ePublishing
ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ
NATIONAL DOCUMENTATION CENTRE

Συνέδρια της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Τεχνολογιών Πληροφορίας & Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση

Τόμ. 1 (2025)

14ο Συνέδριο ΕΤΠΕ «ΤΠΕ στην Εκπαίδευση»

Στρατηγικές και Γνωστικές Μεταβάσεις στην Κατανόηση της Διάδοσης και της Ανάκλασης του Φωτός Μέσω του Ψηφιακού Παιχνιδιού Φωτογωνίες

Αικατερίνη Μπαζιάκου, Αναστασία Τσίτα, Αγγελική Δημητρακοπούλου

doi: 10.12681/cetpe.9511

Βιβλιογραφική αναφορά:

Μπαζιάκου Α., Τσίτα Α., & Δημητρακοπούλου Α. (2026). Στρατηγικές και Γνωστικές Μεταβάσεις στην Κατανόηση της Διάδοσης και της Ανάκλασης του Φωτός Μέσω του Ψηφιακού Παιχνιδιού Φωτογωνίες. *Συνέδρια της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Τεχνολογιών Πληροφορίας & Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση*, *1*, 540–549. https://doi.org/10.12681/cetpe.9511

Στρατηγικές και Γνωστικές Μεταβάσεις στην Κατανόηση της Διάδοσης και της Ανάκλασης του Φωτός Μέσω του Ψηφιακού Παιχνιδιού Φωτογωνίες

Αικατερίνη Μπαζιάκου[1], Αναστασία Τσίτα[2], Αγγελική Δημητρακοπούλου[1]
psed20001@aegean.gr, anastasia.tsita@gmail.com, adimitr@aegean.gr
[1]Εργαστήριο Μαθησιακής Τεχνολογίας και Διδακτικής Μηχανικής, Τμήμα Επιστημών της Προσχολικής Αγωγής και του Εκπαιδευτικού Σχεδιασμού, Πανεπιστήμιο Αιγαίου
[2]Ανεξάρτητη σχεδιάστρια διεπαφών χρήστη

Περίληψη

Η μελέτη διερευνά τις στρατηγικές που αναπτύσσουν τα παιδιά κατά την αλληλεπίδρασή τους με το ψηφιακό παιχνίδι σοβαρού σκοπού *Φωτογωνίες*, που σχεδιάστηκε με στόχο την κατανόηση της διάδοσης και ανάκλασης του φωτός. Το δείγμα αποτέλεσαν 44 μαθητές/τριες Στ΄ τάξης Δημοτικού Σχολείου. Ακολουθήθηκε μικτή μεθοδολογία με συλλογή ποσοτικών και ποιοτικών δεδομένων (pre-test re-test, ανάλυση καταγραφών οθόνης και διαλόγων). Τα αποτελέσματα δείχνουν εξέλιξη από αυθόρμητες, εμπειρικές στρατηγικές σε συστηματικές και αναστοχαστικές, με χρήση της ανακαλυφθείσας επιστημονικής γνώσης. Παράλληλα, διαπιστώθηκαν γνωστικές μεταβάσεις μέσα από τη βελτίωση των επιδόσεων στο τελικό re-test. Η μελέτη αναδεικνύει τη θετική συμβολή των κατάλληλα σχεδιασμένων ψηφιακών παιχνιδιών στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση.

Λέξεις κλειδιά: ανάκλαση - διάδοση φωτός, στρατηγικές επίλυσης προβλημάτων, Φυσικές Επιστήμες, ψηφιακό παιχνίδι

Εισαγωγή

Η μελέτη των αντιλήψεων των μαθητών γύρω από επιστημονικά φαινόμενα έχει αναδείξει την ύπαρξη σταθερών, προϋπαρχουσών νοητικών αναπαραστάσεων που κυριαρχούν στη σκέψη των μαθητών, τα οποία αναφέρονται στη βιβλιογραφία ως "εναλλακτικές ιδέες", "διαισθητικές αντιλήψεις" ή "νοητικά μοντέλα" (Gilbert & Watts, 1983). Βασικές νοητικές αναπαραστάσεις των παιδιών σχετικά με τη διάδοση και την ανάκλαση του φωτός περιλαμβάνουν την αντίληψη ότι τα μάτια αντιλαμβάνονται τα αντικείμενα απευθείας, χωρίς να μεσολαβεί η ανίχνευση του φωτός που ανακλάται από αυτά, καθώς και τη δυσκολία κατανόησης του φωτός ως φυσικής οντότητας που διαδίδεται στον χώρο.

Η ύπαρξη αυτών των εδραιωμένων νοητικών αναπαραστάσεων καθιστά απαραίτητη τη μελέτη του τρόπου με τον οποίο μπορεί να προκληθεί και να υποστηριχθεί η εννοιολογική αλλαγή. Εννοιολογική αλλαγή περιγράφεται η διαδικασία κατά την οποία οι αυθόρμητες νοητικές αναπαραστάσεις των παιδιών, που συχνά δεν συμφωνούν με τις επιστημονικές θεωρίες, αποσταθεροποιούνται και αναδομούνται ώστε να συμβαδίζουν με τα επιστημονικά μοντέλα (Driver et al., 1985). Αυτό απαιτεί συχνά τη δημιουργία γνωστικής σύγκρουσης, κατά την οποία οι μαθητές έρχονται αντιμέτωποι με φαινόμενα που δεν μπορούν να εξηγηθούν από τις υφιστάμενες αντιλήψεις τους (Ravanis et al., 2002).

Στο πλαίσιο αυτό, τα ψηφιακά παιχνίδια σοβαρού σκοπού (serious games) αναδεικνύονται σε επιπρόσθετα παιδαγωγικά εργαλεία, προσφέροντας διαδραστικά και παιγνιώδη περιβάλλοντα που ευνοούν τη βιωματική μάθηση, τη διερεύνηση, τις ικανότητες επίλυσης προβλημάτων, καθώς και την ανάπτυξη επιστημονικής σκέψης δυνητικά μέσω της πρόκλησης εννοιολογικής αλλαγής (Kara, 2021· Karimov et al.,2024). Ο όρος "serious game" εισήχθη για να τονίσει τη σκόπιμη χρήση των παιχνιδιών σε αντιδιαστολή με τα ψυχαγωγικά

(Westera, 2019), ε· νώ η αποτελεσματικότητά τους εξαρτάται από τον κατάλληλο παιδαγωγικό σχεδιασμό και τη στοχευμένη ενσωμάτωσή τους στη διδακτική πρακτική. Επιπρόσθετα, ενισχύουν δεξιότητες όπως η κριτική σκέψη, η μεταγνωστική επίγνωση και η συνεργατική μάθηση (Van Eck, 2007), παράλληλα με τη δυνατότητά τους να κινητοποιούν τους μαθητές σε ενεργή εμπλοκή, στόχευση, στρατηγική και δημιουργική σκέψη (Westera, 2015).

Πιο συγκεκριμένα, η αξιοποίηση ψηφιακών παιχνιδιών στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα αποτελεσματική, ενισχύοντας τη μαθησιακή εμπλοκή και την εννοιολογική κατανόηση (Kara, 2021). Το *Newton's Race* (Linden et al., 2023), όταν εντάχθηκε σε κατάλληλο παιδαγωγικό πλαίσιο, βελτίωσε την κατανόηση της σχέσης δύναμης και κίνησης. Το *Shimmer*© (Huei-Tse et al., 2014), με επίκεντρο την ανάκλαση και διάθλαση του φωτός, ανέδειξε τη σημασία της παιγνιώδους εμβύθισης. Τέλος, η προσαρμοσμένη χρήση του *Angry Birds* (Umrani et al., 2020) συνέβαλε στη διδασκαλία φαινομένων βολής επιβεβαιώνοντας ότι ακόμη και απλά, δημοφιλή παιχνίδια μπορούν να υποστηρίξουν τη μάθηση. Συνολικά, οι συναφείς έρευνες επιβεβαιώνουν ότι τα ψηφιακά παιχνίδια, όταν σχεδιάζονται κατάλληλα, με εννοιολογικά τεκμηριωμένα χαρακτηριστικά (affordances) μπορούν να ενισχύσουν πολλαπλώς τη μάθηση (Δημητρακοπούλου, 2018) και την εμπλοκή των παιδιών στις Φυσικές Επιστήμες.

Ερευνητικά ερωτήματα

Η παρούσα μελέτη εξετάζει τη συμβολή ενός ψηφιακού παιχνιδιού σοβαρού σκοπού στην κατανόηση βασικών εννοιών οπτικών φαινομένων από μαθητές Στ΄ Δημοτικού. Εστιάζει στη μελέτη των στρατηγικών που αναπτύσσουν οι μαθητές κατά την αλληλεπίδρασή τους με το παιχνίδι, καθώς και στις γνωστικές μεταβάσεις που σημειώνονται κατά τη μαθησιακή διαδικασία. Το βασικό ερευνητικό ερώτημα αφορά την εξέλιξη των στρατηγικών κατανόησης της ευθύγραμμης διάδοσης και της ανάκλασης του φωτός, όσο οι μαθητές προχωρούν σε επίπεδα αυξανόμενης δυσκολίας. Τα επιμέρους ερευνητικά ερωτήματα είναι:

ΕΕ.1) Ποιες στρατηγικές επίλυσης προβλήματος υιοθετούν οι μαθητές κατά το παιχνίδι και πώς αυτές διαφοροποιούνται σε πιο σύνθετα επίπεδα;

ΕΕ.2) Παρατηρούνται ενδείξεις εννοιολογικής αλλαγής ή γνωστικών μεταβάσεων στην κατανόηση των φαινομένων μέσα από την παιγνιώδη διερεύνηση;

Σχεδίαση του ψηφιακού παιχνιδιού Φωτογωνίες

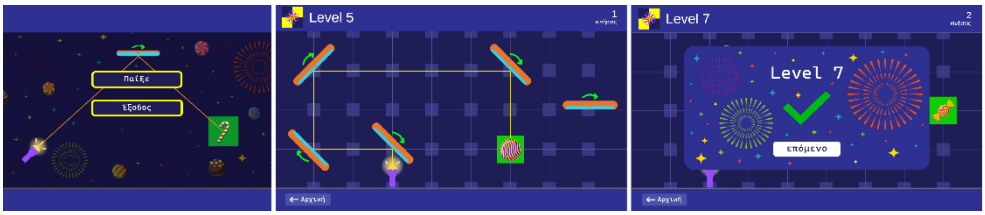
Τα παιχνίδια λογικής γρίφων (puzzle) δίνουν στους μαθητές τη δυνατότητα να διατυπώνουν υποθέσεις, να σχεδιάζουν μια ακολουθία κινήσεων και έπειτα να τις δοκιμάζουν (Akcaoglu et al., 2021· Weng, 2022). Σκοπός του παιχνιδιού είναι τα παιδιά να ανακαλύψουν διαισθητικά ότι το φως ταξιδεύει ευθύγραμμα και αλλάζει κατεύθυνση όταν προσκρούει σε λείες επιφάνειες υπό προβλέψιμες γωνίες, με τη γωνία πρόσπτωσης να είναι ίση με τη γωνία ανάκλασης. Πρωταρχικός στόχος ήταν η σχεδίαση ενός παιχνιδιού λογικής που μοντελοποιεί κατάλληλα, τις αφηρημένες επιστημονικές έννοιες μέσω ελκυστικών αναπαραστάσεων.

Αναπτύχθηκε με χρήση Unity και C# για κινητές συσκευές Android. Το γραφικό περιβάλλον βελτιστοποιήθηκε για χρήση σε οριζόντια διάταξη σε ταμπλέτα, έναντι κινητού τηλεφώνου, ώστε να διασφαλιστεί η ευκρίνεια των στοιχείων και η άνετη αλληλεπίδραση. Η ταμπλέτα προσφέρει, επίσης, ευελιξία, καθώς είναι εύκολα προσβάσιμη στην τάξη και μπορεί να χρησιμοποιηθεί από περισσότερους από ένα μαθητές ταυτόχρονα.

Το περιβάλλον σχεδιάστηκε με απλά, ευχάριστα, οπτικά και ακουστικά στοιχεία χωρίς περιττούς περισπασμούς. Κυριαρχεί το μπλε χρώμα, που ενισχύει την ηρεμία και τη συγκέντρωση. Όλα τα γραφικά πληρούν τα βασικά κριτήρια των οδηγιών προσβασιμότητας

για το περιεχόμενο στο διαδίκτυο (WCAG 2.1, 2025) σχετικά με την αντίθεση χρωμάτων και την ευκρίνεια γραφικών και κειμένων (κριτήρια 1.4.3, 1.4.5 και 1.4.11). Τέλος, οι επιλεγμένοι ήχοι παρέχουν άμεση ανατροφοδότηση για τις ενέργειες του παίκτη, ενώ η ιστορία που πλαισιώνει το παιχνίδι – να πετύχει τον στόχο στο σκοτάδι - παρουσιάζεται με τρόπο κατάλληλο για τη σχολική τάξη (Plass et al., 2015).

Ο χρήστης, μέσω του κύριου μενού στην αρχική σελίδα, μπορεί να ξεκινήσει το παιχνίδι επιλέγοντας "Παίξε" ή να κλείσει την εφαρμογή με "Έξοδος". Σκοπός του παιχνιδιού είναι να καθοδηγήσει μία δέσμη φωτός από μία πηγή (φακός) σε έναν στόχο (γλυκό), περιστρέφοντας καθρέφτες με πατήματα (tap), κάθε ένα από τα οποία μετρά ως μία κίνηση. Κάθε κίνηση περιστρέφει τον καθρέφτη κατά 45 μοίρες δεξιόστροφα. Εάν ο παίκτης εξαντλήσει τις διαθέσιμες κινήσεις χωρίς επιτυχία, τότε εμφανίζεται προτροπή για επανάληψη του επιπέδου. Μπορεί να το ξαναπαίξει μέχρι να το λύσει πριν συνεχίσει στο επόμενο. Το παιχνίδι περιλαμβάνει 10 επίπεδα με αυξανόμενη δυσκολία με το σκοπό και τους βασικούς αυτούς κανόνες να παραμένουν ίδια. Σε κάθε επίπεδο υπάρχει κουμπί "Αρχική" για επιστροφή στο μενού ανά πάσα στιγμή, από όπου ο παίκτης μπορεί να ξεκινήσει και πάλι από το πρώτο επίπεδο επιλέγοντας "Παίξε" ή να εξέλθει από την εφαρμογή (Σχήμα 1).



Σχήμα 1. Στιγμιότυπα οθόνης από αριστερά: (α) αρχική, (β) επίπεδο, (γ) επιτυχία

Πριν αναλυθούν οι στρατηγικές των μαθητών, είναι σημαντικό να οριστεί η αναμενόμενη συμπεριφορά τους, βάσει του σχεδιασμού κάθε επιπέδου, των κανόνων και της δυσκολίας του. Τα δύο πρώτα επίπεδα, έχουν καθοδηγητικό χαρακτήρα, με μοναδικό σκοπό ο παίκτης να ανακαλύψει διαισθητικά πως μπορεί να αλληλοεπιδράσει για να πετύχει το γλυκό. Ο παίκτης δεν ελέγχει το αποτέλεσμα (επιτυχία ή αποτυχία) - στο 1ο επίπεδο είναι αδύνατο να χάσει, ενώ στο 2ο αυτό είναι δύσκολο λόγω πολλών διαθέσιμων κινήσεων. Ο παίκτης καλείται να ανακατευθύνει την ακτίνα περιστρέφοντας τους καθρέφτες, ενώ η πηγή και ο στόχος παραμένουν σταθερά. Τα δύο προβλήματα που λύνει είναι: (1) ποιον καθρέφτη θα περιστρέψει για να ανακόψει την ευθύγραμμη διάδοση της ακτίνας, (2) σε ποια γωνία θα τον περιστρέψει ώστε η ακτίνα να ανακλαστεί προς την επιθυμητή πορεία. Τα επίπεδα 3 και 4, σχεδιάστηκαν ώστε να υπάρχει μεγάλη πιθανότητα ο παίκτης να χάσει, προκειμένου να ανακαλύψει επιπλέον ότι οι κινήσεις είναι περιορισμένες. Έτσι, στα πρώτα επίπεδα, ο παίκτης μπορεί να ανακαλύψει σταδιακά τους βασικούς κανόνες που διέπουν το παιχνίδι. Ό,τι δεν ανακαλύψει σε αυτά, δύναται να ανακαλύψει σε οποιοδήποτε επόμενο επίπεδο.

Από το επίπεδο 5 και μετά, ο παίκτης αναμένεται να προχωρήσει με περισσότερη επίγνωση και έλεγχο ως προς το αποτέλεσμα. Επίσης, εισάγονται άλλοι δύο δευτερεύοντες κανόνες: (1) δεν είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν όλοι οι καθρέφτες, (2) ορισμένα επίπεδα (5ο, 9ο, 10ο) έχουν δύο τρόπους επίλυσης. Από το 6ο επίπεδο δίνονται όλο και πιο περίπλοκες διατάξεις (περισσότεροι διαθέσιμοι καθρέφτες, λιγότερες διαθέσιμες κινήσεις σε σχέση με τις απαιτούμενες κ.ά.) (Tsita et al., 2025). Καθώς η δυσκολία ανεβαίνει, μπορεί να ελεγχθεί με περισσότερη βεβαιότητα αν τα παιδιά κατανοούν τους κανόνες και μπορούν να προβλέψουν σωστά τη συμπεριφορά της ακτίνας φωτός. Αν ο παίκτης δυσκολεύεται, πιθανότατα δεν έχει

κατανοήσει πλήρως τη λογική επίλυσης. Αντίθετα, η επιτυχής και αποδοτική επίλυση δείχνει βαθιά κατανόηση και ικανότητα εφαρμογής της λογικής.

Μεθοδολογία έρευνας

Η παρούσα έρευνα αξιοποίησε μικτή μεθοδολογία, συνδυάζοντας ποιοτικά και ποσοτικά δεδομένα, με στόχο τη μελέτη των στρατηγικών και των γνωστικών μεταβάσεων μαθητών μέσω του ψηφιακού παιχνιδιού "Φωτογωνίες", το οποίο αφορά τη διάδοση και την ανάκλαση του φωτός. Συμμετείχαν 44 μαθητές Στ΄ τάξης (ηλικίας ~11 ετών) από το 4ο Πειραματικό Δημοτικό Σχολείο Ερμούπολης, με ποικίλο κοινωνικοοικονομικό και γνωστικό υπόβαθρο, λόγω του συστήματος εισαγωγής με κλήρωση στα Πειραματικά Σχολεία.

Η διαδικασία περιλάμβανε pre-test για την καταγραφή του αρχικού επιπέδου γνώσεων, αλληλεπίδραση των μαθητών με το παιχνίδι σε δυάδες και με εφαρμογή του πρωτοκόλλου "think aloud", ενώ μια εβδομάδα μετά, απάντησαν το re-test για την ανίχνευση γνωστικών αλλαγών. Οι συνεδρίες καταγράφηκαν με ήχο και εικόνα οθόνης. Επιπλέον, αξιολογήθηκε η "ευχρηστία" και η "ικανοποίηση" των χρηστών/μαθητών μέσω των κλιμάκων SUS και QUIS και ανοιχτών ερωτήσεων (Tsita et al., 2025). Οι μαθητές είχαν προηγουμένως διδαχθεί βασικές έννοιες για το φως στην Ε΄ τάξη, αλλά όχι τη σχετική ενότητα στη Στ΄ τάξη κατά τη χρονική στιγμή της έρευνας.

Αποτελέσματα

ΕΕ.1 Ανάλυση στρατηγικών

Οι πιλοτικές δοκιμές του παιχνιδιού προσέφεραν πολύτιμη ανάδραση για οπτικές βελτιώσεις (σχήματα, χρώματα, μεγέθη) και ανέδειξαν τις στρατηγικές που ακολούθησαν ενήλικες και παιδιά κατά την επίλυση των επιπέδων. Εντοπίστηκαν δύο κύριες τακτικές: η ανίχνευση του μονοπατιού της ακτίνας από την πηγή προς τον στόχο και ο εντοπισμός του τελευταίου καθρέφτη πριν τον στόχο με αναδρομική χάραξη της διαδρομής προς την πηγή. Η επίλυση γίνεται είτε βήμα-βήμα είτε με νοητικό σχεδιασμό όλης της διαδρομής. Όσο απλούστερη είναι η διάταξη, τόσο ευκολότερη η συνολική πρόβλεψη. Σε πιο σύνθετα επίπεδα, οι παίκτες φαίνεται πως συνδύασαν και τις δύο τακτικές.

Προκειμένου να αναλυθεί η συμπεριφορά των παικτών ορίστηκαν μετρικές που συμβάλλουν στο να αποτυπωθεί ο τρόπος σκέψης που ακολούθησαν τα παιδιά προκειμένου να κερδίσουν σε κάθε επίπεδο (Akcaoglu et al., 2021· Varela et al., 2014) (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Μετρικές ανάλυσης στρατηγικής επίλυσης

Μετρική ανά ομάδα	Περιγραφή
Απόπειρες ανά επίπεδο	Το πλήθος των αποπειρών σε κάθε επίπεδο ανά ομάδα
Χρόνος επίλυσης ανά επίπεδο	Χρόνος από τη στιγμή που ξεκινάει το επίπεδο μέχρι την επιτυχή ολοκλήρωσή του για την επιτυχημένη προσπάθεια του κάθε επιπέδου
Πλήθος κινήσεων επίλυσης ανά επίπεδο	Το πλήθος των κινήσεων σε σχέση με το βέλτιστο πλήθος κινήσεων
Χρόνος μέχρι την πρώτη κίνηση ανά επίπεδο	Χρόνος από τη στιγμή που ξεκινάει το επίπεδο μέχρι την πρώτη κίνηση για την επιτυχημένη προσπάθεια του κάθε επιπέδου

Οι μετρικές καθορίστηκαν με βάση το τι δύναται να μετρηθεί σε σχέση με τα βασικά συμβάντα (events) του παιχνιδιού (Drachen et al., 2013), αλλά και σε μετρικές που

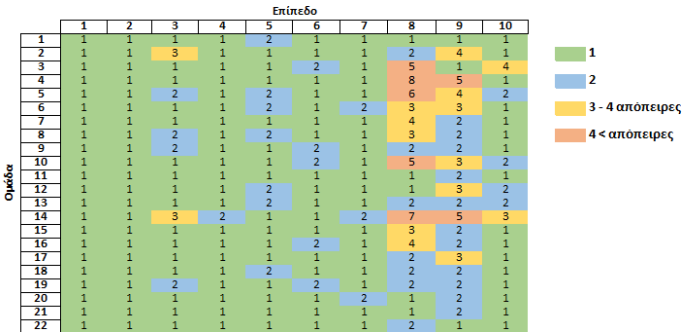
χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση ευχρηστίας διαδραστικών συστημάτων, μιας και στο συγκεκριμένο πλαίσιο, μπορούν να αποτυπώσουν το πως αλληλοεπιδρούν τα παιδιά με το παιχνίδι (Κουτσαμπάσης, 2016).

Ο συνδυασμός των μετρικών μεταξύ τους και με τις καταγραφές του 'think-aloud protocol' προσφέρει μία συνολική εικόνα των στρατηγικών επίλυσης που ακολούθησαν οι μαθητές. Στη συνέχεια, αναλύονται οι στρατηγικές επίλυσης, με δείκτες ανώτερου επιπέδου την "επίδοση", την "αποδοτικότητα" και τον "χρόνο λήψης απόφασης".

Στρατηγική επίλυσης και επίδοση

Ενώ όλα τα ζευγάρια μαθητών κατάφεραν να τερματίσουν το παιχνίδι, δίνοντας επιτυχές αποτέλεσμα, κάποια το κατάφεραν αφιερώνοντας περισσότερο χρόνο ή με περισσότερες αποτυχημένες απόπειρες. Περισσότερες απόπειρες σε ένα επίπεδο και λιγότερος χρόνος επίλυσης στην επιτυχημένη προσπάθεια, σημαίνουν ότι οι παίκτες μαθαίνουν χάνοντας, προσεγγίζοντας το παιχνίδι περισσότερο παρορμητικά και προχωρώντας με τυχαίες κινήσεις μέσω δοκιμής και σφάλματος. Αντίθετα, λιγότερες απόπειρες και περισσότερος χρόνος στην επιτυχημένη προσπάθεια, σημαίνουν πιο προσεκτική επίλυση.

Το Σχήμα 2 καταγράφει τις απόπειρες κάθε ομάδας ανά επίπεδο. Στο επίπεδο 8 σημειώθηκαν οι περισσότερες απόπειρες, ενώ όπως ήταν αναμενόμενο καμία ομάδα δεν έχασε στο δεύτερο επίπεδο, καθώς οι διαθέσιμες κινήσεις ήταν υπέρ-αρκετές για να το λύσει κανείς. Ενώ, τα επίπεδα 3 και 4 σχεδιάστηκαν έτσι ώστε να υπάρχει μεγάλη πιθανότητα οι παίκτες να χάσουν, μόνο περίπου το ένα τρίτο των ομάδων έπεσε στην παγίδα του επιπέδου 3 και μόνο μία ομάδα έχασε στο επίπεδο 4. Περίπου άλλο ένα τρίτο των ομάδων, έχασε μόνο μία φορά σε τουλάχιστον ένα από τα επόμενα επίπεδα 5-7, πριν τα περάσει επιτυχημένα. Το υπόλοιπο ένα τρίτο των ομάδων έχασε στο 8ο, στο 9ο ή και στα δύο επίπεδα. Οι περισσότερες ομάδες έπαιξαν τα επίπεδα 8 και 9 περισσότερες από μία φορές. Τέλος, οι περισσότερες ομάδες πέρασαν το τελευταίο επίπεδο με την πρώτη απόπειρα, γεγονός που δείχνει ότι έμαθαν από τις αποτυχίες.



Σχήμα 2. Απόπειρες της κάθε ομάδας ανά επίπεδο

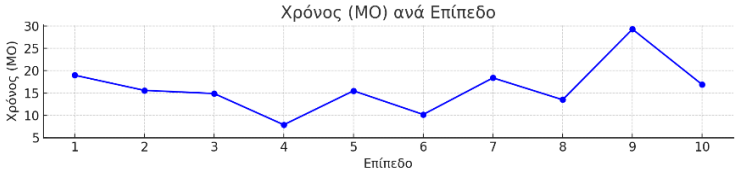
Το ότι τα παιδιά μαθαίνουν από τα λάθη τους στις αποτυχημένες απόπειρες αντικατοπτρίζεται και στο μέσο χρόνο που αφιέρωσαν οι ομάδες ανά επίπεδο κατά την επιτυχημένη τους προσπάθεια (Σχήμα 3).

Στο πρώτο επίπεδο, τα παιδιά αφιερώνουν σημαντικό χρόνο στο να καταλάβουν το παιχνίδι (*"τι κάνουμε; δεν μπορώ να καταλάβω… α.. γυρνάμε τον καθρέφτη, αυτό ήταν"*, *"πώς γυρνάει ο καθρέφτης;"*). Στα επίπεδα 2 και 3 εξερευνούν τους κανόνες (*"κάνει κύκλο ο καθρέφτης, μπορούμε να βρούμε ξανά τη σωστή θέση"*, *"εδώ έχει δύο καθρέφτες, άρα από αυτόν πρέπει να χτυπήσει*

εκείνον", "*ααα έχει κινήσεις*", "*τώρα κατάλαβα τι κάνουμε*"). Στο επίπεδο 4 φαίνεται να έχουν κατανοήσει τους βασικούς κανόνες, αφού κερδίζουν με την πρώτη απόπειρα και σε σχετικά λίγο χρόνο ("*θέλουμε πάντα να πετυχαίνουμε το στόχο ε;*", "*τώρα βγάζει νόημα*").

Στα επίπεδα 5 – 8, φαίνεται συνολικά ότι όσο περισσότερες είναι οι απόπειρες τόσο πιο σύντομος γίνεται ο χρόνος που αφιερώνουν τελικά κατά την επιτυχημένη τους προσπάθεια. Παράλληλα, σε αυτά τα επίπεδα, τα παιδιά δείχνουν εμφανή προθυμία να σκεφτούν πριν δράσουν προκειμένου να αποφύγουν την αποτυχία ("*έχει περισσότερους καθρέφτες, θέλει περισσότερη σκέψη*", "*σκέψου ένα λεπτό*"). Δεν επαρκεί πλέον να εφαρμόσουν τη λογική επίλυσης, αλλά θα πρέπει να το κάνουν και αποδοτικά με ελάχιστες κινήσεις ("*προσοχή, είναι μόνο 4 οι κινήσεις που μπορούμε να κάνουμε*", "*αν πατάς στην τύχη δεν φτάνουν οι κινήσεις*").

Ο σημαντικά μεγαλύτερος χρόνος επίλυσης στο επίπεδο 9, σε συνδυασμό με λιγότερες απόπειρες, δείχνει την αλλαγή στρατηγικής από την επίλυση μέσω δοκιμής και σφάλματος σε προηγούμενα επίπεδα, σε πιο μεθοδευμένη επιλογή κινήσεων ("*αυτός είναι ο καθρέφτης που θα πετύχει το στόχο, ποιος λες ότι θα είναι ο προηγούμενος;*", "*δοκίμασε άλλη διαδρομή*"). Μετά τις προκλήσεις και επαναλαμβανόμενες προσπάθειες των επιπέδων 8 και 9, οι περισσότερες ομάδες ολοκλήρωσαν το επίπεδο 10 με την πρώτη απόπειρα, αλλά και σε σχετικά μικρότερο χρόνο κατά μέσο όρο. Αυτό δείχνει ότι έμαθαν πως να εφαρμόζουν τη λογική επίλυσης επιτυχημένα σε περιπλοκότερες διατάξεις ("*η ακτίνα θα χτυπήσει πρώτα σε αυτόν τον καθρέφτη, μετά πού θα πάει;*", "*αν πατήσεις εδώ, μετά ποιον καθρέφτη θα γυρίσεις;*").



Σχήμα 3. Μέσος χρόνος επίλυσης από όλες τις ομάδες ανά επίπεδο

Στρατηγική επίλυσης και αποδοτικότητα

Κάποια ζευγάρια πέρασαν τα επίπεδα με τρόπο περισσότερο αποδοτικό, κάνοντας λιγότερες κινήσεις. Περισσότερες αχρείαστες κινήσεις σημαίνει τυχαίες κινήσεις ή εξερεύνηση πιθανών μονοπατιών, και άρα μικρότερη κατανόηση της λογικής επίλυσης ή έλλειψη ικανότητας εφαρμογής της με αποδοτικό τρόπο. Το Σχήμα 4 δείχνει το πλήθος των κινήσεων για κάθε ομάδα ανά επίπεδο. Το επίπεδο 1 λύνεται χωρίς να έχει έλεγχο ο παίκτης. Στα επίπεδα 4, 6, και 8 οι διαθέσιμες κινήσεις είναι ίσες με τις απαιτούμενες. Για τα επίπεδα που έχουν δύο πιθανές λύσεις (5, 9 και 10), βέλτιστη θεωρείται η λύση που απαιτεί λιγότερες κινήσεις.

Κοινή τακτική των παιδιών ήταν αρχικά να περιστρέφουν τον καθρέφτη στον οποίον προσπίπτει η ακτίνα μέχρι την πρώτη φορά που η ακτίνα ανακλάται αλλάζοντας κατεύθυνση. Εκείνη τη στιγμή προχωρούσαν στον επόμενο καθρέφτη, χωρίς να ελέγξουν εάν αυτή είναι η βέλτιστη διαδρομή. Αυτό παρατηρήθηκε στο επίπεδο 5, το οποίο καμία ομάδα δεν έλυσε με τη βέλτιστη λύση των 7 κινήσεων. Ομοίως, στο επίπεδο 9, η πρώτη στιγμή που ανακλάται η ακτίνα στον πρώτο καθρέφτη οδηγεί στην επίλυση με 21 κινήσεις. Η δεύτερη φορά που ανακλάται η ακτίνα, αν συνεχίσει κανείς να περιστρέφει τον ίδιο καθρέφτη, οδηγεί στη βέλτιστη λύση με 16 κινήσεις. Σε αυτό το επίπεδο, πέντε ομάδες ακολούθησαν τη βέλτιστη λύση, που σημαίνει ότι μελέτησαν τις πιθανές διαδρομές. Τρεις από αυτές έκαναν και κάποιες αχρείαστες κινήσεις. Στο επίπεδο 10, πέντε συνολικά ομάδες ακολούθησαν τη βέλτιστη λύση, ενώ καμία δεν έκανε αχρείαστες κινήσεις.

Ομάδα \ Επίπεδο	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	7	8	11	4	12	4	13	5	22	12
2	7	16	11	4	12	4	15	5	18	10
3	7	8	11	4	12	4	13	5	21	12
4	7	8	11	4	12	4	13	5	23	12
5	7	8	11	4	12	4	15	5	16	12
6	7	8	11	4	12	4	13	5	23	12
7	7	8	11	4	12	4	13	5	22	10
8	7	8	11	4	12	4	13	5	21	12
9	7	8	11	4	13	4	13	5	18	12
10	7	8	11	4	12	4	14	5	16	12
11	7	8	11	4	12	4	13	5	22	12
12	7	8	11	4	12	4	13	5	23	12
13	7	8	11	4	13	4	13	5	20	10
14	7	8	11	4	12	4	13	5	22	12
15	7	8	11	4	12	4	15	5	23	12
16	7	16	11	4	12	4	13	5	24	12
17	7	8	11	4	12	4	13	5	21	12
18	7	8	11	4	12	4	13	5	23	12
19	7	8	11	4	12	4	13	5	22	10
20	7	8	11	4	13	4	14	5	21	12
21	7	8	11	4	12	4	13	5	23	12
22	7	8	11	4	12	4	15	5	22	10

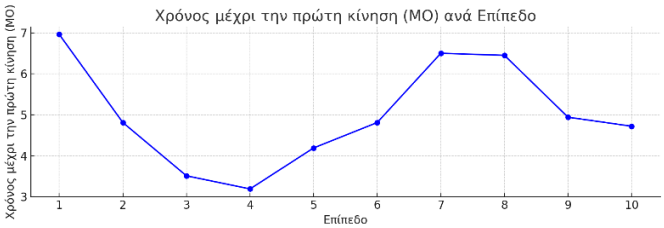
βέλτιστο πλήθος μοναδικής ή 1ης λύσης
πλήθος 2ης λύσης
αχρείαστες κινήσεις

Σχήμα 4. Πλήθος κινήσεων της κάθε ομάδας ανά επίπεδο

Συνολικά, όσο ανεβαίνει το επίπεδο τόσο τα παιδιά έκαναν αχρείαστες κινήσεις, που όμως συνέβαλαν τελικά στο να βρουν το σωστό μονοπάτι. Επίσης, όσο ανεβαίνει το επίπεδο τόσο πιο πολλές ομάδες ανακάλυψαν τη βέλτιστη λύση, δηλαδή σκέφτηκαν πιο στρατηγικά.

Στρατηγική επίλυσης και χρόνος λήψης απόφασης

Τέλος, αποτυπώθηκε ο χρόνος από τη στιγμή που ξεκινάει το κάθε επίπεδο μέχρι τη στιγμή που οι παίκτες κάνουν την πρώτη κίνηση στην προσπάθεια που ήταν επιτυχημένη. Εάν αυτός ο χρόνος είναι σχετικά μικρός και συνοδεύεται από πολλές αποτυχημένες απόπειρες σημαίνει ότι οι παίκτες κάνουν παρορμητικές, τυχαίες κινήσεις και δείχνουν έλλειψη κατανόησης. Περισσότερος χρόνος δείχνει μεγαλύτερη νοητική προσπάθεια για ανάλυση της διάταξης και απόφαση για το από πού θα ξεκινήσουν. Η προσπάθεια αυτή εξαρτάται από την αντικειμενική δυσκολία του επιπέδου, αλλά και από ότι έχουν βιώσει τα παιδιά στα προηγούμενα επίπεδα.



Σχήμα 5. Μέσος χρόνος μέχρι την πρώτη κίνηση από όλες τις ομάδες ανά επίπεδο

Το Σχήμα 5 παρουσιάζει πως εξελίσσεται ο μέσος χρόνος που χρειάσθηκαν τα παιδιά πριν κάνουν την πρώτη κίνηση ανά επίπεδο. Αφιέρωσαν περισσότερο χρόνο στο επίπεδο 1 και λιγότερο στο επίπεδο 2, προσπαθώντας να κατανοήσουν τι πρέπει να κάνουν. Στα επίπεδα 3, 4 και 5 οι παίκτες επιταχύνουν, κυρίως λόγω της αυτοπεποίθησης που αποκτούν από την ευκολία των πρώτων επιπέδων. Αυτή η ταχύτητα ανακόπτεται από το επίπεδο 6 και έως το 8, αφότου έχουν βιώσει την αποτυχία, και εξασκούνται στην αποδοτική εφαρμογή της λογικής προσπαθώντας να αποφύγουν τα λάθη σε αντικειμενικά δυσκολότερα επίπεδα. Στα επίπεδα 9 και 10, τα παιδιά αφιερώνουν και πάλι λιγότερο χρόνο εκκίνησης, παρά τη δυσκολία των επιπέδων. Αυτό δείχνει ότι έχουν κατακτήσει τη λογική επίλυσης, εφαρμόζοντας όσα ανακάλυψαν και έμαθαν.

ΕΕ.2 Γνωστικές μεταβάσεις

Το ερωτηματολόγιο που συμπλήρωσαν τα παιδιά πριν και μετά το εκπαιδευτικό παιχνίδι περιλάμβανε πέντε ερωτήσεις. Οι τέσσερις πρώτες, βασισμένες στο έργο του Treagust και στην έρευνα των Chu et al. (2009), αποτελούνται από ζεύγη υποερωτήσεων πολλαπλής επιλογής, όπου η δεύτερη υποερώτηση αιτιολογεί την πρώτη. Οι ερωτήσεις 1 και 2 εξετάζουν την κατανόηση της ευθύγραμμης διάδοσης του φωτός σε διαφορετικά πλαίσια με την πρώτη να επικεντρώνεται στο ποιος μπορεί να δει τη λάμπα από διαφορετικά παράθυρα και τη δεύτερη στο ποια παράθυρα φωτίζονται από τη λάμπα. Οι ερωτήσεις 3 και 4 διερευνούν την κατανόηση της όρασης και του ρόλου του ανακλώμενου φωτός, μέσω διαφορετικών σεναρίων (γάτα και άνθρωπος). Η πέμπτη ερώτηση, από το έργο των Driver et al. (1982), είναι ανοιχτού τύπου και εξετάζει την παρουσία φωτός σε εσωτερικό χώρο. Οι κλειστές ερωτήσεις βαθμολογήθηκαν ως σωστές ή λανθασμένες, ενώ η ανοιχτή κατηγοριοποιήθηκε σε σωστή, μερικώς σωστή ή λανθασμένη.

Για την ανάλυση των δεδομένων πριν και μετά την παρέμβαση, χρησιμοποιήθηκε η δοκιμή *t* για συζευγμένα δείγματα (Paired Sample *t*-Test). Η μέθοδος αυτή συγκρίνει τους μέσους όρους δύο εξαρτημένων μετρήσεων από τα ίδια άτομα, σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Στην παρούσα μελέτη εφαρμόστηκε για να διερευνηθεί αν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά στις επιδόσεις των μαθητών πριν και μετά την εκπαιδευτική παρέμβαση.

Η ανάλυση (Πίνακας 2) έδειξε ότι στις 12 από τις 13 υπό-ερωτήσεις παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική βελτίωση ($p < 0,05$) μετά την παρέμβαση. Η μόνη ερώτηση που δεν εμφάνισε στατιστικά σημαντική διαφορά ήταν η Q3B ($p = 0,096$), αν και παρατηρήθηκε μια μικρή αύξηση στη μέση τιμή. Παρόλα αυτά, ο συνολικός δείκτης του Q3 (Q3A + Q3B) παρέμεινε στατιστικά σημαντικός. Στις υπόλοιπες ερωτήσεις καθώς και στους συνδυασμούς τους παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές με p τιμές μικρότερες του 0.05, ενισχύοντας την υπόθεση ότι η παρέμβαση είχε θετική επίδραση στις γνώσεις/αντιλήψεις των συμμετεχόντων. Συνολικά, τα αποτελέσματα καταδεικνύουν αξιοσημείωτες γνωστικές διαφοροποιήσεις στις επιδόσεις των μαθητών πριν και μετά την ενασχόλησή τους με το εκπαιδευτικό παιχνίδι.

Πίνακας 2. Paired Samples T-Test

	Mean	*t*	*d*	*p* (2-tailed)	
Q1A_pre-post	-0,23	-3,56	43	***	
Q1B_pre-post	-0,16	-2,46	43	*	
Q1A_Q1B_pre-post	-0,23	-3,17	43	**	
Q2A_pre-post	-0,27	-3,33	43	**	*** p < 0,001
Q2B_pre-post	-0,18	-3,09	43	**	** p < 0,01
Q2A_Q2B_pre-post	-0,23	-3,56	43	***	** p < 0,05
Q3A_pre-post	-0,23	-3,56	43	***	ns = στατιστικά μη
Q3B_pre-post	-0,11	-1,70	43	ns	σημαντικό (p ≥ 0,05)
Q3Q_A3B_pre-post	-0,21	-2,94	43	**	
Q4A_pre-post	-0,29	-3,54	43	***	
Q4B_pre-post	-0,16	-2,85	43	**	
Q4A_Q4B_pre-post	-0,23	-3,56	43	***	
Q7_pre-post	-0,29	-4,25	43	***	

Συμπεράσματα

Συμπερασματικά, αναφορικά με το ΕΕ.1, καθώς τα παιδιά προχωρούν στα επίπεδα και αυξάνεται η δυσκολία, παρατηρείται ότι αναπτύσσουν και εφαρμόζουν διαφορετικές στρατηγικές. Στα αρχικά στάδια, πειραματίζονται αυθόρμητα, τοποθετώντας καθρέφτες με δοκιμή και σφάλμα για να δουν την πορεία του φωτός. Σταδιακά, αρχίζουν να προβλέπουν πιο συνειδητά τη διαδρομή της ακτίνας, λαμβάνοντας υπόψη τις γωνίες πρόσπτωσης και ανάκλασης. Σε πιο σύνθετα επίπεδα, μπορούν να σχεδιάσουν ολόκληρη ή ένα μέρος της διαδρομής πριν ξεκινήσουν την τοποθέτηση των καθρεφτών, δείχνοντας μια σαφώς πιο εξελιγμένη στρατηγική σκέψη. Ο Πίνακας 3 παρουσιάζει τις στρατηγικές που χρησιμοποιούν τα παιδιά ανά ομάδα επιπέδων.

Πίνακας 3. Στρατηγικές ανά επίπεδο

Επίπεδα	Στρατηγικές
Αρχικά επίπεδα	Δοκιμή και σφάλμα: τυχαία τοποθέτηση καθρεφτών. Παρατήρηση της πορείας του φωτός και πρώτων μοτίβων. Εμπειρική κατανόηση βασικών κανόνων (π.χ. γωνία πρόσπτωσης = γωνία ανάκλασης)
Μεσαία επίπεδα	Νοητικός σχεδιασμός της διαδρομής πριν την εκτέλεση. Πειραματισμός με εναλλακτικές διατάξεις. Εστίαση σε επιμέρους σημεία της διαδρομής (κατακερματισμός προβλήματος). Ανάπτυξη χωρικής σκέψης και κατανόηση της λειτουργίας των καθρεφτών.
Προχωρημένα επίπεδα	Πρόβλεψη πολλαπλών ανακλάσεων. Επιλογή στρατηγικά βέλτιστων λύσεων με ελαχιστοποίηση κινήσεων. Συνδυασμός διαθέσιμων στοιχείων του παιχνιδιού (π.χ. μη απαραίτητη χρήση όλων των καθρεφτών). Ανάπτυξη και έλεγχος υποθέσεων πριν από κάθε ενέργεια.

Αναφορικά με το ΕΕ.2, η ανάλυση έδειξε στατιστικά σημαντική βελτίωση στις επιδόσεις των μαθητών στις περισσότερες ερωτήσεις μετά την παρέμβαση, γεγονός που υποδηλώνει ότι το εκπαιδευτικό παιχνίδι συνέβαλε θετικά στην κατανόηση βασικών εννοιών του φωτός, συμβάλλοντας ουσιαστικά στη συζήτηση για τον ρόλο των ψηφιακών παιχνιδιών στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών.

Σε αντίθεση με άλλες έρευνες που επικεντρώνονται κυρίως στη βελτίωση της γνωστικής ικανότητας (Kara, 2021), η παρούσα μελέτη προσφέρει δεδομένα όχι μόνο για τα μαθησιακά αποτελέσματα, αλλά κυρίως για τις στρατηγικές που επιστρατεύουν οι μαθητές κατά τη διάρκεια της παιγνιώδους αλληλεπίδρασης με ένα εκπαιδευτικό παιχνίδι. Αναδεικνύει τη δυναμική ενός ψηφιακού παιχνιδιού ως εργαλείου μάθησης, ικανό όχι μόνο να υποστηρίξει την εννοιολογική αλλαγή, αλλά και να καλλιεργήσει δεξιότητες όπως η στρατηγική σκέψη και ο αναστοχασμός. Ωστόσο, θα πρέπει να σημειωθεί ότι το περιορισμένο μέγεθος του δείγματος και η απουσία ομάδας ελέγχου δεν επιτρέπουν την απόλυτη αιτιολόγηση της επίδρασης του παιχνιδιού. Σε επόμενο ερευνητικό στάδιο, θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν οι παραπάνω περιορισμοί και ταυτόχρονα το παιχνίδι *Φωτογωνίες* να ενταχθεί σε μια ολοκληρωμένη διδακτική παρέμβαση απαραίτητη για να διασφαλίσει την εννοιολογική κατανόηση των μαθητών σε όλο το φάσμα των εμπλεκόμενων εννοιών.

Αναφορές

Akcaoglu, M., Jensen, L. J., & Gonzalez, D. (2021). Understanding children's problem-solving strategies in solving game-based logic problems. *International Journal of Technology in Education and Science, 5*(2), 245-257.

Anderson, C. A., Chilcoat, H. W., & Fiske, S. T. (2012). Learning through serious games: Enhancing motivation and achievement in educational settings. *Journal of Educational Psychology, 104*(3), 581-590.

Chu, H. E., Treagust, D. F., & Chandrasegaran, A. L. (2009). A stratified study of students' understanding of basic optics concepts in different contexts using two-tier multiple-choice items. *Research in Science & Technological Education*, *27*(3), 253- 265

Drachen, A., Seif El-Nasr, M., & Canossa, A. (2013). Game analytics – The basics: Maximizing the value of player data. In M. Seif El-Nasr, A. Drachen, & A. Canossa (Eds.), *Game analytics* (pp. 13-40). Springer.

Driver, R., Guesne, E. & Tiberghien, A., (1985). *Children's ideas in science*. Open University Press.

Gilbert, J., & Watts, M. (1983). Concepts, misconceptions and alternative conceptions: Changing perspectives in science education. *Studies in Science Education, 10,* 61-98.

Hou, H.-T., Wang, S.-M., Yu, H.-H. and Liu, S.-H. (2014) *The development and evaluation of an educational Game-Shimmer? with computer visualization for optics learning*. City.

Kara, N. (2021). A systematic review of the use of serious games in science education. *Contemporary Educational Technology*, *13*(2), ep295.

Karimov A., Saarela, M., & Kärkkäinen T., (2024). Serious games in science and mathematics education: a scoping umbrella review. *International Journal of Serious Games, 11*(4), 3-20.

Plass, J. L., Homer, B. D., & Kinzer, C. K. (2015). Foundations of game-based learning. *Educational Psychologist, 50*(4), 258-283.

Ravanis, K., Papamichael, Y., & Koulaidis, V. (2002). Social marking and conceptual change: the conception of light for ten-year old children. *Journal of Science Education*, *3*(1), 15-18.

Tsita, A., Baziakou, A., & Dimitracopoulou, A. (2025) Serious game design and evaluation: Light propagation and reflection in elementary education. *Proceedings of the 19th European Conference on Games Based Learning*. Academic Conferences and Publishing limited.

Umrani, S., Rajper, S., Talpur, S. H., Shah, I. A., & Shujrah, A. (2020). Games based learning: A case of learning Physics using Angry Birds. *Indian Journal of Science and Technology*, *13*(36), 3778-3784.

Van der Linden, A., Meulenbroeks, R. F., & van Joolingen, W. R. (2023). *Implementing an intrinsically integrated game on Newtonian mechanics in the classroom: outcomes in terms of conceptual understanding and transfer*. arXiv preprint. https://doi.org/10.48550/arXiv.2307.01714

Van Eck, R. (2007). Building artificially intelligent learning games. In *Games and simulations in online learning: Research and development frameworks* (pp. 271-307). IGI global.

Varela, P., Abreu, C., & Costa, M. F. (2014). Reflection of light: a teaching and learning activity with primary school children. *Proceedings of the 2nd International Conference on Applications of Optics and Photonics* (Vol. 9286, pp. 346-351). SPIE.

WCAG 2.1 (2025). *Web content accessibility guidelines 2.1.* W3C World Wide Web Consortium Recommendation 06 May 2025. https://www.w3.org/TR/WCAG21/

Weng, T. S. (2022). Enhancing problem-solving ability through a puzzle-type logical thinking game. *Scientific Programming*, *2022*(1), 7481798.

Westera, W. (2015). Games are motivating, aren't they? Disputing the arguments for digital game-based learning. *International Journal of Serious Games*, 2(2), 1-14.

Westera, W. (2019). Why and how serious games can become far more effective: Accommodating productive learning experiences, learner motivation and the monitoring of learning gains. *Journal of Educational Technology & Society*, *22*(1), 59-69.

Δημητρακοπούλου, Α. (2018). Τάσεις και διαστάσεις "Περιβαλλόντων εκπαιδευτικών υλικών" για τεχνολογικά εμπλουτισμένες μαθησιακές δραστηριότητες: Ορισμοί και προσδιορισμοί. Στο Χ. Σκουμπουρδή & Μ. Σκουμιός (Επιμ.), *Πρακτικά 3ου Συνεδρίου για το Εκπαιδευτικό Υλικό στα Μαθηματικά και στις Επιστήμες* (σσ. 117-145). Πανεπιστήμιο Αιγαίου.

Κουτσαμπάσης, Π. (2016). *Αξιολόγηση διαδραστικών συστημάτων με επίκεντρο τον χρήστη*. Ελληνικά Ακαδημαϊκά Συγγράμματα και Βοηθήματα, Κάλλιπος.