο Eya et al. (2012) ότι ο επαγγελματισμός ενός Διπλωματική εργασία

δασκάλου καθορίζεται από την τεχνική διδασκαλίας του. Οι δάσκαλοι της εκπαίδευσης στις Φυσικές Επιστήμες θα πρέπει να εγκαταλείψουν την απαρχαιωμένη προσέγγιση με επίκεντρο τον δάσκαλο στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών. Αυτή η στρατηγική απεικονίζει τους μαθητές αποκλειστικά ως παθητικούς παρατηρητές, απορροφώντας παθητικά όλες τις πληροφορίες που παρέχονται από τους διδάσκοντες.

2.5.2 Μελέτες περίπτωσης επιτυχούς ενσωμάτωσης τεχνολογίας στη θερμοδυναμική εκπαίδευση

Επί του παρόντος, οι ερευνητικές δραστηριότητες στερούνται ομοιότητας με εκείνες που μιμούνται την «επιστημονική μέθοδο», η οποία χαρακτηρίζεται πρωτίστως από παγκόσμια προγράμματα επιστημονικής εκπαίδευσης στις Ηνωμένες Πολιτείες και την Ευρώπη από τη δεκαετία του 1960. Η μάθηση μέσω της έρευνας, από τη σκοπιά του κοινωνικού κονστρουκτιβισμού, συνεπάγεται την ενεργό συμμετοχή των μαθητών στη διερεύνηση των καθημερινών φαινομένων, ωθώντας τους να θέσουν ερωτήματα, να διατυπώσουν υποθέσεις, να ανταλλάξουν ιδέες και να κατασκευάσουν γνώση (Driver, Hilary, John, Mortimer, & Philip, 1999; Driver, Newton, & Osborne, 2000). Η ενσωμάτωση της έρευνας στην επιστημονική εκπαίδευση έχει περιλάβει τη χρήση πολλών τεχνολογιών στο πρόγραμμα σπουδών των επιστημών (Ebenezer, Kaya, & Ebenezer, 2011). Οι Jaakkola και Nurmi (2008) έδειξαν ότι η ενοποίηση της εικονικής προσομοίωσης με εργαστηριακούς πόρους έχει ως αποτέλεσμα σημαντικά υψηλότερα μαθησιακά κέρδη σε σύγκριση με τη χρήση είτε προσομοίωσης είτε εργαστηριακών δραστηριοτήτων μόνο. Επιπλέον, αυτή η προσέγγιση ενισχύει την εννοιολογική κατανόηση των μαθητών πιο αποτελεσματικά. Στη μελέτη τους, οι Mistler-Jackson και Butler-Songer (2000) εξέτασαν τη μαθησιακή διαδικασία των παιδιών της έκτης τάξης σε σχέση με το ατμοσφαιρικό θέμα που χρησιμοποιεί την τεχνολογία. Παρατήρησαν τους μαθητές τόσο πριν όσο και μετά την εισαγωγή ενός προγράμματος που αξιοποιούσε δεδομένα του διαδικτύου. Στη μελέτη του, ο Hakkarainen (2003) ανέλυσε τις μεθόδους έρευνας που χρησιμοποιούσαν 28 μαθητές της πέμπτης και της έκτης τάξης που ασχολούνταν με μάθηση με υποστήριξη υπολογιστή. Η μελέτη υιοθέτησε μια προσέγγιση συνεργατικής μάθησης. Τα ευρήματα της μελέτης αποκάλυψαν ότι, υπό την καθοδήγηση του δασκάλου, οι μαθητές επέδειξαν την ικανότητα να δημιουργούν ενστικτώδεις εξηγήσεις βιολογικών φαινομένων, να κατευθύνουν ανεξάρτητα τις μαθησιακές τους διαδικασίες, να

επιδιώκουν τα δικά τους ερευνητικά θέματα και να συμμετέχουν σε παραγωγικές αλληλεπιδράσεις με τους συμμαθητές τους. Αυτές οι αλληλεπιδράσεις διευκόλυναν τη μετάβαση από τις ενστικτώδεις εξηγήσεις σε πιο θεωρητικές και επιστημονικές εξηγήσεις.

Τα ευρήματα της προσέγγισης που βασίζεται στην έρευνα έχουν αποφέρει θετικά αποτελέσματα και πολλές άλλες μελέτες έχουν δείξει πολλά υποσχόμενα για την ανάπτυξη μιας βασισμένης στην έρευνα κατανόησης της επιστημονικής εκπαίδευσης μέσω της χρήσης διαφορετικών εκπαιδευτικών τεχνολογιών (Barab, Sadler, Heiselt, Hickey, & Zuiker, 2007; Dori&Sasson, 2008; Ebenezeretal., 2011)

Η προσέγγιση που βασίζεται στην ανακάλυψη αναφέρεται σε μια μέθοδο μάθησης ή επίλυσης προβλημάτων που δίνει έμφαση στη διαδικασία εξερεύνησης και έρευνας για την αποκάλυψη νέων γνώσεων ή λύσεων.

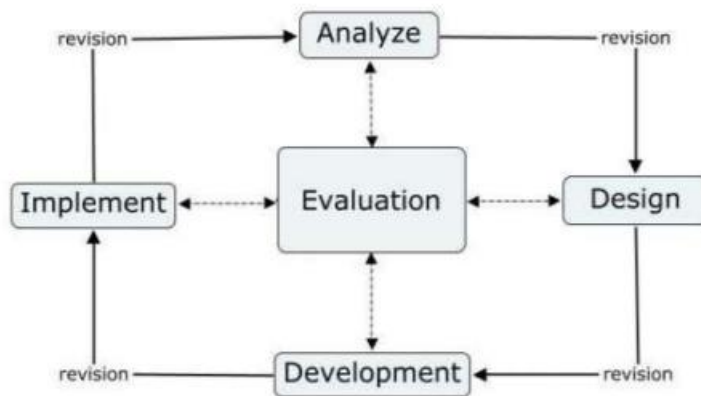
Αυτή η εκπαιδευτική προοπτική, που συχνά θεωρείται συνώνυμη με την «προσέγγιση που βασίζεται στην έρευνα» (Jaakkola&Nurmi, 2008), έχει επίσης αναγνωριστεί όλο και περισσότερο σε πολυάριθμες έρευνες. Για να κατανοηθεί ο αντίκτυπος των εκπαιδευτικών τεχνολογιών στη μάθηση-από-ανακάλυψη, έχουν πραγματοποιηθεί διάφορες αξιολογικές μελέτες για τη μάθηση των επιστημών (Reid, Zhang, & Chen, 2003; Zhang, Chen, Sun, & Reid, 2004). Σύμφωνα με τους Reid et al. (2003) και Zhang et al. (2004), η διαδικασία εκμάθησης της επιστήμης μέσω προσομοιώσεων απαιτεί ένα πλαίσιο που δίνει έμφαση στη μάθηση που βασίζεται στην ανακάλυψη. Αυτό το πλαίσιο θα πρέπει να δομηθεί γύρω από τρεις βασικές προοπτικές: ερμηνευτική υποστήριξη (S), πειραματική υποστήριξη (ES) και αντανεκλαστική υποστήριξη (RS). Σύμφωνα με αυτούς τους συγγραφείς, η μάθηση με ανακάλυψη θεωρείται ουσιαστική, συστηματική και αντανεκλαστική από αυτές τις τρεις οπτικές γωνίες.

Κεφάλαιο 3: Σχεδιασμός του Εκπαιδευτικού Υλικού της εργασίας

3.1 Γενικά

Οι Sofos et al. (2015:65-68) υποστηρίζουν ότι το μοντέλο εκπαιδευτικού σχεδιασμού των Dick & Carey είναι ένα καθιερωμένο και ευρέως χρησιμοποιούμενο συστημικό παράδειγμα στον τομέα της εκπαίδευσης. Αυτό το παράδειγμα έχει δέκα διαδοχικά βήματα που πρέπει να τηρούνται κατά τη διαμόρφωση μιας εκπαιδευτικής παρέμβασης. Σε αυτή τη διαδικασία, το έβδομο βήμα περιλαμβάνει τη δημιουργία και την επιλογή εκπαιδευτικού υλικού, γνωστού ως ΕΥ. Αυτό το βήμα θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη όλα τα στοιχεία από τις προηγούμενες διαδικασίες, συγκεκριμένα: (α) Προσδιορισμός εκπαιδευτικών στόχων, (β) Διεξαγωγή διδακτικής ανάλυσης, (γ) Ανάλυση μαθητών και περιεχομένων, (δ) Γράψιμο στόχων απόδοσης, (ε) Ανάπτυξη Μέσων αξιολόγησης και (στ) Ανάπτυξη εκπαιδευτικής στρατηγικής. Τα τρία τελευταία βήματα περιλαμβάνουν (η) τη δημιουργία και την εκτέλεση της διαμορφωτικής αξιολόγησης, (θ) την τροποποίηση της διδασκαλίας και (ι) την ανάπτυξη και την εκτέλεση της αθροιστικής αξιολόγησης.

Ένα άλλο συχνά χρησιμοποιούμενο πλαίσιο, που αναφέρεται ως ADDIE, ακολουθεί μια συγκρίσιμη σειρά διαδικασιών, που υποδηλώνονται με τα ρήματα Analyze, Design, Develop, Implement και Evaluate (Kurt, 2017). Αυτά τα ρήματα αφορούν ενέργειες που σχετίζονται με τη διεύθυνση μιας εκπαιδευτικής παρέμβασης, ιδιαίτερα στο πεδίο της προσχολικής εκπαίδευσης. Το κεντρικό στάδιο αυτής της μεθοδολογίας είναι η εξέταση των απαιτήσεων των μαθητών.



Εικόνα 1: Το Μοντέλο ADDIE (Kurt, 2017)

Ωστόσο, ο στόχος αυτού του έργου δεν ήταν η δημιουργία μιας ολοκληρωμένης εκπαιδευτικής παρέμβασης προσαρμοσμένης σε έναν συγκεκριμένο οργανισμό, με στόχο μια σαφώς καθορισμένη ομάδα μαθητών με γνωστές ανάγκες και προηγούμενες εμπειρίες, προκειμένου να αναπτυχθεί η συναισθηματική νοημοσύνη ενσωματώνοντας πληροφορίες και εμπειρίες σύμφωνα με συγκεκριμένα στάδια που περιγράφονται στο μοντέλο. Πρωταρχικός στόχος αυτού του έργου ήταν η δημιουργία ευέλικτου εκπαιδευτικού διαδραστικού υλικού που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη σύγχρονη εκπαίδευση, είτε μόνο του είτε ως συμπληρωματικός πόρος, ανάλογα με το μοναδικό πλαίσιο στο οποίο χρησιμοποιείται.

Ως θεμελιώδης προϋπόθεση για την ανάπτυξη αυτού του εκπαιδευτικού προγράμματος, θεωρήσαμε ότι οι σκοπούμενοι αποδέκτες είναι μαθητές που έχουν ολοκληρώσει ικανοποιητικά την εκπαίδευση του Γυμνασίου. Αυτό δείχνει ότι έχουν επιτύχει γενικά ένα ολοκληρωμένο σύνολο μαθησιακών αποτελεσμάτων, που περιλαμβάνει πληροφορίες, δεξιότητες και στάσεις που αντιμετωπίζονται σε αυτό το συγκεκριμένο στάδιο. Αφού εξετάσαμε αυτούς τους θεμελιώδεις παράγοντες, θα αναλύσουμε τώρα το εκπαιδευτικό πλαίσιο του σχεδιασμού της ΕΥ στην τρέχουσα μελέτη.

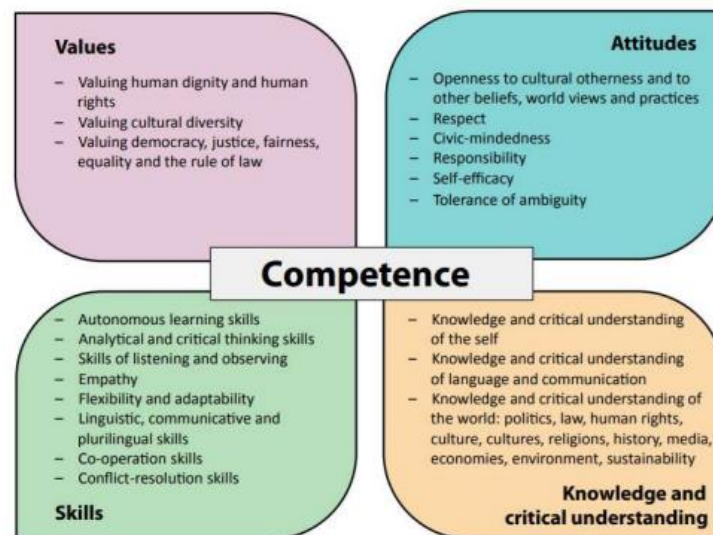
3.2 Εκπαιδευτικό Πλαίσιο

3.2.1 Πλαίσιο φιλοσοφίας και στόχων

Το Σχέδιο Δράσης Εκπαίδευση 2030 εισήχθη από την UNESCO το 2015 με την υιοθέτηση της Διακήρυξης του Incheon. Αυτό το πρόγραμμα ορίζει την ποιοτική

εκπαίδευση ως ένα εκπαιδευτικό σύστημα που προωθεί τη δημιουργικότητα και τη γνώση, ενώ παράλληλα διασφαλίζει την ανάπτυξη βασικών δεξιοτήτων γραμματικής και αριθμητικής. Επιπλέον, δίνει έμφαση στην καλλιέργεια προηγμένων γνωστικών, διαπροσωπικών και κοινωνικών δεξιοτήτων που είναι ζωτικής σημασίας για την επίλυση προβλημάτων και την ανάλυση, τόσο στο σχολείο όσο και σε όλη τη διάρκεια της ζωής του ατόμου. Ακόμη, διευκολύνει την ανάπτυξη ικανοτήτων, αξιών και νοοτροπιών που επιτρέπουν στα άτομα να αναλάβουν τη σωματική και ψυχική τους ευεξία, να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις και να αντιμετωπίζουν με επιτυχία τις προκλήσεις τόσο σε τοπικό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο.

Το Συμβούλιο της Ευρώπης έχει θεσπίσει μια σειρά αρχών και συστάσεων με τίτλο «Ποιοτική Εκπαίδευση Ιστορίας στον 21ο αιώνα» ως στοιχείο του σχεδίου δράσης του. Οι αρχές και οι κατευθυντήριες γραμμές περιγράφουν τους στόχους για την προώθηση μιας δημοκρατικής κουλτούρας (Εικόνα 2). Οι αρχές και τα πρότυπα προωθούν θεμελιώδεις αξίες όπως η εγγενής αξία κάθε ατόμου, το δικαίωμα σε βασικά δικαιώματα, η αναγνώριση των πολιτισμικών διαφορών, η πρακτική της δημοκρατικής διακυβέρνησης, η καθιέρωση δίκαιων νομικών συστημάτων, η επιδίωξη της ισότητας και η τήρηση των κανόνων δικαίου.



Εικόνα 2: Στόχοι για μια δημοκρατική κουλτούρα (Council of Europe, 2018)

Οι ευνοϊκές διαθέσεις σε αυτή τη συγκεκριμένη κατάσταση περιλαμβάνουν την ετοιμότητα για αποδοχή και εκτίμηση της πολιτισμικής ποικιλίας, που περιλαμβάνει τις απόψεις και τις παραδόσεις των άλλων. Τα επιθυμητά ταλέντα περιλαμβάνουν

αυτοκατευθυνόμενη μάθηση, αναλυτική και κριτική σκέψη, προσεκτική ακρόαση και παρατήρηση, ενσυναίσθηση και ευελιξία, ικανότητα γλώσσας και επικοινωνίας, πολυγλωσσική ικανότητα, καθώς και δεξιότητες ομαδικής εργασίας και επίλυσης συγκρούσεων. Η αναζήτηση της γνώσης και της κριτικής κατανόησης καλύπτει ένα ευρύ φάσμα τομέων, συμπεριλαμβανομένων της πολιτικής, της νομοθεσίας, των ανθρωπίνων δικαιωμάτων, του πολιτισμού, των θρησκειών, της ιστορίας, των μέσων ενημέρωσης, της οικονομίας, του περιβάλλοντος και της βιωσιμότητας.

Το παρόν Εκπαιδευτικό Υλικό αναπτύχθηκε χρησιμοποιώντας ένα δομημένο πλαίσιο που ενσωματώνει τη φιλοσοφία, τις έννοιες και τους παραπάνω στόχους. Επιπλέον, ενσωματώνει τους έξι πυλώνες μάθησης της UNESCO για τον 21ο αιώνα, που περιλαμβάνουν «απόκτηση της ικανότητας ύπαρξης», «ανάπτυξη πρακτικών δεξιοτήτων», «καλλιέργεια βιώσιμης συνύπαρξης», «απόκτηση γνώσης», «καλλιέργεια πνεύματος γενναιοδωρίας» και «μεταμόρφωση του εαυτού αλλά και της κοινωνίας». Επιπλέον, ενσωματώνει τις 10 δεξιότητες (10Cs) για τον 21ο αιώνα με τη βοήθεια ΤΠΕ, που περιλαμβάνει «κριτική σκέψη», «κριτική συνείδηση», «διασύνδεση και δικτύωση», «δημιουργικότητα και καινοτομία», «συνεργασία», «επικοινωνία», «κριτική σκέψη και επίλυση προβλημάτων», «οικοδόμηση γνώσης», «συνυπευθυνότητα» και «διαπολιτισμικές δεξιότητες» (Makrakis et al., 2016).

3.2.2 Πλαίσιο θεωριών μάθησης

Ο σχεδιασμός των ενσωματωμένων στοιχείων του ΕΥ προέρχεται από βασικές παιδαγωγικές προσεγγίσεις και αντίστοιχες θεωρίες μάθησης. Τα ακόλουθα στοιχεία είναι υψίστης σημασίας:

α) Συστατικά των θεωριών του Συμπεριφορισμού

Η τεχνική του συμπεριφορισμού είναι εμφανής:

- Στη σαφή άρθρωση των στόχων και των αναμενόμενων μαθησιακών αποτελεσμάτων, τα οποία πληροφορούνται από την αναθεωρημένη ταξινόμηση του Bloom (Anderson & Krathwohl, 2001). Οι γνωστικές θεωρίες ενίσχυσαν αυτή την προσέγγιση με τη διακριτή τους άποψη.

- Η γραμμική διάταξη και σύνθεση του υλικού στην ΕΥ δεν είναι υποχρεωτική ή περιοριστική για τον εκπαιδευόμενο, καθώς έχει την αυτονομία να το διασχίσει με βάση τις προτιμήσεις του.
- Κατά την παροχή περιεχομένου που σχετίζεται με ιστορικά γεγονότα που αναγνωρίζονται δημόσια και υπόκεινται σε διαφορετικές ερμηνείες.
- Κατά τη διάρκεια των διαδραστικών δραστηριοτήτων αυτής της παρουσίασης, καθώς και στις ασκήσεις αυτό-αξιολόγησης, οι μαθητές ενθαρρύνονται να κάνουν λάθη και να μάθουν από αυτά όταν παρέχουν ανατροφοδότηση.

γ) Συνιστώσες Γνωστικών θεωριών

Οι γνωστικές θεωρίες εκδηλώνονται με τους ακόλουθους τρόπους:

- Οι ιδέες της Θεωρίας της Μάθησης Πολυμέσων χρησιμοποιούνται στην Πρώιμη Εκπαίδευση, ενσωματώνοντας ερευνητικά ευρήματα από πολλαπλές γνωστικές θεωρίες.
- Οι δραστηριότητες έχουν σχεδιαστεί ειδικά για να δημιουργήσουν δεσμούς με τις υπάρχουσες πληροφορίες και να ενισχύσουν τις μεταγνωστικές ικανότητες του μαθητή.

β) Στοιχεία θεωριών κοινωνικού κονστрукτιβισμού

Οι κοινωνικές κονστрукτιβιστικές θεωρίες υπογραμμίζουν τα ακόλουθα θεμελιώδη στοιχεία:

- Η ενεργή συμμετοχή του μαθητή στη μαθησιακή διαδικασία και η ικανότητά του να ρυθμίζει την ταχύτητα της μάθησης είναι ζωτικής σημασίας. Εξίσου σημαντικές είναι οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ μαθητών και δασκάλων, καθώς και μεταξύ των ίδιων των μαθητών, οι οποίες μπορούν να διευκολυνθούν μέσω πόρων όπως φόρουμ και πλατφόρμες συνομιλίας. Οι επαφές αυτές διευκολύνουν τη συνεργατική διαμόρφωση της γνώσης και την καλλιέργεια της συλλογικής κατανόησης και ερμηνειών. Στην παρούσα παρέμβαση, οι μαθητές ενθαρρύνονται να ασχολούνται με το υλικό με τον δικό τους ρυθμό, επιτρέποντας την αυτορρύθμιση της ταχύτητας εκμάθησής τους. Αυτό

διευκολύνεται μέσω διαδραστικών διαλέξεων, συζητήσεων και συνεδριών επίλυσης προβλημάτων όπου οι μαθητές μπορούν να θέσουν ερωτήσεις και να εξερευνήσουν έννοιες σε βάθος.

- τη σημασία των αλληλεπιδράσεων μεταξύ μαθητών και εκπαιδευτικών, καθώς και μεταξύ των ίδιων των μαθητών, που διευκολύνεται από εργαλεία όπως φόρουμ και πλατφόρμες συνομιλίας. Αυτές οι αλληλεπιδράσεις προάγουν τη συνεργατική κατασκευή της γνώσης και την ανάπτυξη κοινών κατανοήσεων και ερμηνειών. Η εφαρμογή που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη είναι το Slack, μια ευέλικτη πλατφόρμα επικοινωνίας που υποστηρίζει τόσο τη σύγχρονη όσο και την ασύγχρονη αλληλεπίδραση. Το Slack ρυθμίστηκε για τη δημιουργία αποκλειστικών καναλιών για διαφορετικές πτυχές της παρέμβασης, όπως ξεχωριστά κανάλια για συζητήσεις σχετικά με τον κύκλο Carnot, τη λειτουργία των θερμικών μηχανών και τον τρόπο μεγιστοποίησης της απόδοσής τους, τις πειραματικές παρατηρήσεις και γενικά ερωτήματα. Αυτή η ρύθμιση επιτρέπει στους μαθητές να συμμετέχουν σε συζητήσεις για συγκεκριμένο θέμα, να μοιράζονται πόρους και να βελτιώνουν συνεργατικά την κατανόησή τους για τις επιστημονικές έννοιες. Ο ερευνητής συμμετείχε ενεργά καθοδηγώντας συζητήσεις, διευκρινίζοντας αμφιβολίες και παρέχοντας ανατροφοδότηση, όλα μέσα στο περιβάλλον του Slack. Επιπλέον, η ικανότητα του Slack να ενσωματώνεται με άλλα εργαλεία, όπως το Google Drive για κοινή χρήση εγγράφων και το YouTube για τη διάδοση εκπαιδευτικών βίντεο, το καθιστά ένα ολοκληρωμένο εργαλείο για την προώθηση ενός δυναμικού και διαδραστικού περιβάλλοντος μάθησης. Αυτή η προσέγγιση όχι μόνο υποστηρίζει τους εκπαιδευτικούς στόχους της εμβάθυνσης της επιστημονικής κατανόησης, αλλά επίσης ενισχύει τον ψηφιακό γραμματισμό και τις δεξιότητες ομαδικής εργασίας μεταξύ των μαθητών.
- Η βιωματική μάθηση συνεπάγεται την ενεργό συμμετοχή σε μια διαδικασία έρευνας και ανακάλυψης σε ένα πραγματικό περιβάλλον. Στην παρούσα διδακτική παρέμβαση χρησιμοποιούνται πρακτικά παραδείγματα και διαγράμματα για την επεξήγηση των θεωρητικών εννοιών και οι μαθητές συμμετέχουν σε πρακτικές δραστηριότητες και πειράματα που προσομοιώνουν πραγματικές θερμοδυναμικές διεργασίες. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει στους

μαθητές να παρατηρούν άμεσα και να χειρίζονται μεταβλητές, εμβαθύνοντας την κατανόησή τους μέσω της βιωματικής εμπλοκής. Επιπλέον, διαδραστικές δραστηριότητες, όπως ομαδικές συζητήσεις για την εφαρμογή του κύκλου Carnot σε αναδυόμενες τεχνολογίες και συνεδρίες επίλυσης προβλημάτων με σενάρια πραγματικού κόσμου, δίνουν τη δυνατότητα στους μαθητές να εφαρμόσουν τη θεωρητική γνώση σε πρακτικές καταστάσεις, ενισχύοντας την μαθησιακή τους εμπειρία

- Η συμμετοχή σε δραστηριότητες που ενισχύουν την ικανότητα των μαθητών να συσχετίζουν νέες πληροφορίες με τις προσωπικές τους εμπειρίες και να τις εφαρμόζουν στην καθημερινή τους ζωή είναι εξίσου σημαντική. Συζητώντας τις πρακτικές εφαρμογές του κύκλου Carnot σε θερμικές μηχανές, ψυγεία και άλλες τεχνολογίες, οι μαθητές μπορούν να δουν τη συνάφεια των θερμοδυναμικών αρχών με τα καθημερινά φαινόμενα. Αυτή η προσέγγιση βοηθά τους μαθητές να συνδέσουν αφηρημένες έννοιες με απτές εμπειρίες, κάνοντας τη μαθησιακή διαδικασία πιο ουσιαστική και ελκυστική. Μέσα από στοχαστικές δραστηριότητες και συζητήσεις, οι μαθητές ενθαρρύνονται να κάνουν παραλληλισμούς μεταξύ των επιστημονικών εννοιών που μαθαίνουν και των δικών τους εμπειριών, ενθαρρύνοντας μια βαθύτερη και πιο προσωπική κατανόηση του θέματος.

Στον σχεδιασμό του ΕΥ σε αυτή τη μελέτη, ελήφθησαν υπόψη οι προοπτικές των Anderson & Dron (2011), Ally (2008) και Nam & Smith-Jackson (2007), ενώ ενσωματώθηκαν χαρακτηριστικά από τις προαναφερθείσες θεωρίες μάθησης.

3.2.3 Άξονες περιεχομένου και διδακτική στρατηγική

Οι Σοφός et al. (2015) υποστηρίζουν ότι σύμφωνα με τους Smith & Ragan (2004), η εκπαιδευτική στρατηγική γίνεται αντιληπτή ως ένα δομημένο σύνολο συμπεριφορών που έχουν σχεδιαστεί για την επίτευξη συγκεκριμένων μαθησιακών στόχων. Σύμφωνα με τον Branch (2009), αναφέρεται στη διάταξη και τη σειρά των εκπαιδευτικών εργασιών. Σύμφωνα με τους Jonassen, Grabinger και Harris (1990), μπορεί να οριστεί ως μια στρατηγική προσέγγιση για την επίτευξη συγκεκριμένων στόχων. Οι Dick, Carey και Carey (2009) διαφοροποιούν το μακροεπίπεδο, το οποίο αφορά την

ολοκληρωμένη οργάνωση και τη δομή μιας παρέμβασης, και το μικροεπίπεδο, το οποίο αφορά τις στρατηγικές και τις εκπαιδευτικές δραστηριότητες για συγκεκριμένους στόχους.

Λαμβάνοντας υπόψη αυτές τις βασικές απόψεις, η εκπαιδευτική παρέμβαση στοχεύει να εξετάσει την ενίσχυση της κατανόησης των μαθητών για τον κύκλο Carnot και τις θερμοδυναμικές αρχές. Αυτή η προσέγγιση προσφέρει μια πρακτική εφαρμογή αυτών των θεωρητικών πλαισίων. Αυτή η παρέμβαση είναι σύμφωνη με την προσέγγιση του Branch (2009) για την οργάνωση και την αλληλουχία των μαθησιακών δραστηριοτήτων. Περιλαμβάνει τη δόμηση του περιεχομένου σε τρεις προοδευτικές συνεδρίες που βοηθούν τους μαθητές να κατανοήσουν βασικές έννοιες και στη συνέχεια να προχωρήσουν σε πιο περίπλοκες εφαρμογές. Κάθε συνεδρία είναι δομημένη ώστε να προχωρά από τη μία στην άλλη, ξεκινώντας με μια εισαγωγή στη θερμοδυναμική και βασικούς όρους, ακολουθούμενη από μια λεπτομερή εξερεύνηση των διαδικασιών του κύκλου Carnot και καταλήγοντας στην πρακτική εφαρμογή και τη συνάφεια αυτών των αρχών στον πραγματικό κόσμο.

Επιπλέον, η παρέμβαση ευθυγραμμίζεται με τη διάκριση των Dick, Carey και Carey (2009) μεταξύ μακρο και μικροεπιπέδων του εκπαιδευτικού σχεδιασμού. Σε μακροσκοπικό επίπεδο, ο πρωταρχικός σκοπός της γενικής δομής είναι να οικοδομήσει αρχικά μια ιστορική και πνευματική βάση πριν από τη συμμετοχή των μαθητών σε πιο ενδελεχή εξέταση και συζήτηση. Αυτό εγγυάται ότι οι μαθητές όχι μόνο διαθέτουν πρακτικές γνώσεις, αλλά διαθέτουν επίσης την ικανότητα να αναλύουν και να αλληλεπιδρούν με το περιεχόμενο με στοχαστικό τρόπο. Σε μικροεπίπεδο, στοχευμένες δραστηριότητες μάθησης, όπως διαδραστικές επιδείξεις, συνομιλίες παιχνιδιών ρόλων και ομαδικές συζητήσεις χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση μεμονωμένων μαθησιακών στόχων που σχετίζονται με την κατανόηση των βασικών θερμοδυναμικών αρχών και του κύκλου Carnot καθώς και την καλλιέργεια επιστημονικών συλλογιστικών ικανοτήτων.

Οι Jonassen, Grabinger και Harris (1990) ορίζουν μια εκπαιδευτική στρατηγική ως ένα σχέδιο σχεδιασμένο για την επίτευξη συγκεκριμένων στόχων, το οποίο ευθυγραμμίζεται με αυτή τη στρατηγική προσέγγιση. Οι στόχοι σε αυτό το σενάριο είναι να ενισχύσουν την κατανόηση των επιστημονικών αρχών και την εξέλιξή τους με την πάροδο του χρόνου, να ενισχύσουν την ικανότητά τους να σκέφτονται κριτικά και

να αλλάξουν τις απόψεις τους για τη φύση της επιστημονικής έρευνας. Οι ασκήσεις για κάθε συνεδρία επιλέγονται σχολαστικά και έχουν σχεδιαστεί για να καθοδηγούν τους μαθητές προς αυτά τα επιθυμητά αποτελέσματα, ενθαρρύνοντας μια πιο εξελιγμένη κατανόηση της εξέλιξης των επιστημονικών υποθέσεων και τη σημασία του επιστημονικού λόγου για την πρόοδο της γνώσης.

Προκειμένου να εκτιμηθεί με ακρίβεια η αποτελεσματικότητα αυτής της εκπαιδευτικής προσέγγισης, η παρέμβαση περιλαμβάνει έρευνες πριν και μετά το μάθημα (φύλλα εργασίας) ειδικά σχεδιασμένες για την αξιολόγηση των αλλαγών στις γνώσεις και τις στάσεις των μαθητών. Αυτή η μεθοδολογική απόφαση καταδεικνύει μια δέσμευση για μια δομημένη προσέγγιση στην εκπαιδευτική στρατηγική, η οποία επιτρέπει την αξιολόγηση των εκπαιδευτικών παρεμβάσεων με βάση συγκεκριμένα μαθησιακά αποτελέσματα όπως περιγράφηκαν αρχικά από τους Smith & Ragan (2004).

3.3 Οι πυλώνες στήριξης του σχεδιασμού του ΕΥ

Οι παρακάτω πυλώνες εξασφαλίζουν μια ολοκληρωμένη, ελκυστική και αποτελεσματική εμπειρία μάθησης για τους μαθητές:

1. Ενεργητική Μάθηση

Η ενεργός μάθηση είναι ο βασικός πυλώνας του σχεδιασμού εκπαιδευτικού υλικού. Η παρέμβαση περιλαμβάνει διαδραστικές διαλέξεις, πρακτικές δραστηριότητες και συνεδρίες επίλυσης προβλημάτων που απαιτούν από τους μαθητές να ασχοληθούν ενεργά με το περιεχόμενο. Συμμετέχοντας σε συζητήσεις και συλλογικά έργα, οι μαθητές προχωρούν πέρα από την παθητική λήψη πληροφοριών για να κατασκευάσουν ενεργά την κατανόησή τους.

2. Συνεργατική Μάθηση

Η συνεργατική μάθηση τονίζει τη σημασία των κοινωνικών αλληλεπιδράσεων στη μαθησιακή διαδικασία. Η παρέμβαση διευκολύνει ομαδικές συζητήσεις, αλληλεπιδράσεις μεταξύ ομοτίμων και συνεργατικά έργα.

3. Βιωματική Μάθηση

Η βιωματική μάθηση περιλαμβάνει άμεση ενασχόληση με το υλικό μέσω πραγματικών εφαρμογών και πρακτικών πειραμάτων. Η παρέμβαση περιλαμβάνει πρακτικές επιδείξεις θερμοδυναμικών διεργασιών και δραστηριοτήτων που προσομοιώνουν σενάρια πραγματικής ζωής, δίνοντας τη δυνατότητα στους μαθητές να εξερευνήσουν και να ανακαλύψουν έννοιες μέσω της εμπειρίας.

4. Μάθηση με βάση τα συμφραζόμενα

Η μάθηση με βάση τα συμφραζόμενα διασφαλίζει ότι οι νέες πληροφορίες συνδέονται με τις υπάρχουσες γνώσεις και τις προσωπικές εμπειρίες των μαθητών. Η παρέμβαση συσχετίζει τις θερμοδυναμικές αρχές με τα καθημερινά φαινόμενα και τις πρακτικές εφαρμογές, βοηθώντας τους μαθητές να δουν τη συνάφεια και τη σημασία αυτών που μαθαίνουν. Αυτή η προσέγγιση κάνει τις αφηρημένες έννοιες πιο απτές και κατανοητές.

5. Αυτο-ρυθμιζόμενη μάθηση

Η αυτορυθμιζόμενη μάθηση υποστηρίζεται επιτρέποντας στους μαθητές να ελέγχουν τον ρυθμό της μάθησής τους. Η παρέμβαση περιλαμβάνει πόρους και δραστηριότητες που οι μαθητές μπορούν να εξερευνήσουν ανεξάρτητα, ενισχύοντας την αυτονομία και την εξατομικευμένη μάθηση. Οι ευκαιρίες για προβληματισμό και αυτοαξιολόγηση βοηθούν τους μαθητές να οικειοποιηθούν τη μαθησιακή τους διαδικασία.

6. Αναστοχαστική Μάθηση

Η στοχαστική μάθηση ενθαρρύνει τους μαθητές να σκεφτούν κριτικά τις μαθησιακές τους εμπειρίες και το υλικό που καλύπτεται. Η παρέμβαση περιλαμβάνει δραστηριότητες που ωθούν τους μαθητές να προβληματιστούν σχετικά με την κατανόησή τους, τις συνδέσεις που κάνουν μεταξύ της νέας και της υπάρχουσας γνώσης και τη στάση τους απέναντι στο αντικείμενο.

7. Αξιολόγηση και Ανατροφοδότηση

Η αξιολόγηση και η ανατροφοδότηση αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της παρέμβασης, παρέχοντας στους μαθητές ευκαιρίες να δείξουν την κατανόησή τους και να λάβουν εποικοδομητική ανατροφοδότηση. Τα ερωτηματολόγια πριν και μετά το μάθημα χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση των κερδών γνώσης και των αλλαγών



συμπεριφοράς, ενώ οι συνεχείς αξιολογήσεις κατά τη διάρκεια της παρέμβασης βοηθούν στον εντοπισμό περιοχών βελτίωσης και στην ενίσχυση της μάθησης.

Κεφάλαιο 4: Διδακτική Παρέμβαση

4.1 Πρόγραμμα Διδακτικής Παρέμβασης: Κύκλος Carnot

Συνολική Διάρκεια: Η διδακτική παρέμβαση διήρκεσε 6 διδακτικές ώρες, χωρισμένη σε τρεις συνεδρίες. Κάθε συνεδρία ήταν ένα δίωρο μάθημα που πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια μιας εβδομάδας, δίνοντας χρόνο για ατομική μελέτη. Πριν από την πρώτη συνεδρία, οι μαθητές συμπλήρωσαν το ερωτηματολόγιο «pre-lesson» για να εξακριβώσουν την αρχική τους γνώση, κατανόηση και στάση απέναντι στη θερμοδυναμική. Ομοίως, μετά την τελευταία συνεδρία, οι μαθητές έπρεπε να συμπληρώσουν το ερωτηματολόγιο «post-lesson» για να αξιολογήσουν τη γνώση που απέκτησαν, τις αλλαγές στη σκέψη τους και τη στάση τους απέναντι στη θερμοδυναμική. Τα δύο ερωτηματολόγια βρίσκονται στο Παράρτημα.

Συνεδρία 1: Εισαγωγή στη Θερμοδυναμική (2 ώρες)

Ωρα 1: Εισαγωγή στη Θερμοδυναμική

1. Σύντομη επισκόπηση του θέματος και της σημασίας του.
2. Επεξήγηση βασικών όρων: σύστημα, περιβάλλον, λειτουργίες κατάστασης.

Πρώτος Νόμος της Θερμοδυναμικής

1. Έννοια εξοικονόμησης ενέργειας.
2. Παραδείγματα και απλοί υπολογισμοί.

Την πρώτη ώρα της διδακτικής παρέμβασης, η συνεδρία εισήγαγε το θέμα της θερμοδυναμικής όπου τονίστηκε η γενική έννοια του θέματος καθώς και η σημασία του στην ανάλυση των ενεργειακών αλλαγών στα φυσικά συστήματα. Η επισκόπηση επικεντρώθηκε κυρίως στις εφαρμογές της θερμοδυναμικής σε διάφορους τομείς της επιστήμης και της μηχανικής. Ορίστηκαν μερικές έννοιες όπως «σύστημα», το οποίο είναι το μέρος του σύμπαντος που εξετάζεται, «περιβάλλον», που είναι τα πάντα έξω από το σύστημα, και «συναρτήσεις κατάστασης», που είναι ιδιότητες που εξαρτώνται μόνο από την κατάσταση του συστήματος και όχι από το πως έφτασε το σύστημα σε αυτή την κατάσταση. Ακολούθησε ο Πρώτος Νόμος της Θερμοδυναμικής που δηλώνει τη διατήρηση της ενέργειας με την ικανότητα να μετατρέπεται από τη μια μορφή στην άλλη χωρίς τη δημιουργία ή την καταστροφή ενέργειας. Επίσης, δόθηκαν

παραδείγματα και έγιναν βασικοί υπολογισμοί για να δειχθεί στους μαθητές πώς λειτουργεί η εξοικονόμηση ενέργειας σε διάφορες καταστάσεις, προκειμένου να ενισχυθεί η κατανόησή τους για αυτήν τη βασική αρχή.

Ωρα 2: Δεύτερος Θερμοδυναμικός Νόμος

1. Η εντροπία και η σημασία της.
2. Αυθόρμητες διαδικασίες και κατευθυντικότητα.

Θερμότητα και εργασία

1. Διάκριση μεταξύ θερμότητας και έργου.
2. Παραδείγματα μεταφοράς θερμότητας και έργου που γίνονται σε θερμοδυναμικά συστήματα.

Στη δεύτερη ώρα της διδακτικής παρέμβασης, η εστίαση δόθηκε στον Δεύτερο Νόμο της Θερμοδυναμικής. Αυτό συνεπάγεται την εξήγηση της έννοιας της εντροπίας και της σημασίας της στον προσδιορισμό της κατεύθυνσης των φυσικών διεργασιών. Η εντροπία εισήχθη ως ένδειξη αταξίας και πώς είναι η κινητήρια δύναμη για να εξαπλωθεί η ενέργεια και να αυξηθεί έτσι η εντροπία ενός κλειστού συστήματος. Η συζήτηση περιελάμβανε περιπτώσεις αυθόρμητων διεργασιών δείχνοντας τη μεταφορά θερμότητας από ένα σώμα με υψηλότερη θερμοκρασία σε ένα άλλο με χαμηλότερη θερμοκρασία και την κατεύθυνση αυτών των διεργασιών. Στη συνέχεια ορίστηκε η διαφορά μεταξύ θερμότητας και έργου σημειώνοντας ότι η θερμότητα είναι η μεταφορά ενέργειας λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας και το έργο είναι η ενέργεια που μεταφέρεται μέσω της δύναμης που ασκείται κατά μήκος μιας απόστασης. Πρακτικά παραδείγματα χρησιμοποιήθηκαν για να εξηγήσουν τη μεταφορά θερμότητας και του έργου που παράγεται σε θερμοδυναμικά συστήματα, όπως η διαστολή αερίων σε ένα έμβολο ή η λειτουργία των θερμικών μηχανών, έτσι ώστε οι μαθητές να είναι σε θέση να κατανοήσουν και να εφαρμόσουν αυτές τις έννοιες πρακτικά.

Συνεδρία 2: Η διαδικασία του κύκλου Carnot (2 ώρες)

Ωρα 3: Εισαγωγή στον κύκλο Carnot

1. Ιστορικό υπόβαθρο και θεωρητική σημασία.

2. Επεξήγηση των τεσσάρων σταδίων: ισοθερμική διαστολή, αδιαβατική διαστολή, ισόθερμη συμπίεση, αδιαβατική συμπίεση.

Ισοθερμικές διεργασίες

1. Λεπτομερής ματιά στην ισοθερμική διαστολή και συμπίεση.
2. Πρακτικά παραδείγματα και διαγράμματα.

Στην τρίτη ώρα της διδακτικής παρέμβασης έγινε εισαγωγή στον κύκλο Carnot δίνοντας την ιστορική εξέλιξη του κύκλου Carnot από τον Sadi Carnot και τη θεωρητική εφαρμογή στη θερμοδυναμική ως ο πιο αποτελεσματικός κύκλος στη μετατροπή της θερμότητας σε έργο. Τα τέσσερα στάδια του κύκλου Carnot εξηγήθηκαν λεπτομερώς: ισόθερμη εκτόνωση, όπου το σύστημα διαστέλλεται ενώ απορροφά θερμότητα σε σταθερή θερμοκρασία, αδιαβατική εκτόνωση όπου το σύστημα διαστέλλεται χωρίς ανταλλαγή θερμότητας και έτσι η θερμοκρασία του συστήματος μειώνεται, ισόθερμη συμπίεση, όπου το σύστημα απελευθερώνει θερμότητα ενώ συμπιέζεται σε σταθερή θερμοκρασία, και αδιαβατική συμπίεση όπου το σύστημα συμπιέζεται περαιτέρω χωρίς εναλλαγή θερμότητας, αυξάνοντας τη θερμοκρασία του. Με βάση την παραπάνω κατανόηση, συζητήθηκε συγκεκριμένα η ισόθερμη διεργασία τόσο στη διαστολή όσο και στη συμπίεση. Αυτό περιελάμβανε πραγματικές εφαρμογές και διαγράμματα για το πως σε αυτά τα στάδια οι θερμοκρασίες του συστήματος παραμένουν σταθερές καθώς η θερμότητα είτε προσλαμβάνεται είτε εκπέμπεται στον κύκλο Carnot προκειμένου να βοηθηθούν οι μαθητές να κατανοήσουν αυτές τις κρίσιμες έννοιες.

Ωρα 4: Αδιαβατικές Διεργασίες

1. Λεπτομερής ματιά στην αδιαβατική διαστολή και συμπίεση.
2. Πρακτικά παραδείγματα και διαγράμματα.

Αποτελεσματικότητα του κύκλου Carnot

1. Υπολογισμός απόδοσης.
2. Σύγκριση με πραγματικούς κινητήρες.

Την τέταρτη ώρα της διδακτικής παρέμβασης δόθηκε προσοχή στις αδιαβατικές διεργασίες εντός του κύκλου Carnot. Αυτό το μάθημα περιελάμβανε μια λεπτομερή

μελέτη της αδιαβατικής διαστολής, όπου το σύστημα υφίσταται διαστολή χωρίς ανταλλαγή θερμότητας και έτσι η θερμοκρασία μειώνεται, και της αδιαβατικής συμπίεσης όπου το σύστημα συμπιέζεται χωρίς ανταλλαγή θερμότητας και έτσι αυξάνεται η θερμοκρασία. Πραγματικά παραδείγματα και διαγράμματα που δείχνουν τις αλλαγές πίεσης και όγκου και την επίδρασή τους στη θερμοκρασία της ουσίας χωρίς την προσθήκη θερμότητας περιγράφηκαν. Μετά την ανάλυση των αδιαβατικών διεργασιών, εξετάστηκε το ζήτημα της απόδοσης του κύκλου Carnot. Οι μαθητές ήταν σε θέση να βρουν τη θεωρητική μέγιστη απόδοση ενός κινητήρα Carnot δεδομένων των θερμοκρασιών της πηγής και του ψυχρού θαλάμου. Αυτό επιτεύχθηκε με τη σύγκριση με πραγματικούς κινητήρες, ενώ συζητήθηκε και το ότι ο κύκλος Carnot είναι σημείο αναφοράς απόδοσης, καθώς και οι λόγοι που οι πραγματικοί κινητήρες λειτουργούν με χαμηλότερη απόδοση λόγω των πραγματικών παραγόντων όπως ως η τριβή, τα μη ιδανικά υλικά και οι απώλειες θερμότητας.

Ημέρα 3: Εφαρμογές (2 ώρες)

Ωρα 5: Εφαρμογές του Κύκλου Carnot σε πραγματικό κόσμο

1. Ρόλος σε θερμικές μηχανές και ψυγεία.
2. Συζήτηση για πρακτικούς περιορισμούς και προόδους.

Διαδραστικές δραστηριότητες

1. Ομαδικές συζητήσεις για την εφαρμογή του κύκλου Carnot στις νέες τεχνολογίες.
2. Συνεδρίες επίλυσης προβλημάτων με σενάρια πραγματικού κόσμου.

Στην πέμπτη ώρα της διδακτικής παρέμβασης συζητήθηκε η πρακτική εφαρμογή του κύκλου Carnot και τονίστηκε ότι είναι ο πιο σημαντικός κύκλος όταν πρόκειται για θερμικούς κινητήρες και ψύκτες. Η λειτουργία αυτών των συσκευών συνδέθηκε με τον κύκλο Carnot και οι μαθητές γνώρισαν την αποτελεσματική μετατροπή ενέργειας και τη μεταφορά θερμότητας. Η συζήτηση επικεντρώθηκε επίσης σε παράγοντες της πραγματικής ζωής που κάνουν τους πραγματικούς κινητήρες και τα ψυγεία να έχουν μικρότερη απόδοση από τον κύκλο Carnot, συμπεριλαμβανομένων: τριβή, ελαττώματα υλικού και απώλειες θερμότητας. Οι τεχνολογικές καινοτομίες που έχουν γίνει σε μια προσπάθεια να ξεπεραστούν αυτές οι ατέλειες συζητήθηκαν λεπτομερώς. Στη

συνέχεια, οι ομαδικές δραστηριότητες χρησιμοποιήθηκαν για να κάνουν τους μαθητές να συζητήσουν και να συλλογιστούν σχετικά με τη δυνατότητα εφαρμογής του κύκλου Carnot σε νέες τεχνολογίες και δημιουργικά ενεργειακά συστήματα. Επιπλέον, έγιναν διαδικτυακές συνεδρίες επίλυσης προβλημάτων οι οποίες περιελάμβαναν την παροχή στους μαθητές παραδειγμάτων πραγματικών περιπτώσεων που απαιτούσαν τη χρήση της θεωρητικής γνώσης που αποκτήθηκε κατά τη διάρκεια της μελέτης για την επίλυση των προβλημάτων. Αυτό βοήθησε τους μαθητές να αναπτύξουν δεξιότητες επίλυσης προβλημάτων που θα του επιτρέψουν να συλλογιστεί μέσω της εφαρμογής των αρχών της θερμοδυναμικής σε διαφορετικά πεδία.

Ωρα 6: Αναθεώρηση

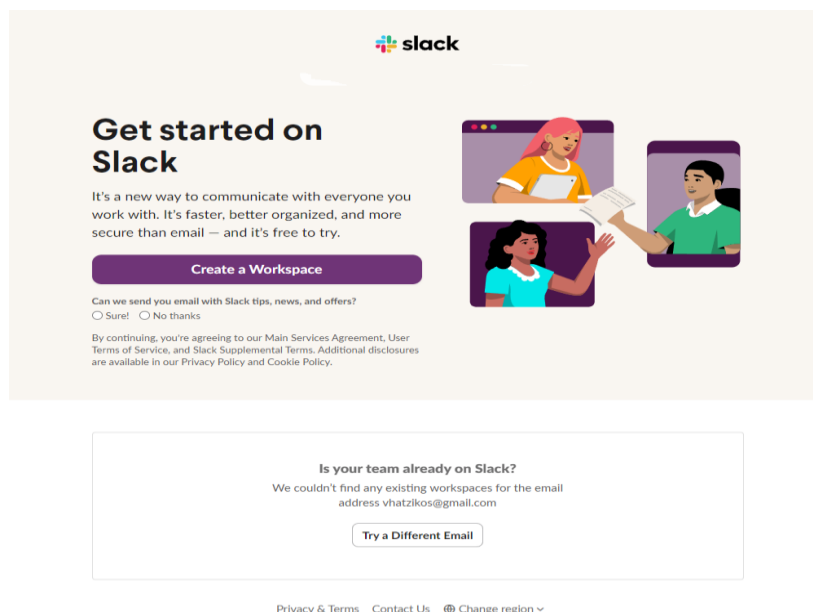
1. Ανακεφαλαίωση βασικών εννοιών από τις προηγούμενες ώρες.
2. Συνεδρία Q&A για την αντιμετώπιση ερωτημάτων των μαθητών και την ενίσχυση της κατανόησης.

Αξιολόγηση και προβληματισμός

1. Διανομή ερωτηματολογίου μετά το μάθημα.
2. Αναστοχασμός για αλλαγές στάσης και κατανόησης.

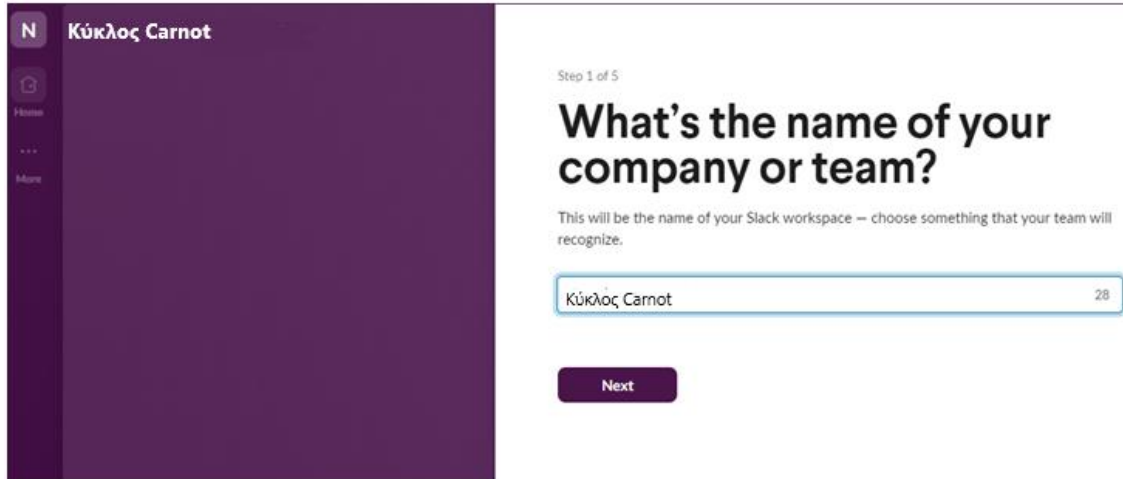
Η πρώτη δραστηριότητα για την έκτη ώρα της διδακτικής παρέμβασης ήταν η ανασκόπηση και η εμπέδωση των εννοιών των προηγούμενων ωρών. Καλύφθηκαν οι βασικές έννοιες της θερμοδυναμικής, η βήμα προς βήμα διαδικασία του κύκλου Carnot και η χρήση του στην πράξη. Τέλος, πραγματοποιήθηκε μια συνεδρία ερωτήσεων και απαντήσεων για να μπορέσουν οι μαθητές να κάνουν ερωτήσεις ή να λάβουν περαιτέρω διευκρινίσεις σχετικά με το θέμα που καλύπτεται. Αφού επαναδιατυπώθηκαν αυτές οι έννοιες, το επόμενο βήμα ήταν η αξιολόγηση και ο προβληματισμός. Το ερωτηματολόγιο μετά το μάθημα δόθηκε στους μαθητές για να αξιολογηθούν η αύξηση/μείωση στις γνώσεις και την αντίληψή τους για τη θερμοδυναμική και τον κύκλο Carnot. Ακολούθησε μια δραστηριότητα προβληματισμού στην οποία οι μαθητές κλήθηκαν να μοιραστούν την μαθησιακή τους εμπειρία και πώς έχουν αλλάξει όσον αφορά τη στάση και τη γνώση σχετικά με το αντικείμενο.

Αυτό το πρόγραμμα εξασφαλίζει μια ολοκληρωμένη κατανόηση τόσο των θεωρητικών όσο και των πρακτικών πτυχών του κύκλου Carnot και της θερμοδυναμικής, ενώ παράλληλα εμπλέκει τους μαθητές σε ενεργητική μάθηση και προβληματισμό. Μετά την ολοκλήρωση των ζωντανών συνεδριών, δημιουργήθηκε μια συνομιλία Slack (Εικόνα 3) για να ενθαρρύνει τη συνεχή συζήτηση και τη συμμετοχή μεταξύ των νέων. Η λειτουργία συνομιλίας Slack χρησίμευσε ως μια επέκταση αιχμής της τάξης, παρέχοντας στους μαθητές μια πλατφόρμα για να εμβαθύνουν συλλογικά και να μελετήσουν αυτές τις έννοιες σε πραγματικό χρόνο. Χρησιμοποιώντας αυτήν την ψηφιακή πλατφόρμα, οι μαθητές ήταν σε θέση να εκφράσουν την κατανόησή τους, να ρωτήσουν και να συμμετάσχουν στη συνεργατική μάθηση με τους συμμαθητές τους. Αυτή η συζήτηση τους ώθησε να αξιολογήσουν αυστηρά τις γνώσεις τους σχετικά με τη λειτουργία των θερμικών μηχανών και τον τρόπο μεγιστοποίησης της απόδοσής τους, μέσω του κύκλου Carnot. Το Slack χρησιμοποιήθηκε για την ενίσχυση της ύλης που διδάσκεται στην τάξη και για τη δημιουργία μιας ζωντανής και συμμετοχικής ατμόσφαιρας μάθησης, δίνοντας τη δυνατότητα στους μαθητές να συνδέονται με συνέπεια με το περιεχόμενο και να ενισχύσουν τις ικανότητές τους αναλυτικής σκέψης. Αυτή η τεχνική ενσωμάτωσε με επιτυχία τις συμβατικές μεθόδους διδασκαλίας με τη σύγχρονη τεχνολογία, βελτιώνοντας έτσι την εκπαιδευτική εμπειρία και ενισχύοντας τη βαθύτερη κατανόηση της επιστημονικής διαδικασίας και την εξέλιξη των επιστημονικών εννοιών.



Εικόνα 3: Είσοδος στην πλατφόρμα Slack

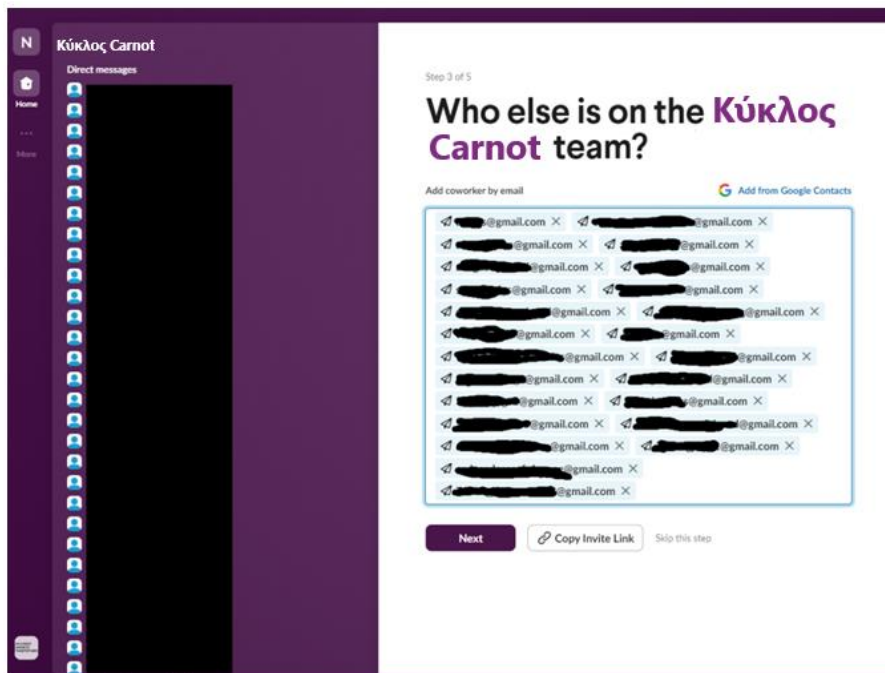
Σαν πρώτο βήμα, ονομάστηκε η συνομιλία με θέμα τη Διδακτική παρέμβαση (Εικόνα 4). Έπειτα καταγράφηκε το όνομα του ερευνητή καθώς και το email και τα προσωπικά στοιχεία που ζητάει η πλατφόρμα για να πραγματοποιηθεί η εγγραφή χρήστη:



The image shows a Slack workspace creation interface. On the left, there is a dark purple sidebar with a navigation menu containing 'Home', '+', and 'More'. The main content area has a dark purple header with 'N' and 'Κύκλος Carnot'. Below the header, it says 'Step 1 of 5' and 'What's the name of your company or team?'. A subtext explains: 'This will be the name of your Slack workspace – choose something that your team will recognize.' There is a text input field with 'Κύκλος Carnot' and a character count '28'. A 'Next' button is located below the input field.

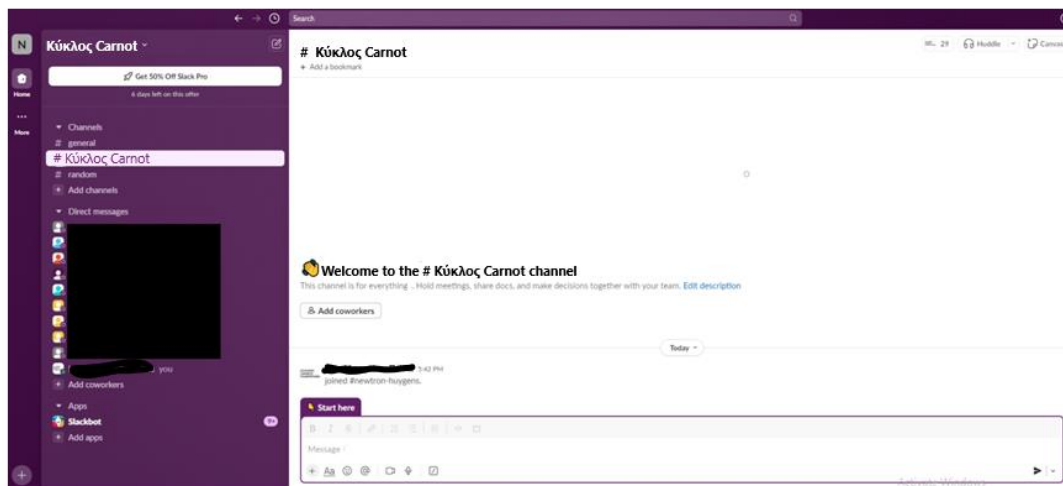
Εικόνα 4: Καταγραφή προσωπικών στοιχείων

Επιπλέον, η διεύθυνση email κάθε μαθητή, εξαιρουμένης της ταυτότητάς του για ηθικούς λόγους, συμπεριλήφθηκε διαδοχικά στη συνομιλία (Εικόνα 5):



Εικόνα 5: Προσθήκης ηλεκτρονικού ταχυδρομείου μαθητών

Η τελική συνομιλία είχε την εξής μορφή (Εικόνα 6):



Εικόνα 6: Τελική συνομιλία

Η ενσωμάτωση του Slack ως εργαλείο συνομιλίας, ενίσχυσε σημαντικά τη μαθησιακή εμπειρία διευκολύνοντας την επικοινωνία και τη συνεργασία σε πραγματικό χρόνο μεταξύ των μαθητών και των εκπαιδευτών. Η χρήση του Slack συνέβαλε στην επιτυχία της παρέμβασης με διάφορους τρόπους.

Πρώτον, το Slack επέτρεψε την άμεση ανατροφοδότηση και την αποσαφήνιση των εννοιών, κάτι που αποδείχθηκε απαραίτητο για την αντιμετώπιση των παρανοήσεων των μαθητών και την ενίσχυση της κατανόησής τους. Μετά την ολοκλήρωση των συνεδριών διδασκαλίας, οι μαθητές χρησιμοποίησαν το Slack για να θέσουν ερωτήσεις και να μοιραστούν τις σκέψεις τους σχετικά με τις θερμοδυναμικές αρχές και τον κύκλο Carnot. Αυτή η αλληλεπίδραση σε πραγματικό χρόνο επέτρεψε στον εκπαιδευτή να αντιμετωπίσει αμέσως οποιαδήποτε σύγχυση και να παρέχει λεπτομερείς εξηγήσεις, ενισχύοντας έτσι μια βαθύτερη κατανόηση του θέματος.

Η συζήτηση στο Slack περιελάμβανε διάφορα στοιχεία που εμπλούτισαν τη μαθησιακή διαδικασία. Οι μαθητές συμμετείχαν σε συζητήσεις σχετικά με τον Πρώτο και τον Δεύτερο Νόμο της Θερμοδυναμικής, την εντροπία και τις διακρίσεις μεταξύ θερμότητας και εργασίας. Αυτές οι συζητήσεις συχνά περιλάμβαναν αποσαφήνιση θεωρητικών εννοιών, ανταλλαγή πρακτικών παραδειγμάτων και συζήτηση των επιπτώσεων αυτών των αρχών σε εφαρμογές του πραγματικού κόσμου.

Επιπλέον, το Slack διευκόλυνε τη συνεργατική μάθηση δίνοντας τη δυνατότητα στους μαθητές να εργαστούν μαζί σε σύνολα προβλημάτων και έργα που σχετίζονται με τη θερμοδυναμική. Οι ομαδικές συζητήσεις και η αλληλοδιδασκτική υποστήριξη ενθαρρύνθηκαν, επιτρέποντας στους μαθητές να μάθουν ο ένας από τις απόψεις και τις προσεγγίσεις του άλλου. Αυτό το συνεργατικό περιβάλλον όχι μόνο ενίσχυσε την κατανόησή τους περίπλοκων εννοιών αλλά και δημιούργησε μια υποστηρικτική κοινότητα μάθησης.

Οι συνομιλίες Slack περιελάμβαναν επίσης συμπληρωματικούς πόρους, όπως συνδέσμους σε εκπαιδευτικά βίντεο, άρθρα και διαδραστικές προσομοιώσεις. Αυτοί οι πόροι παρείχαν στους μαθητές πρόσθετο υλικό για εξερεύνηση εκτός των ωρών διδασκαλίας, επεκτείνοντας έτσι τη μάθησή τους πέρα από τις επίσημες συνεδρίες διδασκαλίας.

Συνοπτικά, ο Slack διαδραμάτισε κρίσιμο ρόλο στη διδακτική παρέμβαση παρέχοντας μια πλατφόρμα για συνεχή αλληλεπίδραση, άμεση ανατροφοδότηση και συνεργατική μάθηση. Οι συνομιλίες περιλάμβαναν ένα ευρύ φάσμα θεμάτων, από θεμελιώδεις θερμοδυναμικές αρχές έως πρακτικές εφαρμογές, συμπληρωμένες με ποικίλους εκπαιδευτικούς πόρους. Αυτή η ενσωμάτωση του Slack στη διδακτική διαδικασία

συνέβαλε σημαντικά στη συνολική αποτελεσματικότητα της παρέμβασης, ενισχύοντας την κατανόηση και την ενασχόληση των μαθητών με τη θερμοδυναμική.

Κεφάλαιο 5: Αποτίμηση του Εκπαιδευτικού υλικού

5.1. Μεθοδολογία Έρευνας

Η έρευνα χρησιμοποιεί έναν πειραματικό σχεδιασμό που περιλαμβάνει αξιολογήσεις πριν και μετά την διδακτική παρέμβαση. Αυτός ο σχεδιασμός επιτρέπει την εξέταση των αλλαγών στις γνώσεις, τις ικανότητες κριτικής σκέψης και τις στάσεις των μαθητών απέναντι στην επιστήμη πριν και μετά την εκπαιδευτική παρέμβαση.

5.2 Σκοπός της Έρευνας

Σκοπός της μελέτης είναι να αξιολογήσει την αποτελεσματικότητα μιας διδακτικής παρέμβασης που επικεντρώνεται στον κύκλο Carnot στην ενίσχυση της κατανόησης των θερμοδυναμικών αρχών των μαθητών, των ειδικών διαδικασιών του κύκλου Carnot και της ικανότητάς τους να εφαρμόζουν αυτή τη γνώση σε σενάρια πραγματικού κόσμου. Επιπλέον, στόχος αυτής της μελέτης είναι να αξιολογήσει την αντίληψη και τη συμμετοχή των μαθητών στις επιστήμες και κυρίως στη θερμοδυναμική, μετά την παρέμβαση αυτής της στρατηγικής. Η διαμοίραση ερωτηματολογίων θα επιτρέψει στους αναγνώστες να χαρτογραφήσουν την αντίληψη των μαθητών για τη βελτίωση της εννοιολογικής τους κατανόησης, της κριτικής σκέψης και των επιστημονικών γνώσεων και ενδιαφέροντος πριν και μετά το μάθημα. Αυτή η αξιολόγηση θα παρέχει πληροφορίες για την αποτελεσματικότητα των μεθόδων διδασκαλίας που χρησιμοποιούνται και θα ενημερώσει για μελλοντικές εκπαιδευτικές στρατηγικές στο θέμα της θερμοδυναμικής.

5.3 Ερευνητικά Ερωτήματα

Παρακάτω παρουσιάζονται τα ερευνητικά ερωτήματα της μελέτης, καθένα από τα οποία έχει δημιουργηθεί για να διασφαλιστεί η αποτελεσματικότητα της διδακτικής παρέμβασης στη γνώση και την αντίληψη των μαθητών για τον κύκλο Carnot και τη θερμοδυναμική. Ο γενικός στόχος αυτών των ερευνητικών ερωτημάτων είναι να αξιολογήσουν τον βαθμό στον οποίο η παρέμβαση βοήθησε στη βελτίωση της κατανόησης και της εφαρμογής των επιστημονικών εννοιών και αρχών από τους μαθητές.

1. Ποιες αλλαγές επέρχονται στη γνώση των Θερμοδυναμικών Αρχών (**Thermodynamic Principles - TP**) των μαθητών μετά την εφαρμογή της παρέμβασης;
2. Πώς οι μαθητές απέκτησαν εις βάθος κατανόηση σχετικά με τις «Διαδικασίες του Κύκλου Carnot» (**Carnot Cycle Processes - CCP**) μετά την παρέμβαση;
3. Αυτή η εργασία προσπαθεί να ανακαλύψει πώς η παρέμβαση επηρεάζει την απόδοση των μαθητών στην εφαρμογή του κύκλου Carnot σε πραγματικές καταστάσεις (**Carnot Cycle in Real-world - CCRW**).
4. Ποιες τροποποιήσεις εντοπίζονται στην αντίληψη και το ενδιαφέρον των μαθητών για τους επιστημονικούς κλάδους γενικά και τη θερμοδυναμική ειδικότερα (**Attitudes and Engagement with Scientific Subjects - AESS**) μετά την παρέμβαση;

Καθένας από τους στόχους επιδιώκει να αξιολογήσει τη διδακτική παρέμβαση στην ενίσχυση των γνώσεων και των στάσεων των μαθητών σχετικά με τις αναφερόμενες πτυχές.

5.4 Χρονική περίοδος διεξαγωγής της έρευνας

Η έρευνα διεξήχθη σε 12 εβδομάδες το έτος 2024 καθώς ο ερευνητής επιθυμούσε να διαθέτει επαρκή χρόνο για προγραμματισμό, παράδοση παρέμβασης, συλλογή δεδομένων και ανάλυση. Η ίδια η παρέμβαση διήρκησε 6 διδακτικές ώρες, χωρισμένη σε τρεις συνεδρίες. Κάθε συνεδρία ήταν ένα δίωρο μάθημα που πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια μιας εβδομάδας, δίνοντας χρόνο για ατομική μελέτη. Πριν από την πρώτη συνεδρία, οι μαθητές συμπλήρωσαν το ερωτηματολόγιο «pre-lesson» για να εξακριβώσουν την αρχική τους γνώση, κατανόηση και στάση απέναντι στη θερμοδυναμική. Ομοίως, μετά την τελευταία συνεδρία, οι μαθητές έπρεπε να συμπληρώσουν το ερωτηματολόγιο «post-lesson» για να αξιολογήσουν τη γνώση που απέκτησαν, τις αλλαγές στη σκέψη τους και τη στάση τους απέναντι στη θερμοδυναμική. Τα δύο ερωτηματολόγια βρίσκονται στο Παράρτημα.

5.5 Είδος της Έρευνας

Αυτή η μελέτη έχει σχεδιαστεί ως εφαρμοσμένη έρευνα, χρησιμοποιώντας μια πειραματική μεθοδολογία για την άμεση αξιολόγηση των πρακτικών αποτελεσμάτων

μιας εκπαιδευτικής στρατηγικής. Η έρευνα είναι ποσοτικής φύσης δηλαδή αναλύει τις αλλαγές στις απαντήσεις των μαθητών σε στοιχεία δομημένου ερωτηματολογίου. Αυτή η προσέγγιση θα επιτρέψει μια ολοκληρωμένη ανάλυση του αντίκτυπου της παρέμβασης στα μαθησιακά αποτελέσματα και τις αντιλήψεις των μαθητών.

5.6 Δειγματοληψία

Στη μελέτη συμμετείχαν μαθητές από μια τάξη φυσικών επιστημών Δευτέρας Λυκείου. Συγκεκριμένα, 30 μαθητές συμμετείχαν για να εξασφαλίσουν ένα διαχειρίσιμο αλλά επαρκές μέγεθος δείγματος για στατιστική ανάλυση. Οι συμμετέχοντες επιλέχθηκαν βάσει δειγματοληψίας ευκολίας από το ίδιο εκπαιδευτικό ίδρυμα για τη διατήρηση της συνέπειας στο εκπαιδευτικό υπόβαθρο και την έκθεση.

5.7 Μέσα Συλλογής Δεδομένων

Τα μέσα συλλογής δεδομένων για αυτή τη μελέτη περιλαμβάνουν τη χορήγηση δύο δομημένων ερωτηματολογίων, σχεδιασμένων να αξιολογούν τις γνώσεις και τις αντιλήψεις των μαθητών πριν και μετά τη διδακτική παρέμβαση στον κύκλο Carnot. Το ερωτηματολόγιο πριν από το μάθημα διανέμεται στην αρχή της παρέμβασης για τη δημιουργία βασικής κατανόησης των θερμοδυναμικών αρχών, της ειδικής γνώσης του κύκλου Carnot, της ικανότητας εφαρμογής αυτών των εννοιών σε σενάρια πραγματικού κόσμου και της στάσης και της ενασχόλησης των μαθητών με επιστημονικά θέματα.

Μετά την ολοκλήρωση της διδακτικής παρέμβασης, χορηγείται το ερωτηματολόγιο μετά το μάθημα για την αξιολόγηση των αλλαγών στις γνώσεις και τις αντιλήψεις των μαθητών. Το ερωτηματολόγιο μετά το μάθημα αντικατοπτρίζει το ερωτηματολόγιο πριν από το μάθημα στη δομή, αλλά περιλαμβάνει διαφορετικές ερωτήσεις για να αποφευχθεί η επανάληψη και να μετρηθεί αποτελεσματικά η διατήρηση και η κατανόηση. Συγκρίνοντας τις απαντήσεις και από τα δύο ερωτηματολόγια, η μελέτη μπορεί να ποσοτικοποιήσει τη βελτίωση σε καθεμία από τις τέσσερις διαστάσεις.

5.8 Περιορισμοί της Έρευνας

Η μελέτη συνάντησε αρκετούς περιορισμούς, συμπεριλαμβανομένης της πιθανής μεροληψίας που είναι εγγενής στα αυτοαναφερόμενα δεδομένα, την επιρροή μη

ελεγχόμενων εξωτερικών μεταβλητών σε ένα περιβάλλον τάξης (συγκεκριμένα, περιπτώσεις όπου οι μαθητές προσπάθησαν να αναπαράγουν απαντήσεις από τους συμμαθητές τους) και το περιορισμένο μέγεθος δείγματος, το οποίο μπορεί επηρεάζουν τη γενίκευση των ευρημάτων.

5.9 Δεοντολογία Έρευνας

Όλοι οι συμμετέχοντες ενημερώθηκαν για το σκοπό της μελέτης και ελήφθη ενημερωμένη συγκατάθεση από τους μαθητές και τους κηδεμόνες τους. Η συμμετοχή ήταν εθελοντική, με διαβεβαιώσεις ότι η μη συμμετοχή ή η αποχώρηση από τη μελέτη δεν θα επηρεάσει την ακαδημαϊκή τους υπόσταση.

5.10 Ανάλυση Δεδομένων

Η ακόλουθη ενότητα περιγράφει τον ερευνητικό σχεδιασμό της διαδικασίας ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή τη μελέτη για την αξιολόγηση της εκπαιδευτικής βελτίωσης της διδακτικής παρέμβασης για τον κύκλο Carnot. Συνολικά, 30 μαθητές Λυκείου συμμετείχαν στη μελέτη. Όλοι συμπλήρωσαν τα 2 τυποποιημένα ερωτηματολόγια πριν και μετά την παρέμβαση. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση του πώς η παρέμβαση επηρέασε τις γνώσεις και τις στάσεις των μαθητών σε διάφορες διαστάσεις της επιστημονικής μάθησης.

Η συλλογή δεδομένων και η ανάλυση της επίδρασης της διδακτικής παρέμβασης στις γνώσεις και τις αντιλήψεις των μαθητών έγινε με τη χρήση ποσοτικών ερευνητικών μεθόδων. Η κατανόηση και οι αλλαγές συμπεριφοράς κάθε μαθητή αξιολογούνται μέσω μιας σειράς ερωτήσεων κλειστού τύπου που χωρίζονται σε τέσσερις διακριτές διαστάσεις: Θερμοδυναμικές Αρχές (TP), Διαδικασίες Κύκλου Carnot (CCP), Εφαρμογή του Κύκλου Carnot σε σενάρια πραγματικού κόσμου (CCRW), Αντίληψη και Ενδιαφέρον στους Επιστημονικούς Κλάδους (AESS). Όλες οι διαστάσεις αποτελούνται από πέντε ερωτήσεις και κάθε ερώτηση έχει μία σωστή, ή τουλάχιστον προτιμώμενη, απάντηση. Οι απαντήσεις των μαθητών βαθμολογούνται για να καταλήξουν στη συνολική και διαστατική βαθμολογία γνώσης και κατανόησης, όπου κάθε σωστή απάντηση μετράει στη συνολική βαθμολογία της αντίστοιχης διάστασης, έως και πέντε βαθμούς ανά διάσταση και είκοσι βαθμούς συνολικά.

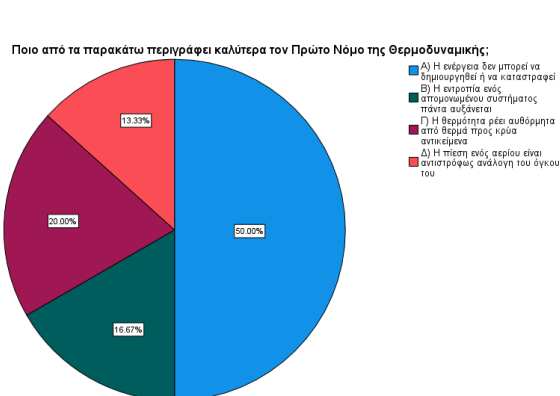
Αρχικά, η ανάλυση πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του υπολογιστικού πακέτου IBM SPSS Statistics. Υπολογίστηκαν τα βασικά περιγραφικά στατιστικά στοιχεία τόσο για τις απαντήσεις πριν όσο και μετά το μάθημα όλων των διαστάσεων και τα αποτελέσματα παρουσιάστηκαν σε γραφήματα πίτας. Στη συνέχεια, για κάθε διάσταση, υπολογίζονται οι μέσοι όροι των βαθμολογιών και για τους 30 μαθητές, ο οποίος δίνει μια μέση βαθμολογία πριν και μετά την παρέμβαση για καθεμία από τις τέσσερις διαστάσεις και μια συνολική μέση βαθμολογία. Αυτή η διαδικασία επιτρέπει τη σύγκριση των μέσων βαθμολογιών πριν και μετά την εκπαιδευτική παρέμβαση για κάθε διάσταση ειδικότερα, κάτι που βοηθάει στην εκτίμηση του αντίκτυπου της διδακτικής παρέμβασης. Για την περαιτέρω αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της παρέμβασης ως προς τη μάθηση των μαθητών και την αλλαγή αντίληψης σχετικά με το περιεχόμενο και τους στόχους της μελέτης, πραγματοποιούνται t-test ζευγαρωμένων δειγμάτων για την ανάλυση της μέσης διαφοράς μεταξύ των βαθμολογιών πριν και μετά την παρέμβαση. Αυτή η μέθοδος εγγυάται ότι τα αποτελέσματα της παρέμβασης στις γνώσεις και τις στάσεις των μαθητών απέναντι στις στοχευμένες εκπαιδευτικές πτυχές αξιολογούνται με συγκεκριμένο και ακριβή τρόπο.

Κεφάλαιο 6: Καταγραφή Αποτελεσμάτων

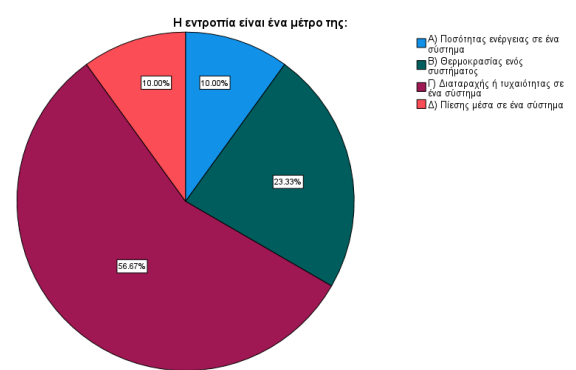
Στην παρακάτω ενότητα καταγράφονται οι απαντήσεις των μαθητών αρχικά στο ερωτηματολόγιο πριν τη διδακτική παρέμβαση (6.1 Pre-lesson Questionnaire) παράλληλα με την οπτική αναπαράσταση μέσω pie charts, και έπειτα μετά τη διδακτική παρέμβαση (6.2 Post- lesson Questionnaire). Τα ερωτηματολόγια μπορεί κανείς να τα βρει στο Παράρτημα.

6.1 Pre-lesson Questionnaire

6.1.1 Διάσταση 1: Κατανόηση των Θερμοδυναμικών Αρχών (TP)

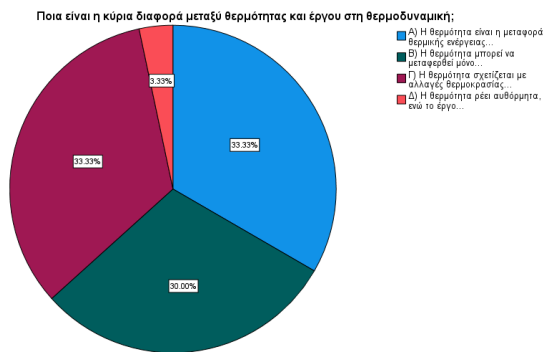


Διάγραμμα 2: Περιγραφή του πρώτου νόμου της θερμοδυναμικής

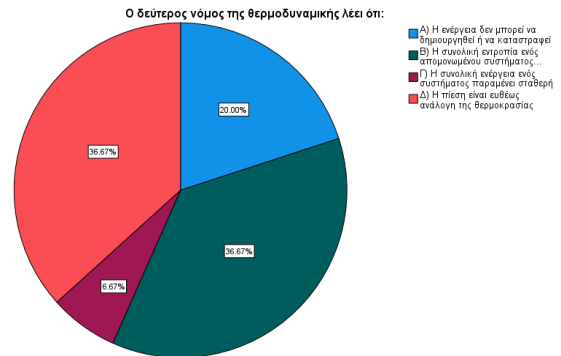


Διάγραμμα 3: Γνώσεις περί εντροπίας

Η πρώτη ερώτηση του ερωτηματολογίου που παραδόθηκε στους μαθητές πριν τη διδακτική παρέμβαση, ζητούσε να επιλέξουν οι μαθητές ποια απάντηση περιέγραφε καλύτερα τον Πρώτο Νόμο της Θερμοδυναμικής (Διάγραμμα 2). Το 50% των μαθητών απάντησε επέλεξε την απάντηση «Η ενέργεια δε μπορεί να δημιουργηθεί ή να καταστραφεί», το 20% των μαθητών επέλεξε την απάντηση «Η θερμότητα ρέει αυθόρμητα από θερμά προς κρύα αντικείμενα», το 16,67% επέλεξε την απάντηση «Η εντροπία ενός απομονωμένου συστήματος πάντα αυξάνεται» και το 13,33% την απάντηση «Η πίεση ενός αερίου είναι αντιστρόφως ανάλογη του όγκου του. Όταν ερωτήθηκαν αναφορικά με την εντροπία οι απαντήσεις είχαν ως εξής (Διάγραμμα 3): 10% απάντησε ότι είναι μέτρο της «Ποσότητας ενέργειας σε ένα σύστημα», 23,33% απάντησε ότι είναι μέτρο της «Θερμοκρασίας ενός συστήματος», 56,67% απάντησε ότι είναι μέτρο της «Διαταραχής ή τυχαιότητας σε ένα σύστημα και 10% ότι είναι μέτρο της «Πίεσης μέσα σε ένα σύστημα».



Διάγραμμα 3: Κύρια Διαφορά μεταξύ θερμότητας και έργου στη θερμοδυναμική



Διάγραμμα 2: Δεύτερος νόμος της θερμοδυναμικής

Αναφορικά με την ερώτηση που ζητούσε από τους μαθητές να επιλέξουν την κύρια διαφορά μεταξύ θερμότητας και έργου στη θερμοδυναμική, οι απαντήσεις είχαν ως εξής (Διάγραμμα 4): το 33,33% επέλεξε την απάντηση «Η θερμότητα είναι η μεταφορά θερμικής ενέργειας, ενώ το έργο μηχανικής ενέργειας», το 30% επέλεξε την απάντηση «Η θερμότητα μπορεί να μεταφερθεί μόνο με αγωγιμότητα, ενώ το έργο μπορεί να μεταφερθεί με συναγωγή», το 33,33% επέλεξε την απάντηση «Η θερμότητα σχετίζεται με αλλαγές θερμοκρασίας, ενώ το έργο με αλλαγές όγκου» και το 3,33% την απάντηση «Η θερμότητα ρέει αυθόρμητα, ενώ το έργο απαιτεί εξωτερική δύναμη».

Η επόμενη ερώτηση αφορούσε τον Δεύτερο Νόμο της θερμοδυναμικής όπου οι μαθητές επέλεξαν τα εξής (Διάγραμμα 5):

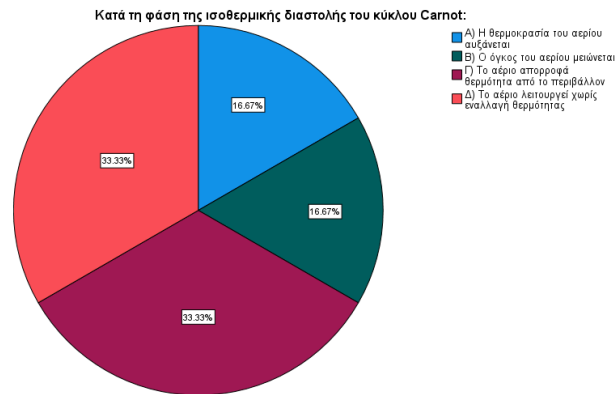
- Α) Η ενέργεια δεν μπορεί να δημιουργηθεί ή να καταστραφεί. (20%)
- Β) Η συνολική εντροπία ενός απομονωμένου συστήματος δεν μπορεί ποτέ να μειωθεί. (36,67%)
- Γ) Η συνολική ενέργεια ενός συστήματος παραμένει σταθερή. (6,67%)
- Δ) Η πίεση είναι ευθέως ανάλογη της θερμοκρασίας. (36,67%)



Διάγραμμα 4: Παράδειγμα αδιαβατικής διεργασίας

Η επόμενη ερώτηση, ζητούσε από τους μαθητές να επιλέξουν ποια απάντηση αποτελούσε παράδειγμα αδιαβατικής διεργασίας (Διάγραμμα 6). Το 23,33% των μαθητών απάντησε ότι παράδειγμα αδιαβατικής διεργασίας αποτελεί η θέρμανση αερίου σε κλειστό δοχείο, το 10% των μαθητών απάντησε ότι τέτοιο παράδειγμα αποτελεί η διαστολή αερίου στο κενό, το 40% απάντησε ότι παράδειγμα αποτελεί η ταχεία συμπίεση ενός αερίου ώστε να μην ανταλλάσσεται θερμότητα και το 26,67% δήλωσε ως παράδειγμα το να αφήσει κανείς ένα αέριο να κρυώσει αργά σε ανοιχτό δοχείο.

6.1.2 Διάσταση 2: Γνώση της διαδικασίας του κύκλου Carnot (CCP)

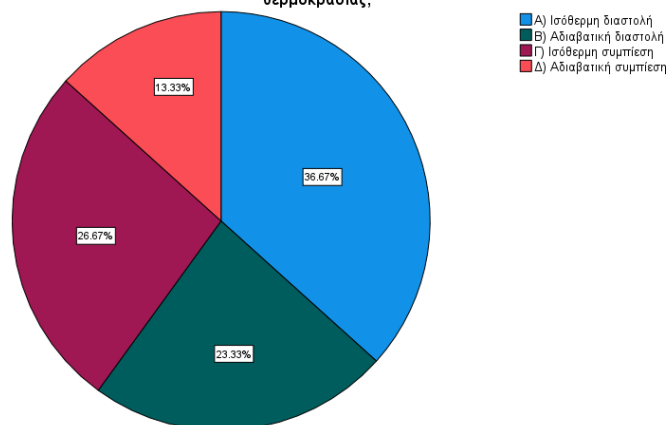


Διάγραμμα 5: Ενέργειες κατά τη φάση της ισοθερμικής διαστολής του κύκλου Carnot

Όσον αφορά στις γνώσεις της διαδικασίας του κύκλου Carnot, οι μαθητές απάντησαν ότι κατά τη φάση της ισοθερμικής διαστολής του κύκλου Carnot (Διάγραμμα 7):

- A) Η θερμοκρασία του αερίου αυξάνεται. (16,67%)
- B) Ο όγκος του αερίου μειώνεται. (16,67%)
- Γ) Το αέριο απορροφά θερμότητα από το περιβάλλον. (33,33%)
- Δ) Το αέριο λειτουργεί χωρίς εναλλαγή θερμότητας. (33,33%)

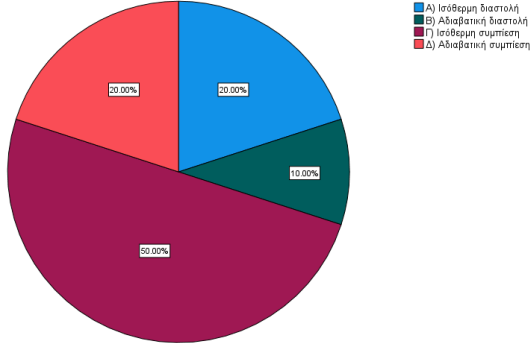
Στον κύκλο Carnot, κατά τη διάρκεια ποιας φάσης το σύστημα λειτουργεί στο περιβάλλον χωρίς μεταβολή της θερμοκρασίας;



Διάγραμμα 6: Κατά τη διάρκεια ποιας φάσης το σύστημα λειτουργεί στο περιβάλλον χωρίς μεταβολή της θερμοκρασίας

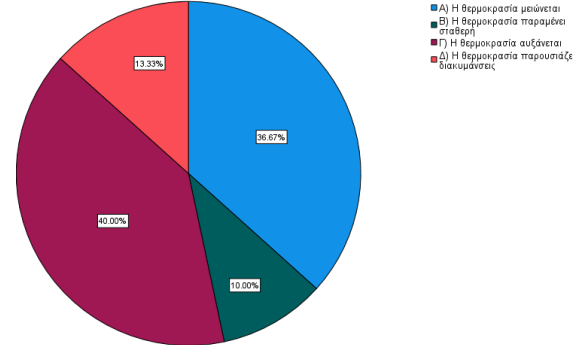
Στην ερώτηση «Στον κύκλο Carnot, κατά τη διάρκεια ποιας φάσης το σύστημα λειτουργεί στο περιβάλλον χωρίς μεταβολή της θερμοκρασίας;» το 36,67% απάντησε «Ισόθερμη διαστολή», το 23,33% «Αδιαβατική διαστολή», το 26,67% «Ισόθερμη συμπίεση» και το 13,33% «Αδιαβατική συμπίεση» (Διάγραμμα 8).

Ποια φάση του κύκλου Carnot συνεπάγεται μείωση του όγκου διατηρώντας σταθερή τη θερμοκρασία;



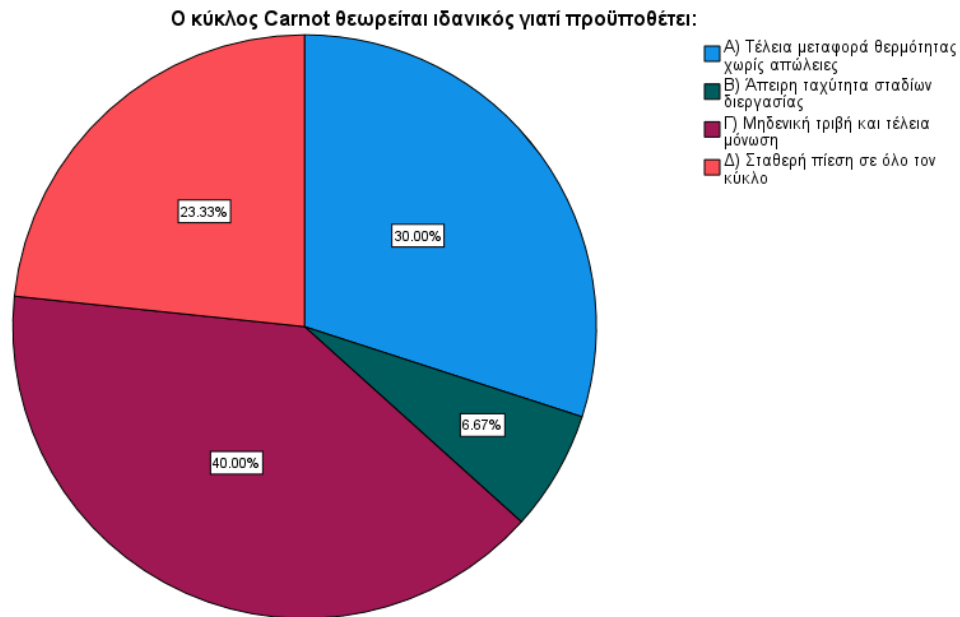
Διάγραμμα 9: Ποια φάση του κύκλου Carnot συνεπάγεται μείωση του όγκου διατηρώντας σταθερή τη θερμοκρασία;

Πώς η φάση της αδιαβατικής συμπίεσης επηρεάζει τη θερμοκρασία της ουσίας εργασίας;



Διάγραμμα 10: Πώς η φάση της αδιαβατικής συμπίεσης επηρεάζει τη θερμοκρασία της ουσίας εργασίας;

Όταν οι μαθητές ερωτήθηκαν «Ποια φάση του κύκλου Carnot συνεπάγεται μείωση του όγκου διατηρώντας σταθερή τη θερμοκρασία;» (Διάγραμμα 9) οι απαντήσεις τους είχαν ως εξής: το 20% απάντησε «Ισοθερμική διαστολή», το 10% απάντησε «Αδιαβατική διαστολή», το 50% απάντησε «Ισόθερμη συμπίεση» και το 20% «Αδιαβατική συμπίεση». Στην ερώτηση «Πώς η φάση της αδιαβατικής συμπίεσης επηρεάζει τη θερμοκρασία της ουσίας εργασίας;» (Διάγραμμα 10) το 36,67% απάντησε «Η θερμοκρασία μειώνεται», το 10% «Η θερμοκρασία παραμένει σταθερή», το 40% «Η θερμοκρασία αυξάνεται» και το 13,33% «Η θερμοκρασία παρουσιάζει διακυμάνσεις».

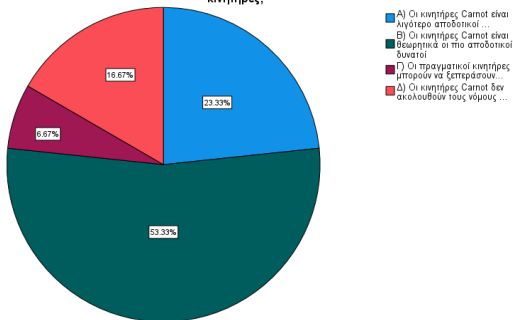


Διάγραμμα 7: Γιατί θεωρείται ο κύκλος Carnot ιδανικός;

Αναφορικά με την ερώτηση «Γιατί θεωρείται ο κύκλος Carnot ιδανικός;» το 30% απάντησε ότι προϋποθέτει τέλεια μεταφορά ενέργειας, το 6,67% απάντησε ότι προϋποθέτει άπειρη ταχύτητα σταδίων διεργασίας, το 40% απάντησε ότι προϋποθέτει μηδενική τριβή και τέλεια μόνωση και το 23,33% απάντησε ότι προϋποθέτει σταθερή πίεση σε όλο τον κύκλο.

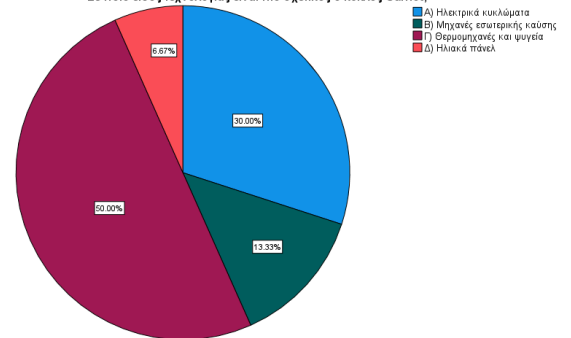
6.1.3 Διάσταση 3: Εφαρμογή του κύκλου Carnot στον πραγματικό κόσμο (CCRW)

Ποια πρόταση περιγράφει καλύτερα την απόδοση ενός κινητήρα Carnot σε σύγκριση με πραγματικούς κινητήρες;



Διάγραμμα 8: Ποια πρόταση περιγράφει καλύτερα την απόδοση ενός κινητήρα Carnot σε σύγκριση με πραγματικούς κινητήρες;

Σε ποιο είδος τεχνολογίας είναι πιο σχετικός ο κύκλος Carnot;



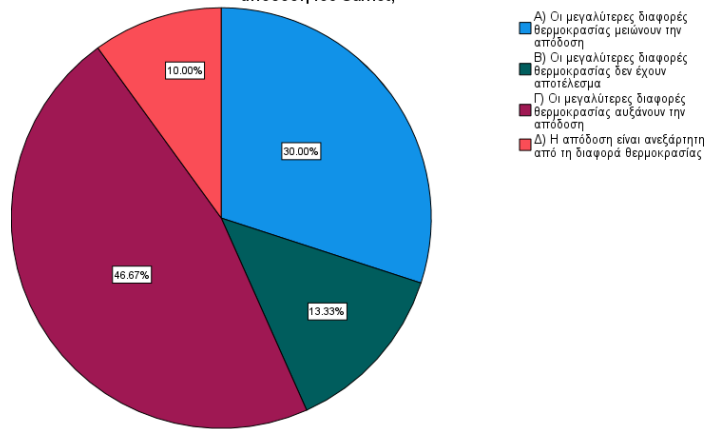
Διάγραμμα 9: Σε ποιο είδος τεχνολογίας είναι πιο σχετικός ο κύκλος Carnot;

Στις ερωτήσεις 11 (Διάγραμμα 12) και 12 (Διάγραμμα 13) του Pre lesson Questionnaire, οι μαθητές απάντησαν ως εξής:

Πίνακας 1: Απαντήσεις στις ερωτήσεις 11 και 12 του Pre lesson Questionnaire

<i>Ερώτηση 11: Ποια πρόταση περιγράφει καλύτερα την απόδοση ενός κινητήρα Carnot σε σύγκριση με πραγματικούς κινητήρες;</i>	
A) Οι κινητήρες Carnot είναι λιγότερο αποδοτικοί από τους πραγματικούς κινητήρες	23,33%
B) Οι κινητήρες Carnot είναι θεωρητικά οι πιο αποδοτικοί δυνατοί.	53,33%
Γ) Οι πραγματικοί κινητήρες μπορούν να ξεπεράσουν την απόδοση των κινητήρων Carnot.	6,67%
Δ) Οι κινητήρες Carnot δεν ακολουθούν τους νόμους της θερμοδυναμικής.	16,67%
<i>Ερώτηση 12: Σε ποιο είδος τεχνολογίας είναι πιο σχετικός ο κύκλος Carnot;</i>	
A) Ηλεκτρικά κυκλώματα.	30%
B) Μηχανές εσωτερικής καύσης.	13,33%
Γ) Θερμομηχανές και ψυγεία.	50%
Δ) Ηλιακά πάνελ.	6,67%

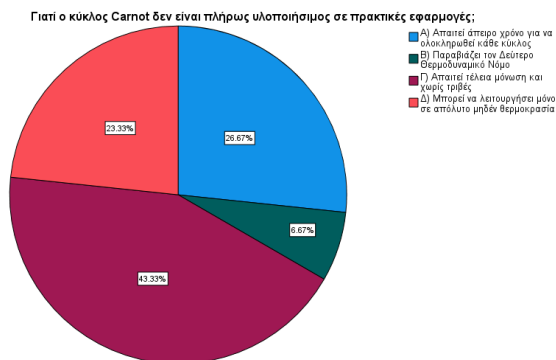
Πώς η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της πηγής θερμότητας και της ψυχρής δεξαμενής επηρεάζει την απόδοση του Carnot;



Διάγραμμα 10: Πώς η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της πηγής θερμότητας και της ψυχρής δεξαμενής επηρεάζει την απόδοση του Carnot;

Αναφορικά με την ερώτηση «Πώς η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της πηγής θερμότητας και της ψυχρής δεξαμενής επηρεάζει την απόδοση του Carnot;» οι μαθητές απάντησαν ως εξής:

- A) Οι μεγαλύτερες διαφορές θερμοκρασίας μειώνουν την απόδοση. (30%)
- B) Οι μεγαλύτερες διαφορές θερμοκρασίας δεν έχουν αποτέλεσμα. (13,33%)
- Γ) Οι μεγαλύτερες διαφορές θερμοκρασίας αυξάνουν την απόδοση. (46,67%)
- Δ) Η απόδοση είναι ανεξάρτητη από τη διαφορά θερμοκρασίας. (10%)



Διάγραμμα 15: Γιατί ο κύκλος Carnot δεν είναι πλήρως υλοποιήσιμος σε πρακτικές εφαρμογές;



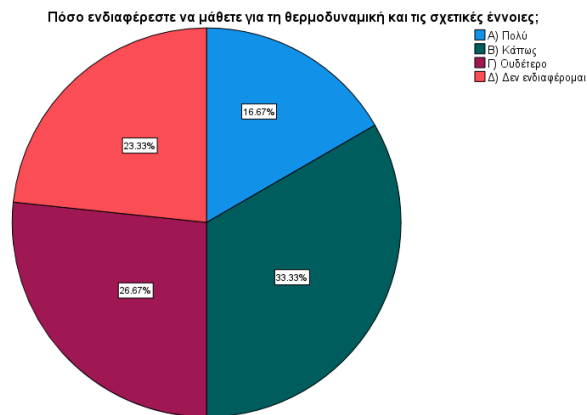
Διάγραμμα 16: Μια πραγματική θερμική μηχανή λειτουργεί μεταξύ 500 K και 300 K. Ποια είναι η θεωρητική μέγιστη απόδοση;

Στις ερωτήσεις 14 (Διάγραμμα 15) και 15 (Διάγραμμα 16) οι απαντήσεις των μαθητών ήταν οι ακόλουθες:

Πίνακας 2: Απαντήσεις στις ερωτήσεις 14 και 15 του Pre-Lesson Questionnaire

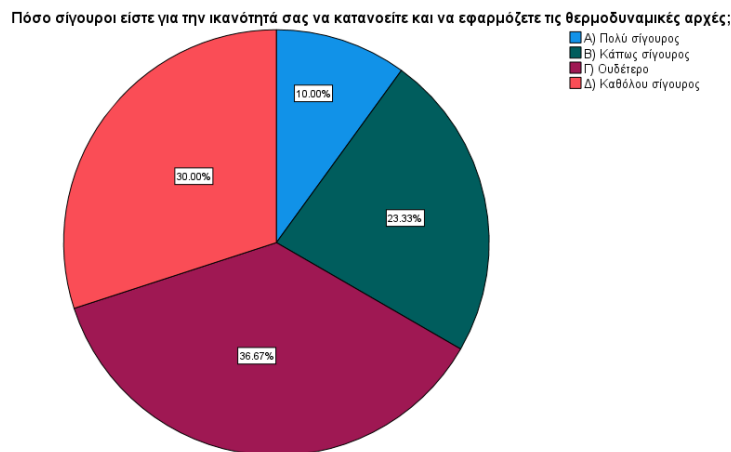
Ερώτηση 14: Γιατί ο κύκλος Carnot δεν είναι πλήρως υλοποιήσιμος σε πρακτικές εφαρμογές;	
A) Απαιτεί άπειρο χρόνο για να ολοκληρωθεί κάθε κύκλος	26,67%
B) Παραβιάζει τον Δεύτερο Θερμοδυναμικό Νόμο	6,67%
Γ) Απαιτεί τέλεια μόνωση και χωρίς τριβές	43,44%
Δ) Μπορεί να λειτουργήσει μόνο σε απόλυτο μηδέν θερμοκρασία.	23,33%
Ερώτηση 15: Μια πραγματική θερμική μηχανή λειτουργεί μεταξύ 500 K και 300 K. Ποια είναι η θεωρητική μέγιστη απόδοση;	
A) 20%	23,33%
B) 40%	26,67%
Γ) 50%	23,33%
Δ) 60%	26,67%

6.1.4 Διάσταση 4: Αντίληψη και το ενδιαφέρον των μαθητών για τους επιστημονικούς κλάδους (AESS)



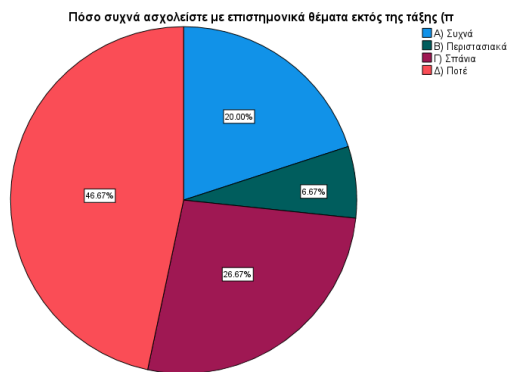
Διάγραμμα 11: Πόσο ενδιαφέρεστε να μάθετε για τη θερμοδυναμική και τις σχετικές έννοιες;

Στην ερώτηση «Πόσο ενδιαφέρεστε να μάθετε για τη θερμοδυναμική και τις σχετικές έννοιες;» το 16,67% απάντησε «Πολύ», το 33,33% απάντησε «Κάπως», το 26,67% απάντησε «Ουδέτερα» ενώ το 23,33% απάντησε «Δεν ενδιαφέρομαι» (Διάγραμμα 17).

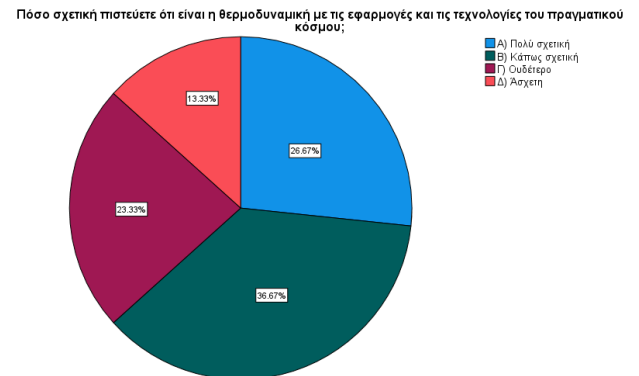


Διάγραμμα 12: Πόσο σίγουροι είστε για την ικανότητά σας να κατανοείτε και να εφαρμόζετε τις θερμοδυναμικές αρχές;

Στην ερώτηση «Πόσο σίγουροι είστε για την ικανότητά σας να κατανοείτε και να εφαρμόζετε τις θερμοδυναμικές αρχές;» το 10% απάντησε «Πολύ σίγουρος», το 23,33% απάντησε «Κάπως σίγουρος». Το 36,67% απάντησε «Ουδέτερο» και το 30% απάντησε «Καθόλου σίγουρος».

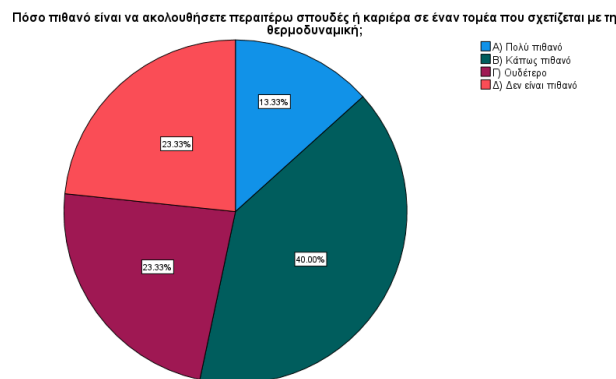


Διάγραμμα 13: Πόσο συχνά ασχολείστε με επιστημονικά θέματα εκτός της τάξης (π.χ. ανάγνωση άρθρων, παρακολούθηση ντοκιμαντέρ);



Διάγραμμα 14: Πόσο σχετική πιστεύετε ότι είναι η θερμοδυναμική με τις εφαρμογές και τις τεχνολογίες του πραγματικού κόσμου;

Αναφορικά με την ερώτηση «Πόσο συχνά ασχολείστε με επιστημονικά θέματα εκτός της τάξης (π.χ. ανάγνωση άρθρων, παρακολούθηση ντοκιμαντέρ);» (Διάγραμμα 19), το 20% απάντησε «Συχνά», το 6,67% απάντησε «Περισσότερα», το 26,67% απάντησε «Σπάνια» και το 46,67% απάντησε «Ποτέ». Στην ερώτηση «Πόσο σχετική πιστεύετε ότι είναι η θερμοδυναμική με τις εφαρμογές και τις τεχνολογίες του πραγματικού κόσμου;» (Διάγραμμα 20), το 26,67% απάντησε «Πολύ σχετική», το 36,67% απάντησε «Κάπως σχετική», το 23,33% απάντησε «Ουδέτερο» και το 13,33% απάντησε «Άσχετη».

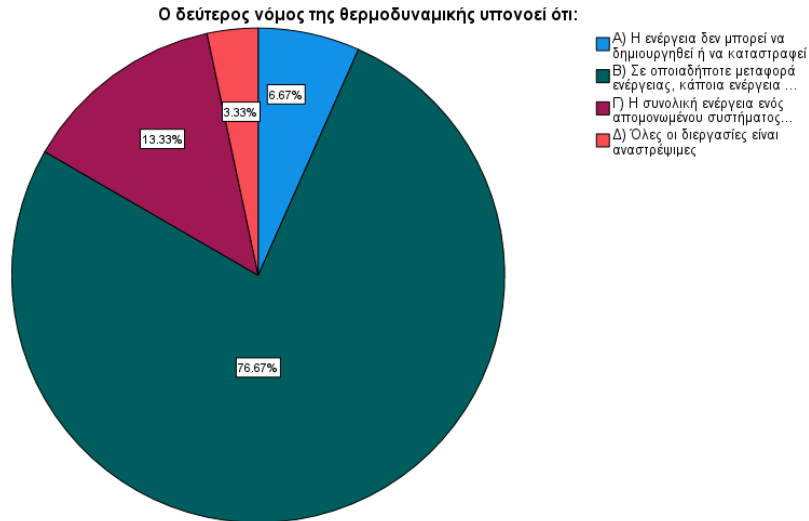


Διάγραμμα 15: Πόσο πιθανό είναι να ακολουθήσετε περαιτέρω σπουδές ή καριέρα σε έναν τομέα που σχετίζεται με τη θερμοδυναμική;

Τέλος, σχετικά με την ερώτηση «Πόσο πιθανό είναι να ακολουθήσετε περαιτέρω σπουδές ή καριέρα σε έναν τομέα που σχετίζεται με τη θερμοδυναμική;» (Διάγραμμα 21), το 13,33% δήλωσε «Πολύ πιθανό», το 40% δήλωσε «Κάπως πιθανό», το 23,33% δήλωσε «Ουδέτερο» και το 23,33% δήλωσε «Δεν είναι πιθανό».

6.2 Post-lesson Questionnaire

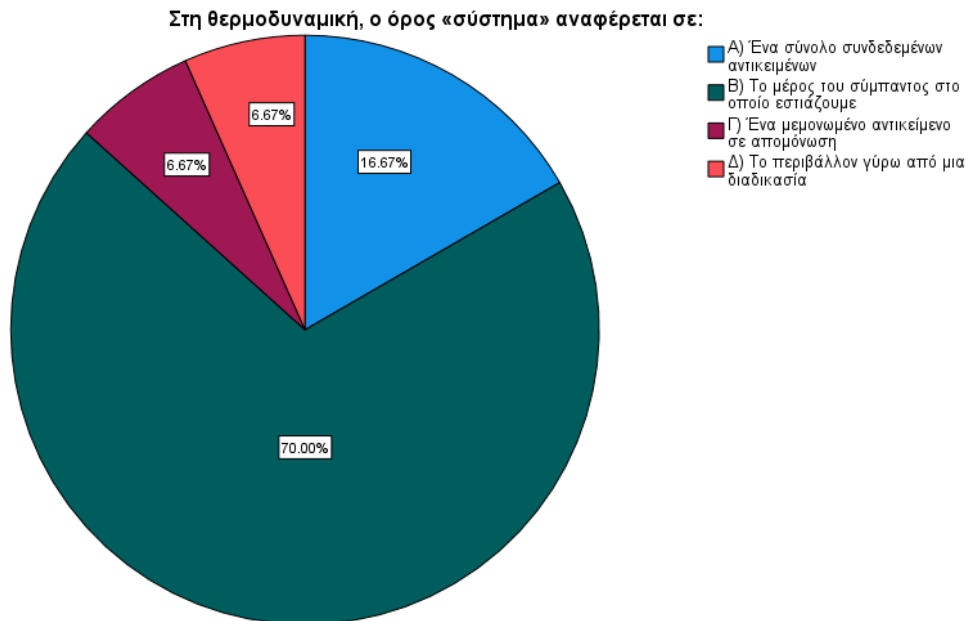
6.2.1 Διάσταση 1: Κατανόηση των Θερμοδυναμικών Αρχών (TP)



Διάγραμμα 16: Τι υπονοεί ο Δεύτερος Νόμος της Θερμοδυναμικής

Οι μαθητές, στην πρώτη ερώτηση του ερωτηματολογίου που τους δόθηκε προς συμπλήρωση μετά τη διδακτική παρέμβαση η οποία ρώταγε το εξής: «Ο δεύτερος νόμος της θερμοδυναμικής υπονοεί ότι:» απάντησαν ως εξής (Διάγραμμα 22):

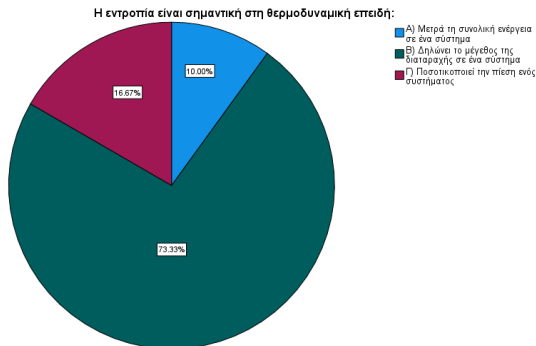
- Α) Η ενέργεια δεν μπορεί να δημιουργηθεί ή να καταστραφεί. (6,67%)
- Β) Σε οποιαδήποτε μεταφορά ενέργειας, κάποια ενέργεια καθίσταται αδύνατη για να εκτελέσει έργο. (76,67%)
- Γ) Η συνολική ενέργεια ενός απομονωμένου συστήματος παραμένει σταθερή. (13,33%)
- Δ) Όλες οι διεργασίες είναι αναστρέψιμες. (3,33%)



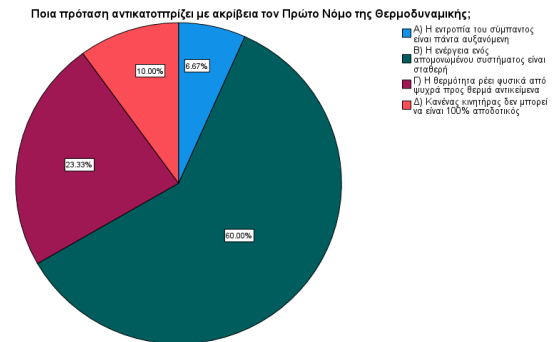
Διάγραμμα 17: Σε τι αναφέρεται ο όρος «σύστημα στη θερμοδυναμική

Στη δεύτερη ερώτηση του ερωτηματολογίου που τους δόθηκε προς συμπλήρωση μετά τη διδακτική παρέμβαση η οποία ρώταγε το εξής: «Στη θερμοδυναμική, ο όρος «σύστημα» αναφέρεται σε:» απάντησαν ως εξής (Διάγραμμα 23):

- A) Ένα σύνολο συνδεδεμένων αντικειμένων. (16,67%)
- B) Το μέρος του σύμπαντος στο οποίο εστιάζουμε. (70%)
- Γ) Ένα μεμονωμένο αντικείμενο σε απομόνωση. (6,67%)
- Δ) Το περιβάλλον γύρω από μια διαδικασία. (6,67%)

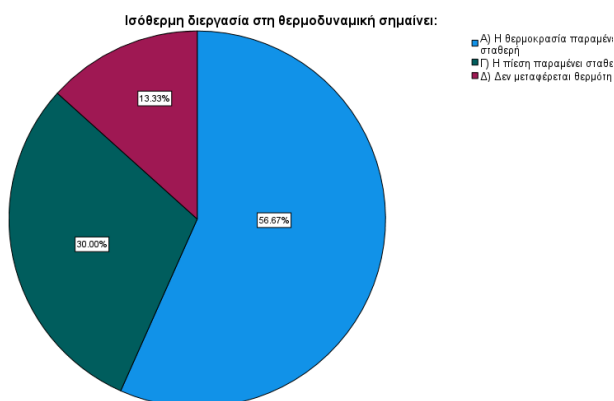


Διάγραμμα 18: Η εντροπία είναι σημαντική στη θερμοδυναμική επειδή



Διάγραμμα 19: Ποια πρόταση αντικατοπτρίζει με ακρίβεια τον Πρώτο Νόμο της Θερμοδυναμικής;

Αναφορικά με την ερώτηση γιατί είναι σημαντική η εντροπία (Διάγραμμα 24), το 10% των μαθητών απάντησε ότι είναι σημαντική επειδή μετρά τη συνολική ενέργεια σε ένα σύστημα, το 73,33% επειδή δηλώνει το μέγεθος της διαταραχής σε ένα σύστημα, το 16,67% επειδή ποσοτικοποιεί την πίεση ενός συστήματος και 0% απάντησαν επειδή περιγράφει τη δουλειά που κάνει ένα σύστημα. Στην ερώτηση «Ποια πρόταση αντικατοπτρίζει με ακρίβεια τον Πρώτο Νόμο της Θερμοδυναμικής;» (Διάγραμμα 25), οι απαντήσεις των μαθητών είχαν ως εξής: το 6,67% επέλεξε την απάντηση «Α) Η εντροπία του σύμπαντος είναι πάντα αυξανόμενη», το 60% επέλεξε την απάντηση «Β) Η ενέργεια ενός απομονωμένου συστήματος είναι σταθερή», το 23,33% επέλεξε την απάντηση «Γ) Η θερμότητα ρέει φυσικά από ψυχρά προς θερμά αντικείμενα», ενώ το 10% επέλεξε την απάντηση «Δ) Κανένας κινητήρας δεν μπορεί να είναι 100% αποδοτικός.».



Διάγραμμα 20: Ισόθερμη διεργασία στη θερμοδυναμική σημαίνει:

Στην ερώτηση «Ισόθερμη διεργασία στη θερμοδυναμική σημαίνει:» οι απαντήσεις των μαθητών είχαν ως εξής: 56,67% επέλεξε «Η θερμοκρασία παραμένει σταθερή.», 0% επέλεξε «Ο όγκος παραμένει σταθερός.», 30% επέλεξε «Η πίεση παραμένει σταθερή.» και 13,33% επέλεξε «Δεν μεταφέρεται θερμότητα.».

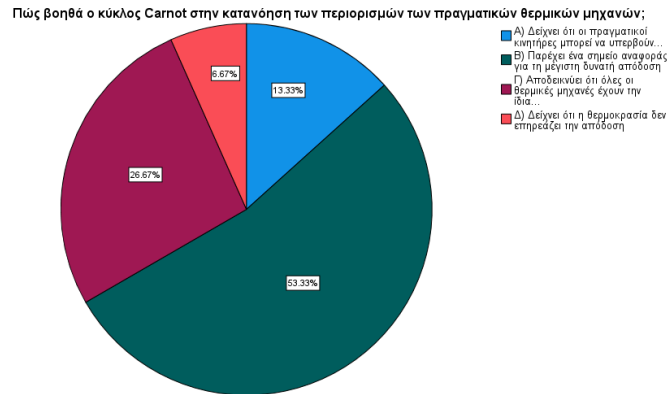
6.2.2 Διάσταση 2: Γνώση της διαδικασίας του κύκλου Carnot (CCP)

Η δεύτερη διάσταση περιελάμβανε τις ερωτήσεις 6 έως 10. Οι απαντήσεις των μαθητών σε ποσοστά διαφαίνονται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3: Απαντήσεις στις ερωτήσεις 6,7,8,9,10 του Post-Lesson Questionnaire

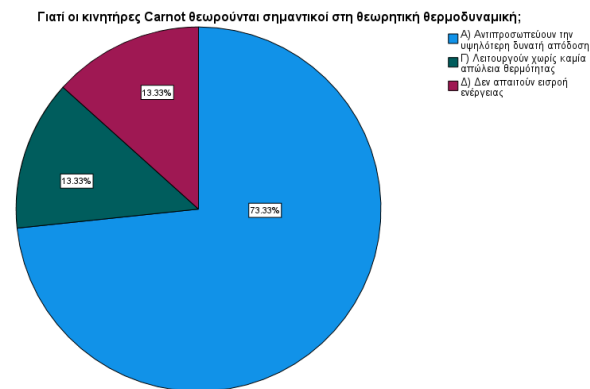
Τι συμβαίνει κατά τη φάση της ισόθερμης συμπίεσης του κύκλου Carnot;	
Η θερμοκρασία του αερίου αυξάνεται	16,67%
Ο όγκος του αερίου αυξάνεται.	20%
Το αέριο απελευθερώνει θερμότητα στο περιβάλλον	60%
Το αέριο λειτουργεί χωρίς εναλλαγή θερμότητας	3,33%
Κατά τη φάση της αδιαβατικής διαστολής του κύκλου Carnot:	
Η θερμοκρασία του αερίου αυξάνεται	10%
Ο όγκος του αερίου παραμένει σταθερός.	13,33%
Το αέριο απορροφά θερμότητα	6,67%
Η θερμοκρασία του αερίου μειώνεται.	70%
Στον κύκλο Carnot, ποια φάση περιλαμβάνει μείωση της θερμοκρασίας χωρίς ανταλλαγή θερμότητας;	
Ισόθερμη διαστολή	13,33%
Αδιαβατική διαστολή	6,67%
Ισόθερμη συμπίεση.	0%
Αδιαβατική συμπίεση	80%
Γιατί η φάση της ισόθερμης διαστολής είναι κρίσιμη στον κύκλο Carnot;	
Μεγιστοποιεί την πίεση	10%
Επιτρέπει στο αέριο να απορροφήσει τη μέγιστη θερμότητα	56,67%
Ελαχιστοποιεί τον όγκο	20%
Εξασφαλίζει ότι δεν παράγεται έργο	13,33%
Ποια από τις παρακάτω προτάσεις ισχύει για τον κύκλο Carnot;	
Μπορεί να επιτευχθεί με 100% αποτελεσματικότητα	10%
Είναι ένα θεωρητικό μοντέλο για τον πιο αποδοτικό κινητήρα	63,33%
Απαιτεί μη ιδανικές συνθήκες αερίου	16,67%
Περιλαμβάνει τέσσερα στάδια προσθήκης και απόρριψης θερμότητας	10%

6.2.3 Διάσταση 3: Εφαρμογή του κύκλου Carnot στον πραγματικό κόσμο (CCRW)



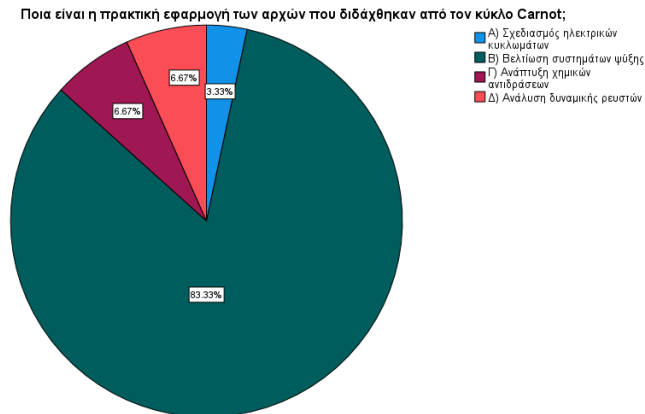
Διάγραμμα 21: Πώς βοηθά ο κύκλος Carnot στην κατανόηση των περιορισμών των πραγματικών θερμικών μηχανών;

Αναφορικά με την ερώτηση «Πώς βοηθά ο κύκλος Carnot στην κατανόηση των περιορισμών των πραγματικών θερμικών μηχανών;» (Διάγραμμα 27), το 13,33% απάντησε «Δείχνει ότι οι πραγματικοί κινητήρες μπορεί να υπερβούν την απόδοση Carnot», το 53,33% απάντησε «Παρέχει ένα σημείο αναφοράς για τη μέγιστη δυνατή απόδοση», το 26,67% απάντησε ότι «Αποδεικνύει ότι όλες οι θερμικές μηχανές έχουν την ίδια απόδοση» και το 6,67% απάντησε ότι «Δείχνει ότι η θερμοκρασία δεν επηρεάζει την απόδοση».



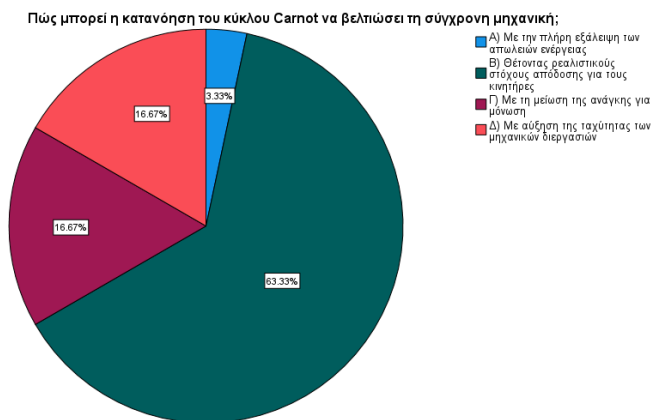
Διάγραμμα 22: Γιατί οι κινητήρες Carnot θεωρούνται σημαντικοί στη θεωρητική θερμοδυναμική;

Στην ερώτηση «Γιατί οι κινητήρες Carnot θεωρούνται σημαντικοί στη θεωρητική θερμοδυναμική;» το 73,33% επέλεξε «Αντιπροσωπεύουν την υψηλότερη δυνατή απόδοση», το 13,33% επέλεξε «Λειτουργούν χωρίς καμία απώλεια θερμότητας», το 13,33% επέλεξε «Δεν απαιτούν εισροή ενέργειας» ενώ 0% επέλεξε «Χρησιμοποιούνται συνήθως σε πρακτικές εφαρμογές».



Διάγραμμα 23: Ποια είναι η πρακτική εφαρμογή των αρχών που διδάχθηκαν από τον κύκλο Carnot;

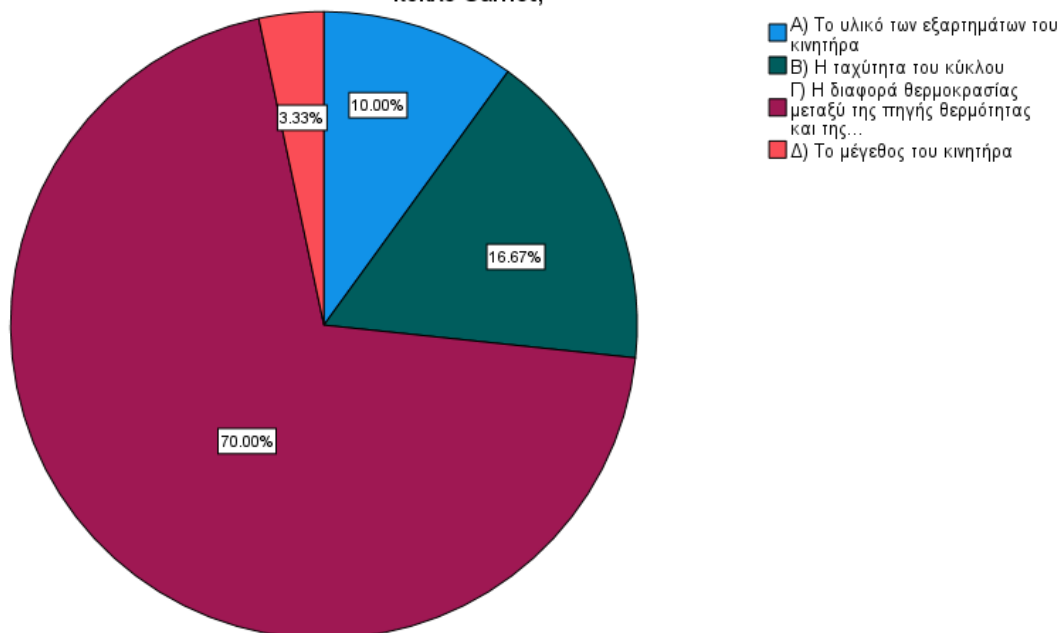
Αναφορικά με την ερώτηση «Ποια είναι η πρακτική εφαρμογή των αρχών που διδάχθηκαν από τον κύκλο Carnot;», το 3,33% των μαθητών επέλεξε «Σχεδιασμός ηλεκτρικών κυκλωμάτων», το 83,33% των μαθητών επέλεξε «Βελτίωση συστημάτων ψύξης», το 6,67% επέλεξε «Ανάπτυξη χημικών αντιδράσεων» και το 6,67% επέλεξε «Ανάλυση δυναμικής ρευστών» (Διάγραμμα 29).



Διάγραμμα 24: Πώς μπορεί η κατανόηση του κύκλου Carnot να βελτιώσει τη σύγχρονη μηχανική;

Όταν ερωτήθηκαν οι μαθητές «Πώς μπορεί η κατανόηση του κύκλου Carnot να βελτιώσει τη σύγχρονη μηχανική;», το 3,33% απάντησε «Με την πλήρη εξάλειψη των απωλειών ενέργειας», το 63,33% απάντησε «Θέτοντας ρεαλιστικούς στόχους απόδοσης για τους κινητήρες», το 16,67% απάντησε «Με τη μείωση της ανάγκης για μόνωση» και το 16,67% απάντησε «Με αύξηση της ταχύτητας των μηχανικών διεργασιών» (Διάγραμμα 30).

Ποιος παράγοντας είναι κρίσιμος για τη μεγιστοποίηση της απόδοσης μιας θερμικής μηχανής σύμφωνα με τον κύκλο Carnot;



Διάγραμμα 25: Ποιος παράγοντας είναι κρίσιμος για τη μεγιστοποίηση της απόδοσης μιας θερμικής μηχανής σύμφωνα με τον κύκλο Carnot;

Αναφορικά με την ερώτηση «Ποιος παράγοντας είναι κρίσιμος για τη μεγιστοποίηση της απόδοσης μιας θερμικής μηχανής σύμφωνα με τον κύκλο Carnot;», οι απαντήσεις των μαθητών είχαν ως εξής (Διάγραμμα 31):

Α) Το υλικό των εξαρτημάτων του κινητήρα. (10%)

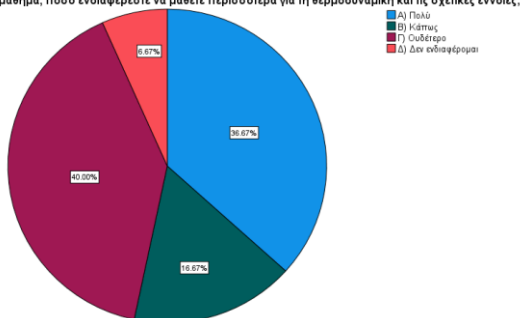
Β) Η ταχύτητα του κύκλου. (16,67%)

Γ) Η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της πηγής θερμότητας και της ψυχρής δεξαμενής. (70%)

Δ) Το μέγεθος του κινητήρα. (3,33%)

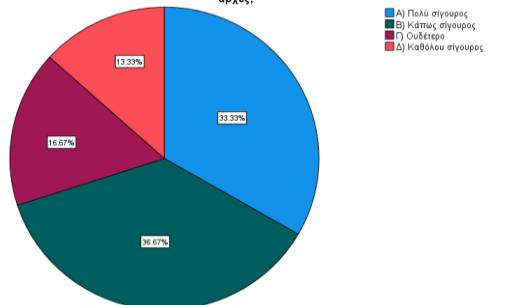
6.2.4 Διάσταση 4: Αντίληψη και το ενδιαφέρον των μαθητών για τους επιστημονικούς κλάδους (AESS)

Μετά το μάθημα, πόσο ενδιαφέρεστε να μάθετε περισσότερα για τη θερμοδυναμική και τις σχετικές έννοιες;



Διάγραμμα 26: Μετά το μάθημα, πόσο ενδιαφέρεστε να μάθετε περισσότερα για τη θερμοδυναμική και τις σχετικές έννοιες;

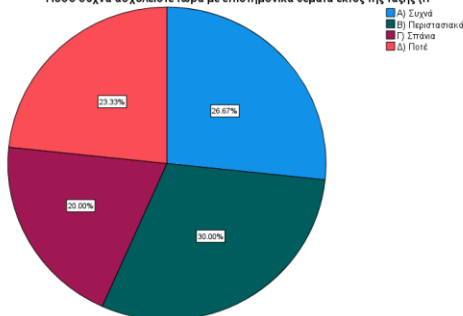
Πόσο σίγουροι νιώθετε τώρα για την ικανότητά σας να κατανοείτε και να εφαρμόζετε τις θερμοδυναμικές αρχές;



Διάγραμμα 27: Πόσο σίγουροι νιώθετε τώρα για την ικανότητά σας να κατανοείτε και να εφαρμόζετε τις θερμοδυναμικές αρχές;

Όταν ερωτήθηκαν «Μετά το μάθημα, πόσο ενδιαφέρεστε να μάθετε περισσότερα για τη θερμοδυναμική και τις σχετικές έννοιες;» το 36,67% απάντησε «Πολύ», το 16,67% απάντησε «Κάπως», το 40% απάντησε «Ουδέτερο» και το 6,67% απάντησε «Δεν ενδιαφέρομαι (Διάγραμμα 32). Στην ερώτηση «Πόσο σίγουροι νιώθετε τώρα για την ικανότητά σας να κατανοείτε και να εφαρμόζετε τις θερμοδυναμικές αρχές;» το 3,33% απάντησε «Πολύ σίγουρος», το 36,67% απάντησε «Κάπως σίγουρος», το 16,67% απάντησε «Ουδέτερο» και το 13,33% απάντησε «Καθόλου σίγουρος» (Διάγραμμα 33).

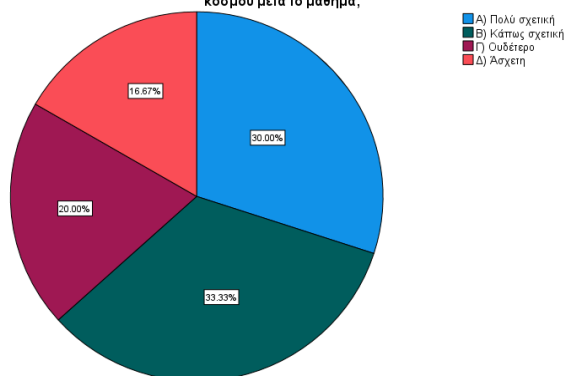
Πόσο συχνά ασχολείστε τώρα με επιστημονικά θέματα εκτός της τάξης (π.χ. ανάγνωση άρθρων, παρακολούθηση ντοκιμαντέρ);



Διάγραμμα 28: Πόσο συχνά ασχολείστε τώρα με επιστημονικά θέματα εκτός της τάξης (π.χ. ανάγνωση άρθρων, παρακολούθηση ντοκιμαντέρ);

Αναφορικά με την ερώτηση «Πόσο συχνά ασχολείστε τώρα με επιστημονικά θέματα εκτός της τάξης (π.χ. ανάγνωση άρθρων, παρακολούθηση ντοκιμαντέρ);» το 26,67% απάντησε «Συχνά», το 30% απάντησε «Περιστασιακά», το 20% απάντησε «Σπάνια» και το 23,33% απάντησε «Ποτέ» (Διάγραμμα 34).

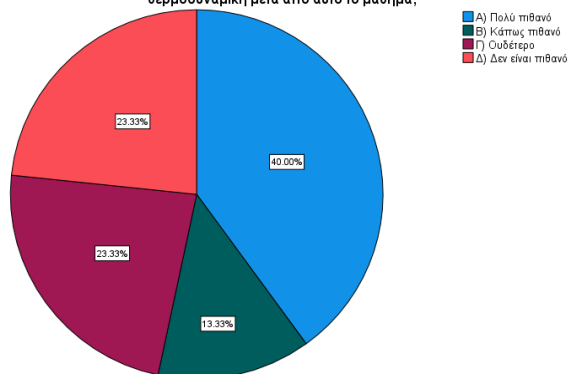
Πόσο σχετική πιστεύετε ότι είναι η θερμοδυναμική με τις εφαρμογές και τις τεχνολογίες του πραγματικού κόσμου μετά το μάθημα;



Διάγραμμα 29: Πόσο σχετική πιστεύετε ότι είναι η θερμοδυναμική με τις εφαρμογές και τις τεχνολογίες του πραγματικού κόσμου μετά το μάθημα;

Στην ερώτηση «Πόσο σχετική πιστεύετε ότι είναι η θερμοδυναμική με τις εφαρμογές και τις τεχνολογίες του πραγματικού κόσμου μετά το μάθημα;» (Διάγραμμα 35), το 30% των μαθητών επέλεξε την απάντηση «Πολύ σχετική», το 33,33% επέλεξε την απάντηση «Κάπως σχετική», το 20% επέλεξε την απάντηση «Ουδέτερο» και το 16,67% επέλεξε την απάντηση «Άσχετη».

Πόσο πιθανό είναι να συνεχίσετε περαιτέρω σπουδές ή καριέρα σε έναν τομέα που σχετίζεται με τη θερμοδυναμική μετά από αυτό το μάθημα;



Διάγραμμα 30: Πόσο πιθανό είναι να συνεχίσετε περαιτέρω σπουδές ή καριέρα σε έναν τομέα που σχετίζεται με τη θερμοδυναμική μετά από αυτό το μάθημα;

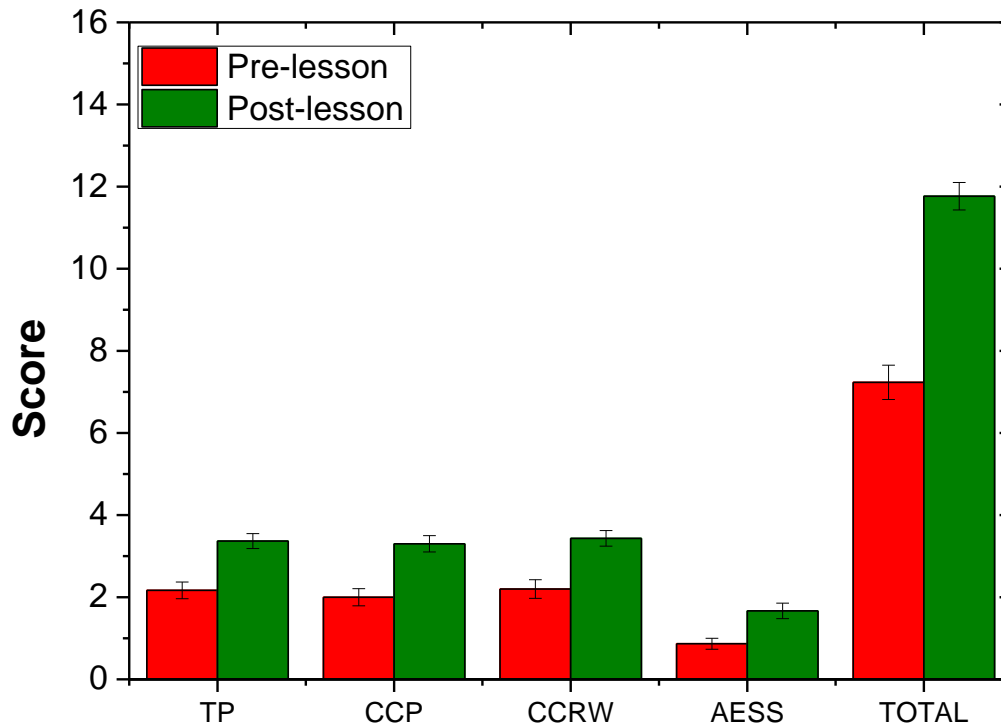
Τέλος, στην ερώτηση «Πόσο πιθανό είναι να συνεχίσετε περαιτέρω σπουδές ή καριέρα σε έναν τομέα που σχετίζεται με τη θερμοδυναμική μετά από αυτό το μάθημα;» (Διάγραμμα 36), το 40% των μαθητών επέλεξε την απάντηση «Πολύ πιθανό», το 13,33% επέλεξε την απάντηση «Κάπως πιθανό», το 23,33% επέλεξε την απάντηση «Ουδέτερο» και το 23,33% επέλεξε την απάντηση «Δεν είναι πιθανό».

6.3 Στατιστική Επεξεργασία Αποτελεσμάτων

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η μέση βαθμολογία που κατέγραψαν οι 30 μαθητές ανά διάσταση στα δύο ερωτηματολόγια που διαμοιράστηκαν. Τα αποτελέσματα απεικονίζονται επίσης σχηματικά στο παρακάτω διάγραμμα:

Πίνακας 4: Μέση βαθμολογία ανά διάσταση στα δύο ερωτηματολόγια που διαμοιράστηκαν

	Διάσταση 1 (TP)	Διάσταση 2 (CCP)	Διάσταση 3 (CCRW)	Διάσταση 4 (AESS)	Συνολική βαθμολογία
Pre-lesson Questionnaire	2.2±0.2	2.0±0.2	2.2±0.2	0.9±0.1	7.2±0.4
Post-lesson Questionnaire	3.4±0.2	3.3±0.2	3.4±0.1	1.7±0.2	11.8±0.3



Οι μέσες βαθμολογίες που καταγράφηκαν για τα ερωτηματολόγια πριν και μετά το μάθημα καταδεικνύουν τον αντίκτυπο της διδακτικής παρέμβασης στην κατανόηση των μαθητών για τις θερμοδυναμικές αρχές και τον κύκλο Carnot. Πριν από την παρέμβαση, οι μέσες βαθμολογίες ήταν σχετικά χαμηλές σε όλες τις διαστάσεις και πιο συγκεκριμένα 2,2 για την κατανόηση των θερμοδυναμικών αρχών (TP), 2,0 για τη γνώση της διαδικασίας του κύκλου Carnot (CCP), 2,2 για την εφαρμογή του κύκλου Carnot στον πραγματικό κόσμο (CCRW) και 0,9 για την αντίληψη και το ενδιαφέρον των μαθητών για επιστημονικούς κλάδους (AESS), με τη συνολική μέση βαθμολογία να ανέρχεται στο 7,2. Αυτές οι χαμηλές βαθμολογίες δείχνουν ότι οι μαθητές αρχικά είχαν περιορισμένη κατανόηση των εννοιών και χαμηλότερο επίπεδο ενδιαφέροντος και δέσμευσης στους επιστημονικούς κλάδους.

Μετά την παρέμβαση, παρατηρείται αξιοσημείωτη αύξηση του μέσου όρου βαθμολογίας σε όλες τις διαστάσεις. Οι βαθμολογίες αυξήθηκαν στο 3,4 για την κατανόηση των θερμοδυναμικών αρχών (TP), στο 3,3 για τη γνώση της διαδικασίας του κύκλου Carnot (CCP), στο 3,4 για την εφαρμογή του κύκλου Carnot στον πραγματικό κόσμο (CCRW) και στο 1,7 για την αντίληψη και το ενδιαφέρον των μαθητών για επιστημονικούς κλάδους (AESS), με συνολική μέση βαθμολογία για το δεύτερο ερωτηματολόγιο ίση με 11,8. Αυτή η σημαντική βελτίωση σε όλες τις διαστάσεις υποδηλώνει ότι η δομημένη και διαδραστική προσέγγιση της παρέμβασης ενίσχυσε αποτελεσματικά την εννοιολογική κατανόηση και την ικανότητα των μαθητών να εφαρμόζουν τη γνώση σε πρακτικά σενάρια. Επιπλέον, η αύξηση της βαθμολογίας AESS δείχνει μια θετική αλλαγή στη στάση στο ενδιαφέρον των μαθητών για τις επιστήμες. Συνολικά, τα δεδομένα υποδεικνύουν σημαντική αύξηση του μέσου όρου των βαθμολογιών για όλες τις διαστάσεις, υπογραμμίζοντας την επιτυχία της διδακτικής παρέμβασης στην επίτευξη των εκπαιδευτικών της στόχων.

T-test analysis

Τα αποτελέσματα από τα ζευγαρωμένα δείγματα t-test παρέχουν ουσιαστικές αποδείξεις για την αποτελεσματικότητα της διδακτικής παρέμβασης σχετικά με τον κύκλο Carnot και παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 5: Αποτελέσματα από τα ζευγαρωμένα δείγματα t-test

Paired Samples T-test			
	Μέση τιμή	t	Sig (2-tailed)
LHF (πριν-μετά)	-1.20±0.32	-3.714	0.001
SC (πριν-μετά)	-1.30±0.29	-4.448	<0.001
PS (πριν-μετά)	-1.23±0.28	-4.432	<0.001
EIS (πριν-μετά)	-0.80±0.25	-3.247	0.003
Συνολικό Σκορ (πριν-μετά)	-4.53±0.55	-8.238	<0.001

Η κατανόηση των παραπάνω αποτελεσμάτων βοηθά στην απάντηση των ερευνητικών ερωτημάτων της εργασίας. Πιο συγκεκριμένα:

Ερευνητικό ερώτημα 1: Ποιες αλλαγές επέρχονται στη γνώση των Θερμοδυναμικών Αρχών των μαθητών μετά την εφαρμογή της παρέμβασης;

Η μέση βαθμολογία για την κατανόηση των θερμοδυναμικών αρχών αυξήθηκε από 2,17 πριν από την παρέμβαση σε 3,37 μετά την παρέμβαση. Η δοκιμή t-ζευγών δειγμάτων αποκαλύπτει μια μέση διαφορά -1.200, μια τιμή t -3.714 και μια τιμή p 0.001. Αυτή η σημαντική βελτίωση δείχνει ότι η παρέμβαση ενίσχυσε αποτελεσματικά την κατανόηση των θερμοδυναμικών εννοιών των μαθητών.

Ερευνητικό ερώτημα 2: Πώς οι μαθητές απέκτησαν εις βάθος κατανόηση σχετικά με τις «Διαδικασίες του Κύκλου Carnot» μετά την παρέμβαση;

Οι γνώσεις των μαθητών για τη διαδικασία του κύκλου Carnot παρουσίασαν επίσης αξιοσημείωτη αύξηση, με τη μέση βαθμολογία να αυξάνεται από 2,00 σε 3,30. Τα αποτελέσματα της δοκιμής t δείχνουν μια μέση διαφορά -1.300, μια τιμή t -4.448 και μια τιμή p 0.000. Αυτό δείχνει μια σημαντική βελτίωση στην κατανόηση των

συγκεκριμένων διαδικασιών που εμπλέκονται στον κύκλο Carnot από τους μαθητές, υποδηλώνοντας ότι η παρέμβαση εμβάθυνε επιτυχώς την κατανόησή τους.

Ερευνητικό ερώτημα 3: Αυτή η εργασία προσπαθεί να ανακαλύψει πώς η παρέμβαση επηρεάζει την απόδοση των μαθητών στην εφαρμογή του κύκλου Carnot σε πραγματικές καταστάσεις

Η μέση βαθμολογία για την εφαρμογή του κύκλου Carnot σε σενάρια πραγματικού κόσμου αυξήθηκε από 2,20 σε 3,43. Το τεστ t δείχνει μια μέση διαφορά -1,233, μια τιμή t -4,432 και μια τιμή p 0,000, υποδεικνύοντας μια σημαντική βελτίωση στην ικανότητα των μαθητών να εφαρμόζουν τη θεωρητική γνώση σε πρακτικές καταστάσεις. Αυτό το αποτέλεσμα υπογραμμίζει την αποτελεσματικότητα της παρέμβασης στη γεφύρωση του χάσματος μεταξύ θεωρίας και εφαρμογής στον πραγματικό κόσμο.

Ερευνητικό ερώτημα 4: Ποιες τροποποιήσεις εντοπίζονται στην αντίληψη και το ενδιαφέρον των μαθητών για τους επιστημονικούς κλάδους γενικά και τη θερμοδυναμική ειδικότερα μετά την παρέμβαση;

Η αντίληψη και το ενδιαφέρον των μαθητών για επιστημονικούς κλάδους σημείωσαν αύξηση από μια μέση βαθμολογία 0,87 σε 1,67. Η δοκιμή t-ζευγών δειγμάτων αποκαλύπτει μια μέση διαφορά -0,800, μια τιμή t -3,247 και μια τιμή p 0,003. Αυτή η σημαντική βελτίωση υποδηλώνει ότι η παρέμβαση επηρέασε θετικά τη στάση των μαθητών απέναντι στην επιστήμη, κάνοντάς τους να ενδιαφέρονται και να ασχολούνται περισσότερο με επιστημονικά θέματα.

Συμπεράσματα

Σε αυτή την εργασία έγινε εφαρμογή μιας δομημένης διδακτικής παρέμβασης με στόχο τη βελτίωση της κατανόησης των μαθητών λυκείου για τον κύκλο Carnot και των θεμελιωδών θερμοδυναμικών αρχών. Η παρέμβαση σχεδιάστηκε με βάση κοινωνικές θεωρίες, δίνοντας έμφαση στην ενεργό συμμετοχή, τη συνεργατική μάθηση και την πρακτική εφαρμογή των θεωρητικών εννοιών. Για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας αυτής της παρέμβασης, έγινε διαμοιρασμός ερωτηματολογίων πριν και μετά το μάθημα τα οποία αξιολόγησαν τις γνώσεις των μαθητών σε τέσσερις διαστάσεις: θερμοδυναμικές αρχές, διαδικασίες κύκλου Carnot, εφαρμογές στον πραγματικό κόσμο και αντίληψη και ενδιαφέρον των μαθητών για επιστημονικούς κλάδους. Οι απαντήσεις από αυτά τα ερωτηματολόγια αναλύθηκαν χρησιμοποιώντας ζευγαρωμένα δείγματα t-test για να προσδιοριστεί η σημασία των αλλαγών στις βαθμολογίες των μαθητών πριν και μετά την παρέμβαση.

Η ανάλυση των απαντήσεων των μαθητών στο ερωτηματολόγιο πριν από το μάθημα πριν από τη διδακτική παρέμβαση αποκαλύπτει αρκετές σημαντικές γνώσεις σχετικά με την αρχική τους κατανόηση των βασικών θερμοδυναμικών εννοιών. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν παρέχουν μια σαφή ένδειξη των τομέων όπου οι μαθητές κατέχουν ακριβείς γνώσεις και εκείνων όπου επικρατούν παρανοήσεις. Εξετάζοντας τις απαντήσεις σε κάθε ερώτηση, μπορούμε να βγάλουμε συμπεράσματα σχετικά με τη βασική κατανόηση της θερμοδυναμικής μεταξύ των μαθητών και να εντοπίσουμε συγκεκριμένες εκπαιδευτικές ανάγκες.

Αρχικά, οι απαντήσεις στην ερώτηση σχετικά με τον Πρώτο Νόμο της Θερμοδυναμικής αναδεικνύουν ένα βασικό επίπεδο κατανόησης μεταξύ των μαθητών. Η πλειοψηφία, το 50%, προσδιόρισε σωστά ότι «η ενέργεια δεν μπορεί να δημιουργηθεί ή να καταστραφεί», η οποία είναι θεμελιώδης αρχή του Πρώτου Νόμου. Ωστόσο, το υπόλοιπο 50% επέλεξε λανθασμένες επιλογές, υποδεικνύοντας ότι υπάρχει ακόμα ένα σημαντικό μέρος της τάξης που είτε παρεξηγεί είτε δεν είναι απόλυτα σίγουρο για αυτή τη θεμελιώδη έννοια. Αυτή η ανισότητα υποδηλώνει ότι ενώ οι μισοί μαθητές έχουν καλή κατανόηση του Πρώτου Νόμου, οι άλλοι μισοί μπορεί να επωφεληθούν από τη στοχευμένη διδασκαλία για να εδραιώσουν την κατανόησή τους.

Στην αντιμετώπιση της έννοιας της εντροπίας, οι αποκρίσεις ήταν ποικίλες, με το 56,67% να προσδιορίζει σωστά την εντροπία ως μέτρο «Διαταραχή ή τυχαιότητα σε ένα σύστημα». Αυτό υποδηλώνει ότι περισσότεροι από τους μισούς μαθητές έχουν σωστή κατανόηση της εντροπίας. Ωστόσο, μια σημαντική μειοψηφία μαθητών, 43,33%, επέλεξε λανθασμένους ορισμούς, αντανακλώντας σύγχυση σχετικά με την έννοια. Αυτή η παρανόηση είναι κρίσιμη επειδή η εντροπία είναι κεντρική για την κατανόηση πολλών θερμοδυναμικών διεργασιών. Ως εκ τούτου, δικαιολογούνται πιο εστιασμένες εκπαιδευτικές προσπάθειες για την αποσαφήνιση της έννοιας της εντροπίας και των επιπτώσεών της στα θερμοδυναμικά συστήματα.

Η κατανόηση των μαθητών για τη διαφορά μεταξύ θερμότητας και εργασίας στη θερμοδυναμική παρουσιάζει επίσης σημαντική μεταβλητότητα. Το ένα τρίτο των μαθητών απάντησε σωστά ότι «Η θερμότητα είναι η μεταφορά θερμικής ενέργειας, ενώ η εργασία είναι η μεταφορά μηχανικής ενέργειας», υποδεικνύοντας τη σωστή κατανόηση αυτών των θεμελιωδών εννοιών. Ωστόσο, οι υπόλοιποι μαθητές χωρίστηκαν μεταξύ άλλων εσφαλμένων επιλογών, καταδεικνύοντας σύγχυση σχετικά με τη διακριτή φύση της θερμότητας και της εργασίας. Αυτό το εύρημα υπογραμμίζει την ανάγκη για σαφέστερες οδηγίες και ίσως πιο πρακτικά παραδείγματα για την απεικόνιση των διαφορών και των σχέσεων μεταξύ αυτών των δύο μορφών μεταφοράς ενέργειας.

Όσον αφορά τον Δεύτερο Νόμο της Θερμοδυναμικής, μόνο το 36,67% των μαθητών εντόπισε σωστά ότι «Η συνολική εντροπία ενός απομονωμένου συστήματος δεν μπορεί ποτέ να μειωθεί», η οποία είναι βασική αρχή του Δεύτερου Νόμου. Το ίδιο ποσοστό πίστευε λανθασμένα ότι «Η πίεση είναι ευθέως ανάλογη της θερμοκρασίας» και ένα άλλο 20% επέλεξε τον ορισμό του Πρώτου Νόμου, δείχνοντας ένα σημαντικό κενό στην κατανόηση. Αυτό υποδηλώνει την ανάγκη για πιο εύρωστες διδακτικές μεθόδους για τη μετάδοση των επιπτώσεων του Δεύτερου Νόμου και τη διάκρισή του από άλλες θερμοδυναμικές αρχές.

Όταν ζητήθηκε να προσδιορίσουν ένα παράδειγμα αδιαβατικής διεργασίας, το 40% των μαθητών απάντησε σωστά ότι είναι η «ταχεία συμπίεση ενός αερίου ώστε να μην ανταλλάσσεται θερμότητα». Ωστόσο, η πλειοψηφία των μαθητών επέλεξε λανθασμένα παραδείγματα, υποδεικνύοντας μια κοινή παρανόηση των αδιαβατικών διεργασιών. Αυτή η παρερμηνεία υποδηλώνει την ανάγκη για βελτιωμένες εκπαιδευτικές

στρατηγικές, που πιθανώς περιλαμβάνουν περισσότερα πρακτικά πειράματα ή οπτικά βοηθήματα για να βοηθήσουν τους μαθητές να κατανοήσουν με ακρίβεια αυτήν την έννοια.

Συνεχίζοντας, ως απάντηση στην ερώτηση σχετικά με τη φάση ισοθερμικής διαστολής του κύκλου Carnot, οι απαντήσεις των μαθητών χωρίστηκαν κυρίως σε δύο σωστές επιλογές: "Το αέριο απορροφά θερμότητα από το περιβάλλον" (33,33%) και "Το αέριο λειτουργεί χωρίς ανταλλαγή θερμότητας" (33,33%). Αυτό δείχνει ότι περίπου τα δύο τρίτα των μαθητών έχουν μερική κατανόηση της φάσης της ισοθερμικής διαστολής, αναγνωρίζοντας είτε την απορρόφηση θερμότητας είτε την απόδοση της εργασίας. Ωστόσο, το 33,34% των μαθητών επέλεξε λανθασμένες επιλογές, αντανακλώντας ένα σημαντικό κενό στην κατανόηση αυτού του κρίσιμου μέρους του κύκλου Carnot. Αυτό υποδηλώνει την ανάγκη για πιο σαφείς οδηγίες σχετικά με τις συγκεκριμένες διαδικασίες και τα χαρακτηριστικά κάθε φάσης του κύκλου Carnot.

Σχετικά με τη φάση κατά την οποία το σύστημα λειτουργεί χωρίς αλλαγή θερμοκρασίας, το 36,67% των μαθητών εντόπισε σωστά την «Ισοθερμική διαστολή», ενώ ένα άλλο 26,67% αναγνώρισε σωστά την «Ισοθερμική συμπίεση». Ωστόσο, το 50% των μαθητών επέλεξε λανθασμένες επιλογές, υποδηλώνοντας σύγχυση σχετικά με τις ισοθερμικές διεργασίες. Αυτή η σύγχυση υπογραμμίζει περαιτέρω την αναγκαιότητα λεπτομερών επεξηγήσεων και διευκρινίσεων σχετικά με τις ισοθερμικές έναντι των αδιαβατικών διεργασιών εντός του κύκλου Carnot.

Οι απαντήσεις στην ερώτηση σχετικά με τη φάση που περιλαμβάνει μείωση του όγκου διατηρώντας σταθερή τη θερμοκρασία δείχνουν ότι το 50% των μαθητών αναγνώρισε σωστά την «Ισοθερμική συμπίεση». Παρόλα αυτά, το υπόλοιπο 50% χωρίστηκε σε λανθασμένες επιλογές, γεγονός που δείχνει μια μικτή κατανόηση. Η σημαντική μερίδα των μαθητών που επιλέγουν λανθασμένες απαντήσεις υπογραμμίζει την ανάγκη για ενισχυμένη μάθηση στα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και τις συνθήκες των φάσεων του κύκλου Carnot.

Όταν ρωτήθηκε πώς η αδιαβατική συμπίεση επηρεάζει τη θερμοκρασία της ουσίας εργασίας, το 40% απάντησε σωστά ότι «Η θερμοκρασία αυξάνεται». Ωστόσο, μια αξιοσημείωτη μερίδα μαθητών πίστευε ότι η θερμοκρασία είτε μειώνεται (36,67%) είτε παραμένει σταθερή (10%), τα οποία είναι λανθασμένα. Αυτή η σημαντική απόκλιση αποκαλύπτει μια ευρεία παρανόηση των αδιαβατικών διεργασιών, όπου δεν

ανταλλάσσεται θερμότητα με το περιβάλλον, αλλά οι αλλαγές θερμοκρασίας συμβαίνουν λόγω της εργασίας που γίνεται πάνω ή από το αέριο. Αυτό το εύρημα υπογραμμίζει τη σημασία της έμφασης στις διακρίσεις μεταξύ αδιαβατικών και ισοθερμικών διεργασιών και των επιπτώσεών τους στη θερμοκρασία.

Επιπρόσθετα, σχετικά με το γιατί ο κύκλος Carnot θεωρείται ιδανικός, το 40% απάντησε σωστά ότι προϋποθέτει "μηδενική τριβή και τέλεια μόνωση", αντικατοπτρίζοντας μια καλή κατανόηση των θεωρητικών παραδοχών πίσω από τον κύκλο Carnot. Ωστόσο, οι υπόλοιποι μαθητές επέλεξαν λανθασμένους λόγους, όπως τέλεια μεταφορά ενέργειας (30%), άπειρη ταχύτητα σταδίων διαδικασίας (6,67%) ή σταθερή πίεση σε όλο τον κύκλο (23,33%). Αυτό αποκαλύπτει ένα σημαντικό μέρος της τάξης που έχει παρανοήσεις σχετικά με τις εξιδανικεύσεις του κύκλου Carnot. Η αντιμετώπιση αυτών των λανθασμένων αντιλήψεων μέσω της ολοκληρωμένης διδασκαλίας σχετικά με τις θεωρητικές βάσεις και τις υποθέσεις του κύκλου Carnot είναι ζωτικής σημασίας.

Συνεχίζοντας, όσων αφορά την απόδοση ενός κινητήρα Carnot σε σύγκριση με πραγματικούς κινητήρες, το 53,33% των μαθητών αναγνώρισε σωστά ότι «οι κινητήρες Carnot είναι θεωρητικά οι πιο αποδοτικοί δυνατοί». Αυτό δείχνει ότι η πλειοψηφία των μαθητών κατανοεί την εξιδανικευμένη φύση του κύκλου Carnot και τον ρόλο του ως σημείο αναφοράς για την απόδοση του κινητήρα. Ωστόσο, το γεγονός ότι το 46,67% επέλεξε λανθασμένες επιλογές (πιστεύοντας ότι οι κινητήρες Carnot είναι λιγότερο αποδοτικοί, ότι οι πραγματικοί κινητήρες μπορούν να ξεπεράσουν τους κινητήρες Carnot ή ότι οι κινητήρες Carnot δεν ακολουθούν τους νόμους της θερμοδυναμικής) υποδηλώνει σημαντικές παρερμηνείες. Αυτές οι λανθασμένες αντιλήψεις υπογραμμίζουν την ανάγκη για σαφέστερες εξηγήσεις των θεωρητικών θεμελίων του κύκλου Carnot και της σύγκρισής του με κινητήρες του πραγματικού κόσμου.

Όσον αφορά τη συνάφεια του κύκλου Carnot με διάφορες τεχνολογίες, το 50% των μαθητών προσδιόρισε σωστά τις «Θερμικές μηχανές και ψυγεία», επιδεικνύοντας μια λογική κατανόηση των πρακτικών εφαρμογών του κύκλου Carnot. Ωστόσο, το 50% των μαθητών επέλεξε λανθασμένες επιλογές, όπως ηλεκτρικά κυκλώματα, κινητήρες εσωτερικής καύσης ή ηλιακούς συλλέκτες. Αυτό υποδηλώνει σύγχυση σχετικά με το πού εφαρμόζονται περισσότερο οι αρχές του κύκλου Carnot, υποδηλώνοντας την

ανάγκη για πιο σαφείς συνδέσεις μεταξύ των θεωρητικών εννοιών και των πρακτικών τους εφαρμογών σε διαφορετικές τεχνολογίες.

Όταν ρωτήθηκαν για την επίδραση της διαφοράς θερμοκρασίας στην απόδοση του Carnot, το 46,67% των μαθητών απάντησε σωστά ότι «Οι μεγαλύτερες διαφορές θερμοκρασίας αυξάνουν την απόδοση». Αυτό δείχνει μια ουσιαστική κατανόηση της σχέσης μεταξύ της διαφοράς θερμοκρασίας και της απόδοσης Carnot. Ωστόσο, το υπόλοιπο 53,33% επέλεξε λανθασμένες επιλογές, αποδεικνύοντας ότι ένα σημαντικό μέρος της τάξης δεν κατανοεί πλήρως αυτή τη θεμελιώδη έννοια. Αυτό υπογραμμίζει τη σημασία του να τονιστεί ο τρόπος με τον οποίο οι διαφορές θερμοκρασίας επηρεάζουν την απόδοση των θερμικών μηχανών και να διευκρινιστούν οι αρχές πίσω από αυτή τη σχέση.

Οι απαντήσεις στο γιατί ο κύκλος Carnot δεν είναι πλήρως υλοποιήσιμος σε πρακτικές εφαρμογές δείχνουν ποικίλη κατανόηση. Ενώ το 43,44% απάντησε σωστά ότι απαιτεί «τέλεια μόνωση και καμία τριβή», σημαντικά ποσοστά μαθητών επέλεξαν άλλους λανθασμένους λόγους όπως χρειάζεται άπειρος χρόνος για την ολοκλήρωση κάθε κύκλου (26,67%), παραβιάζει τον δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής (6,67%), ή μπορεί να λειτουργήσει μόνο σε απόλυτο μηδέν θερμοκρασία (23,33%). Αυτές οι λανθασμένες αντιλήψεις υποδεικνύουν την ανάγκη για λεπτομερείς συζητήσεις σχετικά με τους πρακτικούς περιορισμούς και τις ιδανικές υποθέσεις του κύκλου Carnot και γιατί αυτές οι ιδανικές συνθήκες είναι ανέφικτες σε πραγματικές εφαρμογές. Η ερώτηση σχετικά με τη θεωρητική μέγιστη απόδοση μιας πραγματικής θερμικής μηχανής που λειτουργεί μεταξύ 500 K και 300 K αποκάλυψε ότι οι μαθητές χωρίστηκαν στις σωστές και στις λανθασμένες απαντήσεις. Μόνο το 26,67% των μαθητών επέλεξε σωστά το 40%, ενώ οι υπόλοιποι μοιράστηκαν σε 20%, 50% και 60%. Αυτό υποδηλώνει μια σημαντική παρανόηση του τρόπου υπολογισμού της απόδοσης Carnot και της σημασίας της κατανόησης της εξάρτησης της απόδοσης από τη θερμοκρασία.

Εν συνεχεία, το ενδιαφέρον των μαθητών να μάθουν για τη θερμοδυναμική ποικίλλει, με μόνο το 16,67% να εκφράζει έντονο ενδιαφέρον ("Πολύ") και ένα επιπλέον 33,33% να δείχνει μέτριο ενδιαφέρον ("Κάπως"). Ωστόσο, μια σημαντική μερίδα μαθητών είτε είναι ουδέτεροι (26,67%) είτε δεν ενδιαφέρονται (23,33%). Αυτή η κατανομή υποδηλώνει ότι ενώ υπάρχει μια βασική ομάδα μαθητών με έντονο ενδιαφέρον, σχεδόν

η μισή τάξη μπορεί να μην έχει εγγενή κίνητρο να ασχοληθεί σε βάθος με το θέμα. Αυτό υπογραμμίζει τη σημασία της ενσωμάτωσης ελκυστικού και σχετικού περιεχομένου στο πρόγραμμα σπουδών για να προκαλέσει το ενδιαφέρον μεταξύ των μαθητών με λιγότερα κίνητρα. Πρακτικές εφαρμογές, παραδείγματα πραγματικού κόσμου και διαδραστικές μέθοδοι μάθησης θα μπορούσαν να είναι ιδιαίτερα ωφέλιμες από αυτή την άποψη.

Η εμπιστοσύνη των μαθητών στην ικανότητά τους να κατανοούν και να εφαρμόζουν τις αρχές της θερμοδυναμικής είναι γενικά χαμηλή. Μόνο το 10% είναι «Πολύ σίγουρο» για τις ικανότητές του και το 23,33% είναι «Κάπως σίγουρο». Η πλειοψηφία είναι είτε ουδέτερη (36,67%) είτε στερείται εμπιστοσύνης ("Δεν είμαι σίγουρος", 30%). Αυτό υποδεικνύει ένα σημαντικό ζήτημα αυτό-αποτελεσματικότητας που πρέπει να αντιμετωπιστεί. Η ενίσχυση της αυτοπεποίθησης των μαθητών θα μπορούσε να περιλαμβάνει την παροχή σταδιακών προκλήσεων, την παροχή τακτικής θετικής ανατροφοδότησης και τη δημιουργία ενός υποστηρικτικού περιβάλλοντος μάθησης όπου οι μαθητές νιώθουν ασφαλείς να εκφράσουν τις αβεβαιότητές τους και να αναζητήσουν βοήθεια. Τα πρακτικά πειράματα και η συνεργατική μάθηση θα μπορούσαν επίσης να βοηθήσουν τους μαθητές να αποκτήσουν πρακτική εμπειρία και να αποκτήσουν εμπιστοσύνη στην κατανόηση και την εφαρμογή των αρχών της θερμοδυναμικής.

Όσον αφορά την ενασχόληση με επιστημονικά θέματα εκτός τάξης, οι απαντήσεις δείχνουν μια ανησυχητική τάση: μόνο το 20% ασχολείται συχνά, ενώ η πλειοψηφία σπάνια (26,67%) ή ποτέ (46,67%) ασχολείται με τέτοιες δραστηριότητες. Αυτό υποδηλώνει έλλειψη ευρύτερης επιστημονικής περιέργειας ή πρόσβασης σε πόρους. Η ενθάρρυνση των μαθητών να εξερευνήσουν επιστημονικό περιεχόμενο έξω από την τάξη μπορεί να ενθαρρύνει ένα βαθύτερο ενδιαφέρον και κατανόηση της θερμοδυναμικής. Οι δάσκαλοι θα μπορούσαν να προτείνουν προσβάσιμα και ελκυστικά επιστημονικά άρθρα, βλοκμαντέρ και διαδικτυακούς πόρους για να τονώσουν το ενδιαφέρον και να παρέχουν πρόσθετες ευκαιρίες μάθησης.

Όσον αφορά την αντιληπτή συνάφεια της θερμοδυναμικής με τις εφαρμογές και τις τεχνολογίες του πραγματικού κόσμου, η πλειοψηφία των μαθητών βλέπει κάποιο επίπεδο συνάφειας, με το 26,67% να το θεωρεί "Πολύ σχετικό" και το 36,67% "Κάπως σχετικό". Ωστόσο, ένα σημαντικό μέρος παραμένει ουδέτερο (23,33%) ή δεν βλέπει τη

συνάφειά του (13,33%). Αυτό υποδηλώνει την ανάγκη για το πρόγραμμα σπουδών να συνδέσει πιο ρητά τις θερμοδυναμικές έννοιες με πρακτικές και τεχνολογικές εφαρμογές που είναι ορατές και απτές στους μαθητές. Η επίδειξη του τρόπου με τον οποίο η θερμοδυναμική στηρίζει τις καθημερινές τεχνολογίες, από τα ψυγεία έως τους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, θα μπορούσε να βοηθήσει τους μαθητές να εκτιμήσουν τη σημασία και τη συνάφειά της.

Τέλος, η πιθανότητα οι φοιτητές να συνεχίσουν τις σπουδές τους ή μια σταδιοδρομία σε έναν τομέα που σχετίζεται με τη θερμοδυναμική είναι μέτρια. Ενώ το 13,33% είναι "Πολύ πιθανό" και το 40% είναι "Κάπως πιθανό", ένα συνδυασμένο 46,66% είτε είναι ουδέτερο είτε είναι απίθανο να ακολουθήσει μια τέτοια πορεία. Αυτό αντικατοπτρίζει μια μικτή αντίληψη για την ελκυστικότητα ή τις δυνατότητες καριέρας του κλάδου. Ομιλίες σταδιοδρομίας, εκδρομές σε σχετικούς κλάδους και παρουσίαση διαφορετικών επαγγελματικών μονοπατιών που περιλαμβάνουν θερμοδυναμική θα μπορούσαν να βοηθήσουν στην αύξηση του ενδιαφέροντος των μαθητών και να τονίσουν τις ευκαιρίες του κλάδου.

Η ανάλυση των απαντήσεων των μαθητών στις ερωτήσεις μετά τη διδακτική παρέμβαση αποκαλύπτει ουσιαστικές βελτιώσεις στην κατανόησή τους για τις θερμοδυναμικές αρχές, αν και εξακολουθούν να υπάρχουν ορισμένες λανθασμένες αντιλήψεις. Τα δεδομένα παρέχουν ένα πολύτιμο μέτρο της αποτελεσματικότητας της εκπαιδευτικής παρέμβασης και υπογραμμίζουν τομείς όπου η περαιτέρω διδασκαλία μπορεί να είναι επωφελής.

Πρώτον, οι απαντήσεις στην ερώτηση σχετικά με τον Δεύτερο Νόμο της Θερμοδυναμικής δείχνουν μια σημαντική βελτίωση στην κατανόηση. Πριν από την παρέμβαση, μόνο το 36,67% προσδιόριζε σωστά την αρχή που σχετίζεται με την εντροπία, ενώ μετά την παρέμβαση, το 76,67% απάντησε σωστά ότι «Σε οποιαδήποτε μεταφορά ενέργειας, κάποια ενέργεια καθίσταται αδύνατη να εκτελεστεί εργασία». Αυτό δείχνει μια σημαντική αύξηση στην κατανόηση αυτής της κρίσιμης έννοιας. Ωστόσο, το 6,67% εξακολουθεί να πιστεύει λανθασμένα ότι ο Δεύτερος Νόμος υπονοεί ότι «η ενέργεια δεν μπορεί να δημιουργηθεί ή να καταστραφεί», κάτι που είναι στην πραγματικότητα μια αρχή του Πρώτου Νόμου της Θερμοδυναμικής. Αυτό υποδηλώνει ότι ενώ οι περισσότεροι μαθητές έχουν κατανοήσει την ουσία του Δεύτερου Νόμου,

κάποια σύγχυση μεταξύ των νόμων παραμένει, υποδηλώνοντας την ανάγκη για σαφέστερη διαφοροποίηση στη διδασκαλία.

Όσον αφορά την έννοια του θερμοδυναμικού συστήματος, το 70% των μαθητών το προσδιόρισε σωστά ως «Το μέρος του σύμπαντος στο οποίο εστιάζουμε», μια σημαντική βελτίωση από την κατανόηση πριν από την παρέμβαση. Αυτό δείχνει ότι η παρέμβαση αποσαφήνισε αποτελεσματικά αυτή τη θεμελιώδη έννοια για την πλειοψηφία των μαθητών. Ωστόσο, το 16,67% εξακολουθεί να επέλεξε "Ένα σύνολο συνδεδεμένων αντικειμένων" και το 6,67% επέλεξε "Ένα μεμονωμένο αντικείμενο σε απομόνωση" ή "Το περιβάλλον που περιβάλλει μια διαδικασία", αντικατοπτρίζοντας κάποια υπολειπόμενη σύγχυση. Αυτό υποδηλώνει ότι ενώ η πλειονότητα έχει κατανοήσει τον σωστό ορισμό, η ενίσχυση της έννοιας με περισσότερα παραδείγματα και πρακτικές εφαρμογές θα μπορούσε να βοηθήσει στην εδραίωση αυτής της κατανόησης για όλους τους μαθητές.

Η ερώτηση σχετικά με τη σημασία της εντροπίας αποκαλύπτει μια αξιοσημείωτη βελτίωση στην κατανόηση. Μετά την παρέμβαση, το 73,33% απάντησε σωστά ότι η εντροπία υποδηλώνει το μέγεθος της διαταραχής σε ένα σύστημα, σε σύγκριση με χαμηλότερο ποσοστό πριν από την παρέμβαση. Ωστόσο, το 10% εξακολουθεί να πιστεύει λανθασμένα ότι η εντροπία μετρά τη συνολική ενέργεια σε ένα σύστημα και το 16,67% πιστεύει ότι ποσοτικοποιεί την πίεση ενός συστήματος. Αυτό δείχνει ότι ενώ η πλειοψηφία έχει κατανοήσει τη σωστή έννοια της εντροπίας, μια αξιοσημείωτη μειοψηφία εξακολουθεί να διατηρεί λανθασμένες αντιλήψεις, υποδηλώνοντας την ανάγκη για περαιτέρω έμφαση στον ξεχωριστό ρόλο και τη σημασία της εντροπίας στις θερμοδυναμικές διεργασίες.

Για τον Πρώτο Νόμο της Θερμοδυναμικής, το 60% απάντησε σωστά ότι «Η ενέργεια ενός απομονωμένου συστήματος είναι σταθερή», μια σημαντική βελτίωση. Ωστόσο, το 23,33% εξακολουθούν να επέλεξαν λανθασμένα "Η θερμότητα ρέει φυσικά από κρύα σε θερμά αντικείμενα" και το 10% επέλεξε "Κανένας κινητήρας δεν μπορεί να είναι 100% αποδοτικός", που σχετίζεται περισσότερο με τον Δεύτερο Νόμο. Αυτό δείχνει ότι ενώ οι περισσότεροι μαθητές κατανοούν τον Πρώτο Νόμο, κάποια σύγχυση σχετικά με τις διακρίσεις μεταξύ των νόμων παραμένει. Η ενίσχυση των μοναδικών πτυχών κάθε θερμοδυναμικού νόμου μέσω επαναλαμβανόμενων και ποικίλων παραδειγμάτων μπορεί να βοηθήσει στην περαιτέρω αποσαφήνιση αυτών των εννοιών.

Η ερώτηση σχετικά με τις ισοθερμικές διεργασίες δείχνει ότι το 56,67% το αναγνώρισε σωστά ως "Η θερμοκρασία παραμένει σταθερή", μια βελτίωση, αλλά εξακολουθεί να δείχνει περιθώρια ανάπτυξης. Συγκεκριμένα, το 30% επέλεξε «Η πίεση παραμένει σταθερή» και το 13,33% επέλεξε «Χωρίς μεταφορά θερμότητας», αντικατοπτρίζοντας μια παρανόηση της ειδικής φύσης των ισοθερμικών διεργασιών. Αυτό υποδηλώνει την ανάγκη για πρόσθετες διευκρινίσεις και πρακτικές επιδείξεις ισοθερμικών διεργασιών για να εδραιωθεί αυτή η κατανόηση.

Συνεχίζοντας, σχετικά με τη φάση ισοθερμικής συμπίεσης του κύκλου Carnot, το 60% των μαθητών απάντησε σωστά ότι «Το αέριο απελευθερώνει θερμότητα στο περιβάλλον». Αυτό δείχνει μια σταθερή κατανόηση αυτής της φάσης για την πλειοψηφία των μαθητών. Ωστόσο, το 16,67% πιστεύει λανθασμένα ότι η θερμοκρασία του αερίου αυξάνεται και το 20% πιστεύει ότι αυξάνεται ο όγκος, και τα δύο είναι εσφαλμένες αντιλήψεις. Αυτές οι λανθασμένες απαντήσεις υποδηλώνουν ότι ενώ η πλειοψηφία κατανοεί το βασικό χαρακτηριστικό της ισοθερμικής συμπίεσης, η ενίσχυση των εννοιών της θερμοκρασίας και των μεταβολών όγκου κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης θα μπορούσε να ωφελήσει τους υπόλοιπους μαθητές.

Στη φάση της αδιαβατικής διαστολής, το 70% των μαθητών αναγνώρισε σωστά ότι «Η θερμοκρασία του αερίου μειώνεται», αντανakλώντας μια ισχυρή αντίληψη αυτής της φάσης. Ωστόσο, το 13,33% πιστεύει εσφαλμένα ότι ο όγκος παραμένει σταθερός και το 10% πιστεύει ότι η θερμοκρασία αυξάνεται. Αυτό δείχνει ότι ενώ οι περισσότεροι μαθητές κατανοούν το ψυκτικό αποτέλεσμα της αδιαβατικής διαστολής, ένα μικρό μέρος εξακολουθεί να παρεξηγεί τη φύση των αδιαβατικών διεργασιών. Είναι απαραίτητη η συνεχής έμφαση στα χαρακτηριστικά της αδιαβατικής διεργασίας, ιδιαίτερα η έλλειψη ανταλλαγής θερμότητας και οι σχετικές αλλαγές θερμοκρασίας.

Όσον αφορά τη φάση που περιλαμβάνει μείωση της θερμοκρασίας χωρίς ανταλλαγή θερμότητας, το 80% των μαθητών προσδιόρισε σωστά την «Αδιαβατική Συμπίεση». Αυτή η ισχυρή απόκριση υποδεικνύει μια σαφή κατανόηση του ρόλου της αδιαβατικής συμπίεσης στον κύκλο Carnot. Ωστόσο, το 13,33% επέλεξε λανθασμένα την "Ισοθερμική διαστολή" και το 6,67% επέλεξε την "Αδιαβατική επέκταση", υποδηλώνοντας μια μικρή αλλά αξιοσημείωτη παρεξήγηση μεταξύ ορισμένων μαθητών. Αυτές οι λανθασμένες αντιλήψεις θα πρέπει να αντιμετωπιστούν ενισχύοντας τις διακρίσεις μεταξύ ισοθερμικών και αδιαβατικών διεργασιών.

Όταν ρωτήθηκε γιατί η φάση της ισοθερμικής διαστολής είναι κρίσιμη στον κύκλο Carnot, το 56,67% των μαθητών απάντησε σωστά ότι «Επιτρέπει στο αέριο να απορροφήσει τη μέγιστη θερμότητα». Αυτό δείχνει ότι περισσότεροι από τους μισούς μαθητές κατανοούν τη σημασία αυτής της φάσης στη μεγιστοποίηση της απορρόφησης θερμότητας. Ωστόσο, το 20% πιστεύει εσφαλμένα ότι ελαχιστοποιεί τον όγκο και το 13,33% πιστεύει ότι διασφαλίζει ότι δεν παράγεται έργο. Αυτές οι παρεξηγήσεις υποδηλώνουν ότι ενώ η πλειοψηφία κατανοεί την πτυχή της απορρόφησης θερμότητας, ορισμένοι μαθητές χρειάζονται σαφέστερες εξηγήσεις για τη σχέση μεταξύ απορρόφησης θερμότητας, εργασίας και μεταβολών όγκου κατά τη διάρκεια της ισοθερμικής διαστολής.

Αναφορικά με την πραγματική φύση του κύκλου Carnot, το 63,33% τον προσδιόρισε σωστά ως «θεωρητικό μοντέλο για τον πιο αποδοτικό κινητήρα». Αυτό δείχνει μια σταθερή κατανόηση μεταξύ των περισσότερων μαθητών της θεωρητικής βάσης του κύκλου Carnot. Ωστόσο, το 16,67% πιστεύει εσφαλμένα ότι απαιτεί μη ιδανικές συνθήκες αερίου και το 10% πιστεύει ότι μπορεί να επιτευχθεί με 100% απόδοση. Αυτές οι λανθασμένες αντιλήψεις υπογραμμίζουν την ανάγκη ενίσχυσης της ιδανικής φύσης του κύκλου Carnot και διευκρινίζουν γιατί αντιπροσωπεύει το ανώτερο όριο απόδοσης για τις θερμικές μηχανές.

Σχετικά με το πώς ο κύκλος Carnot βοηθά στην κατανόηση των περιορισμών των πραγματικών θερμικών μηχανών, το 53,33% απάντησε σωστά ότι «παρέχει ένα σημείο αναφοράς για τη μέγιστη δυνατή απόδοση». Αυτό δείχνει ότι περισσότεροι από τους μισούς μαθητές έχουν κατανοήσει τον ρόλο του κύκλου Carnot ως θεωρητικού προτύπου για τη σύγκριση πραγματικών θερμικών μηχανών. Ωστόσο, το 13,33% πιστεύει λανθασμένα ότι οι πραγματικοί κινητήρες μπορούν να υπερβούν την απόδοση του Carnot και το 26,67% πιστεύει ότι αποδεικνύει ότι όλοι οι θερμικοί κινητήρες έχουν την ίδια απόδοση. Επιπλέον, το 6,67% πιστεύει λανθασμένα ότι η θερμοκρασία δεν επηρεάζει την απόδοση. Αυτές οι λανθασμένες αντιλήψεις υποδηλώνουν την ανάγκη για περαιτέρω διευκρίνιση σχετικά με τη θεωρητική φύση του κύκλου Carnot και τους περιορισμούς του σε πρακτικές εφαρμογές. Η ενίσχυση της ιδέας ότι κανένας πραγματικός κινητήρας δεν μπορεί να ξεπεράσει την απόδοση ενός κινητήρα Carnot και η έμφαση στην επίδραση των διαφορών θερμοκρασίας στην απόδοση του κινητήρα θα μπορούσε να βοηθήσει στην αντιμετώπιση αυτών των παρεξηγήσεων.

Όσον αφορά τη σημασία των κινητήρων Carnot στη θεωρητική θερμοδυναμική, το 73,33% των μαθητών προσδιόρισε σωστά ότι «αντιπροσωπεύουν την υψηλότερη δυνατή απόδοση». Αυτό δείχνει μια ισχυρή κατανόηση της σημασίας του κινητήρα Carnot ως εξιδανικευμένου μοντέλου. Ωστόσο, το 13,33% το καθένα επέλεξε λανθασμένες απαντήσεις, όπως «λειτουργούν χωρίς καμία απώλεια θερμότητας» και «δεν απαιτούν εισροή ενέργειας», υποδηλώνοντας κάποια σύγχυση που παραμένει. Η αποσαφήνιση των εξιδανικευμένων υποθέσεων των κινητήρων Carnot, όπως οι αναστρέψιμες διεργασίες και η απουσία τριβής και απώλειας θερμότητας, θα μπορούσε να βοηθήσει στη σταθεροποίηση της κατανόησης των μαθητών.

Όταν ρωτήθηκε για την πρακτική εφαρμογή των αρχών που διδάχθηκαν από τον κύκλο Carnot, το 83,33% προσδιόρισε σωστά τη «βελτίωση των συστημάτων ψύξης», υποδεικνύοντας μια σαφή κατανόηση μιας από τις κύριες εφαρμογές των αρχών Carnot. Τα μικρά ποσοστά που επιλέγουν λανθασμένες επιλογές, όπως ο σχεδιασμός ηλεκτρικών κυκλωμάτων (3,33%), η ανάπτυξη χημικών αντιδράσεων (6,67%) και η ανάλυση ρευστοδυναμικής (6,67%), υποδηλώνουν ότι η πλειοψηφία των μαθητών έχει συνδέσει με επιτυχία τις θεωρητικές αρχές με τις πρακτικές εφαρμογές. αν και η ενίσχυση της ειδικής συνάφειας με τους ψυκτικούς και θερμικούς κινητήρες μπορεί να είναι ακόμα ευεργετική.

Όσον αφορά το πώς η κατανόηση του κύκλου Carnot μπορεί να βελτιώσει τη σύγχρονη μηχανική, το 63,33% απάντησε σωστά «θέτοντας ρεαλιστικούς στόχους απόδοσης για κινητήρες», αντικατοπτρίζοντας μια σταθερή αντίληψη των πρακτικών επιπτώσεων του κύκλου Carnot. Ωστόσο, το 16,67% το καθένα επέλεξε λανθασμένες επιλογές όπως η «μείωση της ανάγκης για μόνωση» και η «αύξηση της ταχύτητας των μηχανικών διεργασιών», ενώ το 3,33% πίστευε ότι θα μπορούσε «να εξαλείψει πλήρως τις απώλειες ενέργειας». Αυτές οι λανθασμένες αντιλήψεις υποδεικνύουν την ανάγκη για περαιτέρω έμφαση σε ρεαλιστικές εφαρμογές μηχανικής του κύκλου Carnot, ιδιαίτερα πώς καθοδηγεί το σχεδιασμό και τη βελτίωση των κινητήρων θέτοντας επιτεύξιμα σημεία αναφοράς απόδοσης αντί να εξαλείψετε όλες τις απώλειες ή να τροποποιήσετε δραστικά τις φυσικές διαδικασίες.

Αναφορικά με τον κρίσιμο παράγοντα για τη μεγιστοποίηση της απόδοσης μιας θερμικής μηχανής σύμφωνα με τον κύκλο Carnot, το 70% των μαθητών εντόπισε σωστά «τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της πηγής θερμότητας και της ψυχρής

δεξαμενής». Αυτή η ισχυρή πλειοψηφία υποδηλώνει μια σαφή κατανόηση αυτής της βασικής αρχής. Ωστόσο, το 10% επέλεξε λανθασμένα "το υλικό των εξαρτημάτων του κινητήρα", το 16,67% επέλεξε "την ταχύτητα του κύκλου" και το 3,33% επέλεξε "το μέγεθος του κινητήρα". Αυτές οι απαντήσεις υποδηλώνουν κάποια παρατεταμένη σύγχυση σχετικά με τους παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση του κινητήρα. Η ενίσχυση της σημασίας της βαθμίδας θερμοκρασίας και η αποσαφήνιση της σχετικής ασήμαντης σημασίας άλλων παραγόντων στο πλαίσιο του κύκλου Carnot θα μπορούσε να βοηθήσει στην αντιμετώπιση αυτών των λανθασμένων αντιλήψεων.

Επιπροσθέτως, όσον αφορά το ενδιαφέρον να μάθουν περισσότερα για τη θερμοδυναμική και τις σχετικές έννοιες, το 36,67% των μαθητών εξέφρασε έντονο ενδιαφέρον ("Πολύ πολύ"), μια σημαντική αύξηση σε σύγκριση με τα επίπεδα πριν από την παρέμβαση. Αυτό υποδηλώνει ότι το μάθημα προκάλεσε επιτυχώς μεγαλύτερο ενδιαφέρον για τη θερμοδυναμική σε ένα σημαντικό μέρος των μαθητών. Ωστόσο, το 40% παρέμεινε ουδέτερο και το 6,67% δεν ενδιαφέρθηκε. Ενώ η αύξηση του υψηλού ενδιαφέροντος είναι θετική, η σημαντική ουδετερότητα και η ελαφρά αδιαφορία υποδηλώνουν ότι μπορεί να χρειαστούν πρόσθετες στρατηγικές δέσμευσης για να κεντρίσουν περαιτέρω την περιέργεια όλων των μαθητών. Αυτό θα μπορούσε να περιλαμβάνει πιο διαδραστικές και πρακτικές εμπειρίες μάθησης, την επίδειξη εφαρμογών της θερμοδυναμικής στον πραγματικό κόσμο και την επισήμανση της συνάφειάς της σε διάφορους τομείς.

Αναφορικά με την εμπιστοσύνη στην κατανόηση και την εφαρμογή των θερμοδυναμικών αρχών, μόνο το 3,33% των μαθητών αισθάνθηκε «Πολύ σίγουρος», ενώ το 36,67% ένιωσε «Κάπως σίγουρο». Αν και υπάρχει βελτίωση στη συνολική αυτοπεποίθηση, με την πλειονότητα να αισθάνεται κάπως σιγουριά, το χαμηλό ποσοστό των μαθητών που αισθάνονται πολύ σίγουροι και η παρουσία του 13,33% που είναι «καθόλου βέβαιοι» υποδηλώνουν ότι απαιτείται περισσότερη υποστήριξη για την οικοδόμηση ισχυρότερης αυτο-αποτελεσματικότητας. Αυτό θα μπορούσε να περιλαμβάνει πρόσθετες ευκαιρίες εξάσκησης, εξατομικευμένη ανατροφοδότηση και πιο διεξοδική αντιμετώπιση μεμονωμένων παρανοήσεων.

Η ενασχόληση με επιστημονικά θέματα έξω από την τάξη δείχνει θετική τάση, με το 26,67% των μαθητών να ασχολούνται πλέον με το «Συχνά» και το 30% «Περιστασιακά». Αυτή είναι μια αξιοσημείωτη αύξηση σε σχέση με τα προ της

παρέμβασης επίπεδα, υποδεικνύοντας ότι το μάθημα έχει επηρεάσει θετικά την ενασχόληση των φοιτητών με επιστημονικά θέματα. Ωστόσο, το 23,33% εξακολουθεί να «Ποτέ» ασχολείται, υποδηλώνοντας ότι περαιτέρω ενθάρρυνση και πόροι θα μπορούσαν να βοηθήσουν στην ενίσχυση ενός πιο συνεπούς ενδιαφέροντος για την επιστημονική εξερεύνηση. Η παροχή στους μαθητές προσιτού και ελκυστικού επιστημονικού περιεχομένου, καθώς και η ενσωμάτωση εξωσχολικών επιστημονικών δραστηριοτήτων, μπορεί να βοηθήσει στη διατήρηση και αύξηση αυτής της δέσμευσης.

Όσον αφορά την αντιληπτή σχέση της θερμοδυναμικής με τις εφαρμογές και τις τεχνολογίες του πραγματικού κόσμου, το 30% των μαθητών τη θεωρεί τώρα "Πολύ σχετική" και το 33,33% τη θεωρεί "Κάπως σχετική". Αυτό δείχνει μια θετική αλλαγή στην αναγνώριση της σημασίας της θερμοδυναμικής, ωστόσο το 16,67% εξακολουθεί να τη θεωρεί «άσχετη». Αυτό υποδηλώνει την ανάγκη για περαιτέρω έμφαση στην επίδειξη πρακτικών εφαρμογών και στον πραγματικό κόσμο κατά τη διάρκεια του μαθήματος. Η επισήμανση περιπτώσιολογικών μελετών, η πρόσκληση εμπειρογνομών του κλάδου και η ενσωμάτωση της μάθησης βάσει έργου που επικεντρώνεται σε προβλήματα του πραγματικού κόσμου μπορεί να συμβάλει στην ενίσχυση της συνάφειας της θερμοδυναμικής.

Τέλος, όσον αφορά την πιθανότητα να συνεχίσουν περαιτέρω σπουδές ή μια σταδιοδρομία σχετική με τη θερμοδυναμική, το 40% των μαθητών είναι «Πολύ πιθανό» να το εξετάσει, δείχνοντας σημαντικό θετικό αντίκτυπο του μαθήματος στις επαγγελματικές τους φιλοδοξίες. Ωστόσο, το 23,33% είναι «Ουδέτερο» και ένα άλλο 23,33% είναι «Δεν είναι πιθανό» να ακολουθήσει τέτοιους δρόμους. Αυτό υποδηλώνει ότι, ενώ το μάθημα έχει εμπνεύσει πολλούς φοιτητές, εξακολουθεί να υπάρχει ανάγκη για περαιτέρω απεικόνιση των ποικίλων και συναρπαστικών ευκαιριών σταδιοδρομίας σε τομείς που σχετίζονται με τη θερμοδυναμική. Η συμβουλευτική σταδιοδρομίας, τα προγράμματα καθοδήγησης και η έκθεση σε επαγγελματίες που εργάζονται σε σχετικούς κλάδους θα μπορούσαν να παρακινήσουν περαιτέρω τους μαθητές να εξετάσουν τις σταδιοδρομίες που σχετίζονται με τη θερμοδυναμική.

Τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσής έδειξαν ότι η διδακτική παρέμβαση ήταν εξαιρετικά αποτελεσματική στην ενίσχυση της γνώσης και της κατανόησης των μαθητών σχετικά με τη θερμοδυναμική και τον κύκλο Carnot. Οι μαθητές επέδειξαν

σημαντικές βελτιώσεις στην κατανόηση των θερμοδυναμικών αρχών, στη λεπτομερή γνώση των διαδικασιών του κύκλου Carnot και στην ικανότητά τους να εφαρμόζουν αυτή τη γνώση σε σενάρια πραγματικού κόσμου. Επιπλέον, η παρέμβαση επηρέασε θετικά τις αντιλήψεις και το ενδιαφέρον των μαθητών για επιστημονικούς κλάδους, καθιστώντας τους πιο ενθουσιώδεις για την εκμάθηση της επιστήμης. Αυτά τα ευρήματα υπογραμμίζουν την αξία της χρήσης διαδραστικών και δομημένων διδακτικών προσεγγίσεων για τη διευκόλυνση της βαθύτερης μάθησης και την προώθηση μιας πιο θετικής στάσης απέναντι στα επιστημονικά θέματα μεταξύ των μαθητών γυμνασίου.

Πριν από τη διδακτική παρέμβαση, οι μαθητές επέδειξαν ένα μικτό επίπεδο κατανόησης σχετικά με τις θερμοδυναμικές έννοιες. Οι απαντήσεις τους στο ερωτηματολόγιο πριν από το μάθημα αποκάλυψαν αρκετά κρίσιμα σημεία. Ένας σημαντικός αριθμός μαθητών είχε παρανοήσεις σχετικά με βασικές αρχές όπως ο Πρώτος και ο Δεύτερος Νόμος της Θερμοδυναμικής, η εντροπία και η διαφορά μεταξύ θερμότητας και εργασίας. Επιπλέον, πολλοί μαθητές ήταν ασαφείς σχετικά με τις ιδιαιτερότητες του κύκλου Carnot, συμπεριλαμβανομένων των χαρακτηριστικών των φάσεων του (ισοθερμικές και αδιαβατικές διεργασίες) και τη θεωρητική φύση της αποτελεσματικότητάς του. Ενώ οι μαθητές γενικά αναγνώρισαν τη συνάφεια της θερμοδυναμικής με τις εφαρμογές του πραγματικού κόσμου, το ενδιαφέρον και η ενασχόλησή τους με το θέμα έξω από την τάξη διέφεραν σημαντικά. Υπήρχε επίσης μια αξιοσημείωτη έλλειψη εμπιστοσύνης στην ικανότητά τους να κατανοούν και να εφαρμόζουν τις θερμοδυναμικές αρχές, με ένα σημαντικό μέρος των μαθητών να αισθάνονται ουδέτεροι ή αβέβαιοι για τις δυνατότητές τους.

Μετά την παρέμβαση, οι απαντήσεις των μαθητών κατέδειξαν αξιοσημείωτες βελτιώσεις σε διάφορες πτυχές. Υπήρξε μια αξιοσημείωτη βελτίωση στην κατανόηση βασικών θερμοδυναμικών αρχών. Για παράδειγμα, η πλειοψηφία των μαθητών προσδιόρισε σωστά τον Δεύτερο Νόμο της Θερμοδυναμικής και τον ρόλο της εντροπίας μετά την παρέμβαση. Επιπλέον, οι μαθητές έδειξαν καλύτερη κατανόηση του κύκλου Carnot, των φάσεων του και της λειτουργίας του ως θεωρητικού σημείου αναφοράς για την απόδοση του κινητήρα. Αν και μειώθηκαν οι παρανοήσεις, δεν εξαλείφθηκαν εντελώς. Η αντίληψη της συνάφειας της θερμοδυναμικής με τις

εφαρμογές του πραγματικού κόσμου βελτιώθηκε, με περισσότερους μαθητές να αναγνωρίζουν τη σημασία της σε τεχνολογίες όπως τα συστήματα ψύξης.

Το ενδιαφέρον για τη μάθηση περισσότερων για τη θερμοδυναμική αυξήθηκε σημαντικά μετά την παρέμβαση, με περισσότερους μαθητές να εκφράζουν έντονη επιθυμία να συνεχίσουν τις σπουδές τους σε αυτόν τον τομέα. Βελτιώθηκε επίσης η ενασχόληση με επιστημονικά θέματα εκτός της τάξης. Επιπλέον, υπήρξε μια αύξηση στην εμπιστοσύνη των μαθητών στην ικανότητά τους να κατανοούν και να εφαρμόζουν τις θερμοδυναμικές αρχές, αν και ένας σημαντικός αριθμός εξακολουθούσε να αισθάνεται μόνο κάπως σίγουρος ή ουδέτερος.

Η σύγκριση των απαντήσεων των μαθητών πριν και μετά τη διδακτική παρέμβαση αναδεικνύει αρκετά βασικά αποτελέσματα. Το ποσοστό των σωστών απαντήσεων αυξήθηκε σημαντικά σε διάφορες ερωτήσεις, υποδηλώνοντας βελτιωμένη κατανόηση του θέματος. Για παράδειγμα, η σωστή αναγνώριση της εντροπίας ως μέτρο διαταραχής αυξήθηκε σημαντικά. Οι εσφαλμένες αντιλήψεις σχετικά με τις θεμελιώδεις θερμοδυναμικές αρχές και τον κύκλο Carnot μειώθηκαν, αν και μερικές παρέμειναν, υποδεικνύοντας περιοχές για περαιτέρω διδακτική εστίαση. Το ενδιαφέρον των μαθητών για τη θερμοδυναμική και η αντίληψή τους για τη συνάφειά της με τις εφαρμογές του πραγματικού κόσμου βελτιώθηκε. Αυτή η θετική αλλαγή στάσης είναι κρίσιμη για τη διατήρηση της μακροπρόθεσμης ενασχόλησης με το θέμα. Μετά την παρέμβαση, οι μαθητές ήταν πιο πιθανό να ασχοληθούν με επιστημονικά θέματα εκτός της τάξης, αντανακλώντας ένα ευρύτερο ενδιαφέρον για την επιστήμη και τη θερμοδυναμική.

Συμπερασματικά, η διδακτική παρέμβαση ήταν σε μεγάλο βαθμό επιτυχής στην επίτευξη των στόχων της. Αύξησε αποτελεσματικά την κατανόηση των μαθητών για τη θερμοδυναμική και τον κύκλο Carnot, διευκρίνισε τις παρανοήσεις και ενίσχυσε το ενδιαφέρον και την εμπιστοσύνη τους για το θέμα. Οι βελτιώσεις στις απαντήσεις μετά την παρέμβαση δείχνουν ότι η παρέμβαση είχε θετικό αντίκτυπο τόσο στη γνώση όσο και στις στάσεις. Ωστόσο, ορισμένες παρανοήσεις παρέμειναν και μια μερίδα μαθητών παρέμεινε ουδέτερη ή αβέβαιη για τις ικανότητές της. Αυτά τα ευρήματα υποδηλώνουν ότι ενώ η παρέμβαση ήταν αποτελεσματική, υπάρχει περιθώριο περαιτέρω βελτίωσης. Η συνεχής έμφαση στην ενίσχυση βασικών εννοιών, η διαφοροποίηση μεταξύ θεωρητικών μοντέλων και πρακτικών εφαρμογών και η παροχή πρόσθετης

Διπλωματική εργασία

υποστήριξης και ευκαιριών δέσμευσης θα είναι επωφελής. Συνολικά, η μελέτη καταδεικνύει ότι οι στοχευμένες εκπαιδευτικές παρεμβάσεις μπορούν να ενισχύσουν σημαντικά την κατανόηση και την εκτίμηση των μαθητών περίπλοκων επιστημονικών εννοιών όπως η θερμοδυναμική.

Προτάσεις για Μελλοντικές Έρευνες

Με βάση τα ευρήματα αυτής της μελέτης, μπορούν να προταθούν αρκετές προτάσεις για μελλοντική έρευνα για την περαιτέρω ενίσχυση της κατανόησης και της διδασκαλίας της θερμοδυναμικής και του κύκλου Carnot. Ένας τρόπος για μελλοντική έρευνα είναι η διεξαγωγή διαχρονικών μελετών για την παρακολούθηση της μακροπρόθεσμης διατήρησης των θερμοδυναμικών εννοιών μεταξύ των μαθητών. Η αξιολόγηση της εμμονής της γνώσης για αρκετούς μήνες ή και χρόνια θα παρείχε πληροφορίες για τον διαρκή αντίκτυπο των διδακτικών παρεμβάσεων και την πιθανή ανάγκη για περιοδική ενίσχυση.

Επιπλέον, η μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να ωφεληθεί από τη διεξαγωγή συγκριτικών μελετών που αξιολογούν διαφορετικές μεθοδολογίες διδασκαλίας. Τέτοιες μελέτες θα μπορούσαν να συγκρίνουν παραδοσιακές διαλέξεις, διαδραστικές προσομοιώσεις και πρακτικά εργαστηριακά πειράματα για να εντοπίσουν τις πιο αποτελεσματικές προσεγγίσεις για τη διδασκαλία πολύπλοκων θερμοδυναμικών αρχών. Η σύγκριση αυτών των μεθόδων μεταξύ διαφορετικών πληθυσμών μαθητών θα παρείχε πολύτιμα δεδομένα για τις βέλτιστες πρακτικές.

Η διερεύνηση της χρήσης προηγμένων τεχνολογικών εργαλείων, όπως η εικονική πραγματικότητα (VR), η επαυξημένη πραγματικότητα (AR) και το διαδραστικό λογισμικό, στη διδασκαλία της θερμοδυναμικής θα μπορούσε επίσης να αποκαλύψει νέους τρόπους συμμετοχής των μαθητών και ενίσχυσης της κατανόησής τους. Η μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να διερευνήσει πώς αυτές οι τεχνολογίες επηρεάζουν τα μαθησιακά αποτελέσματα των μαθητών σε σύγκριση με τις συμβατικές μεθόδους διδασκαλίας.

Η αντιμετώπιση συγκεκριμένων παρανοήσεων στη θερμοδυναμική είναι ένας άλλος σημαντικός τομέας για μελλοντική έρευνα. Οι μελέτες θα πρέπει να επικεντρωθούν στον εντοπισμό και τη διόρθωση επίμονων παρεξηγήσεων, στην ανάπτυξη στοχευμένων παρεμβάσεων και στην αξιολόγηση της αποτελεσματικότητάς τους. Αυτό θα βοηθούσε στην τελειοποίηση των εκπαιδευτικών στρατηγικών για την καλύτερη υποστήριξη της μάθησης των μαθητών.

Η διερεύνηση της αποτελεσματικότητας της υποβοηθούμενης μάθησης από ομοτίμους (PAL) στη διδασκαλία της θερμοδυναμικής θα μπορούσε να προσφέρει πληροφορίες για εναλλακτικά εκπαιδευτικά μοντέλα. Η έρευνα θα μπορούσε να διερευνήσει πώς η ομαδική διδασκαλία και η συνεργατική ομαδική εργασία επηρεάζουν την κατανόηση και τη διατήρηση των θερμοδυναμικών εννοιών από τους μαθητές.

Επιπλέον, η εξέταση του τρόπου με τον οποίο το πολιτιστικό και εκπαιδευτικό υπόβαθρο των μαθητών επηρεάζει την κατανόησή τους για τη θερμοδυναμική θα μπορούσε να προσφέρει σημαντικό πλαίσιο για την προσαρμογή των εκπαιδευτικών παρεμβάσεων. Η μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να αξιολογήσει την αποτελεσματικότητα των διαφορετικών στρατηγικών διδασκαλίας σε διάφορες δημογραφικές ομάδες για να διασφαλίσει τη συμπερίληψη και την αποτελεσματικότητα.

Η διερεύνηση του αντίκτυπου της ενσωμάτωσης πιο πρακτικών, πραγματικών εφαρμογών της θερμοδυναμικής στο πρόγραμμα σπουδών θα μπορούσε επίσης να παρέχει πληροφορίες για την ενίσχυση της εμπλοκής και της κατανόησης των μαθητών. Η έρευνα θα μπορούσε να αξιολογήσει πώς οι μελέτες περιπτώσεων, οι συνεργασίες του κλάδου και οι ασκήσεις επίλυσης προβλημάτων στην πραγματική ζωή επηρεάζουν τα μαθησιακά αποτελέσματα.

Η μελλοντική έρευνα θα πρέπει επίσης να διερευνήσει τους συναισθηματικούς και παρακινητικούς παράγοντες που επηρεάζουν το ενδιαφέρον και τη συμμετοχή των μαθητών στη μάθηση της θερμοδυναμικής. Η κατανόηση αυτών των παραγόντων θα μπορούσε να βοηθήσει στο σχεδιασμό παρεμβάσεων που όχι μόνο βελτιώνουν τη γνωστική κατανόηση αλλά και ενισχύουν τον ενθουσιασμό των μαθητών για το θέμα.

Η αξιολόγηση του αντίκτυπου των εξειδικευμένων προγραμμάτων κατάρτισης εκπαιδευτικών στην ποιότητα της θερμοδυναμικής εκπαίδευσης θα μπορούσε επίσης να προσφέρει πολύτιμες γνώσεις. Η έρευνα θα μπορούσε να αξιολογήσει πώς η επαγγελματική ανάπτυξη που επικεντρώνεται σε καινοτόμες μεθόδους διδασκαλίας και το ενημερωμένο περιεχόμενο του προγράμματος σπουδών επηρεάζει τα μαθησιακά αποτελέσματα των μαθητών.

Τέλος, η ανάπτυξη και η δοκιμή κλιμακούμενων μοντέλων των επιτυχημένων διδακτικών παρεμβάσεων που χρησιμοποιούνται σε αυτή τη μελέτη θα μπορούσε να βοηθήσει στην εφαρμογή αυτών των στρατηγικών σε ένα ευρύτερο φάσμα εκπαιδευτικών πλαισίων. Η έρευνα θα μπορούσε να επικεντρωθεί στην προσαρμογή αυτών των μοντέλων για διαφορετικά μεγέθη τάξης, εκπαιδευτικά επίπεδα και διαθεσιμότητα πόρων.

Αντιμετωπίζοντας αυτούς τους τομείς, η μελλοντική έρευνα μπορεί να συμβάλει σε μια βαθύτερη και πιο ολοκληρωμένη κατανόηση της αποτελεσματικής εκπαίδευσης στη θερμοδυναμική, οδηγώντας τελικά σε βελτιωμένες διδακτικές πρακτικές και βελτιωμένα αποτελέσματα των μαθητών.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

- Abiuso, P., & Perarnau-Llobet, M. (2019). Optimal Cycles for Low-Dissipation Heat Engines. *Physical Review Letters*, *124* 11. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.124.110606>
- Abrams, E., & Middleton, M. (2016). Towards multidimensional approaches to research on rural science education. *Cultural Studies of Science Education*, *12*(1), 167–176. <https://doi.org/10.1007/s11422-016-9748-2>
- Almasri, F. (2022). Simulations to Teach Science Subjects: Connections Among Students' Engagement, Self-Confidence, Satisfaction, and Learning Styles. *Education and Information Technologies*, *27*. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-10940-w>
- Αποστολάκης Ε., Παναγοπούλου, Ε., Σάββας, Σ., Τσαγλιώτης, Ν., Μακρή, Β., Πανταζής, Γ., Πετρέα, Κ., Σωτηρίου, Σ., Τόλιας, Β., Τσαγκογέωργα, Α., & Καλκάνης, Γ. (2009). *Φυσικά Δημοτικού: Ερευνώ και Ανακαλύπτω (Τετράδιο Εργασιών)*. Αθήνα: ΟΕΔΒ.
- Astarita, G. (1989). Thermodynamics. In *Springer eBooks*. Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-0771-4>
- Bain, K., Moon, A., Mack, M. R., & Towns, M. H. (2014). A review of research on the teaching and learning of thermodynamics at the university level. *Chem. Educ. Res. Pract.*, *15*(3), 320–335. <https://doi.org/10.1039/c4rp00011k>
- Barak, M., Ashkar, T., & Dori, Y. J. (2011). Learning science via animated movies: Its effect on students' thinking and motivation. *Computers & Education*, *56*(3), 839–846. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.10.025>
- Becta . (2009). *The impact of digital technology. A review of the evidence of the impact of digital technologies on formal education, UK: Becta.*

- Bera, M. L., Julià-Farré, S., Lewenstein, M., & Bera, M. N. (2022). Quantum heat engines with Carnot efficiency at maximum power. *Physical Review Research*, 4(1).
<https://doi.org/10.1103/physrevresearch.4.013157>
- Bera, M. L., Lewenstein, M., & Bera, M. N. (2021). Attaining Carnot efficiency with quantum and nanoscale heat engines. *Npj Quantum Information*, 7(1).
<https://doi.org/10.1038/s41534-021-00366-6>
- Bertrand, Y. (2001). *Teorias contemporâneas da educação (2nd ed.)*. Lisboa, Portugal: Editora Piaget.
- Cahan, D. (2011). *The awarding of the Copley Medal and the “discovery” of the law of conservation of energy: Joule, Mayer and Helmholtz revisited*. 66(2), 125–139.
<https://doi.org/10.1098/rsnr.2011.0045>
- Charles Coulston Gillispie, & Pisano, R. (2013). The Carnot Approach and the Mechanics of Work and Power, 1803–1829. *History of Mechanism and Machine Science/History of Mechanism and Machine Science*, 87–105. https://doi.org/10.1007/978-94-017-8011-7_4
- Chen, L., Meng, Z., Ge, Y., & Wu, F. (2021). Performance Analysis and Optimization for Irreversible Combined Carnot Heat Engine Working with Ideal Quantum Gases. *Entropy*, 23(5), 536. <https://doi.org/10.3390/e23050536>
- Chin-Chung, T. (2009). Conceptions of learning versus conceptions of web-based learning: The differences revealed by college students. *Computers & Education*, 53(4), 1092–1103. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2009.05.019>
- Cho, J., Shin, H., Cho, J., Choi, B., Roh, C., Lee, B., Lee, G., Ra, H.-S., & Baik, Y.-J. (2020). Electric-thermal energy storage for large-scale renewables and a supercritical carbon dioxide power cycle. *AIP Conference Proceedings*. <https://doi.org/10.1063/5.0029014>

- Clark, D., & Jorde, D. (2003). Helping students revise disruptive experientially supported ideas about thermodynamics: Computer visualizations and tactile models. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(1), 1–23. <https://doi.org/10.1002/tea.10097>
- Dalacosta, K., Kamariotaki-Paparrigopoulou, M., Palyvos, J. A., & Spyrellis, N. (2009). Multimedia application with animated cartoons for teaching science in elementary education. *Computers & Education*, 52(4), 741–748. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2008.11.018>
- Denzler, T., & Lutz, E. (2021). Power fluctuations in a finite-time quantum Carnot engine. *Physical Review Research*, 3(3). <https://doi.org/10.1103/physrevresearch.3.1032041>
- Devolder, A., van Braak, J., & Tondeur, J. (2012). Supporting self-regulated learning in computer-based learning environments: systematic review of effects of scaffolding in the domain of science education. *Journal of Computer Assisted Learning*, 28(6), 557–573. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2011.00476.x>
- Dimopoulos, K., & Asimakopoulos, A. (2009). Science on the Web: Secondary School Students' Navigation Patterns and Preferred Pages' Characteristics. *Journal of Science Education and Technology*, 19(3), 246–265. <https://doi.org/10.1007/s10956-009-9197-8>
- Dixit, U. S., Hazarika, M., & Davim, J. P. (2016). History of Thermodynamics and Heat Transfer. *Materials Forming, Machining and Tribology*, 73–97. https://doi.org/10.1007/978-3-319-42916-8_4
- Feidt, M. (2020). Carnot Cycle and Heat Engine Fundamentals and Applications. In *MDPI eBooks*. <https://doi.org/10.3390/books978-3-03928-846-5>
- Feidt, M. (2022). The Carnot Cycle and Heat Engine Fundamentals and Applications II. *Entropy*, 24(2), 230. <https://doi.org/10.3390/e24020230>

- Feidt, M., & Costea, M. (2024). Variations on the models of Carnot irreversible thermomechanical engine. *Journal of Non-Equilibrium Thermodynamics*, 49(2), 135–145. <https://doi.org/10.1515/jnet-2023-0109>
- García-Carmona, A. (2023). Scientific Thinking and Critical Thinking in Science Education . *Science & Education*. <https://doi.org/10.1007/s11191-023-00460-5>
- Gelbart, H., Brill, G., & Yarden, A. (2008). The Impact of a Web-Based Research Simulation in Bioinformatics on Students' Understanding of Genetics. *Research in Science Education*, 39(5), 725–751. <https://doi.org/10.1007/s11165-008-9101-1>
- Guo, Y., & Wang, M. (2024). Thermodynamics of micro- and nano-scale flow and heat transfer: a mini-review. *Journal of Non-Equilibrium Thermodynamics*, 49(2), 221–235. <https://doi.org/10.1515/jnet-2023-0060>
- Hahn, B. (2021). James Watt, 1736–1819: Culture, Innovation, and Enlightenment, ed. Malcolm Dick and Caroline Archer-Parré. *The English Historical Review*, 136(582), 1340–1342. <https://doi.org/10.1093/ehr/ceab180>
- Hentschke, R. (2022). Thermodynamics. In *Undergraduate lecture notes in physics*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-93879-6>
- Hsu, Y.-S., Wu, H.-K., & Hwang, F.-K. (2007). Fostering High School Students' Conceptual Understandings About Seasons: The Design of a Technology-enhanced Learning Environment. *Research in Science Education*, 38(2), 127–147. <https://doi.org/10.1007/s11165-007-9041-1>
- Irek Ulidowski, Lanese, I., Ulrik Pagh Schultz, & Ferreira, C. (2020). Reversible Computation: Extending Horizons of Computing. In *Lecture notes in computer science*. Springer Science+Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-47361-7>
- Jonassen, D. H. (2000). *Computadores, ferramentas cognitivas: Desenvolver o pensamento crítico nas escolas (2nd ed.)*. Porto, Portugal: Porto Editora.

Καλκάνης, Γ. (2007). *Πρωτοβάθμια εκπαίδευση στις-με τις Φυσικές Επιστήμες Ι. Οι Θεωρίες*.
Αθήνα: Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Kanefsky, J., & Robey, J. (1980). Steam Engines in 18th-Century Britain: A Quantitative Assessment. *Technology and Culture*, 21(2), 161. <https://doi.org/10.2307/3103337>

Katz, P. (2011). A Case Study of the Use of Internet Photobook Technology to Enhance Early Childhood “Scientist” Identity. *Journal of Science Education and Technology*, 20(5), 525–536. <https://doi.org/10.1007/s10956-011-9301-8>

Khan, S. (2010). New Pedagogies on Teaching Science with Computer Simulations. *Journal of Science Education and Technology*, 20(3), 215–232. <https://doi.org/10.1007/s10956-010-9247-2>

Knuuttila, T., & Boon, M. (2011). How do models give us knowledge? The case of Carnot’s ideal heat engine. *European Journal for Philosophy of Science*, 1(3), 309–334. <https://doi.org/10.1007/s13194-011-0029-3>

Κόκκοτας, Π. (2002). *Διδακτική των Φυσικών Επιστημών ΙΙ. Σύγχρονες προσεγγίσεις στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών (3η έκδοση)*. Αθήνα: Γρηγόρης.

Κολιόπουλος, Δ. (2006). *Θέματα Διδακτικής Φυσικών Επιστημών. Η συγκρότηση της σχολικής γνώσης*. Αθήνα: Μεταίχμιο.

Kostic, M. M. (2020). The Second Law and Entropy Misconceptions Demystified. *Entropy*, 22(6), 648. <https://doi.org/10.3390/e22060648>

Κουλαϊδής, Β. (2001). *Διδακτική των Φυσικών Επιστημών: Αντικείμενο και αναγκαιότητα*. Στο Β. Κουλαϊδής (Επιμ.), *Διδακτική των Φυσικών Επιστημών (Τόμος Α')*. 25-50, Πάτρα: ΕΑΠ.

Kroetz, T. (2024). Revisiting and comparing the Carnot Cycle and the Otto Cycle. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 46, e20230318. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2023-0318>

Kubasko, D., Jones, M. G., Tretter, T. R., & André, T. (2008). Is it Live or is it Memorex?

Students' Synchronous and Asynchronous Communication with Scientists.

International Journal of Science Education.

<https://doi.org/10.1080/09500690701217220>

Laranjeiras, C. C., & Portela, S. I. C. (2016). *The Carnot cycle and the teaching of*

thermodynamics: a historical approach. [https://doi.org/10.1088/0031-](https://doi.org/10.1088/0031-9120/51/5/055013)

[9120/51/5/055013](https://doi.org/10.1088/0031-9120/51/5/055013)

Lee, S. W., Tsai, C., Wu, Y., Tsai, M., Liu, T., Hwang, F., Lai, C., Liang, J., Wu, H., & Chang,

C. (2011). Internet-based Science Learning: A review of journal publications.

International Journal of Science Education, 33(14), 1893–1925.

<https://doi.org/10.1080/09500693.2010.536998>

Lindgren, R., & Schwartz, D. L. (2009). Spatial Learning and Computer Simulations in

Science. *International Journal of Science Education*, 31(3), 419–438.

<https://doi.org/10.1080/09500690802595813>

Looi, C.-K. ., Zhang, B., Chen, W., Seow, P., Chia, G., Norris, C., & Soloway, E. (2010). 1:1

mobile inquiry learning experience for primary science students: a study of learning

effectiveness. *Journal of Computer Assisted Learning*, 27(3), 269–287.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2010.00390.x>

Lowe, D., Newcombe, P., & Stumpers, B. (2012). Evaluation of the Use of Remote

Laboratories for Secondary School Science Education. *Research in Science Education*,

43(3), 1197–1219. <https://doi.org/10.1007/s11165-012-9304-3>

Madakavil, A., & Kim, I. (2017). Heat Engines running upon a Non-Ideal Fluid Model with

Higher Efficiencies than upon the Ideal Gas Model. *International Journal of*

Thermodynamics (IJOT), 8, 20. <https://doi.org/10.5541/ijot.PID>

Mayer, R. E. (2009). *Teoria cognitiva da aprendizagem multimédia. In Ensino online e aprendizagem multimédia. Lisboa, Portugal: Relógio D'Água Editores.*

Mayer-Smith, J., Pedretti, E., & Woodrow, J. (2000). Closing of the gender gap in technology enriched science education: a case study. *Computers & Education, 35*(1), 51–63.
[https://doi.org/10.1016/s0360-1315\(00\)00018-x](https://doi.org/10.1016/s0360-1315(00)00018-x)

McCrorry Wallace, R., Kupperman, J., Krajcik, J., & Soloway, E. (2000). Science on the Web: Students Online in a Sixth-Grade Classroom. *Journal of the Learning Sciences, 9*(1), 75–104. https://doi.org/10.1207/s15327809jls0901_5

Mearns, E. (2018, February 15). *Global Energy Forecast to 2100*. Energy Matters.
<https://euanmearns.com/global-energy-forecast-to-2100/>

Mendoza, E. (2019). Sadi Carnot | French Engineer and Physicist | Britannica. In *Encyclopædia Britannica*. <https://www.britannica.com/biography/Sadi-Carnot-French-scientist>

Mercer, N. Hennessy, S. & Warwick, P. (2010). *Using interactive whiteboards to orchestrate classroom dialogue. Technology, Pedagogy and Education, 19*(2), 195-209.

Mohit Lal Bera, Pandit, T., Chatterjee, K., Singh, V., Maciej Lewenstein, Bhattacharya, U., & Manabendra Nath Bera. (2024). Steady-state quantum thermodynamics with synthetic negative temperatures. *Physical Review Research, 6*(1).
<https://doi.org/10.1103/physrevresearch.6.013318>

Nelson, B. C. (2006). Exploring the Use of Individualized, Reflective Guidance In an Educational Multi-User Virtual Environment. *Journal of Science Education and Technology, 16*(1), 83–97. <https://doi.org/10.1007/s10956-006-9039-x>

Oladimeji, E. O., Idundun, V. T., Umeh, E. C., Ibrahim, T. T., Ikot, A. N., Koffa, J. D., & Audu, J. O. (2024). The Performance Analysis of a Quantum Mechanical Carnot-Like Engine Using Diatomic Molecules. *Journal of Low Temperature Physics*.
<https://doi.org/10.1007/s10909-024-03114-0>

Ortiz-Revilla, J., Greca, I. M., & Arriasecq, I. (2021). A Theoretical Framework for Integrated STEM Education. *Science & Education*, 31(2), 383–404. <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00242-x>

Partanen, L. (2016). Student oriented approaches in the teaching of thermodynamics at universities – developing an effective course structure. *Chemistry Education Research and Practice*, 17(4), 766–787. <https://doi.org/10.1039/c6rp00049e>

Πλακίτση, Κ. (Επιμ.) . (2012). *Κοινωνιογνωστικές και κοινωνικοπολιτισμικές προσεγγίσεις στη διδακτική των φυσικών επιστημών στην προσχολική και πρώτη σχολική ηλικία. Αθήνα: Πατάκης.*

Riffert, F., Hagenauer, G., Kriegseisen, J., & Strahl, A. (2020). On the Impact of Learning Cycle Teaching on Austrian High School Students' Emotions, Academic Self-Concept, Engagement, and Achievement. *Research in Science Education*. <https://doi.org/10.1007/s11165-020-09918-w>

Saggion, A., Faraldo, R., & Pierno, M. (2019). Thermodynamics. In *UNITEXT for physics*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-26976-0>

Scalise, K., Timms, M., Moorjani, A., Clark, L., Holtermann, K., & Irvin, P. S. (2011). Student learning in science simulations: Design features that promote learning gains. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(9), 1050–1078. <https://doi.org/10.1002/tea.20437>

Selçuk Çakmak, & Ferdi Altintas. (2021). Different constructions and optimization of the irreversible quantum Carnot cycle. *the European Physical Journal Plus*, 136(4). <https://doi.org/10.1140/epjp/s13360-021-01371-6>

She, H.-C., Cheng, M.-T., Li, T.-W., Wang, C.-Y., Chiu, H.-T., Lee, P.-Z., Chou, W.-C., & Chuang, M.-H. (2012). Web-based undergraduate chemistry problem-solving: The interplay of task performance, domain knowledge and web-searching strategies.

Computers & Education, 59(2), 750–761.

<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.02.005>

Shell, M. S. (2015). *Thermodynamics and Statistical Mechanics: An Integrated Approach*. In Cambridge University Press. Cambridge University Press.

<https://www.cambridge.org/core/books/thermodynamics-and-statistical-mechanics/EE5EC87445A48C5DEF590BE106403FE9>

Smith, T. I., Christensen, W. M., Mountcastle, D. B., & Thompson, J. R. (2015). Identifying student difficulties with entropy, heat engines, and the Carnot cycle. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 11(2).

<https://doi.org/10.1103/physrevstper.11.020116>

Squire, K. D., & Jan, M. (2007). Mad City Mystery: Developing Scientific Argumentation Skills with a Place-based Augmented Reality Game on Handheld Computers. *Journal of Science Education and Technology*, 16(1), 5–29. <https://doi.org/10.1007/s10956-006-9037-z>

Srinivasan, J. (2001). Sadi Carnot and the second law of thermodynamics. *Resonance*, 6(11), 42–48. <https://doi.org/10.1007/bf02868243>

Starbek, P., Starčič Erjavec, M., & Peklaj, C. (2010). Teaching genetics with multimedia results in better acquisition of knowledge and improvement in comprehension. *Journal of Computer Assisted Learning*, 26(3), 214–224. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2009.00344.x>

Storni, M. (2021). Denis Papin's digester and its eighteenth-century European circulation. *The British Journal for the History of Science*, 54(4), 443–463. <https://doi.org/10.1017/s0007087421000698>

Struchtrup, H. (2020). Entropy and the Second Law of Thermodynamics—The Nonequilibrium Perspective. *Entropy*, 22(7), 793. <https://doi.org/10.3390/e22070793>

- Tesfaye, F., & Poeje, C. O. (2021). Thermodynamic Considerations for Improved Renewable Energy Production. *JOM*, 73(5), 1484–1486. <https://doi.org/10.1007/s11837-021-04634-w>
- Tolentino, L., Birchfield, D., Megowan-Romanowicz, C., Johnson-Glenberg, M. C., Kelliher, A., & Martinez, C. (2009). Teaching and Learning in the Mixed-Reality Science Classroom. *Journal of Science Education and Technology*, 18(6), 501–517. <https://doi.org/10.1007/s10956-009-9166-2>
- Underwood, J. (2010). *Understanding the Impact of Technology: Learner and School level factors*. Coventry: Becta.
- Veermans, K., Joolingen, W. van, & de Jong, T. (2006). Use of Heuristics to Facilitate Scientific Discovery Learning in a Simulation Learning Environment in a Physics Domain. *International Journal of Science Education*, 28(4), 341–361. <https://doi.org/10.1080/09500690500277615>
- Yu, Z., & Ouderji, Z. H. (2023). A unified approach for the thermodynamic comparison of heat pump cycles. *Communications Engineering*, 2(1), 1–16. <https://doi.org/10.1038/s44172-023-00112-0>
- Zhao, D., Sun, S., & Alavi, H. (2022). *Simulation and optimization of a Carnot battery process including a heat pump/organic Rankine cycle with considering the role of the regenerator*. 17, 870–878. <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctac057>
- Zheng, R. Z., Yang, W., Garcia, D., & McCadden, E. P. (2008). Effects of multimedia and schema induced analogical reasoning on science learning. *Journal of Computer Assisted Learning*, 24(6), 474–482. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2008.00282.x>

Παράρτημα

PRE-LESSON QUESTIONNAIRE

Διάσταση 1: Κατανόηση των Θερμοδυναμικών Αρχών (TP)

1. Ποιο από τα παρακάτω περιγράφει καλύτερα τον Πρώτο Νόμο της Θερμοδυναμικής;

- A) Η ενέργεια δεν μπορεί να δημιουργηθεί ή να καταστραφεί.
- B) Η εντροπία ενός απομονωμένου συστήματος πάντα αυξάνεται.
- Γ) Η θερμότητα ρέει αυθόρμητα από θερμά προς κρύα αντικείμενα.
- Δ) Η πίεση ενός αερίου είναι αντιστρόφως ανάλογη του όγκου του.

2. Η εντροπία είναι ένα μέτρο της:

- A) Ποσότητας ενέργειας σε ένα σύστημα.
- B) Θερμοκρασίας ενός συστήματος.
- Γ) Διαταραχής ή τυχαιότητας σε ένα σύστημα.
- Δ) Πίεσης μέσα σε ένα σύστημα.

3. Ποια είναι η κύρια διαφορά μεταξύ θερμότητας και έργου στη θερμοδυναμική;

- A) Η θερμότητα είναι η μεταφορά θερμικής ενέργειας, ενώ το έργο μηχανικής ενέργειας.
- B) Η θερμότητα μπορεί να μεταφερθεί μόνο με αγωγιμότητα, ενώ το έργο μπορεί να μεταφερθεί με συναγωγή.
- Γ) Η θερμότητα σχετίζεται με αλλαγές θερμοκρασίας, ενώ το έργο με αλλαγές όγκου.
- Δ) Η θερμότητα ρέει αυθόρμητα, ενώ το έργο απαιτεί εξωτερική δύναμη.

4. Ο δεύτερος νόμος της θερμοδυναμικής λέει ότι:

- A) Η ενέργεια δεν μπορεί να δημιουργηθεί ή να καταστραφεί.
- B) Η συνολική εντροπία ενός απομονωμένου συστήματος δεν μπορεί ποτέ να μειωθεί.
- Γ) Η συνολική ενέργεια ενός συστήματος παραμένει σταθερή.
- Δ) Η πίεση είναι ευθέως ανάλογη της θερμοκρασίας.

5. Ποιο από τα παρακάτω είναι παράδειγμα αδιαβατικής διεργασίας;

- A) Θέρμανση αερίου σε κλειστό δοχείο.
- B) Διαστολή αερίου στο κενό.
- Γ) Ταχεία συμπίεση ενός αερίου ώστε να μην ανταλλάσσεται θερμότητα.
- Δ) Αφήστε ένα αέριο να κρυώσει αργά σε ανοιχτό δοχείο.

Διάσταση 2: Γνώση της διαδικασίας του κύκλου Carnot (CCP)

6. Κατά τη φάση της ισοθερμικής διαστολής του κύκλου Carnot:

- A) Η θερμοκρασία του αερίου αυξάνεται.
- B) Ο όγκος του αερίου μειώνεται.
- Γ) Το αέριο απορροφά θερμότητα από το περιβάλλον.
- Δ) Το αέριο λειτουργεί χωρίς εναλλαγή θερμότητας.



7. Στον κύκλο Carnot, κατά τη διάρκεια ποιας φάσης το σύστημα λειτουργεί στο περιβάλλον χωρίς μεταβολή της θερμοκρασίας;

- A) Ισόθερμη διαστολή.
- B) Αδιαβατική διαστολή.
- Γ) Ισόθερμη συμπίεση.
- Δ) Αδιαβατική συμπίεση.

8. Ποια φάση του κύκλου Carnot συνεπάγεται μείωση του όγκου διατηρώντας σταθερή τη θερμοκρασία;

- A) Ισόθερμη διαστολή.
- B) Αδιαβατική διαστολή.
- Γ) Ισόθερμη συμπίεση.
- Δ) Αδιαβατική συμπίεση.

9. Πώς η φάση της αδιαβατικής συμπίεσης επηρεάζει τη θερμοκρασία της ουσίας εργασίας;

- A) Η θερμοκρασία μειώνεται.
- B) Η θερμοκρασία παραμένει σταθερή.
- Γ) Η θερμοκρασία αυξάνεται.
- Δ) Η θερμοκρασία παρουσιάζει διακυμάνσεις.

10. Ο κύκλος Carnot θεωρείται ιδανικός γιατί προϋποθέτει:

- A) Τέλεια μεταφορά θερμότητας χωρίς απώλειες.
- B) Άπειρη ταχύτητα σταδίων διεργασίας.
- Γ) Μηδενική τριβή και τέλεια μόνωση.
- Δ) Σταθερή πίεση σε όλο τον κύκλο.

Διάσταση 3: Εφαρμογή του κύκλου Carnot στον πραγματικό κόσμο (CCRW)

11. Ποια πρόταση περιγράφει καλύτερα την απόδοση ενός κινητήρα Carnot σε σύγκριση με πραγματικούς κινητήρες;

- A) Οι κινητήρες Carnot είναι λιγότερο αποδοτικοί από τους πραγματικούς κινητήρες.
- B) Οι κινητήρες Carnot είναι θεωρητικά οι πιο αποδοτικοί δυνατοί.
- Γ) Οι πραγματικοί κινητήρες μπορούν να ξεπεράσουν την απόδοση των κινητήρων Carnot.
- Δ) Οι κινητήρες Carnot δεν ακολουθούν τους νόμους της θερμοδυναμικής.

12. Σε ποιο είδος τεχνολογίας είναι πιο σχετικός ο κύκλος Carnot;

- A) Ηλεκτρικά κυκλώματα.
- B) Μηχανές εσωτερικής καύσης.
- Γ) Θερμομηχανές και ψυγεία.
- Δ) Ηλιακά πάνελ.

13. Πώς η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της πηγής θερμότητας και της ψυχρής δεξαμενής επηρεάζει την απόδοση του Carnot;

- A) Οι μεγαλύτερες διαφορές θερμοκρασίας μειώνουν την απόδοση.
- B) Οι μεγαλύτερες διαφορές θερμοκρασίας δεν έχουν αποτέλεσμα.
- Γ) Οι μεγαλύτερες διαφορές θερμοκρασίας αυξάνουν την απόδοση.
- Δ) Η απόδοση είναι ανεξάρτητη από τη διαφορά θερμοκρασίας.

14. Γιατί ο κύκλος Carnot δεν είναι πλήρως υλοποιήσιμος σε πρακτικές εφαρμογές;

- A) Απαιτεί άπειρο χρόνο για να ολοκληρωθεί κάθε κύκλος.
- B) Παραβιάζει τον Δεύτερο Θερμοδυναμικό Νόμο.
- Γ) Απαιτεί τέλεια μόνωση και χωρίς τριβές.
- Δ) Μπορεί να λειτουργήσει μόνο σε απόλυτο μηδέν θερμοκρασία.

15. Μια πραγματική θερμική μηχανή λειτουργεί μεταξύ 500 K και 300 K. Ποια είναι η θεωρητική μέγιστη απόδοση;

- A) 20%
- B) 40%
- Γ) 50%
- Δ) 60%

Διάσταση 4: Αντίληψη και το ενδιαφέρον των μαθητών για τους επιστημονικούς κλάδους (AESS)

16. Πόσο ενδιαφέρεστε να μάθετε για τη θερμοδυναμική και τις σχετικές έννοιες;

- A) Πολύ
- B) Κάπως
- Γ) Ουδέτερο.
- Δ) Δεν ενδιαφέρομαι.

17. Πόσο σίγουροι είστε για την ικανότητά σας να κατανοείτε και να εφαρμόζετε τις θερμοδυναμικές αρχές;

- A) Πολύ σίγουρος.
- B) Κάπως σίγουρος.
- Γ) Ουδέτερο.
- Δ) Καθόλου σίγουρος

18. Πόσο συχνά ασχολείστε με επιστημονικά θέματα εκτός της τάξης (π.χ. ανάγνωση άρθρων, παρακολούθηση ντοκιμαντέρ);

- A) Συχνά.
- B) Περιστασιακά.
- Γ) Σπάνια.
- Δ) Ποτέ.

19. Πόσο σχετική πιστεύετε ότι είναι η θερμοδυναμική με τις εφαρμογές και τις τεχνολογίες του πραγματικού κόσμου;

- A) Πολύ σχετική.
- B) Κάπως σχετική.
- Γ) Ουδέτερο.
- Δ) Άσχετη.

20. Πόσο πιθανό είναι να ακολουθήσετε περαιτέρω σπουδές ή καριέρα σε έναν τομέα που σχετίζεται με τη θερμοδυναμική;

- A) Πολύ πιθανό.
- B) Κάπως πιθανό.
- Γ) Ουδέτερο.
- Δ) Δεν είναι πιθανό.

Post-Lesson Questionnaire

Διάσταση 1: Κατανόηση των Θερμοδυναμικών Αρχών (TP)

1. Ο δεύτερος νόμος της θερμοδυναμικής υπονοεί ότι:

- A) Η ενέργεια δεν μπορεί να δημιουργηθεί ή να καταστραφεί.
- B) Σε οποιαδήποτε μεταφορά ενέργειας, κάποια ενέργεια καθίσταται αδύνατη για να εκτελέσει έργο.
- Γ) Η συνολική ενέργεια ενός απομονωμένου συστήματος παραμένει σταθερή.
- Δ) Όλες οι διεργασίες είναι αναστρέψιμες.

2. Στη θερμοδυναμική, ο όρος «σύστημα» αναφέρεται σε:

- A) Ένα σύνολο συνδεδεμένων αντικειμένων.
- B) Το μέρος του σύμπαντος στο οποίο εστιάζουμε.
- Γ) Ένα μεμονωμένο αντικείμενο σε απομόνωση.
- Δ) Το περιβάλλον γύρω από μια διαδικασία.

3. Η εντροπία είναι σημαντική στη θερμοδυναμική επειδή:

- A) Μετρά τη συνολική ενέργεια σε ένα σύστημα.
- B) Δηλώνει το μέγεθος της διαταραχής σε ένα σύστημα.
- Γ) Ποσοτικοποιεί την πίεση ενός συστήματος.
- Δ) Περιγράφει τη δουλειά που κάνει ένα σύστημα.

4. Ποια πρόταση αντικατοπτρίζει με ακρίβεια τον Πρώτο Νόμο της Θερμοδυναμικής;

- A) Η εντροπία του σύμπαντος είναι πάντα αυξανόμενη.
- B) Η ενέργεια ενός απομονωμένου συστήματος είναι σταθερή.
- Γ) Η θερμότητα ρέει φυσικά από ψυχρά προς θερμά αντικείμενα.
- Δ) Κανένας κινητήρας δεν μπορεί να είναι 100% αποδοτικός.

5. Ισόθερμη διεργασία στη θερμοδυναμική σημαίνει:

- A) Η θερμοκρασία παραμένει σταθερή.
- B) Ο όγκος παραμένει σταθερός.
- Γ) Η πίεση παραμένει σταθερή.
- Δ) Δεν μεταφέρεται θερμότητα.

Διάσταση 2: Γνώση της διαδικασίας του κύκλου Carnot (CCP)

6. Τι συμβαίνει κατά τη φάση της ισόθερμης συμπίεσης του κύκλου Carnot;

- A) Η θερμοκρασία του αερίου αυξάνεται.
- B) Ο όγκος του αερίου αυξάνεται.
- Γ) Το αέριο απελευθερώνει θερμότητα στο περιβάλλον.
- Δ) Το αέριο λειτουργεί χωρίς εναλλαγή θερμότητας.

7. Κατά τη φάση της αδιαβατικής διαστολής του κύκλου Carnot:

- A) Η θερμοκρασία του αερίου αυξάνεται.
- B) Ο όγκος του αερίου παραμένει σταθερός.

- Γ) Το αέριο απορροφά θερμότητα.
- Δ) Η θερμοκρασία του αερίου μειώνεται.

8. Στον κύκλο Carnot, ποια φάση περιλαμβάνει μείωση της θερμοκρασίας χωρίς ανταλλαγή θερμότητας;

- A) Ισόθερμη διαστολή.
- B) Αδιαβατική διαστολή.
- Γ) Ισόθερμη συμπίεση.
- Δ) Αδιαβατική συμπίεση.

9. Γιατί η φάση της ισόθερμης διαστολής είναι κρίσιμη στον κύκλο Carnot;

- A) Μεγιστοποιεί την πίεση.
- B) Επιτρέπει στο αέριο να απορροφήσει τη μέγιστη θερμότητα.
- Γ) Ελαχιστοποιεί τον όγκο.
- Δ) Εξασφαλίζει ότι δεν παράγεται έργο.

10. Ποια από τις παρακάτω προτάσεις ισχύει για τον κύκλο Carnot;

- A) Μπορεί να επιτευχθεί με 100% αποτελεσματικότητα.
- B) Είναι ένα θεωρητικό μοντέλο για τον πιο αποδοτικό κινητήρα.
- Γ) Απαιτεί μη ιδανικές συνθήκες αερίου.
- Δ) Περιλαμβάνει τέσσερα στάδια προσθήκης και απόρριψης θερμότητας.

Διάσταση 3: Εφαρμογή του κύκλου Carnot στον πραγματικό κόσμο (CCRW)

11. Πώς βοηθά ο κύκλος Carnot στην κατανόηση των περιορισμών των πραγματικών θερμικών μηχανών;

- A) Δείχνει ότι οι πραγματικοί κινητήρες μπορεί να υπερβούν την απόδοση Carnot.
- B) Παρέχει ένα σημείο αναφοράς για τη μέγιστη δυνατή απόδοση.
- Γ) Αποδεικνύει ότι όλες οι θερμικές μηχανές έχουν την ίδια απόδοση.
- Δ) Δείχνει ότι η θερμοκρασία δεν επηρεάζει την απόδοση.

12. Γιατί οι κινητήρες Carnot θεωρούνται σημαντικοί στη θεωρητική θερμοδυναμική;

- A) Αντιπροσωπεύουν την υψηλότερη δυνατή απόδοση.
- B) Χρησιμοποιούνται συνήθως σε πρακτικές εφαρμογές.
- Γ) Λειτουργούν χωρίς καμία απώλεια θερμότητας.
- Δ) Δεν απαιτούν εισροή ενέργειας.

13. Ποια είναι η πρακτική εφαρμογή των αρχών που διδάχθηκαν από τον κύκλο Carnot;

- A) Σχεδιασμός ηλεκτρικών κυκλωμάτων.
- B) Βελτίωση συστημάτων ψύξης.
- Γ) Ανάπτυξη χημικών αντιδράσεων.
- Δ) Ανάλυση δυναμικής ρευστών.

14. Πώς μπορεί η κατανόηση του κύκλου Carnot να βελτιώσει τη σύγχρονη μηχανική;

- A) Με την πλήρη εξάλειψη των απωλειών ενέργειας.
- B) Θέτοντας ρεαλιστικούς στόχους απόδοσης για τους κινητήρες.
- Γ) Με τη μείωση της ανάγκης για μόνωση.
- Δ) Με αύξηση της ταχύτητας των μηχανικών διεργασιών.

15. Ποιος παράγοντας είναι κρίσιμος για τη μεγιστοποίηση της απόδοσης μιας θερμικής μηχανής σύμφωνα με τον κύκλο Carnot;

- A) Το υλικό των εξαρτημάτων του κινητήρα.
- B) Η ταχύτητα του κύκλου.
- Γ) Η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της πηγής θερμότητας και της ψυχρής δεξαμενής.
- Δ) Το μέγεθος του κινητήρα.

Διάσταση 4: Αντίληψη και το ενδιαφέρον των μαθητών για τους επιστημονικούς κλάδους (AESS)

16. Μετά το μάθημα, πόσο ενδιαφέρεστε να μάθετε περισσότερα για τη θερμοδυναμική και τις σχετικές έννοιες;

- A) Πολύ
- B) Κάπως
- Γ) Ουδέτερο.
- Δ) Δεν ενδιαφέρομαι



17. Πόσο σίγουροι νιώθετε τώρα για την ικανότητά σας να κατανοείτε και να εφαρμόζετε τις θερμοδυναμικές αρχές;

- A) Πολύ σίγουρος.
- B) Κάπως σίγουρος.
- Γ) Ουδέτερο.
- Δ) Καθόλου σίγουρος

18. Πόσο συχνά ασχολείστε τώρα με επιστημονικά θέματα εκτός της τάξης (π.χ. ανάγνωση άρθρων, παρακολούθηση ντοκιμαντέρ);

- A) Συχνά.
- B) Περιστασιακά.
- Γ) Σπάνια.
- Δ) Ποτέ.

19. Πόσο σχετική πιστεύετε ότι είναι η θερμοδυναμική με τις εφαρμογές και τις τεχνολογίες του πραγματικού κόσμου μετά το μάθημα;

- A) Πολύ σχετική.
- B) Κάπως σχετική.
- Γ) Ουδέτερο.
- Δ) Άσχετη.

20. Πόσο πιθανό είναι να συνεχίσετε περαιτέρω σπουδές ή καριέρα σε έναν τομέα που σχετίζεται με τη θερμοδυναμική μετά από αυτό το μάθημα;

- A) Πολύ πιθανό.
- B) Κάπως πιθανό.
- Γ) Ουδέτερο.
- Δ) Δεν είναι πιθανό.

Υπεύθυνη δήλωση συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν. 1599/1986 η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής εργασίας και δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/ δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης.