



Σχολή Εφαρμοσμένων Τεχνών

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών
Γραφικές Τέχνες και Πολυμέσα

Διπλωματική Εργασία

Σχεδιασμός και Ανάπτυξη Διαδραστικού Escape Box
με Χρήση Arduino και Πολυμέσων για STEAM Εκπαίδευση
Μία Steampunk Προσέγγιση

Δημήτριος Αποστολίδης

Επιβλέπων καθηγητής: Μόδεστος Σταυράκης

Πάτρα, Μάιος 2026

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή Δημήτρη Αποστολίδη που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.



Διπλωματική Εργασία

Σχεδιασμός και Ανάπτυξη Διαδραστικού Escape Box με Χρήση Arduino και Πολυμέσων για STEAM Εκπαίδευση Μία Steampunk Προσέγγιση

Δημήτριος Αποστολίδης

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής:

Μόδεστος Σταυράκης
Επικουρος Καθηγητής
Πανεπιστήμιο Αιγαίου

Συν-Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

Βερονίκη Κορακίδου
Μέλος ΣΕΠ
ΕΑΠ

Πάτρα, Μάιος 2026

*Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου
στον επιβλέποντα καθηγητή μου, Μόδεστο Σταυράκη,
για την καθοδήγηση και τις παρατηρήσεις του
κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.*

*Ευχαριστώ επίσης την οικογένειά μου
για την υποστήριξη και την υπομονή
σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.*

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζει στον σχεδιασμό, την ανάπτυξη και την πιλοτική αξιολόγηση ενός διαδραστικού, φορητού Escape Box για την υποστήριξη της εκπαίδευσης STEAM (Science, Technology, Engineering, Arts, Mathematics) στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση. Αξιοποιώντας τις αρχές της παιγνιώδους μάθησης (game-based learning) και του Physical Computing, η έρευνα διερευνά πώς η ενσωμάτωση της steampunk αισθητικής —ως οργανικό στοιχείο της Τέχνης (Arts)— επηρεάζει τη μαθητική εμπλοκή, τη συνεργασία και την κατανόηση επιστημονικών εννοιών.

Για τις ανάγκες της έρευνας κατασκευάστηκε ένα φυσικό, τεχνολογικά εμπλουτισμένο τεχνούργημα βασισμένο στον μικροελεγκτή Arduino GIGA R1 WiFi. Ο σχεδιασμός περιλαμβάνει τέσσερις ανεξάρτητους γρίφους, εμπνευσμένους από τα τέσσερα στοιχεία της φύσης, οι οποίοι προϋποθέτουν την πρακτική εφαρμογή γνώσεων Φυσικής (Νόμος του Boyle, Νόμος του Ohm, ηλεκτρομαγνητικό φάσμα) και ψηφιακής λογικής (λογικές πύλες). Η αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε με μεικτή ερευνητική μεθοδολογία σε δείγμα 15 μαθητών Γ' Λυκείου (ομαδικές και ατομικές συμμετοχές), χρησιμοποιώντας ερωτηματολόγια αυτοαξιολόγησης και δομημένη, μη συμμετοχική παρατήρηση.

Τα αποτελέσματα κατέδειξαν υψηλά επίπεδα εμπλοκής, με τη steampunk αισθητική και την αφηγηματική δομή να λειτουργούν ως κύριοι καταλύτες εμπύθισης. Καταγράφηκε ένδειξη υπεροχής της συνεργατικής επίλυσης, καθώς οι ομάδες σημείωσαν ποσοστό επιτυχίας 60% έναντι 20% των μεμονωμένων παικτών. Το μέγεθος του δείγματος ($n=5$ ανά κατηγορία) δεν επιτρέπει ωστόσο την εξαγωγή στατιστικά τεκμηριωμένων συμπερασμάτων. Παράλληλα, η τριγωνοποίηση των δεδομένων ανέδειξε ενδιαφέρουσες αποκλίσεις μεταξύ της αυτοαξιολογούμενης και της παρατηρούμενης συνεργασίας, υποδεικνύοντας την ανάγκη για σχεδιασμό δομημένων ρόλων. Τέλος, αν και η πρακτική εφαρμογή θεωρητικών εννοιών κρίθηκε ικανοποιητική, υπογραμμίστηκε η κρισιμότητα της τελικής συζήτησης ανατροφοδότησης (debriefing) για τη συνειδητή εδραίωση των στόχων STEAM. Συμπερασματικά, η εργασία τεκμηριώνει ότι η σύζευξη τεχνολογίας ανοιχτού κώδικα και αισθητικού σχεδιασμού σε μορφή Escape box αποτελεί ένα αποτελεσματικό παιδαγωγικό εργαλείο που προάγει τη βιωματική μάθηση.

Λέξεις – Κλειδιά

Εκπαίδευση STEAM, Escape Box, Arduino, Physical Computing, Steampunk, Παιγνιώδης Μάθηση.

Design and Development of an Interactive Escape Box Using Arduino and Multimedia for STEAM Education A Steampunk Approach

Dimitrios Apostolidis

Abstract

This master's thesis focuses on the design, development, and pilot evaluation of an interactive, portable Escape Box intended to support STEAM (Science, Technology, Engineering, Arts, Mathematics) education in secondary schools. Leveraging the principles of game-based learning and physical computing, the research explores how the integration of steampunk aesthetics—serving as an organic element of the Arts—affects student engagement, collaboration, and the comprehension of scientific concepts.

For the purposes of this research, a physical, technology-enhanced artifact was constructed using the Arduino GIGA R1 WiFi microcontroller. The design features four independent puzzle-mechanisms inspired by the four classical elements of nature. Solving these puzzles requires the practical application of physics concepts (Boyle's Law, Ohm's Law, electromagnetic light spectrum) and digital logic (logic gates). The evaluation was conducted using a mixed-methods approach on a sample of 15 high school seniors (participating both individually and in pairs), utilizing self-assessment questionnaires and structured non-participant observation.

The results demonstrated high levels of engagement, with the steampunk aesthetics and narrative structure acting as primary catalysts for student immersion. An indication of the superiority of collaborative problem-solving was observed, as groups achieved a 60% success rate compared to 20% for individual players; however, the small sample size ($n=5$ per category) does not permit statistically grounded conclusions. Furthermore, data triangulation revealed interesting discrepancies between self-reported and observed collaboration, highlighting the need for structured roles within teams. Finally, although the practical application of theoretical concepts was satisfactory, the critical role of post-game debriefing in consolidating STEAM

learning objectives was strongly emphasized. In conclusion, the study substantiates that the fusion of open-source technology and aesthetic design within an Escape Box format constitutes an effective pedagogical tool that significantly enhances experiential learning.

Keywords

STEAM Education, Escape Box, Arduino, Physical Computing, Steampunk, Game-Based Learning.

Περιεχόμενα

Περίληψη	v
Abstract	vii
Περιεχόμενα	ix
Κατάλογος Σχημάτων	xiii
Κατάλογος Πινάκων	xiv
Συντομογραφίες / Ακρωνύμια	xv
1. Εισαγωγή	1
1.1 Κίνητρο και Αναγκαιότητα της Έρευνας	3
1.2 Σκοπός και Στόχοι της Εργασίας	5
1.3 Ερευνητικά Ερωτήματα	6
1.4 Μεθοδολογική Προσέγγιση	7
1.5 Αναμενόμενη Συνεισφορά	7
1.6 Δομή της Εργασίας	8
2. Θεωρητικό Πλαίσιο	9
2.1 Το Μοντέλο <i>STEAM</i> στην Εκπαίδευση και ο Ρόλος της Τέχνης	9
2.1.1 Η <i>Steampunk</i> Αισθητική ως Εκπαιδευτικό Εργαλείο <i>STEAM</i>	10
2.2 Παιχνιδοποίηση και <i>Escape Rooms</i> στην Εκπαίδευση	12
2.2.1 Παιγνιώδης Μάθηση	12
2.2.2 Εκπαιδευτικά <i>Escape Rooms</i> και <i>Escape Boxes</i>	12
2.3 Το <i>Arduino</i> και το <i>Physical Computing</i>	13
2.3.1 <i>Physical Computing</i> στην Εκπαίδευση	13
2.3.2 Η Πλατφόρμα <i>Arduino</i>	14
2.3.3 <i>Arduino</i> και <i>Escape Boxes</i>	15

2.4 Απτή και Ενσώματη Διάδραση	15
2.4.1 Από το Γραφικό στο Απτό	15
2.4.2 Πλαίσιο Ανάλυσης της Απτής Διάδρασης	16
2.4.3 Ενσώματη Διάδραση	17
2.4.4 Σύνδεση με τον Σχεδιασμό του Escape Box	17
2.4.5 Αρχές Σχεδιασμού Διάδρασης κατά Norman	18
3. Μεθοδολογία Σχεδιασμού και Παιδαγωγικό Σενάριο	20
3.1 Προφίλ Ομάδας-Στόχου	21
3.2 Μαθησιακοί Στόχοι ανά Γνωστικό Πεδίο STEAM	21
3.3 Αφηγηματικό Σενάριο Steampunk	22
3.4 Σχεδιασμός Γρίφων και Αντιστοίχισή τους με Στόχους	23
3.4.1 Αντιστοίχιση Γρίφων με Μαθησιακούς Στόχους	24
3.5 Δομή και Ροή της Δραστηριότητας	25
4. Τεχνολογική Ανάπτυξη του Escape Box	27
4.1 Αρχιτεκτονική Συστήματος και Λογισμικού	27
4.1.1 Επιλογή Μικροελεγκτή (Hardware)	27
4.1.2 Αρχιτεκτονική Λογισμικού	29
4.2 Ενσωμάτωση Πολυμέσων και Steampunk Αισθητική	30
4.3 Ανάλυση και Υλοποίηση των Γρίφων	33
4.3.1 Χρονόμετρο	33
4.3.2 Γρίφος «Αέρινη Λογική» (Στοιχείο: Αέρας)	37
4.3.3 Γρίφος «Το Φως της Φλόγας» (Στοιχείο: Φωτιά)	41
4.3.4 Γρίφος «Αντίσταση στη Ροή» (Στοιχείο: Νερό)	45
4.3.5 Γρίφος «Ο Θάλαμος της Γης» (Στοιχείο: Γη)	49
4.4 Λειτουργία του Escape Box	53
4.5 Κόστος Υλοποίησης	54
4.6 Συνολική Αξιολόγηση Αρχιτεκτονικής	54

5. Πιλοτική Εκπαιδευτική Εφαρμογή και Αξιολόγηση	55
5.1 Ερευνητικός Σχεδιασμός	55
5.2 Πλαίσιο Υλοποίησης και Δείγμα	58
5.2.1 Πλαίσιο	58
5.2.2 Δείγμα	58
5.3 Εργαλεία Συλλογής Δεδομένων	60
5.3.1 Ερωτηματολόγιο Εμπλοκής και Αποδοχής	60
5.3.2 Φύλλο Δομημένης Παρατήρησης	62
5.3.3 Ανοιχτές Ερωτήσεις Αναστοχασμού	63
5.4 Διαδικασία Υλοποίησης	63
5.5 Ανάλυση Δεδομένων	64
5.5.1 Ποσοτικά Δεδομένα	64
5.5.2 Ποιοτικά Δεδομένα	64
5.6 Ηθικά Ζητήματα και Προστασία Δεδομένων	65
5.7 Περιορισμοί Μεθοδολογίας	65
6. Αποτελέσματα, Συζήτηση και Συμπεράσματα	67
6.1 Αποτελέσματα Ποσοτικής Ανάλυσης — Κλίμακα Εμπλοκής	67
6.1.1 Περιγραφικά Στατιστικά για το Σύνολο του Δείγματος (n=15)	67
6.1.2 Ανάλυση ανά Ερώτηση	68
6.1.3 Σύγκριση Ομαδικών (n=10) και Ατομικών (n=5) Μαθητών	69
6.1.4 Έμμεσοι Δείκτες Χρηστικότητας (Ερ. 9–12)	70
6.2 Αποτελέσματα Φύλλων Παρατήρησης	71
6.2.1 Επίδοση ανά συμμετοχή	71
6.2.2 Σύνοψη Παρατήρησης: Ομαδικοί vs Ατομικοί	71
6.2.3 Αποτελέσματα Ολοκλήρωσης	72
6.3 Αποτελέσματα Ποιοτικής Ανάλυσης — Ανοιχτές Ερωτήσεις	72
6.3.1 Θετικά Στοιχεία (Ερώτηση 22)	72
6.3.2 Αρνητικά Στοιχεία και Προτάσεις Βελτίωσης (Ερώτηση 23)	74
6.4 Συζήτηση Ευρημάτων σε Σχέση με τα Ερευνητικά Ερωτήματα	74
6.5 Συνδυαστική Ανάλυση — Τριγωνοποίηση Δεδομένων	76

6.6 Αποτελέσματα Ολοκλήρωσης (Success Rate)	77
6.7 Περιορισμοί της Έρευνας	77
6.8 Συμπεράσματα	78
6.9 Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα και Επέκταση	79
6.10 Επίλογος	80
 Βιβλιογραφία	 81
 Παραρτήματα	
Παράρτημα Α: Ερωτηματολόγιο Εμπλοκής και Αποδοχής	87
Παράρτημα Β: Φύλλο Δομημένης Παρατήρησης	89
Παράρτημα Γ: Έντυπο Αφηγηματικού Σεναρίου (Steampunk)	91
Παράρτημα Δ: Στιγμιότυπα της υλοποίησης	92
Παράρτημα Ε: Πηγαίος Κώδικας Arduino (Source Code)	94

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1.1	Τάση για χαμηλή επίδοση και το μειωμένο ενδιαφέρον των μαθητών για τα αντικείμενα των Φυσικών Επιστημών (PISA2022)	3
Σχήμα 1.2	Ψηφιακό εκπαιδευτικό δωμάτιο απόδρασης.....	4
Σχήμα 2.1	Αισθητική steampunk	11
Σχήμα 4.1	Arduino GIGA R1 WiFi	27
Σχήμα 4.2	MEGA Sensor Shield V2.4	28
Σχήμα 4.3	Υλοποίηση του Escape box	28
Σχήμα 4.4	Steampunk αισθητική του Escape box.....	32
Σχήμα 4.5	Σχηματικό διάγραμμα του χρονομέτρου	34
Σχήμα 4.6	Χρονόμετρο	35
Σχήμα 4.7	Χρονόμετρο - Λεπτομέρειες	36
Σχήμα 4.8	Λογικό κύκλωμα του γρίφου Αέρινη Λογική.....	38
Σχήμα 4.9	Σχηματικό διάγραμμα του γρίφου Αέρινη Λογική	38
Σχήμα 4.10	Γρίφος Αέρινη Λογική - Λεπτομέρειες	39
Σχήμα 4.11	Γρίφος Αέρινη Λογική	40
Σχήμα 4.12	Κλίμακες λ και ν του γρίφου Το Φως της Φλόγας	42
Σχήμα 4.13	Σχηματικό διάγραμμα του γρίφου Το Φως της Φλόγας.....	42
Σχήμα 4.14	Γρίφος Το Φως της Φλόγας - Λεπτομέρειες.....	43
Σχήμα 4.15	Γρίφος Το Φως της Φλόγας.....	44
Σχήμα 4.16	Γρίφος Αντίσταση στη Ροή - Νόμος του Ohm - Ισοδύναμη αντίσταση.....	46
Σχήμα 4.17	Σχηματικό διάγραμμα του γρίφου Αντίσταση στη Ροή	46
Σχήμα 4.18	Γρίφος Αντίσταση στη Ροή - Λεπτομέρειες.....	47
Σχήμα 4.19	Γρίφος Αντίσταση στη Ροή.....	48
Σχήμα 4.20	Γρίφος Ο Θάλαμος της Γης - Καταστατική εξίσωση των αερίων	50
Σχήμα 4.21	Σχηματικό διάγραμμα του γρίφου Ο Θάλαμος της Γης.....	51
Σχήμα 4.22	Γρίφος Ο Θάλαμος της Γης - Λεπτομέρειες	51
Σχήμα 4.23	Γρίφος Ο Θάλαμος της Γης	52
Σχήμα 4.24	Διάγραμμα ροής του βασικού αλγορίθμου ελέγχου του Escape Box	53
Σχήμα 5.1	Στιγμιότυπα από την πιλοτική εκπαιδευτική εφαρμογή.....	59
Σχήμα Δ.1	Υλοποίηση του Escape box	92
Σχήμα Δ.2	Υλοποίηση του Escape box	93

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1	Θεωρητικά πλαίσια απτής διάδρασης και εφαρμογή τους στον σχεδιασμό του Escape Box	18
Πίνακας 3.1	Στόχοι ανά πεδίο STEAM.....	21
Πίνακας 3.2	Οι τέσσερις γρίφοι του Escape box	23
Πίνακας 4.1	Καταστάσεις λειτουργίας κάθε γρίφου.....	29
Πίνακας 4.2	Ενδεικτικό κόστος υλοποίησης	54
Πίνακας 5.1	Οργάνωση του ερευνητικού δείγματος	60
Πίνακας 5.2	Δομή ερωτηματολογίου	61
Πίνακας 5.3	Δείκτες εσωτερικής συνοχής ανά υποκλίμακα.....	62
Πίνακας 5.4	Κριτήρια φύλλου παρατήρησης	62
Πίνακας 5.5	Ανοιχτές ερωτήσεις και οι σημειώσεις παρατήρησης	65
Πίνακας 6.1	Περιγραφικά στατιστικά κλίμακας εμπλοκής.....	67
Πίνακας 6.2	Περιγραφικά στατιστικά ανά ερώτηση.....	68
Πίνακας 6.3	Σύγκριση ομαδικών και ατομικών συμμετοχών	69
Πίνακας 6.4	Έμμεσοι δείκτες χρηστικότητας.....	70
Πίνακας 6.5	Αποτελέσματα δομημένης παρατήρησης ανά συμμετοχή.....	71
Πίνακας 6.6	Σύνοψη παρατήρησης ανά κατηγορία	71
Πίνακας 6.7	Θετικά στοιχεία	73
Πίνακας 6.8	Αγαπημένοι γρίφοι	73
Πίνακας 6.9	Αρνητικά στοιχεία και προτάσεις	74
Πίνακας 6.10	Συνδυαστική σύγκριση αυτοαξιολόγησης και ετεροαξιολόγησης	76
Πίνακας 6.11	Συνοπτικά αποτελέσματα ολοκλήρωσης.....	77

Συντομογραφίες & Ακρωνύμια

API	Application Programming Interface (Διεπαφή Προγραμματισμού Εφαρμογών)
CT	Computational Thinking (Υπολογιστική Σκέψη)
DIY	Do It Yourself (Κάνε το μόνος σου)
FSM	Finite State Machine (Μηχανή Πεπερασμένων Καταστάσεων)
GBL	Game-Based Learning (Παιγνιώδης Μάθηση)
GDPR	General Data Protection Regulation (Γενικός Κανονισμός για την Προστασία Δεδομένων)
GPIO	General Purpose Input/Output (Ακροδέκτες Γενικής Χρήσης Εισόδου/Εξόδου)
I2C	Inter-Integrated Circuit (Δίαυλος Επικοινωνίας I2C)
IDE	Integrated Development Environment (Ολοκληρωμένο Περιβάλλον Ανάπτυξης)
IoT	Internet of Things (Διαδίκτυο των Πραγμάτων)
LED	Light Emitting Diode (Δίοδος Εκπομπής Φωτός)
OER	Open Educational Resources (Ανοικτοί Εκπαιδευτικοί Πόροι)
PBL	Problem-Based Learning (Μάθηση βασισμένη στην επίλυση προβλήματος)
PWM	Pulse Width Modulation (Διαμόρφωση Εύρους Παλμού)
RGB	Red, Green, Blue (Χρωματικό Μοντέλο Κόκκινο-Πράσινο-Μπλε)
SATP	Standard Ambient Temperature and Pressure (Πρότυπες Συνθήκες Περιβάλλοντος)
SPI	Serial Peripheral Interface (Σειριακή Περιφερειακή Διεπαφή)
STEAM	Science, Technology, Engineering, Arts, Mathematics (Επιστήμη, Τεχνολογία, Μηχανική, Τέχνες, Μαθηματικά)
STEM	Science, Technology, Engineering, Mathematics (Επιστήμη, Τεχνολογία, Μηχανική, Μαθηματικά)
SUS	System Usability Scale (Κλίμακα Αξιολόγησης Χρηστικότητας Συστήματος)

1. Εισαγωγή

Η ενσωμάτωση της τεχνολογίας και των ψηφιακών μέσων στην καθημερινή ζωή έχει καταστήσει επιτακτική την ανάγκη δημιουργίας νέων εκπαιδευτικών προσεγγίσεων, ικανών να ανταποκριθούν στις προκλήσεις του 21ου αιώνα. Η φιλοσοφία *STEAM* (Science, Technology, Engineering, Arts, Mathematics) επιδιώκει την οργανική σύζευξη των Φυσικών Επιστημών, της Τεχνολογίας, της Μηχανικής, των Τεχνών και των Μαθηματικών, αναδεικνύοντας τη διεπιστημονικότητα ως θεμέλιο λίθο της σύγχρονης εκπαίδευσης. Η εκπαίδευση *STEAM* προσελκύει το ερευνητικό ενδιαφέρον ως ένα ολιστικό παιδαγωγικό μοντέλο που στοχεύει στην ανάπτυξη κρίσιμων δεξιοτήτων, όπως η κριτική και δημιουργική σκέψη, η υπεύθυνη καινοτομία και η υπολογιστική σκέψη. Προς αυτή την κατεύθυνση, κρίνεται απαραίτητη η μετάβαση από τις αυστηρά δομημένες μεθόδους άμεσης διδασκαλίας προς διερευνητικά περιβάλλοντα μάθησης, στα οποία δεν υφίσταται πάντα μία και μοναδική σωστή απάντηση (Quigley & Herro, 2016). Εκπαιδευτικοί και σχεδιαστές μαθησιακών εμπειριών αναζητούν διαρκώς τρόπους ενεργοποίησης των μαθητών μέσω της επίλυσης προβλημάτων και της συνεργασίας. Στο πλαίσιο αυτό, τα εκπαιδευτικά δωμάτια απόδρασης (educational escape rooms) και τα παιχνίδια απόδρασης (escape games) έχουν αναδειχθεί ως καινοτόμα εργαλεία, καθώς συνδυάζουν αρμονικά την αφήγηση, τη λογική επίλυση γρίφων και τη συνεργασία υπό συνθήκες χρονικής πίεσης.

Η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζει στον σχεδιασμό και την ανάπτυξη ενός διαδραστικού *Escape Box* (στο εξής *Escape Box*), το οποίο αξιοποιεί την πλατφόρμα μικροελεγκτών *Arduino* και την πολυμεσική διάδραση η οποία αφορά τη χρήση φωτεινών, ηχητικών και αναλογικών ενδείξεων που ενισχύουν την αφηγηματική εμπύθιση, με σκοπό την υποστήριξη της *STEAM* εκπαίδευσης μέσα από το πρίσμα της *steampunk* αισθητικής. Το *Escape Box* προσεγγίζεται ως ένα φορητό, αυτόνομο εκπαιδευτικό τεχνούργημα —ουσιαστικά μια φυσική, μικρογραφία ενός escape room— το οποίο ενσωματώνει αισθητήρες, ηλεκτρονικές διεπαφές χρήστη και οπτικοακουστικά μέσα, προσφέροντας μια βιωματική μαθησιακή εμπειρία. Σε αντίθεση με τα αμιγώς ψηφιακά escape rooms (εφαρμογές σε υπολογιστές ή κινητές συσκευές), το *Escape box* προωθεί την απτή αλληλεπίδραση (tangible interaction) με φυσικά αντικείμενα, μετατρέποντας την επίλυση γρίφων σε μια διαδικασία που γεφυρώνει τις αισθήσεις του χρήστη με το ψηφιακό σύστημα.

Το steampunk, ως αισθητικό και αφηγηματικό πλαίσιο, συνθέτει στοιχεία της βικτωριανής εποχής, της μηχανικής φαντασίας και των αναλογικών μηχανισμών, προσφέροντας πλούσιες δυνατότητες για γραφιστικό, πολυμεσικό και σεναριακό σχεδιασμό. Στο πλαίσιο της STEAM προσέγγισης, η εν λόγω αισθητική εντάσσει τα τεχνολογικά αντικείμενα στον φανταστικό χώρο του παιχνιδιού, όπου οι χρήστες αναλαμβάνουν ρόλους, κατανοούν μηχανισμούς, ερμηνεύουν οπτικοακουστικά ερεθίσματα και συνεργάζονται για την επίτευξη της «απόδρασης». Συνεπώς, η επιλογή του steampunk δεν αποτελεί απλώς μια στυλιστική προτίμηση, αλλά συνδέεται οργανικά με την παιδαγωγική φιλοσοφία του STEAM: αναδεικνύει τη βαθιά αλληλεξάρτηση Τέχνης και Τεχνολογίας και τοποθετεί τους μαθητές σε ένα περιβάλλον όπου η υψηλή αισθητική και η λειτουργικότητα συνυπάρχουν αδιάρρηκτα.

Αρχικά, η εργασία περιγράφει τον ολοκληρωμένο σχεδιασμό και την υλοποίηση του πρωτοτύπου escape box, παραθέτοντας σαφείς μαθησιακούς στόχους STEAM και αναλύοντας τους γρίφους που βασίζονται σε ηλεκτρονικά κυκλώματα και διαδραστικές διεπαφές. Στη συνέχεια, διερευνά την εκπαιδευτική του αξία, εστιάζοντας στην επίδρασή του στη μαθητική εμπλοκή, τη συνεργατικότητα και την ανταπόκριση των συμμετεχόντων στη θεματική των γρίφων.

Η επιλογή μιας φυσικής, φορητής κατασκευής εξασφαλίζει την ευελιξία χρήσης της σε ποικίλα σχολικά περιβάλλοντα, εξαλείφοντας την ανάγκη για εξειδικευμένες χωρικές υποδομές. Η χρήση της πλατφόρμας Arduino (ανοιχτού κώδικα και χαμηλού κόστους) επιτρέπει στην εκπαιδευτική κοινότητα την εύκολη επέκταση ή αναπαραγωγή του έργου. Η ανάπτυξη αυτού του steampunk Escape Box εγείρει σημαντικά ζητήματα σχεδιασμού, όπως η γεφύρωση της αισθητικής με την παιδαγωγική, η μετατροπή εννοιών των Φυσικών Επιστημών σε διαδραστικούς γρίφους, και η διαμόρφωση των βέλτιστων συνθηκών για την ουσιαστική συμμετοχή των μαθητών.

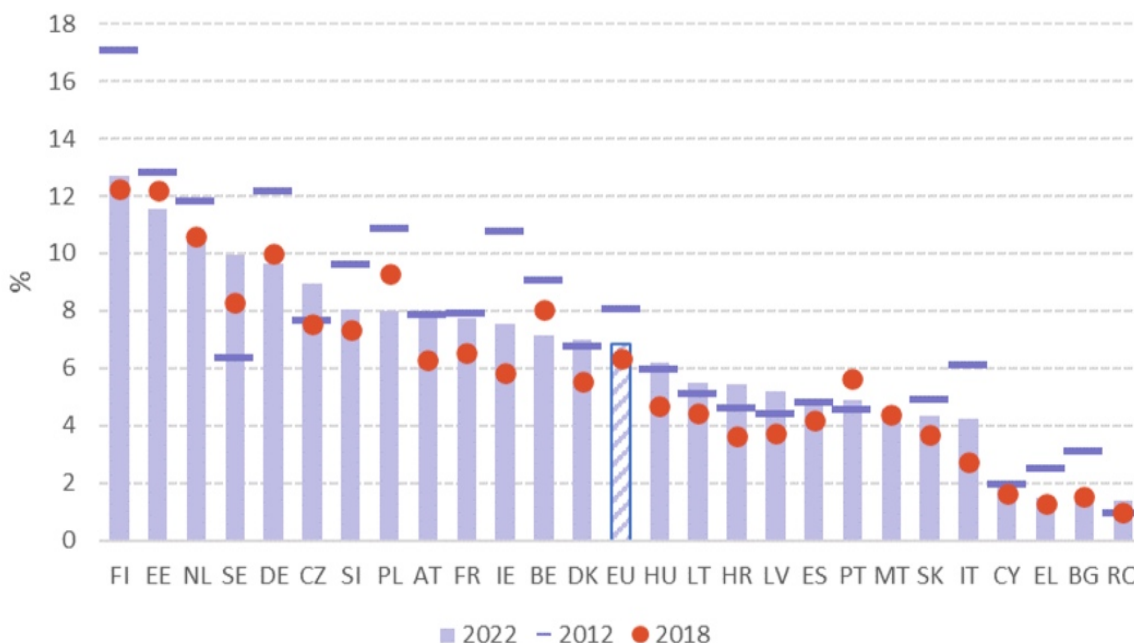
Το Escape Box σχεδιάστηκε με γνώμονα το γνωστικό υπόβαθρο μαθητών Λυκείου, καθώς απαιτείται κατανόηση βασικών αρχών φυσικής και λογικής κυκλωμάτων.

1.1 Κίνητρο και Αναγκαιότητα της Έρευνας

Στα εκπαιδευτικά συστήματα διεθνώς, και ιδιαίτερα στον ευρωπαϊκό χώρο, παρατηρείται έντονα η τάση για χαμηλές επιδόσεις και μειωμένο ενδιαφέρον των μαθητών για τα γνωστικά αντικείμενα των Φυσικών Επιστημών, των Μαθηματικών και της Τεχνολογίας, γεγονός που επιβεβαιώνεται από τα αποτελέσματα του PISA 2022 (European Commission, 2024) (βλ. Σχήμα 1.1). Η ενίσχυση των δεξιοτήτων STEAM κρίνεται ζωτικής σημασίας, τόσο για τη γνωστική ανάπτυξη των μαθητών όσο και για τη μελλοντική επαγγελματική τους ενσωμάτωση σε μια κοινωνία ραγδαίου ψηφιακού μετασχηματισμού. Παράλληλα, οι εκπαιδευτικοί επισημαίνουν την ανάγκη υπέρβασης της παραδοσιακής, δασκαλοκεντρικής διδασκαλίας μέσω της υιοθέτησης πιο ελκυστικών παιδαγωγικών μοντέλων (Veldkamp et al., 2020). Στο ελληνικό εκπαιδευτικό σύστημα, η διδασκαλία των αντικειμένων STEM εξακολουθεί να στηρίζεται σε μεγάλο βαθμό σε μετωπικές προσεγγίσεις, με περιορισμένη εφαρμογή βιωματικών μεθόδων. Συνεπώς, η ανάπτυξη προσιτών, χαμηλού κόστους εκπαιδευτικών εργαλείων αποκτά ιδιαίτερη βαρύτητα.

Σχήμα 1.1

Αποτελέσματα PISA 2022 για επιδόσεις και ενδιαφέρον σε αντικείμενα STEM.



Σημείωση. Από European Commission, 2024.

Οι δραστηριότητες τύπου escape room έχουν τεκμηριωθεί επιστημονικά ως αποτελεσματικές μορφές μάθησης βασισμένης στο παιχνίδι (game-based learning), ενισχύοντας τα εσωτερικά κίνητρα, την κριτική σκέψη και την επίλυση προβλημάτων. Σύγχρονες έρευνες καταδεικνύουν ότι μπορούν να καταστήσουν ελκυστικά γνωστικά αντικείμενα που παραδοσιακά θεωρούνται «δυσνόητα», όπως ο προγραμματισμός και οι θετικές επιστήμες (Porona & Paunova-Hubenova, 2025).

Εντούτοις, η συστηματική αξιοποίησή τους σε διεπιστημονικά σενάρια STEAM παραμένει περιορισμένη, απαιτώντας νέα μοντέλα που να συνδυάζουν οργανικά τεχνολογία, αφήγηση και εκπαιδευτικούς στόχους (Järveläinen & Paavilainen-Mäntymäki, 2019). Η πλειονότητα των υπαρχουσών λύσεων αφορά είτε ψηφιακά παιχνίδια (βλ. Σχήμα 1.2) είτε μόνιμες εγκαταστάσεις σε φυσικά δωμάτια, περιορίζοντας τη φορητότητα. Τα *escape boxes* αναδεικνύονται ως ιδανική εναλλακτική, δημιουργώντας υβριδικά μαθησιακά περιβάλλοντα όπου οι μαθητές αλληλεπιδρούν γύρω από μια κατασκευή, συνδυάζοντας απτά και ψηφιακά στοιχεία (Veldkamp et al., 2020).

Σχήμα 1.2

Σε οθόνη υπολογιστή απεικονίζεται ένα ψηφιακό εκπαιδευτικό δωμάτιο απόδρασης.



Σημείωση. Από Maršálek et al, 2024.

Η αξιοποίηση μικροελεγκτών (Arduino) επιτρέπει τον σχεδιασμό τεχνολογικά εμπλουτισμένων γρίφων. Οι μαθητές αλληλεπιδρούν με αισθητήρες και κυκλώματα, κατανοώντας τις υποκείμενες τεχνολογικές αρχές. Μέσω αυτών των κατασκευών, οι εκπαιδευόμενοι μπορούν να λειτουργήσουν διττά: τόσο ως «παίκτες» όσο και ως μελλοντικοί «δημιουργοί» παρόμοιων συστημάτων, προάγοντας τον τεχνολογικό εγγραμματισμό τους (Marín-Marín et al., 2024).

Σε αυτό το πλαίσιο, η παρούσα εργασία επιχειρεί να καλύψει το υφιστάμενο ερευνητικό κενό, συνδυάζοντας την πρακτικότητα του Escape Box με την ευελιξία του Arduino και τη συνεκτική steampunk αισθητική. Το δημιουργούμενο αφηγηματικό πλαίσιο αποσκοπεί στην αύξηση της αφηγηματικής εμπύθισης (narrative immersion) (Tanenbaum et al., 2012), προσφέροντας έδαφος για τη διερεύνηση της ενσωμάτωσης των πολυμέσων και του αισθητικού σχεδιασμού στην εκπαιδευτική διαδικασία.

1.2 Σκοπός και Στόχοι της Εργασίας

Ο γενικός σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο σχεδιασμός, η ανάπτυξη και η πιλοτική αξιολόγηση ενός διαδραστικού steampunk Escape Box, το οποίο αξιοποιεί την πλατφόρμα Arduino και πολυμεσικές εφαρμογές ως διδακτικό εργαλείο για τη STEAM εκπαίδευση. Η έρευνα επιδιώκει τη δημιουργία μιας ολοκληρωμένης, φορητής κατασκευής, καθώς και τη μελέτη της επίδρασής της στην εμπλοκή και τη συνεργασία των συμμετεχόντων.

Για την επίτευξη του σκοπού, τίθενται οι εξής ειδικοί στόχοι:

- ΣΤ1** Η διερεύνηση του θεωρητικού πλαισίου (STEAM, παιχνιδοποίηση, educational escape rooms) και του ρόλου της αφήγησης/πολυμέσων στην εκπαίδευση.
- ΣΤ2** Η ανάλυση των απαιτήσεων ενός διαδραστικού Escape Box, βάσει του προφίλ των μαθητών και των εκπαιδευτικών αναγκών.
- ΣΤ3** Ο σχεδιασμός ενός συνεκτικού steampunk concept (σενάριο, ρόλοι, οπτική ταυτότητα).
- ΣΤ4** Η ανάπτυξη του λειτουργικού πρωτοτύπου, με ενσωμάτωση γρίφων Arduino, αισθητήρων και πολυμεσικών διεπαφών.

- ΣΤ5** Η διαμόρφωση του εκπαιδευτικού σεναρίου χρήσης και του συνοδευτικού διδακτικού υλικού.
- ΣΤ6** Ο σχεδιασμός και η εφαρμογή πλαισίου αξιολόγησης (εμπλοκή, ομαδική συνεργασία, χρηστικότητα).
- ΣΤ7** Η ανάλυση των δεδομένων της πιλοτικής εφαρμογής για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την εκπαιδευτική αξία του συστήματος.

1.3 Ερευνητικά Ερωτήματα

Η έρευνα καθοδηγείται από τα ακόλουθα ερευνητικά ερωτήματα:

- EE1 Επίδραση στην Εμπλοκή:** Αυξάνει το διαδραστικό Escape Box την ενεργό συμμετοχή (engagement) των μαθητών Γ' Λυκείου; Πώς επηρεάζονται οι επιμέρους διαστάσεις της εμπλοκής (συναισθηματική, γνωστική, συμπεριφορική);
- EE2 Μαθησιακά Αποτελέσματα:** Σε ποιον βαθμό αντιλαμβάνονται οι μαθητές τη σύνδεση της δραστηριότητας με έννοιες STEAM (αναλογικά σήματα, αισθητήρες, λογική επίλυσης);
- EE3 Συνεργατική vs. Ατομική Επίλυση:** Υφίστανται διαφορές στα μαθησιακά αποτελέσματα, την ταχύτητα και τη συνολική εμπειρία μεταξύ μαθητών που εργάστηκαν ομαδικά (δυάδες) και όσων εργάστηκαν μεμονωμένα;
- EE4 Ρόλος Αισθητικής και Πολυμέσων:** Πώς επιδρά η steampunk αισθητική και η πολυμεσική διάδραση στην εμπύθιση και τα εσωτερικά κίνητρα των μαθητών;
- EE5 Χρηστικότητα:** Είναι το τεχνούργημα πρακτικά εφαρμόσιμο στη σχολική τάξη από εκπαιδευτικούς χωρίς εξειδικευμένες τεχνικές γνώσεις;

1.4 Μεθοδολογική Προσέγγιση

Η εργασία υιοθετεί τη μεθοδολογία της Έρευνας Σχεδιασμού και Ανάπτυξης (*Educational Design Research*), όπου η δημιουργία του τεχνουργήματος συνυφαίνεται με την παιδαγωγική του διερεύνηση (McKenney & Reeves, 2013). Η μελέτη διαρθρώνεται σε διαδοχικές, ανατροφοδοτούμενες φάσεις: ανάλυση, σχεδιασμός, ανάπτυξη, πιλοτική εφαρμογή και αξιολόγηση.

Μετά τη βιβλιογραφική επισκόπηση και τον καθορισμό των απαιτήσεων, αναπτύσσεται το σενάριο και η φυσική/ψηφιακή αρχιτεκτονική του έργου (κατασκευή, κώδικας Arduino, έλεγχος λειτουργικότητας).

Η πιλοτική εφαρμογή διεξάγεται με 15 μαθητές Γ' Λυκείου (5 ομάδες των 2 ατόμων και 5 μεμονωμένοι παίκτες). Η συλλογή δεδομένων πραγματοποιείται μέσω μικτής προσέγγισης (mixed-methods):

- **Ερωτηματολόγια (κλίμακα Likert 1-5):** Αξιολόγηση εμπλοκής, συνεργασίας, αισθητικής και διαστάσεων STEAM, συνδυασμένα με ανοιχτές ερωτήσεις.
- **Δομημένη Παρατήρηση (Ρουμπρίκα):** Συστηματική καταγραφή συμπεριφορών, στρατηγικών επίλυσης και χρήσης υποδείξεων.

Τα ποσοτικά δεδομένα αναλύονται περιγραφικά και συγκριτικά, ενώ τα ποιοτικά υφίστανται θεματική κωδικοποίηση.

1.5 Αναμενόμενη Συνεισφορά

Η συμβολή της διπλωματικής εκτείνεται σε τρία επίπεδα:

- **Ερευνητικό:** Εμπλουτίζει τη βιβλιογραφία σχετικά με τον ρόλο του αισθητικού σχεδιασμού (Arts) και της αφήγησης στα εκπαιδευτικά escape rooms — τομέας που παραμένει ελλιπώς ερευνημένος (Taraldsen et al., 2020).
- **Πρακτικό:** Προσφέρει ένα πλήρως λειτουργικό, τεκμηριωμένο, ανοιχτής αρχιτεκτονικής (Arduino) εργαλείο, λειτουργώντας ως μοντέλο σχεδιασμού (blueprint)

για εκπαιδευτικούς που επιθυμούν να εισαγάγουν αντίστοιχες πρακτικές στη σχολική πραγματικότητα.

- **Θεωρητικό:** Αποδεικνύει ότι ο πολυμεσικός και οπτικός σχεδιασμός δεν έχει απλώς διακοσμητικό ρόλο, αλλά αποτελεί δομικό στοιχείο της βιωματικής μάθησης, επιβεβαιώνοντας τη βαρύτητα του «Α» (Arts) στο ακρωνύμιο STEAM (Segarra et al., 2018) και παρέχει ένα ολοκληρωμένο case study εκπαιδευτικού σχεδιασμού.

Η έρευνα έχει περιορισμούς ως προς το μέγεθος του δείγματος (15 μαθητές) και τον πιλοτικό της χαρακτήρα, συνεπώς τα αποτελέσματα έχουν ενδεικτική αξία χωρίς να οδηγούν σε γενικεύσεις.

1.6 Δομή της Εργασίας

Η εργασία διαρθρώνεται στα εξής κεφάλαια:

1. Εισαγωγή: κίνητρο έρευνας, σκοπός/στόχοι, μεθοδολογία και συνεισφορά.
2. Θεωρητικό πλαίσιο: μοντέλο STEAM, game-based learning, escape rooms, steampunk, physical computing.
3. Μεθοδολογία σχεδιασμού: μαθησιακοί στόχοι, σενάριο, σχεδιασμός γρίφων.
4. Τεχνολογική υλοποίηση: αρχιτεκτονική *Arduino*, κώδικας, πολυμέσα, κατασκευή.
5. Πιλοτική εκπαιδευτική εφαρμογή: ερευνητικός σχεδιασμός, εργαλεία, διαδικασία εφαρμογής.
6. Αποτελέσματα και συμπεράσματα: ανάλυση ευρημάτων, συζήτηση, περιορισμοί και προτάσεις μελλοντικής έρευνας.

2. Θεωρητικό Πλαίσιο

Το παρόν κεφάλαιο αναλύει το θεωρητικό υπόβαθρο πάνω στο οποίο εδράζεται ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη του διαδραστικού Escape Box. Εξετάζονται τρεις αλληλένδετοι άξονες: α) το μοντέλο STEAM και ο ρόλος της Τέχνης —με ειδική αναφορά στη steampunk αισθητική ως παιδαγωγικό εργαλείο—, β) η παιγνιώδης μάθηση (game-based learning) και τα εκπαιδευτικά escape rooms/boxes, και γ) το Physical Computing και η πλατφόρμα Arduino ως μέσα βιωματικής διερεύνησης τεχνολογικών εννοιών.

2.1 Το Μοντέλο STEAM στην Εκπαίδευση και ο Ρόλος της Τέχνης

Η εκπαίδευση STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) αναδείχθηκε ως παγκόσμια εκπαιδευτική προτεραιότητα με στόχο την προετοιμασία των μαθητών για τις προκλήσεις της σύγχρονης οικονομίας και της αγοράς εργασίας. Αποτελεί, ωστόσο, συχνό φαινόμενο μαθητές 16 ετών να αγνοούν τη χρησιμότητα των γνωστικών αντικειμένων του STEM. Συχνά παρατηρείται ότι οι μαθητές δεν έχουν διαμορφώσει σαφή αντίληψη, διαθέτοντας ελλιπή γνώση για τους διάφορους κλάδους της μηχανικής ή θεωρούν ότι η φυσική αφορά αποκλειστικά τους φυσικούς και ορισμένους μηχανικούς (σε αντίθεση με τα μαθηματικά, τις βιοεπιστήμες και τη χημεία, όπου παρατηρούνται σημαντικά λιγότερες εσφαλμένες αντιλήψεις). Η πραγματοποίηση επισκέψεων σε βιομηχανικούς χώρους, καθώς και η πρόσκληση ακαδημαϊκών για ομιλίες, έχει αποδειχθεί ότι μπορούν να ενισχύσουν περαιτέρω το ενδιαφέρον των μαθητών για το STEM (Kovács & Hanjra, 2025).

Παρόλα αυτά, η αυστηρή εστίαση στις θετικές επιστήμες και την τεχνολογία έχει δεχθεί κριτική για την απουσία της δημιουργικότητας, της ανθρώπινης έκφρασης και της πολιτισμικής διάστασης. Αυτό οδήγησε στην εξέλιξη του μοντέλου σε STEAM, με την ενσωμάτωση του «Α» (Arts: Καλές και Εφαρμοσμένες Τέχνες, Σχέδιο, Ανθρωπιστικές Επιστήμες). Το STEAM ορίζεται πλέον ως «*Επιστήμη και Τεχνολογία, ερμηνευμένες μέσω της Μηχανικής και των Τεχνών, βασισμένες εξολοκλήρου στη γλώσσα των Μαθηματικών*» (Yakman, 2008).

Η προσέγγιση STEAM δεν αποτελεί απλώς μια γραμμική άθροιση των τεχνών με τις θετικές επιστήμες, αλλά συνιστά μια ουσιαστική, διεπιστημονική ενσωμάτωση (Arts Integration). Σε

αυτό το πλαίσιο, οι μαθητές οικοδομούν και αποδεικνύουν την κατανόησή τους μέσω μορφών τέχνης, καθιστώντας ταυτόχρονα την επιστήμη και την τεχνολογία πιο προσιτές (Segarra et al., 2018). Η ενσωμάτωση της τέχνης στο STEM προσθέτει δημιουργικότητα και ενσυναίσθηση, ενώ καθιστά τα θετικά αντικείμενα πιο ελκυστικά σε μαθητές με διαφορετικά μαθησιακά προφίλ (Rodier et al., 2019). Επομένως, το «Α» δεν λειτουργεί ως «διακοσμητικό» στοιχείο, αλλά ως οργανικός παιδαγωγικός παράγοντας που αναβαθμίζει την ποιότητα της μαθησιακής εμπειρίας. Προσφέρει στους κλάδους του STEM μια γλώσσα και ένα σύνολο πρακτικών που προτάσσουν τον ρόλο της δημιουργικότητας σε όλα τα γνωστικά αντικείμενα. Αξίζει, ωστόσο, να σημειωθεί ότι συχνά η δημιουργικότητα θεωρείται, λανθασμένα, αποκλειστικό προνόμιο του τομέα των τεχνών, αντί να αναγνωρίζεται ως ένα δυνητικά εγγενές στοιχείο και των πεδίων του STEM (Mejias et al., 2021).

2.1.1 Η Steampunk Αισθητική ως Εκπαιδευτικό Εργαλείο STEAM

Στην παρούσα εργασία, η διάσταση του «Α» εκφράζεται μέσω της αξιοποίησης της steampunk αισθητικής. Ο όρος *steampunk* επινοήθηκε από τον συγγραφέα επιστημονικής φαντασίας K. W. Jeter το 1987 και περιγράφει ένα υποείδος επιστημονικής φαντασίας που περιλαμβάνει προηγμένες μηχανές και φανταστική τεχνολογία, βασισμένες όμως στην ατμομηχανή του 19ου αιώνα και στον τεχνολογικό αναχρονισμό (Clute, 1999). Το steampunk «παντρεύει» τη βικτωριανή αισθητική με τις βιομηχανικές ατμομηχανές και τους πρωτοποριακούς μηχανισμούς (αποχρώσεις χαλκού, εμφανή γρανάζια, λαμπτήρες πυρακτώσεως), δημιουργώντας έναν πλούσιο οπτικό κόσμο (Tanenbaum et al., 2012).

Παράλληλα, το steampunk λειτουργεί συχνά ως αντίδραση στη λεία, μινιμαλιστική και αδιαφανή («μαύρο κουτί») τεχνολογία της σύγχρονης εποχής, προτάσσοντας την προβολή πολύπλοκων, περίτεχνων, αλλά *μηχανικά κατανοητών* κατασκευών. Κυρίαρχα στοιχεία αποτελούν η ιδιοκατασκευή (DIY), η πρωτοτυπία, η ανάδειξη της μηχανικής πολυπλοκότητας και η ρομαντική αναπαράσταση των μηχανισμών, στοιχεία που γεννούν εναλλακτικές φανταστικές ιστορίες (retrofuturism).

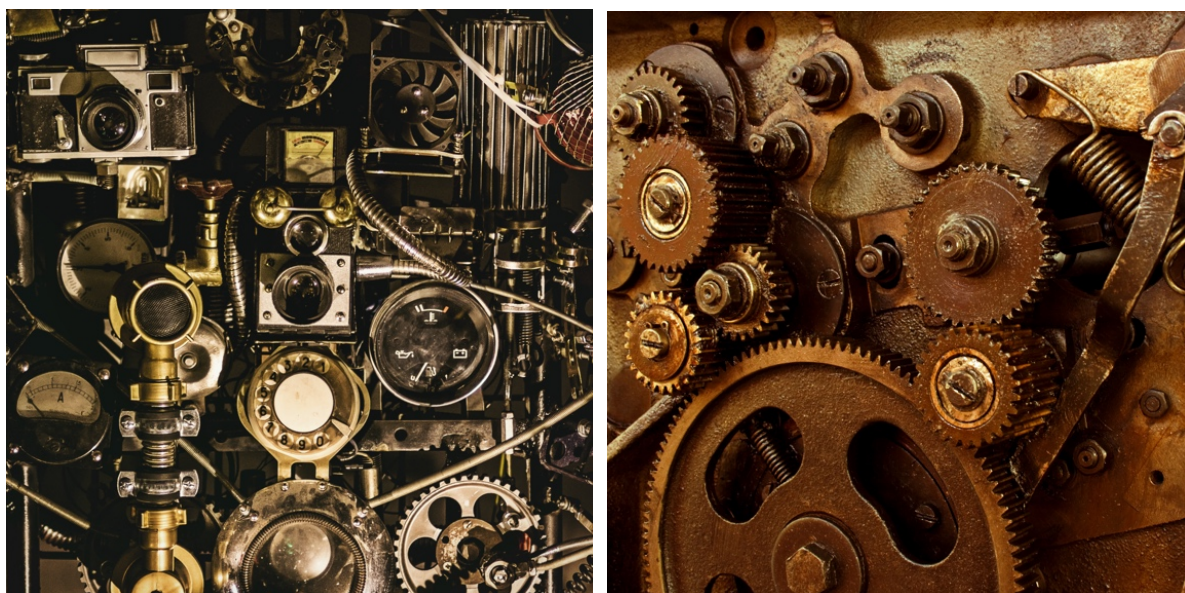
Ως εκπαιδευτικό εργαλείο, η steampunk αισθητική επιτελεί τρεις βασικές λειτουργίες:

1. **Οπτικό ερέθισμα και κίνητρο:** Δημιουργεί ένα ισχυρό, αναγνωρίσιμο οπτικό περιβάλλον που κεντρίζει την περιέργεια των μαθητών και ενισχύει τη διάθεση για εξερεύνηση (Alexiou et al., 2020).
2. **Αφηγηματική εμπύθιση (narrative immersion):** Υποστηρίζει την αφήγηση (storytelling), βυθίζοντας τους παίκτες σε έναν φανταστικό κόσμο με συνεκτική λογική, ρόλους και σκοπό. Αυτό δημιουργεί συναισθηματική δέσμευση που ευνοεί άμεσα τη βιωματική μάθηση (Tanenbaum & Tanenbaum, 2013).
3. **Οργανική σύνδεση τεχνολογίας και αισθητικής:** Συνδέει οργανικά τα σύγχρονα τεχνολογικά εξαρτήματα (αισθητήρες, καλώδια, LED) με τον βιομηχανικό σχεδιασμό, εξαλείφοντας την αίσθηση του «μη αυθεντικού» που συχνά συνοδεύει τα συμβατικά ηλεκτρονικά εκπαιδευτικά εργαλεία (López-Pernas et al., 2021).

Η επιλογή της steampunk αισθητικής (βλ. Σχήμα 2.1) ως πλαίσιο σχεδιασμού για το Escape Box δεν είναι τυχαία. Συνιστά μια συνειδητή παιδαγωγική επιλογή που ενσωματώνει το «Α» του STEAM στον πυρήνα του εκπαιδευτικού σχεδιασμού, αντί να το αντιμετωπίζει ως μια επιφανειακή, εξωτερική προσθήκη.

Σχήμα 2.1

Αισθητική steampunk.



Σημείωση. Από freepik.com

2.2 Παιχνιδοποίηση και *Escape Rooms* στην Εκπαίδευση

2.2.1 Παιγνιώδης Μάθηση

Η Παιγνιώδης Μάθηση (Game-Based Learning) αποτελεί μια εκπαιδευτική προσέγγιση που αξιοποιεί στοιχεία σχεδιασμού παιχνιδιών —όπως κανόνες, στόχοι, ανταμοιβές, αφήγηση και υγιής ανταγωνισμός— για να αυξήσει το κίνητρο, την εμπλοκή και τα μαθησιακά αποτελέσματα των εκπαιδευόμενων. Είναι σημαντικό να διακρίνεται από την *παιχνιδοποίηση* (gamification). Η παιχνιδοποίηση αφορά την εφαρμογή μεμονωμένων παιγνιωδών μηχανισμών (π.χ. πόντοι, κονκάρδες) σε μη παιγνιώδη πλαίσια, ενώ η παιγνιώδης μάθηση αξιοποιεί ένα ολοκληρωμένο παιχνίδι ως τον κύριο φορέα της μαθησιακής εμπειρίας (Järveläinen & Paavilainen-Mäntymäki, 2019).

Η σχετική βιβλιογραφία τεκμηριώνει εκτενώς ότι η παιγνιώδης μάθηση μπορεί να ενισχύσει σημαντικά την εμπλοκή, ιδίως σε γνωστικά αντικείμενα που οι μαθητές συχνά θεωρούν δυσνόητα ή αδιάφορα, όπως οι Φυσικές Επιστήμες και η Τεχνολογία (Porona & Paunova-Hubenova, 2025). Παράλληλα, αποτελεί καταλύτη για την ανάπτυξη δεξιοτήτων του 21ου αιώνα (κριτική σκέψη, επικοινωνία, συνεργασία και δημιουργικότητα).

2.2.2 Εκπαιδευτικά *Escape Rooms* και *Escape Boxes*

Μία από τις πλέον καινοτόμες μορφές παιγνιώδους μάθησης στη σύγχρονη εκπαίδευση είναι τα Εκπαιδευτικά Δωμάτια Απόδρασης (Educational Escape Rooms). Πρόκειται για συνεργατικά παιχνίδια ζωντανής δράσης, στα οποία οι παίκτες καλούνται να ανακαλύψουν στοιχεία, να λύσουν γρίφους και να εκτελέσουν συγκεκριμένες εργασίες προκειμένου να επιτύχουν έναν στόχο (π.χ. «απόδραση») μέσα σε προκαθορισμένο χρόνο (Nicholson, 2018). Η συστηματική ανασκόπηση των Veldkamp et al. (2020) κατέδειξε ότι τα εκπαιδευτικά escape rooms καλλιεργούν άμεσα την κριτική σκέψη, την επίλυση προβλήματος υπό χρονική πίεση και την ομαδική επικοινωνία, λειτουργώντας ως αποδοτικό «όχημα» επίτευξης μαθησιακών στόχων.

Ωστόσο, οι χωροταξικοί και οικονομικοί περιορισμοί ενός μόνιμου escape room σε μια σχολική μονάδα επιλύονται μέσω των *escape boxes*. Πρόκειται για φορητές, φυσικές κατασκευές με ενσωματωμένους γρίφους, σχεδιασμένες σε συμπαγείς διαστάσεις, ώστε να μεταφέρονται και να χρησιμοποιούνται σε οποιοδήποτε εκπαιδευτικό περιβάλλον (Borrego et

al., 2017). Τα escape boxes έχουν χαμηλότερο κόστος κατασκευής (budget-friendly) συγκριτικά με τη μετατροπή μιας ολόκληρης αίθουσας και διατηρούν όλα τα παιδαγωγικά πλεονεκτήματα των escape rooms (εμπλοκή, συνεργασία, αφήγηση), ενώ ταυτόχρονα προσφέρουν πρακτικότητα και δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης (Veldkamp et al., 2020).

Κομβικό ρόλο στη σχεδίαση εκπαιδευτικών escape rooms και boxes διαδραματίζει η αφηγηματική δομή (narrative framework). Η αφήγηση δημιουργεί συναισθηματική δέσμευση, προσδίδει νόημα στη διαδικασία επίλυσης των γρίφων και μετατρέπει την εκπαιδευτική δραστηριότητα σε εμπειρία εμπύθισης. Αυτό διευκολύνει τη δημιουργία συνθηκών «ροής» (flow), κατά την έννοια του Csikszentmihalyi (1990), οι οποίες ευνοούν την εις βάθος μάθηση. Η αξιοποίηση σεναρίων με ισχυρό θεματικό πλαίσιο, όπως το steampunk, ενισχύει περαιτέρω αυτή τη διαδικασία, παρέχοντας στους μαθητές σαφή κίνητρα δράσης και ρόλους που τονώνουν την αίσθηση αυτονομίας και επάρκειας (Järveläinen & Paavilainen-Mäntymäki, 2019).

Ειδικότερα στο πεδίο της STEAM εκπαίδευσης, αυτές οι μορφές δραστηριοτήτων αναδεικνύονται ως ιδανικά εργαλεία διεπιστημονικής μάθησης. Επιτρέπουν την ταυτόχρονη ενεργοποίηση γνώσεων και δεξιοτήτων από διαφορετικά γνωστικά πεδία (Karageorgiou et al., 2020). Οι γρίφοι μπορούν να σχεδιαστούν έτσι ώστε η επίλυσή τους να προϋποθέτει τον συνδυασμό μαθηματικής λογικής, φυσικών νόμων, τεχνολογικής κατανόησης και δημιουργικής σκέψης, υλοποιώντας έμπρακτα τη διεπιστημονική φύση του STEAM (Lathwesen & Belova, 2021).

2.3 To Arduino και το Physical Computing

2.3.1 Physical Computing στην Εκπαίδευση

Ο όρος *Physical Computing* (Φυσικός Υπολογισμός) αναφέρεται στον σχεδιασμό και τη δημιουργία διαδραστικών φυσικών συστημάτων που «αντιλαμβάνονται» τον πραγματικό κόσμο μέσω αισθητήρων και ανταποκρίνονται σε αυτόν μέσω ενεργοποιητών (κινητήρες), ήχου, φωτισμού ή άλλων ψηφιακών εξόδων (Roumen & Fernaeus, 2021). Στο εκπαιδευτικό πλαίσιο, το Physical Computing αποτελεί ένα ισχυρό μέσο γεφύρωσης της αφηρημένης θεωρίας με την πρακτική εφαρμογή. Οι μαθητές αλληλεπιδρούν άμεσα με φυσικά συστήματα

και παρατηρούν τα αποτελέσματα του προγραμματιστικού τους κώδικα να εκδηλώνονται στον πραγματικό, φυσικό χώρο.

Η παιδαγωγική ενσωμάτωση του Φυσικού Υπολογισμού εδράζεται άμεσα στις αρχές του Κατασκευαστικού Εποικοδομητισμού (Constructionism) του Seymour Papert (1980). Σύμφωνα με τον Papert, η μάθηση είναι δραστικά πιο αποτελεσματική όταν οι μαθητές εμπλέκονται ενεργά στην κατασκευή και χρήση απτών, πραγματικών αντικειμένων που έχουν νόημα για τους ίδιους. Μέσω αυτής της προσέγγισης, οι εκπαιδευόμενοι δεν είναι παθητικοί δέκτες πληροφοριών, αλλά ενεργοί οικοδόμοι της γνώσης μέσω της δράσης, του πειραματισμού και της δημιουργίας.

2.3.2 Η Πλατφόρμα Arduino

Η πλατφόρμα Arduino αποτελεί ένα οικοσύστημα μικροελεγκτών ανοιχτού κώδικα που έχει καθιερωθεί παγκοσμίως ως το πλέον διαδεδομένο εργαλείο Physical Computing για εκπαιδευτικούς σκοπούς (Roumen & Fernaeus, 2021). Τα κύρια χαρακτηριστικά που ευθύνονται για την ευρεία αποδοχή της στην εκπαίδευση είναι:

- **Χαμηλό κόστος:** Η προσιτή τιμή του υλικού επιτρέπει την υλοποίηση projects ακόμα και σε σχολεία με περιορισμένους πόρους.
- **Ανοιχτός κώδικας (Open Source):** Το υλικό (hardware) και το λογισμικό (software) διατίθενται ελεύθερα, ενθαρρύνοντας την ελεύθερη τροποποίηση και διαμοιρασμό γνώσης.
- **Εκτεταμένη κοινότητα:** Υποστηρίζεται από μια τεράστια, παγκόσμια κοινότητα χρηστών, δημιουργών και εκπαιδευτικών, που παρέχει πληθώρα παραδειγμάτων (tutorials) και διδακτικού υλικού.
- **Ευελιξία και επεκτασιμότητα:** Παρουσιάζει εκτεταμένη συμβατότητα με εκατοντάδες αισθητήρες, ενεργοποιητές και ηλεκτρονικές μονάδες (modules), επιτρέποντας τον σχεδιασμό εξαιρετικά ποικίλων διαδραστικών συστημάτων.

Στο πλαίσιο της STEAM εκπαίδευσης, η αξιοποίηση του Arduino έχει τεκμηριωθεί ως μια άκρως αποτελεσματική μέθοδος για την ανάπτυξη της υπολογιστικής σκέψης, την κατανόηση φυσικών φαινομένων και την προώθηση του τεχνολογικού εγγραμματισμού (Marín-Marín et al., 2024).

2.3.3 Arduino και Escape Boxes

Στον σχεδιασμό των Escape Boxes, ο μικροελεγκτής Arduino και το δίκτυο των περιφερειακών ηλεκτρονικών εξαρτημάτων αποτελούν τον «εγκέφαλο» ενός έξυπνου, διαδραστικού συστήματος. Η προσθήκη αυτού του τεχνολογικού επιπέδου αναβαθμίζει τη δραστηριότητα από ένα απλό μηχανικό παιχνίδι αναλογικών κλειδαριών σε ένα σύγχρονο, πολυαισθητηριακό εκπαιδευτικό περιβάλλον. Οι μαθητές αλληλεπιδρούν με το σύστημα μεταβάλλοντας αναλογικές τιμές (μέσω ποτενσιόμετρων), αλλάζοντας τη θέση διακοπών, τοποθετώντας αντικείμενα (με χρήση τεχνολογίας RFID) ή καλύπτοντας αισθητήρες φωτός. Κάθε τέτοια φυσική δράση καταγράφεται και ενεργοποιεί αντίστοιχες ψηφιακές εξόδους (π.χ. ενεργοποίηση LED, αναπαραγωγή ήχου, άνοιγμα ηλεκτρομαγνητικής κλειδαριάς μέσω ρελέ).

Η στοχευμένη ενσωμάτωση πολυμέσων, όπως ο δυναμικός φωτισμός (έξυπνα Neopixel LEDs) και η ηχητική αφήγηση (μέσω πλακετών όπως το DFPlayer Mini), μετατρέπει το Escape Box σε μια ολοκληρωμένη, καθηλωτική εμπειρία. Η διαχείριση της πολύπλοκης λογικής πίσω από την ταυτόχρονη λειτουργία πολλαπλών γρίφων επιτυγχάνεται τεχνικά μέσω της χρήσης Μηχανών Πεπερασμένων Καταστάσεων (Finite State Machines). Αυτή η αρχιτεκτονική λογισμικού επιτρέπει την αξιόπιστη, ταυτόχρονη διαχείριση πολλών εισόδων και εξόδων (non-blocking code), διασφαλίζοντας την ομαλή και απρόσκοπτη ροή του παιχνιδιού, χωρίς τεχνικές καθυστερήσεις.

2.4 Απτή και Ενσώματη Διάδραση ως Θεωρητικό Πλαίσιο Σχεδιασμού

2.4.1 Από το Γραφικό στο Απτό

Η κλασική παράδοση του Human-Computer Interaction (HCI) εστίασε κατά κύριο λόγο στη γραφική διεπαφή χρήστη (Graphical User Interface — GUI), στην οποία η αλληλεπίδραση του χρήστη με το σύστημα γίνεται μέσω οθόνης, πληκτρολογίου και ποντικιού. Ωστόσο, από τα τέλη της δεκαετίας του 1990, ερευνητές του χώρου άρχισαν να διερευνούν εναλλακτικά παραδείγματα διάδρασης που αξιοποιούν τον φυσικό κόσμο αλλά και τη σωματική εμπειρία του χρήστη ως κύριο μέσο επικοινωνίας με το ψηφιακό σύστημα.

Οι Ishii & Ullmer (1997) εισήγαγαν την έννοια των *Tangible Bits*, ορίζοντας ένα νέο παράδειγμα διάδρασης στο οποίο τα ψηφιακά δεδομένα αποκτούν φυσική υπόσταση μέσω απτών αντικειμένων και αρχιτεκτονικών επιφανειών. Στο πλαίσιο αυτό, ο χρήστης αλληλεπιδρά με πληροφορία όχι μέσω αφηρημένων συμβόλων σε οθόνη, αλλά μέσω χειραπτών αντικειμένων που φέρουν ψηφιακές ιδιότητες. Η θεμελιώδης αρχή των *Tangible Bits* — η σύζευξη φυσικής αναπαράστασης και ψηφιακής λειτουργίας — αποτελεί ακριβώς το σχεδιαστικό θεμέλιο του παρόντος Escape Box: κάθε φυσικό αντικείμενο (ο ίδιος ο κύβος, ένας διακόπτης, ένα κουμπί) λειτουργεί ταυτόχρονα ως απτό σύμβολο και ως ψηφιακή είσοδος στο σύστημα Arduino.

2.4.2 Πλαίσιο *Tangible Interaction*

Οι Hornecker & Buur (2006) ανέπτυξαν ένα συστηματικό πλαίσιο ανάλυσης της απτής διάδρασης (*Tangible Interaction Framework*), το οποίο οργανώνεται γύρω από τέσσερα αλληλένδετα θέματα:

α) *Tangible Manipulation* — ο άμεσος χειρισμός φυσικών αντικειμένων ως μέσο ελέγχου του συστήματος. Στο Escape Box, οι μαθητές χειρίζονται διακόπτες, κουμπιά και τον κύβο με τα χέρια τους, χωρίς να απαιτείται ενδιάμεση αφηρημένη αναπαράσταση.

β) *Space for Interaction* — η οργάνωση του φυσικού χώρου ως μέρος της διαδραστικής εμπειρίας. Το escape box ορίζει έναν κοινό, κεντρικό χώρο γύρω από τον οποίο οργανώνεται η συνεργατική δράση των μαθητών.

γ) *Embodied Facilitation* — ο τρόπος με τον οποίο η φυσική διάταξη των αντικειμένων κατευθύνει και διευκολύνει τη συνεργασία. Η τοποθέτηση των γρίφων στην επιφάνεια του box ενθαρρύνει την ταυτόχρονη εμπλοκή πολλαπλών χρηστών σε διαφορετικούς γρίφους.

δ) *Expressive Representation* — η αισθητική και συμβολική διάσταση των απτών αντικειμένων. Στο Escape Box, η steampunk αισθητική δεν επιτελεί διακοσμητικό ρόλο, αλλά λειτουργεί ως συνεκτικό σύστημα σημείων που υποστηρίζει την αφηγηματική συνοχή και διαμορφώνει τον τρόπο με τον οποίο οι μαθητές αποδίδουν νόημα στην εμπειρία τους.

Το πλαίσιο των Hornecker & Buur (2006) είναι ιδιαίτερα κατάλληλο για την ανάλυση του παρόντος τεχνουργήματος, καθώς σχεδιάστηκε ειδικά για συνεργατικά, χειραπτά συστήματα — ακριβώς η κατηγορία στην οποία ανήκει το *Escape Box*.

2.4.3 Ενσώματη Διάδραση

Ο Dourish (2001) επεκτείνει τη θεώρηση της απτής διάδρασης εισάγοντας την έννοια της *embodied interaction* (ενσώματης αλληλεπίδρασης). Βασιζόμενος στη φαινομενολογική παράδοση του Heidegger και του Merleau-Ponty, ο Dourish υποστηρίζει ότι η αλληλεπίδραση με τεχνολογικά συστήματα δεν είναι απλώς γνωστική διαδικασία, αλλά πρωτίστως *σωματική και κοινωνική πράξη*: ο χρήστης δεν «χρησιμοποιεί» ένα εργαλείο από απόσταση, αλλά το «κατοικεί» μέσω της σωματικής του παρουσίας και δράσης.

Στο πλαίσιο του *Escape Box*, η ενσώματη διάδραση εκδηλώνεται με πολλαπλούς τρόπους: οι μαθητές δεν παρατηρούν παθητικά ένα αποτέλεσμα σε οθόνη, αλλά δρουν σωματικά — αγγίζουν, πιέζουν, γυρίζουν, μετακινούν — και η δράση αυτή παράγει άμεσα αντιληπτό αποτέλεσμα (φως, ήχος, ξεκλείδωμα γρίφου). Η αμεσότητα της ανατροφοδότησης (άμεση οπτικοακουστική απόκριση σε κάθε σωματική πράξη) ενισχύει αυτό που ο Dourish ορίζει ως «αίσθηση παρουσίας» στον κόσμο του συστήματος — κομβικό στοιχείο για τη δημιουργία εμπύθισης (*immersion*) σε εκπαιδευτικά παιχνίδια.

2.4.4 Σύνδεση με τον Σχεδιασμό του *Escape Box*

Η συνδυαστική αξιοποίηση των τριών θεωρητικών πλαισίων — Tangible Bits (Ishii & Ullmer, 1997), Tangible Interaction Framework (Hornecker & Buur, 2006) και Embodied Interaction (Dourish, 2001) — παρέχει μια συνεκτική θεωρητική βάση για τον σχεδιασμό του παρόντος τεχνουργήματος. Τα τρία πλαίσια συγκλίνουν σε μια κοινή αρχή: η φυσική αλληλεπίδραση με απτά αντικείμενα δεν αποτελεί απλώς εναλλακτική της ψηφιακής διεπαφής, αλλά ανώτερη μορφή εμπλοκής για μαθησιακά περιβάλλοντα που απαιτούν συνεργασία, κριτική σκέψη και ενεργό συμμετοχή.

Πίνακας 2.1

Θεωρητικά πλαίσια απτής διάδρασης και εφαρμογή τους στον σχεδιασμό του Escape Box.

Θεωρητικό Πλαίσιο	Εφαρμογή στο Escape Box
Tangible Bits (Ishii & Ullmer)	Φυσικά αντικείμενα ως ψηφιακές εισοδοί
Tangible Interaction Framework (Hornecker & Buur)	Συνεργατική χειραπτή δράση γύρω από κοινό χώρο
Embodied Interaction (Dourish)	Σωματική πράξη → άμεση ανατροφοδότηση → εμπύθιση

Με βάση το θεωρητικό πλαίσιο που παρουσιάστηκε, το επόμενο κεφάλαιο περιγράφει τη μεθοδολογία σχεδιασμού του Escape Box, αναλύοντας το αφηγηματικό σενάριο, τους μαθησιακούς στόχους και τη δομή των γρίφων, ώστε το Escape Box να μην αποτελεί απλώς μια «έξυπνη κατασκευή» με Arduino, αλλά ένα σύστημα απτής και ενσώματης διάδρασης που ευθυγραμμίζεται με κατεστημένες θεωρητικές αρχές του HCI και του Interaction Design.

2.4.5 Αρχές Σχεδιασμού Διάδρασης κατά Norman

Συμπληρωματικά προς τα πλαίσια της απτής και ενσώματης διάδρασης, ο Norman (2013) προσφέρει ένα σύνολο αρχών σχεδιασμού που αφορούν τον τρόπο με τον οποίο ο χρήστης κατανοεί και χειρίζεται ένα σύστημα. Οι αρχές αυτές, διατυπωμένες αρχικά στο έργο *The Design of Everyday Things*, αποτελούν σήμερα θεμελιώδες εργαλείο αξιολόγησης και σχεδιασμού διαδραστικών συστημάτων, συμπεριλαμβανομένων και των εκπαιδευτικών.

Κεντρική έννοια αποτελούν τα *affordances* — οι ιδιότητες ενός αντικειμένου που καθορίζουν με ποιον τρόπο μπορεί να χρησιμοποιηθεί — και *signifiers*, δηλαδή τα αντιληπτά σήματα που υποδηλώνουν στον χρήστη πώς να δράσει. Η διάκριση αυτή είναι κρίσιμη: ένα αντικείμενο μπορεί να έχει συγκεκριμένα *affordances*, αλλά αν δεν υπάρχουν αντίστοιχα *signifiers*, ο χρήστης δεν θα τα αντιληφθεί. Συνδεδεμένη έννοια είναι το *mapping* — η αντιστοίχιση μεταξύ της πράξης του χρήστη και του αποτελέσματος του συστήματος. Όταν το *mapping* είναι φυσικό και αναλογικό, η μάθηση της διεπαφής γίνεται διαισθητικά· όταν είναι αυθαίρετο, αυξάνεται ο γνωστικός φόρτος. Τέλος, το *feedback* αναφέρεται στην άμεση, αντιληπτή

ανατροφοδότηση που λαμβάνει ο χρήστης για κάθε πράξη του, επιβεβαιώνοντας ότι το σύστημα τον «άκουσε» και ανταποκρίθηκε.

Ιδιαίτερη σημασία έχουν οι έννοιες των *gulfs of execution and evaluation*. Το «χάσμα εκτέλεσης» (*gulf of execution*) αναφέρεται στο κενό που υπάρχει μεταξύ της πρόθεσης του χρήστη και της δυνατότητάς του να μεταφράσει την πρόθεση αυτή σε πράξη μέσω του συστήματος· εμφανίζεται όταν τα *affordances* και *signifiers* δεν είναι ξεκάθαρα. Το «χάσμα αξιολόγησης» (*gulf of evaluation*) αναφέρεται στο κενό μεταξύ της ανατροφοδότησης που παρέχει το σύστημα και της ικανότητας του χρήστη να την ερμηνεύσει και να την αντιστοιχίσει με την αρχική του πρόθεση· εμφανίζεται όταν το *feedback* υπάρχει μεν, αλλά δεν είναι επαρκώς σαφές ή εννοιολογικά συνδεδεμένο με τη δράση που προηγήθηκε (Norman, 2013).

3. Μεθοδολογία Σχεδιασμού και Παιδαγωγικό Σενάριο

Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τον παιδαγωγικό σχεδιασμό του Escape Box. Αρχικά παρουσιάζεται το προφίλ της ομάδας-στόχου και οι μαθησιακοί στόχοι ανά γνωστικό πεδίο STEAM. Στη συνέχεια, αναπτύσσεται το αφηγηματικό σενάριο steampunk που λειτουργεί ως πλαίσιο εμπύθισης και, τέλος, παρουσιάζεται η δομή και η ροή της δραστηριότητας.

3.1 Προφίλ Ομάδας-Στόχου

Η δραστηριότητα σχεδιάστηκε για μαθητές Γ' Λυκείου (17–18 ετών, με τους συμμετέχοντες της πιλοτικής εφαρμογής να είναι άνω των 18 ετών). Σε αυτή τη βαθμίδα, οι μαθητές έχουν ήδη διδαχθεί βασικά γνωστικά αντικείμενα των Φυσικών Επιστημών, των Μαθηματικών και της Πληροφορικής, τα οποία αποτελούν το απαραίτητο υπόβαθρο για την κατανόηση των εννοιών που ενσωματώνουν οι γρίφοι. Η επιλογή της συγκεκριμένης ομάδας-στόχου κρίθηκε σκόπιμη για δύο λόγους: αφενός, οι μαθητές διαθέτουν επαρκή ωριμότητα και γνωστικό υπόβαθρο για να αντιμετωπίσουν συνδυαστικούς γρίφους STEAM· αφετέρου, βρίσκονται σε ένα ηλικιακό και ακαδημαϊκό στάδιο όπου το κίνητρο και η εμπλοκή τείνουν να μειώνονται (κυρίως λόγω της πίεσης των Πανελλαδικών Εξετάσεων), γεγονός που καθιστά ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα τη μελέτη της επίδρασης μιας τέτοιας βιωματικής δραστηριότητας.

Η δραστηριότητα απευθύνεται σε ομάδες 2 μαθητών ή σε μεμονωμένα άτομα (ατομική συμμετοχή) και έχει συνολική διάρκεια 45–60 λεπτά, όντας συμβατή με τον χρόνο μιας τυπικής διδακτικής ώρας. Οι γρίφοι είναι σχεδιασμένοι ώστε να επιλύονται μέσω φυσικής αλληλεπίδρασης και λογικής επαγωγής, χωρίς να απαιτείται προηγούμενη γνώση ηλεκτρονικής ή προγραμματισμού από τους συμμετέχοντες. Ο εκπαιδευτικός (ο ερευνητής στη δική μας περίπτωση) αναλαμβάνει ρόλο διευκολυντή (facilitator) και όχι παραδοσιακού μεταδότη γνώσης. Συγκεκριμένα, παρακολουθεί διακριτικά τους μαθητές, παρέχει ελεγχόμενες υποδείξεις (hints) μόνο εάν το κρίνει απολύτως απαραίτητο, και διευθύνει τη συζήτηση ανατροφοδότησης (debriefing) μετά το πέρας της δραστηριότητας.

3.2 Μαθησιακοί Στόχοι ανά Γνωστικό Πεδίο STEAM

Σύμφωνα με τις βέλτιστες πρακτικές σχεδιασμού εκπαιδευτικών Escape Rooms, οι μαθησιακοί στόχοι πρέπει να είναι σαφείς, μετρήσιμοι και να αποτελούν τον κεντρικό άξονα γύρω από τον οποίο δομούνται οι γρίφοι (Clarke et al., 2017). Για το παρόν Escape Box, οι στόχοι διατυπώνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 3.1

Στόχοι ανά πεδίο STEAM.

Πεδίο	Μαθησιακός Στόχος
S (Science)	Κατανόηση εννοιών αναλογικής μέτρησης, φυσικών μεγεθών (φωτισμός, πίεση, αντίσταση) και λειτουργίας των αισθητήρων
T (Technology)	Κατανόηση της βασικής λειτουργίας ηλεκτρονικών συστημάτων, μικροελεγκτών και της ψηφιακής επεξεργασίας σήματος.
E (Engineering)	Κατανόηση της λογικής σχεδιασμού ενός συστήματος (είσοδος/αισθητήρας → επεξεργασία → απόκριση/έξοδος).
A (Art)	Εμβύθιση στη steampunk αισθητική, ανάπτυξη φαντασίας και δημιουργικής σκέψης μέσω της αφήγησης και των οπτικοακουστικών διεπαφών.
M (Mathematics)	Επίλυση λογικών ακολουθιών, ανάγνωση και ερμηνεία αναλογικών ενδείξεων, και κατανόηση των σχέσεων μεταξύ φυσικομαθηματικών μεγεθών.

Παράλληλα με τους γνωστικούς στόχους, η δραστηριότητα αποσκοπεί στην ανάπτυξη κομβικών δεξιοτήτων του 21ου αιώνα. Σε αυτές συγκαταλέγονται η συνεργατική επίλυση προβλημάτων, η αποτελεσματική επικοινωνία, η κατανομή ρόλων εντός της ομάδας, η κριτική σκέψη υπό συνθήκες χρονικής πίεσης, καθώς και η ανάπτυξη ανθεκτικότητας απέναντι στην αποτυχία (resilience), καθώς οι μαθητές ενδέχεται να χρειαστεί να αναθεωρήσουν και να επανεκκινήσουν τη στρατηγική τους κατά την επίλυση των γρίφων.

3.3 Αφηγηματικό Σενάριο Steampunk

Η αφηγηματική δομή αποτελεί κρίσιμο στοιχείο του σχεδιασμού, καθώς ενισχύει τη συναισθηματική δέσμευση των συμμετεχόντων, προσδίδει νόημα στους γρίφους και μετατρέπει την απλή εκπαιδευτική δραστηριότητα σε εμπειρία εμπύθισης (Veldkamp et al., 2020). Σύμφωνα με τον Nicholson (2018), ένα ισχυρό αφηγηματικό πλαίσιο αποτελεί τον βασικότερο πυλώνα ενός εκπαιδευτικού escape room, καθώς παρέχει στους παίκτες ένα σαφές κίνητρο δράσης και δημιουργεί την απαραίτητη αίσθηση του επείγοντος.

Το αφηγηματικό σενάριο (βλ. Παράρτημα Γ) που δημιουργήθηκε για το Escape Box έχει ως εξής:

Σε μια ξεχασμένη αποθήκη του πανεπιστημίου, ανακαλύπτεται ένας μυστηριώδης κύβος ηλικίας περίπου 150 ετών. Κατασκευασμένος από ξύλο και μέταλλο, φέρει περίπλοκους μηχανισμούς στις πλευρές του. Στην άνω όψη δεσπόζει ένας κυκλικός μηχανισμός με φωτεινές ενδείξεις και τέσσερα χαραγμένα σύμβολα, τα οποία αναπαριστούν τα κλασικά στοιχεία της φύσης: σπείρες ανέμου (Αέρας), φλόγες (Φωτιά), κυματιστές γραμμές (Νερό) και κρυσταλλικές δομές (Γη).

Στις τέσσερις πλαϊνές πλευρές του κύβου κρύβονται αντίστοιχοι μηχανισμοί-γρίφοι, οι οποίοι «ξυπνούν» αυτόματα με την μετακίνηση της κατασκευής ή το πάτημα πλήκτρων. Εκείνη τη στιγμή, ο κύκλος των φωτεινών ενδείξεων μετασχηματίζεται σε ένα μηχανικό ρολόι που αρχίζει να μετρά αντίστροφα. Εάν ο χρόνος μηδενιστεί χωρίς να έχουν λυθεί και οι τέσσερις γρίφοι, η συσσωρευμένη ενέργεια των μηχανισμών απελευθερώνεται ανεξέλεγκτα: οι γρίφοι επαναφέρονται στην αρχική τους κατάσταση, ο κύβος σβήνει —και μια νέα φωτεινή ένδειξη προστίθεται στον κεντρικό κύκλο. Υπάρχει η θεωρία ότι, αν ο κύκλος γεμίσει πλήρως με ενδείξεις αποτυχίας, ο κύβος θα αυτοκαταστραφεί και η γνώση που κρύβει θα χαθεί για πάντα.

Αντίθετα, κάθε ομάδα που καταφέρνει να λύσει και τους τέσσερις γρίφους εντός του χρονικού ορίου, σβήνει μία ένδειξη από τον κύκλο —και πλησιάζει ένα βήμα πιο κοντά στην αποκάλυψη του μυστικού που φυλάσσει ο κύβος για περισσότερο από έναν αιώνα.

Το παραπάνω σενάριο παραδίδεται σε έντυπη μορφή στους μαθητές πριν την έναρξη (βλ. Παράρτημα). Η επιλογή των τεσσάρων κλασικών στοιχείων (Αέρας, Φωτιά, Νερό, Γη) ως θεματικού καμβά των γρίφων δεν είναι τυχαία. Αντλεί έμπνευση από τη φυσική, τη φιλοσοφία και την επιστημονική παράδοση της βικτωριανής εποχής, ενισχύοντας τη συνοχή του steampunk αφηγηματικού σύμπαντος.

3.4 Σχεδιασμός Γρίφων και Αντιστοίχισή τους με Στόχους

Σύμφωνα με τις βέλτιστες πρακτικές, οι γρίφοι των Escape Boxes πρέπει να επικεντρώνονται στη λογική και όχι στην απλή απομνημόνευση δεδομένων, να αξιοποιούν οπτικά στοιχεία, να ευνοούν τη συνεργασία και να ποικίλλουν ως προς τον τύπο τους, ώστε να καλύπτουν διαφορετικά μαθησιακά στυλ (Borrego et al., 2017· Lathwesen & Belova, 2021). Οι τέσσερις γρίφοι που αναπτύχθηκαν (και οι οποίοι αναλύονται τεχνικά στο Κεφάλαιο 4) συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 3.2

Οι τέσσερις γρίφοι του escape box.

Τίτλος Γρίφου (Στοιχείο)	Steampunk Στοιχεία / Εξοπλισμός	Κύριο Πεδίο STEAM	Τύπος Αλληλεπίδρασης
Αέρινη Λογική (Αέρας)	Μεταλλικοί διακόπτες, αγωγοί, λυχνίες	T / M / A	Επιλογή θέσης διακοπών, ανάγνωση ενδείξεων, ηχητική/οπτική ανατροφοδότηση
Το Φως της Φλόγας (Φωτιά)	Αναλογικά χειριστήρια (ποτενσιόμετρα), λαμπτήρες	S / M / A	Ρύθμιση ποτενσιόμετρων, αναγνώριση και ανάμιξη χρωμάτων, ήχος, φως
Ο Θάλαμος της Γης (Γη)	Περιστροφικός διακόπτης, λυχνίες, μανόμετρο	T / E / A	Περιστροφή διακόπτη, ανάγνωση ενδείξεων, ήχος, φως
Αντίσταση στη Ροή (Νερό)	Μεταλλικοί αγωγοί, αντιστάσεις, αναλογικό βολτόμετρο/αμπερόμετρο	M / A	Φυσική τοποθέτηση εξαρτημάτων, ανάγνωση ενδείξεων, ήχος, φως

Ο σχεδιασμός προβλέπει πως κάθε γρίφος αποτελεί μια ανεξάρτητη μονάδα. Επομένως, η ενδεχόμενη αποτυχία σε έναν γρίφο δεν «κλειδώνει» την προσπάθεια στους υπόλοιπους. Η επιλογή αυτή εξυπηρετεί έναν ξεκάθαρο παιδαγωγικό σκοπό: οι μαθητές δεν αποθαρρύνονται οριστικά από μια πιθανή αστοχία, αλλά διατηρούν τη δυνατότητα να μεταβούν σε άλλον γρίφο, διατηρώντας έτσι υψηλά τα επίπεδα εμπλοκής και εσωτερικού κινήτρου (Duggins, 2019).

3.4.1 Αντιστοίχιση Γρίφων με Μαθησιακούς Στόχους

Κάθε γρίφος σχεδιάστηκε για να εξυπηρετήσει συγκεκριμένους μαθησιακούς στόχους:

Αέρινη Λογική (Αέρας — T/M/A)

Ο μαθητής καλείται να αποκωδικοποιήσει έναν λογικό κανόνα βασισμένο σε οπτικές ενδείξεις και να τοποθετήσει τους μεταλλικούς διακόπτες στη σωστή διάταξη. Ο στόχος είναι η κατανόηση της έννοιας των *λογικών πράξεων* (AND, OR, NOT) και της βασικής αρχής εισόδου-εξόδου στα ηλεκτρονικά κυκλώματα.

Το Φως της Φλόγας (Φωτιά — S/M/A)

Ο μαθητής περιστρέφει ποτενσιόμετρα προκειμένου να επιτύχει συγκεκριμένες χρωματικές τιμές (χρωματικό μοντέλο RGB). Ο στόχος είναι η κατανόηση της *αναλογικής μέτρησης*, της συμπεριφοράς του φωτός (ανάμιξη χρωμάτων ως φυσικό φαινόμενο) και της διαδικασίας αντιστοίχισης θεωρητικών αριθμητικών τιμών σε απτά φυσικά μεγέθη.

Ο Θάλαμος της Γης (Γη — T/E/A)

Ο μαθητής χειρίζεται έναν ροοστάτη/περιστροφικό διακόπτη για τη ρύθμιση ενός αναλογικού μενόμετρου. Ο στόχος είναι η κατανόηση της έννοιας της *συνεχούς μεταβολής* ενός φυσικού μεγέθους και της λογικής *ελέγχου συστήματος* μέσω ανατροφοδότησης.

Αντίσταση στη Ροή (Νερό — M/A)

Ο μαθητής επιλέγει και συνδέει φυσικές αντιστάσεις σε ένα κύκλωμα, με σκοπό να επιτύχει συγκεκριμένες τιμές τάσης ή έντασης, τις οποίες παρακολουθεί σε αναλογικά όργανα (βολτόμετρο, αμπερόμετρο). Ο στόχος είναι η πρακτική, βιωματική κατανόηση του *Νόμου του Ohm* και των βασικών αρχών *συνδεσμολογίας αντιστάσεων* (εν σειρά / παράλληλα).

3.5 Δομή και Ροή της Δραστηριότητας

Η δραστηριότητα οργανώνεται σε τρεις διακριτές φάσεις, ακολουθώντας πιστά τα διεθνή πρότυπα σχεδιασμού εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων απόδρασης (Clarke et al., 2017· Botturi et al., 2021):

Φάση 1 — Προετοιμασία (10 λεπτά)

Ο ερευνητής/εκπαιδευτικός διανέμει το έντυπο σενάριο στους μαθητές, παρουσιάζει εν συντομία τους κανόνες (διαθέσιμος χρόνος, επιτρεπτοί τρόποι χειρισμού, κανόνες ασφαλείας για την προστασία του εξοπλισμού) και επιλύει τυχόν απορίες. Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης, το Escape Box βρίσκεται μπροστά στους μαθητές σε ανενεργή κατάσταση. Το παιχνίδι —και η αντίστροφη μέτρηση— ξεκινά με την πρώτη φυσική μετακίνηση του κουτιού ή με το πάτημα ενός εκ των πλήκτρων ελέγχου, μεταφέροντας άμεσα τους μαθητές μέσα στον κόσμο της αφήγησης.

Φάση 2 — Παιχνίδι (25–40 λεπτά)

Οι μαθητές εργάζονται ομαδικά ή ατομικά για την επίλυση των τεσσάρων γρίφων. Λόγω της ανεξάρτητης δομής των γρίφων, οι συμμετέχοντες είναι ελεύθεροι να επιλέξουν τη σειρά προσέγγισης. Οπτικά (LED, αναλογικές ενδείξεις) και ηχητικά σήματα παρέχουν συνεχή και άμεση ανατροφοδότηση (feedback) σχετικά με την επιτυχία ή την αποτυχία των κινήσεών τους, ενημερώνοντάς τους παράλληλα για τον υπολειπόμενο χρόνο. Σε αυτό το στάδιο, ο εκπαιδευτικός τηρεί στάση σιωπηλού παρατηρητή, παρεμβαίνοντας με μικρές υποδείξεις (hints) μόνο εάν το ζητήσουν οι μαθητές ή εάν παρατηρηθεί παρατεταμένο, μη παραγωγικό αδιέξοδο.

Φάση 3 — Ανατροφοδότηση (10 λεπτά)

Πρόκειται για μία εξαιρετικά κρίσιμη (συχνά παραλείπεται) φάση του εκπαιδευτικού παιχνιδιού. Ο εκπαιδευτικός συντονίζει μια δομημένη ανατροφοδότηση με τους μαθητές γύρω από τα εξής θέματα: α) τις στρατηγικές που υιοθετήθηκαν για τη λύση των γρίφων, β) τη σύνδεση των φυσικών ενεργειών με συγκεκριμένες έννοιες STEAM, και γ) τα συναισθήματα που τους προκάλεσε η εμπυθιστική εμπειρία. Ακούγονται επίσης προτάσεις βελτίωσης από τους ίδιους τους μαθητές. Η φάση αυτή αποτελεί τον καταλύτη που μετασχηματίζει την «εμπειρία του παιχνιδιού» σε συνειδητή «μαθησιακή εμπειρία», σύμφωνα με το μοντέλο

βιωματικής μάθησης του Kolb (1984), εξασφαλίζοντας την εδραίωση και τη γενίκευση της νέας γνώσης. Στο τέλος αυτής της φάσης, προβλέπεται η συμπλήρωση του σχετικού ερευνητικού ερωτηματολογίου από τους μαθητές.

4. Τεχνολογική Ανάπτυξη του Escape Box

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικά η τεχνολογική υλοποίηση του διαδραστικού Escape Box. Αρχικά περιγράφεται η αρχιτεκτονική του συστήματος (υλικό και λογισμικό), στη συνέχεια αναλύεται η ενσωμάτωση των πολυμέσων και η εφαρμογή της steampunk αισθητικής, και παρατίθεται η λεπτομερής τεχνική και παιδαγωγική ανάλυση κάθε γρίφου.

4.1 Αρχιτεκτονική Συστήματος και Λογισμικού

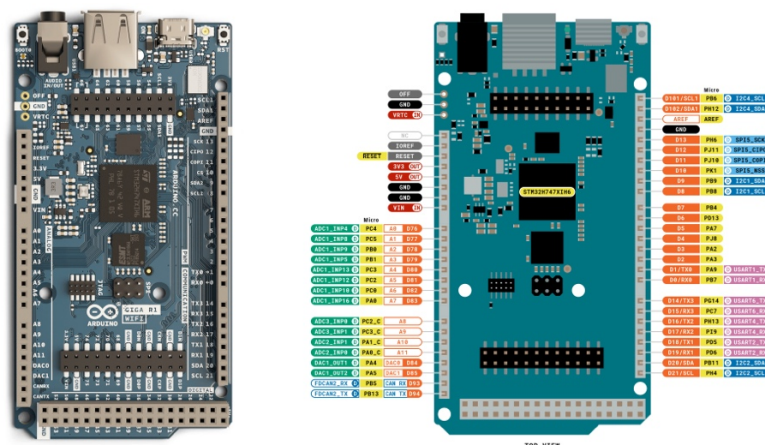
4.1.1 Επιλογή Μικροελεγκτή (Hardware)

Ο πυρήνας του συστήματος βασίζεται στον μικροελεγκτή *Arduino GIGA R1 WiFi*, ο οποίος επιλέχθηκε για τα εξής τεχνικά πλεονεκτήματα:

- **Μεγάλος αριθμός ψηφιακών και αναλογικών εισόδων/εξόδων (76 GPIO pins):** Κρίσιμη απαίτηση για την ταυτόχρονη υποστήριξη τεσσάρων ανεξάρτητων γρίφων, του κεντρικού χρονομέτρου και των πολλαπλών πολυμεσικών εξόδων (LED, ήχος, servo) χωρίς τη χρήση πολυπλεκτών, γεγονός που μειώνει την πολυπλοκότητα του κώδικα και τα πιθανά σημεία αστοχίας του υλικού (points of failure).
- **Υψηλή επεξεργαστική ισχύς:** Διαθέτει μικροελεγκτή STM32H747XI 32-bit διπλού πυρήνα, ο οποίος εξασφαλίζει την ταχύτατη και απρόσκοπτη εκτέλεση του κώδικα, ειδικά κατά την παράλληλη εκτέλεση πολλαπλών διεργασιών.

Σχήμα 4.1

Αριστερά, το *Arduino GIGA R1 WiFi*. Δεξιά, το διάγραμμα εισόδων/εξόδων.

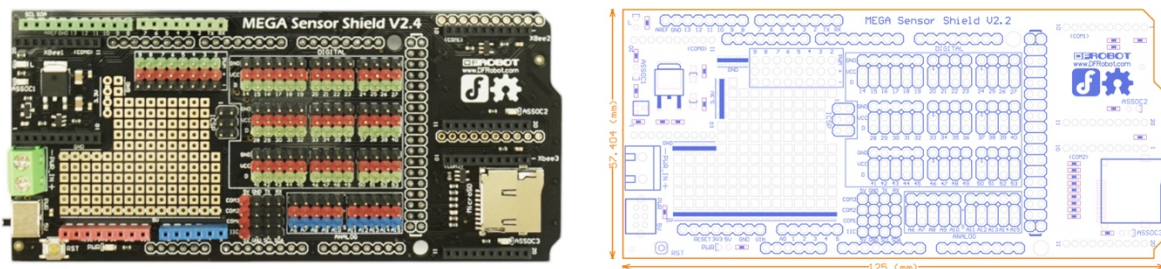


Σημείωση. Από <https://store.arduino.cc>

Για την ευκολότερη, ασφαλέστερη και πιο οργανωμένη διαχείριση των καλωδιώσεων εντός της κατασκευής, χρησιμοποιήθηκε η πλακέτα επέκτασης **Gravity IO Sensor Shield For Arduino Mega/Due**. Αυτή παρέχει τυποποιημένες υποδοχές τριών ακίδων (GND/VCC/Signal) για την άμεση σύνδεση κάθε αισθητήρα και ενεργοποιητή.

Σχήμα 4.2

Αριστερά, το MEGA Sensor Shield V2.4. Δεξιά, το διάγραμμα εισόδων/εξόδων.

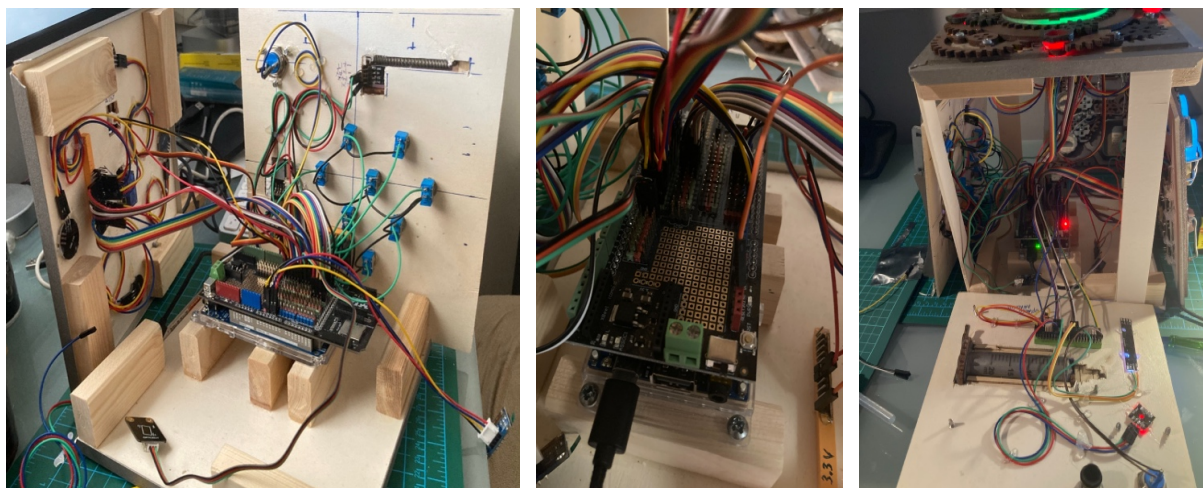


Σημείωση. Από <https://wiki.dfrobot.com>

Η υλοποίηση του Escape Box είχε αρκετές δυσκολίες, κυρίως σε σχέση με τις καλωδιώσεις (πλήθος και δυσκολία προσπέλασης) και την τελική συναρμολόγηση (βλ. Σχήμα 4.3). Στιγμιότυπα της υλοποίησης παρατίθενται στο Παράρτημα Δ.

Σχήμα 4.3

Υλοποίηση του escape box.



4.1.2 Αρχιτεκτονική Λογισμικού

Το λογισμικό (βλ. Παράρτημα Ε) αναπτύχθηκε σε Arduino IDE (MacOS version 2.3.9).

Για τη διαχείριση της πολύπλοκης λογικής του Escape Box —όπου πολλαπλοί γρίφοι λειτουργούν ταυτόχρονα, ενώ παράλληλα ελέγχονται χρονόμετρο, συστοιχίες LED και αναπαραγωγή ήχου— η ροή του προγράμματος βασίστηκε στη λογική των **Διακοπών (Interrupts)**. Οι διακοπές ενεργοποιούνται από τα πλήκτρα (push-buttons) ελέγχου κάθε γρίφου, επιτρέποντας την άμεση αξιολόγηση της λύσης χωρίς να παρεμποδίζεται η ροή του κεντρικού προγράμματος.

Η κατάσταση λειτουργίας κάθε γρίφου οργανώνεται βάσει μιας Μηχανής Πεπερασμένων Καταστάσεων (Finite State Machine), όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4.1

Καταστάσεις λειτουργίας κάθε γρίφου.

<i>ΑΝΕΝΕΡΓΟΣ</i> (<i>IDLE</i>)	Ο γρίφος είναι ανενεργός (πριν την ενεργοποίηση του κύβου ή μετά την επιτυχή επίλυσή του).
<i>ΕΝΕΡΓΟΣ</i> (<i>RUNNING</i>)	Ο γρίφος είναι ενεργός και αναμένει είσοδο από τον μαθητή.
<i>ΕΛΕΓΧΟΣ</i> (<i>CHECK</i>)	Ο μαθητής πάτησε το κουμπί ελέγχου — το σύστημα αξιολογεί την απάντηση.
<i>ΕΠΙΤΥΧΙΑ</i> (<i>SUCCESS</i>)	Ο γρίφος λύθηκε επιτυχώς (ενεργοποίηση πράσινου LED και ήχου επιτυχίας).
<i>ΑΠΟΤΥΧΙΑ</i> (<i>FAILURE</i>)	Η απόπειρα απέτυχε (ενεργοποίηση κόκκινου LED και ήχου αποτυχίας).

4.2 Ενσωμάτωση Πολυμέσων και Steampunk Αισθητική

Στο πλαίσιο της παρούσας κατασκευής, ο όρος «Πολυμέσα» αφορά τον συνδυασμό οπτικής αφήγησης, δυναμικού φωτισμού και αλληλεπιδραστικής αναπαραγωγής ήχου. Η οργανική ενσωμάτωση αυτών των στοιχείων στη steampunk αισθητική αποτέλεσε μια από τις βασικότερες σχεδιαστικές προκλήσεις, καθώς τα σύγχρονα ηλεκτρονικά εξαρτήματα (οθόνες, LED, αισθητήρες) έπρεπε να «καμουφλαριστούν» οπτικά, ώστε να συνάδουν με τον βικτωριανό-βιομηχανικό κόσμο του σεναρίου.

Εφαρμογή των αρχών του Norman: Τα φυσικά στοιχεία κάθε γρίφου — διακόπτες, κουμπιά, ποτενσιόμετρα — σχεδιάστηκαν ώστε να λειτουργούν ως *signifiers* που υποδηλώνουν διαισθητικά τον τρόπο αλληλεπίδρασης. Η οπτικοακουστική ανατροφοδότηση μέσω NeoPixel LED και ηχητικών σημάτων παρέχει άμεσο *feedback* για κάθε πράξη, ενώ το *mapping* μεταξύ χειρισμού και αποτελέσματος επιδιώχθηκε να είναι αναλογικό και άμεσο — η σωστή συνδυαστική ενεργοποίηση διακοπών οδηγεί άμεσα στην επίλυση του γρίφου — ώστε να ελαχιστοποιηθεί το χάσμα εκτέλεσης.

Οπτική ανατροφοδότηση: Η ένδειξη προόδου υλοποιήθηκε με χρήση διευθυνσιοδοτούμενων (addressable) RGB LED, τα οποία τοποθετήθηκαν πίσω από ημιδιαφανή υλικά και ρετρό καλύμματα. Προγραμματίστηκαν ώστε να εκπέμπουν παλλόμενες αποχρώσεις που προσομοιάζουν τη συμπεριφορά των λαμπτήρων πυρακτώσεως ή του φωτός της φωτιάς. Επιπλέον, κινητήρες servo χρησιμοποιήθηκαν για την κίνηση ακίδων ένδειξης σε κατασκευασμένα ρετρό «αναλογικά» όργανα.

Ακουστική εμβύθιση: Ο ήχος λειτουργεί ως ο κύριος φορέας αφήγησης και ανατροφοδότησης. Κάθε ενέργεια των μαθητών (έλεγχος γρίφου, επιτυχία, αποτυχία, μετάβαση σε νέα κατάσταση) συνοδεύεται από ένα χαρακτηριστικό, μηχανικό ηχητικό εφέ. Ταυτόχρονα, ο ήχος «τικ-τακ» του κεντρικού χρονομέτρου δημιουργεί μια συνεχή αίσθηση χρονικής πίεσης που κορυφώνει την εμπλοκή.

Φυσικό περίβλημα: Το εξωτερικό κέλυφος (enclosure) της κατασκευής υλοποιήθηκε από ξύλο λεύκας (πάχους 3mm, ιδανικό για προτυποποίηση), το οποίο βάφτηκε με αποχρώσεις που προσομοιάζουν παλαιωμένα μέταλλα (σκούρο καφέ, οξειδωμένος χαλκός, μαύρο).

Διακοσμητικές λεπτομέρειες, όπως χαραγμένα σύμβολα, ξύλινα γρανάζια διαφόρων μεγεθών, μεταλλικές γωνίες και μπρούτζινες συνδέσεις, ολοκλήρωσαν τη steampunk οπτική ταυτότητα του κύβου, ο οποίος έχει διάσταση ακμής 20 εκ.

Σχήμα 4.4

Steampunk αισθητική του escape box.



4.3 Ανάλυση και Υλοποίηση των Γρίφων

Ακολουθεί η αναλυτική τεχνική περιγραφή του κεντρικού χρονομέτρου και των τεσσάρων επιμέρους γρίφων:

4.3.1 Χρονόμετρο

Το χρονόμετρο στην άνω όψη του Escape Box αποτελεί τον κεντρικό μηχανισμό διαχείρισης χρόνου και ανατροφοδότησης της δραστηριότητας. Ενεργοποιείται αυτόματα, είτε με την πρώτη ανεπαίσθητη μετακίνηση του κύβου, είτε με το πάτημα οποιουδήποτε από τα τέσσερα πλήκτρα ελέγχου των γρίφων. Αυτή η λειτουργία αποτελεί μια συνειδητή σχεδιαστική επιλογή που βυθίζει άμεσα τον μαθητή στη λογική και στο αίσθημα του επείγοντος.

Λειτουργία

Πριν την ενεργοποίηση του παιχνιδιού, ένας κυκλικός δακτύλιος από 24 addressable RGB LEDs (WS2812B) απεικονίζει, με ξεθωριασμένο λευκό χρώμα, το πλήθος των «αποτυχημένων προσπαθειών» προηγούμενων ομάδων. Ο αφηγηματικός στόχος είναι να αποφευχθεί ο πλήρης φωτισμός του δακτυλίου, ο οποίος θα σήμαινε την «αυτοκαταστροφή» του κύβου.

Μετά την ενεργοποίηση, ο δακτύλιος απεικονίζει κυκλικά τον υπολειπόμενο χρόνο, με τα LED να ανάβουν σταδιακά. Η χρωματική κλίμακα μεταβαίνει σταδιακά (πράσινο → κίτρινο → πορτοκαλί → κόκκινο), παρέχοντας στους μαθητές άμεση και διαισθητική οπτική πληροφορία για τον υπολειπόμενο χρόνο. Σε περίπτωση λήξης του χρόνου (ολική αποτυχία), ο δακτύλιος αναβοσβήνει έντονα στο κόκκινο. Αντίθετα, στην περίπτωση έγκαιρης επίλυσης και των τεσσάρων γρίφων, αναβοσβήνει στο πράσινο, συνοδευόμενος πάντα από τα αντίστοιχα ηχητικά εφέ. Μετά τη λήξη της προσπάθειας, ο δακτύλιος επιστρέφει στην αρχική του κατάσταση απεικόνισης, ενσωματώνοντας το αποτέλεσμα (επιτυχία ή αποτυχία) της τρέχουσας ομάδας.

Περιμετρικά του χρονομέτρου, τέσσερα LED (4×WS2812B) υποδεικνύουν σε πραγματικό χρόνο την κατάσταση κάθε γρίφου: εκκρεμής (κόκκινο) ή επιλυμένος (πράσινο). Στο κέντρο, ένας δευτερολεπτοδείκτης ταλαντώνεται μέσω ενός Servo κινητήρα (SG90), παράγοντας τον μηχανικό ήχο ενός ρολογιού. Η κεντρική επιγραφή, «*Η γνώση πριν τον χρόνο φανερώνει τα*

μυστικά», συνδέει το παιχνίδι με τη μαθησιακή διαδικασία, υπογραμμίζοντας (κατά τον Vygotsky, 1978) τη σημασία της προηγούμενης γνώσης στην κατανόηση νέων φαινομένων.

Υλικό (Hardware)

LED Ring Large – 24×WS2812 5050 RGB × 1

LED Square – 4×WS2812 5050 RGB × 4

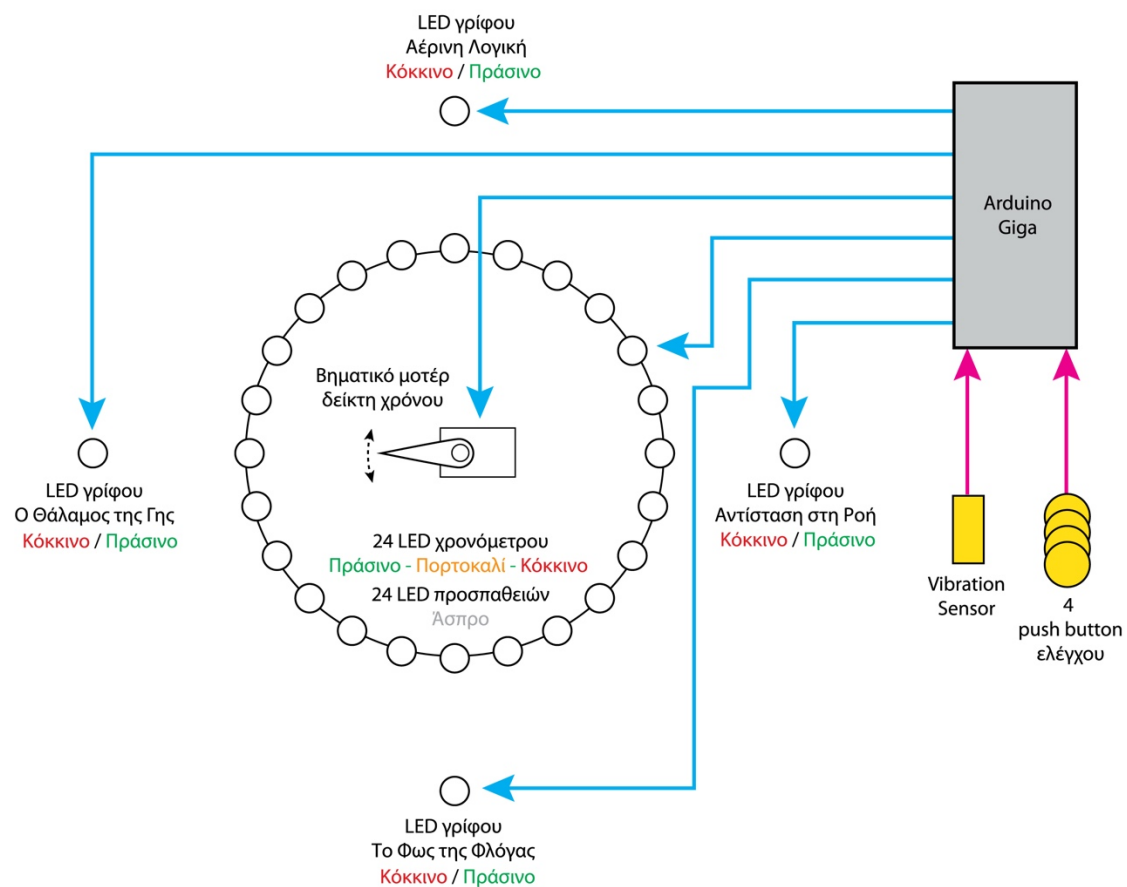
Waveshare SG90 Micro Servo 2.2kg·cm × 1

Buzzer Module × 1

DF Vibration Sensor × 1

Σχήμα 4.5

Σχηματικό διάγραμμα του χρονόμετρου.

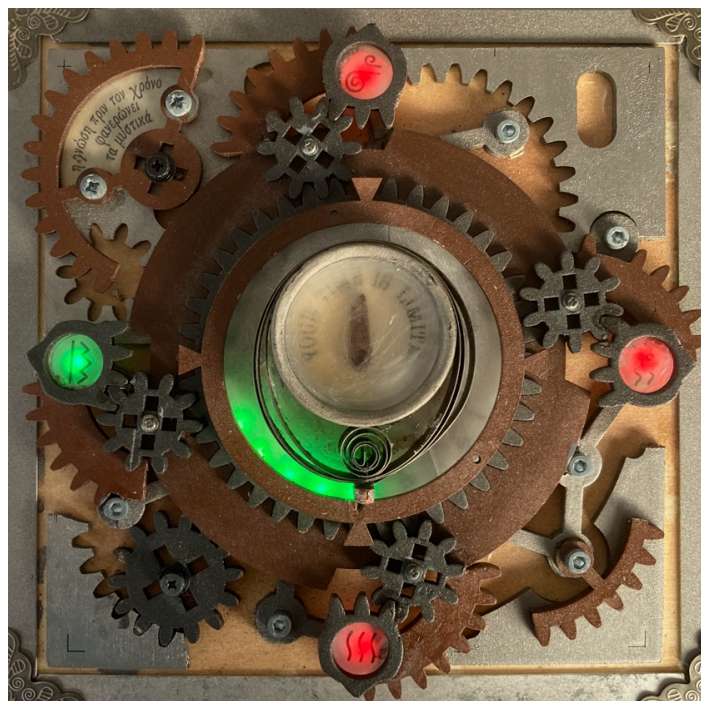


Σχήμα 4.6

Χρονόμετρο.

Επάνω: Εκτός λειτουργίας. Διακρίνεται το κυκλικό χρονόμετρο, ο δευτερολεπτοδείκτης και οι τέσσερις ενδείξεις επίλυσης των γρίφων.

Κάτω: Σε λειτουργία. Διακρίνεται ο χρόνος που έχει περάσει από την έναρξη, καθώς και οι τέσσερις ενδείξεις επίλυσης των γρίφων, εκ των οποίων ο ένας έχει λυθεί (πράσινο) και οι τρεις όχι (κόκκινο).



Σχήμα 4.7

Χρονόμετρο. Λεπτομέρειες.



4.3.2 Γρίφος «Αέρινη Λογική» (Στοιχείο: Αέρας)

Παιδαγωγικός στόχος

Κατανόηση λογικών πυλών (AND / OR / NOT / PASS) και της σχέσης εισόδου–εξόδου στα ψηφιακά κυκλώματα.

Περιγραφή γρίφου

Οκτώ εισοδοί αντιπροσωπεύουν «ριπές αέρα». Μια αλυσίδα από οκτώ μηχανικές λογικές πύλες καθορίζει πώς αυτές οι ριπές πρέπει να συνδυαστούν για να αποκατασταθεί η συνολική ροή. Στους μαθητές παρέχεται η αρχική κατάσταση των εισόδων, μία ενδιάμεση ένδειξη και η τελική επιθυμητή έξοδος. Πρέπει να επιλέξουν τη σωστή θέση για τους οκτώ μεταλλικούς διακόπτες (επτά για πύλες AND/OR και ένας για NOT/PASS), ώστε να παραχθεί το ζητούμενο αποτέλεσμα. Ο διακόπτης δεν είναι η ίδια η πύλη, η οποία υλοποιείται μέσω του κώδικα.

Η μεταφορική γλώσσα των οδηγιών δημιουργεί γέφυρες μεταξύ του απτού (αέρας) και του αφηρημένου (δυαδική λογική):

«Μία ροή αντιστρέφει τον αέρα» → πύλη NOT

«Μία ροή τον αφήνει να περάσει» → ταυτότητα (PASS)

«Μία από τις ροές τον αφήνουν να περάσει» → πύλη OR

«Δύο ροές τον αφήνουν να περάσει» → πύλη AND

Για το οριστικό ξεκλείδωμα του γρίφου απαιτούνται δύο **διαδοχικές επιτυχείς προσπάθειες** με διαφορετικά δεδομένα. Η δεύτερη προσπάθεια είναι δυνατό να ελεγχθεί μετά από 10 δευτερόλεπτα. Αυτή η σχεδιαστική επιλογή ελαχιστοποιεί την πιθανότητα τυχαίας επίλυσης (trial and error) και επιβεβαιώνει την πραγματική κατανόηση του προβλήματος.

Υλικό (Hardware)

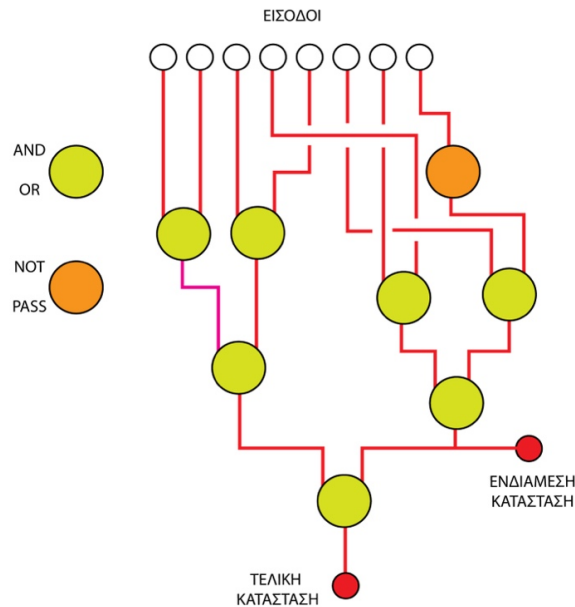
Metal Pushbutton – Momentary (16mm, Flat) × 1

LED Stick – 8×WS2812 5050 RGB × 2

Toggle Switch ON-OFF SPST (3A/250V) × 8

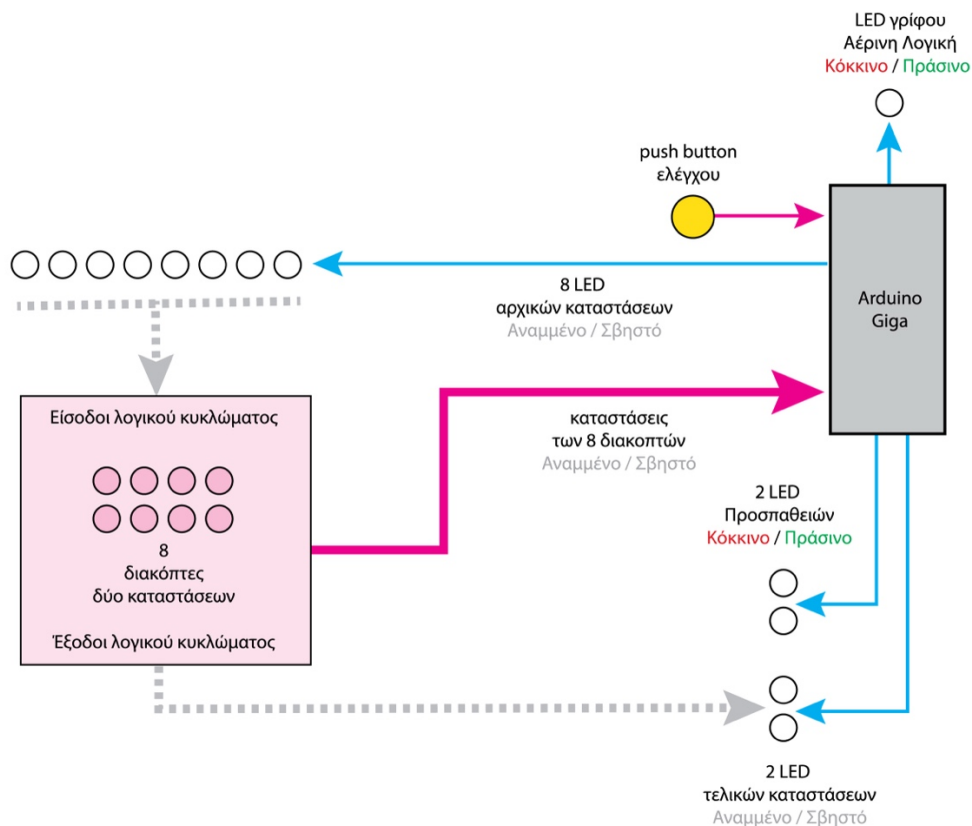
Σχήμα 4.8

Λογικό κύκλωμα του γρίφου Αέρινη Λογική.



Σχήμα 4.9

Σχηματικό διάγραμμα του γρίφου Αέρινη Λογική.

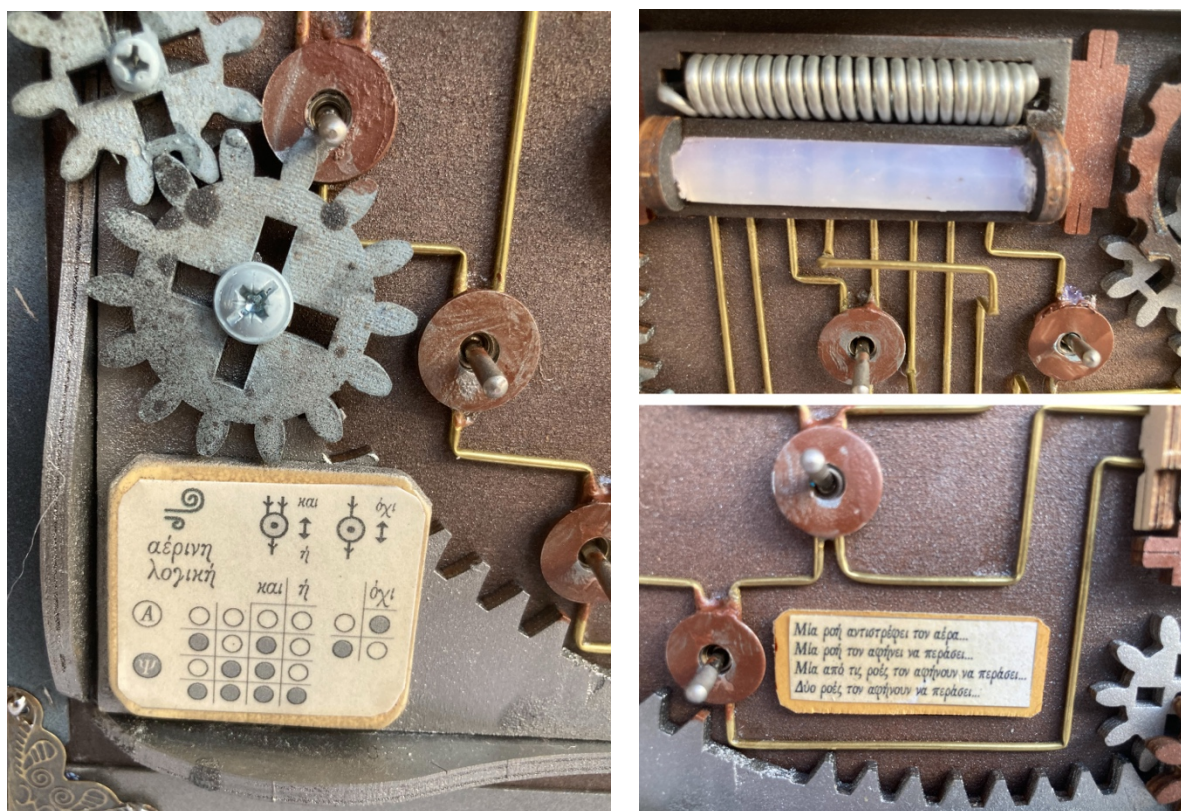


Λογισμικό (Software)

Ο κώδικας διαβάζει τη θέση των 8 διακοπών (HIGH/LOW) κατά το πάτημα του κουμπιού ελέγχου. Υπολογίζει τη μαθηματική έξοδο της αλυσίδας βάσει της δυαδικής λογικής και τη συγκρίνει με την αναμενόμενη απάντηση. Η επιτυχία σηματοδοτείται με πράσινο LED και ηχητικό εφέ· η αποτυχία με κόκκινο LED. Μετά από δύο επιτυχίες, η κατάσταση μεταβαίνει οριστικά σε SUCCESS.

Σχήμα 4.10

Γρίφος Αέρινη Λογική. Λεπτομέρειες.

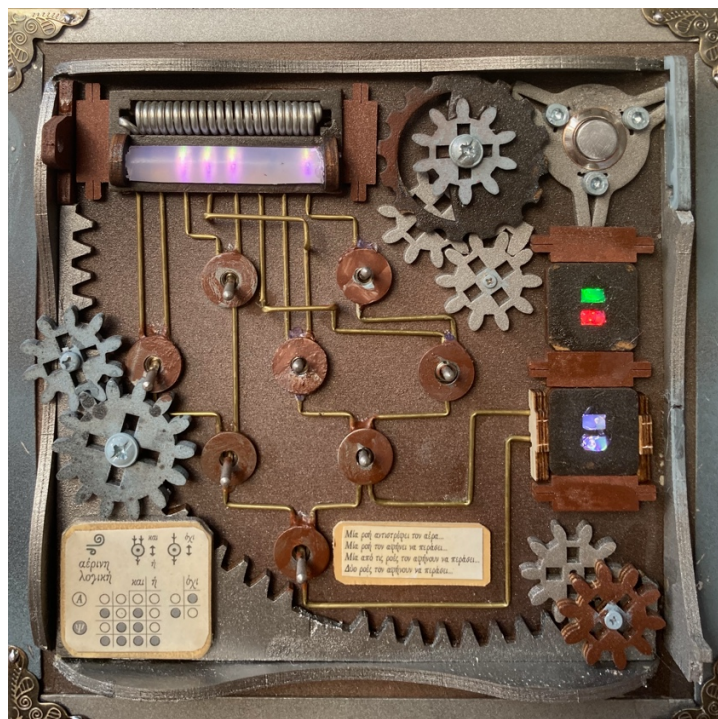
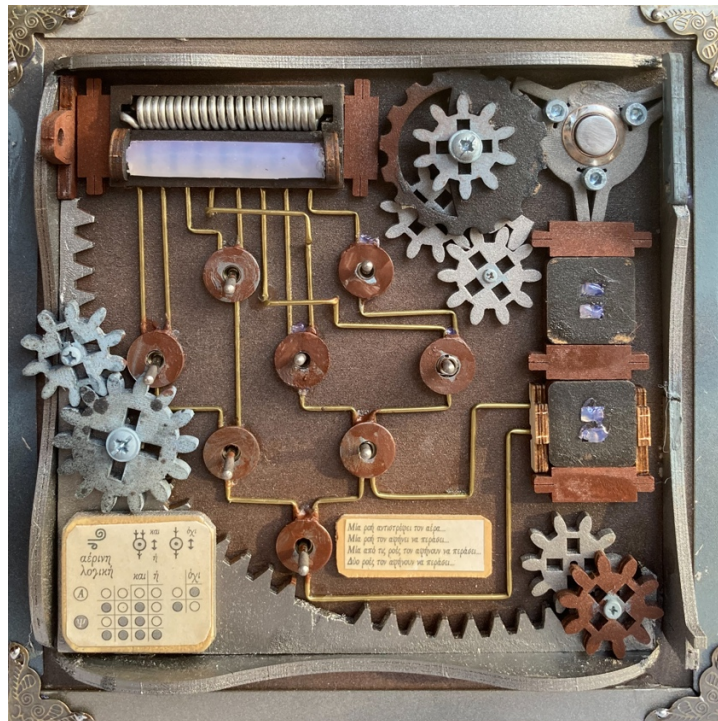


Σχήμα 4.11

Γρίφος Αέρινη Λογική.

Επάνω: Εκτός λειτουργίας.

Κάτω: Σε λειτουργία. Διακρίνονται: α) πάνω αριστερά η είσοδος (00111001) του λογικού κυκλώματος, β) δεξιά κάτω η ενδιάμεση κατάσταση (1) και η τελική κατάσταση (1), γ) δεξιά πάνω η προηγούμενη επιτυχημένη προσπάθεια (πράσινο).



4.3.3 Γρίφος «Το Φως της Φλόγας» (Στοιχείο: Φωτιά)

Παιδαγωγικός στόχος

Κατανόηση του φάσματος του ορατού φωτός, αντιστοίχιση χρωμάτων με μήκη κύματος/συχνότητες, και πρακτική εφαρμογή αναλογικής μέτρησης.

Περιγραφή γρίφου

Μέσα σε δύο γυάλινες λυχνίες προσομοιώνονται φλόγες που «τρεμοπαίζουν» στα διαφορετικά χρώματα του ορατού φάσματος (κόκκινο, πορτοκαλί, κίτρινο, πράσινο, κυανό, μπλε, ιώδες). Στην επιφάνεια του κύβου υπάρχει μια κυκλική κλίμακα με αριθμητικές τιμές και το εξής χαραγμένο αίνιγμα: «*Η κυανή φλόγα φέρνει γρήγορα τα κύματα πιο κοντά, ενώ η ερυθρή φλόγα αφήνει αργά τα κύματα να απομακρυνθούν*».

Το αίνιγμα αυτό λειτουργεί ως παιδαγωγική μεταφορά (educational metaphor): καθοδηγεί τους μαθητές να συνδέσουν το κυανό χρώμα με την υψηλή συχνότητα («γρήγορα») και το μικρό μήκος κύματος («πιο κοντά»), και αντίστοιχα το κόκκινο χρώμα με τη χαμηλή συχνότητα («αργά») και το μεγάλο μήκος κύματος («να απομακρυνθούν»). Βάσει αυτού, οι μαθητές καλούνται να ρυθμίσουν δύο αναλογικά συρόμενα ποτενσιόμετρα, αντιστοιχίζοντας το χρώμα της κάθε φλόγας με το σωστό εύρος μήκους κύματος και συχνότητας στις αριθμητικές κλίμακες μεταξύ των δύο ποτενσιόμετρων (βλ. Σχήμα 4.12). Όπως και στον προηγούμενο γρίφο, απαιτούνται δύο διαδοχικές επιτυχείς ρυθμίσεις για το ξεκλείδωμα. Ο γρίφος συνδέεται άμεσα με τη διδακτέα ύλη της Φυσικής (ηλεκτρομαγνητικό φάσμα), ενισχύοντας τη σύζευξη θεωρίας και πράξης μέσω της αφήγησης.

Για το οριστικό ξεκλείδωμα του γρίφου ισχύουν οι προϋποθέσεις του γρίφου *Αέρινη Λογική*.

Υλικό (Hardware)

Metal Pushbutton – Momentary (16mm, Flat) × 1

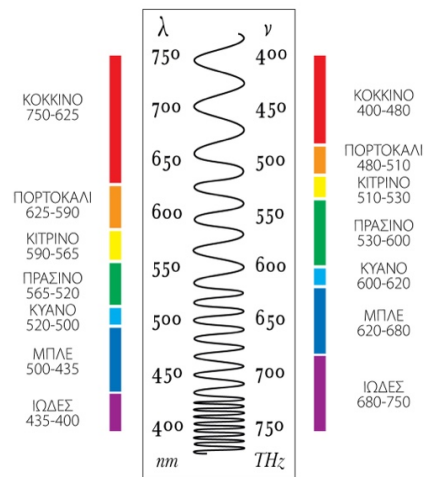
LED Square – 4×WS2812 5050 RGB × 1

LED Disk – 7×WS2812 5050 RGB × 2

Gravity Analog Slide Position (Potentiometer) Sensor × 2

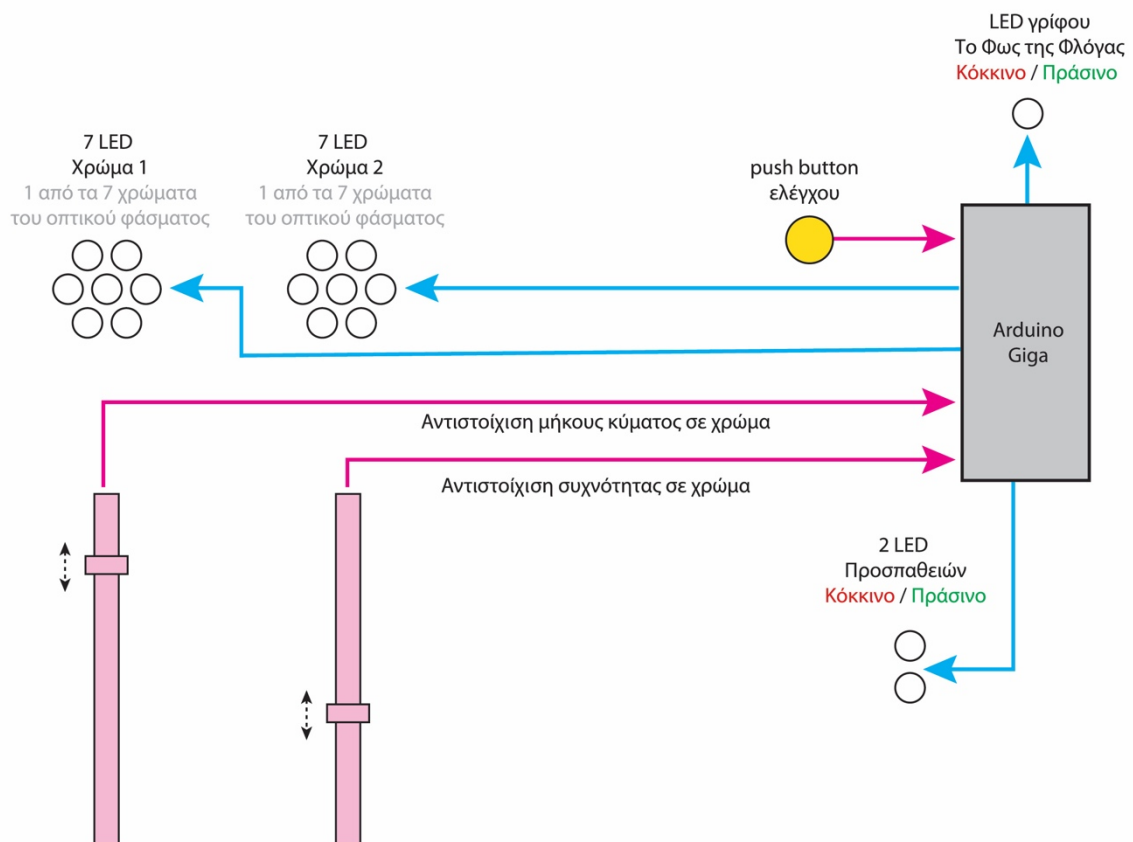
Σχήμα 4.12

Κλίμακες μήκους κύματος λ και συχνότητας ν του γρίφου Το Φως της Φλόγας.



Σχήμα 4.13

Σχηματικό διάγραμμα του γρίφου Το Φως της Φλόγας.

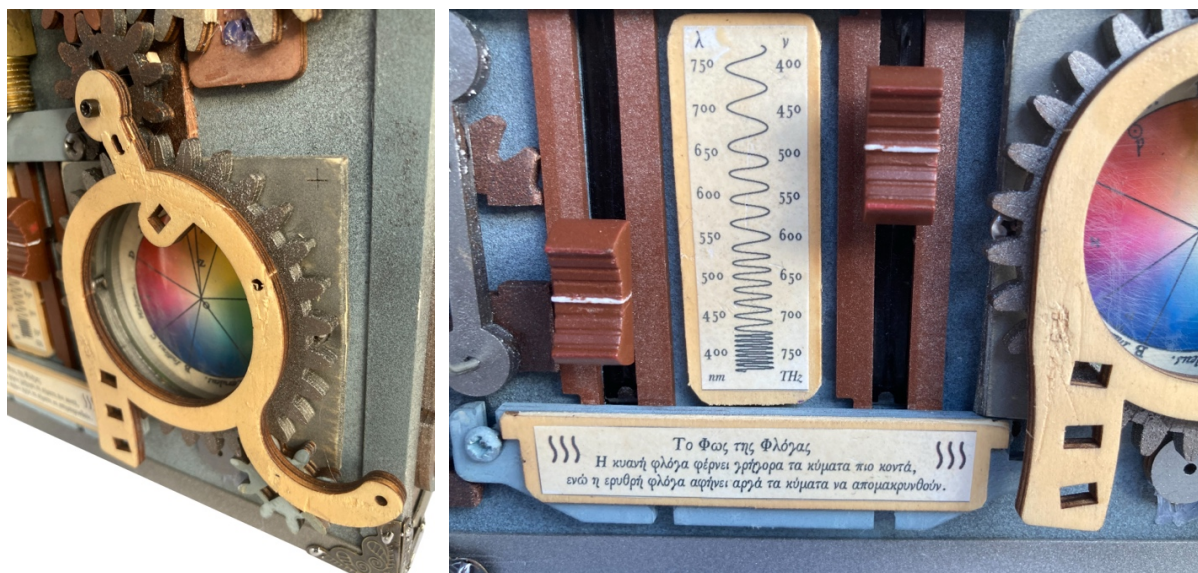


Λογισμικό (Software)

Κατά την εντολή ελέγχου, το πρόγραμμα διαβάζει τις αναλογικές τιμές των δύο ποτενσιόμετρων (μεταξύ 0–1023). Οι τιμές αυτές συγκρίνονται με προκαθορισμένα εύρη αποδεκτών τιμών για το εκάστοτε χρώμα (συμπεριλαμβανομένου ενός μικρού περιθωρίου ανοχής). Η ανατροφοδότηση (οπτική/ηχητική) λειτουργεί με την ίδια λογική (πράσινο=επιτυχία, κόκκινο=αποτυχία).

Σχήμα 4.14

Γρίφος Το Φως της Φλόγας. Λεπτομέρειες.

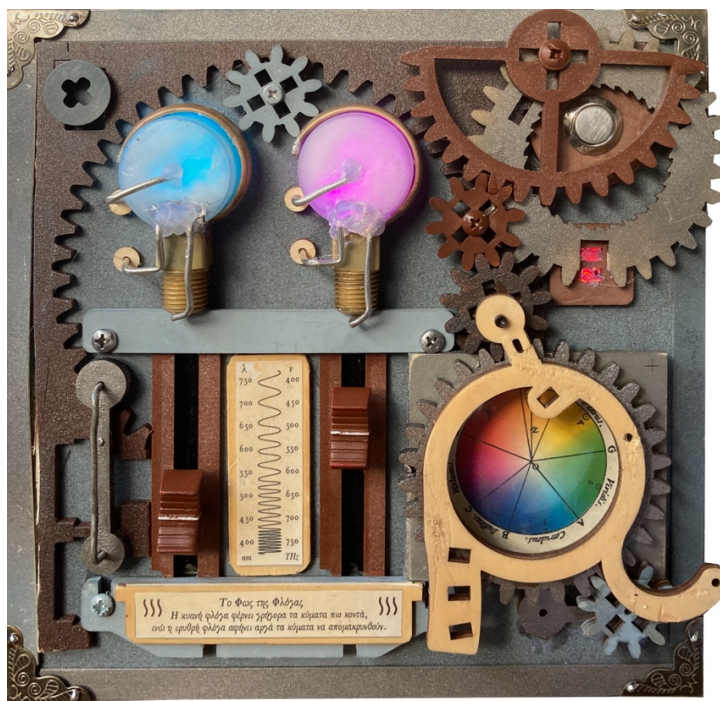
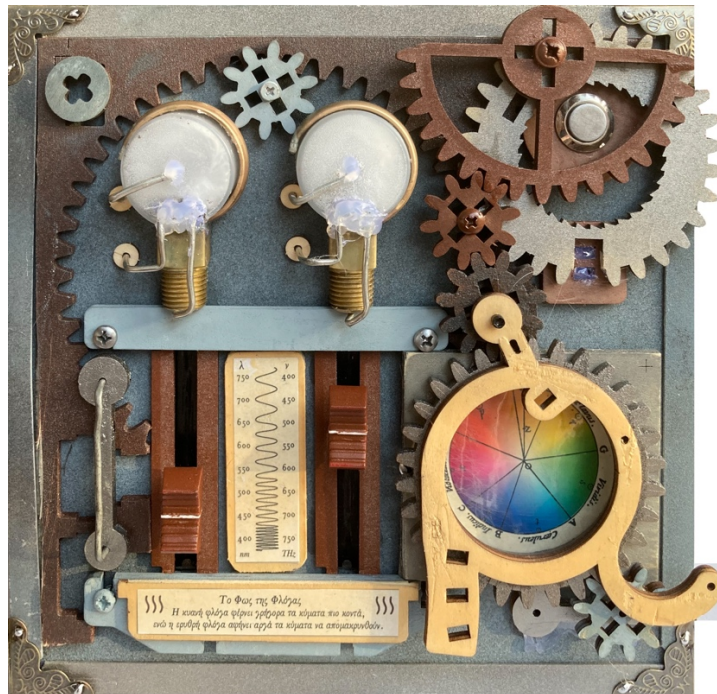


Σχήμα 4.15

Γρίφος Το Φως της Φλόγας.

Επάνω: Εκτός λειτουργίας.

Κάτω: Σε λειτουργία. Διακρίνονται: α) πάνω οι δύο αναλογικές λυχνίες φωτός, β) κάτω οι δύο ροοστάτες μεταβολής μήκους κύματος και συχνότητας για κάθε λυχνία, γ) δεξιά πάνω η προηγούμενη αποτυχημένη προσπάθεια (κόκκινο).



4.3.4 Γρίφος «Αντίσταση στη Ροή» (Στοιχείο: Νερό)

Παιδαγωγικός στόχος

Κατανόηση του Νόμου του Ohm, πρακτική εφαρμογή συνδεσμολογίας ηλεκτρικών αντιστάσεων (σε σειρά και παράλληλα), υπολογισμός ισοδύναμης αντίστασης.

Περιγραφή γρίφου

Σε αυτή την πλευρά, το ηλεκτρικό ρεύμα παρομοιάζεται με τη ροή του νερού σε ένα υδραυλικό σύστημα σωληνώσεων: η τάση (Volt) αντιστοιχεί στο «ύψος καταρράκτη», η αντίσταση (Ohm) στη «στένωση του σωλήνα» και η ένταση (Ampere) στην «παροχή νερού». Το κύκλωμα διαθέτει τρεις υποδοχές αντιστάσεων (δύο συνδεδεμένες παράλληλα, μία σε σειρά) και ένα σετ από έξι φυσικές αντιστάσεις. Οι μαθητές πρέπει:

1. Να διαβάσουν τις απαιτούμενες ενδείξεις τάσης και έντασης από τα αναλογικά όργανα.
2. Να υπολογίσουν την αναγκαία ισοδύναμη αντίσταση του κυκλώματος (βλ. Σχήμα 4.16).
3. Να επιλέξουν τις τρεις κατάλληλες αντιστάσεις και να τις τοποθετήσουν στις υποδοχές.

Η τοποθέτηση των αντιστάσεων γίνεται μαγνητικά (με χρήση Pogo Pin Magnetic Connectors), παρέχοντας μια εξαιρετικά εύχρηστη, απτή εμπειρία χειρισμού.

Για το οριστικό ξεκλείδωμα του γρίφου ισχύουν οι προϋποθέσεις του γρίφου *Αέρινη Λογική*.

Υλικό (Hardware)

Metal Pushbutton – Momentary (16mm, Flat) × 1

Waveshare SG90 Micro Servo 2.2kg·cm × 2

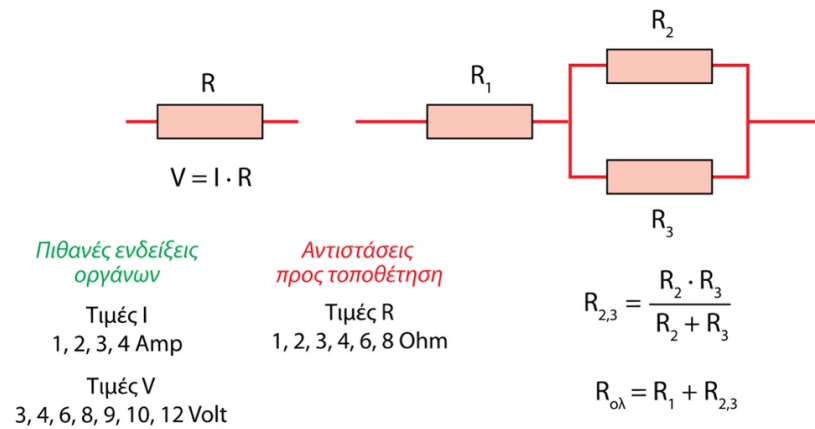
Αντιστάσεις: 0,1kΩ × 1, 0,68kΩ × 1, 1kΩ × 1, 2,2kΩ × 4, 4,7kΩ × 1, 6,8kΩ × 1

Pogo Pin Magnetic Connector 4p Male/Female × 6

LED Stick – 8×WS2812 5050 RGB × 1

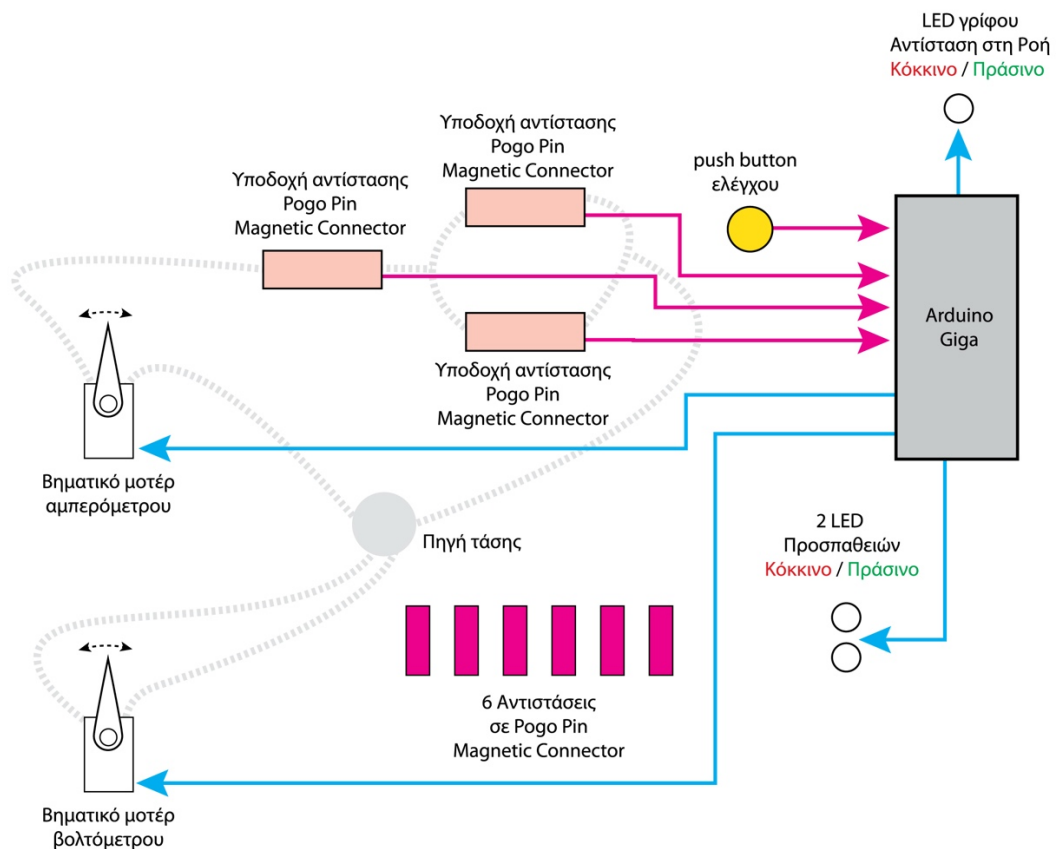
Σχήμα 4.16

Γρίφος Αντίσταση στη Ροή. Νόμος του Ohm. Ισοδύναμη αντίσταση του κυκλώματος.



Σχήμα 4.17

Σχηματικό διάγραμμα του γρίφου Αντίσταση στη Ροή.

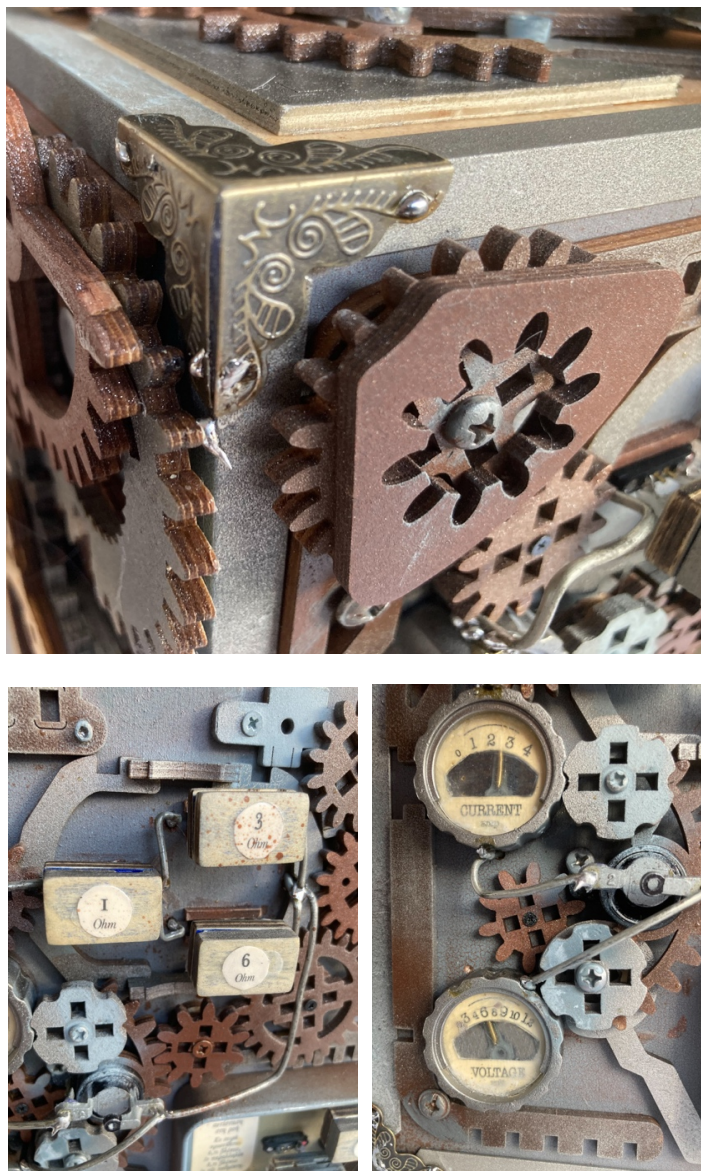


Λογισμικό (Software)

Ο μικροελεγκτής διαβάζει την αναλογική πτώση τάσης στις τρεις θέσεις. Ο κώδικας υπολογίζει την ισοδύναμη αντίσταση του φυσικού κυκλώματος και τη συγκρίνει με την απαιτούμενη θεωρητική τιμή. Δύο κινητήρες Servo ελέγχουν τους δείκτες των αναλογικών οργάνων (βολτόμετρο/αμπερόμετρο), παρέχοντας άμεση οπτική ανατροφοδότηση. Η ανατροφοδότηση για την προσπάθεια (οπτική/ηχητική) λειτουργεί με την ίδια λογική (πράσινο=επιτυχία, κόκκινο=αποτυχία).

Σχήμα 4.18

Γρίφος Αντίσταση στη Ροή. Λεπτομέρειες.

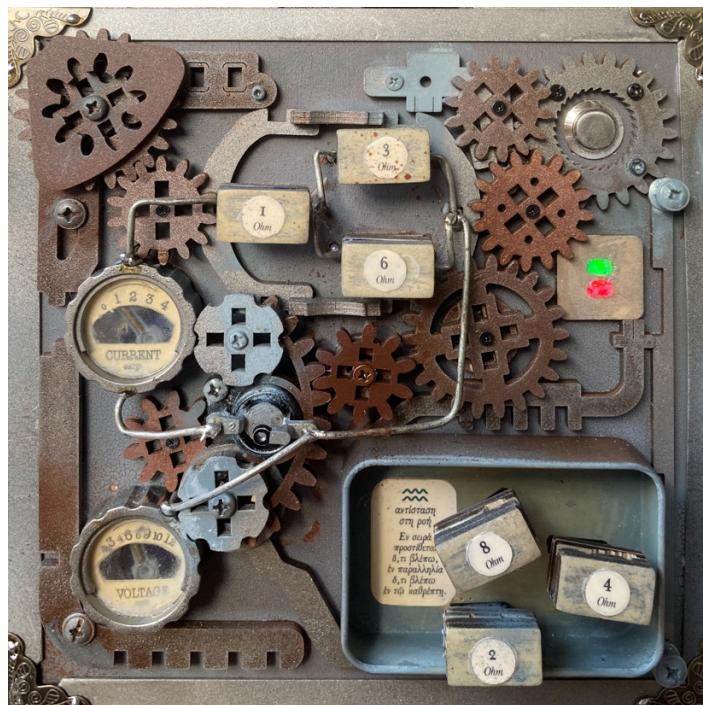
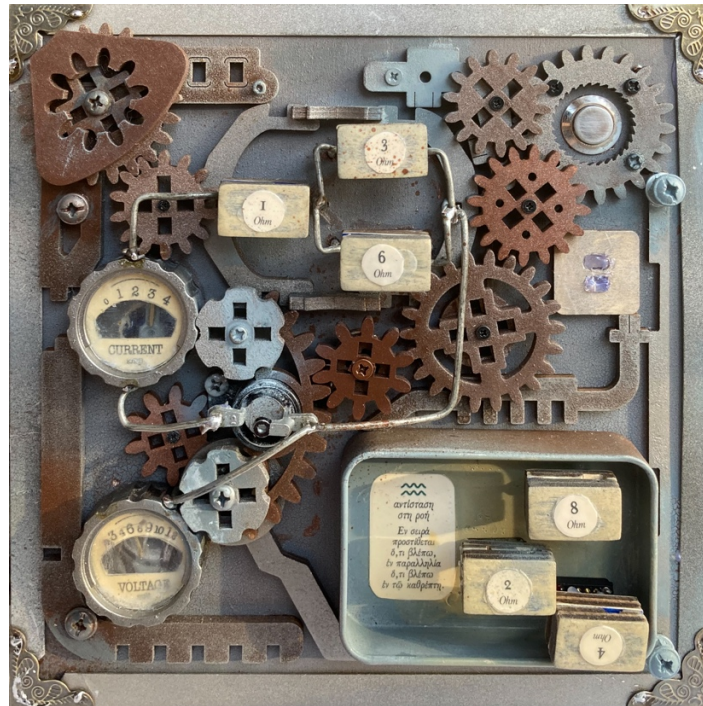


Σχήμα 4.19

Γρίφος Αντίσταση στη Ροή.

Επάνω: Εκτός λειτουργίας.

Κάτω: Σε λειτουργία. Διακρίνονται: α) αριστερά τα δύο αναλογικά όργανα (αμπερόμετρο και βολτόμετρο), β) πάνω οι τρεις αντιστάσεις που έχουν τοποθετηθεί στο κύκλωμα, γ) κάτω οι τρεις μη χρησιμοποιημένες αντιστάσεις, δ) δεξιά πάνω η προηγούμενη επιτυχημένη προσπάθεια (πράσινο).



4.3.5 Γρίφος «Ο Θάλαμος της Γης» (Στοιχείο: Γη)

Παιδαγωγικός στόχος

Κατανόηση της καταστατικής εξίσωσης των ιδανικών αερίων ($P \cdot V = n \cdot R \cdot T$) και εφαρμογή της για τη μαθηματική επίλυση ενός προβλήματος φυσικής, υπό συνθήκες ισόθερμης μεταβολής.

Περιγραφή γρίφου

Στο κέντρο δεσπόζει ένας προσομοιωμένος «θάλαμος αερίου» που περιλαμβάνει ένα αναλογικό μανόμετρο πίεσης (με ένδειξη μέσω LED) και έναν περιστροφικό διακόπτη (ροοστάτη) για τη ρύθμιση του όγκου του θαλάμου.

Πάνω στον μηχανισμό είναι χαραγμένο το εξής αφηγηματικό στοιχείο: «Σε θερμοκρασία δωματίου, ο Θάλαμος της Γης έχει τη δική του σταθερά 0,054. Όταν η πίεση αλλάζει, ο Boyle υπογορεύει ότι ο όγκος μεταβάλλεται αντιστρόφως, ώστε το δοχείο να παραμένει σε ισορροπία σε κάθε προσπάθεια, που καθορίζει και τα mol του αερίου.» Το παραπάνω κείμενο προσφέρει τα απαραίτητα μαθηματικά δεδομένα συγκαλυμμένα μέσα στην αφήγηση. Υποδεικνύει στους μαθητές την εφαρμογή του Νόμου του Boyle σε ισόθερμη μεταβολή ($P \cdot V = \text{σταθερό}$) και τους δίνει την τιμή της σταθεράς (0,054), τη θερμοκρασία (δωματίου 25 °C) και τα mol (αριθμός προσπάθειας, 1 ή 2). Δεδομένης της πίεσης που τους υποδεικνύεται από τις φωτεινές ενδείξεις, οι μαθητές πρέπει να υπολογίσουν τον απαιτούμενο όγκο και να ρυθμίσουν τον περιστροφικό διακόπτη (8 θέσεων) στη σωστή τιμή. Η επιλογή περιστροφικού διακόπτη διακριτών θέσεων (αντί για συνεχές ποτενσιόμετρο) επιτρέπει στους μαθητές να επιλέξουν από ένα προκαθορισμένο σύνολο τιμών, απαιτώντας αυστηρή κατανόηση της εξίσωσης, χωρίς ωστόσο να τους ταλαιπωρεί η ανάγκη μικρομετρικής φυσικής ρύθμισης (βλ. Σχήμα 4.20).

Για το οριστικό ξεκλείδωμα του γρίφου ισχύουν οι προϋποθέσεις του γρίφου *Αέρινη Λογική*.

Σχεδιασμός διεπαφής (UX) και Εμβύθιση

Στην ίδια πλευρά του κύβου (βλ. Σχήμα 4.21) είναι τοποθετημένος ο κεντρικός διακόπτης τροφοδοσίας (ON/OFF) του συστήματος, ο οποίος δεν πρέπει να πατηθεί από τους μαθητές κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού. Αντί να χρησιμοποιηθεί μια συμβατική προειδοποιητική πινακίδα (π.χ. «Μην αγγίζετε») που θα κατέστρεφε την αφηγηματική εμβύθιση, τοποθετήθηκε δίπλα στον διακόπτη το εξής:

«Ο αέρας σταματά,
η γη ραγίζει,
το νερό παγώνει,
η φλόγα σβήνει»

Αυτή η προσέγγιση προειδοποιεί λειτουργικά τον χρήστη για τον «σβήσιμο» του κύβου (απενεργοποίηση), παραμένοντας απόλυτα πιστή στο θεματικό πλαίσιο των τεσσάρων στοιχείων της φύσης.

Υλικό (Hardware)

Metal Pushbutton – Momentary (16mm, Flat) × 1
LED Stick – 8×WS2812 5050 RGB × 2
LED Square – 4×WS2812 5050 RGB × 1
Rotary Switch – 8 Position × 1
Gravity Analog Slide Position (Potentiometer) Sensor × 1
Waveshare SG90 Micro Servo 2.2kg·cm × 1

Λογισμικό (Software)

Ο κώδικας μεταφράζει την αναλογική τιμή του περιστροφικού διακόπτη σε μία από 8 διακριτές καταστάσεις. Κατά τον έλεγχο, συγκρίνει την επιλεγμένη τιμή όγκου με τη μαθηματικά ορθή. Μία φωτεινή ένδειξη απεικονίζει στον κύλινδρο την επιλογή, ολοκληρώνοντας τη δυναμική οπτική ανατροφοδότηση. Η ανατροφοδότηση για την προσπάθεια (οπτική/ηχητική) λειτουργεί με την ίδια λογική (πράσινο=επιτυχία, κόκκινο=αποτυχία).

Σχήμα 4.20

Γρίφος Ο Θάλαμος της Γης. Καταστατική εξίσωση των αερίων.

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

Πιθανές ενδείξεις
πίεσης

Τιμές P
1 - 8 Atm

Τιμές όγκου
προς επιλογή

Τιμές V
1/4, 1/2, 1, 2, 4, 8, 16, 32 lt

Πιθανές τιμές
mole

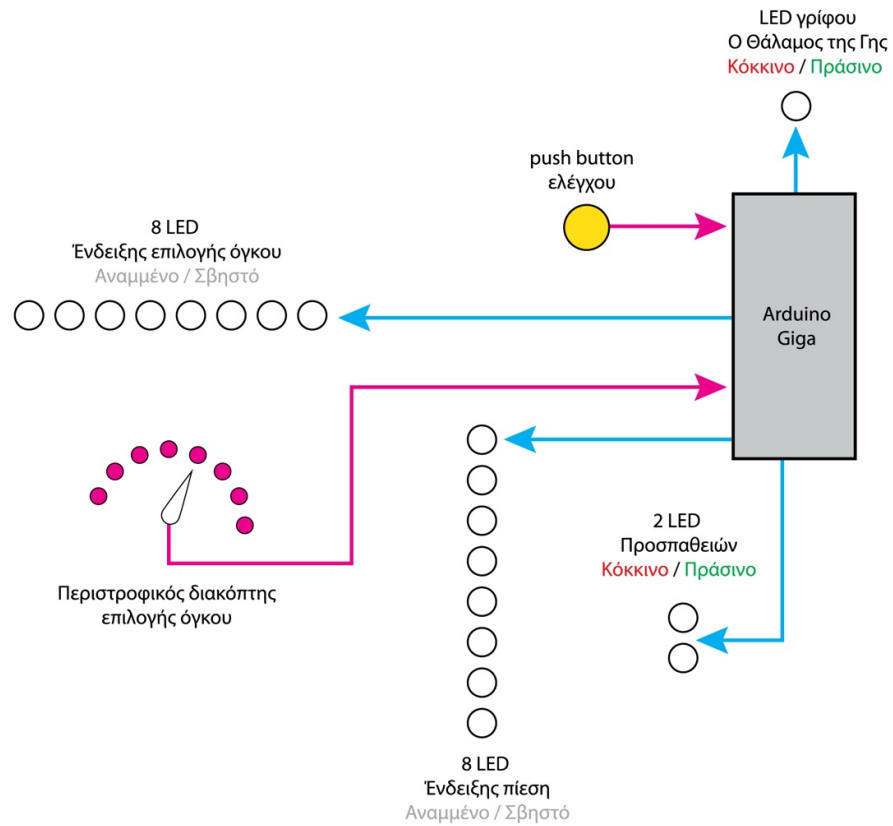
Τιμές n
1, 2 (προσπάθεια)

Θερμοκρασία
25 °C

Σταθερά R του κύβου
0,054

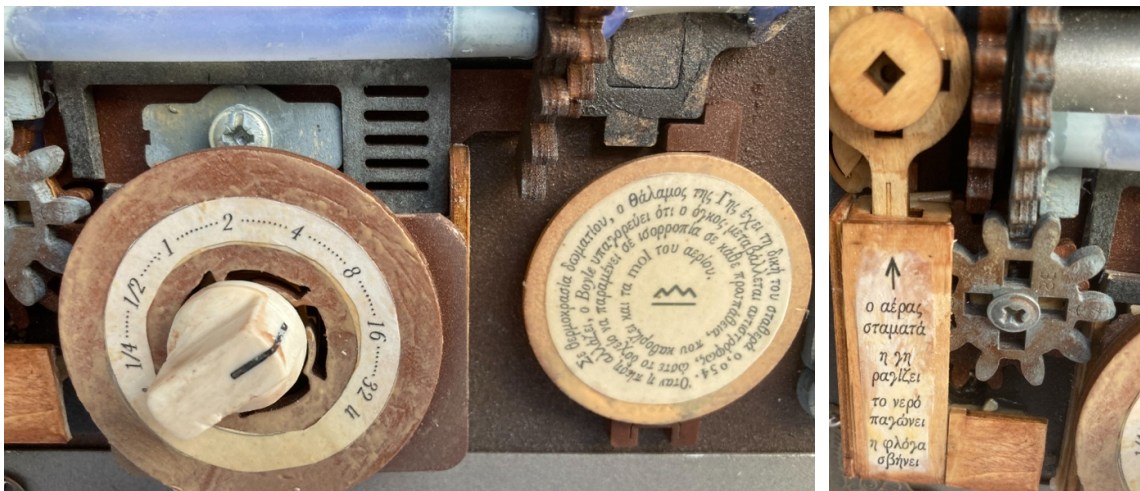
Σχήμα 4.21

Σχηματικό διάγραμμα του γρίφου Ο Θάλαμος της Γης.



Σχήμα 4.22

Γρίφος Ο Θάλαμος της Γης. Λεπτομέρειες.

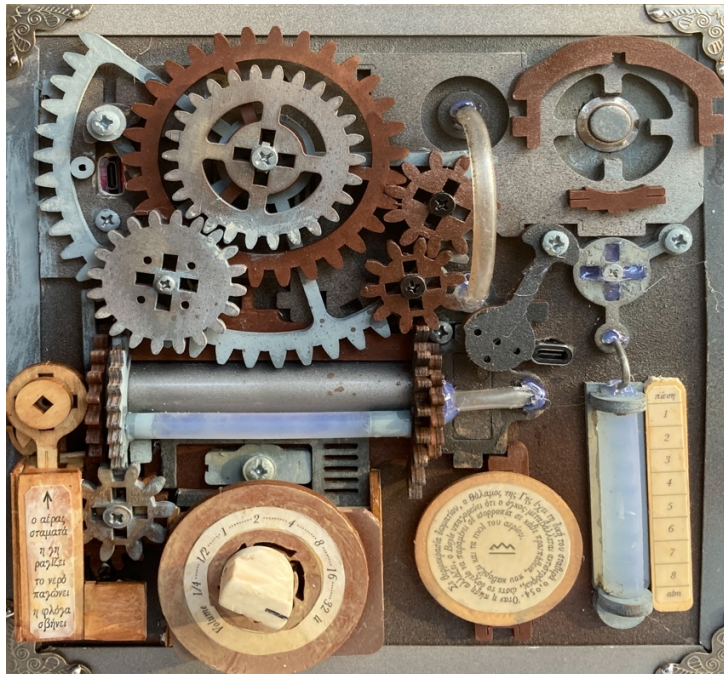


Σχήμα 4.23

Γρίφος Ο Θάλαμος της Γης.

Επάνω: Εκτός λειτουργίας.

Κάτω: Σε λειτουργία. Διακρίνονται: α) αριστερά ο διακόπτης που απενεργοποιεί τον κύβο και δεν πρέπει να πατηθεί, β) κάτω ο περιστροφικός διακόπτης επιλογής όγκου, γ) στο κέντρο η ένδειξη επιλογής όγκου, δ) δεξιά η δοθείσα πίεση σε φωτεινή κλίμακα, ε) δεξιά πάνω η προηγούμενη επιτυχημένη προσπάθεια (πράσινο).

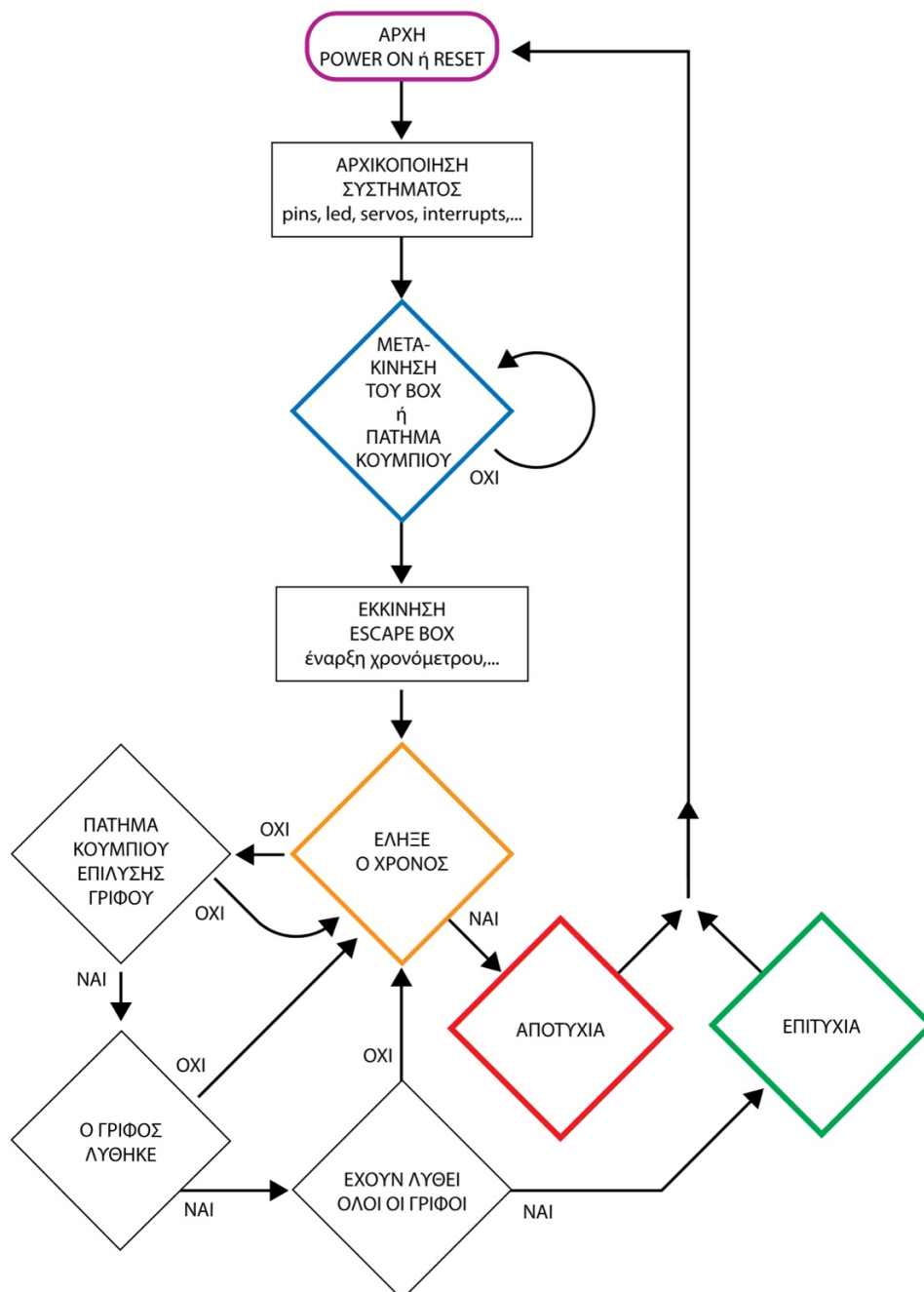


4.4 Λειτουργία του Escape Box

Η συνολική λειτουργία του συστήματος, από την αρχικοποίηση και την έναρξη του χρονομέτρου έως την επιτυχή ή ανεπιτυχή ολοκλήρωση των γρίφων, αποτυπώνεται γραφικά στο Σχήμα 4.23.

Σχήμα 4.23

Διάγραμμα ροής του βασικού αλγορίθμου ελέγχου του Escape Box.



4.5 Κόστος Υλοποίησης

Όπως παρατηρείται στον Πίνακα 4.2, το συνολικό κόστος κατασκευής κυμαίνεται σε εξαιρετικά προσιτά επίπεδα (περίπου 280€), γεγονός που καθιστά το τεχνούργημα εύκολα αναπαραγώγιμο (low-cost) από σχολικές μονάδες με περιορισμένους πόρους.

Πίνακας 4.2

Ενδεικτικό κόστος υλοποίησης του Escape Box.

Κατηγορία Υλικών	Περιγραφή	Κόστος
Μικροελεγκτής	Arduino GIGA R1 WiFi, Sensor Shield, καλωδιώσεις	~ 80,00
Αισθητήρες & Περιφερειακά	LED, Servos, Ποτενσιόμετρα, Διακόπτες, κ.ά.	~ 100,00
Κέλυφος & Κατασκευή	Ξυλεία, χρώματα, μεταλλικά στοιχεία, αναλώσιμα	~ 100,00
Σύνολο		~ 280,00

4.6 Συνολική Αξιολόγηση Αρχιτεκτονικής

Η επιλεγείσα αρχιτεκτονική υλικού (Arduino GIGA) και λογισμικού (State Machines & Interrupts) εξασφαλίζει ότι το εκπαιδευτικό σύστημα είναι:

- **Αυτόνομο:** Η δραστηριότητα εκτελείται αποκλειστικά *on-the-edge*, χωρίς να απαιτείται σύνδεση με υπολογιστή, τοπικό δίκτυο ή διαδίκτυο κατά τη λειτουργία του εντός της σχολικής τάξης.
- **Αξιοπίστο:** Εξασφαλίζεται η σταθερή, non-blocking λειτουργία χωρίς καθυστερήσεις ή «παγώματα» του κώδικα, ακόμη και όταν ελέγχονται ταυτόχρονα πολλαπλοί αισθητήρες, ήχοι και ενδείξεις LED από διαφορετικούς γρίφους.
- **Επαναχρησιμοποιήσιμο:** Το σύστημα επιστρέφει στην αρχική του κατάσταση (αναπλήρωση γρίφων, διαγραφή δεδομένων χρήστη) με μια απλή επανεκκίνηση του μικροελεγκτή, επιτρέποντας την άμεση χρήση του από την επόμενη ομάδα μαθητών.
- **Επεκτάσιμο:** Η αυστηρά αρθρωτή δομή (modular) του κώδικα επιτρέπει την εύκολη τροποποίηση παραμέτρων (π.χ. αλλαγή δυσκολίας, μείωση χρόνου) ή την μελλοντική προσθήκη νέων γρίφων, χωρίς να απαιτείται ολική ανακατασκευή του λογισμικού.

5. Πιλοτική Εκπαιδευτική Εφαρμογή και Αξιολόγηση

Το παρόν κεφάλαιο περιγράφει τον ερευνητικό σχεδιασμό και τη διαδικασία υλοποίησης της πιλοτικής εκπαιδευτικής εφαρμογής με το Escape Box. Παρουσιάζονται αναλυτικά το πλαίσιο εφαρμογής, το δείγμα των συμμετεχόντων, τα εργαλεία συλλογής δεδομένων, η διαδικασία υλοποίησης, η μέθοδος ανάλυσης των δεδομένων και τα ηθικά ζητήματα που διέπουν την έρευνα.

5.1 Ερευνητική Προσέγγιση και Μεθοδολογικό Πλαίσιο

Η παρούσα έρευνα ακολουθεί τη μεθοδολογική προσέγγιση της Έρευνας Εκπαιδευτικού Σχεδιασμού (Educational Design Research — EDR), στο πλαίσιο της οποίας ο σχεδιασμός και η υλοποίηση ενός εκπαιδευτικού τεχνουργήματος συνδέονται οργανικά με τη συστηματική διερεύνηση της παιδαγωγικής του αξίας σε πραγματικό εκπαιδευτικό περιβάλλον (McKenney & Reeves, 2013). Η EDR διαφέρει από την παραδοσιακή εκπαιδευτική έρευνα ως προς το ότι ο ερευνητής δεν μελετά ένα προϋπάρχον φαινόμενο, αλλά σχεδιάζει και αναπτύσσει ο ίδιος το «αντικείμενο» της έρευνας, αντλώντας ταυτόχρονα θεωρητική γνώση από τη διαδικασία αυτή. Η προσέγγιση αυτή κρίθηκε κατάλληλη για την παρούσα εργασία, καθώς το Escape Box δεν αποτελεί προϋπάρχον εργαλείο που αξιολογείται εκ των υστέρων, αλλά ένα πρωτότυπο τεχνούργημα που σχεδιάστηκε, αναπτύχθηκε και αξιολογήθηκε στο πλαίσιο της ίδιας ερευνητικής διαδικασίας.

Το πλήρες μοντέλο EDR προβλέπει πολλαπλούς επαναληπτικούς κύκλους σχεδιασμού, υλοποίησης και αξιολόγησης, στους οποίους κάθε κύκλος τροφοδοτεί τον επόμενο με ευρήματα και αναθεωρήσεις (McKenney & Reeves, 2013· Plomp & Nieveen, 2013). Στην παρούσα εργασία, λόγω των χρονικών και πρακτικών περιορισμών ενός μεταπτυχιακού προγράμματος, υλοποιήθηκε ουσιαστικά ένας κύκλος σχεδιασμού και αξιολόγησης. Ωστόσο, ο εν λόγω κύκλος δεν ήταν γραμμικός· στο εσωτερικό του εντοπίζονται διακριτές φάσεις επανάληψης και ανατροφοδότησης που συνάδουν με την επαναληπτική λογική της EDR.

Συγκεκριμένα, κατά τη φάση ανάπτυξης του πρωτοτύπου πραγματοποιήθηκαν οι ακόλουθες άτυπες ενδιάμεσες επαναλήψεις:

α) *Δοκιμές λειτουργικότητας γρίφων (functional testing)*: Κατά τη διάρκεια της κατασκευής, κάθε γρίφος δοκιμάστηκε επανειλημμένα ως προς τη λειτουργικότητά του πριν ενσωματωθεί στο σύνολο του συστήματος. Οι δοκιμές αφορούσαν την ορθή λειτουργία των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, την αξιοπιστία των αισθητήρων, την ανταπόκριση του κώδικα Arduino και τη σαφήνεια της οπτικοακουστικής ανατροφοδότησης. Βάσει των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκαν αναθεωρήσεις τόσο στο hardware (π.χ. αντικατάσταση άστατων επαφών, αλλαγή τιμών αντιστάσεων) όσο και στο software (π.χ. προσαρμογή κατωφλίων ανίχνευσης, βελτίωση ανατροφοδότησης LED).

β) *Αξιολόγηση σαφήνειας από εθελοντές εκτός δείγματος*: Πριν από την πιλοτική εφαρμογή με τους 15 μαθητές, το Escape Box δοκιμάστηκε από έναν μικρό αριθμό εθελοντών εκτός του κυρίως δείγματος — ενήλικες γνωστοί του ερευνητή με ή χωρίς εξειδικευμένες τεχνικές γνώσεις. Στόχος ήταν η αξιολόγηση της σαφήνειας των οδηγιών, της διαισθητικότητας των signifiers και της κατανοητότητας της ροής των γρίφων. Τα σχόλια των εθελοντών οδήγησαν σε συγκεκριμένες αναθεωρήσεις: απλοποίηση γραπτών οδηγιών, αλλαγή διατύπωσης σε σημεία που κρίθηκαν ασαφή, και προσθήκη οπτικών υποδείξεων σε γρίφους με υψηλό ποσοστό αδιεξόδου κατά τη δοκιμή.

γ) *Τεχνικές διορθώσεις βάσει συνολικής δοκιμής συστήματος*: Μετά την ολοκλήρωση του πρωτοτύπου και πριν την πιλοτική εφαρμογή, πραγματοποιήθηκε δοκιμή ολόκληρης της ακολουθίας γρίφων υπό συνθήκες που προσομοίαζαν την πραγματική χρήση (χρονική πίεση, ακολουθιακή επίλυση). Εντοπίστηκαν και διορθώθηκαν ζητήματα που δεν είχαν αναδειχθεί κατά τις επιμέρους δοκιμές, όπως αστοχίες στη μετάβαση μεταξύ γρίφων και καθυστερήσεις στην ανατροφοδότηση.

Στο πλαίσιο της EDR, η πιλοτική εφαρμογή δεν αποτελεί «τελικό τεστ» αλλά διαμορφωτική αξιολόγηση που τροφοδοτεί τον επόμενο κύκλο επανασχεδιασμού, ουσιαστικά είναι ο πρώτος κύκλος μιας EDR διαδικασίας, με σαφώς τεκμηριωμένες ενδιάμεσες επαναλήψεις και ρητή πρόθεση για συνέχεια.

Για την αξιολόγηση της εκπαιδευτικής αποτελεσματικότητας του Escape Box υιοθετήθηκε μεικτή ερευνητική μεθοδολογία (mixed methods). Η προσέγγιση αυτή συνδυάζει ποσοτικά και ποιοτικά δεδομένα, με στόχο την πληρέστερη κατανόηση τόσο των μετρήσιμων

αποτελεσμάτων όσο και των βιωμένων εμπειριών των συμμετεχόντων (Creswell & Plano Clark, 2018).

Επιλέχθηκε ο ερευνητικός σχεδιασμός ενιαίας ομάδας (one-group design) χωρίς ομάδα ελέγχου, καθώς το πλαίσιο της εφαρμογής δεν επέτρεπε τον τυχαίο διαχωρισμό (randomization) των μαθητών σε ομάδες. Ο συγκεκριμένος σχεδιασμός είναι ευρέως αποδεκτός σε πιλοτικές μελέτες αξιολόγησης εκπαιδευτικών τεχνουργημάτων (Plomp & Nieveen, 2013), εφόσον τα ποσοτικά δεδομένα συνοδεύονται και εμπλουτίζονται από αντίστοιχα ποιοτικά, τα οποία εμβαθύνουν στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Η έρευνα οργανώθηκε γύρω από δύο συμπληρωματικές μεθόδους συλλογής δεδομένων:

- **Ποσοτικά δεδομένα:** Δομημένο ερωτηματολόγιο καταγραφής της εμπλοκής και της αποδοχής (μέσω κλίμακας Likert 1–5) (βλ. Παράρτημα Α).
- **Ποιοτικά δεδομένα:** Δομημένη, μη συμμετοχική παρατήρηση (με χρήση ρουμπρίκας 4 επιπέδων) και ανοιχτές ερωτήσεις αναστοχασμού στο τέλος του ερωτηματολογίου (βλ. Παράρτημα Β).

Λόγω της συγκεκριμένης δομής και των χρονικών περιορισμών της πιλοτικής εφαρμογής, η τυπική κλίμακα System Usability Scale (SUS) (Brooke, 1996) δεν ενσωματώθηκε στο βασικό ερωτηματολόγιο. Αντ' αυτής, αξιοποιήθηκαν τέσσερις στοχευμένες ερωτήσεις (Ερ. 9–12) ως έμμεσοι δείκτες χρηστικότητας (proxy usability indicators). Πρόκειται για μια μεθοδολογική επιλογή αποδεκτή σε πιλοτικές μελέτες με μικρό δείγμα (Creswell & Plano Clark, 2018· Plomp & Nieveen, 2013). Οι ερωτήσεις αυτές αντιστοιχούν λειτουργικά σε βασικές διαστάσεις της χρηστικότητας (Lewis, 2018· Sauro & Lewis, 2016):

- Ευκολία εκμάθησης (Ερ. 9: *Οι οδηγίες για τη δραστηριότητα ήταν σαφείς και κατανοητές*).
- Αποτελεσματικότητα σχεδιασμού (Ερ. 10: *Οι περισσότεροι γρίφοι ήταν κατανοητοί ως προς το τι έπρεπε να κάνουμε για να τους λύσουμε*).
- Αντιλαμβανόμενη πολυπλοκότητα (Ερ. 11: *Η δυσκολία των γρίφων ήταν κατάλληλη*).
- Αξιοπιστία συστήματος και φυσικής διεπαφής (Ερ. 12: *Τα φυσικά στοιχεία του Escape Box λειτουργούσαν όπως περίμενα*).

Η Ερώτηση 12 συνδέεται άμεσα με την αξιολόγηση της φυσικής διεπαφής (Physical Interface) και την ομαλή λειτουργία του *Arduino GIGA*, σε συνδυασμό με την αισθητική *steampunk*. Αναγνωρίζεται, ωστόσο, ότι αυτή η προσέγγιση δεν καλύπτει εξαντλητικά όλες τις διαστάσεις της πλήρους κλίμακας *SUS*, γεγονός που καταγράφεται ως περιορισμός της μελέτης.

5.2 Πλαίσιο Υλοποίησης και Δείγμα

5.2.1 Πλαίσιο

Η πιλοτική εκπαιδευτική εφαρμογή διεξήχθη τον Απρίλιο του 2026, κατόπιν εθελοντικής συμμετοχής των μαθητών. Η δραστηριότητα υλοποιήθηκε σε χώρο ιδιωτικού εκπαιδευτηρίου, με συνολικό διαθέσιμο χρόνο 45–60 λεπτών ανά συνεδρία.

5.2.2 Δείγμα

Στην έρευνα έλαβαν μέρος 15 μαθητές Γ' Λυκείου (ηλικίας 18+ ετών) (βλ. Σχήμα 5.1). Οι συμμετέχοντες οργανώθηκαν σε δύο διακριτές κατηγορίες, προκειμένου να διερευνηθεί η διαφορά μεταξύ συνεργατικής και ατομικής επίλυσης (EE3):

Σχήμα 5.1

Στιγμιότυπα από την πιλοτική εκπαιδευτική εφαρμογή.



Πίνακας 5.1

Οργάνωση του ερευνητικού δείγματος.

Κατηγορία	Πλήθος Συνεδριών	Πλήθος μαθητών
Ομάδα (ανά 2 άτομα)	5	10
Ατομική (μεμονωμένοι)	5	5
Σύνολο	10	15

Λόγω του μικρού μεγέθους του δείγματος ($n=15$), τα συγκριτικά αποτελέσματα μεταξύ των δύο ομάδων ερμηνεύονται με τη δέουσα ερευνητική επιφύλαξη.

5.3 Εργαλεία Συλλογής Δεδομένων

5.3.1 Ερωτηματολόγιο Εμπλοκής και Αποδοχής

Το κύριο εργαλείο συλλογής δεδομένων ήταν ένα δομημένο ερωτηματολόγιο 23 ερωτήσεων, το οποίο σχεδιάστηκε αποκλειστικά για τις ανάγκες της έρευνας (βλ. Παράρτημα Α). Αποτελείται από:

- **21 κλειστές ερωτήσεις** τύπου Likert (1 = Διαφωνώ απόλυτα, 5 = Συμφωνώ απόλυτα), οργανωμένες σε πέντε θεματικές ενότητες που συνδέονται άμεσα με τα ερευνητικά ερωτήματα (ΕΕ).
- **2 ανοιχτές ερωτήσεις** (Ερ. 22, 23) για την ποιοτική καταγραφή των εντυπώσεων και των προτάσεων βελτίωσης.

Πίνακας 5.2

Δομή ερωτηματολογίου.

Ενότητα ερωτηματολογίου	Ερωτήσεις	Ερευνητικό Ερώτημα
Α. Επίδραση στην Εμπλοκή	1–4	EE1
Β. Συνεργασία και Ομαδική Εργασία	5–8	EE3
Γ. Ευχρηστία, Γρίφοι και Εμπειρία	9–15	EE4, EE5
Δ. Σύνδεση με STEAM	16–19	EE2
Ε. Γενική Αξιολόγηση και Πρόθεση	20–21	Γενική Αξιολόγηση
ΣΤ. Ανοιχτές Ερωτήσεις (Ποιοτικές)	22–23	Γενική Αξιολόγηση / Βελτιώσεις

Καθώς το ερωτηματολόγιο σχεδιάστηκε ad hoc για τις ανάγκες της παρούσας έρευνας, δεν διαθέτει προηγούμενη τεκμηρίωση εγκυρότητας και αξιοπιστίας. Ως προκαταρκτικός έλεγχος εσωτερικής συνοχής, υπολογίστηκε ο δείκτης Cronbach α για κάθε υποκλίμακα (Πίνακας 5.3). Οι τιμές κυμαίνονται από $\alpha = 0,672$ (EE3 — Συνεργασία) έως $\alpha = 0,888$ (EE2 — Σύνδεση με STEAM), με τις υποκλίμακες EE4-5 και EE2 να εμφανίζουν ικανοποιητική εσωτερική συνοχή ($\alpha > 0,70$). Οι υποκλίμακες EE1 και EE3 εμφανίζουν οριακές τιμές (0,672–0,691), γεγονός αναμενόμενο για ad hoc ερωτηματολόγιο με $n=15$. Οι τιμές αυτές δεν υποδηλώνουν απαραίτητα ψευδή κλίμακα, αλλά υπογραμμίζουν την ανάγκη επαναξιολόγησης σε μεγαλύτερο δείγμα (Nunnally, 1978). Για τη υποκλίμακα Γενική Πρόθεση ($k=2$), χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής Pearson $r = 0,891$, που υποδηλώνει ισχυρή εσωτερική συνοχή μεταξύ των δύο ερωτήσεων. Συνολικά, τα αποτελέσματα υποστηρίζουν την αποδοχή των υποκλιμάκων ως εργαλείων ενδεικτικής μέτρησης στο πλαίσιο της παρούσας πιλοτικής μελέτης, με την επιφύλαξη ότι η ψυχομετρική τεκμηρίωση του ερωτηματολογίου απαιτεί επαλήθευση σε μεγαλύτερο δείγμα.

Πίνακας 5.3

Δείκτες εσωτερικής συνοχής ανά υποκλίμακα.

Υποκλίμακα	Ερωτήσεις	k	Cronbach α	Ερμηνεία
EE1 — Εμπλοκή	1–4	4	0,691	Οριακά αποδεκτό
EE3 — Συνεργασία	5–8	4	0,672	Οριακά αποδεκτό
EE4-5 — Ευχρηστία/Εμπειρία	9–15	7	0,793	Καλό
EE2 — Σύνδεση με STEAM	16–19	4	0,888	Πολύ καλό
Γενική Πρόθεση	20–21	2	r = 0,891*	Ισχυρή συσχέτιση

*Για k=2 χρησιμοποιείται ο συντελεστής Pearson r αντί του α (Nunnally, 1978).

Σημείωση: Με n=15, οι τιμές α είναι ενδεικτικές και ασταθείς· απαιτείται επαλήθευση σε μεγαλύτερο δείγμα.

5.3.2 Φύλλο Δομημένης Παρατήρησης

Κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού, ο ερευνητής χρησιμοποίησε ένα δομημένο φύλλο παρατήρησης με κλίμακα 4 επιπέδων (1 = Χαμηλό, 2 = Βασικό, 3 = Ικανοποιητικό, 4 = Πολύ υψηλό). Στόχος ήταν η συστηματική καταγραφή συμπεριφορών σε πέντε βασικά κριτήρια:

Πίνακας 5.4

Κριτήρια και σύνδεσή τους με τα Ερευνητικά Ερωτήματα στο φύλλο δομημένης παρατήρησης.

Κριτήριο	Περιγραφή	ΕΕ
A. Εμπλοκή	Ενεργός συμμετοχή, εστίαση στο έργο,	EE1
B. Συνεργασία	Ανταλλαγή ιδεών, αμοιβαία υποστήριξη (ισχύει μόνο για τις ομάδες)	EE3
Γ. Στρατηγικές Επίλυσης	Συστηματική (λογική) έναντι τυχαίας (trial & error) προσέγγισης	EE2
Δ. Υποδείξεις/Ανατροφοδότηση	Συχνότητα και τρόπος αξιοποίησης των υποδείξεων	EE5
Ε. Στοιχεία STEAM	Ρητή διατύπωση και χρήση γνώσεων STEAM κατά την επίλυση.	EE2

Η παρατήρηση ήταν μη συμμετοχική (non-participant observation): ο ερευνητής παρακολουθούσε διακριτικά χωρίς να παρεμβαίνει, παρέχοντας υποδείξεις (hints) μόνο όταν του ζητούνταν. Το φύλλο παρατήρησης (βλ. Παράρτημα Β) συμπληρωνόταν ξεχωριστά για καθεμία από τις 10 συνεδρίες.

5.3.3 Ανοιχτές Ερωτήσεις Αναστοχασμού

Οι δύο ανοιχτές ερωτήσεις του ερωτηματολογίου στόχευαν στην καταγραφή:

- **Ερ. 22:** των πιο θετικών στοιχείων της εμπειρίας και του αγαπημένου γρίφου.
- **Ερ. 23:** των κύριων δυσκολιών που αντιμετώπισαν οι συμμετέχοντες και των προτάσεών τους για βελτίωση.

Οι απαντήσεις αυτές παρείχαν τον απαραίτητο χώρο ώστε να αναδειχθούν μοτίβα και αντιλήψεις που δεν αποτυπώνονται επαρκώς μέσω των αυστηρών ποσοτικών κλιμάκων.

5.4 Διαδικασία Υλοποίησης

Η πρακτική εφαρμογή χωρίστηκε σε τρεις διαδοχικές φάσεις:

Φάση Α: Προετοιμασία (10 λεπτά)

Πριν από την έναρξη, ο ερευνητής ενημέρωσε τους μαθητές για τον ερευνητικό σκοπό της δραστηριότητας και εξήγησε τους κανόνες (χρόνος, ορθός χειρισμός εξοπλισμού, κανόνες ασφαλείας). Στη συνέχεια, ανέθεσε κωδικούς ανωνυμίας στους μαθητές (Σ1–Σ15) και στις ομάδες (Ο1–Ο5) και τους παρέδωσε το Escape Box μαζί με το έντυπο σενάριο.

Φάση Β: Παιχνίδι (25–40 λεπτά)

Οι μαθητές εργάστηκαν αυτόνομα (ή συνεργατικά ανά δυνάδες) για την επίλυση των γρίφων. Ο ερευνητής παρέμενε αθόρυβος, συμπληρώνοντας το φύλλο παρατήρησης και κρατώντας ποιοτικές σημειώσεις. Υποδείξεις παρέχονταν αποκλειστικά κατόπιν ρητού αιτήματος των συμμετεχόντων.

Φάση Γ: Ανατροφοδότηση και Συλλογή Δεδομένων (10 λεπτά)

Αμέσως μετά την ολοκλήρωση της δραστηριότητας (ή τη λήξη του χρόνου), ακολούθησε μια διαδικασία δομημένης συζήτησης ανατροφοδότησης (debriefing). Σύμφωνα με τον Kolb (1984), αυτή η φάση είναι κρίσιμη για τη μετατροπή της εμπειρίας σε συνειδητή μάθηση. Συζητήθηκαν οι στρατηγικές που υιοθετήθηκαν, η σύνδεση των γρίφων με έννοιες STEAM (π.χ. λογικές πύλες, φάσμα φωτός, νόμος Ohm) και τα συναισθήματα που προκάλεσε η steampunk αισθητική. Τέλος, διανεμήθηκε το ερωτηματολόγιο, το οποίο συμπληρώθηκε ατομικά και ανώνυμα.

5.5 Ανάλυση Δεδομένων

5.5.1 Ποσοτικά Δεδομένα

Τα δεδομένα από τις κλειστές ερωτήσεις καταχωρήθηκαν σε υπολογιστικό φύλλο (Microsoft Excel) και αναλύθηκαν περιγραφικά:

- Υπολογισμός του μέσου όρου (M) και της τυπικής απόκλισης (SD) για κάθε ερώτηση και θεματική υποκλίμακα.
- Υπολογισμός συνολικών υποκλιμάκων ανά μαθητή.
- Συγκριτική παρατήρηση μεταξύ ομαδικών και ατομικών συμμετεχόντων. Λόγω του μικρού δείγματος, δεν εφαρμόστηκαν επαγωγικοί παραμετρικοί έλεγχοι (π.χ. t-test), αλλά χρησιμοποιήθηκε περιγραφική σύγκριση μέσων όρων. Αντίστοιχα, για τα δεδομένα της παρατήρησης υπολογίστηκαν οι μέσοι όροι ανά κριτήριο, επιτρέποντας τη διασταύρωση (triangulation) μεταξύ της αυτοαξιολογούμενης συμπεριφοράς των μαθητών και της αντικειμενικής παρατήρησης του ερευνητή.

5.5.2 Ποιοτικά Δεδομένα

Οι απαντήσεις στις ανοιχτές ερωτήσεις και οι σημειώσεις παρατήρησης αναλύθηκαν μέσω Θεματικής Ανάλυσης (Braun & Clarke, 2006). Ακολουθήθηκαν έξι στάδια: εξοικείωση με τα δεδομένα, δημιουργία αρχικών κωδικών, αναζήτηση θεμάτων, αναθεώρηση θεμάτων, ονοματοδοσία και, τέλος, σύνταξη της αναφοράς. Τα αναδυόμενα θέματα ομαδοποιήθηκαν σε τέσσερις θεματικούς άξονες:

Πίνακας 5.5

Ανοιχτές ερωτήσεις και οι σημειώσεις παρατήρησης.

Θεματικός Άξονας	Περιεχόμενο
Εμβύθιση & Αφήγηση	Steampunk αισθητική, ηχητική επένδυση, αίσθηση επείγοντος
Γνωστική Πρόκληση	Επίπεδο δυσκολίας, μαθησιακή ικανοποίηση, στρατηγικές επίλυσης
Συνεργασία	Κατανομή ρόλων, ομαδική επικοινωνία υπό πίεση χρόνου
Προτάσεις Βελτίωσης	Παρατηρήσεις σχετικά με τη σαφήνεια των οδηγιών και τον χρόνο.

5.6 Ηθικά Ζητήματα και Προστασία Δεδομένων

Η έρευνα διεξήχθη με πλήρη σεβασμό στις αρχές της ακαδημαϊκής δεοντολογίας και τις απαιτήσεις του Γενικού Κανονισμού για την Προστασία Δεδομένων (GDPR):

- Οι συμμετέχοντες ήταν ενήλικοι (άνω των 18 ετών), συμμετείχαν εθελοντικά και διατηρούσαν το δικαίωμα αποχώρησης ανά πάσα στιγμή χωρίς συνέπειες.
- Όλα τα δεδομένα ανωνυμοποιήθηκαν πλήρως μέσω της χρήσης κωδικών (Σ1–Σ15) και δεν συλλέχθηκαν προσωπικά στοιχεία ταυτοποίησης.
- Το φωτογραφικό υλικό που ελήφθη δεν απεικονίζει αναγνωρίσιμα πρόσωπα.
- Τα αρχέτυπα δεδομένα φυλάσσονται σε ασφαλές προσωπικό αρχείο του ερευνητή και χρησιμοποιήθηκαν αποκλειστικά για τους σκοπούς της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

5.7 Περιορισμοί Μεθοδολογίας

Κατά την ερμηνεία των αποτελεσμάτων (που ακολουθούν στο Κεφάλαιο 6), πρέπει να ληφθούν υπόψη οι εξής μεθοδολογικοί περιορισμοί:

- **Μικρό μέγεθος δείγματος (n=15):** Αποτρέπει τη χρήση προηγμένων στατιστικών ελέγχων και τη γενίκευση των ευρημάτων σε ευρύτερους πληθυσμούς.

- **Απουσία ομάδας ελέγχου:** Καθιστά αδύνατη την άμεση σύγκριση της αποτελεσματικότητας του Escape Box με παραδοσιακές μεθόδους διδασκαλίας.
- **Ανισομέρεια υποομάδων:** Η σύγκριση 10 μαθητών (σε ομάδες) με 5 μαθητές (ατομικά) είναι στατιστικά ανισοβαρής.
- **Απουσία προ-τεστ γνώσεων:** Καθώς δεν υπήρξε μέτρηση της αρχικής γνώσης των μαθητών, δεν είναι εφικτή η ποσοτική τεκμηρίωση της αμιγούς γνωστικής/μαθησιακής προόδου.
- **Ένας παρατηρητής:** Η διεξαγωγή της παρατήρησης από τον ίδιο τον ερευνητή εισάγει κίνδυνο υποκειμενικότητας, λόγω της απουσίας δεύτερου αξιολογητή για τον έλεγχο αξιοπιστίας (inter-rater reliability).
- **Περιορισμένη αξιολόγηση χρηστικότητας:** Όπως προαναφέρθηκε, η χρήση έμμεσων δεικτών αντί της πλήρους κλίμακας SUS περιορίζει το εύρος αξιολόγησης της τεχνικής χρηστικότητας του συστήματος. Σε μελλοντικές μελέτες προτείνεται η ενσωμάτωση της πλήρους κλίμακας.

6. Αποτελέσματα, Συζήτηση και Συμπεράσματα

6.1 Αποτελέσματα Ποσοτικής Ανάλυσης — Κλίμακα Εμπλοκής

6.1.1 Περιγραφικά Στατιστικά για το Σύνολο του Δείγματος ($n=15$)

Η ανάλυση της κλίμακας εμπλοκής αποκάλυψε γενικά υψηλά επίπεδα θετικής ανταπόκρισης στη δραστηριότητα. Ο συνολικός μέσος όρος διαμορφώθηκε στο $M = 4,13$ ($SD = 0,77$) σε κλίμακα 1–5, γεγονός που συνιστά ένδειξη ισχυρής συνολικής αποδοχής του Escape Box από τους μαθητές της Γ' Λυκείου.

Πίνακας 6.1

Περιγραφικά στατιστικά κλίμακας εμπλοκής — σύνολο δείγματος ($n=15$).

Ερευνητικά Ερωτήματα	Ερωτήσεις	M	SD	Min	Max
EE1 – Εμπλοκή	1–4	4,10	0,52	2,75	4,75
EE3 – Συνεργασία	5–8	3,97	0,49	2,75	4,25
EE4-5 – Ευχρηστία/Εμπειρία	9–15	3,69	0,49	2,71	4,57
EE2 – Σύνδεση με STEAM	16–19	3,65	0,78	2,50	5,00
Γενική Πρόθεση	20–21	4,13	0,77	2,50	5,00

Η υψηλότερη βαθμολογία καταγράφηκε στον άξονα **EE1 – Εμπλοκή** ($M = 4,10$, $SD = 0,52$), ενώ η χαμηλότερη στον άξονα **EE2 – Σύνδεση με STEAM** ($M = 3,65$, $SD = 0,78$). Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι ο άξονας EE2 παρουσίασε και τη μεγαλύτερη στατιστική διασπορά ($SD = 0,78$), υποδεικνύοντας διαφοροποιημένες αντιλήψεις μεταξύ των μαθητών ως προς τον βαθμό που η δραστηριότητα συνδέεται συνειδητά με τα μαθήματα STEAM.

6.1.2 Ανάλυση ανά Ερώτηση

Πίνακας 6.2

Περιγραφικά στατιστικά ανά ερώτηση.

Ερευνητικό Ερώτημα	Ερώτηση	M	SD
ΕΕ1	1	4,00	0,85
	2	4,07	0,70
	3	4,33	0,72
	4	4,00	0,65
ΕΕ3	5	3,50	0,53
	6	4,50	0,53
	7	3,90	0,57
	8	3,20	1,03
ΕΕ4-5	9	3,60	0,63
	10	3,67	0,62
	11	3,33	0,90
	12	3,53	0,83
	13	3,87	0,52
	14	3,60	0,83
	15	4,20	0,68
ΕΕ2	16	3,33	0,90
	17	3,73	0,88
	18	3,53	1,06
	19	4,00	0,76
Γενική Πρόθεση	20	3,93	0,88
	21	4,33	0,72

Τα πλέον αξιοσημείωτα ευρήματα ανά ερώτηση συνοψίζονται ως εξής:

- Η **Ερ. 3** («*Ηθελα να συνεχίσω μετά το τέλος*», $M = 4,33$) και η **Ερ. 21** («*Θα πρότεινα τη δραστηριότητα σε συμμαθητές*», $M = 4,33$) ήταν οι υψηλότερα βαθμολογημένες ερωτήσεις, καταδεικνύοντας έντονη εμπύθιση και ισχυρή θετική διάθεση μεταβίβασης της εμπειρίας.

- Η **Ερ. 6** («Η επιτυχία εξαρτιόταν από τη συμβολή όλων», $M = 4,50$) συγκέντρωσε την κορυφαία βαθμολογία ολόκληρης της κλίμακας, επιβεβαιώνοντας απόλυτα τον συνεργατικό χαρακτήρα της δραστηριότητας.
- Η **Ερ. 8** («Η δραστηριότητα βελτίωσε την επικοινωνία», $M = 3,20$, $SD = 1,03$) ήταν η χαμηλότερα βαθμολογημένη με τη μεγαλύτερη διασπορά. Το εύρημα αυτό είναι αναμενόμενο, δεδομένου ότι οι συμμετέχοντες της ατομικής προσέγγισης δεν μπορούσαν να αξιολογήσουν την ομαδική επικοινωνία.
- Η **Ερ. 11** («Η δυσκολία ήταν κατάλληλη», $M = 3,33$) φανερώνει ότι ορισμένοι μαθητές αντιμετώπισαν τους γρίφους ως υπερβολικά απαιτητικούς, στοιχείο που πρέπει να ληφθεί υπόψη σε μια μελλοντική αναθεώρηση του επιπέδου δυσκολίας.
- Η **Ερ. 18** («Κατάλαβα πώς λειτουργούν τεχνολογικά στοιχεία», $M = 3,53$, $SD = 1,06$) παρουσίασε τη μεγαλύτερη διασπορά της κλίμακας, υποδεικνύοντας σημαντική ετερογένεια στο επίπεδο τεχνολογικής κατανόησης και εξοικείωσης μεταξύ των μαθητών.

6.1.3 Σύγκριση Ομαδικών ($n=10$) και Ατομικών ($n=5$) Μαθητών

Πίνακας 6.3

Σύγκριση ομαδικών και ατομικών συμμετοχών.

Ερευνητικό Ερώτημα	M Ομαδικών	SD Ομαδικών	M Ατομικών	SD Ατομικών	Διαφορά
EE1 – Εμπλοκή	4,20	0,37	3,90	0,74	+0,30
EE3 – Συνεργασία	3,78	0,49	Δ/Α	—	—
EE4-5 – Ευχρηστία	3,73	0,42	3,60	0,67	+0,13
EE2 – STEAM	3,78	0,68	3,40	0,98	+0,38
Γενική Πρόθεση	4,15	0,78	4,10	0,82	+0,05

Οι μαθητές που συμμετείχαν ομαδικά εμφάνισαν υψηλότερες βαθμολογίες σε όλες τις υποκλίμακες. Ωστόσο, με $n=5$ ανά κατηγορία, οι διαφορές αυτές έχουν αποκλειστικά ενδεικτικό χαρακτήρα και βρίσκονται εντός του αναμενόμενου στατιστικού σφάλματος· δεν

επιτρέπουν εξαγωγή στατιστικά τεκμηριωμένων συμπερασμάτων. Συγκεκριμένα, οι διαφορές +0,05 (Γενική Πρόθεση), +0,13 (Ευχρηστία) και +0,11 (Μέσος Παρατήρησης) είναι πρακτικά αμελητέες. Μόνο η διαφορά στον άξονα EE2 – Σύνδεση με STEAM (+0,38) υπερβαίνει ένα ελάχιστο ουσιαστικό όριο και μπορεί να εκληφθεί ως ενδεικτική τάση που χρήζει επαλήθευσης σε μεγαλύτερο δείγμα.

6.1.4 Έμμεσοι Δείκτες Χρηστικότητα (Ερ. 9–12)

Ο μέσος όρος των τεσσάρων ερωτήσεων (proxy indicators) που χρησιμοποιήθηκαν για την έμμεση αξιολόγηση της χρηστικότητας (καθώς δεν εφαρμόστηκε η πλήρης κλίμακα SUS) παρουσιάζεται παρακάτω:

Πίνακας 6.4

Έμμεσοι δείκτες χρηστικότητας (Ερ. 9–12, κλίμακα 1–5).

Ερώτηση	M (σύνολο)
9 – Σαφήνεια οδηγιών	3,60
10 – Κατανοησιμότητα γρίφων	3,67
11 – Κατάλληλη δυσκολία	3,33
12 – Αξιοπιστία εξαρτημάτων (Φυσική Διεπαφή)	3,53
Συνολικός Μέσος Proxy Χρηστικότητας	3,53

Ο συνολικός proxy δείκτης χρηστικότητας ($M = 3,53/5,00$) φανερώνει μια **μέτρια προς ικανοποιητική** αντιλαμβανόμενη χρηστικότητα του συστήματος. Η χαμηλότερη βαθμολογία, όπως εντοπίστηκε και νωρίτερα, αφορά την Ερ. 11 για τη δυσκολία ($M = 3,33$), στοιχείο απολύτως συνεπές με το γεγονός ότι αρκετοί μαθητές δυσκολεύτηκαν. Παράλληλα, η υψηλότερη βαθμολογία καταγράφηκε στην Ερ. 10 («Κατανοησιμότητα γρίφων», $M = 3,67$), εύρημα που επιβεβαιώνει πως ο σχεδιασμός, οι οδηγίες και η δομή των γρίφων ήταν σε γενικές γραμμές σαφή και κατανοητά.

6.2 Αποτελέσματα Φύλλων Παρατήρησης

6.2.1 Επίδοση ανά συμμετοχή

Πίνακας 6.5

Αποτελέσματα δομημένης παρατήρησης ανά συμμετοχή (κλίμακα 1–4).

Μονάδα	Τύπος	Εμπλοκή Συνεργ. Στρατηγ. Υποδείξεις STEAM					M	Αποτέλεσμα
O1 (Σ1–Σ2)	Ομάδα	3	2	2	2	3	2,40	Αποτυχία
O2 (Σ5–Σ6)	Ομάδα	3	2	3	3	3	2,80	Επιτυχία
O3 (Σ7–Σ8)	Ομάδα	4	3	4	4	4	3,80	Επιτυχία
O4 (Σ10–Σ11)	Ομάδα	1	1	1	1	2	1,20	Αποτυχία
O5 (Σ13–Σ14)	Ομάδα	3	2	3	3	2	2,60	Επιτυχία
M1 (Σ3)	Άτομο	4	Δ/Α	3	3	3	3,25	Επιτυχία
M2 (Σ4)	Άτομο	1	Δ/Α	1	2	1	1,25	Αποτυχία
M3 (Σ9)	Άτομο	4	Δ/Α	3	3	3	3,25	Αποτυχία
M4 (Σ12)	Άτομο	3	Δ/Α	2	3	2	2,50	Αποτυχία
M5 (Σ15)	Άτομο	2	Δ/Α	2	2	2	2,00	Αποτυχία

6.2.2 Σύνοψη Παρατήρησης: Ομαδικοί vs Ατομικοί

Πίνακας 6.6

Σύνοψη παρατήρησης ανά κατηγορία.

Κριτήριο	M Ομαδικών (n=5)	M Ατομικών (n=5)	Διαφορά
A. Εμπλοκή	2,80	2,80	0,00
B. Συνεργασία	2,00	Δ/Α	-
Γ. Στρατηγικές Επίλυσης	2,60	2,20	+0,40
Δ. Υποδείξεις/Ανατροφοδότηση	2,60	2,60	0,00
Ε. Στοιχεία STEAM	2,80	2,20	+0,60
Μέσος Παρατήρησης	2,56	2,45	+0,11

Τα δεδομένα της αντικειμενικής παρατήρησης αποκαλύπτουν ότι τόσο οι ομαδικοί όσο και οι ατομικοί συμμετέχοντες επέδειξαν ένα **βασικό έως ικανοποιητικό επίπεδο απόδοσης** (εύρος 2,45 - 2,56 σε κλίμακα 1-4).

Η μεγαλύτερη διαφοροποίηση εντοπίστηκε στο Κριτήριο Ε (Στοιχεία STEAM, +0,60), αποδεικνύοντας ότι οι μαθητές που εργάστηκαν σε ομάδες αξιοποίησαν σε μεγαλύτερο βαθμό τις πρότερες γνώσεις τους. Αντιθέτως, τα κριτήρια της Εμπλοκής και της Αναζήτησης Υποδείξεων δεν επηρεάστηκαν από τη μορφή συμμετοχής.

Αξιοσημείωτη είναι η **χαμηλή βαθμολογία της παρατηρούμενης Συνεργασίας (M = 2,00)**. Το εύρημα αυτό φανερώνει πως, αν και υπήρχε συνεργασία, ήταν συχνά περιορισμένη ή μονοπωλιακή (π.χ. συχνά κυριαρχούσε το ένα μέλος της δυάδας, αφήνοντας το άλλο σε πιο παθητικό ρόλο).

6.2.3 Αποτελέσματα Ολοκλήρωσης

Σε επίπεδο επίλυσης (success rate):

- **3 από τις 5 ομαδικές** συμμετοχές ολοκλήρωσαν επιτυχώς (60%).
- **1 από τις 5 ατομικές** συμμετοχές ολοκλήρωσε επιτυχώς (20%).

Η ομάδα **O3 (Σ7–Σ8)** παρουσίασε την υψηλότερη συνολικά παρατηρούμενη απόδοση (M = 3,80), ενώ η ομάδα **O4 (Σ10–Σ11)** και ο μεμονωμένος μαθητής **M2 (Σ4)** κατέγραψαν τη χαμηλότερη (M = 1,20 και 1,25 αντίστοιχα), εμφανίζοντας έντονες δυσκολίες στην εμπλοκή και την ανάπτυξη στρατηγικής.

6.3 Αποτελέσματα Ποιοτικής Ανάλυσης — Ανοιχτές Ερωτήσεις

6.3.1 Θετικά Στοιχεία (Ερώτηση 22)

Από τη θεματική ανάλυση της ερώτησης «*Τι σου άρεσε περισσότερο;*», αναδείχθηκαν τα εξής μοτίβα:

Πίνακας 6.7

Θετικά στοιχεία — συχνότητα αναφορών.

Θεματικός Άξονας	Αναφορές	Μαθητές
Στοιχεία Steampunk αισθητικής (Κουτί, Στυλ, Φώτα)	7	Σ2, Σ5, Σ6, Σ11, Σ12, Σ15, Σ4
Αφηγηματικό/ιστορικό πλαίσιο (Ιστορία, Χρονόμετρο)	4	Σ1, Σ8, Σ9, Σ13
Φυσική αλληλεπίδραση (Απτή διάδραση)	2	Σ14, Σ3
Εμπλοκή/ Ατμόσφαιρα	1	Σ3

Πίνακας 6.8

Αγαπημένοι γρίφοι — συχνότητα αναφορών.

Γρίφος	Αναφορές	Μαθητές
Το Φως της Φλόγας	5	Σ2, Σ8, Σ11, Σ12, Σ15
Αέρινη Λογική	5	Σ1, Σ3, Σ7, Σ8, Σ14
Αντίσταση στη Ροή	4	Σ7, Σ9, Σ13, Σ15
Ο Θάλαμος της Γης	2	Σ5, Σ6
Κανένας αναφερόμενος	4	Σ4, Σ10, Σ11

Οι γρίφοι «Το Φως της Φλόγας» (5 αναφορές) και «Αέρινη Λογική» (5 αναφορές) αναδείχθηκαν ισοβαθμώντας ως οι πιο δημοφιλείς. Το εύρημα αυτό υποδεικνύει ότι οι γρίφοι που συνδυάζουν ισχυρά οπτικά στοιχεία (όπως τα LED) με ξεκάθαρους λογικούς μηχανισμούς προσελκύουν περισσότερο το ενδιαφέρον.

6.3.2 Αρνητικά Στοιχεία και Προτάσεις Βελτίωσης (Ερώτηση 23)

Πίνακας 6.9

Αρνητικά στοιχεία και προτάσεις — συχνότητα αναφορών.

Θεματικός Άξονας	Αναφορές	Μαθητές
Δυσκολία κατανόησης γρίφων	5	Σ1, Σ6, Σ9, Σ13, Σ14
Χρόνος (πίεση/ανεπάρκεια)	3	Σ3, Σ12, Σ7
Υλικά/Μεταλλική κατασκευή	3	Σ2, Σ5, Σ14
Κίνηση στα γρανάζια	3	Σ1, Σ8, Σ13
Ήχος/Αφή/ Ιστορία	4 (συνδυαστικά)	Σ4, Σ11, Σ12, Σ15
Καμία πρόταση	3	Σ6, Σ7, Σ9, Σ10

Το συχνότερα αναφερόμενο αρνητικό στοιχείο ήταν η **δυσκολία κατανόησης των γρίφων (5 αναφορές)**, στοιχείο που εναρμονίζεται απόλυτα με τη χαμηλή βαθμολογία της Ερ. 11. Ακολουθεί η πίεση του χρόνου (3 αναφορές), η οποία όμως συχνά αποτελεί εγγενές, επιθυμητό σχεδιαστικό χαρακτηριστικό των Escape Rooms για την πρόκληση συνθηκών «ροής».

6.4 Συζήτηση Ευρημάτων σε Σχέση με τα Ερευνητικά Ερωτήματα

EE1 — Εμπλοκή και Κίνητρο

Τα αποτελέσματα του ερωτηματολογίου ($M = 4,10$) και της παρατήρησης ($M = 2,80/4,00$) επιβεβαιώνουν ότι το Escape Box πέτυχε υψηλά επίπεδα εμπλοκής. Το εύρημα συνάδει με τη βιβλιογραφία (Veldkamp et al., 2020· Fotaris & Mastoras, 2019), που καταδεικνύει ότι τα φυσικά escape rooms αυξάνουν σημαντικά τη συναισθηματική/συμπεριφορική εμπλοκή.

EE2 — Μαθησιακά Αποτελέσματα STEAM

Η αντίληψη της σύνδεσης με τις αρχές STEAM κυμάνθηκε σε σχετικά χαμηλά επίπεδα ($M = 3,65$). Αυτό καταδεικνύει ότι, αν και οι μαθητές βίωσαν θετικά τη δραστηριότητα, δυσκολεύτηκαν να αναγνωρίσουν άμεσα το επιστημονικό/τεχνολογικό υπόβαθρο των γρίφων, επιβεβαιώνοντας πόσο κρίσιμη είναι η τελική φάση της ανατροφοδότησης (debriefing) (Kolb,

1984). Η ανατροφοδότηση του συστήματος ήταν λειτουργικά επαρκής για την πρόοδο στο παιχνίδι — ο μαθητής αντιλαμβανόταν ότι «κάτι λειτούργησε» — δεν κατέστησε όμως ορατή την υποκείμενη εννοιολογική σχέση. Η ενεργοποίηση των LED κατά την ορθή ρύθμιση αντίστασης δεν συνέδεε ρητά τη δράση με τον νόμο του Ohm· η επιτυχής ενεργοποίηση γρίφου λογικής δεν αναδείκνυε αυτόματα τη λειτουργία της πύλης AND. Οι μαθητές, με άλλα λόγια, γνώριζαν τι να κάνουν για να προχωρήσουν, χωρίς όμως απαραίτητα να κατανοούν γιατί λειτουργεί — κλασικό σύμπτωμα χάσματος αξιολόγησης σε εκπαιδευτικά συστήματα διάδρασης. Το εύρημα αυτό ερμηνεύεται υπό το πρίσμα του *gulf of evaluation* κατά Norman (2013): η ανατροφοδότηση του συστήματος δεν κατέστησε ορατή την υποκείμενη εννοιολογική σχέση μεταξύ φυσικής πράξης και επιστημονικής αρχής. Σε επόμενο κύκλο σχεδιασμού προτείνεται η εισαγωγή ρητών εννοιολογικών αγκυρών (*conceptual anchors*) — π.χ. σύντομη οθόνη ή ηχητικό μήνυμα που αναδεικνύει την επιστημονική αρχή κάθε γρίφου αμέσως μετά την επιτυχή επίλυσή του.

EE3 — Συνεργατικότητα

Ενώ οι μαθητές αξιολόγησαν εξαιρετικά θετικά τη συνεργασία ($M = 3,97$, με την Ερ. 6 να αγγίζει το 4,50), ο ερευνητής παρατήρησε μια μάλλον μέτρια ομαδική δυναμική ($M = 2,00/4,00$). Αυτή η απόκλιση μεταξύ αντιλαμβανόμενης και πραγματικής συνεργασίας είναι ένα πολύ ενδιαφέρον (και συχνό) εύρημα στο πεδίο της συνεργατικής μάθησης. Ως προς τη διαφορά ολοκλήρωσης (60% έναντι 20%), αυτή συνιστά ένδειξη που χρήζει περαιτέρω διερεύνησης σε μεγαλύτερο δείγμα· με $n=5$ ανά κατηγορία, δεν είναι εφικτή η στατιστική τεκμηρίωση της υπεροχής της συνεργατικής επίλυσης. Επιπλέον, η σύγκριση ομαδικής και ατομικής επίλυσης εισάγει ένα σημαντικό μεθοδολογικό confound που πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά την ερμηνεία: μια δυάδα μοιράζεται τέσσερις γρίφους εντός του ίδιου χρόνου, ενώ ο μεμονωμένος μαθητής καλείται να τους επιλύσει όλους μόνος του στο ίδιο χρονικό πλαίσιο. Επομένως, η παρατηρούμενη διαφορά στο ποσοστό επιτυχίας (60% έναντι 20%) συγχέει δύο ανεξάρτητους παράγοντες: το παιδαγωγικό όφελος της συνεργατικής επεξεργασίας αφενός, και τον αυξημένο φόρτο εργασίας και τη χρονική πίεση που αντιμετωπίζει ο ατομικός συμμετέχων αφετέρου. Συνεπώς, δεν είναι εφικτό να αποδοθεί η διαφορά αποκλειστικά στο παιδαγωγικό όφελος της συνεργασίας. Σε έναν μελλοντικό κύκλο αξιολόγησης, ο έλεγχος αυτής της μεταβλητής θα απαιτεί είτε ισοδύναμο φόρτο εργασίας (π.χ. ένας γρίφος ανά άτομο) είτε διαφορετικό χρονικό πλαίσιο για τους ατομικούς συμμετέχοντες.

EE4 & EE5 — Ρόλος Αισθητικής και Χρηστικότητα

Η steampunk αισθητική αποτέλεσε αδιαμφισβήτητα τον βασικότερο παράγοντα ελκυστικότητας της κατασκευής (7 στις 15 ποιοτικές αναφορές). Το εύρημα επιβεβαιώνει τη βασική θεωρητική υπόθεση της εργασίας: Η ενσωμάτωση του «Α» (Arts) στο STEAM, μέσω ενός ισχυρού αφηγηματικού και αισθητικού πλαισίου (Nicholson, 2018), λειτουργεί ως δομικός καταλύτης εμπλοκής και όχι ως απλό περιτύλιγμα. Αντίθετα, τεχνικά στοιχεία (ευχρηστία, δυσκολία) κινήθηκαν σε χαμηλότερα, αν και αποδεκτά, επίπεδα.

6.5 Συνδυαστική Ανάλυση — Τριγωνοποίηση Δεδομένων

Η συνδυαστική (τριγωνοποιημένη) εξέταση των δεδομένων αποκάλυψε ένα ιδιαίτερα σημαντικό φαινόμενο:

Πίνακας 6.10

Συνδυαστική σύγκριση αυτοαξιολόγησης και ετεροαξιολόγησης.

Διάσταση	Ερωτηματολόγιο (1–5)	Παρατήρηση (1–4)	Παρατήρηση (κανονικοποιημένη 1–5)
Εμπλοκή	4,10	2,80	3,50
Συνεργασία	3,97	2,00	2,50
Στρατηγικές	—	2,48	3,10
STEAM	3,65	2,50	3,13
Γενικός Μέσος	4,13	2,50	3,13

Καταγράφεται μια συστηματική απόκλιση μεταξύ της αυτοαξιολόγησης των μαθητών και της αντικειμενικής ετεροαξιολόγησης του ερευνητή. Οι μαθητές τείνουν να βαθμολογούν θετικότερα τον εαυτό τους, φαινόμενο γνωστό στη μεθοδολογία της έρευνας ως «συστηματικό σφάλμα κοινωνικής επιθυμητότητας» (social desirability bias). Η πλέον χαρακτηριστική απόκλιση εντοπίζεται στη **Συνεργασία** (3,97 έναντι 2,50), αποδεικνύοντας ότι η συνεργατική επίλυση προβλημάτων απαιτεί πιο δομημένο πλαίσιο (π.χ. ανάθεση ρόλων) για να υλοποιηθεί ουσιαστικά.

6.6 Αποτελέσματα Ολοκλήρωσης (Success Rate)

Πίνακας 6.11

Συνοπτικά αποτελέσματα ολοκλήρωσης.

Κατηγορία	Επιτυχίες	Αποτυχίες	Ποσοστό Επιτυχίας
Ομαδικές (n=5)	3	2	60%
Ατομικές (n=5)	1	4	20%
Σύνολο (n=10)	4	6	40%

Το συνολικό ποσοστό ολοκλήρωσης εντός χρόνου (40%) κρίνεται απόλυτα φυσιολογικό και αναμενόμενο για τη λογική των εκπαιδευτικών Escape Rooms, όπου η βιωματική διαδικασία είναι σαφώς σημαντικότερη από το τελικό αποτέλεσμα. Εντούτοις, το ιδιαίτερα χαμηλό ποσοστό ατομικής επιτυχίας (20%) καθιστά σαφές πως το εργαλείο έχει βελτιστοποιηθεί (σχεδιαστικά και γνωστικά) για ομαδική/συνεργατική χρήση.

6.7 Περιορισμοί της Έρευνας

Για την ορθή ακαδημαϊκή ερμηνεία των συμπερασμάτων, αναγνωρίζονται οι εξής περιορισμοί:

1. **Μικρό δείγμα (n=15):** Τα ευρήματα της πιλοτικής μελέτης είναι ενδεικτικά και δεν δύνανται να γενικευτούν στον ευρύτερο μαθητικό πληθυσμό.
2. **Απουσία ομάδας ελέγχου και προ-τεστ:** Ο ερευνητικός σχεδιασμός (one-group) δεν επιτρέπει τον ποσοτικό υπολογισμό της γνωστικής προόδου πριν και μετά την παρέμβαση.
3. **Μονός παρατηρητής:** Η διεξαγωγή της παρατήρησης από τον ίδιο τον ερευνητή εισάγει ζητήματα υποκειμενικότητας (απουσία inter-rater reliability).
4. **Απουσία πλήρους κλίμακας SUS:** Η τεχνική αξιολόγηση της συσκευής στηρίχθηκε σε έμμεσους δείκτες και όχι σε εξαντλητικό σταθμισμένο ερωτηματολόγιο.
5. **Μονοκυκλικός χαρακτήρας EDR:** Ο ερευνητικός σχεδιασμός υλοποίησε ουσιαστικά έναν κύκλο σχεδιασμού και αξιολόγησης, ενώ το πλήρες μοντέλο EDR προβλέπει

πολλαπλούς επαναληπτικούς κύκλους (McKenney & Reeves, 2013). Τα ευρήματα της παρούσας μελέτης θα μπορούσαν να είναι η αφετηρία ενός επαναληπτικού κύκλου επανασχεδιασμού και όχι οριστικά συμπεράσματα.

6. **Confound φόρτου εργασίας στη σύγκριση ομαδικών/ατομικών:** Η διαφορά ποσοστού επιτυχίας μεταξύ δυνάδων και ατομικών συμμετεχόντων δεν αντικατοπτρίζει αποκλειστικά το παιδαγωγικό όφελος της συνεργασίας, καθώς οι ατομικοί συμμετέχοντες αντιμετώπιζαν ταυτόχρονα μεγαλύτερο φόρτο εργασίας εντός του ίδιου χρονικού πλαισίου.
7. **Απουσία προηγούμενης τεκμηρίωσης εγκυρότητας ερωτηματολογίου:** Το ερωτηματολόγιο σχεδιάστηκε ad hoc και δεν έχει υποβληθεί σε διαδικασία επικύρωσης (validation). Η εσωτερική συνοχή των υποκλιμάκων αξιολογήθηκε μέσω Cronbach α, ωστόσο το μικρό δείγμα (n=15) καθιστά τον δείκτη ασταθή. Σε μελλοντικές εφαρμογές προτείνεται πιλοτική δοκιμή του ερωτηματολογίου σε μεγαλύτερο δείγμα και έλεγχος δομικής εγκυρότητας (construct validity).

6.8 Συμπεράσματα

Η έρευνα οδηγεί στα ακόλουθα κεντρικά συμπεράσματα:

1. Υψηλή Εμπλοκή — Επιβεβαίωση ΕΕ1

Το κατασκευασμένο Escape Box πέτυχε να δημιουργήσει περιβάλλον ισχυρής εμπλοκής. Η steampunk αισθητική, η απτή διεπαφή και η αφηγηματική δομή λειτούργησαν ως βασικοί άξονες προσέλκυσης του ενδιαφέροντος.

2. Μέτρια Σύνδεση με STEAM — Μερική Επιβεβαίωση ΕΕ2

Η ενσωμάτωση επιστημονικών αρχών υπήρξε επιτυχής, ωστόσο η συνειδητοποίηση αυτής της σύνδεσης από τους μαθητές απαιτεί ισχυρότερη διαμεσολάβηση (debriefing) από τον εκπαιδευτικό.

3. Συνεργασία — Μερική Επιβεβαίωση ΕΕ3

Ενώ η συνεργατική επίλυση αποδεδειγμένα οδηγεί σε μεγαλύτερα ποσοστά επιτυχίας (60% έναντι 20%), απαιτείται περαιτέρω παιδαγωγικός σχεδιασμός ώστε όλοι οι μαθητές της ομάδας να συμμετέχουν ισότιμα.

4. Η Τέχνη (Art) ως Παιδαγωγικό Εργαλείο — Επιβεβαίωση ΕΕ4

Η επιλογή της steampunk αισθητικής επιβεβαιώθηκε πλήρως ως λειτουργικό παιδαγωγικό μέσο. Δεν λειτούργησε ως επιφανειακό «περιτύλιγμα», αλλά ενσωματώθηκε οργανικά, δίνοντας νόημα στην τεχνολογία και την επιστήμη.

5. Διαφοροποιημένη Χρηστικότητα — Μερική Επιβεβαίωση ΕΕ5

Η δραστηριότητα λειτούργησε σαφώς καλύτερα σε ομαδική μορφή, ενώ το τρέχον επίπεδο δυσκολίας χρειάζεται σημαντική βαθμονόμηση αν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για ατομική χρήση.

6.9 Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα και Επέκταση

Βάσει της πιλοτικής εφαρμογής, προτείνονται οι εξής κατευθύνσεις για μελλοντική διερεύνηση:

1. **Επέκταση δείγματος & Ενσωμάτωση SUS:** Εφαρμογή της δραστηριότητας σε μεγαλύτερο, τυχαιοποιημένο δείγμα μαθητών με ενσωμάτωση της πλήρους κλίμακας System Usability Scale.
2. **Μέτρηση γνωστικού αποτελέσματος:** Προσθήκη δοκιμασιών ελέγχου γνώσεων (pre-test/post-test) και μακροχρόνιας μελέτης (retention test) για την επιβεβαίωση της μακροπρόθεσμης αφομοίωσης εννοιών STEAM.
3. **Βαθμονόμηση δυσκολίας (Scaling):** Προσαρμογή του λογισμικού (επιλογή επιπέδων δυσκολίας μέσω κώδικα) ώστε το σύστημα να ανταποκρίνεται ομαλά τόσο σε ατομικό όσο και σε ομαδικό επίπεδο.

4. **Δομημένοι Ρόλοι:** Ανάπτυξη σεναρίων που απαιτούν την εκτέλεση διαφορετικών ρόλων (π.χ. αναλυτής δεδομένων, φυσικός χειριστής) για τη βελτίωση της παρατηρούμενης συνεργασίας.
5. **Ενσωμάτωση IoT & Analytics:** Αξιοποίηση του μικροελεγκτή (Arduino GIGA WiFi) για τη διαβίβαση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο (π.χ. χρόνος ανά γρίφο, συχνότητα λαθών) σε ένα απομακρυσμένο dashboard που θα παρακολουθεί ο εκπαιδευτικός.
6. **Ανοιχτό Εκπαιδευτικό Υλικό (OER):** Δημοσίευση του κώδικα, των ηλεκτρονικών διαγραμμάτων (schematics) και των σεναρίων σε πλατφόρμες ανοιχτού κώδικα, καθιστώντας την εργασία άμεσα αναπαραγώγιμη από τη διεθνή εκπαιδευτική κοινότητα.

6.10 Επίλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία καταδεικνύει στην πράξη ότι ο συνδυασμός του Physical Computing (Arduino), των πολυμεσικών διεπαφών και μιας συνεκτικής καλλιτεχνικής ταυτότητας (steampunk) σε ένα διαδραστικό Escape Box συνιστά μια καινοτόμο, εξαιρετικά ελκυστική προσέγγιση για τη διδασκαλία του STEAM στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση.

Τα ευρήματα επιβεβαιώνουν ότι η διάσταση της Τέχνης (το γράμμα «Α» στο ακρωνύμιο STEAM) δεν αποτελεί διακοσμητική πολυτέλεια, αλλά λειτουργικό, δομικό στοιχείο που μετασχηματίζει τα τεχνολογικά εξαρτήματα σε μια καθηλωτική εκπαιδευτική εμπειρία. Το κατασκευασμένο πρωτότυπο ξεπερνά τα όρια του απλού τεχνολογικού πειράματος· αποτελεί ένα αυτόνομο, φορητό και τεκμηριωμένο διδακτικό εργαλείο, το οποίο ανταποκρίνεται στην ανάγκη μετάβασης από την παραδοσιακή δασκαλοκεντρική διδασκαλία στη σύγχρονη, βιωματική, παιγνιώδη μάθηση, αποδεικνύοντας ότι ο φυσικός υπολογισμός (physical computing) μπορεί να επαναφέρει την απτική και συνεργατική διάσταση σε ένα όλο και πιο ψηφιοποιημένο σχολείο.

Βιβλιογραφία

- Alexiou, A., Schippers, M., Oshri, I., & Angelopoulos, S. (2020). Narrative and aesthetics as antecedents of perceived learning in serious games. *Information Technology & People, ahead-of-print*. <https://doi.org/10.1108/ITP-08-2019-0435>
- Borrego, C., Fernández-Córdoba, C., Blanes, I., & Robles, S. (2017). Room escape at class: Escape games activities to facilitate the motivation and learning in computer science. *Journal of Technology and Science Education*, 7(2), 162–174. <https://doi.org/10.3926/jotse.247>
- Botturi, L., Whitton, N., Juarez, D., Seeber, G., Mulvey, J., Pelliccioni, S., & Remmele, B. (2021). *Using escape rooms in teaching: School Break Handbook #1*. SUPSI.
- Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77–101. <https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa>
- Brooke, J. (1996). SUS: A “quick and dirty” usability scale. In P. W. Jordan, B. Thomas, B. A. Weerdmeester, & I. L. McClelland (Eds.), *Usability evaluation in industry* (pp. 189–194). Taylor & Francis.
- Clarke, S., Peel, D., Arnab, S., Morini, L., Keegan, H., & Wood, O. (2017). EscapED: A framework for creating educational escape rooms and interactive games for higher/further education. *International Journal of Serious Games*, 4(3), 73–86. <https://doi.org/10.17083/ijsg.v4i3.180>
- Clute, J., Grant, J., Ashley, M., Hartwell, D. G., & Westfahl, G. (1999). *The encyclopedia of fantasy* (1st ed.). St. Martin's Griffin.
- Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). *Designing and conducting mixed methods research* (3rd ed.). SAGE Publications.
- Csikszentmihalyi, M. (1990). *Flow: The psychology of optimal experience*. Harper & Row.
- Dourish, P. (2001). *Where the action is: The foundations of embodied interaction*. MIT Press. December 2001, ISBN 0-262-04196-0. https://www.researchgate.net/publication/200026266_Where_the_Action_Is_The_Foundations_of_Embodied_Interaction/link/09e4150afd29965764000000/download?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19

- Duggins, R. (2019). Innovation and problem solving teaching case: The breakout box – A desktop escape room. *Journal of Organizational Psychology*, 19(4).
<https://doi.org/10.33423/jop.v19i4.2294>
- European Commission, Directorate-General for Education, Youth, Sport and Culture. (2024). *The twin challenge of equity and excellence in basic skills in the EU: An EU comparative analysis of the PISA 2022 results*. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2766/881521>
- Fotaris, P., & Mastoras, T. (2019). Escape rooms for learning: A systematic review. In *Proceedings of the 13th European Conference on Games Based Learning (ECGBL 2019)* (pp. 235–243). <https://doi.org/10.34190/GBL.19.179>
- Järveläinen, J., & Paavilainen-Mäntymäki, E. (2019). Escape room as game-based learning process: Causation–effectuation perspective. In *Proceedings of the 52nd Hawaii International Conference on System Sciences*.
<https://doi.org/10.24251/HICSS.2019.123>
- Jesionkowska, J., Wild, F., & Deval, Y. (2020). Active learning augmented reality for STEAM education: A case study. *Education Sciences*, 10(8), 198.
<https://doi.org/10.3390/educsci10080198>
- Hornecker, E., & Buur, J. (2006). Getting a grip on tangible interaction: A framework on physical space and social interaction. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '06)* (pp. 437–446). ACM.
<https://doi.org/10.1145/1124772.1124838>
- Ishii, H., & Ullmer, B. (1997). Tangible bits: Towards seamless interfaces between people, bits and atoms. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '97)* (pp. 234–241). ACM.
<https://doi.org/10.1145/258549.258715>
- Karageorgiou, Z., Fotaris, P., & Mavrommati, E. (2020). Escape rooms for STEAM education: Comparing design phases. In *Proceedings of the 14th European Conference on Games Based Learning (ECGBL 2020)*.
<https://doi.org/10.34190/GBL.20.173>
- Kiehlbauch, S. (2015). Man and machine in the world of steam: The emergence of steampunk as a cultural phenomenon. *The Forum: Journal of History*, 7(1), Article 10.
<https://doi.org/10.15368/forum.2015v7n1.5>

- Kolb, D. A. (1984). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. Prentice-Hall.
- Kovács, T., & Hanjra, G. (2025). Current obstacles in global STEM education and a possible practical solution to overcome these. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 21(12), em2747. <https://doi.org/10.29333/ejmste/17493>
- Land, M. H. (2013). Full STEAM ahead: The benefits of integrating the arts into STEM. *Procedia Computer Science*, 20, 547–552. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2013.09.317>
- Lathwesen, C., & Belova, N. (2021). Escape rooms in STEM teaching and learning – Prospective field or declining trend? A literature review. *Education Sciences*, 11(6), 308. <https://doi.org/10.3390/educsci11060308>
- Lee, B. G., Tang, H., & Fang, F. (2023). Enhancing critical thinking and engagement through puzzle box integration in virtual reality-based digital game-based learning. In *Proceedings of IEEE TALE 2023*. <https://doi.org/10.1109/TALE56641.2023.10398330>
- Lewis, J. R. (2018). The system usability scale: Past, present, and future. *International Journal of Human–Computer Interaction*, 34(7), 577–590. <https://doi.org/10.1080/10447318.2018.1455307>
- López-Pernas, S., Gordillo, A., & Barra, E. (2021). Technology-enhanced educational escape rooms: A road map. *IT Professional*, 23(2), 26–32. <https://doi.org/10.1109/MITP.2021.3062749>
- Marín-Marín, J.-A., García-Tudela, P. A., & Duo-Terrón, P. (2024). Computational thinking and programming with Arduino in education: A systematic review for secondary education. *Heliyon*, 10(8), e29177. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29177>
- Maršálek, R., Trčková, K., & Václavíková, Z. (2024). Interactive chemistry escape game as a tool of distance education: A case study of a pilot test from the first escape room. *Frontiers in Education*, 9, 1405324. <https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1405324>
- Mckenney, Susan & Reeves, T. (2013). *Educational Design Research*. 10.1007/978-1-4614-3185-5_11.

- Mejias, S., Thompson, N., Sedas, R. M., Rosin, M., Soep, E., Peppler, K., Roche, J., Wong, J., Hurley, M., Bell, P., & Bevan, B. (2021). The trouble with STEAM and why we use it anyway. *Science Education*, 105(2), 209–231. <https://doi.org/10.1002/sce.21605>
- Nicholson, S. (2015). *Peeking behind the locked door: A survey of escape room facilities* [White paper]. <http://scottnicholson.com/pubs/erfacwhite.pdf>
- Nicholson, S. (2018). Creating engaging escape rooms for the classroom. *Childhood Education*, 94(1), 44–49. <https://doi.org/10.1080/00094056.2018.1420490>
- Norman, D. A. (2013). *The design of everyday things* (Revised and expanded ed.). Basic Books.
- Nunnally, J. C. (1978). *Psychometric theory* (2nd ed.). McGraw-Hill.
- Papert, S. (1980). *Mindstorms: Children, computers, and powerful ideas*. Basic Books.
- Plomp, T., & Nieveen, N. (Eds.). (2013). *Educational design research: Part A: An introduction*. SLO Netherlands Institute for Curriculum Development. <https://slo.nl/publish/pages/2904/educational-design-research-part-a.pdf>
- Popova, Y., & Paunova-Hubenova, E. (2025, October 5–10). Application of the “escape rooms” in STEM education. In *Seventh International Scientific Conference “Innovative STEM Education” (STEMedu-2025)*, Veliko Tarnovo, Bulgaria. <https://www.math.bas.bg/vt/stemedu>
- Portillo-Blanco, A., Sarriugarte, P., Zuza, K., & Guisasola, J. (2024). Design and implementation of a STEAM teaching/learning sequence by project-based learning for the training of future secondary school teachers. *Journal of Physics: Conference Series*, 2750, 012036. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2750/1/012036>
- Quigley, C. F., & Herro, D. (2016). Finding the joy in the unknown: Implementation of STEAM teaching practices in middle school science and math classrooms. *Journal of Science Education and Technology*, 25(3), 410–426. <https://doi.org/10.1007/s10956-016-9602-z>
- Roberts, T., & Schnepf, J. (2020). Building problem-solving skills through STEAM. *Technology and Engineering Teacher*, 79(8), 8–18.
- Rodier, C., Galaleldin, M., Boudreau, J., & Anis, H. (2019). From STEM to STEAM in engineering design. In *Proceedings of the 2019 Canadian Engineering Education Association (CEEAA-ACEG19) Conference*. <https://doi.org/10.24908/pceea.vi0.13879>

- Roumen, G. J., & Fernaeus, Y. (2021). Envisioning Arduino action: A collaborative tool for physical computing in educational settings. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 29, 100277. <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2021.100277>
- Sauro, J., & Lewis, J. R. (2016). *Quantifying the user experience: Practical statistics for user research* (2nd ed.). Morgan Kaufmann. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-18657-3>
- Segarra, V. A., Natalizio, B., Falkenberg, C. V., Pulford, S., & Holmes, R. M. (2018). STEAM: Using the arts to train well-rounded and creative scientists. *Journal of Microbiology & Biology Education*, 19(1), 19.1.53. <https://doi.org/10.1128/jmbe.v19i1.1360>
- Tanenbaum, T. J., Tanenbaum, K., & Wakkary, R. (2012). Steampunk as design fiction. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '12)* (pp. 1583–1592). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/2207676.2208279>
- Tanenbaum, T., Desjardins, A., & Tanenbaum, K. (2013). Steampunking interaction design: Principles for envisioning through imaginative practice. *Interactions*, 20(3), 28–33. <https://doi.org/10.1145/2451856.2451865>
- Taraldsen, L. H., Haara, F. O., Lysne, M. S., Jensen, P. R., & Jenssen, E. S. (2020). A review on use of escape rooms in education – Touching the void. *Education Inquiry*. <https://doi.org/10.1080/20004508.2020.1860284>
- Veldkamp, A., van de Grint, L., Knippels, M.-C. P. J., & van Joolingen, W. R. (2020). Escape education: A systematic review on escape rooms in education. *Educational Research Review*, 31, 100364. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2020.100364>
- Veldkamp, A., Daemen, J., Teekens, S., Koelewijn, S., Knippels, M.-C. P. J., & van Joolingen, W. R. (2020). Escape boxes: Bringing escape room experience into the classroom. *British Journal of Educational Technology*, 51(4), 1220–1239. <https://doi.org/10.1111/bjet.12935>
- Vlachopoulos, D., & Makri, A. (2017). The effect of games and simulations on higher education: A systematic literature review. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 14(1), 22. <https://doi.org/10.1186/s41239-017-0062-1>
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.

- Yakman, G. (2008). STEAM education: An overview of creating a model of integrative education. In *Proceedings of PATT-17 & PATT-19 Conference*.
- Zulkarnain, A. N., Prima, E. C., Winarno, N., & Wahono, B. (2024). Paper circuit project-based STEAM learning to enhance student understanding and creativity. *Journal of Science Learning*, 7(1), 1–16. <https://doi.org/10.17509/jsl.v7i1>

Παράρτημα Α

Ερωτηματολόγιο για μαθητές

Το ερωτηματολόγιο είναι ανώνυμο και τα στοιχεία θα χρησιμοποιηθούν μόνο για ερευνητικούς σκοπούς.

Ημερομηνία:

Κωδ. Ομάδας:

Κωδ. Συμμετέχοντα:

Οδηγία προς τους συμμετέχοντες μαθητές: Σημείωσε πόσο συμφωνείς με καθεμία από τις παρακάτω δηλώσεις σχετικά με τη δραστηριότητα με το Escape Box:

1 = Διαφωνώ απόλυτα, 2 = Διαφωνώ, 3 = Ούτε συμφωνώ ούτε διαφωνώ, 4 = Συμφωνώ, 5 = Συμφωνώ απόλυτα.

	1	2	3	4	5
A. Επίδραση στην Εμπλοκή (Ερευνητικό Ερώτημα 1)					
1. Η δραστηριότητα με το Escape Box ήταν ενδιαφέρουσα για εμένα.					
2. Ο χρόνος κατά τη διάρκεια της δραστηριότητας «πέρασε γρήγορα» γιατί ήμουν απορροφημένος/η σε αυτήν.					
3. Ένωσα ότι ήθελα να συνεχίσω και μετά το τέλος της δραστηριότητας.					
4. Η δραστηριότητα με βοήθησε να ενδιαφερθώ περισσότερο για θέματα που σχετίζονται με τις επιστήμες και την τεχνολογία.					
B. Συνεργασία και Ομαδική Εργασία (Ερευνητικό Ερώτημα 3)					
5. Κατά τη διάρκεια της δραστηριότητας συνεργάστηκα ενεργά με τα υπόλοιπα μέλη της ομάδας μου.					
6. Αισθάνθηκα ότι η επιτυχία στο Escape Box εξαρτιόταν από τη συμβολή όλων των μελών της ομάδας.					
7. Είχαμε την ευκαιρία να ανταλλάξουμε ιδέες και να συζητήσουμε διαφορετικές λύσεις για τους γρίφους.					
8. Η δραστηριότητα βοήθησε να βελτιωθεί η επικοινωνία μεταξύ των μελών της ομάδας μου.					
Γ. Ευχρηστία, Γρίφοι και Συνολική Εμπειρία (Ερευνητικά Ερωτήματα 4 & 5)					
9. Οι οδηγίες για τη δραστηριότητα ήταν σαφείς και κατανοητές.					
10. Οι περισσότεροι γρίφοι ήταν κατανοητοί ως προς το τι έπρεπε να κάνουμε για να τους λύσουμε.					
11. Η δυσκολία των γρίφων ήταν κατάλληλη (ούτε πολύ εύκολη ούτε πολύ δύσκολη).					
12. Τα φυσικά στοιχεία του Escape Box (κουτί, κουμπιά, αισθητήρες κ.λπ.) λειτουργούσαν όπως περίμενα.					
13. Ο οπτικός σχεδιασμός (χρώματα, γραφικά, μορφή του κουτιού) έκανε τη δραστηριότητα πιο ελκυστική.					
14. Οι ήχοι ή άλλα πολυμεσικά στοιχεία συνέβαλαν στο να νιώθω «μέσα στην ιστορία».					
15. Συνολικά, η εμπειρία με το Escape Box ήταν διασκεδαστική.					

	1	2	3	4	5
Δ. Σύνδεση με Μάθηση και STEAM (Ερευνητικό Ερώτημα 2)					
16. Η δραστηριότητα με βοήθησε να σκεφτώ με πιο δημιουργικό τρόπο για την επίλυση προβλημάτων.					
17. Ένιωσα ότι χρησιμοποίησα γνώσεις ή δεξιότητες που σχετίζονται με τις Φυσικές Επιστήμες, τα Μαθηματικά ή την Τεχνολογία.					
18. Μέσα από τους γρίφους κατάλαβα καλύτερα πώς λειτουργούν ορισμένα τεχνολογικά/μηχανικά στοιχεία (π.χ. αισθητήρες, κυκλώματα).					
19. Θεωρώ ότι παρόμοιες δραστηριότητες μπορούν να βοηθήσουν και σε άλλα μαθήματα που σχετίζονται με τη STEAM εκπαίδευση.					
Ε. Γενική Αξιολόγηση και Πρόθεση (συνολική εικόνα)					
20. Θα ήθελα να ξανασυμμετάσχω σε παρόμοια δραστηριότητα στο μέλλον.					
21. Θα πρότεινα τη δραστηριότητα με το Escape Box σε συμμαθητές μου.					

Στ. Ερωτήσεις/Προτάσεις	
22. Τι σου άρεσε περισσότερο από την δραστηριότητα; Ποιος γρίφος είχε το περισσότερο ενδιαφέρον;	
23. Τι σε δυσκόλεψε περισσότερο στην δραστηριότητα; Τι θα πρότεινες να βελτιωθεί;	

Παράρτημα Β

Φύλλο παρατήρησης

Ημερομηνία:

Ομάδα: Συμμετέχων:

Κλίμακα 4 επιπέδων

Για όλα τα κριτήρια ισχύει:

1 = Χαμηλό επίπεδο / Σχεδόν καθόλου

2 = Βασικό επίπεδο

3 = Ικανοποιητικό επίπεδο

4 = Πολύ υψηλό επίπεδο / Υποδειγματικό

Κριτήριο	1	2	3	4	Παρατηρήσεις
Α. Εμπλοκή					
Β. Συνεργασία					
Γ. Στρατηγικές επίλυσης					
Δ. Υποδείξεις/ανατροφοδότηση					
Ε. Στοιχεία STEAM					

Γενική παρατήρηση

Κριτήριο Α: Εμπλοκή και Προσανατολισμός στο Έργο

1. Σαφής έλλειψη ενδιαφέροντος. Δεν υπάρχει ενεργός συμμετοχή, η συζήτηση στρέφεται εύκολα εκτός θέματος, δεν αναλαμβάνονται πρωτοβουλίες.
2. Η εμπλοκή είναι διακεκομμένη. Γίνονται προσπάθειες επίλυσης, αλλά όχι εστιασμένες.
3. Ενεργός συμμετοχή τις περισσότερες φορές. Η συζήτηση παραμένει κυρίως στο έργο, με απόπειρες επίλυσης.
4. Ενεργός συμμετοχή καθ' όλη τη διάρκεια, με συζήτηση για το έργο, χωρίς απόσπαση. Υπάρχουν πρωτοβουλίες, αναζήτηση στοιχείων και δοκιμές λύσεων με επιμονή.

Κριτήριο Β: Συνεργασία και Επικοινωνία στην Ομάδα

1. Ελάχιστη ή ανύπαρκτη συνεργασία. Το κάθε μέλος λειτουργεί ατομικά, αγνοεί προτάσεις του άλλου χωρίς από κοινού προσπάθεια.
2. Συνεργασία περιορισμένη. Συχνά μιλά μόνο το ένα μέλος, με το άλλο μέλος να παραμένει μη ενεργό.
3. Υπάρχει γενικά καλή συνεργασία και συζήτηση, με περιστασιακές διαφωνίες που όμως δεν εμποδίζουν την συνεργασία.
4. Τα μέλη ανταλλάσσουν συνεχώς ιδέες, ακούν ενεργά ο ένας τον άλλον, χτίζουν πάνω στις προτάσεις τους, με αμοιβαία υποστήριξη και διάλογο.

Κριτήριο Γ: Στρατηγικές Επίλυσης Προβλήματος

1. Δεν παρατηρούνται ουσιαστικές προσπάθειες επίλυσης. Γρήγορη παραίτηση μπροστά στη δυσκολία, χωρίς αναζήτηση εναλλακτικών προσεγγίσεων.
2. Η επίλυση είναι κυρίως trial-and-error, χωρίς σαφή στρατηγική. Δοκιμάζονται τυχαίες λύσεις ή υπάρχει επιμονή στην ίδια ιδέα ακόμη και όταν δεν λειτουργεί.
3. Δοκιμάζονται λογικές στρατηγικές, αν και όχι πάντα μεθοδικά. Υπάρχει αναζήτηση στοιχείων και προτάσεις λύσεων, μερικές φορές όμως δοκιμαστικά χωρίς ανάλυση.
4. Ακολουθείται συστηματική προσέγγιση: εντοπίζονται στοιχεία τα οποία οργανώνονται, διατυπώνονται υποθέσεις οι οποίες δοκιμάζονται. Υπάρχει λογική πίσω από τις ενέργειες, συνδέοντας στοιχεία μεταξύ τους.

Κριτήριο Δ: Αξιοποίηση Υποδείξεων και Ανατροφοδότησης

1. Οι υποδείξεις είτε απορρίπτονται είτε δεν λαμβάνονται υπόψη, χωρίς ορατή αλλαγή στη στρατηγική ή στις ενέργειες επίλυσης.
2. Οι υποδείξεις αγνοούνται συχνά ή γίνονται κατανοητές με δυσκολία, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση στον τρόπο σκέψης.
3. Οι υποδείξεις χρησιμοποιούνται, αλλά κυρίως ως άμεσες «λύσεις»· η συμπεριφορά προσαρμόζεται χωρίς όμως πάντα να τη ουσιαστική κατανόηση.
4. Όταν γίνονται υποδείξεις, επεξεργάζονται ενεργά, συνδέονται με προηγούμενα στοιχεία και αναπροσαρμόζουν τη στρατηγική, με αναθεώρηση υποθέσεων που έχουν προηγηθεί.

Κριτήριο Ε: Σύνδεση με Στοιχεία STEAM (Παρατηρήσιμη Συμπεριφορά)

1. Δεν παρατηρείται αξιοποίηση γνώσεων ή δεξιοτήτων που συνδέονται με STEAM· οι ενέργειες είναι αποσπασματικές και άσχετες με το επιστημονικό/τεχνολογικό περιεχόμενο.
2. Η χρήση σχετικών στοιχείων είναι περιορισμένη ή τυχαία. Οι γρίφοι λύνονται κυρίως διαισθητικά, χωρίς σαφή αξιοποίηση γνώσεων STEAM.
3. Εμφανίζεται χρήση βασικών στοιχείων STEAM (π.χ. μέτρηση, απλή λογική), έστω και χωρίς ρητή ονομασία, με κάποια συμβολή στην επίλυση των γρίφων.
4. Υπάρχει ρητή αναφορά σε έννοιες ή γνώσεις που σχετίζονται με STEAM (π.χ. μετρήσεις, λογική κυκλωμάτων, κώδικα, υπολογισμούς, νόμους), και συνειδητή χρήση τους για την επίλυση των γρίφων.

Παράρτημα Γ

Αφηγηματικό σενάριο



Σε μια ξεχασμένη
αποθήκη του πανεπιστημίου,
ανακαλύπτεται ένας μυστηριώδης κύβος
ηλικίας περίπου 150 ετών.

Κατασκευασμένος από ξύλο και μέταλλο,
φέρει περίπλοκους μηχανισμούς στις πλευρές του.
Στην άνω όψη δεσπόζει ένας κυκλικός μηχανισμός
με φωτεινές ενδείξεις και τέσσερα χαραγμένα σύμβολα,
τα οποία αναπαριστούν τα κλασικά στοιχεία της φύσης:
σπείρες ανέμου (Αέρας), φλόγες (Φωτιά),
κυματιστές γραμμές (Νερό) και κρυσταλλικές δομές (Γη).

Στις τέσσερις πλαϊνές πλευρές του κύβου κρύβονται αντίστοιχοι μηχανισμοί-γρίφοι,
οι οποίοι «ξυπνούν» αυτόματα με μετακίνηση της κατασκευής ή το πάτημα πλήκτρου.
Εκείνη τη στιγμή, ο κύκλος των φωτεινών ενδείξεων μετασχηματίζεται σε ένα μηχανικό ρολόι
που αρχίζει να μετρά αντίστροφα. Εάν ο χρόνος μηδενιστεί χωρίς να έχουν λυθεί
και οι τέσσερις γρίφοι, η συσσωρευμένη ενέργεια των μηχανισμών απελευθερώνεται
ανεξέλεγκτα: οι γρίφοι επαναφέρονται στην αρχική τους κατάσταση, ο κύβος σβήνει —
και μια νέα φωτεινή ένδειξη προστίθεται στον κεντρικό κύκλο. Υπάρχει η θεωρία ότι,
αν ο κύκλος γεμίσει πλήρως με ενδείξεις αποτυχίας, ο κύβος θα αυτοκαταστραφεί
και η γνώση που κρύβει θα χαθεί για πάντα.

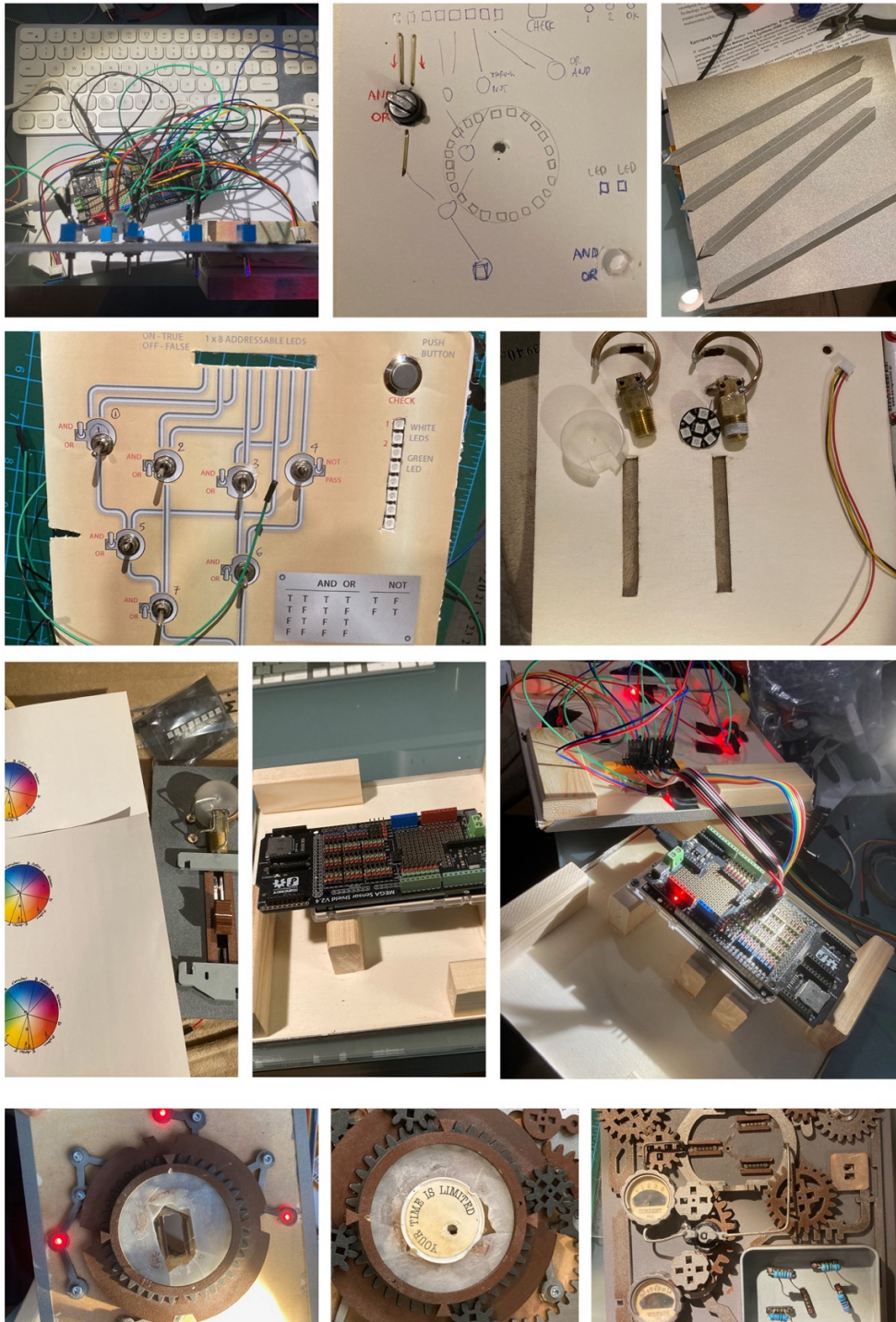
Αντίθετα, κάθε ομάδα που καταφέρνει να λύσει
και τους τέσσερις γρίφους εντός του χρονικού ορίου,
σβήνει μία ένδειξη από τον κύκλο —
και πλησιάζει ένα βήμα πιο κοντά
στην αποκάλυψη του μυστικού
που φυλάσσει ο κύβος
για περισσότερο
από έναν αιώνα.

Παράρτημα Δ

Στιγμιότυπα από την υλοποίηση

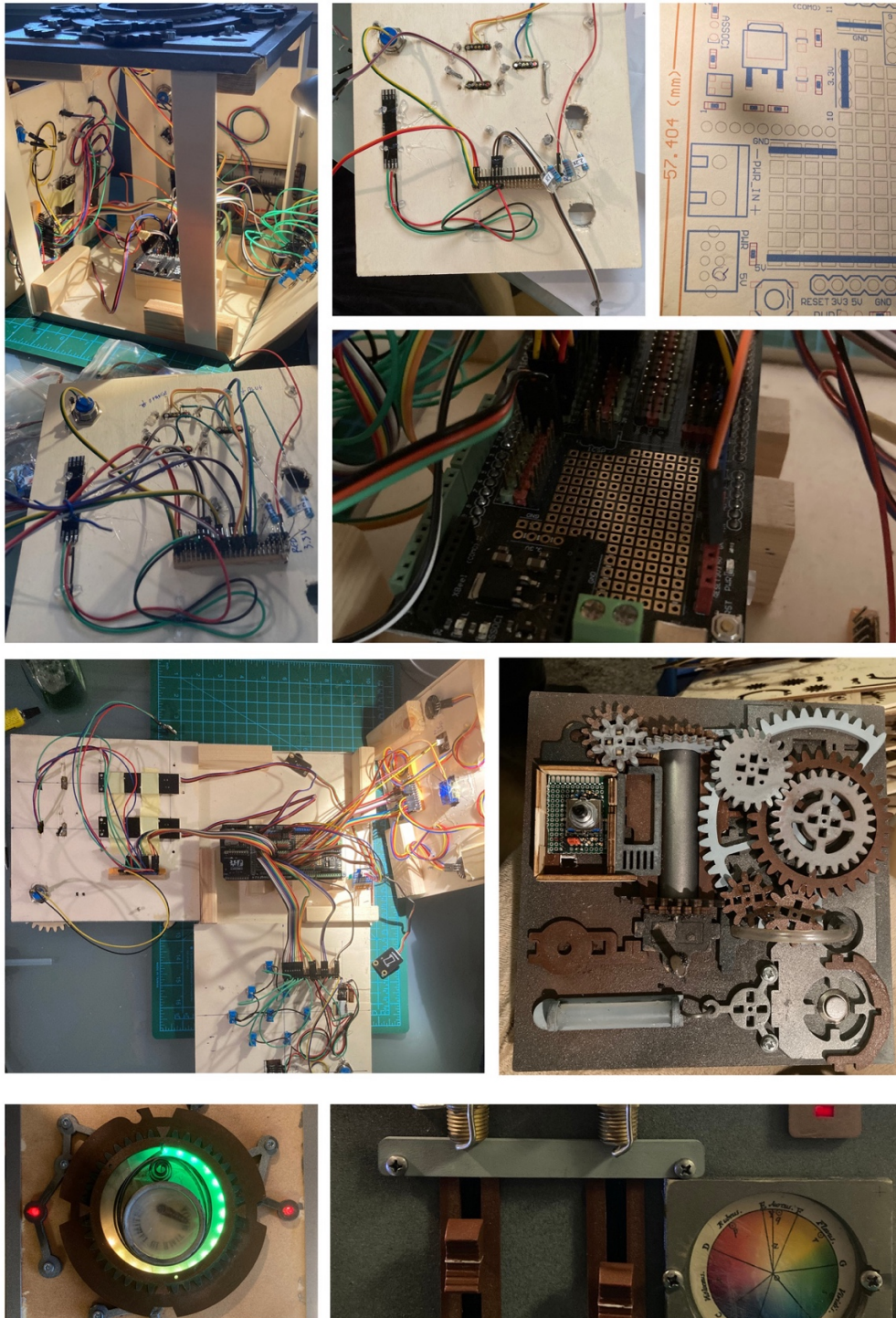
Σχήμα Δ.1

Υλοποίηση του escape box.



Σχήμα Δ.2

Υλοποίηση του escape box.



Παράρτημα Ε

Πλήρης κώδικας Arduino

```
// Steampunk Escape Box
// Αποστολίδης Δημήτρης
// version 20260531a

// DEFINITIONS .....

////////// Libraries

#include <Adafruit_NeoPixel.h>
#include <Servo.h>
#include <BasicTimer.h>

////////// Analog I/O Pins

#define potentiometer1_Pin A7 // color pot1 analogue pin
#define potentiometer2_Pin A8 // color pot2 analogue pin
#define potentiometer3_Pin A6 // gas-volume pot3 analogue pin

#define resistorS_Pin A11
#define resistor1_Pin A10
#define resistor2_Pin A9

////////// Digital I/O Pins

#define buzzer_Pin 2 // buzzer pin
#define vibrate_Pin 49 // box vibration sensor
#define clockServo_Pin 15 // top servo
#define ledCircle24_Pin 14 // top circle addressable circular led
#define state1_Pin 16 // top green/red led
#define state2_Pin 18 // top green/red led
#define state3_Pin 19 // top green/red led
#define state4_Pin 17 // top green/red led

#define button1_Pin 50 // button 1 LOGIC to check solution
#define logic_outputState_Pin 22 // LOGIC output state
#define logic_inputState_Pin 23 // LOGIC input state
#define dipPin1 24 // LOGIC switch 1
#define dipPin2 25 // LOGIC switch 2
```

```
#define dipPin3 26 // LOGIC switch 3
#define dipPin4 27 // LOGIC switch 4
#define dipPin5 37 // LOGIC switch 5
#define dipPin6 38 // LOGIC switch 6
#define dipPin7 39 // LOGIC switch 7
#define dipPin8 40 // LOGIC switch 8

#define button2_Pin 53 // button 2 COLOR to check solution
#define color_outputState_Pin 36 // COLOR output state
#define spectrum_light1_pin 34 // COLOR light 1
#define spectrum_light2_pin 35 // COLOR light 2

#define button3_Pin 28 // button 3 GAS to check solution
#define gas_pressure_Pin 31 // GAS pressure
#define gas_volume_Pin 41 // GAS volume
#define gas_outputState_Pin 30 // GAS output state

#define button4_Pin 45 // button 4 RESISTOR to check solution
#define res_voltage_Pin 42 // RESISTOR voltage
#define res_current_Pin 43 // RESISTOR current
#define res_outputState_Pin 44 // RESISTOR output state

////////// Adafruit NeoPixel setup

Adafruit_NeoPixel state1 = Adafruit_NeoPixel (7, state1_Pin, NEO_GRB + NEO_KHZ800);
Adafruit_NeoPixel state2 = Adafruit_NeoPixel (7, state2_Pin, NEO_GRB + NEO_KHZ800);
Adafruit_NeoPixel state3 = Adafruit_NeoPixel (7, state3_Pin, NEO_GRB + NEO_KHZ800);
Adafruit_NeoPixel state4 = Adafruit_NeoPixel (7, state4_Pin, NEO_GRB + NEO_KHZ800);
Adafruit_NeoPixel ledCircle24 = Adafruit_NeoPixel(24, ledCircle24_Pin, NEO_GRB +
NEO_KHZ800);
Adafruit_NeoPixel logic_inputState = Adafruit_NeoPixel(8, logic_inputState_Pin,
NEO_GRB + NEO_KHZ800);
Adafruit_NeoPixel logic_outputState = Adafruit_NeoPixel(8, logic_outputState_Pin,
NEO_GRB + NEO_KHZ800);
Adafruit_NeoPixel color_outputState = Adafruit_NeoPixel(4, color_outputState_Pin,
NEO_GRB + NEO_KHZ800);
Adafruit_NeoPixel gas_outputState = Adafruit_NeoPixel(4, gas_outputState_Pin,
NEO_GRB + NEO_KHZ800);
Adafruit_NeoPixel gas_pressureState = Adafruit_NeoPixel(8, gas_pressure_Pin,
NEO_GRB + NEO_KHZ800);
Adafruit_NeoPixel gas_volumeState = Adafruit_NeoPixel(8, gas_volume_Pin, NEO_GRB +
NEO_KHZ800);
Adafruit_NeoPixel res_outputState = Adafruit_NeoPixel(8, res_outputState_Pin,
NEO_GRB + NEO_KHZ800);
```

```
Adafruit_NeoPixel spectrum_light1 = Adafruit_NeoPixel(4, spectrum_light1_pin,
NEO_GRB + NEO_KHZ800);
Adafruit_NeoPixel spectrum_light2 = Adafruit_NeoPixel(4, spectrum_light2_pin,
NEO_GRB + NEO_KHZ800);

////////// variables inside interrupts

volatile bool vibrationDetected = false;
volatile bool button1WasPressed = false;
volatile bool button2WasPressed = false;
volatile bool button3WasPressed = false;
volatile bool button4WasPressed = false;
volatile unsigned long lastInterrupt1Time = 0;
volatile unsigned long lastInterrupt2Time = 0;
volatile unsigned long lastInterrupt3Time = 0;
volatile unsigned long lastInterrupt4Time = 0;
const unsigned long debounce1Time = 5000; // 5 sec καθυστέρηση για επόμενο πάτημα
const unsigned long debounce2Time = 5000;
const unsigned long debounce3Time = 5000;
const unsigned long debounce4Time = 5000;

////////// variables χρονόμετρου

BasicTimer timer24;
BasicTimer timerservo;
Servo myservo;
int angle = 30;
int pos = 0;

////////// Logic variables για τις καταστάσεις των γρίφων και του box

bool timerRunning = false;
bool resetBox = true;
bool boxRunning = false;
bool state1running = true;
bool state1try1running = true;
bool state1try2running = true;
bool state2running = true;
bool state2try1running = true;
bool state2try2running = true;
bool state3running = true;
bool state3try1running = true;
```

```
bool state3try2running = true;
bool state4running = true;
bool state4try1running = true;
bool state4try2running = true;
bool button1pressed = false;
bool button2pressed = false;
bool button3pressed = false;
bool button4pressed = false;
bool bootsound = true;

int whiteLedCount = 0;
int ledCircleON = 0;

////////// variables για τον γρίφο LOGIC

bool startNewLogic = true;
bool inputState[9];
bool outputState[2];
bool passedTry1state1 = false;
int result1, result2, result3, result4, result5, result6, result7, result8;

////////// variables για τον γρίφο COLOR

bool startNewColor = true;
bool passedTry1state2 = false;
bool light1check= false;
bool light2check= false;
int randomColor1;
int randomColor2;
int analogueSpreadColor = 50;

// wane length (nm) Red 750-625, Orange 625-590, Yellow 590-565, Green 565-520,
Cyan 520-500, Blue 500-435, Violet 435-400
const int colorswavelength[7][2] = {
    {1023, 680}, {680, 530}, {530, 420}, {420, 270}, {270, 180}, {180, 40}, {40, 0}
};

// frequency (Thz) Red 405-480, Orange 480-510, Yellow 510-530, Green 530-600, Cyan
600-620, Blue 620-680, violet 680-750
const int colorsfrequency[7][2] = {
    {160, 0}, {260, 160}, {350, 260}, {580, 350}, {660, 580}, {870, 660}, {1023, 870}
};
```

```
// hue τιμές για τα led
struct ColorHue {
    uint16_t hue;
    const char* name;
};

ColorHue rainbowHues[7] = {
    {0, "red"}, {5461, "orange"}, {10922, "yellow"}, {21845, "green"}, {32768,
    "cyan"}, {43690, "blue"}, {54613, "violet"}
};

int lightSelect1 = 0;
int lightSelect2 = 0;
int frequency = 0;
int wavelength = 0;

////////// variables για τον γρίφο GAS

bool startNewGas = true;
bool passedTry1state3 = false;
int randomGas;
int old_randomGas;
int gasVolumeSelect;
int oldGasPressure = 0;
int gasPressure = 0;

////////// variables για τον γρίφο RESISTOR

bool startNewRes = true;
bool passedTry1state4 = false;
int randomVoltage;
int old_randomVoltage;
int randomCurrent;
int old_randomCurrent;
int resCurrent = 0;
float RS_meas, R1_meas, R2_meas;
int codedRs, codedR1, codedR2;

struct VI_Pairs {
    int V;
    int I;
};
```

```
VI_Pairs pairs[] = {
    {3, 1}, {4, 1}, {6, 1}, {6, 2}, {8, 2}, {12, 2}, {9, 3}, {12, 3}, {12, 4}
};

struct Restriples {
    int RS;
    int R1;
    int R2;
};

const int pairCount = sizeof(pairs) / sizeof(pairs[0]);

Restriples solutions[pairCount][2] = {
    { {1,3,6}, {1,6,3} }, // για pairs[0] = {3,1}
    { {2,3,6}, {2,6,3} }, // για pairs[1] = {4,1}
    { {4,3,6}, {4,6,3} }, // για pairs[2] = {6,1}
    { {1,3,6}, {1,6,3} }, // για pairs[3] = {6,2}
    { {2,3,6}, {2,6,3} }, // για pairs[4] = {8,2}
    { {4,3,6}, {4,6,3} }, // για pairs[5] = {12,2}
    { {1,3,6}, {1,6,3} }, // για pairs[6] = {9,3}
    { {2,3,6}, {2,6,3} }, // για pairs[7] = {12,3}
    { {1,3,6}, {1,6,3} } // για pairs[8] = {12,4}
};

//const int pairCount = sizeof(pairs) / sizeof(pairs[0]);
int lastPairIndex = -1;
int pairIndex;
int voltage_servo_pos;
int current_servo_pos;

////////// Interrupts

// VIBRATION Interrupt Service Routine (ISR)
void vibrationISR() {
    vibrationDetected = true;
}

// BUTTONS Interrupts για έλεγχο των γριφών

void handleButton1Press() {
```

```
unsigned long interrupt1Time = millis();
// Αν το interrupt < 50ms, θεωρείται bounce και αγνοείται
if (interrupt1Time - lastInterrupt1Time > debounce1Time) {
    button1WasPressed = true; lastInterrupt1Time=interrupt1Time;
}
}

void handleButton2Press() {
unsigned long interrupt2Time = millis();
    if (interrupt2Time - lastInterrupt2Time > debounce2Time) {
        button2WasPressed = true; lastInterrupt2Time=interrupt2Time;
    }
}

void handleButton3Press() {
unsigned long interrupt3Time = millis();
    if (interrupt3Time - lastInterrupt3Time > debounce3Time) {
        button3WasPressed = true; lastInterrupt3Time=interrupt3Time;
    }
}

void handleButton4Press() {
unsigned long interrupt4Time = millis();
    if (interrupt4Time - lastInterrupt4Time > debounce4Time) {
        button4WasPressed = true; lastInterrupt4Time=interrupt4Time;
    }
}

// SETUP .....

void setup() {

    Serial.begin(9600);
    pinMode(buzzer_Pin, OUTPUT); // buzzer pin output

    // INTERRUPT pins input with pull-up resistor
    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(vibrate_Pin), vibrationISR, FALLING);
    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(button1_Pin), handleButton1Press, FALLING);
    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(button2_Pin), handleButton2Press, FALLING);
    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(button3_Pin), handleButton3Press, FALLING);
    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(button4_Pin), handleButton4Press, FALLING);
    pinMode(vibrate_Pin, INPUT_PULLUP); // Set pin as input with pull-up resistor
```

```
pinMode(button1_Pin, INPUT_PULLUP); // Set AFTER attachInterrupt
pinMode(button2_Pin, INPUT_PULLUP); // Set AFTER attachInterrupt
pinMode(button3_Pin, INPUT_PULLUP); // Set AFTER attachInterrupt
pinMode(button4_Pin, INPUT_PULLUP); // Set AFTER attachInterrupt

// LOGIC pins 8 διακοπών input with pull-up resistor
pinMode(dipPin1, INPUT_PULLUP); pinMode(dipPin2, INPUT_PULLUP); pinMode(dipPin3,
INPUT_PULLUP); pinMode(dipPin4, INPUT_PULLUP);
pinMode(dipPin5, INPUT_PULLUP); pinMode(dipPin6, INPUT_PULLUP); pinMode(dipPin7,
INPUT_PULLUP); pinMode(dipPin8, INPUT_PULLUP);

// Servo χρονομέτρου
myservo.attach(clockServo_Pin);
myservo.write(pos);
myservo.detach();
delayMicroseconds(100);
timer24.begin(60000); // 60000 για 1 min ανά led - σύνολο 24 min
timerservo.begin(2000); // 1000 για tik-tok ανά 1 sec
whiteLedCount = random(20); // τυχαία τιμή προηγούμενων προσπαθειών μετά από
reset

}

// LOOP .....

void loop() {

// Αν έχει προηγηθεί reset
if (resetBox) {
    vibrationDetected = false;
    boxRunning = false;
    timerRunning=false;
    state1.clear();state1.show();
    state2.clear();state2.show();
    state3.clear();state3.show();
    state4.clear();state4.show();
    whiteCircle();
    resetBox = false;
}

// Το box ενεργοποιείται αν είναι μη ενεργό
if (!boxRunning) {
    start();
}
```

```
    boxRunning = true;
}

// Αναμονή μέχρι να μετακινηθεί το box ή να πατηθεί ένα button
while (!vibrationDetected && !button1WasPressed && !button2WasPressed &&
!button3WasPressed && !button4WasPressed && !timerRunning) {
    delay(100);
}

// Αν έγινε μετακίνηση
if (vibrationDetected) {
    vibrationDetected = true;
    delay(50);
}

// Αν πατήθηκε button
if (button1WasPressed || button2WasPressed || button3WasPressed ||
button4WasPressed) {
    button1WasPressed = false; button2WasPressed = false; button3WasPressed = false;
    button4WasPressed = false;
    delay(50);
}

// Ήχος boot του box στην εκκίνηση
if (bootSound) {
    startupSound(); bootSound=false;
    state1.clear();state1.show(); state2.clear();state2.show();
    state3.clear();state3.show(); state4.clear();state4.show();
}

// Καταστάσεις γριφών στα 4 led του χρονόμετρου
statesTriesLeds();

// led όγκου γριφού GAS
if (state3running) { statesVolLeds(); }

// Εκκίνηση των γριφών
if (startNewLogic == true) { logicstart(); startNewLogic = false; }
if (startNewColor == true) { colorstart(); startNewColor = false; }
if (startNewGas == true) { gasstart(); startNewGas = false; }
if (startNewRes == true) { resstart(); startNewRes = false; }
```

```
// Έλεγχος interrupt για τα buttons
if (button1WasPressed && state1running) {
    delay(50); analogwrite(buzzer_Pin, 2);
    check1(); analogwrite(buzzer_Pin, 0); button1WasPressed = false;
}
if (button2WasPressed && state2running) {
    delay(50); analogwrite(buzzer_Pin, 2);
    check2(); analogwrite(buzzer_Pin, 0); button2WasPressed = false;
}
if (button3WasPressed && state3running) {
    delay(50); analogwrite(buzzer_Pin, 2);
    check3(); analogwrite(buzzer_Pin, 0); button3WasPressed = false;
}
if (button4WasPressed && state4running) {
    delay(50); analogwrite(buzzer_Pin, 2);
    check4(); analogwrite(buzzer_Pin, 0); button4WasPressed = false;
}

main_timer();
servoclock(); // αφαίρεση για ησυχία!

}

// ΕΝΑΡΞΗ BOX .....

void start() {

    // Σβήσιμο 4 led καταστάσεων γρίφων στο χρονόμετρο
    state1.setPixelColor(1, state1.Color(0,0,0)); state1.show();
    state2.setPixelColor(1, state2.Color(0,0,0)); state2.show();
    state3.setPixelColor(1, state3.Color(0,0,0)); state3.show();
    state4.setPixelColor(1, state4.Color(0,0,0)); state4.show();
    delay(200);
    // Σβήσιμο χρονόμετρου
    ledCircle24.setBrightness(50); ledCircle24.show();
    // Σβήσιμο led όλων των γρίφων
    logic_inputState.clear(); logic_inputState.show();
    logic_outputState.clear(); logic_outputState.show();
    color_outputState.clear(); color_outputState.show();
    spectrum_light1.clear(); spectrum_light1.show();
    spectrum_light2.clear(); spectrum_light2.show();
    res_outputState.clear(); res_outputState.show();
}
```

```
gas_outputState.clear();gas_outputState.show();
gas_outputState.clear();gas_outputState.show();
gas_pressureState.clear();gas_pressureState.show();
gas_volumeState.clear();gas_volumeState.show();
// Επανάφορά servo χρονομέτρου
myservo.attach(res_voltage_Pin, 1000, 2000); myservo.write(110);
delay(600); myservo.detach(); myservo.attach(res_current_Pin, 1000, 2000);
myservo.write(110); delay(600); myservo.detach();

}

// ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ γριφών στο χρονόμετρο .....

void statesTriesLeds() {

if (state1running == true) {
    state1.setPixelColor(6, state1.Color(100,0,0));}
else {
    state1.setPixelColor(6, state1.Color(0,100,0));}

if (state2running == true) {
    state2.setPixelColor(6, state1.Color(100,0,0));}
else {
    state2.setPixelColor(6, state2.Color(0,100,0));}

if (state3running == true) {
    state3.setPixelColor(6, state1.Color(100,0,0));}
else {
    state3.setPixelColor(6, state3.Color(0,100,0));}

if (state4running == true) {
    state4.setPixelColor(6, state1.Color(100,0,0));}
else {
    state4.setPixelColor(6, state4.Color(0,100,0));}

state1.show(); state2.show(); state3.show(); state4.show();

// Λύθηκαν όλοι οι γρίφοι! Αναβοσβήνει 10 φορές πράσινο
if (!state1running && !state2running && !state3running && !state4running) {
    for (int flash = 0; flash < 10; flash++) {
        for (int i = 0; i < 24; i++) {
            ledCircle24.setPixelColor(i, ledCircle24.Color(0, 50, 0));
```

```
    }  
    ledCircle24.show(); delay(200); ledCircle24.clear(); ledCircle24.show();  
    delay(200);  
    timerRunning = false;  
}  
ledCircleON = 0; ledCircle24.clear(); ledCircle24.show();  
timerRunning = false; timer24.reset(); resetBox = true;  
}  
  
}  
  
// ΧΡΟΝΟΜΕΤΡΟ .....  
  
void main_timer() {  
  
    if (!timerRunning) {  
        ledCircle24.clear(); ledCircle24.show();  
        ledCircle24.setPixelColor(0, ledCircle24.color(0, 50, 0)); ledCircle24.show(); //  
        ανάβει το πρώτο led  
        ledCircleON = 1; timerRunning = true;  
    }  
  
    if ((timerRunning) && (timer24.hasExpired())) {  
        ledCircle24.setPixelColor(ledCircleON, ledCircle24.color(2*ledCircleON, 50-  
        2*ledCircleON, 0)); // χρώμα led από πράσινο σε κόκκινο  
        ledCircle24.show(); ledCircleON = ledCircleON + 1; timer24.reset();  
    }  
  
    // Τέλος χρόνου! Αναβοσβήνει 10 φορές κόκκινο  
    if (ledCircleON >= 25) {  
        for(int flash = 0; flash < 10; flash++) {  
            for(int i = 0; i < 24; i++) {  
                ledCircle24.setPixelColor(i, ledCircle24.color(50, 0, 0)); // Red  
            }  
            ledCircle24.show(); delay(200); ledCircle24.clear(); ledCircle24.show();  
            delay(200);  
            timerRunning = false;  
        }  
        ledCircleON = 0; ledCircle24.clear(); ledCircle24.show();  
        timerRunning = false; boxRunning = false; timer24.reset(); resetBox = true;  
        whiteLedCount = whiteLedCount+1; startupSound();  
    }  
  
}
```

```
// ΤΙΚ ΤΟΚ .....

void servoclock() {

  if (timerservo.hasExpired()) {
    if (pos==0) {
      pos=30;}
    else {
      pos=0;}
    myservo.attach(clockServo_Pin); myservo.write(pos); delay(30); myservo.detach();
    timerservo.begin(970);
  }

}

// LOGIC - έναρξη γρίφου .....

void logicstart() {

  bool myBools[9];

  randomSeed(micros()); // τυχαία είσοδος
  for (int i = 1; i <= 8; i++) {
    myBools[i] = random(2); // δημιουργία 0 or 1
    inputState[i] = myBools[i];
    if (myBools[i]) {
      logic_inputState.setPixelColor(-i+8, logic_inputState.Color(5,5,5));}
    else {
      logic_inputState.setPixelColor(-i+8, logic_inputState.Color(0,0,0));}
  }
  logic_inputState.show();

  randomSeed(micros()); // τυχαίες ενδιάμεση και τελική έξοδος
  for (int i = 0; i < 2; i++) {
    myBools[i] = random(2); outputState[i] = myBools[i];
    if (myBools[i]) {
      logic_outputState.setPixelColor(i, logic_outputState.Color(5,5,5));}
    else {
      logic_outputState.setPixelColor(i, logic_outputState.Color(0,0,0));}
  }

  if (state1try1running) {logic_outputState.setPixelColor(6,
  logic_outputState.Color(10,0,0));}
```

```
if (!state1try1running) {logic_outputState.setPixelColor(6,  
logic_outputState.color(0,10,0));}  
if (state1try2running) {logic_outputState.setPixelColor(5,  
logic_outputState.color(10,0,0));}  
if (!state1try2running) {logic_outputState.setPixelColor(5,  
logic_outputState.color(0,10,0));}  
logic_outputState.show();  
  
}  
  
// LOGIC - έλεγχος γρίφου .....  
  
void check1() {  
  
int switchState1 = digitalRead(dipPin1); int switchState2 = digitalRead(dipPin2);  
int switchState3 = digitalRead(dipPin3); int switchState4 = digitalRead(dipPin4);  
int switchState5 = digitalRead(dipPin5); int switchState6 = digitalRead(dipPin6);  
int switchState7 = digitalRead(dipPin7); int switchState8 = digitalRead(dipPin8);  
  
if (switchState1 == HIGH) {  
    result1 = (inputState[1] && inputState[2]);}  
else {  
    result1 = (inputState[1] || inputState[2]);}  
  
if (switchState7 == HIGH) {  
    result2 = (inputState[3] && inputState[5]);}  
else {  
    result2 = (inputState[3] || inputState[5]);}  
  
if (switchState8 == HIGH) {  
    result3 = (inputState[4] && inputState[7]);}  
else {  
    result3 = (inputState[4] || inputState[7]);}  
  
if (switchState6 == HIGH) {  
    result4 = (! inputState[6]);}  
else {  
    result4 = inputState[6];}  
  
if (switchState5 == HIGH) {  
    result5 = (result4 && inputState[6]);}  
else {  
    result5 = (result4 || inputState[6]);}
```

```
if (switchState2 == HIGH) {
    result6 = (result1 && result2);}
else {
    result6 = (result1 || result2);}

if (switchState4 == HIGH) {
    result7 = (result5 && result3);}
else {
    result7 = (result5 || result3);}

if (switchState3 == HIGH) {
    result8 = (result7 && result6);}
else {
    result8 = (result7 || result6);}

bool isCorrect = (result8 == outputState[0] && result7 == outputState[1]);

if (isCorrect) {
    if (!passedTry1state1) { // επιτυχία 1ης προσπάθειας
        successSound(); passedTry1state1 = true;
        state1try1running = false; state1try2running = true; startNewLogic=true; }
    else { // επιτυχία 2ης προσπάθειας - τέλος γρίφου
        successSound(); state1running = false; passedTry1state1 = false;
        state1try1running = false; state1try2running = false; startNewLogic=false;
        logic_outputState.clear();delay(10); logic_outputState.show();
        logic_inputState.clear(); logic_inputState.show(); analogwrite(buzzer_Pin, 5);}
    }
else { // Αποτυχία - επιστροφή στην αρχή του γρίφου
    failureSound(); passedTry1state1 = false;
    state1try1running = true; state1try2running = true; startNewLogic=true;
    }
}

// COLOR - έναρξη γρίφου .....

void colorstart() {

    randomColor1 = random(0, 7);
    uint32_t color1 = spectrum_light1.ColorHSV(rainbowHues[randomColor1].hue, 255, 30);
    for(int led = 0; led < 4; led++) {
```

```
spectrum_light1.setPixelColor(led, color1);}
spectrum_light1.show();

randomColor2 = random(0, 7);
uint32_t color2 = spectrum_light2.colorHSV(rainbowHues[randomColor2].hue, 255, 30);
for(int led = 0; led < 4; led++) {
    spectrum_light2.setPixelColor(led, color2);}
spectrum_light2.show();

if (state2try1running) {color_outputState.setPixelColor(1,
color_outputState.color(10,0,0));}
if (!state2try1running) {color_outputState.setPixelColor(1,
color_outputState.color(0,10,0));}
if (state2try2running) {color_outputState.setPixelColor(2,
color_outputState.color(10,0,0));}
if (!state2try2running) {color_outputState.setPixelColor(2,
color_outputState.color(0,10,0));}
color_outputState.show();

}

// COLOR - έλεγχος γρίφου .....

void check2() {

lightSelect1 = analogRead(potensiometer1_Pin);
lightSelect2 = analogRead(potensiometer2_Pin);
wavelength = lightSelect1;
frequency = lightSelect2;

if ((colorswavelength[randomColor1][1] - analoguespreadColor < wavelength) and
(colorswavelength[randomColor1][0] + analoguespreadColor > wavelength)) {
    light1check=true;}
else {
    light1check=false;}

if ((colorsfrequency[randomColor2][1] - analoguespreadColor < frequency) and
(colorsfrequency[randomColor2][0] + analoguespreadColor > frequency)) {
    light2check=true;}
else {
    light2check=false;}

bool isCorrect = (light1check==true && light2check==true);
if (isCorrect) {
```

```
if (!passedTry1state2) { // επιτυχία 1ης προσπάθειας
    successSound(); passedTry1state2 = true;
    state2try1running = false;
    state2try2running = true; startNewColor=true;}
else { // επιτυχία 2ης προσπάθειας - τέλος γρίφου
    successSound(); state2running = false; passedTry1state2 = false;
    state2try1running = false; state2try2running = false; startNewColor=false;
    spectrum_light1.clear();spectrum_light1.show();
    spectrum_light2.clear();spectrum_light2.show();
    color_outputState.clear();delay(10); color_outputState.show();
    analogWrite(buzzer_Pin, 5);}
}
else { // Αποτυχία - επιστροφή στην αρχή του γρίφου
    failureSound(); passedTry1state2 = false;
    state2try1running = true; state2try2running = true; startNewColor=true;
}

}

// GAS - έναρξη γρίφου .....

void gasstart() {

// έλεγχος για να μην είναι ίδια η πίεση με την προηγούμενη
old_randomGas = randomGas;
do {
    randomGas = random(4);} // 0,1,2,3
while (randomGas == old_randomGas);
oldGasPressure = gasPressure;
// υπολογισμός νέας πίεσης
switch (randomGas) {
    case 0: gasPressure = 1; break;
    case 1: gasPressure = 2; break;
    case 2: gasPressure = 4; break;
    case 3: gasPressure = 8; break;
}

// Εφέ από oldGasPressure -> gasPressure
if (gasPressure > oldGasPressure) {
    for (int p = oldGasPressure + 1; p <= gasPressure; p++) {
        gas_pressureState.clear();
        for (int led = 0; led < p; led++) {
```

```
        gas_pressureState.setPixelColor(led, gas_pressureState.Color(5, 5, 5));}
        gas_pressureState.show(); delay(80);
    }
}
else if (gasPressure < oldGasPressure) {
    for (int p = oldGasPressure - 1; p >= gasPressure; p--) {
        gas_pressureState.clear();
        for (int led = 0; led < p; led++) {
            gas_pressureState.setPixelColor(led, gas_pressureState.Color(5, 5, 5));}
        gas_pressureState.show();delay(80);}
    }
else {
    gas_pressureState.clear();
    for (int led = 0; led < gasPressure; led++) {
        gas_pressureState.setPixelColor(led, gas_pressureState.Color(5, 5, 5));}
    gas_pressureState.show();}

if (state3try1running) {gas_outputState.setPixelColor(1,
gas_outputState.Color(10,0,0));}
if (!state3try1running) {gas_outputState.setPixelColor(1,
gas_outputState.Color(0,10,0));}
if (state3try2running) {gas_outputState.setPixelColor(3,
gas_outputState.Color(10,0,0));}
if (!state3try2running) {gas_outputState.setPixelColor(3,
gas_outputState.Color(0,10,0));}
gas_outputState.show();

}

// GAS - έλεγχος γρίφου .....

void check3() {

    gasVolumeSelect = analogRead(potensiometer3_Pin);
    int gasVolume = mapGasVolume(gasVolumeSelect);
    bool isCorrect=false;

    if (state3try1running == true && gasPressure == 1 && gasVolume == 7 &&
isCorrect==false) {
        isCorrect=true;}
    if (state3try1running == true && gasPressure == 2 && gasVolume == 6 &&
isCorrect==false) {
        isCorrect=true;}
    if (state3try1running == true && gasPressure == 4 && gasVolume == 5 &&
isCorrect==false) {
```

```
isCorrect=true;}  
if (state3try1running == true && gasPressure == 8 && gasVolume == 4 &&  
isCorrect==false) {  
isCorrect=true;}  
if (state3try2running == true && gasPressure == 1 && gasVolume == 8 &&  
isCorrect==false) {  
isCorrect=true;}  
if (state3try2running == true && gasPressure == 2 && gasVolume == 7 &&  
isCorrect==false) {  
isCorrect=true;}  
if (state3try2running == true && gasPressure == 4 && gasVolume == 6 &&  
isCorrect==false) {  
isCorrect=true;}  
if (state3try2running == true && gasPressure == 8 && gasVolume == 5 &&  
isCorrect==false) {  
isCorrect=true;}  
  
if (isCorrect) {  
if (!passedTry1state3) { // επιτυχία 1ης προσπάθειας  
successSound(); passedTry1state3 = true;  
state3try1running = false; state3try2running = true; startNewGas=true;}  
else { // επιτυχία 2ης προσπάθειας - τέλος γρίφου  
successSound(); state3running = false; passedTry1state3 = false;  
state3try1running = false; state3try2running = false; startNewGas=false;  
gas_pressureState.clear();delay(10);gas_pressureState.show();  
gas_outputState.clear();delay(10);gas_outputState.show();  
gas_volumeState.clear();delay(10);gas_volumeState.show();  
analogwrite(buzzer_Pin, 5);}  
}  
else { // Αποτυχία - επιστροφή στην αρχή του γρίφου  
failureSound(); passedTry1state3 = false;  
state3try1running = true; state3try2running = true; startNewGas=true;}  
}  
  
// RESISTOR - έναρξη γρίφου .....  
  
void resstart(){  
  
// έλεγχος για να μην είναι ίδιες η τάση και ένταση με τις προηγούμενες  
do {  
pairIndex = random(pairCount);}  
while (pairIndex == lastPairIndex);  
lastPairIndex = pairIndex;
```

```
int v = pairs[pairIndex].V;
int anglev = voltageToAngle(v);
myservo.attach(res_voltage_Pin, 1000, 2000); myservo.write(anglev); delay(600);
myservo.detach();

int I = pairs[pairIndex].I;
int angleI = currentToAngle(I);
myservo.attach(res_current_Pin, 1000, 2000); myservo.write(angleI); delay(600);
myservo.detach();

res_outputState.clear();
if (state4try1running) {res_outputState.setPixelColor(7,
res_outputState.Color(10,0,0));}
if (!state4try1running) {res_outputState.setPixelColor(7,
res_outputState.Color(0,10,0));}
if (state4try2running) {res_outputState.setPixelColor(6,
res_outputState.Color(10,0,0));}
if (!state4try2running) {res_outputState.setPixelColor(6,
res_outputState.Color(0,10,0));}
res_outputState.show();

}

// RESISTOR - έλεγχος γρίφου .....

void check4() {

startNewRes = true;
int resistorS = analogRead(resistorS_Pin);
int resistor1 = analogRead(resistor1_Pin);
int resistor2 = analogRead(resistor2_Pin);
int rS = mapResistors(resistorS);
int r1 = mapResistors(resistor1);
int r2 = mapResistors(resistor2);
// έλεγχος αν είναι η σωστή τριάδα αντιστάσεων
bool isCorrect = checkResistorsMulti(rS, r1, r2);

if (isCorrect) {
    if (!passedTry1state4) { // επιτυχία 1ης προσπάθειας
        successSound(); passedTry1state4 = true;
        state4try1running = false; state4try2running = true; startNewRes=true;}
    else { // επιτυχία 2ης προσπάθειας - τέλος γρίφου
        successSound(); state4running = false; passedTry1state4 = false;
        state4try1running = false; state4try2running = false; startNewRes=false;
    }
}
```

```
    res_outputState.clear();delay(10);res_outputState.show();
    analogWrite(buzzer_Pin, 5);}
}
else { // Αποτυχία - επιστροφή στην αρχή του γρίφου
    failureSound(); passedTry1state4 = false;
    state4try1running = true; state4try2running = true; startNewRes=true;}

}

// RESISTOR .....
// αντιστοίχιση τιμών αναλογικών εισόδων σε τιμές αντιστάσεων
// υπολογισμός γωνιών θέσεων για τα servo τάσης και έντασης
// έλεγχος σωστής τριάδας αντιστάσεων

int mapResistors(int analogValue) {
// όρια περιοχών αναλογικών εισόδων 0, 150, 300, 450, 600, 750, 900, 1023
// μέσα περιοχών αναλογικών εισόδων 75, 225, 375, 525, 675, 825, 961.5, >961.5
    if (analogValue < 100) return 1;        // 43
        else if (analogValue < 280) return 2; // 243
        else if (analogValue < 400) return 3; // 319
        else if (analogValue < 600) return 4; // 517
        else if (analogValue < 800) return 6; // 700
        else return 0;                      // 1023
}

int voltageToAngle(int v) {
    switch (v) {
        case 3:  return 103;
        case 4:  return 95;
        case 6:  return 82;
        case 8:  return 70;
        case 9:  return 60;
        case 12: return 28;
        default: return 110; // αρχικό σημείο
    }
}

int currentToAngle(int I) {
    switch (I) {
        case 1: return 135;
        case 2: return 92;
        case 3: return 70;
```

```
    case 4: return 50;
    default: return 155; // αρχικό σημείο
}
}

bool checkResistorsMulti(int rS, int r1, int r2) {
    bool matchFound = false;
    for (int i = 0; i < 2; i++) {
        ResTriples t = solutions[pairIndex][i];
        // -1 σημαίνει ότι δεν υπάρχει άλλη λύση
        if (t.Rs == -1) {
            break;}
        if (t.Rs == rS && t.R1 == r1 && t.R2 == r2) {
            matchFound = true; break;}
    }
    if (matchFound) {
        return true;}
    else {
        return false;}
}

// GAS .....
// ανάγνωση περιστροφικού διακόπτη
// αντιστοίχιση επιλογής όγκου σε ένδειξη led

void statesVolLeds() {
    gas_volumeState.clear();
    gasVolumeSelect = analogRead(potensiometer3_Pin);
    int gasVolume = mapGasVolume(gasVolumeSelect);
    for (int i = 0; i < gasVolume; i++) {
        gas_volumeState.setPixelColor(i, gas_volumeState.Color(255,255,255));}
    gas_volumeState.show();
}

int mapGasVolume(int analogValue) {
    // όρια περιοχών αναλογικών εισόδων 0, 150, 300, 450, 600, 750, 900, 1023
    // μέσα περιοχών αναλογικών εισόδων 75, 225, 375, 525, 675, 825, 961.5, >961.5
    if (analogValue < 75) return 1; // 0
    else if (analogValue < 225) return 2; // 150
    else if (analogValue < 375) return 3; // 300
    else if (analogValue < 525) return 4; // 450
    else if (analogValue < 675) return 5; // 600
```

```
        else if (analogvalue < 825) return 6; // 750
        else if (analogvalue < 962) return 7; // 900
    else return 8; // 1023
}

// ΗΧΟΙ .....

void startupSound() {
    stopBuzzer();
    tone(buzzer_Pin, 500, 100);
    delay(150);
    tone(buzzer_Pin, 700, 100);
    delay(150);
    tone(buzzer_Pin, 900, 100);
    delay(150);
    tone(buzzer_Pin, 1100, 150);
    delay(200);
    stopBuzzer();
}

void shutdownSound() {
    stopBuzzer();
    tone(buzzer_Pin, 1100, 100);
    delay(150);
    tone(buzzer_Pin, 900, 100);
    delay(150);
    tone(buzzer_Pin, 700, 100);
    delay(150);
    tone(buzzer_Pin, 500, 150);
    delay(200);
    stopBuzzer();
}

void successSound() {
    stopBuzzer();
    tone(buzzer_Pin, 900, 90);
    delay(130);
    tone(buzzer_Pin, 1300, 140);
    delay(190);
    stopBuzzer();
}
```

```
void failureSound() {  
    stopBuzzer();  
    tone(buzzer_Pin, 350, 260);  
    delay(320);  
    stopBuzzer();  
}  
  
void stopBuzzer() {  
    noTone(buzzer_Pin);  
    digitalWrite(buzzer_Pin, LOW);  
}  
  
// ΕΜΦΑΝΙΣΗ προηγούμενων προσπαθειών (λευκό χρώμα) .....  
  
void whiteCircle() {  
    ledCircle24.clear(); ledCircle24.show();  
    for (int i = 0; i < whiteLedCount; i++) {  
        ledCircle24.setPixelColor(i, ledCircle24.Color(10, 10, 8));  
    }  
    ledCircle24.show();  
}
```

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, 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.