

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ  
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Συστηματική και κριτική ανασκόπηση της χρήσης της  
επαυξημένης πραγματικότητας στη διδασκαλία της  
φυσικής στην εκπαίδευση»



Της φοιτήτριας  
Χαλιάπα Μαρίνας  
Αρ. Μητρώου: 154622

Επιβλέπων  
Ευκλείδης Κεραμόπουλος  
Αναπληρωτής Καθηγητής

Ημερομηνία 19-01-2023

Τίτλος Δ.Ε. Συστηματική και κριτική ανασκόπηση της χρήσης της επαυξημένης πραγματικότητας  
στη διδασκαλία της φυσικής στην εκπαίδευση

Κωδικός Δ.Ε.21223

Ονοματεπώνυμο φοιτήτριας Χαλιάπα Μαρίνα  
Ονοματεπώνυμο εισηγητή Ευκλείδης Κεραμόπουλος

Ημερομηνία ανάληψης Δ.Ε.30-03-2021

Ημερομηνία περάτωσης Δ.Ε. 19-01-2023

*Βεβαιώνω ότι είμαι η συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένου, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά ως διπλωματική εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.*

*Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία της φοιτήτριας Χαλιάπα Μαρίνα που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, η συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας της συγγραφέα/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση της συγγραφέα/δημιουργού.*

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων της συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

*«Αφιερώνω την πτυχιακή στην οικογένειά μου και στο σύντροφό μου που ήταν δίπλα μου σε κάθε εμπόδιο που συνάντησα ως την ολοκλήρωσή της»*

## Πρόλογος

Η εξέλιξη της τεχνολογίας τα τελευταία χρόνια είναι ραγδαία και πλέον παίζει καταλυτικό ρόλο σε όλες τις εκφάνσεις της ζωής μας. Οι ηλεκτρονικές συσκευές όχι μόνο θεωρούνται απολύτως χρήσιμες για την καθημερινότητά μας, αλλά και χωρίς υπερβολή, θα μπορούσαμε να πούμε ότι την ελέγχουν. Αυτό συμβαίνει τόσο σε ατομικό όσο και σε συλλογικό επίπεδο, καθώς οι άνθρωποι έρχονται σε επαφή και εξοικειώνονται με τα τεχνολογικά επιτεύγματα και τις ηλεκτρονικές υπηρεσίες. Οι τελευταίες διαμορφώνουν και μεταβάλλουν τους τομείς του κοινωνικού χώρου. Αυτή η εξέλιξη φυσικά ανακλάται και στο εκπαιδευτικό σύστημα. Πλέον υπάρχουν διαδραστικοί πίνακες, βιντεοπροβολείς, τάμπλετ, ρομπότ και εφαρμογές απεικόνισης του κόσμου, τα οποία έχουν εισβάλλει στις αίθουσες των μαθητών και προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα σε μαθητές αλλά και δασκάλους. Η διαδικασία της διδασκαλίας πλέον, δεν περιορίζεται μόνο στην χρήση των σχολικών βιβλίων, αλλά πηγαίνει στην διδασκαλία με χρήση ψηφιακών εργαλείων και εφαρμογών, παιχνιδιών, ακόμα και ρομπότ.

Τα τελευταία χρόνια, ένα νέο είδος ψηφιακού υλικού φαίνεται να είναι χρηστικό στον τομέα της εκπαίδευσης. Οι εφαρμογές αυτές αφορούν την επαυξημένη πραγματικότητα. Η επαυξημένη πραγματικότητα επιτρέπει την ενίσχυση του ρεαλιστικού κόσμου με ψηφιακά αντικείμενα τα οποία μπορούν να συνυπάρξουν με τα πραγματικά. Οι εικόνες έχουν την δυνατότητα να ζωντανέψουν και να μεταμορφώνονται σε τρισδιάστατα αντικείμενα, τα οποία οι χρήστες, και στην συγκεκριμένη περίπτωση που μας αφορά, οι μαθητές, μπορούν να επεξεργαστούν και να αλληλοεπιδράσουν σε πραγματικό κόσμο. Στον σημερινό κόσμο, αυτές οι εφαρμογές έχουν εισβάλλει σε όλα τα επίπεδα ζωής του ανθρώπου και είναι πάρα πολύ δημοφιλείς στην νεολαία καθώς προσφέρουν απεριόριστη ψυχαγωγία. Την ίδια στιγμή, αποκτούν και μεγάλο έδαφος στην εκπαίδευση καθώς προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα στην διαδικασία της διδασκαλίας και της εκπαίδευσης. Ειδικότερα, στον τομέα της φυσικής και γενικότερα στον τομέα των φυσικών επιστημών, συμβάλλει σε μεγάλο βαθμό στην κατανόηση δυσνόητων εννοιών, σύνθετων εννοιών αλλά και φαινομένων. Επιπρόσθετα, έχει αποδειχθεί ότι οι εφαρμογές της επαυξημένης πραγματικότητας συμβάλλουν στην αντιμετώπιση της έλλειψης ενδιαφέροντος των διδασκόντων στις επιστήμες αυτές. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, η τεχνολογία της επαυξημένης πραγματικότητας να μπορέσει να φτάσει στο σημείο όπου θα αντικαταστήσει την πραγματική διδασκαλία και θα γίνει πιο ελκυστική, πιο δελεαστική, πιο αποτελεσματική αλλά και πιο αποδοτική. Στόχος των εφαρμογών αυτών είναι να αλλάξει την εμπειρία των χρηστών. Η εμπειρία αυτή μπορεί να επηρεαστεί και από την συσκευή αλλά και από την εφαρμογή.

Αν λάβουμε υπόψη τα παραπάνω και όλα όσα αναφέραμε, αυτή η εργασία και μελέτη φιλοδοξεί να συνεισφέρει ερευνητικά στον τομέα της φυσικής επιστήμης, ο οποίος δεν έχει μελετηθεί σε βάθος ενώ ταυτόχρονα παρουσιάζει έντονο ενδιαφέρον στην σημερινή εποχή. Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η διερεύνηση της επίδρασης της χρήσης των εφαρμογών της επαυξημένης πραγματικότητας στον τομέα της διδασκαλίας και πιο συγκεκριμένα των αποτελεσμάτων της στη μάθηση του δύσκολου γνωστικού περιεχομένου των φυσικών επιστημών. Στόχος είναι η ανάλυση της επίδρασης που έχει η επαυξημένη

πραγματικότητα στις επιδόσεις των μαθητών και στις εκτιμήσεις και εντυπώσεις που άφησαν οι εφαρμογές αυτές στους ίδιους τους μαθητές. Ακόμη, η μελέτη αυτή έχει στόχο να δείξει πως οι σύγχρονες εφαρμογές της επαυξημένης πραγματικότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να βοηθήσουν τόσο τους μαθητές όσο και τους δασκάλους στην ανάπτυξη πολλαπλών μαθησιακών εμπειριών .

## Περίληψη

Η παρούσα ανασκόπηση προσπαθεί να παρέχει μια βάση για την εννοιολόγηση και την ανάπτυξη περιβάλλοντος επαυξημένης πραγματικότητας με εφαρμογές στο μάθημα της φυσικής. Η χρήση της επαυξημένης πραγματικότητας δημιουργεί ένα περιβάλλον σχεδιασμένο για να ενσωματώνει πλήρως μαθησιακές έννοιες της φυσικής με τη βοήθεια επαυξημένης πραγματικότητας, εικονικού εργαστηρίου και διαδραστικής μάθησης βάσει προβλημάτων με αυτοματοποιημένη παραγωγή σεναρίων σε πραγματικό χρόνο. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω της συγχώνευσης της τεχνολογίας προϋπάρχοντος διδακτικού υλικού (όπως βιβλία και σημειώσεις) και της τεχνολογίας επαυξημένης πραγματικότητας και μπορεί να αξιοποιήσει πλήρως τη μάθηση και πέρα από τις τάξεις. Μια τέτοια μέθοδος προτείνεται για να δώσει στους μαθητές πρόσβαση σε πόρους οποιαδήποτε στιγμή, οπουδήποτε χωρίς τους χωρικούς και χρονικούς περιορισμούς της σύγχρονης μάθησης. Αυτή η ανασκόπηση συζητά τις προόδους της επαυξημένης πραγματικότητας ως σημαντικό εργαλείο στην εκπαίδευση στη φυσική, εντοπίζει πιθανές προκλήσεις και οραματίζεται το μέλλον ερευνώντας πρόσφατες τάσεις και κριτικές. Μέσα από την ανασκόπηση των μελετών γίνεται φανερό ότι η τεχνολογία της επαυξημένης πραγματικότητας είναι ένα σημαντικό εργαλείο στα χέρια των εκπαιδευτικών φυσικής για να διδάξουν πολύπλοκες και σύνθετες έννοιες.

**Λέξεις-κλειδιά:** επαυξημένη πραγματικότητα, φυσική, εκπαίδευση

# “Systematical and critical literature review of the use of Augmented Reality for the teaching of physics in Education”

«Marina Chaliapa»

## **Abstract**

This review provides the conceptualization and development of augmented reality environments for education with applications in physics education. Augmented reality is used to address a whole new era, which fully integrates learning concepts of physics along with next-generation augmented reality, virtual laboratory and interactive problem based learning with automated actual scenario generation. This can be realized through the fusion of technology of pre-existing teaching materials (such as books and notes) and augmented reality technology and can take full advantage of learning beyond classrooms. Such a method is proposed to give students access to resources anytime, anywhere without the spatial and temporal constraints of modern learning. The advances of augmented reality as an essential element in physics education, is introduced in the review. Moreover, it identifies possible challenges and envisions the future by processing recent tendencies and reviews. Through the review of studies it becomes apparent that augmented reality technology is an important tool in the hands of physics educators to teach complex and complex concepts.

**Keywords:** augmented reality, physics, education



## Ευχαριστίες

Έπειτα από την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους όσους συμμετείχαν στην εκπόνηση της.

Πρώτον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου που επέβλεπε την εργασία μου, από την αρχή έως το τέλος και με την καθοδήγηση του με βοήθησε να φτάσω στην ολοκλήρωση της. Τον ευχαριστώ για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε σε όλη την συνεργασία μας και η στήριξη του ήτανε τεράστια.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω και να εκφράσω την θερμή μου ευγνωμοσύνη στην οικογένεια μου και στον σύντροφό μου, για την απεριόριστη στήριξη τους, όχι μόνο στην πτυχιακή εργασία, αλλά σε όλη την διάρκεια των φοιτητικών και μεταπτυχιακών μου χρόνων. Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να δώσω και στους φίλους μου για την συνεχή ενθάρρυνσή τους.

# Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	iiv
Περίληψη.....	vi
Abstract .....	vii
Ευχαριστίες .....	iiix
Περιεχόμενα... ..	x
Κατάλογος Πινάκων/Σχημάτων/Διαγραμμάτων .....	xii
Συντομογραφίες.....	xiii
Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή.....	1
Κεφάλαιο 2ο: Θεωρητικό Πλαίσιο .....	3
2.1 Εισαγωγή.....	3
2.2. Επαυξημένη πραγματικότητα.....	3
2.3 Τεχνολογίες Επαυξημένης Πραγματικότητας.....	4
2.3.1 Displays – Τρόποι Απεικόνισης .....	6
2.3.2 Συσκευές εισαγωγής δεδομένων .....	8
2.3.3 Εφαρμογές AR στη σύγχρονη πραγματικότητα... ..	8
2.4 Οι Φυσικές Επιστήμες στην εκπαίδευση.....	10
2.4.1 Η διδασκαλία των φυσικών επιστημών.....	10
2.4.2 Η εφαρμογή της ΕΠ στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση για την εκμάθηση των φυσικών επιστημών.....	10
2.5 Βιβλία Επαυξημένης πραγματικότητας.....	13
2.6 Παιγνιδοποίηση.....	14
2.6.1 AR Gaming και εκπαίδευση.....	16
2.7 Επίλογος.....	18
Κεφάλαιο 3ο: Μεθοδολογία .....	19
3.1 Εισαγωγή.....	19
3.2 Σκοπός και ερευνητικά ερωτήματα .....	19
3.3 Ερευνητικός Σχεδιασμός.....	20
3.4 Υλοποίηση του ερευνητικού σχεδιασμού .....	23
3.5 Αποτελέσματα Ανασκόπησης .....	26
3.6 Επίλογος.....	27
Κεφάλαιο 4ο: Αποτελέσματα .....	29
4.1 Εισαγωγή.....	29
4.2 Κατηγορίες εφαρμογών ΕΠ για τη διδασκαλία της φυσικής .....	41

4.2.1 Η ΕΠ ως συμπληρωματική προσέγγιση στην τρέχουσα παιδαγωγική επιστήμη.....	45
4.2.2 Εκπαίδευση εκπαιδευτικών φυσικής.....	46
4.2.3 Η ΕΠ στην έρευνα για την φυσική στην εκπαίδευση.....	47
4.2.4 Εξελίξεις πέρα από την έρευνα για την φυσική στην εκπαίδευση.....	50
4.2.5 Η επίδραση της επαυξημένης πραγματικότητας στις επιδόσεις των μαθητών.....	51
4.3 Επίλογος.....	52
Κεφάλαιο 5ο: Συζήτηση.....	53
5.1 Εισαγωγή.....	53
5.2 Απαντήσεις στα Ερευνητικά Ερωτήματα.....	55
5.3 Επίλογος.....	56
Κεφάλαιο 6ο: Συμπεράσματα.....	59
Βιβλιογραφία.....	61

## **Κατάλογος Εικόνων**

Εικόνα 2.1: Ένα παράδειγμα περιεχομένου εκμάθησης από το ARExpedition της Google – Το Κολοσσαίο τη Ρώμη.....	5
Εικόνα 2.2: Η ανθρώπινη ανατομία μέσω του HoloLens .....	6
Εικόνα 2.3: Εκμάθηση αστρονομίας μέσω ΕΠ στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση.....	11
Εικόνα 2.4: Βιβλίο ΕΠ «Οι μικροί εξερευνητές και τα μνημεία του κόσμου» .....	14
Εικόνα 2.6.1: AR βιντεοπαιχνίδι που ονομάζεται AlienContact.....	17
Εικόνα 3.1: Ο ταξινομητής μηχανικής μάθησης uClassify .....	26

## **Κατάλογος Διαγραμμάτων**

Διάγραμμα 3.1: Διάγραμμα ροής τύπου PRISMA.....	26
Διάγραμμα 4.1: Ποσοστά ερευνών ανά χώρα που έλαβαν μέρος στην ανασκόπηση... ..	42
Διάγραμμα 4.2: Μέθοδοι έρευνας.....	44
Διάγραμμα 4.3: Βαθμίδες εκπαίδευσης.....	45

## **Κατάλογος Πινάκων**

Πίνακας 3.1: Κριτήρια αποκλεισμού και εισόδου.....	25
Πίνακας 4.1: Μεθοδολογίες και αποτελέσματα μερικών από των άρθρων που συμμετείχαν στην ανασκόπηση... ..	30

## **Συντομογραφίες**

ΕΠ: Επαυξημένη πραγματικότητα

ΤΠΕ: Τεχνολογίες της Πληροφορίας και της Επικοινωνίας

3D:3Dimensional

Fps: frames per second

GPS: Global Positioning System

STEP: Science and Technology Entry Point

AR: Augmented Reality

VR: Virtual Reality

ΠΕ: Πρωτοβάθμια Εκπαίδευση

ΔΕ: Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση

ΤΕ: Τριτοβάθμια Εκπαίδευση



## Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή

Η παρούσα μελέτη επιχειρεί να φωτίσει τον τομέα της διδακτικής της φυσικής και τον τρόπο αξιοποίησης του διδακτικού μέσου της ΕΠ. Μάλιστα, οι τρέχουσες εξελίξεις επιβάλλουν κατά κάποιο τρόπο την ένταξη των Τεχνολογιών Πληροφορίας και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) στη διδασκαλία. Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι η διερεύνηση της επίδρασης της χρήσης της επαυξημένης πραγματικότητας στη διδασκαλία και τη μάθηση αλλά και των εφαρμογών που προσφέρει με την προσδοκία να ενισχύσει την κατανόηση των στοιχείων και αρχών που διέπουν τη φυσική.

Στην εν λόγω εργασία γίνεται μελέτη της χρήσης ΕΠ των φυσικών επιστημών με εστίαση στην εκπαίδευση. Πιο συγκεκριμένα, υλοποιήθηκε βιβλιογραφική έρευνα και ανασκόπηση σχετικά με τις επιδράσεις της χρήσης της ΕΠ στην μαθησιακή εμπειρία των μαθητών, τις αντιδράσεις των εκπαιδευτικών και την γενικότερη συμβολή της χρήσης ΕΠ στην κατανόηση εννοιών φυσικής σε ακαδημαϊκά και μη περιβάλλοντα.

Η πτυχιακή εργασία αποτελείται από έξι κεφάλαια. Μετά το πρώτο κεφάλαιο, που είναι το εισαγωγικό, ακολουθεί το δεύτερο κεφάλαιο, όπου αναφέρεται το θεωρητικό υπόβαθρο της έρευνας. Το τελευταίο είναι απαραίτητο για την κατανόηση των εννοιών της έρευνας και των αποτελεσμάτων της.

Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται η μεθοδολογία της έρευνας που επιλέχθηκε για την βέλτιστη διεξαγωγή της μελέτης. Αναλυτικά, παρουσιάζεται ο σκοπός της έρευνας, τα ερευνητικά ερωτήματα της μελέτης καθώς και ο ερευνητικός σχεδιασμός. Επίσης, αναλύονται τα χαρακτηριστικά των εργαλείων ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκαν. Συγκεκριμένα, για την διαδικασία της επιλογής των άρθρων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος PRISMA ενώ για την καταλληλότητα των άρθρων χρησιμοποιήθηκε ο ταξινομητής μηχανικής μάθησης uClassify.

Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της έρευνας, κατόπιν της διαδικασία ανάλυσης των δεδομένων. Περιγράφονται, με λίγα λόγια, τα ευρήματα που προέκυψαν μετά την ανάλυση των άρθρων που ανακτήθηκαν για την ανασκόπηση.

Στο Κεφάλαιο 5 συζητούνται τα αποτελέσματα της μελέτης. Γίνεται συσχέτιση με τα αποτελέσματα άλλων σχετικών ερευνών από την διεθνή επιστημονική βιβλιογραφία, ώστε να καταδειχθούν οι συνέπειές τους για την τελευταία.

## Κεφάλαιο 1

Στο Κεφάλαιο 6 καταγράφονται τα συμπεράσματα της έρευνας και συζητούνται πιθανές ερευνητικές της επεκτάσεις.

## Κεφάλαιο 2ο: Θεωρητικό Πλαίσιο

### 2.1 Εισαγωγή

Σε αυτήν την ενότητα παρουσιάζεται η έννοια της επαυξημένης πραγματικότητας καθώς και στοιχεία και πληροφορίες που σχετίζονται με αυτήν. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη χρήση της σε εκπαιδευτικά περιβάλλοντα με έμφαση στην αρωγή της στην εκμάθηση των φυσικών επιστημών.

### 2.2 Επαυξημένη πραγματικότητα

Ο όρος «επαυξημένη πραγματικότητα» επινοήθηκε για πρώτη φορά από τον ερευνητή Tom Caudell στην εταιρία Boeing το 1990, ο οποίος κλήθηκε να αντικαταστήσει τα δαπανηρά διαγράμματα, συσκευές και επιγραφές που χρησιμοποιούνταν για να κατευθύνουν τους εργαζόμενους μέσα στο εργοστάσιο. Κατά συνέπεια προτάθηκε η χρήση πρωτοποριακών για την εποχή επιγραφών που είχαν τη δυνατότητα πολλαπλών χρήσεων [1]. Ο Caudell πρότεινε να αντικατασταθούν μεγάλα πάνελ από κόντρα πλακέ που περιείχαν οδηγίες καλωδίωσης σχεδιασμένα ξεχωριστά για κάθε αεροσκάφος, από μια συσκευή που τοποθετείται στο κεφάλι και που εμφανίζει τα συγκεκριμένα σχέδια ενός αεροσκάφους χάρη σε γυαλιά υψηλής τεχνολογίας και τα προβάλλει σε πολλαπλών χρήσεων και επαναχρησιμοποιήσιμα πάνελ [2]. Από τότε, η επαυξημένη πραγματικότητα έχει χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση της εμπειρίας του χρήστη σε διάφορες εργασίες, καθώς είναι μια τεχνολογία που εισάγει τις βελτιώσεις που δημιουργούνται από έναν υπολογιστή στην πραγματικότητα για να την κάνει πιο ρεαλιστικά σημαντική χάρη στην ικανότητα αλληλεπίδρασης με αυτήν [1]. Με άλλα λόγια, η τεχνική της επαυξημένης πραγματικότητας (ΕΠ) είναι ο συνδυασμός πραγματικής πραγματικότητας και εικονικής προσθήκης σε αυτήν.

Η ΕΠ στην ουσία αυξάνει χωρικά τον φυσικό κόσμο του χρήστη. Ο χρήστης μπορεί να δει σε πραγματικό χρόνο τον κόσμο γύρω του, που αποτελείται από εικονικά αντικείμενα. Αυτά τα εικονικά αντικείμενα ενσωματώνονται στον κόσμο του χρήστη χρησιμοποιώντας φορητές συσκευές. Η διαδραστική τεχνολογία σε πραγματικό χρόνο δίνει στον χρήστη την αίσθηση ότι εικονικά αντικείμενα υπάρχουν ανάμεσα σε πραγματικά αντικείμενα, σαν να βρίσκονται στον φυσικό κόσμο. Για παράδειγμα, ο χρήστης μπορεί να δει ένα εικονικό ποτήρι να κάθεται δίπλα σε ένα φυσικό ποτήρι σε ένα τραπέζι. Η πιο σημαντική πτυχή της ΕΠ είναι ότι η θέση του εικονικού ποτηριού εμφανίζεται όσο πιο αληθινή, συμπαγής και αξιόπιστη γίνεται σε σχέση με το φυσικό ποτήρι [3].

Καθώς πολλοί ερευνητές επεκτείνουν τον ορισμό της ΕΠ πέρα από ένα σύστημα που συμπληρώνει τον πραγματικό κόσμο με εικονικά (δημιουργημένα από υπολογιστή) αντικείμενα, η ΕΠ γίνεται μια αυξανόμενη περιοχή έρευνας και εκμετάλλευσης, όπου ακόμα και οι προσωπικές κινητές συσκευές (τηλέφωνα, tablet κλπ) είναι ικανές να δημιουργήσουν συναρπαστικά περιβάλλοντα ΕΠ [4].

Τις επόμενες δεκαετίες το όραμα της ΕΠ διευρύνθηκε και η ΕΠ αποτέλεσε ένα νέο τρόπο με τον οποίο αλληλεπιδρά ο άνθρωπος με τις τεχνολογίες και ο οποίος έχει σημαντικές διαφορές σχετικά με το τυπικό περιβάλλον διεπαφής ενός υπολογιστή γραφείου. Το βασικότερο χαρακτηριστικό της ΕΠ είναι ότι το περιβάλλον διεπαφής είναι ο πραγματικός κόσμος, ενώ τόσο τα πραγματικά όσο και τα εικονικά αντικείμενα επηρεάζουν το χρήστη ανάλογα με το είδος των πληροφοριών που παρέχουν. Ωστόσο, παρά το μεγάλο αριθμό υλοποιήσεων, τα συστήματα ΕΠ παρουσιάζουν ορισμένα κοινά χαρακτηριστικά:

- Το συνταίριασμα πραγματικών και εικονικών στοιχείων στο ρεαλιστικό περιβάλλον
- Την διαδραστικότητα με το χρήστη σε πραγματικό χρόνο
- Την εναρμόνιση – ευθυγράμμιση των εικονικών και των πραγματικών αντικειμένων στο περιβάλλον.

Τέλος, η διάκριση μεταξύ εικονικής πραγματικότητας και επαυξημένης πραγματικότητας είναι ότι η τελευταία χρησιμοποιεί το πραγματικό περιβάλλον και θέτει εικονικά αντικείμενα σε αυτό, ενώ η εικονική πραγματικότητα δημιουργεί ένα εντελώς τεχνητό περιβάλλον [4].

### 2.3 Τεχνολογίες Επαυξημένης Πραγματικότητας

Τα κιτ ανάπτυξης λογισμικού ΕΠ εξελίσσονται ραγδαία τις τελευταίες δύο δεκαετίες και είναι διαθέσιμα σε μια ευρύτερη κοινότητα από τότε που κυκλοφόρησε το ARtoolkit το 1992 [5]. Μεταξύ άλλων, και οι δύο σημαντικοί παίκτες στην αγορά της πλατφόρμας για κινητά, η Apple και η Google, κυκλοφόρησαν πρόσφατα τα κιτ ανάπτυξης λογισμικού ΕΠ τους (ARKit και ARCore αντίστοιχα) και άνοιξαν το δρόμο για μια πληθώρα εφαρμογών ΕΠ στις πλατφόρμες ψηφιακής διανομής τους.

Η ΕΠ για την Εκπαίδευση έχει επίσης βιώσει πρόσφατες επενδύσεις από τον εταιρικό κόσμο. Για παράδειγμα, το 2017 η Google κυκλοφόρησε την εφαρμογή AR Expeditions προσφέροντας μια χαμηλού κόστους εμπειρία ΕΠ στην τάξη με πάνω από 100 διαφορετικά υλικά μελέτης επί του παρόντος. Το μόνο που χρειάζονται οι μαθητές είναι ένα τηλέφωνο που να υποστηρίζει είτε το ARCore είτε το ARKit και την εφαρμογή εγκατεστημένη στα τηλέφωνα τους, όπως βλέπουμε και στην εικόνα 2.1. Ωστόσο, είναι επίσης δυνατή η εκτέλεση μη εγγενούς ΕΠ σε πρόγραμμα περιήγησης ιστού, είτε σε smartphone, tablet ή προσωπικό υπολογιστή με τεχνολογίες WebAR. Όλα τα τηλέφωνα που βασίζονται σε Android από την έκδοση 6 (επί του παρόντος το 74% όλων των συσκευών Android) και όλα τα iOS από την έκδοση 11 (σήμερα πάνω από το 91% των iPhone) υποστηρίζουν το WebAR, το οποίο καλύπτει μια τεράστια γκάμα συσκευών.



Εικόνα 2. 1 Ένα παράδειγμα περιεχομένου εκμάθησης από το AR Expeditions της Google – Το Κολοσσαίο στη Ρώμη (Πηγή: Geroimenko, 2020)

Με ολοένα και περισσότερα τηλέφωνα που υποστηρίζουν τα κιτ ανάπτυξης λογισμικού ΕΠ για την εκτέλεση εγγενών εφαρμογών ΕΠ και τηλέφωνα που υποστηρίζουν WebAR σε όλο το εύρος τιμών, η χρήση της ΕΠ στην εκπαίδευση μπορεί να γίνει πιο διαδεδομένη. Η διαθεσιμότητα των κιτ ανάπτυξης λογισμικού και WebAR και η πανταχού παρουσία των smartphone τα καθιστά την τρέχουσα πλατφόρμα επιλογής για εφαρμογές ΕΠ. Αυτό υποστηρίζεται επίσης από τη βιβλιογραφία — η πλειοψηφία των εφαρμογών ΕΠ που ερευνήθηκαν την τελευταία δεκαετία έχουν εφαρμοστεί σε smartphone [6]-[10].

Το 2015 η Google άρχισε να δοκιμάζει τα ακουστικά Εικονικής Πραγματικότητας και την εφαρμογή Expeditions σε πολλά σχολεία σε έξι πολιτείες των ΗΠΑ (Καλιφόρνια, Ιλινόις, Νέα Υόρκη, Νιου Τζέρσεϊ, Κονέκτικατ, Τέξας) και αργότερα στη Νέα Ζηλανδία, την Αυστραλία, τη Βραζιλία και το Ηνωμένο Βασίλειο ως μέρος του Expeditions Pioneer Program [11], [12]. Υπολογίστηκε ότι συμπεριέλαβαν πάνω από δύο εκατομμύρια μαθητές σε μια περίοδο δύο ετών. Ανεξάρτητα από αυτό, μια έρευνα του 2016 από τη Samsung USA διαπίστωσε ότι μεταξύ 1000 εκπαιδευτικών Πρωτοβάθμιας Εκπαίδευσης στις ΗΠΑ μόνο το 2% χρησιμοποιούσε συσκευές εικονικής πραγματικότητας στις τάξεις του και μια έρευνα του 2018 σε 115 εκπαιδευτικούς αποκάλυψε ότι η υιοθέτηση τεχνολογιών εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας εμποδίζεται από την έλλειψη πόρων για να αγοράσουν κατάλληλο υλικό και λογισμικό και την έλλειψη εκπαίδευσης [13]. Τα σχολεία μπορούν να χρησιμοποιήσουν την ΕΠ είτε παρέχοντας τις δικές τους συσκευές (π.χ. κινητά τηλέφωνα ή προβολέα) είτε επιτρέποντας στους μαθητές να χρησιμοποιούν τις δικές τους συσκευές (π.χ. εάν υπάρχει πολιτική «φέρτε τη δική σας συσκευή»).

Ωστόσο, τα τηλέφωνα είναι μόνο μία από τις συσκευές που μπορούν να προσφέρουν περιεχόμενο ΕΠ. Άλλες συσκευές που πραγματοποίησαν σημαντικές επενδύσεις από τον εταιρικό τομέα

περιλαμβάνουν οθόνες ΕΠ που τοποθετούνται στο κεφάλι, όπως το MicrosoftHoloLens και το Magic Leap. Εκπαιδευτικά, αυτές οι οθόνες που τοποθετούνται στο κεφάλι στοχεύουν στην επαγγελματική αγορά και σε φοιτητές τριτοβάθμιας εκπαίδευσης σε διάφορους τομείς, όπως μαθητές υγειονομικής περίθαλψης με καθηλωτική εκπαίδευση βασισμένη σε προσομοίωση στον υπέρηχο και την ανατομία [14], φοιτητές ιατρικής με διαδραστικό πρόγραμμα σπουδών ψηφιακής ανθρώπινης ανατομίας [15], ή λάτρεις της αστρονομίας με μια εκπαιδευτική εφαρμογή για τον Γαλαξία [16]. Η εικόνα 2.2 δείχνει ένα παράδειγμα χρήσης του MicrosoftHoloLens για εκμάθηση της ανατομίας στην ιατρική σχολή. Το εύρος τιμών αυτών είναι επί του παρόντος δεκαπλάσιο από αυτό των φθηνότερων smartphone που υποστηρίζουν τα κιτ ανάπτυξης λογισμικού ΕΠ. Ωστόσο, αναμένεται ότι αυτές οι τεχνολογικές λύσεις θα γίνουν πιο προσιτές στο μέλλον.



Εικόνα 2.2. Η ανθρώπινη ανατομία μέσω του HoloLens (Πηγή: Geroimenko, 2020)

### 2.3.1 Displays – Τρόποι Απεικόνισης

Στην επαυξημένη πραγματικότητα, γίνεται χρήση τριών βασικών τύπων οθόνης: οθόνες χειρός, χωρικές οθόνες και οθόνες που τοποθετούνται στην κεφαλή.

Οι φορητές οθόνες αξιοποιούν υπολογιστικές συσκευές μικρού μεγέθους, ενώ οι χρήστες μπορούν να έχουν τις οθόνες ανά χείρας. Οι συσκευές προβάλλουν βίντεο προκειμένου να απεικονιστούν τα γραφικά ρεαλιστικά. Επιπλέον, χρησιμοποιούν τους αισθητήρες τους, όπως για παράδειγμα τις ψηφιακές πυξίδες, το GPS και τους αισθητήρες παρακολούθησης για να αναζητήσουν μια τοποθεσία ή ένα πραγματικό αντικείμενο στον φυσικό κόσμο. Οι συνήθως χρησιμοποιούμενες οθόνες χειρός είναι τα smartphone, τα tablet και τα PDA. Ωστόσο, με τις πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις, τα

smartphone γίνονται όλο και πιο πολλά υποσχόμενα για την επαυξημένη πραγματικότητα, όχι μόνο επειδή είναι φορητά και ευρέως διαθέσιμα, αλλά επειδή οι κάμερές τους έχουν βελτιωθεί πρόσφατα. Βέβαια, σε περίπτωση που ο χρήστης επιθυμεί τρισδιάστατες διεπαφές, τα smartphone μάλλον δεν θα ήταν κατάλληλα λόγω του μικρού μεγέθους της οθόνης τους. Από την άλλη, τα tablet είναι πολύ ανώτερα από τα smartphone όσον αφορά στην επεξεργαστική ισχύ, αλλά είναι σημαντικά πιο ακριβά και πολύ βαριά για χρήση με το ένα χέρι. Τα PDA μοιράζονται πολλά από τα προτερήματα και σύμφωνα με τις πιο πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία των smartphone, φαίνεται να είναι λιγότερο διαδεδομένα πια[11].

Η χωρική οθόνη (SAR – SpatialARDisplay), είναι ο δεύτερος τύπος οθόνης επαυξημένης πραγματικότητας. Αξιοποιεί εποπτικό υλικό. Παραδείγματα αυτών είναι τα ολογράμματα και οι βιντεοπροβολείς, καθώς και οι τεχνολογίες παρακολούθησης για την προβολή γραφικών πληροφοριών απευθείας σε πραγματικά αντικείμενα. Η σημασία αυτού του τύπου οθόνης έγκειται στην ελευθερία κινήσεων του χρήστη, δηλαδή δεν χρειάζεται να δεσμεύει τα χέρια ή το σώμα του με κάποια συσκευή. Αξίζει να αναφερθεί η δυνατότητα συνεργασίας που παρέχει το SAR στους χρήστες, προσελκύοντας το ενδιαφέρον για αντίστοιχες εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας σε (εκπαιδευτικές) δομές όπως κολέγια, μουσεία, γραφεία κ.λπ. Οι μέθοδοι χρήσης που μπορεί να ταξινομηθεί τούτη η τεχνολογία είναι μέσω οπτικής προβολής, προβολής βίντεο ή άμεσης αύξησης. Το κριτήριο του διαχωρισμού είναι ο τρόπος που οι οθόνες SAR επαυξάνουν το περιβάλλον. Οι χωρικές οθόνες οπτικής προβολής δημιουργούν αναπαραστάσεις που προσαρμόζονται χωρικά σύμφωνα με το περιβάλλον τους. Τα οπτικά ολογράμματα ή οι διαφανείς οθόνες αποτελούν βασικά χαρακτηριστικά αυτών των τύπων οθονών[11].

Οι οθόνες προβολής βίντεο λειτουργούν μέσω μιας κάμερας η οποία εγγράφει μια ψηφιακή εικόνα βίντεο του πραγματικού κόσμου, η οποία κατόπιν τροφοδοτείται στον επεξεργαστή γραφικών σε αληθινό χρόνο. Η τροφοδοσία εικόνων βίντεο συλλειτουργεί με ψηφιακά γραφικά (εικονικό περιεχόμενο) και φανερώνεται στην οθόνη χάρη στον επεξεργαστή γραφικών. Πριν την επαφή του περιεχομένου με τον θεατή, καθώς η επεξεργασία του βίντεο φτάνει στο τέλος της, η φωτεινότητα και η αντίθεση τόσο του ρεαλιστικού όσο και των εικονικών στοιχείων μπορεί να ελέγχονται για μια ακώλυτη εμπειρία. Φυσικά, υπάρχουν αδυναμίες, όπως η ανάλυση χαμηλής πραγματικότητας (οι οθόνες δεν προσαρμόζονται στην ανάλυση του ανθρώπινου ματιού). Εδώ το οπτικό πεδίο είναι περιορισμένο και η παράλλαξη των οφθαλμών (eyeoffset) λόγω της απομακρυσμένης τοποθέτησης της κάμερας από τα μάτια του χρήστη. Άξιο αναφοράς είναι το AR. Πρόκειται για μια τεχνική προβολής βίντεο που μπορεί να επεκτείνει και να ενισχύσει τις οπτικές πληροφορίες προβάλλοντας εικόνες στην επιφάνεια τρισδιάστατων αντικειμένων ή χώρου, επομένως βασίζεται στην προβολή. Η χρήση του εν λόγω τύπου οθόνης, καθιστά εύκολη τη δημιουργία γραφικών αναπαραστάσεων, ενώ οι συμβατικές τεχνικές φωτισμού αδυνατούν να αναπαραστήσουν. Τουναντίον λοιπόν με τις κλασικές τεχνικές φωτισμού, ετούτη μπορεί να εμφανίσει μια εικόνα ή ένα βίντεο υψηλής ευκρίνειας και να τροποποιήσει δραματικά το περίγραμμα ενός αντικειμένου με το πέρασμα του χρόνου. Αυτό οδηγεί στη δυναμική εμφάνιση οπτικών εικόνων. Έτσι λοιπόν οι θεατές είναι δυνατόν να αναγνωρίσουν έναν οπτικά διευρυμένο χώρο λόγω του συνδυασμού εικόνων και αντικειμένων που ανήκουν στην πραγματικότητα. [12],[14].

Υπάρχουν δύο τύποι οθονών που τοποθετούνται στο κεφάλι (HMD – HeadMountedDisplay): προβολή βίντεο και οπτική προβολή. Τα συστήματα προβολής βίντεο χρησιμοποιούν δύο κάμερες για να εμφανίζουν ροές βίντεο από τη συσκευή που τοποθετείται στο κεφάλι στα μάτια του χρήστη. Η τεχνολογία οπτικής προβολής χρησιμοποιεί έναν μισό ασημί καθρέφτη για να επιτρέπει στους χρήστες να βλέπουν τον πραγματικό κόσμο και τα εικονικά στοιχεία που επικαλύπτονται από πάνω του, με καλύτερη ποιότητα από την ίδια την οθόνη. Τα δύο συστήματα έχουν διαφορετικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Τα συστήματα video-see-through αναγκάζουν τον χρήστη να φοράει δύο κάμερες στο

κεφάλι του, ενώ τα συστήματα οπτικής διέλευσης περιλαμβάνουν ήδη επαυξημένη όραση και είναι πιο εύκολο να εφαρμοστούν [12],[14].

### 2.3.2 Συσκευές εισαγωγής δεδομένων

Πληθώρα συσκευών εισόδου μπορεί να προορίζονται για χρήση σε εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας, όπως ασύρματα βραχιολάκια, γάντια ή ακόμα και smartphone. Οι επιλεγμένες συσκευές εισόδου βασίζονται στον τύπο της εφαρμογής που σχεδιάζεται το σύστημα. Για παράδειγμα, εάν ένα σύστημα ζητά από τον χρήστη να επιτελεί χειρωνακτικές εργασίες, η συσκευή εισόδου επιτρέπει στον χρήστη να αξιοποιεί τα χέρια του ώστε να λειτουργεί σύμφωνα με το σύστημα. Παραδείγματος χάριν, οι Bace et al. [13] σχεδίασαν και υλοποίησαν το ubiGaze, μια καινοτόμο φορητή πανταχού παρούσα προσέγγιση για την ενίσχυση οποιουδήποτε αντικειμένου του πραγματικού κόσμου μέσα από ορατά μηνύματα με κινήσεις βλέμματος που ενσωματώνουν το μήνυμα στο αντικείμενο.

### 2.3.3 Εφαρμογές AR στη σύγχρονη πραγματικότητα

Στις μέρες μας ολοένα και περισσότερο εφαρμόζονται εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας για εκπαιδευτικούς σκοπούς. Πλέον, η παρατήρηση επιστημονικών φαινομένων που διόλου εύκολα μπορούν να προσομοιωθούν και να εξηγηθούν στην πραγματικότητα είναι δυνατή μέσω των συστημάτων AR. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ενίσχυση των κινήτρων και τη δέσμευση των μαθητών. Επιπλέον, η δημιουργία ενός διαδραστικού εκπαιδευτικού περιβάλλοντος ενισχύει την ενεργή εμπλοκή των μαθητών και μαθητριών με αποτέλεσμα τη διατήρηση της προσπάθειας για περισσότερο χρόνο και να αποκτήσουν περισσότερες δεξιότητες και ικανότητες μέσω της βιωματικής μάθησης [2]. Με άλλα λόγια αυξάνεται το ενδιαφέρον των μαθητών και επομένως είναι ευκολότερο η πληροφορία να μετατραπεί σε γνώση.

Επιπλέον, επειδή είναι εύκολος ο διαμοιρασμός του ψηφιακού περιεχομένου AR, προσφέρεται η δυνατότητα επικοινωνίας και συνεργασίας μεταξύ μαθητών προκειμένου για την αποτελεσματικότερη εκτέλεση εργασιών. Οι μέθοδοι συνεργατικής μάθησης επιτρέπουν την ενεργή εμπλοκή στη μαθησιακή διαδικασία καθώς και την αλληλεπίδραση, την ανταλλαγή γνώσεων και απόψεων. Απότοκο αυτών είναι η αύξηση των μαθησιακών κινήτρων και η επίτευξη των εκπαιδευτικών σκοπών και στόχων. Τέλος, η AR προσφέρει πιο οικονομικά αποδοτικές λύσεις από την εικονική πραγματικότητα για εκπαιδευτικές περιοχές με περιορισμένους πόρους. Υπάρχουν πολλά λογισμικά που αξιοποιούνται εκπαιδευτικά για μια ποικιλία μαθημάτων. Το GeoGebra είναι ένα λογισμικό δυναμικής γεωμετρίας που προωθεί την εκπαίδευση των επιστημών, της τεχνολογίας, της μηχανικής και των μαθηματικών (STEM). Η αξία αυτού του περιβάλλοντος έγκειται στην κατανόηση κάποιων αρχών και εννοιών που αφορούν κυρίως τη γεωμετρία και την έννοια του χώρου παρά στην παροχή έτοιμων λύσεων. Βοηθά επίσης στο πέρασμα από τις δυο διαστάσεις στις τρεις και αντίστροφα, μια ικανότητα αυξημένης δυσκολίας ακόμα και για τα μεγαλύτερα παιδιά του δημοτικού, μέσα από την παρατήρηση σχημάτων σε ποικιλία προσανατολισμών και τη χρήση της κριτικής σκέψης. Εν τω μεταξύ, η ψυχαγωγία είναι ένας ακόμη τομέας που οι εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας αναπτύσσονται προοδευτικά μέρα με τη μέρα. Η επιθυμία για διασκέδαση εκπληρώνεται από το AR. Παράδειγμα, αποτελεί το Jurassic World Alive, ένα παιχνίδι AR που προσομοιάζει μηχανικά με το Pokémon Go. Αμφότερα ανήκουν στην κατηγορία παιχνιδιών βάσει τοποθεσίας, στα οποία το GPS ή

η ψηφιακή πυξίδα βοηθούν στον εντοπισμό της θέσης του χρήστη. Αφού γίνει ο εντοπισμός, τα πραγματικά φυσικά πράγματα αντικαθίστανται ή συνδυάζονται με τα επαυξημένα αντικείμενα. Οι παίκτες στο Jurassic World Alive εξερευνούν τον πραγματικό κόσμο επιθυμώντας να γίνουν κτήτορες διαφόρων ειδών δεινοσαύρων. Επιπρόσθετα, αξιοποιώντας τη συλλογή δεινοσαύρων τους, παρέχεται η δυνατότητα να μάχονται εναντίων άλλων παικτών και ακόμη και να δημιουργήσουν υβριδικούς δεινόσαυρους μέσω της λειτουργίας εργαστηρίου του παιχνιδιού [4],[5].

Οι ρηξικέλευθοι έμποροι εκμεταλλεύονται την τεχνολογία επαυξημένης πραγματικότητας για να δημιουργήσουν συναρπαστικές εμπειρίες με επώνυμα προϊόντα, πιο διαδραστική διαφήμιση και νέους τρόπους αλληλεπίδρασης των καταναλωτών με προϊόντα και μέρη. Οι έμποροι στοχεύουν να σχεδιάσουν εμπειρίες χρηστών που λαμβάνουν υπόψη τους επικοινωνιακούς τους στόχους, τις τεχνικές διαχείρισης περιεχομένου και το κοινό-στόχο, άρα και κατ' επέκταση το κοινωνικο-φυσικό πλαίσιο της ζωής των πελατών τους. Η διατήρηση των πελατών και οι παράγοντες που την επηρεάζουν, όπως είναι η προσβασιμότητα, η ευκολία χρήσης και η τεχνολογία, είναι ο πυρήνας των εμπορικών στόχων προκειμένου για μεγιστοποίηση των πωλήσεων[6].

Οι βιομηχανίες διαφήμισης και εμπορίου αξιοποιούν την τεχνολογία επαυξημένης πραγματικότητας για ίδιο όφελος ποικιλοτρόπως. Αρχικά, παρέχεται η δυνατότητα δοκιμής πριν την αγορά ενός προϊόντος. Μία από τις ταχύτερα αναπτυσσόμενες τάσεις λιανικής είναι οι βελτιωμένες εμπειρίες αγορών. Πλήθος από οικιακά είδη δεν απαιτούν άμεση επαφή με τους χρήστες. Η ανάγκη για ένα μεγάλο φυσικό απόθεμα εξαλείφθηκε χάρη στο AR. Τούτο σημαίνει ότι οι πελάτες μπορούν να δοκιμάσουν πράγματα ή να κάνουν μια ευρεία επιλογή από μια γκάμα για να βρουν αυτό που ταιριάζει καλύτερα στις ανάγκες τους. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της κατηγορίας εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας είναι εκείνη της IKEA, η IKEA Place. Τούτη η εφαρμογή επιτρέπει την αξιολόγηση προϊόντων IKEA σε πραγματικό χρόνο χρησιμοποιώντας την τεχνολογία Apple iOS ARKit. Το IKEA Places σαρώνει το μέγεθος ενός χώρου με μια κάμερα iPhone για να οπτικοποιήσει ένα προϊόν σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία. Οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να κριτικάρουν πάνω από 2.000 προϊόντα IKEA. Η διαδικασία έχει ως εξής: αφού επιλέξουν ένα προϊόν, οι χρήστες πρέπει να κατευθύνουν τη συσκευή στο επιθυμητό σημείο ενός δωματίου και στη συνέχεια να σύρουν και να αποθέσουν το προϊόν στη θέση του [1],[6].

Στη συνέχεια αναφέρεται ένας ακόμη τρόπος με τον οποίο η τεχνολογία AR έχει χρησιμοποιηθεί στον τομέα του μάρκετινγκ και της διαφήμισης επέκτασης των “brands”. Με τη συμπερίληψη λοιπόν ενός εικονικού στοιχείου, η επαυξημένη πραγματικότητα μπορεί να αναδείξει επώνυμα υλικά όπως είναι οι επαγγελματικές κάρτες. Οι χρήστες μπορούν να χρησιμοποιήσουν τις κινητές συσκευές τους για να σαρώσουν προϊόντα και για να αποκτήσουν πρόσβαση σε διάφορες υπηρεσίες που παρέχουν πρόσθετες πληροφορίες και μεθόδους επικοινωνίας με την εταιρεία. Για παράδειγμα, μια επαγγελματική κάρτα κάνει χρήση της επαυξημένης πραγματικότητας για να εμφανίσει ένα σύνολο χρήσιμων πληροφοριών επικοινωνίας. Έτσι, ο χρήστης μπορεί να επικοινωνήσει με το τηλέφωνο, το email ή το φαξ της εταιρείας [5].

Το AR φάνηκε να είναι το πιο ισχυρό κίνητρο χρήστη σε σύγκριση με άλλα μέσα στον διαφημιστικό χώρο όπως τηλεόραση, ραδιόφωνο κ.λπ. Πιο συγκεκριμένα, το AR δίνει στους χρήστες την ευκαιρία να συνδεθούν με το προϊόν πιο άμεσα. Ο λόγος είναι ότι προσφέρεται αλληλεπίδραση με τις ψηφιακές πληροφορίες του προϊόντος. Από την άλλη πλευρά, η τηλεόραση ή το ραδιόφωνο προσφέρουν μια προσέγγιση παθητικής σύνδεσης μεταξύ του χρήστη και του προϊόντος. Το AR επιτρέπει στις εταιρείες να προσθέτουν ένα ψηφιακό στοιχείο στα φυσικά προϊόντα τους. Οι πελάτες μπορούν να

σαρώσουν ένα προϊόν για να εμφανίσουν μια εμπειρία AR που στοχεύει να παρέχει είτε πρόσθετες πληροφορίες προϊόντος είτε κάποιου είδους συμπληρωματική εμπειρία επωνυμίας [5].

## **2.4 Οι Φυσικές Επιστήμες στην εκπαίδευση**

### **2.4.1 Η διδασκαλία των φυσικών επιστημών**

Οι φυσικές επιστήμες αποτελούν σημαντικό υποσύλλωμα των παιδιών για εξερεύνηση, κατανόηση και εκτίμηση του κόσμου γύρω τους. Εξάλλου, στο Διεθνές Συνέδριο Επιστημών που διεξήχθη το 2011, έγινε σαφές ότι η ενθάρρυνση της εκπαίδευσης των φυσικών επιστημών στο σχολείο είναι ζωτικής σημασίας για την εξέλιξη της επιστήμης καθώς η διδασκαλία αυτών αυξάνει τις γνώσεις και τις δεξιότητες των μαθητών και μαθητριών, είτε για τον φυσικό είτε για τον κοινωνικό κόσμο [1].

Στην Ελλάδα σήμερα, τα περισσότερα εκπαιδευτικά και σχολικά βιβλία επικεντρώνονται στη διεξαγωγή πειραμάτων, την συνεργατική μάθηση και τις εναλλακτικές ιδέες προκειμένου τα παιδιά να αποκτήσουν νέες γνώσεις. Με τα πειράματα, τα παιδιά μαθαίνουν μέσα από την διάδρασή τους με, καθημερινά συνήθως, αντικείμενα τις βασικές αρχές που διέπουν τον κόσμο γύρω τους. Μέσα από την συνεργασία, τα παιδιά ανταλλάσσουν ιδέες, πληροφορίες, απορίες και αυτό συμβάλει στην οικοδόμηση της γνώσης. Συνεπώς, η χρήση των πειραμάτων, της συνεργασίας και των διαφορετικών ιδεών των μαθητών είναι σημαντική για την εξέλιξη της διδακτικής των φυσικών επιστημών.

### **2.4.2 Η εφαρμογή της ΕΠ στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση για την εκμάθηση των φυσικών επιστημών**

Η πρωτοβάθμια εκπαίδευση είναι ο χώρος για την ανάπτυξη των μαθητών μέσα από το παιχνίδι, τις δραστηριότητες, την εμπειρία που λαμβάνεται και την κοινωνική αλληλεπίδραση που ασκείται. Η πρωτοβάθμια εκπαίδευση ξεκινά στην ηλικία των επτά και διαρκεί για έξι χρόνια.

Τα τελευταία χρόνια η χρήση της επαυξημένης πραγματικότητας αυξάνεται δραστικά σε κάθε κοινωνικό τομέα. Μεταξύ αυτών είναι το δίχως άλλο η εκπαίδευση η οποία πρωτοστατεί. Οι εξελίξεις στην τεχνολογία καθώς και η λειτουργικότητα των εφαρμογών ΕΠ την καθιστούν ένα σημαντικό εργαλείο στα χέρια των εκπαιδευτών για την βελτίωση του διδακτικού και μαθησιακού περιβάλλοντος. Παραδείγματος χάριν, η ΕΠ παρέχει τη δυνατότητα να [7]:

1. διεγείρει και να παρακινήσει τους μαθητές και τις μαθήτριες να μελετήσουν διάφορα θέματα από ποικίλες σκοπιές
2. βοηθά στη διδασκαλία μαθημάτων στα οποία οι μαθητές και οι μαθήτριες αδυνατούν να έχουν πραγματική εμπειρία άμεσα (π.χ. αστρονομία και γεωγραφία) όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.3

3. ενθαρρύνει τη συνεργασία μεταξύ μαθητών και δασκάλων, αλλά και μεταξύ των μαθητευόμενων
4. ενισχύει τη δημιουργικότητα και τη φαντασία των μαθητών
5. βοηθάει τους μαθητές να πάρουν οι ίδιοι τον έλεγχο της μάθησής τους, με το δικό τους τρόπο και ρυθμό
6. δημιουργεί ένα αυθεντικό μαθησιακό περιβάλλον κατάλληλο για διάφορα μαθησιακά στυλ



Εικόνα 2.3 Εκμάθηση αστρονομίας μέσω ΕΠ στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση

Κατά καιρούς, οι εφαρμογές ΕΠ έχουν διερευνηθεί σε διάφορους κλάδους, πολλοί από τους οποίους σχετίζονται έμμεσα ή άμεσα με την εκπαίδευση. Για παράδειγμα, οι Liu et al., [17] έχουν εξετάσει ιατρικές εφαρμογές της ΕΠ για γενική αναισθησία. Ομοίως οι Sielhorst, et al., [18] έχουν εξετάσει τη χρήση της ΕΠ σε ιατρικές εκπαιδευτικές προσομοιώσεις. Επίσης, οι Sielhorst, et al. [19] εξέτασαν την χρήση της ΕΠ στην Ιατρική ήδη από τη δεκαετία του 1990. Άλλοι ερευνητές έχουν εξετάσει τη χρήση της ΕΠ ως εργαλείου μηχανικής όπου οι τεχνολογίες Web3D και AR επιτρέπουν στους μαθητές να εξερευνήσουν έννοιες μηχανικών θεμάτων. Ο Kaufmann και οι συνεργάτες του [20] έχουν επικεντρώσει την έρευνα τους στις εφαρμογές μαθηματικών και γεωμετρίας, δημιουργώντας έτσι ένα σύστημα ΕΠ με σκοπό τη διευκόλυνση της διδασκαλίας μεταξύ εκπαιδευτικών και μαθητών. Επιπλέον, έχει διερευνηθεί η δυνατότητα υλοποίησης ποικίλων εφαρμογών ΕΠ σε συστήματα ηλεκτρονικής μάθησης, στην αρχιτεκτονική, στην εσωτερική διακόσμηση και στην εκπαίδευση των επιστημών. Επιπρόσθετα, υπάρχουν πόροι πολύ δαπανηροί ή καθόλου λειτουργικοί. Τη λύση λοιπόν έρχεται να δώσει η επαυξημένη

πραγματικότητα ώστε να αποκτήσει, για παράδειγμα, εξελιγμένο εργαστηριακό εξοπλισμό μια σχολική μονάδα.

Επιπλέον, η μαθησιακή εμπειρία είναι ένα πολύ σημαντικό μέρος της διαδικασίας διδασκαλίας και μάθησης στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση, επειδή χρειάζεται περισσότερη προσπάθεια από τους εκπαιδευτικούς για να τραβήξουν το ενδιαφέρον και την προσοχή των μαθητών σε αυτήν την ηλικία προκειμένου να αυξήσουν τα κίνητρα και την ικανοποίησή τους στην τάξη. Η μονόδρομη μέθοδος διδασκαλίας και μάθησης πρέπει να αντικατασταθεί με μεθόδους που λειτουργούν εποπτικά και ενεργοποιούν τα αισθητηριακά όργανα του ατόμου. Με άλλα λόγια αξιοποιούνται αισθήσεις όπως η όραση, η ακοή και η αφή. Έτσι, η χρήση της τεχνολογίας επαυξημένης πραγματικότητας φαντάζει ως ένα πολλά υποσχόμενο εργαλείο για την ενίσχυση των κινήτρων και του ενδιαφέροντος των μαθητών και στη συνέχεια για την υποστήριξη της διαδικασίας διδασκαλίας και μάθησης στο εκπαιδευτικό πλαίσιο.

Όπως αναφέρθηκε, η τεχνολογία ΕΠ είναι ένα σύστημα που δημιουργείται από υπολογιστή και επιτρέπει στον χρήστη να βλέπει τα αντικείμενα στο πραγματικό περιβάλλον. Επομένως, μέσω του υπολογιστή, τα παιδιά μπορούν και να παίξουν παιχνίδια σε περιβάλλον ΕΠ. Τα παιχνίδια μπορούν να είναι μια νέα προσέγγιση για εφαρμογή στα παιδιά όσον αφορά τη μάθηση σε σύγκριση με τις διαλέξεις. Προηγούμενες μελέτες έχουν δείξει ότι τα παιχνίδια μπορούν να αποτελέσουν μέρος της διδασκαλίας προγραμματισμού σε παιδιά προσχολικής ηλικίας. Έτσι, οι εκπαιδευτικοί πρέπει να εξετάσουν το ενδεχόμενο να φέρουν αυτήν την αναδυόμενη τεχνολογία στην τάξη για να υποστηρίξουν και να ενισχύσουν τη μάθηση ενσωματώνοντας τη χρήση υπολογιστών, υλικού πολυμέσων, διαδικτύου, παιχνιδιών προσομοίωσης και καθηλωτικής τεχνολογίας όπως ο 3D εικονικός κόσμος και η επαυξημένη πραγματικότητα.

Το 2016 ο Hwang χρησιμοποίησε μία εφαρμογή παιχνιδιού σε κινητές συσκευές με θέμα την βιολογία προκειμένου να αυξήσει τις επιδόσεις των μαθητών. Αποδείχθηκε ότι οι μαθητές, μετά την χρήση του παιχνιδιού, βελτίωσαν τις επιδόσεις του στο συγκεκριμένο μάθημα [21]. Ο Hsu, το 2017 [22], έφτιαξε δύο διαφορετικά παιχνίδια με την χρήση της επαυξημένης πραγματικότητας για την διδασκαλία του αγγλικού λεξιλογίου. Οι μαθητές που έκαναν χρήση αυτών των δύο παιχνιδιών είχαν σημαντικά λιγότερο άγχος και η ψυχολογία τους ανέβηκε κατά μεγάλο βαθμό. Επίσης το 2017 οι Martínez Cascales, Segura, López και Contero [23] χρησιμοποίησαν έναν επιτραπέζιο παιχνίδι πολλαπλής αφής με σκοπό την εκπαίδευση μαθητών με ειδικές ανάγκες. Αποδείχτηκε πως το επιτραπέζιο ήταν μία ελκυστική και παρακινητική λύση για αυτούς τους μαθητές. Επιπλέον, οι γνώσεις τους αυξήθηκαν σημαντικά.

Έχοντας επίγνωση της κρίσιμης διαδικασίας για την απόκτηση, την αποθήκευση και την εφαρμογή των πληροφοριών προς τον μαθητή στις μέρες μας, οι αναδυόμενες τεχνολογίες θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν στο εκπαιδευτικό πλαίσιο για την παράδοση του περιεχομένου του μαθήματος έτσι ώστε να ταιριάζει στην ανθρώπινη γνώση. Η εξέλιξη της τεχνολογίας τον τελευταίο καιρό, ιδιαίτερα στον ήχο και στην οπτική, έχει γίνει μια νέα προσέγγιση στον

εκπαιδευτικό τομέα για να εφαρμόσει και να δώσει πιθανό αντίκτυπο στη διδακτική και μαθησιακή διαδικασία καθώς και να προσφέρει νέο περιβάλλον για την πρωτοβάθμια εκπαίδευση. Ωστόσο, η τεχνολογία επαυξημένης πραγματικότητας έχει περιορισμένες δυνατότητες σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες όπως τα πολυμέσα, το παιχνίδι και η διαδικτυακή μάθηση. Αν και η ΕΠ έχει προσφέρει νέες ευκαιρίες για την ενίσχυση του εκπαιδευτικού συστήματος, εξαρτάται από τους εκπαιδευτικούς να προσδιορίσουν τις νέες τεχνολογίες που θα ενσωματώσουν στην διαδικασία διδασκαλίας και μάθησης που εφαρμόζουν προκειμένου να εξασφαλίσουν τη βελτίωση της εκπαίδευσης [17-23].

## 2.5 Βιβλία Επαυξημένης πραγματικότητας

Τα βιβλία επαυξημένης πραγματικότητας πιθανόν να είναι ένα σημαντικό σκαλοπάτι που θα βοηθά το κοινό να γεφυρώσει το χάσμα μεταξύ του ψηφιακού και του φυσικού κόσμου. Η τεχνολογία ΕΠ έχει μεγάλες δυνατότητες, όπως παρουσιάστηκε, να προσφέρει στους μαθητές 3D παρουσιάσεις και διαδραστικές εμπειρίες που είναι πιθανό να τους προσελκύσουν και να ενισχύσουν την διδακτική τους εμπειρία. Για παράδειγμα, από την εταιρεία Meatio στη Γερμανία αναπτύχθηκε και κυκλοφόρησε στην Έκθεση βιβλίων της Φρανκφούρτης το 2011 ένα βιβλίο ΕΠ με τίτλο «The Future is Wild: The Living Book». Το βιβλίο, με 42 ενσωματωμένες ειδικές δυνατότητες ΕΠ, δείχνει τη δυνατότητα της ΕΠ να ενθαρρύνει τους αναγνώστες να δημιουργήσουν μια σύνδεση με ένα βιβλίο [2].

Ένας άλλος τύπος εμπειρίας βιβλίου ΕΠ προσφέρεται από τα αναδυόμενα βιβλία ΕΠ (Digilog Books), που δημιουργήθηκαν από το Ινστιτούτο Επιστημών και Τεχνολογίας Gwangju (GIST) στη Νότια Κορέα, όπου μπορούν να εμφανιστούν τρισδιάστατοι χαρακτήρες σε κάθε σελίδα του βιβλίου όταν οι αναγνώστες φορούν ένα ειδικό ζευγάρι γυαλιών. Το σύστημα ΕΠ λειτουργεί σε πραγματικό χρόνο με 30 fps και υποστηρίζει περίπου 300 σελίδες χωρίς να χάνει την απόδοση του σε πραγματικό χρόνο. Επιπλέον, τα βιβλία ΕΠ μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε πρωτοβάθμιο επίπεδο. Το Ινστιτούτο Προώθησης Διδασκαλίας Επιστημών και Τεχνολογίας στην Ταϊλάνδη ανέπτυξε ένα εγχειρίδιο τρισδιάστατης γεωλογίας μέσω της επαυξημένης πραγματικότητας, που διδάσκει στους μαθητές την ανακάλυψη των στρωμάτων της γης, των σχέσεων τους, τις διαφορές και τις λειτουργίες τους. Επίσης, το MagicBook, ένα σύστημα διεπαφής ΕΠ, επιτρέπει τη δημιουργία περιεχομένου ΕΠ για οποιοδήποτε κανονικό βιβλίο, ζωντανεύοντας το βιβλίο με κινούμενα σχέδια ή ακόμη και διαδραστικά μοντέλα που προέρχονται από το κείμενο ή τις εικόνες που ήδη υπάρχουν μέσα στο βιβλίο. Οι μαθητές είναι ικανοί να χρησιμοποιήσουν το βιβλίο ως την κύρια διεπαφή, αλλάζοντας προοπτική ή κατεύθυνση κινώντας το κεφάλι τους, ή μετακινώντας το βιβλίο, επειδή το 3D περιεχόμενο που δημιουργείται στον υπολογιστή φαίνεται να είναι συνημμένο στη σελίδα του βιβλίου, όπως φαίνεται και στο βιβλίο που παρουσιάζεται στην εικόνα 2.4. Στις μέρες μας, όπου οι κριτικοί της συμβατικής λογοτεχνίας έχουν αρχίσει να συνειδητοποιούν ότι ακόμη και τα βιντεοπαιχνίδια μπορούν να είναι ιστορίες, τα βιβλία ΕΠ θα συστήσουν την τέχνη της μυθοπλασίας και της αφήγησης σε μια νέα γενιά, απαιτώντας μεγαλύτερη προσοχή από τους «συγγραφείς» σε μια ποικιλία θεμάτων, όπως η συνοχή των βιβλίων, η ποιότητα και η εμβάθυνση. Ωστόσο, το ενδεχόμενο τα βιβλία ΕΠ να προσελκύσουν

πολλούς τύπους μαθητών, μέσα από πολλά μονοπάτια, είναι αναμφισβήτητο και συναρπαστικό για τους εκπαιδευτικούς.

Τέλος, σε μια προσπάθεια να βοηθήσουν τους κωφούς μαθητές (οπτικό γραμματισμό) στην απόκτηση περισσότερων δεξιοτήτων στον τομέα της επιστήμης, κάποιους ερευνητές επιδίωξαν να αναπτύξουν ένα βιβλίο ΕΠ το οποίο βασίζεται σε ένα πρόγραμμα μαθημάτων που βοηθάει τους κωφούς μαθητές να κατανοήσουν τους μικροοργανισμούς [25]. Έτσι, αναπτύχθηκε το εκπαιδευτικό πρόγραμμα τρισδιάστατου περιβάλλοντος που ονομάζεται βιβλίο ΕΠ για κωφούς μαθητές στην επιστήμη (AR-SiD). Σύμφωνα με διάφορα άρθρα, τα βιβλία ΕΠ μπορούν να είναι ένα καλό μέσο μάθησης για να υποστηρίξουν τους μαθητές με χαμηλές ικανότητες. Ο οπτικός γραμματισμός για τους κωφούς περιλαμβάνει διαδικασίες στην οπτικοποίηση: οπτική μάθηση, οπτική σκέψη και οπτική επικοινωνία, απαντώντας σε ερωτήσεις χρησιμοποιώντας νοηματική γλώσσα ή γραπτό κείμενο. Αναμένεται το βιβλίο ΕΠ με διαδραστικές εφαρμογές τρισδιάστατης απεικόνισης να βελτιώσει την κατανόηση των αφηρημένων περιεχομένων στην επιστήμη, καθώς και να κάνει πιο ενεργή τη συμμετοχή των κωφών μαθητών στην απόκτηση των απαιτούμενων επιστημονικών δεξιοτήτων.



Εικόνα 2.4 Βιβλίο ΕΠ «Οι Μικροί Εξερευνητές και τα Μνημεία του Κόσμου»

## 2.6 Παιγνιδοποίηση

Προκειμένου να μην εγκαταλείπουν τα παιδιά το εκπαιδευτικό σύστημα καθώς επίσης και να αυξηθούν τα κίνητρα των μαθητών στο εκπαιδευτικό περιβάλλον, η πρόσφατη έρευνα στην εκπαίδευση διερευνά τη χρήση της παιγνιδοποίησης (gamification) και των δραστηριοτήτων της [26 -28]. Η παιγνιδοποίηση στην εκπαίδευση συνήθως στοχεύει στη βελτίωση της συγκέντρωσης, της δέσμευσης, της απόδοσης των μαθητών ή/και στη μείωση της απογοήτευσης των μαθητών

από τα εκπαιδευτικά συστήματα [29 -33]. Συνολικά, αυτές οι μελέτες εφαρμόζουν και αξιολογούν τη χρήση του gamification σε εκπαιδευτικά περιβάλλοντα [34] ,[36].

Πρόσφατες μελέτες έδειξαν ότι αυτά τα συστήματα μπορούν να προσφέρουν διαφορετικούς τρόπους στους μαθητές για να μάθουν και για να εκτελούν τις εκπαιδευτικές δραστηριότητες χρησιμοποιώντας στοιχεία παιχνιδιού [37-39]. Επιπλέον, η παιχνιδοποιημένη εκπαίδευση μπορεί να προσφέρει μια σειρά από οφέλη στους μαθητές, π.χ., αυξάνονται τα κίνητρα των μαθητών [29], [40], [41], ενισχύονται η μαθησιακή απόδοση [42], [43] ή η βελτίωση των διαδικασιών εκπαίδευσης [44],[45].

Ωστόσο, ορισμένες μελέτες αναφέρουν ότι, σε πολλές περιπτώσεις, η χρήση του gamification σε ένα εκπαιδευτικό πλαίσιο (ειδικά gamified εκπαιδευτικά συστήματα) δεν βελτιώνει απαραίτητα τα αποτελέσματα των μαθητών [38], [46]. Αυτά τα αποτελέσματα έχουν επιστήσει την προσοχή της κοινότητας των εκπαιδευτικών να κατανοήσει καλύτερα πότε και πώς η χρήση του gamification βελτιώνει αποτελεσματικά την εμπειρία των μαθητών και, ως εκ τούτου, προτείνει λύσεις για την παροχή καλύτερα σχεδιασμένων παιχνιδιών που μπορεί να επηρεάσουν θετικά τη μαθησιακή διαδικασία και την απόδοση των μαθητών [38], [47], [48].

Στα εκπαιδευτικά συστήματα (και γενικά στα εκπαιδευτικά περιβάλλοντα), είναι υψίστης σημασίας να λαμβάνεται υπόψη η ατομικότητα των μαθητών [49],[51] καθώς η πρόσφατη βιβλιογραφία έχει δείξει ότι ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των μαθητών (π.χ. προσωπικές προτιμήσεις [52], στυλ μάθησης [53], καλύτερη απόκριση σε συγκεκριμένη παιδαγωγική μέθοδο [54], προϋπάρχουσες γνώσεις [55] και άλλα χαρακτηριστικά), η εμπειρία ή/και η απόδοσή τους μπορεί να αλλάξει ανάλογα με το σχεδιασμό των εκπαιδευτικών συστημάτων. Επομένως, και στην παιχνιδοποιημένη εκπαίδευση, ανάλογα με τον σχεδιασμό της παιχνιδοποίησης (δηλαδή τα στοιχεία του παιχνιδιού που χρησιμοποιούνται), η εμπειρία και τα μαθησιακά αποτελέσματα των μαθητών μπορεί να διαφέρουν [46], [56].

Για την επίλυση αυτού του προβλήματος, τα τελευταία έτη, πραγματοποιήθηκαν ορισμένες μελέτες για την κατανόηση του τρόπου προσαρμογής των εκπαιδευτικών περιβαλλόντων παιχνιδοποίησης ώστε αυτά να ταιριάζουν με τα χαρακτηριστικά, τις ανάγκες και τις συμπεριφορές των μαθητών [57 -59]. Ωστόσο, τα αποτελέσματα εξακολουθούν να είναι αντιφατικά και δεν είναι δυνατός ο εντοπισμός των χαρακτηριστικών του μαθητή που χρησιμοποιούνται για την εξατομίκευση των παιχνιδοποιημένων εκπαιδευτικών πλαισίων ή ο αντίκτυπος της εξατομίκευσης της παιχνιδοποίησης στη μαθησιακή εμπειρία των μαθητών (π.χ. μαθησιακά αποτελέσματα και ψυχολογικές καταστάσεις) [61]. Ταυτόχρονα, παρά την ύπαρξη κάποιων συστηματικών μελετών για την προσαρμοσμένη παιχνιδοποίηση, συμπεριλαμβανομένης της προσαρμοσμένης παιχνιδοποίησης στην εκπαίδευση [62-64], ορισμένα ερευνητικά ερωτήματα παραμένουν ανοιχτά. Για παράδειγμα, μπορεί ο βαθμός των κοινωνικών δεξιοτήτων ενός μαθητή να επηρεάζει τα αποτελέσματα των παιχνιδοποιημένων εκπαιδευτικών πλαισίων; Άλλο παράδειγμα είναι το ερώτημα που αφορά την επίδραση της εξατομίκευσης σε παιδιά με χαμηλό

αίσθημα αυτοαποτελεσματικότητας. Αυτό, θα μπορούσε να αποτελεί συνέχεια της ερώτησης που ήδη έχει απασχολήσει τους ερευνητές, όσον αφορά σε ζητήματα κινήτρων, τα οποία αυξάνονται λόγω της βιωματικής μάθησης. Τέλος, μια ερώτηση που δεν έχει λάβει οριστική απάντηση, είναι η εξής: κατά πόσο κάποιες συγκεκριμένες δυνατότητες (πχ. έμφαση στη συναρμολόγηση ή την κριτική ικανότητα) που δίνονται από την εκάστοτε εφαρμογή ΕΠ επηρεάζουν περισσότερο ή λιγότερο κάποιες μαθησιακές δεξιότητες;

### 2.6.1 AR Gaming και εκπαίδευση

Συχνά οι εκπαιδευτικοί χρησιμοποιούν παιχνίδια για να βοηθήσουν τους μαθητές να κατανοήσουν ευκολότερα τις διδασκόμενες γνώσεις. Με τη βοήθεια της τεχνολογίας ΕΠ, τα παιχνίδια που είναι βασισμένα στον πραγματικό κόσμο και επανξάνονται με τα δεδομένα του δικτύου μπορούν να δώσουν στους εκπαιδευτικούς νέους τρόπους για να πραγματοποιήσουν την διδασκαλία τους. Τα παιχνίδια στα οποία τα παιδιά καλούνται να επισημάνουν κάτι (π.χ. ένα σημείο στον χάρτη) μπορούν πλέον να γίνουν με τρισδιάστατη απεικόνιση όταν προβάλλονται με κινητή συσκευή ή web κάμερα. Αυτό το είδος παιχνιδιού θα μπορούσε να εφαρμοστεί εύκολα σε μια σειρά επιστημονικών κλάδων, συμπεριλαμβανομένων για παράδειγμα της αρχαιολογίας, της ιστορίας, της ανθρωπολογίας, ή της γεωγραφίας. Για παράδειγμα, στην εικόνα 2.6.1, ο μαθητής παίζει ένα παιχνίδι AR με αεροπλάνα. Η υδρόγειος σφαίρα είναι το φόντο όπου μπορεί να μάθει τις διάφορες χώρες της υφελίου. Μια άλλη προσέγγιση του AR gaming επιτρέπει στους παίκτες να δημιουργήσουν εικονικά άτομα ή αντικείμενα και κατόπιν να συνδέσουν αυτές τις κατασκευές με συγκεκριμένες τοποθεσίες στον αληθινό κόσμο. Οι παίκτες μπορούν στη συνέχεια να αλληλεπιδράσουν με αυτά τα ψηφιακά δημιουργήματα/αντικείμενα, τα οποία εμφανίζονται όταν ο παίκτης πλησιάσει σχετικά κοντά στη συνδεδεμένη τοποθεσία στον πραγματικό κόσμο. Ένα πρόσφατο παράδειγμα τέτοιου παιχνιδιού είναι το Pokemon Go που πριν μερικά χρόνια είχε συναρπάσει σχεδόν όλη την ανθρωπότητα [65],[66].

Μια πρόσφατη μελέτη [65] διερεύνησε μερικές από τις δυνατότητες του AR gaming στην εκπαίδευση. Ένα AR βιντεοπαιχνίδι που ονομάζεται Alien Contact, χρησιμοποιήθηκε σε αρκετές τάξεις της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης σε μια προσπάθεια βελτίωσης της μαθησιακής εμπειρίας. Σε αυτό το παιχνίδι, οι μαθητές παίζουν διαφορετικούς ρόλους χρησιμοποιώντας μια φορητή συσκευή, η οποία είχε ενσωματωμένα GPS, πυξίδα και ασύρματο διαδίκτυο. Ο στόχος του παιχνιδιού είναι να ανακαλύψουν τον λόγο για τον οποίο οι εξωγήινοι ήρθαν στη γη και προσγειώθηκαν σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Οι μαθητές καθοδηγούνται στο να σχηματίσουν μια υπόθεση συλλέγοντας στοιχεία και ολοκληρώνοντας με επιτυχία διάφορους γρίφους, οι οποίοι απαιτούν χρήση ικανοποιητικών μαθηματικών και γλωσσικών δεξιοτήτων. Συμμετέχοντας στο παιχνίδι, οι μαθητές αλληλεπιδρούν με τη ψηφιακή προσομοίωση των χαρακτήρων του παιχνιδιού, με τα ψηφιακά αντικείμενα και τα μέλη της ομάδας τους για να σχεδιάσουν ένα μάθημα στα πλαίσια του παιχνιδιού για την επίτευξη του επιδιωκόμενου τελικού στόχου. Προκειμένου να γίνει προσιτή η δημιουργία ή αναδημιουργία παιχνιδιών σε σχεδιαστές και εκπαιδευτικούς, η STEP έχει αναπτύξει ένα εργαλείο ΕΠ που τους δίνει την δυνατότητα να δημιουργούν παιχνίδια

ΕΠ με την απλή μέθοδο της μεταφοράς και απόθεσης (drag and drop). Αυτό το εργαλείο επιτρέπει στο σχεδιαστή του παιχνιδιού να επιλέξει έναν χάρτη για την τοποθεσία όπου θα γίνει το παιχνίδι, να δημιουργήσει χαρακτήρες και στοιχεία, να σχεδιάσει αλληλεπιδράσεις, να καθορίσει ρόλους και να δημιουργήσει μια αρκετά δυναμική εμπειρία [66].



Εικόνα 2.6.1 AR βιντεοπαιχνίδι που ονομάζεται Alien Contact

Με άλλα λόγια, ο σχεδιαστής έχει τη δυνατότητα εισαγωγής νέων χαρτών, θέσεων, χαρακτήρων και στοιχείων, κάνοντας λογικές συνδέσεις μεταξύ αυτών των στοιχείων, ενσωματώνοντας δεδομένα και εισάγοντας διάφορα μέσα. Μετά το σχεδιασμό πολλών παιχνιδιών, έγινε φανερό ότι ο καλύτερος τρόπος σύνδεσης της συσκευής αναπαραγωγής με την τοποθεσία (είτε είναι ένα πάρκο, είτε η περιοχή γύρω από ένα σχολείο) ήταν να δημιουργήσουν οι ίδιοι οι παίκτες το παιχνίδι. Η μετατροπή του μαθητή από απλό παίκτη του παιχνιδιού σε σχεδιαστή του παρέχει μια πολύτιμη ευκαιρία μάθησης αφού φέρει μια βαθύτερη εμπειρία στη σχεδίαση και υλοποίηση του παιχνιδιού. Μαζί με αυτό, ίσως υλοποιείται και το πιο σημαντικό, δηλαδή η ευκαιρία του μαθητή να είναι ευφάνταστος και δημιουργικός. Τα πρώτα σχόλια από εκπαιδευτικούς, που έχουν υιοθετήσει αυτή την προσέγγιση, έχουν δείξει ότι η σχεδίαση παιχνιδιών ΕΠ είναι αγαπημένη ασχολία τόσο των μαθητών όσο και των καθηγητών και είναι συχνά ο κινητήριος παράγοντας για να κάνουν τους μαθητές να ασχοληθούν με περισσότερα θέματα [10].

## 2.7 Επίλογος

Οι τεχνολογίες Επαυξημένης Πραγματικότητας γίνονται όλο και πιο δημοφιλείς, καθώς το υλικό και το λογισμικό εξελίσσονται και την καθιστούν προσβάσιμη για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Η ΕΠ μπορεί να εφαρμοστεί σε διαφορετικούς τομείς λόγω της δυνατότητάς της να βελτιώνει τις εμπειρίες των χρηστών στη μάθηση, την εκπαίδευση, την προσομοίωση, το παιχνίδι αλλά και σε πολλές ακόμα εργασίες. Το όφελος αυτής της τεχνολογίας ποικίλλει από εφαρμογή σε εφαρμογή, αλλά κυρίως παρέχει στο χρήστη πρόσθετες πληροφορίες που δεν μπορεί να αποκτήσει χρησιμοποιώντας μόνο τις αισθήσεις του. Επειδή οι τεχνολογίες ΕΠ έχουν τη δυνατότητα να αντιμετωπίσουν διαφορετικά προβλήματα, δημοφιλείς εταιρείες όπως η Google, η IBM, η Sony, η HP αλλά και πολλά πανεπιστήμια έχουν καταβάλει μεγάλες προσπάθειες για να εντάξουν τις τεχνολογίες αυτές στην καθημερινότητα τους. Η ΕΠ είναι κατάλληλη για εφαρμογές σχεδόν σε κάθε μάθημα, ειδικά στη φυσική, τη χημεία, τη βιολογία, τα μαθηματικά, την ιστορία, την αστρονομία, την ιατρική, ακόμη και τη μουσική με πολύ καλά μαθησιακά αποτελέσματα αλλά και ενίσχυση των κινήτρων και της αφοσίωσης των μαθητών.

## Κεφάλαιο 3ο: Μεθοδολογία

### 3.1 Εισαγωγή

Η τεχνολογία ΕΠ είναι εξαιρετικά ευέλικτη καθώς μπορεί να εφαρμοστεί σε διαφορετικούς τύπους τάξης: φυσική ή εικονική, καθοδηγούμενη από εκπαιδευτή ή αυτοδιευθυνόμενη, σύγχρονη ή ασύγχρονη, ομαδική ή ατομική[50]. Το πιο σημαντικό είναι πως επιτρέπει στους μαθητές να μαθαίνουν χωρίς να είναι απαραίτητο να χρησιμοποιούν πολύ φυσικό χώρο, χρόνο, εύρος και περιορισμούς πόρων. Ακόμη οι μαθητές και οι μαθήτριες μαθαίνουν χωρίς πραγματικούς κινδύνους ασφάλειας και συνέπειες αποτυχίας. Έχουν πλήρη αυτονομία να επιδιώξουν τις δικές τους ερευνητικές ερωτήσεις, πειραματικά σχέδια και συλλογή δεδομένων. Τελικά η ΕΠ έχει προσφέρει ένα ασφαλές περιβάλλον μάθησης – σωματικά, διανοητικά και συναισθηματικά – στους μαθητές για να πειραματιστούν και να εξερευνήσουν, καθώς και να αποκτήσουν αυτοπεποίθηση για την αντιμετώπιση παρόμοιων προβλημάτων στον πραγματικό κόσμο [112].

Μια ανασκόπηση των εκπαιδευτικών εφαρμογών ΕΠ, αποκαλύπτει ότι οι τρέχουσες ερευνητικές προσπάθειες έχουν χωριστεί σε δύο κύριες κατηγορίες: (i) ερευνητικά έργα που επικεντρώνονται στην πρακτική χρήση της ΕΠ σε συγκεκριμένα εκπαιδευτικά πλαίσια για την εισαγωγή νέων καινοτομιών στην εκπαίδευση, και (ii) εκπαιδευτική έρευνα για τη διερεύνηση των δυνατοτήτων χρήσης ΕΠ για τη μέτρηση των αποτελεσμάτων των μαθητών.

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται ο σκοπός της παρούσας εργασίας καθώς και τα ερευνητικά ερωτήματα που αυτή θέτει. Επιπλέον δίνονται πληροφορίες για τον ερευνητικό σχεδιασμό που ακολουθήθηκε καθώς και για τα κριτήρια εισόδου και αποκλεισμού των σχετικών ερευνών στην ανασκόπηση.

### 3.2 Σκοπός και ερευνητικά ερωτήματα

Σκοπός της παρούσας εργασίας και έρευνας είναι η μελέτη και κατανόηση της επίδρασης της χρήσης των εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας στην διαδικασία της διδασκαλίας της φυσικής στην εκπαίδευση. Αυτός ο σκοπός είναι η βάση για την διαμόρφωση της ερευνητικής μας διδασκαλίας. Φυσικά, κατά τη διάρκεια της ανάλυσης άρχισαν να προκύπτουν διάφορα ερωτήματα. Συγκεκριμένα, κρίθηκε αναγκαίο να προσδιοριστεί η ωφέλεια που παρέχει στις επιδόσεις και αποδόσεις των μαθητών με την βοήθεια των εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας σε ένα μάθημα φυσικής στην εκπαίδευση. Έπειτα, καταγράφηκαν οι

εκτιμήσεις, οι εντυπώσεις και οι απόψεις των μαθητών για τον τρόπο αυτής της διδασκαλίας. Επομένως, τα ερευνητικά ερωτήματα που προέκυψαν είναι τα παρακάτω:

- RQ1: Πώς επιδρά η διδασκαλία με τη χρήση εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας στην αξιολόγηση των μαθητριών και των μαθητών;
- RQ2: Τι πιστεύουν οι μαθητές για τις μεθόδους αυτές και κατά συνέπεια ποιες είναι οι απόψεις, οι αντιλήψεις αλλά και οι εκτιμήσεις αυτών για τον τρόπο αυτής της διδασκαλίας;
- RQ3: Πόσο πολύ έχει επηρεάσει η επαυξημένη πραγματικότητα, τα AR βιβλία και το AR gaming την εκμάθηση στην εκπαίδευση;
- RQ4: Μπορεί η χρήση της Επαυξημένης Πραγματικότητας να ενισχύσει το επίπεδο κατανόησης της φυσικής στην εκπαίδευση;
- RQ5: Με ποιες στρατηγικές οι εφαρμογές στοχεύουν στην αύξηση των μαθησιακών αποτελεσμάτων;

Προκειμένου να απαντήσουμε στα παραπάνω ερωτήματα προχωρήσαμε σε μία βιβλιογραφική ανασκόπηση σε έρευνες για τις οποίες υπάρχει και η αντίστοιχη δημοσίευση στον τομέα της επαυξημένης πραγματικότητας.

### 3.3 Ερευνητικός Σχεδιασμός

Η συγκεκριμένη έρευνα εστιάζει στην μέτρηση της επίδρασης της διδασκαλίας με την βοήθεια των εφαρμογών της επαυξημένης πραγματικότητας. Προκειμένου λοιπόν να απαντήσουμε στα ερευνητικά ερωτήματα που προέκυψαν, ήταν απαραίτητο να προβούμε σε κάποιες ενέργειες. Αυτές περιλαμβάνουν έναν σχεδιασμό και κατά συνέπεια μια υλοποίηση κατάλληλης μεθόδου κατά την οποία να αξιολογηθεί η χρήση των εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας μέσα από τη χρήση τους από τους μαθητές, όπως αυτή καταγράφεται στη διεθνή έρευνα. Κατά αυτόν τον τρόπο, μας δίνεται η δυνατότητα να αποφανθούμε αν η διδασκαλία αυτή έχει θετικά ή αρνητικά αποτελέσματα στις επιδόσεις των μαθητών.

Το πρώτο βήμα για τον κατάλληλο σχεδιασμό ήταν η μελέτη του περιεχομένου του μαθήματος της φυσικής στην εκπαίδευση. Το γνωστικό αντικείμενο της φυσικής είναι μείζονος σημασίας για την ανθρώπινη καθημερινότητα επομένως ακριβώς για αυτό επιλέχθηκε το εν λόγω μάθημα. Υπάρχει η αντίληψη πως η φυσική περιλαμβάνει όρους, αρχές και έννοιες ή περιγράφει (φυσικά) φαινόμενα που μπορεί να δυσκολέψουν την κατανόηση και να προβληματίσουν όχι

μόνο τους μαθητές αλλά και τους δασκάλους. Αξίζει να τονίσουμε πως δεν υπάρχει μεγάλη διδακτική εμπειρία στο συγκεκριμένο μάθημα, η οποία να αξιοποιεί τις οπτικές αλλά και εικονικές εμπειρίες, που είναι ελάχιστες ως ανύπαρκτες. Επιπλέον, η έκθεση σε μαζικά και εμπορικά προϊόντα δεν βοηθούν καθώς και αυτά με την σειρά τους απομακρύνουν τους μαθητές από την σωστή γνώση. Όλα αυτά τα στοιχεία, σε συνδυασμό με τις εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας που υπάρχουν στο διαδίκτυο μας οδηγούν στην επιλογή της εξέτασης του συγκεκριμένου μαθήματος [6-10].

Στόχος μας είναι να μελετήσουμε τις γνώσεις που ήδη έχουν οι μαθητές για την φυσική επιστήμη. Αυτές οι γνώσεις έχουν αποκτηθεί από μία τυπική και συμβατική διδασκαλία βασισμένη στο σχολικό πρόγραμμα σπουδών. Δεύτερον, θα συγκρίνουμε τις γνώσεις αυτές που θα αποκτούν σταδιακά οι μαθητές μέσα από τις εφαρμογές AR.

### **3.3.1 Η διαδικασία της συστηματικής ανασκόπησης**

Μια ανασκόπηση λέγεται συστηματική όταν βασίζεται σε μια σαφώς διατυπωμένη ερώτηση, προσδιορίζει σχετικές μελέτες, αξιολογεί την ποιότητά τους και συνοψίζει τα αποδεικτικά στοιχεία κατά τη χρήση μιας συγκεκριμένης μεθοδολογίας. Είναι μια ρητή και συστηματική προσέγγιση που διακρίνει τις συστηματικές κριτικές από τις παραδοσιακές κριτικές και τα σχόλια. Η μεθοδολογία που ακολουθεί η συστηματική ανασκόπηση είναι συγκεκριμένη και αποτελείται από πέντε βασικά βήματα, όπου εξετάζονται αναλυτικά παρακάτω:

#### **Βήμα 1: Διαμόρφωση ερωτήσεων για ανασκόπηση**

Τα ζητήματα που αναμένουν επίλυση από την εξέταση πρέπει να καθορίζονται με τη μορφή ξεκάθαρων και δομημένων ερωτήσεων πριν ξεκινήσει η ανασκόπηση. Μόλις τεθούν οι ερωτήσεις, επιτρέπονται οι τροποποιήσεις στο πρωτόκολλο μόνο εάν γίνουν αντιληπτοί εναλλακτικοί τρόποι προσδιορισμού των συγκεκριμένων αποτελεσμάτων ή σχεδίων μελέτης που διεξάγεται.

#### **Βήμα 2: Ταυτοποίηση σχετικής εργασίας**

Η αναζήτηση μελετών πρέπει να είναι εκτεταμένη. Πολλαπλές πηγές (τόσο ηλεκτρονικές όσο και τυπωμένες) πρέπει να αναζητηθούν χωρίς γλωσσικούς περιορισμούς. Τα κριτήρια επιλογής της μελέτης πρέπει να ρέουν απευθείας από τις ερωτήσεις ανασκόπησης και να προσδιοριστούν εκ των προτέρων. Σκοπός αυτού του βήματος λοιπόν, είναι η σωστή και εμπεριστατωμένη καταγραφή των λόγων ένταξης ή αποκλεισμού της εν λόγω πηγής/μελέτης.

### Βήμα 3: Αξιολόγηση της ποιότητας των μελετών

Η αξιολόγηση της ποιότητας της μελέτης είναι σχετική με κάθε βήμα μιας ανασκόπησης. Η διατύπωση ερωτήσεων (Βήμα 1) και τα κριτήρια επιλογής μελέτης (Βήμα 2) θα πρέπει να περιγράφουν το ελάχιστο αποδεκτό επίπεδο σχεδίασης. Οι επιλεγμένες μελέτες πρέπει να υπόκεινται σε μια πιο εκλεπτυσμένη ποιοτικά αξιολόγηση με τη χρήση γενικών οδηγών κριτικής αξιολόγησης και λίστες ελέγχου ποιότητας βάσει σχεδιασμού (Βήμα 3). Αυτές οι λεπτομερείς ποιοτικές εκτιμήσεις θα χρησιμοποιηθούν για τη διερεύνηση της ετερογένειας και την ενημέρωση αποφάσεων σχετικά με την καταλληλότητα της μετα-ανάλυσης (Βήμα 4). Επιπλέον, βοηθούν στην αξιολόγηση των συμπερασμάτων και προτάσεων για μελλοντική έρευνα (Βήμα 5).

### Βήμα 4: Σύνοψη των στοιχείων/αποτελεσμάτων

Η σύνθεση δεδομένων αποτελείται από ένα πίνακα με τα χαρακτηριστικά της μελέτης, της ποιότητας και των επιπτώσεων της καθώς και τη χρήση στατιστικών μεθόδων για διερεύνηση διαφορών μεταξύ των μελετών σε συνδυασμό με των αποτελεσμάτων αυτών (μετα-ανάλυση).

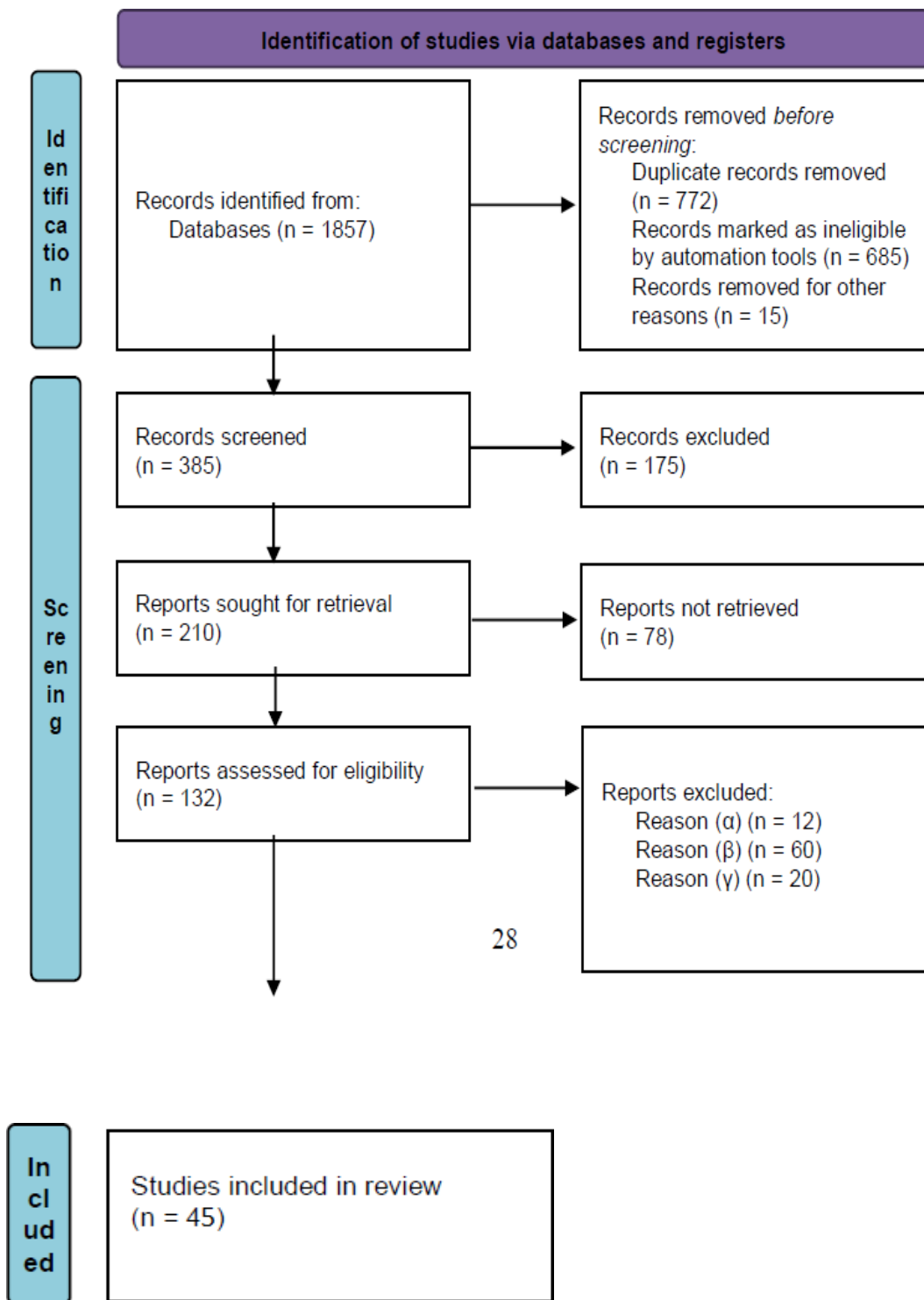
Η εξερεύνηση της ετερογένειας και των πηγών της πρέπει να προγραμματιστούν εκ των προτέρων (Βήμα 3). Εάν τελικά δεν μπορεί να γίνει η μετα-ανάλυση, μπορεί να είναι εφικτή η μετα-ανάλυση σε υποομάδες.

### Βήμα 5: Ερμηνεία των ευρημάτων

Τα θέματα που επισημαίνονται σε καθένα από τα τέσσερα παραπάνω βήματα πρέπει να ενωθούν. Ο κίνδυνος μεροληψίας δημοσίευσης και σχετικών προκαταλήψεων θα πρέπει να ερευνηθεί. Η εξερεύνηση της ετερογένειας θα βοηθήσει να προσδιοριστεί εάν η συνολική περίληψη είναι αξιόπιστη και, εάν όχι, οι επιπτώσεις που θα παρατηρηθούν σε μελέτες υψηλής ποιότητας θα χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία συμπερασμάτων. Οποιοσδήποτε συστάσεις πρέπει να βαθμολογούνται αναφορικά με τα πλεονεκτήματα και τις αδυναμίες των αποδεικτικών στοιχείων. Για τη διερεύνηση της χρήσης της επαυξημένης πραγματικότητας στην εκπαίδευση στο μάθημα της Φυσικής και προκειμένου να δοθεί απάντηση στα παραπάνω ερωτήματα θα πραγματοποιηθεί μια συστηματική ανασκόπηση πάνω στο θέμα.

### 3.4 Υλοποίηση του ερευνητικού σχεδιασμού

Για την εύρεση σχετικών πηγών βιβλιογραφίας, χρησιμοποιήθηκαν επτά γνωστές διαδικτυακές βάσεις δεδομένων έρευνας που σχετίζονται με την εκπαίδευση και την τεχνολογία (ACM Digital Library, ERIC, IEEEExplore, ISI Web of Science, ScienceDirect, Scopus και Springer), χρησιμοποιώντας τις εξής λέξεις κλειδιά στην αγγλική γλώσσα: “augmented reality” AND (education OR learning) AND (physics OR science OR STEAM). Η τελευταία αναζήτηση πραγματοποιήθηκε στις 2 Αυγούστου 2022. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε αναζήτηση στην ελληνική γλώσσα στο Google Scholar. Η αναζήτηση παρήγαγε 1857 αποτελέσματα από όρους αναζήτησης που χρησιμοποιήθηκαν, συμπεριλαμβανομένων 772 διπλότυπων, τα οποία διαγράφηκαν. Οι τίτλοι και οι περιλήψεις εξετάστηκαν για να καθοριστεί εάν ήταν κατάλληλες για τους σκοπούς της μελέτης. Κατά τη διάρκεια αυτής της εξέτασης, υιοθετήθηκε ένα σύνολο κριτηρίων ένταξης και αποκλεισμού (βλ. Πίνακα 3.1). Η ερευνήτρια ανέπτυξε αυτήν τη λίστα κριτηρίων προσαρμόζοντας καθιερωμένα κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν σε προηγούμενες ανασκοπήσεις. Με την ανασκόπηση των τίτλων και των περιλήψεων, ο αριθμός των άρθρων μειώθηκε σε 132. Στη συνέχεια, τα επιλεγμένα άρθρα εξετάστηκαν από την ερευνήτρια για να καθοριστεί εάν ήταν κατάλληλα για τους σκοπούς της μελέτης. Τα άρθρα που τελικά χρησιμοποιήθηκαν στην ανασκόπηση ανέρχονται σε 45. Η όλη διαδικασία της επιλογής έγινε σύμφωνα με τη μέθοδο PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) (βλ. Διάγραμμα 3.1).



Διάγραμμα 3.1. Διάγραμμα ροής τύπου PRISMA

Το PRISMA είναι ένα ελάχιστο σύνολο στοιχείων που βασίζεται σε στοιχεία για αναφορά σε συστηματικές ανασκοπήσεις και μεταanalύσεις. Εστιάζει κυρίως στην αναφορά ανασκοπήσεων που αξιολογούν τα αποτελέσματα των παρεμβάσεων, αλλά μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως βάση για την αναφορά συστηματικών ανασκοπήσεων με στόχους άλλους από την αξιολόγηση των παρεμβάσεων (π.χ. αξιολόγηση αιτιολογίας, διάγνωσης ή πρόγνωσης). Το PRISMA στοχεύει να βοηθήσει τους συγγραφείς να βελτιώσουν την αναφορά συστηματικών ανασκοπήσεων και μεταanalύσεων. Ακόμη, μπορεί να είναι χρήσιμο για την κριτική αξιολόγηση δημοσιευμένων συστηματικών κριτικών, αν και δεν είναι ένα εργαλείο αξιολόγησης ποιότητας για τη μέτρηση της ποιότητας μιας συστηματικής ανασκόπησης.

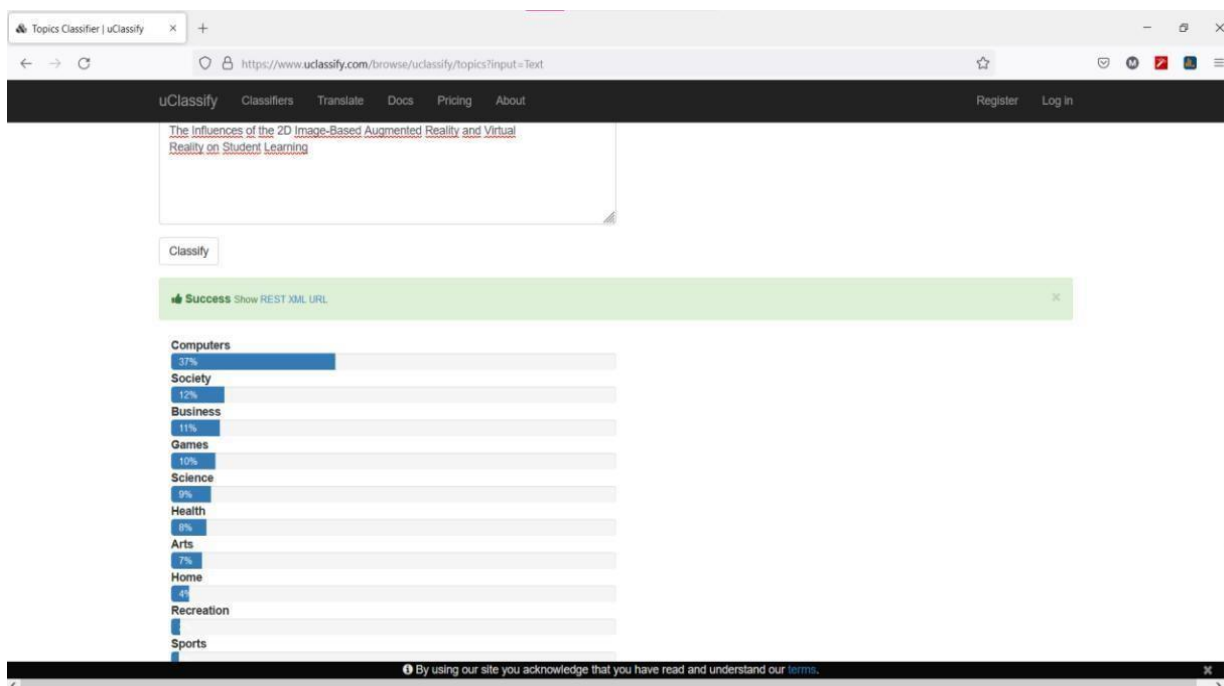
Για λόγους ποιότητας, προτιμήθηκε η επιλογή αναθεωρημένων εργασιών που χρησιμοποίησαν ποιοτική/και ποσοτική ανάλυση των αποτελεσμάτων, καθώς θεωρούνται οι πιο ακριβείς μορφές πειραματικής έρευνας για την απόδειξη ή την απόρριψη μιας υπόθεσης μέσω στατιστικής ανάλυσης. Για να ταξινομηθεί ένα πείραμα ως έγκυρος πειραματικός σχεδιασμός, πρέπει να πληρούνται τα ακόλουθα: (α) Το ερευνητικό ερώτημα θα πρέπει να είναι σαφώς καθορισμένο και επαρκώς τεκμηριωμένο. (β) Η μέθοδος δειγματοληψίας θα πρέπει να είναι κατάλληλη για τα ερευνητικά ερωτήματα και τις μεθόδους εκπαιδευτικού σχεδιασμού. (γ) Τα δεδομένα πρέπει να αναλύονται κατάλληλα. (δ) Η αναλυτική περιγραφή των ευρημάτων θα πρέπει να παρέχεται είτε με ποιοτικά είτε με ποσοτικά δεδομένα. (ε) Το νόημα ή η συνάφεια της μελέτης θα πρέπει να έχει ορισμένες πρακτικές επιπτώσεις για την απόκτηση γνώσεων [70].

Πίνακας 3. 1 Κριτήρια αποκλεισμού και εισόδου

Κριτήρια εισόδου	Κριτήρια αποκλεισμού
(α) Δημοσίευση μέχρι και τον Αύγουστο του 2022. (β) Άρθρο έγκυρου περιοδικού με κριτές. (γ) Διάθεση σε πλήρες κείμενο. (δ) Έρευνα. (ε) Σχετίζεται με την εκμάθηση της φυσικής. (στ) Περιγράφονται εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας στην εκπαίδευση των φυσικών επιστημών ως κύριο συστατικό.	(α) Ανασκόπηση (β) Μελέτες που ανέφεραν τον όρο «επαυξημένη πραγματικότητα» αλλά αφορούσαν την «εικονική πραγματικότητα» ή «μικτή πραγματικότητα». (γ) Έμφαση στον σχεδιασμό και την ανάπτυξη εφαρμογών σε αντίθεση με τα αποτελέσματα των μαθητών.

### 3.5 Αποτελέσματα Ανασκόπησης

Η αναζήτηση στις βάσεις δεδομένων επέστρεψε 1857 εγγραφές από τις οποίες οι 772 ήταν διπλότυπες και 685 αναγνωρίστηκαν μέσω του uClassify ως ακατάλληλες. Το uClassify είναι ένας ταξινομητής μηχανικής μάθησης. Οι ταξινομητές μηχανικής μάθησης είναι στατιστικά μοντέλα που χρησιμοποιούν δεδομένα εκπαίδευσης για την ταξινόμηση των εγγραφών σύμφωνα με τη συνάφειά τους [66]. Μπορούν να βαθμονομηθούν για να επιτύχουν ένα δεδομένο επίπεδο ανάκλησης, επιτρέποντας έτσι στους αναθεωρητές να εφαρμόσουν κανόνες διαλογής, όπως η εξάλειψη των εγγραφών ή η αντικατάσταση της διπλής με μία απλή διαλογή. Στην εικόνα 3.1 διακρίνεται μέσω στιγμιότυπου οθόνης το uClassify κατά την χρήση του για την παρούσα εργασία.



Εικόνα 3.1 Ο ταξινομητής μηχανικής μάθησης uClassify

Από τις εγγραφές που τελικά ανακτήθηκαν, οι 12 ήταν ανασκοπήσεις, στις 65, αν και αναφέρονταν ο όρος «επαυξημένη πραγματικότητα», η έρευνα αφορούσε την «εικονική πραγματικότητα» ενώ σε 20 έμφαση ήταν στον σχεδιασμό των εφαρμογών μόνο δηλαδή όχι στα μαθησιακά αποτελέσματα που είναι μάλιστα στόχος της παρούσας εργασίας. Έτσι, στην ανασκόπηση συμπεριλήφθηκαν 45 άρθρα που κάλυπταν επακριβώς τα κριτήρια εισόδου.

### 3.6 Επίλογος

Υπάρχει αρκετά μεγάλο εύρος στη βιβλιογραφία που αφορά έρευνες για τη χρήση της ΕΠ στην εκπαίδευση και συγκεκριμένα στην διδασκαλία εννοιών και φαινομένων φυσικής. Η αποδοτικότερη προσέγγιση για την επιλογή των άρθρων που θα ενταχθούν σε μια βιβλιογραφική ανασκόπηση όπως η παρούσα, φαίνεται να είναι η μέθοδος PRISMA η οποία, εξάλλου, έχει αναπτυχθεί για αυτόν τον σκοπό συγκεκριμένα.



## Κεφάλαιο 4ο: Αποτελέσματα

### 4.1 Εισαγωγή

Στον πίνακα 4.1 δίνονται συνοπτικά οι μεθοδολογίες και τα αποτελέσματα των άρθρων που συμμετείχαν στην ανασκόπηση.

Οι εγγραφές, ανάλογα με το πεδίο έρευνας ομαδοποιήθηκαν για λόγους ευκολίας της ανασκόπησης, σε τέσσερις κατηγορίες. Έτσι, έχουμε έρευνες για την ΕΠ:

- ως συμπληρωματικής στην τρέχουσα παιδαγωγική,
- ως μέσο για την εκπαίδευση εκπαιδευτικών φυσικής,
- ως αντικείμενο μελέτης στην έρευνα για τη φυσική στην εκπαίδευση, και
- ως εξέλιξη πέρα από την έρευνα για τη φυσική στην εκπαίδευση.

Με βάση αυτές τις κατηγορίες αναλύονται τα αποτελέσματα της ανασκόπησης.

Πίνακας 4.1 Μεθοδολογίες και αποτελέσματα των άρθρων που συμμετείχαν στην ανασκόπηση

Μελέτη	Συμμετέχοντες	Χώρα	Μέθοδος	Αποτελέσματα
[112]	22 καθηγητές ΔΕ με προϋπηρεσία στις Φυσικές επιστήμες τα έτη 2014 – 2016 (8: 2014-2015, 16: 2015-2016 / 2 καθηγητές συμμετείχαν και στα δύο σχολικά έτη)	Ρουμανία	Ποσοτική έρευνα. Δραστηριότητα 1: Workshop - AugmentedReality και MobileLearning με χρήση της εφαρμογής Aurasma Δραστηριότητα 2: Προσομοίωση μαθησιακών δραστηριοτήτων με χρήση MAR Δραστηριότητα 3: Εξωσχολικές Δραστηριότητες Φυσικής	Η ΕΠ μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην επιστημονική εκπαίδευση και να προσφέρει μια μεγάλη ευκαιρία για την ανάπτυξη των δεξιοτήτων που απαιτούνται σε μια κοινωνία που βασίζεται στην τεχνολογία και τη γνώση.
[93]	76 πρωτοετείς φοιτητές ΤΕ στο τμήμα Φυσικής, ηλικίας 18-20 ετών, 38 φοιτητές στην ομάδα εκπαιδευτικής παρέμβασης με ΕΠ 38 φοιτητές σε ομάδα ελέγχου τυπικής διδασκαλίας	Τουρκία	Ποσοτική έρευνα Και οι 2 ομάδες πραγματοποίησαν 5 πειράματα φυσικής. Οι φοιτητές της ομάδας ελέγχου πραγματοποίησαν τα πειράματά τους χρησιμοποιώντας τα παραδοσιακά εργαστηριακά τους εγχειρίδια και υπό την επίβλεψη του εκπαιδευτή στο εργαστήριο. Οι φοιτητές της πειραματικής ομάδας πραγματοποίησαν τα πειράματά τους χρησιμοποιώντας τα εργαστηριακά τους εγχειρίδια με τη βοήθεια AR και υπό την επίβλεψη	Η τεχνολογία ΕΠ βελτίωσε τις εργαστηριακές δεξιότητες των φοιτητών και τους βοήθησε να αποκτήσουν θετική στάση απέναντι στα εργαστήρια φυσικής

			του ίδιου εκπαιδευτή στο ίδιο επιστημονικό	
[114]	50 μαθητές ΠΕ από 3σχολεία	Καζακστάν	Ποιοτική έρευνα Χρήση εικονικού εργαστηρίου (VirtualLaboratory) κατά τη διάρκεια του μισού σχολικού έτους	88% των παιδιών βρήκε το εργαστήριο χρήσιμο για την μελέτη της φυσικής
[115]	64 μαθητές ΔΕ (λυκείου) χωρίστηκαν τυχαία στην πειραματική ομάδα ή στην ομάδα ελέγχου για να μάθουν τις βασικές αρχές του ηλεκτρομαγνητισμού	Ισπανία	Ποσοτική έρευνα Οι μαθητές πραγματοποίησαν μια δραστηριότητα πάνω στον ηλεκτρομαγνητισμό. Η πειραματική ομάδα χρησιμοποίησε μια εφαρμογή ΕΠ και η ομάδα ελέγχου μια εφαρμογή του διαδικτύου. Πριν την δραστηριότητα οι μαθητές συμπλήρωσαν ένα ερωτηματολόγιο. Μετά την δραστηριότητα οι μαθητές συμπλήρωσαν ένα ερωτηματολόγιο καθώς και το FlowStateScale	Η προσέγγιση της επαυξημένης πραγματικότητας ήταν πιο αποτελεσματική στην προώθηση της γνώσης των μαθητών σχετικά με τις ηλεκτρομαγνητικές έννοιες και φαινόμενα.

[116]	69 μαθητές ΔΕ (λυκείου) Ομάδα ελέγχου 1: n=25 Ομάδα ελέγχου 2: n=20 Πειραματική ομάδα: n=24	Τουρκία	Ποσοτική έρευνα Ομάδα ελέγχου 1: Διδάχθηκε τον μαγνητισμό στην τάξη Ομάδα ελέγχου 2: Διδάχθηκε τον μαγνητισμό στο εργαστήριο Πειραματική ομάδα: Διδάχθηκε τον μαγνητισμό με τη χρήση ΕΠ	Στις μαθησιακές δραστηριότητες με ΕΠ, παρατηρήθηκε ότι οι μαθητές συμμετείχαν περισσότερο, έδειχναν πιο άνετοι, μπορούσαν να απαντήσουν σε ερωτήσεις σχετικά με το θέμα πιο εύκολα, είχαν αυξημένη αυτοπεποίθηση και παρουσίασαν υψηλότερα επίπεδα ακαδημαϊκού επιτεύγματος στη φυσική. Η ΕΠ δεν θα πρέπει να θεωρείται ως ανεξάρτητο μαθησιακό περιβάλλον για τη διδασκαλία της φυσικής, αλλά θα ήταν πιο αποτελεσματική ως συμπληρωματικό του εργαστηριακού περιβάλλοντος.
[17]	54 μαθητές ΠΕ (δημοτικού) ηλικίας 10-11 ετών Ομάδα ελέγχου: χρήση VR Πειραματική ομάδα: χρήση AR	Ταϊβάν	Μικτή έρευνα Οι μαθητές διδάχθηκαν τις φάσεις του φεγγαριού και η ομάδα ελέγχου επεξεργάστηκε δεδομένα από VR ενώ η πειραματική από AR και απάντησαν στις ερωτήσεις του διαγωνίσματος	Τα πραγματικά αντικείμενα που παρουσιάζονται στο σύστημα ΕΠ μπορούσαν να μειώσουν το νοητικό φορτίο επειδή οι μαθητές μπορούσαν να εκλάβουν τα πραγματικά αντικείμενα του συστήματος ΕΠ ως αντικείμενα αναφοράς της κίνησης της σελήνης
[117]	Δεν αναφέρεται αριθμός. Μαθήτριες ΔΕ από ιδιωτικό σχολείο στην Μανίλα ηλικίας 13-14 ετών	Φιλιππίνες	Ποιοτική έρευνα Διδασκαλία φυσικής με χρήση ΕΠ	Η ΕΠ είναι ένα εργαλείο που ενισχύει την οπτικοποίηση των εννοιών μέσω στοιχείων εικονικών και πραγματικών εικόνων, επιτρέπει

				<p>στους μαθητές να χαρτογραφούν εύκολα τα φυσικά χαρακτηριστικά και τους βοηθά να αναπτύξουν νοητικές εικόνες για περαιτέρω συζήτηση. Η ΕΠ όχι μόνο βελτιώνει τα κίνητρα, αλλά ενεργοποιεί επίσης περισσότερη αλληλεπίδραση μαθητή-μαθητή και αλληλεπίδραση δασκάλου-μαθητή</p>
[118]	10 νηπιαγωγοί <b>ΠΕ</b>	Τουρκική Δημοκρατία της Βόρειας Κύπρου	Ποιοτική έρευνα Εφαρμογή ΕΠ βασισμένη σε Flashcards για διδασκαλία εννοιών των φυσικών επιστημών	<p>Η τεχνολογία ΕΠ επηρέασε θετικά τις διαδικασίες μάθησης και διδασκαλίας στην προσχολική εκπαίδευση Η τεχνολογία ΕΠ υποστηρίζει τους μαθητές στη χρήση της τεχνολογίας και επίσης εφιστά την προσοχή τους στο μάθημα, ενώ βοηθά τους δασκάλους προσχολικής ηλικίας να διδάξουν διαφορετικά χαρακτηριστικά</p>
[109]	44 μαθητές <b>ΔΕ</b> (Ε΄ Δημοτικού) Ομάδα ελέγχου: n=22 Ομάδα παρέμβασης n=22	Ελλάδα	Ποσοτική έρευνα Ομάδα παρέμβασης: Χρήση βιβλίου φυσικής ΕΠ Ομάδα ελέγχου: Χρήση συμβατικού βιβλίου φυσικής	<p>Θετική επίδραση όσον αφορά τα μαθησιακά αποτελέσματα και ενίσχυση του ενδιαφέροντος και της θετικής στάσης των μαθητών/-ριών, αρχικά, για το μάθημα της Φυσικής</p>
[102]	38 μαθητές <b>ΔΕ</b> (γυμνασίου) σε δύο ομάδες, ομάδα ελέγχου και ομάδα παρέμβασης	Κίνα	Ποσοτική έρευνα Ομάδα Παρέμβασης: Διδασκαλία μαγνητικού πεδίου	<p>Το λογισμικό ανίχνευσης κίνησης που βασίζεται σε ΕΠ μπορεί να βελτιώσει τη μαθησιακή στάση</p>

			με χρήση ΕΠ Ομάδα ελέγχου: διδασκαλία μαγνητικού πεδίου με χρήση συμβατικής διδασκαλίας	και τα μαθησιακά αποτελέσματα των μαθητών
[50]	Δεν αναφέρεται	Ινδονησία	Μικτή έρευνα Μικτή μάθηση (e- class) είναι εφαρμογές edmodo και andtinkercad για το μάθημα της φυσικής	Η προσέγγιση μεικτής μάθησης στη φυσική με χρήση επαυξημένης πραγματικότητας μπορεί να βελτιώσει τις μαθησιακές δραστηριότητες των μαθητών
[108]	60 μαθητές ΔΕ (γυμνασίου) Ομάδα ελέγχου: Διδασκαλία της μεταφοράς θερμότητας με χρήση ΕΠ n=30 Ομάδα παρέμβασης n=30	Ινδονησία	Ποσοτική έρευνα Πειραματική ομάδα: διδασκαλία κυμάτων και δονήσεων με χρήση ΕΠ Ομάδα ελέγχου: διδασκαλία κυμάτων και δονήσεων με χρήση συμβατικών μέσων	Υπάρχουν διαφορές στα μαθησιακά αποτελέσματα καθώς και στα μαθησιακά ενδιαφέροντα των μαθητών που σπουδάζουν φυσική χρησιμοποιώντας ΕΠ
[73]	37 μαθητές ΔΕ (γυμνασίου)	Ινδονησία	Ποιοτική έρευνα Διδασκαλία της μεταφοράς θερμότητας με χρήση ΕΠ	Μέτρια αύξηση της κατανόησης των εννοιών της φυσικής ( $g = 0.52$ ) Θετική στάση μαθητών απέναντι στο εργαστήριο φυσικής με ΕΠ
[98]	98 μαθητές ΔΕ (λυκείου) διαχωρισμένοι σε δύο ομάδες, ελέγχου και πειραματική	Δεν αναφέρεται	Ποσοτική έρευνα Η ερευνητική ομάδα ανέπτυξε το AROSE (Augment Reality Optical Simulation Experiments), μια πειραματική εφαρμογή ΕΠ για το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο για την πειραματική ομάδα, ενώ η	Η ενσωμάτωση της τεχνολογίας ΕΠ στις τάξεις φυσικής μπορεί (1) να ενισχύσει σημαντικά τη μαθησιακή αυτο- αποτελεσματικότητα των μαθητών στη φυσική, (2) καθοδηγεί τους μαθητές να είναι περισσότερο διατεθειμένοι σε

			ομάδα ελέγχου χρησιμοποίησε μια επίδειξη Flash για το ίδιο υλικό	αντιλήψεις υψηλότερου επιπέδου για την εκμάθηση της φυσικής παρά σε κατώτερες αντιλήψεις και (3) διεγείρει τα κίνητρα των μαθητών να εμβανθούν στη γνώση.
[83]	111 μαθητές ΔΕ της πέμπτης τάξης σε δύο ομάδες, ελέγχου (n=55) και ομάδα εκπαιδευτικής παρέμβασης (n=56)	Κίνα	Ποσοτική έρευνα Ομάδα παρέμβασης: αναστραμμένο σύστημα εκμάθησης που βασίζεται σε ΕΠ Ομάδα ελέγχου: συμβατική προσέγγιση αναστραμμένης μάθησης	Η βασισμένη στην ΕΠ προσέγγιση αναστραμμένης μάθησης όχι μόνο ωφέλησε τους μαθητές όσον αφορά την προώθηση της απόδοσης του έργου τους, αλλά βελτίωσε επίσης τα κίνητρα μάθησης, την κριτική σκέψη και την ομαδική αυτοαποτελεσματικότητα
[119]	14 μαθητές ΠΕ (δημοτικού ) μέσης ηλικίας 10 ετών και 3 δάσκαλοι	Ελλάδα	Μικτή έρευνα Αξιολόγηση μιας εφαρμογής εκμάθησης βασισμένη σε παιχνίδια επαυξημένης πραγματικότητας (ARGBL) για την υλοποίηση πειραμάτων φυσικής	Η αξιολόγηση της χρηστικότητας του συστήματος είναι πολλά υποσχόμενη, υποδεικνύοντας ότι η εφαρμογή ARGBL έχει τη δυνατότητα να είναι ένα εύχρηστο εκπαιδευτικό εργαλείο για τη βελτίωση όχι μόνο της διδασκαλίας των πειραμάτων φυσικής στο δημοτικό σχολείο αλλά και της μαθησιακής διαδικασίας, επηρεάζοντας θετικά τα κίνητρα και την δέσμευση των μαθητών
[120]	10 μαθητές ΔΕ (γυμνασίου) χωρισμένοι σε 2 ομάδες (παρέμβασης και	Δεν αναφέρεται	Ποσοτική έρευνα Ομάδα Παρέμβασης: εκμάθηση	ΕΠ έχει τη δυνατότητα να είναι αποτελεσματική στη διδασκαλία σύνθετων

	ελέγχου)		ηλεκτρομαγνητισμ ού με χρήση βιβλίου ΕΠ Ομάδα ελέγχου: εκμάθηση ηλεκτρομαγνητισμ ού με χρήση των συμβατικών βιβλίων	τρισιδιάστατων εννοιών
[78]	Πρωτοετείς φοιτητές ΤΕ φυσικής	Γερμανία	Μικτή έρευνα Χρήση μικτής πραγματικότητας με το HoloLens για την πραγματοποίηση πειράματος θερμικής ροής	Η μέθοδος μικτής πραγματικότητας δεν έχει μόνο το πλεονέκτημα της εγγενούς συνάφειας, αλλά και της χωρικής και χρονικής γειννίασης, η οποία υποτίθεται ότι υποστηρίζει τη μαθησιακή διαδικασία των φοιτητών
[69]	Μαθητές ΔΕ (γυμνασίου)	Δεν αναφέρεται	Ποιοτική έρευνα Χρήση ενός τρισιδιάστατου συστήματος παρακολούθησης κίνησης που εμφανίζει τις τροχιές ως επαυξημένη πραγματικότητα σε πραγματικό χρόνο σε μια συσκευή tablet	Το σύστημα επιτρέπει την εύκολη παρατήρηση τρισιδιάστατης κίνησης χρησιμοποιώντας συσκευές tablet
[70]	Μαθητές ΔΕ (λυκείου)	Δεν αναφέρεται	Μικτή έρευνα Ανάπτυξη του παιχνιδιού ΕΠ ProAR για την εκμάθηση της κίνησης βλήματος	Η εφαρμογή ProAR μπορεί να παρέχει καλύτερη τρισιδιάστατη απεικόνιση της κίνησης του βλήματος στους μαθητές
[71]	10 τελειόφοιτοι φοιτητές ΤΕ φυσικής	Κορέα	Ποσοτική έρευνα Χρήση συστήματος ΕΠ που παρέχει τη φυσική παραμόρφωση και κίνηση τρισιδιάστατων ογκομετρικών	Το 93% των ερωτηθέντων απάντησαν ότι θα ήθελαν να το χρησιμοποιήσουν για εκπαίδευση

			αντικειμένων στην εκπαίδευση	
[72]	Μαθητές ΔΕ (λυκείου)	Δεν αναφέρεται	Ποιοτική έρευνα Χρήση έξυπνων γυαλιών και δεδομένων μέτρησης σε πραγματικό χρόνο για την μελέτη των νόμων του κυκλώματος του Kirchhoff στο ηλεκτρικό κύκλωμα DC	Η χρήση ΕΠ βοήθησε τους μαθητές να αντιμετωπίσουν παρανοήσεις στον ηλεκτρισμό
[75]	30 πρωτοετείς μαθητές ΤΕ επαγγελματικής σχολής	Ινδονησία	Ποσοτική έρευνα Εφαρμογή ΕΠ βασισμένη σε μέσα εκμάθησης που αναπτύχθηκε για θέματα ηλεκτρικής ενέργειας	Η βελτίωση της εννοιολογικής κατανόησης ήταν στη μεσαία κατηγορία
[81]	Φοιτητές φυσικής ΤΕ	Δεν αναφέρεται	Ποσοτική έρευνα Χρήση διαδικτυακής εφαρμογής μάθησης παιχνιδιοποιημένης με δυνατότητα ΑΙ στα εισαγωγικά μαθήματα φυσικής του πανεπιστημίου	Η πλατφόρμα παιχνιδιών με δυνατότητα ΑΙ χρησιμεύει ως ένα αποτελεσματικό εργαλείο ανατροφοδότησης προς τον εκπαιδευτικό για τη βελτιστοποίηση και τον επανασχεδιασμό του προγράμματος σπουδών ώστε να ταιριάζει καλύτερα στις ανάγκες του μεμονωμένου μαθητή
[88]	21 εκπαιδευτικοί μεταπτυχιακής φοίτησης ΤΕ	ΗΠΑ	Ποιοτική έρευνα Αξιολόγηση κατανόησης και σχεδιασμού των οπτικοποιήσεων ΕΠ από τους συμμετέχοντες	Όλοι οι εκπαιδευτικοί που συμμετείχαν ήταν σε θέση να δημιουργήσουν έννοιες ΕΠ
[89]	Φοιτητές ΤΕ παιδαγωγικού	Τουρκία	Ποιοτική έρευνα Χρήση παιχνιδιών ΕΠ στην εκπαιδευτική	Δεν υπήρξε σημαντική διαφοροποίηση στην άποψη των

			διαδικασία της εκμάθησης εννοιών φυσικής	εκπαιδευτικών για τη χρήση ψηφιακών εκπαιδευτικών παιχνιδιών ως προς το συναισθηματικό στοιχείο, την αντιληπτή χρησιμότητα, τον αντιληπτό έλεγχο και την κλίμακα γενικά
[90]	82 φοιτητές <b>ΤΕ</b>	Τουρκία	Ποιοτική έρευνα Αξιολόγηση εφαρμογής ΕΠ για κινητά που βασίζεται	Οι φοιτητές ήταν πολύ ενθουσιασμένοι που χρησιμοποιούσαν την ΕΠ για πρώτη φορά στη μάθησή τους
[91]	87 φοιτητές <b>ΤΕ</b> παιδαγωγικής	Ισπανία	Ποιοτική έρευνα Χρήση μεθόδων ΕΠ για τη διδασκαλία εννοιών φυσικής	Οι εφαρμογές ΕΠ επιτρέπουν μεγαλύτερο ενθουσιασμό από την πλευρά των μαθητών, με σημαντικά πλεονεκτήματα στη δημιουργικότητα, την καινοτομία, τη συμμετοχή και ιδιαίτερα στην παρακίνηση των συμμετεχόντων
[96]	69 φοιτητές <b>ΤΕ</b> Ομάδες ελέγχου: n=29 Ομάδα παρέμβασης: n=40	Κύπρος	Ποιοτική έρευνα Χρήση ΕΠ στην εκπαίδευση για εκμάθηση εννοιών φυσικής	Η αντιληπτή ευκολία χρήσης των φοιτητών σχετικά με τις εφαρμογές ΕΠ σε εκπαιδευτικά περιβάλλοντα έχει ισχυρή θετική επίδραση στο αντιληπτό όφελος
[99]	91 μαθητές <b>ΔΕ</b> (γυμνασίου) Ομάδα ελέγχου: n=30 Ομάδα παρέμβασης 1: n=30 Ομάδα παρέμβασης 2: n=31	Τουρκία	Ποσοτική έρευνα Χρήση ΕΠ για την διδασκαλία εννοιών της φυσικής με της μέθοδο εκμάθησης βασισμένης στην επίλυση προβλημάτων	Η τεχνολογία ΕΠ μπορεί να είναι ένα πιθανό και αποτελεσματικό εργαλείο για την ενεργοποίηση των θετικών συναισθημάτων των μαθητών στη διαδικασία

				εκμάθησης βασισμένης στην επίλυση προβλημάτων
[106]	40 μαθητές ΔΕ (γυμνασίου) Ομάδα ελέγχου: n=26 Ομάδα παρέμβασης: n=24	Κίνα	Ποσοτική έρευνα Χρήση ΕΠ 3D για ένα πείραμα κυρτής απεικόνισης σε ένα μάθημα φυσικής	Οι μέσες βαθμολογίες της πειραματικής ομάδας αυξήθηκαν πιο σημαντικά από τις μέσες βαθμολογίες της ομάδας ελέγχου. Ωστόσο, δεν φάνηκε να υπάρχει σημαντική διαφορά στις μέσες βαθμολογίες μεταξύ των δύο ομάδων στα μετα-τεστ
[107]	101 πρωτοετείς φοιτητές ΤΕ διαχωρισμένοι σε μία πειραματική ομάδα και 2 ομάδες ελέγχου	Ταϊβάν	Ποσοτική έρευνα Ασκήσεις για τις φάσεις του φεγγαριού με χρήση ΕΠ (πειραματική ομάδα), 2D απεικόνιση (ομάδα ελέγχου 1) και 3D προσομοίωση (ομάδα ελέγχου 2)	Οι μαθητές στην προσέγγιση ΕΠ ξεπέρασαν τους άλλους δύο εκπαιδευτικούς σχεδιασμούς στη μάθηση εννοιών για τις φάσεις της Σελήνης
[21]	57 μαθητές ΠΕ (δημοτικού)	Ταϊβάν	Ποσοτική έρευνα Χρήση τεχνολογίας ΕΠ για εκμάθηση εννοιών φυσικής σε διδασκαλία βασισμένη σε κινητά	Οι μαθητές που χρησιμοποίησαν ΕΠ είχαν καλύτερα μαθησιακά αποτελέσματα
[110]	78 φοιτητές ΤΕ στο μάθημα Βασικές αρχές Ηλεκτρολόγων Μηχανικών 209 φοιτητές ΤΕ στο μάθημα Συνέχιση Ηλεκτρολόγων Μηχανικών	Ισπανία	Ποσοτική έρευνα Χρήση ΕΠ κατά τη διδασκαλία	Η εισαγωγή αυτής της τεχνολογίας έχει ορατή επίδραση στη μείωση της ακαδημαϊκής αναβλητικότητας
[111]	Φοιτητές ΤΕ νοσηλευτικής σχολής σε 2 ομάδες	Ηνωμένο Βασίλειο	Ποσοτική έρευνα Χρήση ΕΠ στο εργαστήριο φυσικής	Η ΕΠ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποτελεσματική βελτίωση του μαθησιακού

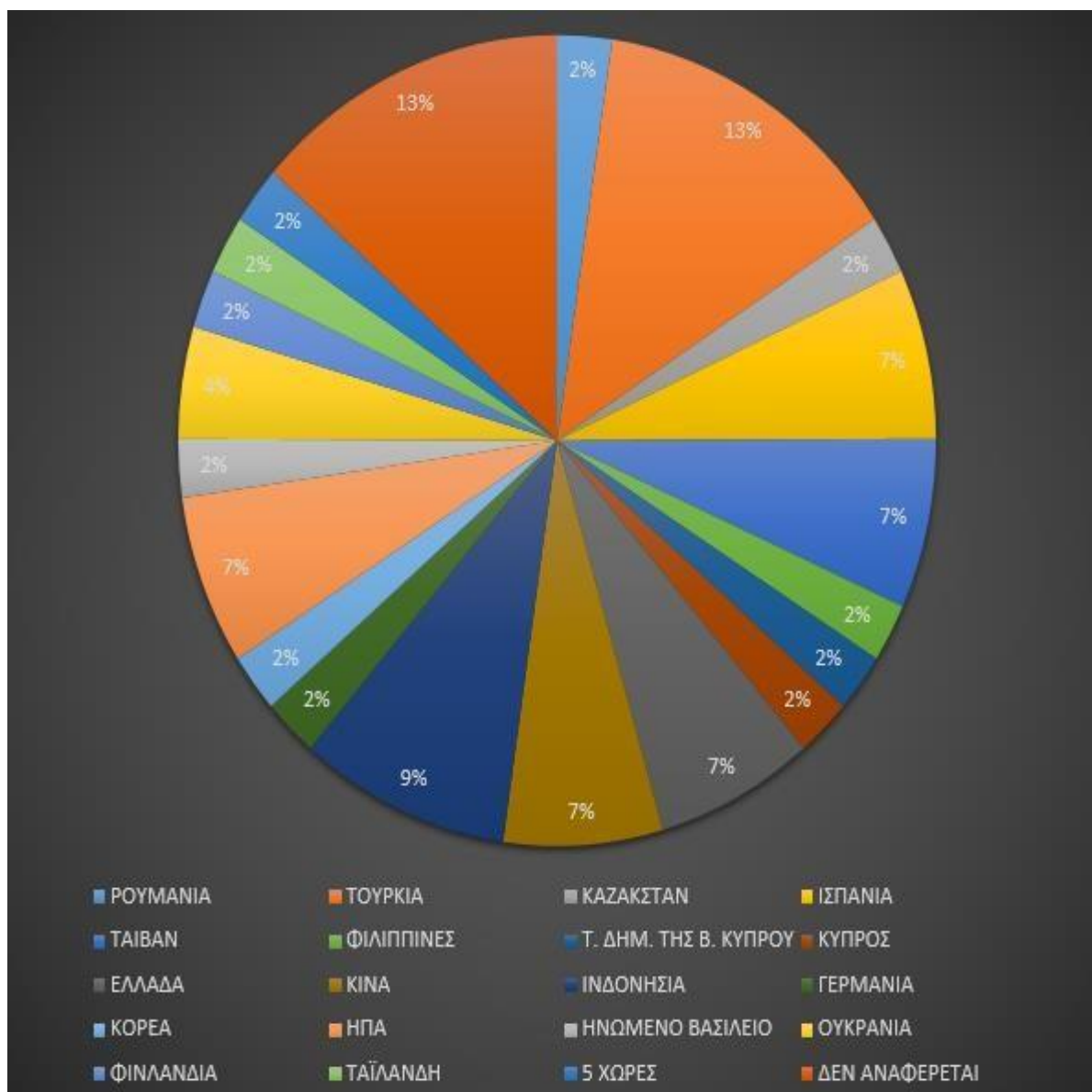
				περιβάλλοντος στο εργαστήριο
[60]	37 φοιτητές <b>ΤΕ</b>	Τουρκία	Ποσοτική έρευνα Χρήση ΕΠ στο εργαστήριο	Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι η ΕΠ είναι ένα βέλτιστο εργαλείο για τη διδασκαλία αφηρημένων θεμάτων που δεν διαθέτουν άμεση παρατήρηση και εξέταση στην εκπαίδευση των Φυσικών Επιστημών
[121]	43 μαθητές <b>ΠΕ</b> ηλικίας 6-8 ετών	ΗΠΑ	Ποσοτική έρευνα Χρήση ΕΠ για εκμάθηση Νευτώνειας δύναμης και κίνησης	Οι μικροί μαθητές μπόρεσαν να αναπτύξουν μια εννοιολογική κατανόηση της δύναμης, της καθαρής δύναμης, της τριβής και της δισδιάστατης κίνησης
[122]	35 εκπαιδευτικοί <b>ΤΕ</b> φυσικής	Νορβηγία, Δανία, Ηνωμένο Βασίλειο & Ισπανία	Ποιοτική έρευνα Αξιολόγηση της χρήσης ΕΠ στην εκπαιδευτική διαδικασία	Όλοι οι εκπαιδευτικοί αναφέρθηκαν στην ανάπτυξη της τεχνολογίας ΕΠ για την εκπαίδευση ως σημαντική μόνο εάν λάβουν υπόψη ρητά το πώς η τεχνολογία μεσολαβεί στην εκμάθηση των μαθητών σχετικά με το επιστημονικό περιεχόμενο
[123]	58 μαθητές <b>ΠΕ</b> ηλικίας 11-14 ετών σε πειραματική ομάδα και ομάδα ελέγχου	ΗΠΑ	Ποιοτική έρευνα Εκμάθηση των νόμων Bernoulli με χρήση ΕΠ	Οι μαθητές στη συνθήκη ΕΠ επιδεικνύουν σημαντικά μεγαλύτερα κέρδη στη γνώση σε σχέση με τους μαθητές σε συνθήκες μη ΕΠ

[124]	15 καθηγητές <b>ΤΕ</b> (πανεπιστημίου)	Ουκρανία	Ποιοτική έρευνα Αξιολόγηση της χρήσης ΕΠ στην διδασκαλία των εννοιών του ηλεκτρισμού στο πανεπιστήμιο	Η ανάλυση των μαθησιακών αποτελεσμάτων των μαθητών επιβεβαίωσε την αποτελεσματικότητα της χρήσης της ΕΠ στην εκπαιδευτική διαδικασία της Φυσικής
[125]	Φοιτητές <b>ΤΕ</b> παιδαγωγικής σχολής	Ουκρανία	Μικτή έρευνα Αξιολόγηση της ετοιμότητας των φοιτητών να χρησιμοποιήσουν ΕΠ στη διδασκαλία	Τα αποτελέσματα έδειξαν την παρουσία μιας σειράς προβλημάτων στην εφαρμογή της ΕΠ στην εκπαιδευτική διαδικασία των σύγχρονων εκπαιδευτικών ιδρυμάτων
[92]	146 μαθητές <b>ΔΕ</b> ηλικίας 11-13 ετών	Φινλανδία	Ποσοτική έρευνα Γνωσιακές δραστηριότητες πάνω σε έννοιες της φυσικής	Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η εμπειρία της τεχνολογίας ΕΠ ήταν επωφελής για όλους, αλλά ειδικά και για κορίτσια
[105]	4 καθηγητές <b>ΤΕ</b> (πανεπιστημίου) στο τμήμα Φυσικής & 11 καθηγητές Φυσικής σε γυμνάσιο	Ταϊλάνδη	Ποσοτική έρευνα Αξιολόγηση της χρήσης ΕΠ για τη διδασκαλία του ηλεκτρομαγνητισμ ού	Διαπιστώθηκε ότι το μαθησιακό και διδασκτικό υλικό που βασίζεται στην ΕΠ στο θέμα του Ηλεκτρομαγνητισμο ύ θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για μάθηση και διδασκαλία στο υψηλότερο επίπεδο
[113]	267 μαθητές <b>ΔΕ</b> ηλικίας 12-15 ετών	Ταϊβάν	Ποσοτική έρευνα Καταγραφή απόψεων των μαθητών για τη χρήση ΕΠ στην εκμάθηση της φυσικής	Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι μαθητές γενικά εμφάνισαν θετικές αντιλήψεις, με ισχυρότερες αντιλήψεις για την εκμάθηση της φυσικής με χρήση ΕΠ ως αυξανόμενο κίνητρο και αλληλεπίδραση

[103]	15 εκπαιδευτικοί <b>ΠΕ</b> 189 μαθητές <b>ΠΕ</b> (δημοτικού) 110 φοιτητές <b>ΤΕ</b> πληροφορικής	Ελλάδα	Μικτή έρευνα Αξιολόγηση ενός συστήματος ΕΠ από την άποψη της χρηστικότητας, της παιχνιδοποίησης και της προθυμίας των εκπαιδευτικών να ενσωματώσουν αυτή την τεχνολογία στη διδασκαλία διαδικασία	Οι παιχνιδοποιημένες εφαρμογές ΕΠ είναι εύχρηστες και οι εκπαιδευτικοί ενδιαφέρονται να χρησιμοποιήσουν αυτές τις εφαρμογές ΕΠ στις τάξεις τους.
-------	---	--------	---	---

#### 4.2 Κατηγορίες εφαρμογών ΕΠ για τη διδασκαλία της φυσικής

Συγκεντρωτικά, ανά χώρα, οι μελέτες που αποτέλεσαν τμήμα της συστηματικής ανασκόπησης ήταν μία μελέτη στη Ρουμανία, έξι μελέτες στην Τουρκία, μία μελέτη στο Καζακστάν, τρεις μελέτες στην Ισπανία, τέσσερις μελέτες στην Ταιβάν, μία μελέτη στις Φιλιππίνες, τρεις μελέτες στην Ελλάδα, τρεις μελέτες στην Κίνα, τέσσερις μελέτες από την Ινδονησία, μία μελέτη από τη Γερμανία, μία μελέτη από την Κορέα, τρεις μελέτες από τις ΗΠΑ, μία μελέτη από την Κύπρο, μία μελέτη από το Ηνωμένο Βασίλειο, δύο μελέτες από την Ουκρανία, μία μελέτη από τη Φινλανδία και μία μελέτη από την Ταϊλάνδη. Αξίζει να σημειωθεί ότι μόνο μία μελέτη, αυτή των Nielsen et al [122], συμπεριέλαβε δείγμα από περισσότερες από μία χωρών (Νορβηγία, Δανία, Ην. Βασίλειο, Ισπανία και Ταϊλάνδη).

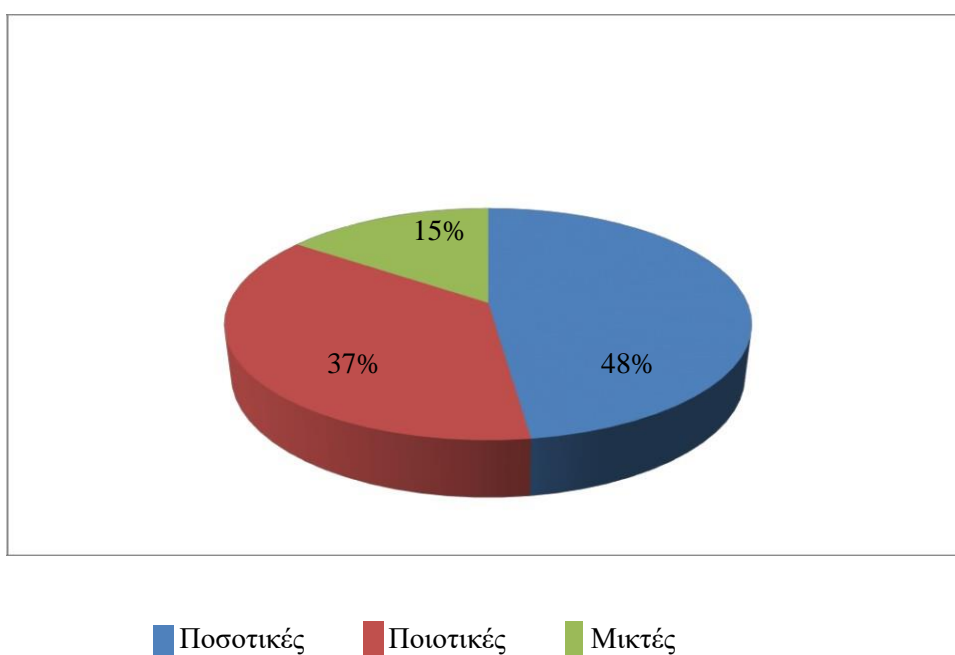


Διάγραμμα 4.1 Ποσοστά ερευνών ανά χώρα που έλαβαν μέρος στην ανασκόπηση

Στο παραπάνω διάγραμμα πίτας παρατηρούμε τα ποσοστά των ερευνών που διεξήχθησαν σε κάθε χώρα (δεν προέρχονται από συγκεκριμένες ηπείρους), σχετικά με τη χρήση της επαυξημένης πραγματικότητας στη διδασκαλία, καθώς και την τεχνολογία γενικότερα. Από τα αποτελέσματα, μπορούμε να συμπεράνουμε σε γενικές γραμμές ότι η Επαυξημένη Πραγματικότητα έχει οφέλη στις μαθησιακές ικανότητες και βελτιώνει την αξιολόγηση των μαθητών. Όπως δείχνει το διάγραμμα, κάποιες χώρες έχουν περισσότερες έρευνες στο ενεργητικό τους. Μια πιθανή ερμηνεία θα μπορούσε να είναι πως έχουν καταλάβει την αξία των ψηφιακών εφαρμογών και την αξιοποίησή τους στην εκπαίδευση μάλλον σε μεγαλύτερο βαθμό από ότι άλλες (Τουρκία, Κίνα), επομένως διεξάγουν και περισσότερες μελέτες. Φυσικά, είναι αξιόλογο και ενθαρρυντικό το γεγονός πως έτσι κι αλλιώς γίνεται μια εντατική προσπάθεια συσχέτισης της τεχνολογίας με την εκπαίδευση σε όλες τις βαθμίδες.

Οι περισσότερες από τις μελέτες που συμπεριλήφθηκαν στην ανασκόπηση χρησιμοποίησαν ποσοτικές μεθόδους έρευνας (βλ. Διάγραμμα 4.2). Με βάση τις τάσεις στην εκπαιδευτική ΕΠ, οι ποσοτικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται περισσότερο στις εκπαιδευτικές μελέτες ΕΠ. Οι ποσοτικές μέθοδοι περιλαμβάνουν μελέτες για τον προσδιορισμό της επίδρασης της χρήσης ΕΠ στις επιδόσεις των μαθητών ή για τη συλλογή απόψεων των μαθητών σχετικά με την ΕΠ μέσω ερευνών ή τεστ Likert.

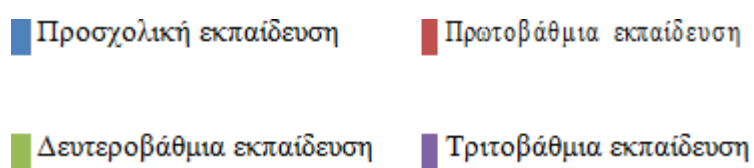
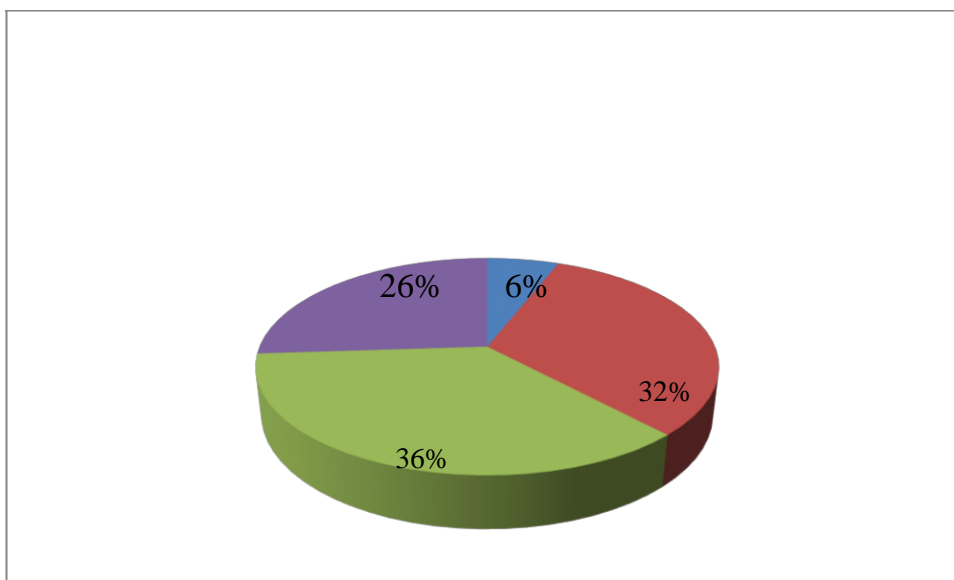
## Μέθοδος έρευνας



Διάγραμμα 4.2 Μέθοδοι έρευνας

Τέλος, οι μελέτες που συμπεριλήφθηκαν στην ανασκόπηση περιλάμβαναν σε πολύ μικρό ποσοστό μαθητές προσχολικής εκπαίδευσης. Η μεγαλύτερη έρευνα έγινε στις άλλες βαθμίδες εκπαίδευσης χωρίς κάποια από αυτές να λαμβάνει σημαντικά μεγαλύτερη προσοχή (βλ. Διάγραμμα 4.3).

## Βαθμίδα εκπαίδευσης



Διάγραμμα 4.3 Βαθμίδες εκπαίδευσης

#### 4.2.1 Η ΕΠ ως συμπληρωματική προσέγγιση στην τρέχουσα παιδαγωγική επιστήμη

Από την ανάλυση των ερευνών, φαίνεται ότι υπάρχουν πολλές εφαρμογές ΕΠ στο περιβάλλον της τάξης κάποιες από τις οποίες είναι χρήσιμες για την παράδοση θεματικών εννοιών μέσω αλληλεπίδρασης βασισμένης στην τεχνολογία με μαθητές τόσο σε σύγχρονο όσο και σε ασύγχρονο περιβάλλον διδασκαλίας και μάθησης. Για παράδειγμα, στις μελέτες εφαρμόζεται η ΕΠ για την διδασκαλία και την τοπική εφαρμογή φυσικών φαινομένων όπως η κινηματική και η δυναμική [67–69], ο ηλεκτρισμός και ο μαγνητισμός [70], [71], η οπτική [72] και η θερμική φυσική [74].

Μια άλλη έννοια που φαίνεται να αναδύεται μέσα από τις έρευνες είναι τα εικονικά εργαστήρια, τα οποία θεωρούνται μια φυσική εξέλιξη της εργαστηριακής παιδαγωγικής [75–77]. Στα εικονικά εργαστήρια, οι μαθητές έχουν την ελευθερία να εξερευνήσουν και να πειραματιστούν με περιεχόμενο εντός και εκτός του αναλυτικού προγράμματος [75]. Ωστόσο, παραμένουν ασφαλείς από φυσικούς κινδύνους, όπως ο χειρισμός διαβρωτικού υλικού, η έκθεση στη ραδιενέργεια και οι λειτουργικές δυσλειτουργίες της συσκευής [76], [77]. Για το λόγο αυτό, τα εικονικά εργαστήρια έχουν προταθεί ως μια εφικτή οδός για τη διεξαγωγή δραστηριοτήτων με ασφάλεια και εισαγωγικών μαθημάτων για νέους φοιτητές, όπου οι κίνδυνοι ασφάλειας λόγω απειρίας και αμέλειας μπορούν να μετριαστούν [77]. Επιπλέον, μέσα από τις έρευνες, γίνεται φανερό ότι η ανάπτυξη και η χρήση εικονικών εργαστηρίων γνώρισε επιτυχία όταν εφαρμόστηκε σε σύγκριση με το εργαστήριο φυσικής [78], [79]. Οι ερευνητές συμφωνούν ότι η απρόσκοπτη ενσωμάτωση των δραστηριοτήτων μάθησης που βασίζονται σε εφαρμογές μπορεί να επιτευχθεί στον εικονικό κόσμο, ιδίως εκείνες που περιλαμβάνουν συσκευές που δεν είναι εύκολα προσβάσιμες λόγω κόστους ή απαιτήσεων εκπαίδευσης [68-70], [76-78].

Οι δύσκολες δραστηριότητες προσομοίωσης αποδείχθηκε από τους Bolmsten & Manuel (2020) ότι μπορούν επίσης να ενσωματωθούν εύκολα στη μαθησιακή διαδικασία [85]. Όπως αναφέρουν, με φωτορεαλιστική και φυσική-ακριβή εφαρμογή, τα εικονικά εργαστήρια μπορούν να είναι εξαιρετικά χρήσιμα στην εκπαίδευση της φυσικής. Ωστόσο, προκειμένου να μεγιστοποιηθεί το δυναμικό της ΕΠ στην ενίσχυση της φυσικής εκπαίδευσης, θα απαιτούσε την ανάγκη για σωστή εφαρμογή και ευθυγράμμιση με τα αποτελέσματα της διδασκαλίας και της μάθησης για μια παρατεταμένη περίοδο [85]. Μία από τις σημαντικότερες επικρίσεις για τη χρήση της ΕΠ στην εκπαίδευση είναι οι συχνά εφάπαξ εφαρμογές για τη μέτρηση της αποτελεσματικότητας σε τοπικές μελέτες και μπορεί να μην δείχνουν το πλήρες βάθος της επίκλησης σκέψης ανώτερης τάξης από τους μαθητές. Κυρίως, αυτό οφείλεται στην έλλειψη οράματος και σκοπού εφαρμογής από τον εκπαιδευτή ή/και το ίδρυμα. Έτσι, ενώ έχει αντικαταστήσει κάποιο διδακτικό υλικό για την επίτευξη βασικών μαθησιακών αποτελεσμάτων, δεν μπορεί να ειπωθεί ότι η τρέχουσα χρήση της ΕΠ έχει επαναπροσδιορίσει τον τρόπο με τον οποίο διεξάγεται την παιδαγωγική.

Οι Dunseretal. [120], χρησιμοποίησαν μία ερευνητική προσέγγιση που στηρίχτηκε στην χρήση τρισδιάστατων βιβλίων με κινητές εικόνες για την ενίσχυση της εκπαιδευτικής διαδικασίας στον

τομέα των εννοιών του ηλεκτρομαγνητισμού. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι η προσέγγιση αυτή παρέχει καλύτερη κατανόηση των εννοιών του ηλεκτρομαγνητισμού σε μαθητές γυμνασίων.

Πρέπει επίσης να τονιστεί ότι η ΕΠ, έχει χρησιμοποιηθεί για την διδασκαλία του μαθήματος της φυσικής σε πολλαπλές βαθμίδες της εκπαιδευτικής διαδικασίας. Αναλυτικότερα, μελέτες την έχουν χρησιμοποιήσει στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση [102], [104], [106], [107], [112], [118], αλλά και στην προσχολική εκπαίδευση [109], [110], [115], [116].

#### 4.2.2 Εκπαίδευση εκπαιδευτικών φυσικής

Η μάθηση με βάση την προσομοίωση περιλαμβάνει μάθηση που εκτελείται σε ψηφιακό περιβάλλον, όπου οι εκπαιδευόμενοι συμπεραίνουν έννοιες με βάση ένα μοντέλο προσομοίωσης. Ο σκοπός της ενσωμάτωσης προσεγγίσεων που βασίζονται στην προσομοίωση μέσω της ΕΠ στην παιδαγωγική δεν είναι η αντικατάσταση του εκπαιδευτή, αλλά η ενίσχυση της διδακτικής εμπειρίας των εκπαιδευτικών και η διευκόλυνση της διδασκαλίας. Κατά συνέπεια, η εξοικείωση των εκπαιδευτικών με την ΕΠ (δηλαδή την εφαρμογή της και τις δυνατότητές της να εμπλέκουν τη σκέψη υψηλότερης τάξης) είναι κρίσιμη για τη διασφάλιση της επιτυχημένης και μακροπρόθεσμης εφαρμογής. Όπως έγινε φανερό από την ανάλυση των ερευνών, ορισμένοι εκπαιδευτικοί έχουν εκφράσει πιθανή χρησιμότητα προσεγγίσεων που βασίζονται σε προσομοίωση για την αντιμετώπιση σύνθετων προβλημάτων φυσικής στο επίσημο περιβάλλον της τάξης [81], [82].

Στη μελέτη που διεξήχθη από τους Tillman et al. [88], όλοι οι συμμετέχοντες ήταν δάσκαλοι είτε εν υπηρεσία είτε μετάβασης σε επίσημο διδακτικό ρόλο. Διαπίστωσαν ότι όλοι οι συμμετέχοντες δάσκαλοι ήταν σε θέση να δημιουργήσουν έννοιες ΕΠ για να συμπληρώσουν τα σχέδια μαθημάτων τους. Ωστόσο, μόνο ορισμένες από τις ιδέες ΕΠ των συμμετεχόντων εκπαιδευτικών εκμεταλλεύτηκαν πλήρως τις δυνατότητες που παρέχει η τεχνολογία ΕΠ. Οι Sarigöz [89] και Sural [90] κατέληξαν στο ίδιο συμπέρασμα αφού μελέτησαν την ανταπόκριση των υποψηφίων εκπαιδευτικών στη μικτή πραγματικότητα σε τέσσερις τομείς: συναισθηματική συνιστώσα, αντιληπτή χρησιμότητα, αντιληπτό έλεγχο και στοιχεία συμπεριφοράς. Ο Sural [90] έδειξε ότι οι συμμετέχοντες είχαν καλή γνώση των κινητών συσκευών και δίκαιη γνώση της έννοιας της ΕΠ αλλά όχι της τεχνολογίας ΕΠ λεπτομερώς. Και οι δύο διαπίστωσαν επίσης ότι, ειδικότερα, οι εκπαιδευτικοί επιστήμης είναι περισσότερο υπέρ της χρήσης της ψηφιακής τεχνολογίας, συμπεριλαμβανομένης της ΕΠ, στην τάξη. Ωστόσο, ο Sarigöz [89] σημείωσε ότι υπήρχε κάποιος διαταγμός μεταξύ των συμμετεχόντων, που αποδόθηκε στην αντιληπτή ομοιότητα με τα παιχνίδια στον υπολογιστή και στην μη εξοικείωση τους με το εικονικό περιβάλλον. Αυτά τα αποτελέσματα μπορούν να αμβλυνθούν μέσω της εκπαίδευσης εξοικείωσης.

Η ανάγκη για κατάρτιση των εκπαιδευτικών υποστηρίζεται από τους Sáez-López et al. [91]. Οι ερευνητές διεξήγαγαν μια μελέτη αξιολόγησης της ΕΠ σε εκπαιδευόμενους εκπαιδευτικούς. Τόνισαν ότι η ΕΠ δεν είναι εμπορικά διαθέσιμη στον τυπικό μαθητή. Ως εκ τούτου, οι μαθητές δεν χρησιμοποιούν συνήθως αυτόν τον πόρο στην πορεία σπουδών τους. Έτσι, όταν οι μαθητές εκτίθενται σε μια τέτοια τεχνολογία στην τάξη, συχνά προσφέρει κάποια απόσπαση της προσοχής, ακόμη και σπατάλη χρόνου. Από τα δεδομένα αξιολόγησης, μπόρεσαν να προτείνουν ότι από τη στιγμή της διαθεσιμότητας των πόρων, η επαυξημένη πραγματικότητα παρέχει οφέλη και πλεονεκτήματα με επίκεντρο την παιδαγωγική που επιτρέπουν μεγαλύτερο ενθουσιασμό από την πλευρά των μαθητών, με σημαντικά πλεονεκτήματα στην επίκληση έρευνας υψηλότερης τάξης, συμμετοχή, και κίνητρο. Τα αποτελέσματα υπογραμμίζουν την ανάγκη για αρχική κατάρτιση από εκπαιδευτικούς ώστε να μπορούν να σχεδιάζουν και να εφαρμόζουν πρακτικές με ΕΠ στη διδασκαλία και να επωφελούνται από τα οφέλη.

Υπάρχει πράγματι μια δυνατότητα για χρήση της ΕΠ στην τάξη. Ωστόσο, σε ένα περιβάλλον όπου ο δάσκαλος είναι το άτομο που ελέγχει τη διεξαγωγή του μαθήματος, ο δάσκαλος πρέπει να είναι εξοικειωμένος και σίγουρος για τη συγχώνευση ΕΠ στο σχέδιο μαθήματος προκειμένου η εμπειρία στην τάξη να είναι επωφελής. Οι δάσκαλοι διαδραματίζουν επίσης ευρύτερο ρόλο στη μετάδοση της χρησιμότητας της ΕΠ στη διοίκηση και τη διαχείριση του σχολείου. Αυτό απαιτεί εκπαιδευτική έρευνα σχετικά με την επίδραση της ΕΠ στα ακαδημαϊκά και μη ακαδημαϊκά αποτελέσματα.

Οι Nielsen et al. [122], εξέτασαν την επίδραση της ΕΠ στις ικανότητες των εκπαιδευτικών μέσα από ένα δείγμα 35 καθηγητών φυσικής. Η προτεινόμενη προσέγγιση αποτελούνταν από ένα σύστημα ΕΠ το οποίο επικεντρώνονταν σε 9 εκπαιδευτικές παραμέτρους και η ανατροφοδότηση από τους εκπαιδευτικούς έδειξε ότι μπορεί να αποτελέσει ένα αποτελεσματικό σύστημα για την ενίσχυση της εκπαιδευτικής διαδικασίας της φυσικής και την μετάδοση δύσκολων εννοιών στους μαθητές, όπως είναι για παράδειγμα οι έννοιες του ηλεκτρομαγνητισμού.

#### **4.2.3 Η ΕΠ στην έρευνα για την φυσική στην εκπαίδευση**

Οι ερευνητικοί χώροι φυσικής εκπαίδευσης επικεντρώνονται στον τρόπο εκμάθησης της φυσικής με στόχο τη βελτίωση της ποιότητας της εκπαίδευσης στη φυσική. Οι ερευνητές επικεντρώνονται στην ανάπτυξη ενός αντικειμενικού μέσου για τη μελέτη της αποτελεσματικότητας, με μετρημένα αποτελέσματα, των εκπαιδευτικών παρεμβάσεων, όπως η χρήση της τεχνολογίας. Στην περίπτωση αυτής της ανασκόπησης, η εν λόγω τεχνολογία είναι η ΕΠ.

Από τις εγγραφές που συγκεντρώθηκαν για την ανασκόπηση, έγινε φανερό ότι δεν υπάρχει έλλειψη μελετών που χρησιμοποιούν την ΕΠ ως εργαλείο παρέμβασης για τη μελέτη των ακαδημαϊκών πλεονεκτημάτων της στα ακαδημαϊκά αποτελέσματα των μαθητών, όπως η

κατανόηση εννοιών, η εκκαθάριση παρανοήσεων, η οικοδόμηση δεξιοτήτων και η βελτίωση των βαθμολογιών των τεστ.

Μια μελέτη από τους Akçayır et al. [93] διερεύνησε τα αποτελέσματα της χρήσης της ΕΠ σε εργαστήρια επιστήμης για φοιτητές του πρώτου έτους. Η ομάδα ανέπτυξε εργαστηριακά εγχειρίδια με τη βοήθεια ΕΠ, τα οποία είχαν ενσωματώσει επιδείξεις βίντεο. Διαπίστωσαν ότι η ΕΠ επηρέασε θετικά τις εργαστηριακές δεξιότητες των μαθητών, καθώς οι μαθητές δεν ήταν δεσμευμένοι στο εργαστήριο για να παρακολουθήσουν επιδείξεις. Παρατηρήθηκαν θετικά αποτελέσματα όπως μικρότερος χρόνος ολοκλήρωσης, κίνητρο για την ολοκλήρωση πειραμάτων και προθυμία για παρακολούθηση εργαστηριακών συνεδριών. Στο περιβάλλον της τάξης, οι Wahyu et al. [94] παρατήρησαν βελτιωμένο επιστημονικό αλφαριθμητικό μεταξύ των μαθητών δημοτικού, με το ίδιο να παρατηρείται μεταξύ των προπτυχιακών φοιτητών από τους Lamb et al. [95], και Kaya και Bicen [96].

Αναφορικά με την έρευνα για την φυσική στην εκπαίδευση, οι Strzys και Thees et al. [97] εξέτασαν τις επιδράσεις της ΕΠ στη μάθηση και στο γνωστικό φορτίο μεταξύ των μαθητών σε ένα πανεπιστημιακό εργαστήριο μαθημάτων φυσικής. Τόσο οι παραδοσιακές όσο και οι υποβοηθούμενες από ΕΠ ροές εργασίας διερευνήθηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος. Η συνθήκη ΕΠ δεν έδειξε κέρδος μάθησης σε ένα τεστ εννοιολογικής γνώσης, καθώς στους μαθητές δεν παρουσιάστηκαν νέες γνώσεις μεταξύ των παραδοσιακών εργαστηριακών συνεδριών και των εργαστηριακών συνεδριών με τη βοήθεια ΕΠ. Παρά το γεγονός αυτό, ανέφεραν ωστόσο ένα σημαντικά χαμηλότερο εξωτερικό γνωστικό φορτίο από την παραδοσιακή κατάσταση.

Οι Cai et al. [102] σχεδίασαν μια έρευνα για να διερευνήσουν τους μηχανισμούς πίσω από την προώθηση των κινήτρων μεταξύ των μαθητών στην τάξη, όπως η επίδραση της ΕΠ στην αποτελεσματικότητα των μαθητών και τις αντιλήψεις για τη μάθηση. Με έμφαση στη δυαδικότητα κύματος-σωματιδίου, διεξήχθη μια μελέτη παρέμβασης. Διαπίστωσαν ότι με την εισαγωγή της ΕΠ στην τάξη, οι μαθητές εμφάνισαν σημαντικές βελτιώσεις στην κατανόηση των εννοιών και στις γνωστικές δεξιότητες υψηλότερου επιπέδου. Συνολικά, οι μαθητές έδειξαν επίσης αυτοπεποίθηση στην επικοινωνία της κατανόησής τους και εξέφρασαν κλίση προς την κατάκτηση εννοιών υψηλότερου επιπέδου, ένδειξη διεγερμένου κινήτρου για μάθηση.

Οι Fidan και Tuncel [99] ενσωμάτωσαν περαιτέρω την ΕΠ στη μάθηση βάσει προβλημάτων [94], [95]. Διαπίστωσαν ότι οι μαθητές που χρησιμοποίησαν τεχνολογία ΕΠ είχαν σημαντικά υψηλότερες βαθμολογίες μαθησιακών επιτευγμάτων σε σύγκριση με τους ομολόγους τους με διδασκαλία βασισμένη σε δάσκαλο. Αυτό αποδίδεται στα καθηλωτικά και ρεαλιστικά πλαίσια που προσφέρονται από καλά σχεδιασμένα περιβάλλοντα ΕΠ, τα οποία είναι σε θέση να παρέχουν την ανάπτυξη των γνωστικών δεξιοτήτων των μαθητών και να διευκολύνουν τη μεταφορά της γνώσης σε πραγματικό περιβάλλον. Επιπλέον, η χρήση της ΕΠ στη μάθηση βάσει προβλημάτων ήταν πιο

αποτελεσματική στην προώθηση θετικών στάσεων απέναντι στα μαθήματα της φυσικής από ότι η διδασκαλία με βάση τους δασκάλους. Αυτό είναι συνεπές με τα αποτελέσματα από παρόμοιες μελέτες [96], [87].

Αναμφισβήτητα, διάφορες μεμονωμένες μελέτες έχουν δείξει βελτίωση στα ακαδημαϊκά αποτελέσματα των μαθητών, συμπεριλαμβανομένων βελτιωμένων δεξιοτήτων και εννοιών. Ωστόσο, αυτό μπορεί να μην συμβαίνει πάντα. Για παράδειγμα, μια μετα-ανάλυση από τους Yilmaz και Batdı [60], που συνθέτει υπάρχοντα ευρήματα από την έρευνα για την φυσική στην εκπαίδευση που διερευνά την επίδραση της ΕΠ στα ακαδημαϊκά επιτεύγματα, βρήκε ότι ο αντίκτυπος της ΕΠ ήταν χαμηλός. Οι Cai et al. [102] και Yen et al. [107] ανέπτυξαν ανεξάρτητα υλικά ΕΠ για να διερευνήσουν την αποτελεσματικότητα της ΕΠ για πείραμα κυρτής απεικόνισης και αστρονομία, αντίστοιχα. Και οι δύο μελέτες έδειξαν ότι δεν υπήρχε σημαντική διαφορά μεταξύ της πειραματικής και της ομάδας ελέγχου όσον αφορά τις βαθμολογίες μετά το τεστ. Ερευνητές ερεύνησαν τη χρήση της ΕΠ για να βελτιώσουν τα μαθησιακά επιτεύγματα των μαθητών στην εκπαίδευση των Φυσικών Επιστημών και βρήκαν παρόμοια αποτελέσματα [100].

Οι Bendicho et al. [110] μελέτησαν την επίδραση που έχει η ΕΠ στην ακαδημαϊκή αναβλητικότητα, ένα μη ακαδημαϊκό αποτέλεσμα, μεταξύ φοιτητών μηχανικής. Η ΕΠ εισήχθη σε διαδικτυακές εργασίες. Παρατηρήθηκε μία ορατή μείωση της αναβλητικότητας, ακόμη και αφού οι μαθητές είχαν εργαστεί σε διάφορες εργασίες πριν την εισαγωγή της ΕΠ. Ωστόσο, δεν είναι δυνατό να αποδοθεί με μοναδικό τρόπο η παρατηρούμενη μείωση στο φαινόμενο καινοτομίας που δεν μπορεί να διατηρηθεί για μεγάλη χρονική διάρκεια ή εάν σχετίζεται με μια πιο εγγενή έλξη που έχουν οι μαθητές για τις σύγχρονες τεχνολογίες που συμβάλλουν στη μείωση της ακαδημαϊκής αναβλητικότητας με μεγαλύτερη συνέπεια.

Οι Yoonetal. [123], ανέπτυξαν ένα σύστημα ΕΠ που χρησιμοποιήθηκε σε ένα μουσείο επιστήμης. Αποδείχτηκε ότι ακόμη και μετά την ενασχόληση για ένα χρονικό διάστημα με την εφαρμογή αυτή, οι μαθητές κατανόησαν δύσκολες έννοιες όπως είναι η αρχή του Bernoulli, μέσω της αλληλεπίδρασης με την ΕΠ. Η μεθοδολογική προσέγγιση της μελέτης ήταν ποιοτική μέσω ημι-θεματικών συνεντεύξεων.

Οι Kivetal. [124] στα πλαίσια της ερευνητικής διαδικασίας διερεύνησαν την αποτελεσματικότητα της χρήσης της ΕΠ στη διδασκαλία της φυσικής στην πανεπιστημιακή εκπαίδευση. Η μελέτη βασίστηκε στη διδασκαλία της φυσικής μέσω μιας εφαρμογής για κινητά τηλέφωνα, η οποία έδειξε ότι βοηθάει στην κατανόηση εννοιών της φυσικής.

#### 4.2.4 Εξελιξίσεις πέρα από την έρευνα για την φυσική στην εκπαίδευση

Παρά το γεγονός ότι πολλές ερευνητικές εργασίες επικεντρώνονται στην αποτελεσματικότητα της εφαρμογής ΕΠ μέσω της έρευνας για την φυσική στην εκπαίδευση, υπάρχει ένα άλλο πεδίο έρευνας που επικεντρώνεται στη βελτίωση των πτυχών της ποιότητας μάθησης της εκπαίδευσης στη φυσική μέσω βελτιώσεων στην εφαρμογή ΕΠ. Η ακόλουθη έρευνα έχει αναζητήσει τρόπους για να βελτιώσει τη διαδικασία διδασκαλίας και μάθησης εξετάζοντας βελτιώσεις στη χρήση ΕΠ, πέρα από τη στόχευση ακαδημαϊκών και μη ακαδημαϊκών αποτελεσμάτων, βελτιώνοντας την ποιότητα της διδασκαλίας και της μάθησης.

Οι Chandrakar και Bhagat [70] δίδαξαν την επίλυση προβλημάτων στην πραγματική ζωή μέσω του παιχνιδιού. Το παιχνίδι περιλαμβάνει τον χρήστη που ορίζει την αρχική ταχύτητα και γωνία. Η πλατφόρμα ΕΠ αυξάνει τη θέση-στόχο και την ιχνηλατημένη διαδρομή. Εάν ο χρήστης χάσει την τοποθεσία-στόχο, θα εμφανιστούν μηνύματα στην οθόνη για βελτίωση της στόχευσης. Μια ερώτηση κίνησης βλήματος μπορεί επίσης να λυθεί εγγενώς εντός της εφαρμογής, μετά την οποία οι χρήστες μπορούν να ελέγξουν τις απαντήσεις τους εκτελώντας το ακριβές πείραμα μέσω της διεπαφής ΕΠ. Τέτοια παιχνίδια επιτρέπουν στους μαθητές να λαμβάνουν άμεση ανατροφοδότηση, ενώ ταυτόχρονα παρατηρούν οπτικά το αποτέλεσμα των υπολογισμών τους, όλα μέσα στην ίδια πλατφόρμα.

Σε μια ξεχωριστή χρήση της ΕΠ στη φυσική, οι Sung et al.[71] είχαν ως στόχο να φέρουν τον ρεαλισμό στην εικονική αναπαράσταση της κίνησης στον πραγματικό κόσμο μέσω προσομοιώσεων μαλακών σωμάτων, όπως η ελεύθερη πτώση, η παραβολική κίνηση και η σύγκριση των αλλαγών σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά του αντικειμένου. Ισχυρίζονται ότι η προσομοίωση μαλακού σώματος είναι πιο ρεαλιστική από την προσομοίωση άκαμπτου σώματος, επομένως μπορεί να είναι πιο αποτελεσματική σε συστήματα για την εκπαίδευση στη φυσική. Ενώ αυτή η εργασία βρέθηκε να είναι χρήσιμη για την εκπαίδευση στη φυσική, καθώς κάνει τις τρέχουσες προσομοιώσεις ΕΠ πιο ρεαλιστικές, οι συμμετέχοντες στην έρευνα σχολίασαν επίσης ότι δεν αύξησε τον ρεαλισμό πολύ περισσότερο σε σύγκριση με παλαιότερα διαθέσιμο υλικό, όπως βιβλία και βίντεο. Η διασφάλιση της αποτελεσματικής συγχώνευσης εικονικών αντικειμένων που απαιτούν υψηλούς υπολογιστικούς πόρους παραμένει μία από τις προκλήσεις που αντιμετωπίζει η ευρεία εφαρμογή της ΕΠ για πιο προηγμένες εφαρμογές.

Οι Smith και Khechara [111] προσπάθησαν να μεταμορφώσουν την εργαστηριακή εμπειρία των μαθητών παρέχοντας πληροφορίες «κατ' απαίτηση» και προσβάσιμη υποστήριξη μέσω της επαυξημένης πραγματικότητας στην εκπαίδευση νοσηλευτών. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο στο περιβάλλον του εργαστηρίου φυσικής όπου είναι γεμάτο με πολύπλοκο εξοπλισμό και οι μαθητές μπορεί να μην είναι εξοικειωμένοι λόγω της έλλειψης πρακτικής. Ελλείπει εκπαιδευτή, οι μαθητές μπορεί να χρειαστούν υποστήριξη εκπαίδευσης «εγκαίρως» για να μάθουν. Η προσέγγιση επαυξημένης πραγματικότητας που υιοθετήθηκε από τους Smith και Khechara περιλάμβανε την πρόσβαση σε ψηφιακό περιεχόμενο στο οποίο ο μαθητής είχε πρόσβαση μέσω μιας εφαρμογής ανάγνωσης στην κινητή συσκευή του. Επιπλέον, στον εργαστηριακό χώρο εκμάθησης

προστέθηκαν ειδικές ετικέτες, οι οποίες περιελάμβαναν εξοπλισμό, τεκμηρίωση, χημικά αντιδραστήρια. Σαρώνοντας αυτές τις ετικέτες χρησιμοποιώντας μια διαδικτυακή κινητή συσκευή, οι μαθητές έλαβαν πρόσθετες τεχνικές πληροφορίες, τεκμηρίωση ασφαλείας και κατέγραψε επιδείξεις τεχνικών και εξοπλισμού από τον καθηγητή.

Οι Techakositetal. [105] χρησιμοποίησαν μία προσέγγιση ΕΠ για τη διδασκαλία του ηλεκτρομαγνητισμού. Στη μελέτη χρησιμοποιήθηκε ένα δείγμα από εκπαιδευτικούς που δίδασκαν τη Φυσική στο γυμνάσιο και στο πανεπιστήμιο (11 και 4 εκπαιδευτικοί αντίστοιχα). Οι συγγραφείς διαπίστωσαν ότι το διδακτικό και το μαθησιακό υλικό που βασίζεται στην ΕΠ μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά στη διδασκαλία του μαθήματος της Φυσικής σε υψηλότερες βαθμίδες εκπαίδευσης.

#### **4.2.5 Η επίδραση της επαυξημένης πραγματικότητας στις επιδόσεις των μαθητών**

Τα πειραματικά αποτελέσματα των μελετών, δείχνουν ότι οι ομάδες των μαθητών στους οποίους εφαρμόστηκε η ΕΠ απέκτησαν σημαντικό κίνητρο μάθησης για προσοχή, συνάφεια με το γνωστικό αντικείμενο, αυτοπεποίθηση και ικανοποίηση. Σύμφωνα με τις ίδιες μελέτες, οι μαθητές που συμμετείχαν στις πειραματικές ομάδες ανέφεραν μέσω ερωτηματολογίων αυτό-αναφοράς αλλά και μέσω ημι-δομημένων θεματικών συνεντεύξεων, ότι η εκμάθηση μέσω μαθησιακών μεθοδολογιών που βασίζονται στην ΕΠ (εφαρμογές, κινητά τηλέφωνα, διαδραστικοί πίνακες) ήταν ενδιαφέρουσες και χρήσιμες, ενώ τους βοηθούσαν στη μάθηση. Επιπλέον, οι μαθητές επεσήμαναν ότι η ΕΠ στη μαθησιακή διαδικασία βάσει διερεύνησης μπορεί να προσφέρει ευκαιρίες για εξάσκηση και συμμετοχή σε ευχάριστες εμπειρίες για την υποβοήθηση της ερευνητικής τους δραστηριότητας. Οι μαθητές ανέπτυξαν ενθουσιασμό και θετικά κίνητρα για τη χρήση της ΕΠ στις φυσικές επιστήμες ενώ ήταν ικανοποιημένοι με την αποτελεσματικότητά της [22], [23]. Η θετική επίδραση της ΕΠ στη μαθησιακή απόδοση, τις στάσεις και τα κίνητρα των μαθητών φαίνεται ότι αποδεικνύεται και στη μελέτη των Caietal. [102], με τη διαφορά ότι στη μελέτη αυτή χρησιμοποιούνται μέτρα έκβασης που βασίζονται στην αυτό-αναφορά των επιδόσεων των μαθητών και όχι μέτρα έκβασης υπό τη μορφή δοκιμασιών, όπως στις δύο προηγούμενες μελέτες.

Μικρός είναι ο αριθμός από μελέτες που έχουν δώσει σημασία στους μηχανισμούς που αιτιολογούν τη συσχέτιση ανάμεσα στην ΕΠ και τις επιδόσεις των μαθητών. Μόνο στη μελέτη των Caietal. [98], η αυτο-αποτελεσματικότητα και οι αντιλήψεις της εκμάθησης της φυσικής επιλέχθηκαν ως βασικές αιτιολογίες για να εξηγηθεί πώς η AR θα μπορούσε να έχει θετική επίδραση στις επιδόσεις των μαθητών στο εκπαιδευτικό αντικείμενο της φυσικής.

Ωστόσο, ιδιαίτερα σημαντικό είναι και το γεγονός ότι οι επιδόσεις των μαθητών αξιολογήθηκαν σε μικρό ποσοστό από τις μελέτες που συμπεριλήφθηκαν στην τελική σύνθεση της ανασκόπησης, γεγονός που καθιστά δύσκολη τη γενίκευση συμπερασμάτων.

### 4.3 Επίλογος

Η ΕΠ υπόσχεται να βοηθήσει τη μάθηση που σχετίζεται με εργασίες, παρέχοντας οπτικές και διαδραστικές εμπειρίες που επιτρέπουν την κατανόηση σύνθετων φαινομένων σε βάθος. Οι εκπαιδευτικές εφαρμογές ΕΠ μπορούν να βοηθήσουν στην παρουσίαση και επικοινωνία αφηρημένων εννοιών στους μαθητές και στην προσομοίωση δυναμικών διαδικασιών που μπορεί να μην είναι ορατές στην πραγματική ζωή. Με αυτόν τον τρόπο η ΕΠ μπορεί να προσφέρει πλεονεκτήματα έναντι άλλων μορφών διδασκαλίας για πολύπλοκα θέματα.

## Κεφάλαιο 5ο: Συζήτηση

### 5.1 Εισαγωγή

Η πληθώρα των μελετών που αναλύθηκαν διεξήχθη σε μαθητές και προπτυχιακούς φοιτητές με κύρια χρήση της ΕΠ, όπου οι χρήστες μπορούν να βελτιώσουν πλήθος δεξιοτήτων και ικανοτήτων μέσω της βιωματικής μάθησης. Εφόσον μάλιστα είναι πολύ κοντά στην καθημερινότητά τους, επιστά την προσοχή και το ενδιαφέρον τους, επομένως εκεί στηρίζεται και η διευκόλυνση της μάθησης και εμπέδωσης. Ενώ η εφαρμογή της ΕΠ είναι ευρεία, ίσως να μην λειτουργεί καλά με κάποιους συγκεκριμένους πληθυσμούς. Ο λόγος είναι πως παρατηρήθηκε ότι υπάρχει ένα κενό στην έρευνα για εφαρμογή με πιο διαφορετικούς πληθυσμούς. Μερικές από τις ομάδες που εντοπίστηκαν ήταν: μαθητές με ειδικές ανάγκες, μειονοτικές ομάδες, πρόωμη παιδική ηλικία και ενήλικες δια βίου μαθητές.

Ένα άλλο ζήτημα που παρατηρήθηκε σχετικά με τον σχεδιασμό των μελετών είναι ότι οι τρέχουσες μελέτες διεξάγονται συχνά σε μια σύντομη, ερευνητική περίοδο. Ένας σωστός εκπαιδευτικός σχεδιασμός μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την ενσωμάτωση ΕΠ, καθώς γεφυρώνει την τεχνογνωσία που έχει ο κατασκευαστής των εφαρμογών ΕΠ με τις παιδαγωγικές ανάγκες που μπορούν να αναδείξουν οι εκπαιδευτικοί. Όταν ενσωματωθούν, θα μπορούσαμε ενδεχομένως να δούμε αύξηση στα κίνητρα, την ικανοποίηση και τη δέσμευση των μαθητών με το μαθησιακό περιβάλλον. Το πλαίσιο της έρευνας σχεδιασμού μπορεί να παρακινήσει συστηματικά την εφαρμογή και τη διάδοση της ΕΠ στο αναλυτικό πρόγραμμα για μεγαλύτερη περίοδο, ενώ το πλαίσιο σκέψης μπορεί να βοηθήσει τους χρήστες μέσω άλλης συναισθηματικής πτυχής για να διατηρήσει το ενδιαφέρον τους ως προς την ΕΠ [99].

Από την άποψη των αποτελεσμάτων, ωστόσο, οι έρευνες έδειξαν ότι η αποτελεσματικότητα της εφαρμογής AR στην εκπαίδευση είναι μεγάλη και έχει επίσης αποδειχθεί ότι ανταποκρίνεται στον στόχο της παροχής επαγγελματικής κατάρτισης των μαθητών μέσω της πρακτικής κατάρτισης. Η τεχνολογία ΕΠ επιτρέπει την πρόσβαση σε πληροφορίες, με τη μορφή κειμένου, εικόνων, ήχου ή αντικειμένων να τοποθετούνται σε πραγματικό περιβάλλον, έτσι ώστε οι μαθητές να μπορούν να συμμετέχουν σε μια ποικιλία από προσομοιώσεις καταστάσεων ή οπτικές δραστηριότητες κατά τη μάθηση.

Η διάδοση τέτοιων τεχνολογιών επιταχύνεται περαιτέρω από την εκτεταμένη εμβέλεια των κινητών συσκευών [14]. Με την εκπαίδευση ως κύρια χρήση, οδήγησε στη φυσική υιοθέτηση τέτοιων τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται και στην εκπαίδευση [15]. Έχει ευρεία χρήση στην εκπαίδευση της φυσικής, όπου πολύ συχνά, οι φυσικές πραγματικότητες δεν μπορούν να βιωθούν εύκολα στην καθημερινή ζωή. Ενισχύει τη χωρική και χρονική πραγματικότητα αυξάνοντάς την με εικονικές πληροφορίες προσβάσιμες μέσω της αφής, της όρασης και της ακοής. Η συνύπαρξη

εικονικών αντικειμένων που ανταποκρίνονται σε περιορισμούς που τίθενται από πραγματικά περιβάλλοντα επιτρέπει την οπτικοποίηση σύνθετων φαινομένων ή αφηρημένων εννοιών που δεν είναι συνήθως δυνατές στον πραγματικό κόσμο [16-18]. Οι δυνατότητες που προσφέρει αυτή η τεχνολογία επιτρέπουν το σχεδιασμό εκπαιδευτικών περιβαλλόντων φυσικής που περιλαμβάνουν μη παραδοσιακές πρακτικές διδασκαλίας και μάθησης.

Μερικά παραδείγματα εφαρμογής ΕΠ στην εκπαίδευση της φυσικής περιλαμβάνουν την οπτικοποίηση εννοιών στον ηλεκτρομαγνητισμό από αντικείμενα του πραγματικού κόσμου [70], [71], ανάλυση εννοιών της θερμικής φυσικής [72], [74] και χειρισμός σύνθετου εργαστηριακού εξοπλισμού για πειράματα φυσικής όσον αφορά τη δημιουργία εννοιολογικής γνώσης [75-78]. Αυτά μπορούν να γίνουν οπτικά ρεαλιστικά μέσω της αύξησης εικονικών αντικειμένων. Η κινητικότητα που παρέχεται από τις συσκευές χειρός διευκολύνει την αλληλεπίδραση μεταξύ των μαθητών και του μαθησιακού περιβάλλοντος. Έγινε φανερό ότι η ΕΠ επιτρέπει στους εκπαιδευόμενους να αποκτήσουν μια καλή αντίληψη σχετικά με το περιβάλλον που τους περιλαμβάνει. Επιπλέον, οι μαθητές βρίσκουν συχνά την ενεργό συμμετοχή σε τέτοιες δραστηριότητες πιο ενδιαφέρουσα, εγγενώς παρακινητική και πιο κοντά σε εμπειρίες του πραγματικού κόσμου από άλλους τρόπους μάθησης. Η εισαγωγή πρακτικής άσκησης στον πραγματικό κόσμο ενθαρρύνει την ενεργητική μάθηση. Συνεπώς, η ΕΠ θεωρείται ως ένα πολλά υποσχόμενο εργαλείο στην εκπαίδευση που υποστηρίζει και βοηθά στη βελτίωση των κινήτρων και του ενδιαφέροντος των μαθητών για μάθηση σε εκπαιδευτικά περιβάλλοντα. Νέες δυνατότητες διδασκαλίας και μάθησης αναδύονται με τις προόδους της ΕΠ και έχουν αναγνωριστεί ευρέως ως ωφέλιμες από εκπαιδευτικούς ερευνητές. Αυτά τα εκπαιδευτικά οφέλη έχουν κάνει την ΕΠ μία από τις βασικές αναδυόμενες τεχνολογίες για την εκπαίδευση στη φυσική.

Ωστόσο, οι εφαρμογές ΕΠ πρέπει να υπερβαίνουν την τάξη. Η μελλοντική έρευνα μπορεί να διερευνήσει τα οφέλη της ΕΠ στο πλαίσιο της μικτής μάθησης, με ιδιαίτερη έμφαση σε περιβάλλοντα εκτός τάξης και την επίδρασή της στη μάθηση. Η ΕΠ θα πρέπει να υποστηρίζει την πανταχού παρούσα μάθηση, τη συνεργατική μάθηση και την άτυπη μάθηση. Με την πρόοδο της τεχνολογίας, η πολυαισθητηριακή βιωματική μάθηση μπορεί, στο μέλλον, να συμπεριληφθεί. Προκειμένου η ΕΠ να είναι αποτελεσματική ως μεσολαβητής στη διαδικασία διδασκαλίας και μάθησης, πρέπει να υπάρξει διοικητική μεταρρύθμιση στο σχολικό πρόγραμμα και στα περιβάλλοντα διδασκαλίας και μάθησης, ώστε να μπορούν να συμπεριληφθούν και οι άτυπες εμπειρίες των μαθητών έξω από την τάξη [100]. Ο ρόλος του δασκάλου είναι να διευκολύνει και να λειτουργεί ως ερέθισμα για συζήτηση. Το χάσμα μεταξύ της τυπικής και της άτυπης μάθησης μπορεί να γεφυρωθεί με τη χρήση ΕΠ σε μια προσέγγιση «αναποδογυρισμένης τάξης», ανοιχτής και εξ αποστάσεως εκπαίδευσης [101].

Αυτοί οι τομείς ανάπτυξης δεν περιορίζονται στους εκπαιδευτικούς τομείς που περιγράφονται στα άρθρα που εξετάζονται. Η φυσική είναι ένα μάθημα που ενθαρρύνει τη χρήση αισθητηριακών και

γνωστικών δεξιοτήτων. Η ΕΠ έχει τον ίδιο στόχο, να ενσωματώσει τον εικονικό κόσμο στις αισθήσεις μας. Ως εκ τούτου, μια αμοιβαία πρόοδος σε καθένα από αυτά τα πεδία μπορεί να οδηγήσει σε συνδυαστικές προόδους και στους δύο τομείς. Επιπλέον, η πλειονότητα των άρθρων που εξετάστηκαν έδωσαν πρακτικές προτάσεις που μπορούν να επιταχύνουν την πρόοδο της εκπαιδευτικής έρευνας γενικότερα, η οποία κατ' επέκταση μπορεί να εφαρμοστεί για έρευνα στη φυσική εκπαίδευση, με τη συνεργασία μεταξύ παροχών τεχνολογίας και εκπαιδευτικών. Αυτή η ενότητα μπορεί να φανεί χρήσιμη από τους διαχειριστές της εκπαίδευσης και τη διοίκηση για το σχεδιασμό εκπαιδευτικού υλικού που χρησιμοποιεί τις προόδους της τεχνολογίας ΕΠ για την επίτευξη των επιδιωκόμενων μαθησιακών αποτελεσμάτων των μαθημάτων φυσικής. Επιπλέον, πέρα από τα μαθησιακά αποτελέσματα, οι τεχνολογίες μάθησης που βασίζονται σε ΕΠ είναι γνωστό ότι ενισχύουν την αυτο-αποτελεσματικότητα των μαθητών και προωθούν αντιλήψεις υψηλότερου επιπέδου στη φυσική. Η πρόοδος στην αξιολόγηση αυτών των αποτελεσμάτων θα είναι χρήσιμη, όχι μόνο στη μάθηση των μαθητών στη φυσική, αλλά και στη στάση των μαθητών απέναντι στη φυσική.

## 5.2 Απαντήσεις στα Ερευνητικά Ερωτήματα

Σε αυτήν την παράγραφο συνοψίζονται τα συμπεράσματα για τα ερευνητικά ερωτήματα. Αν και λόγω μεθοδολογικών ερευνητικών ζητημάτων οι εκπαιδευτικοί δεν μπορούν να είναι υπεραισιόδοξοι όσον αφορά στην εφαρμογή της ΕΠ, εντούτοις φαίνεται να έχει πολύ καλά αποτελέσματα, τουλάχιστον σε καθαρά παιδαγωγικά-παιδοκεντρικά θέματα, όπως η αυτοπεποίθηση των παιδιών. Τα τελευταία, παρουσιάζονται να είναι ικανοποιημένα σε σημαντικό βαθμό. Οι θεωρίες μάθησης, με εκείνη του κονστρουκτιβισμού να διακρίνεται σε μεγαλύτερο βαθμό, θεμελιώνουν τις εφαρμογές της ΕΠ και παρέχουν την απαιτούμενη επιστημονική επιβεβαίωση για την εκπαιδευτική χρήση τους. Έτσι, η εμπέδωση αρχών της φυσικής, ικανότητες αλλά και η (επιστημονική) περιέργεια τελικά ενισχύονται.

RQ1: Πώς επιδρά η διδασκαλία με τη χρήση εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας στην αξιολόγηση των μαθητριών και των μαθητών;

Η επίδραση της διδασκαλίας ΕΠ στις επιδόσεις των μαθητριών και των μαθητών κατόπιν της αξιολόγησης τους δείχνει ότι επηρέασε το κίνητρο μάθησης για προσοχή, την κατανόηση της συνάφειας του γνωστικού αντικείμενου με την καθημερινή τους ζωή, την αυτοπεποίθηση και την ικανοποίηση τους όσον αφορά την αυτοαντίληψή τους. Επιπρόσθετα, οι συμμετέχοντες στις μελέτες, επεσήμαναν ότι η ΕΠ στη μαθησιακή διαδικασία βάσει διερεύνησης, μπορεί να προσφέρει ευκαιρίες για εξάσκηση και συμμετοχή σε ευχάριστες εμπειρίες για την υποβοήθηση της μαθησιακής τους δραστηριότητας. Ωστόσο, είναι μικρός ο αριθμός από μελέτες που έχουν δώσει σημασία στους μηχανισμούς που αιτιολογούν τη συσχέτιση ανάμεσα στην ΕΠ και στις επιδόσεις των μαθητών, γεγονός που κάνει το συμπέρασμα της συσχέτισης της ΕΠ με τις επιδόσεις των μαθητών δύσκολο γενικεύσιμο.

RQ2: Τι πιστεύουν οι μαθητές για τις μεθόδους αυτές και κατά συνέπεια ποιες είναι οι απόψεις, οι αντιλήψεις αλλά και οι εκτιμήσεις αυτών για τον τρόπο αυτής της διδασκαλίας;

Από τα ερωτηματολόγια αυτό-αναφοράς, φαίνεται ότι η ΕΠ αυξάνει τη δέσμευσή των μαθητών και τους βοηθά να μάθουν με ευκολότερο τρόπο, όπως οι ίδιοι δηλώνουν. Το περιβάλλον επαυξημένης πραγματικότητας φαίνεται να έχει προστιθέμενη αξία, από μόνο του, δημιουργώντας μια αίσθηση προσωπικής επικοινωνίας που φαίνεται να είναι πολύ ελκυστική για τους μαθητές. Αν και ορισμένες ανησυχίες για την καινοτομία αυτού του μέσου έχουν αναφερθεί στη βιβλιογραφία, η καινοτομία μπορεί να έχει μικρότερη επιρροή, σε σύγκριση με ότι υπονοείται από τους ερευνητές, στις στάσεις των μαθητών απέναντι στις εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας, στα κίνητρα και στη μάθηση.

RQ3: Πόσο πολύ έχει επηρεάσει η επαυξημένη πραγματικότητα, τα AR βιβλία και το AR gaming την εκμάθηση στην εκπαίδευση;

Τα εκπαιδευτικά παιχνίδια και τα βιβλία ΕΠ έχουν χρησιμοποιήσει διάφορες θεωρίες μάθησης ως αρχή σχεδιασμού, με τη μάθηση που βασίζεται στην πρόκληση (παράδειγμα κονστρουκτιβισμού) να είναι η ευρέως χρησιμοποιούμενη. Ένα άλλο ενδιαφέρον σημείο είναι ότι τα παιχνίδια και τα βιβλία ΕΠ μπορούν να εφαρμοστούν σε οποιοδήποτε περιβάλλον μάθησης, τόσο σε εσωτερικούς όσο και σε εξωτερικούς χώρους. Πράγματι, η χρήση παιχνιδιών AR σε αυτά τα περιβάλλοντα, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.6.1, ενισχύει την ενεργό και αυθεντική μάθηση και δημιουργεί μια ευκαιρία για τη διερεύνηση της βιωματικής μάθησης με επίκεντρο τον μαθητή. Αφήνει λοιπόν στην άκρη την δασκαλοκεντρική διδασκαλία και μάθηση με επίκεντρο τον παιδαγωγό. Συνεπώς, φαίνεται ότι η ΕΠ έχει επηρεάσει αρκετά την εκπαίδευση, αφού είναι μία μέθοδος διδασκαλίας που εφαρμόζεται όλο και περισσότερο λόγω των πλεονεκτημάτων που προσφέρει.

RQ4: Μπορεί η χρήση της Επαυξημένης Πραγματικότητας να ενισχύσει το επίπεδο κατανόησης της φυσικής στην εκπαίδευση;

Η ΕΠ, με βάση τα μαθησιακά αποτελέσματα που αντανακλούν την κατανόηση των μαθητών στο μάθημα των φυσικών επιστημών, φαίνεται ότι αποτελεί μία μέθοδο που ενισχύει την κατανόηση δύσκολων εννοιών του συγκεκριμένου θεματικού πεδίου σε σύγκριση με τις τυπικές μεθόδους διδασκαλίας. Τέτοιου είδους γνωστικά αντικείμενα συμπεριλαμβάνουν τον ηλεκτρομαγνητισμό, τη μηχανική και την οπτική.

RQ5: Με ποιες στρατηγικές οι εφαρμογές στοχεύουν στην αύξηση των μαθησιακών αποτελεσμάτων;

Σύμφωνα με την έρευνα που πραγματοποιήθηκε το 24.44% των άρθρων που εξετάστηκαν στοχεύει στην αύξηση των μαθησιακών αποτελεσμάτων μέσω της αύξησης του ενδιαφέροντος των μαθητών, το 20% μέσω της καλύτερης επεξήγησης των δυσνόητων εννοιών της φυσικής, το 42.22% μέσω της ενίσχυσης της εμπειρίας του μαθήματος, ενώ το 13.33% μέσω της παρότρυνσης των μαθητών να αναζητήσουν καινούρια ακαδημαϊκά ενδιαφέροντα.

### 5.3 Επίλογος

Η αξία της ΕΠ μπορεί να επιβεβαιωθεί σε συγκεκριμένους πληθυσμούς. Βέβαια, δεν αρκεί να εφαρμόζει ένας εκπαιδευτικός τα τεχνολογικά εργαλεία, αλλά να το κάνει κατόπιν προσεκτικής μελέτης των αναγκών των μαθητών του, γνωρίζοντας τις δυνατότητες της ΕΠ. Μόνον έτσι θα μπορέσει να αξιοποιήσει στο έπακρο την ΕΠ. Οι πολυμεσικές δυνατότητες της τεχνολογίας προσφέρουν είτε την συσχέτιση-εύκολη παραβολή με την καθημερινότητα στους μαθητές και τις μαθήτριες, είτε ακόμα και μια αναπαράσταση της καθημερινότητας, βοηθώντας φυσικά να μετουσιωθεί η δασκαλοκεντρική διδασκαλία σε βιωματική μάθηση. Η δημιουργία λοιπόν ενός τόσο ρεαλιστικού εκπαιδευτικού περιβάλλοντος μπορεί να οδηγήσει στην ανάπτυξη του ενδιαφέροντος και στη βελτίωση των μαθησιακών αποτελεσμάτων. Αυτό σημαίνει ότι είναι δυνατή η μεταφορά μάθησης σε πραγματικά περιβάλλοντα και ακόμα η βελτίωση της στάσης και των προκαταλήψεων απέναντι στο μάθημα της φυσικής.



## Κεφάλαιο 6ο: Συμπεράσματα

Σε αυτήν την ανασκόπηση, μελετήθηκε διεξοδικά η τρέχουσα χρήση της ΕΠ στην εκπαίδευση, με έμφαση στην εκπαίδευση στη φυσική. Επισημαίνεται ότι οι υλοποιήσεις που διεξάγονται την παρούσα χρονική περίοδο έχουν συχνά σκοπό τη βελτίωση του διδακτικού υλικού και των μαθησιακών εμπειριών. Ωστόσο, δεν έχουν φτάσει σε ένα σημείο όπου μπορεί να είναι δυνατός ο οριστικός ισχυρισμός πως η ΕΠ έχει μεταμορφώσει τον τρόπο με τον οποίο διδάσκεται και μαθαίνεται η φυσική.

Κυρίως, η εκπαιδευτική έρευνα πρέπει να συμπληρώνεται με εμπειρίες σε περιβάλλοντα διδασκαλίας και μάθησης. Έτσι, αυτή η ανασκόπηση παρουσιάζει επίσης διάφορα εργαλεία που μπορούν να χρησιμοποιήσουν οι εκπαιδευτικοί, όπως τα βασικά εργαλεία εκκίνησης και πιο συστηματικές αλλαγές που πρέπει να εξετάσουν οι διοικήσεις των σχολείων.

Από την ανασκόπηση, διαπιστώθηκε ότι οι τεχνολογίες επαυξημένης πραγματικότητας διεγείρουν την εκπαιδευτική διαδικασία και παρέχουν την ευκαιρία να εφαρμοστεί η γνώση τόσο στις ανθρωπιστικές όσο και στις φυσικές επιστήμες. Αυτή η τεχνολογία διασαφηνίζει την εκπαιδευτική διαδικασία και παρακινεί τον μαθητή να μελετήσει περαιτέρω το υλικό. Η οπτική αγωγή είναι πολύ ωφέλιμη τους σύγχρονους μαθητές, ενώ συμβάλει στην ανάπτυξη της επιστημονικής και τεχνολογικής προόδου.

Η εισαγωγή σύγχρονων εκπαιδευτικών βοηθημάτων στο σύστημα είναι η σημαντικότερη προϋπόθεση για την ενίσχυση της εκπαιδευτικής διαδικασίας. Επομένως πρέπει να ενταχθεί η διαδραστικότητα της τρισδιάστατης μοντελοποίησης και η χρήση τεχνολογίας επαυξημένης πραγματικότητας.

Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τους μελλοντικούς καθηγητές φυσικής. Τεκμηριώνεται λοιπόν η αναγκαιότητα ανάπτυξης εκπαιδευτικών τάξεων με βάση την εισαγωγή τεχνολογίας επαυξημένης πραγματικότητας, που επιτρέπουν την εκπαιδευτική δραστηριότητα των μαθητών με ασφάλεια ενώ ταυτόχρονα γίνεται αντιληπτό ότι όλα αυτά προσομοιάζουν ιδιαίτερα στο επίπεδο του πραγματικού χρόνου. Μπορεί επίσης να υποστηριχθεί ότι η τεχνολογία επαυξημένης πραγματικότητας είναι ένα εργαλείο του μέλλοντος που έχει θεμελιωδώς νέες δυνατότητες οπτικοποίησης και θα είναι χρήσιμο για τη μύηση των μαθητών στην αυτοαγωγή. Ειδικότερα, θα προάγει την ανάπτυξη και την αυτομόρφωση κάθε μαθητή, θα του παρέχει ευκαιρίες απόκτησης των πιο σύγχρονων γνώσεων και πρακτική κατάρτιση για επαγγελματικές δραστηριότητες.

Έτσι, η εισαγωγή της τεχνολογίας επαυξημένης πραγματικότητας παρέχει την ευκαιρία να βελτιωθεί η ποιότητα της εκπαίδευσης παρακινώντας τους μαθητές για αυτοαγωγή, αυξάνοντας το ενδιαφέρον του κοινού για εκπαιδευτικό υλικό, αναπτύσσοντας την επιθυμία για χρήση

σύγχρονων διαδραστικών τεχνικών δυνατοτήτων και τεχνολογιών και αντικαθιστώντας τα σχολικά βιβλία και τον εργαστηριακό εξοπλισμό με μοντέλα υπολογιστών πολυμέσων υπό συνθήκες εξ αποστάσεως εκπαίδευσης.

## Βιβλιογραφία

1. F. Ramos, S. Trilles, J. Torres-Sospedra, and F. J. Perales, New trends in using augmented reality apps for smart city contexts, *ISPRS Int. J. Geo-Information*, vol. 7, no. 12, 2018, doi: 10.3390/ijgi7120478.
2. M. Mekni and A. Lemieux, *Augmented Reality: Applications, Challenges and Future Trends*, *Appl.Comput. Sci. anywhere*, pp. 205–214, 2014.
3. J. Grubert, Y. Itoh, K. Moser, and J. E. Swan, A Survey of Calibration Methods for Optical See-Through Head-Mounted Displays, *IEEE Trans.Vis. Comput. Graph.*, vol. 24, no. 9, pp. 2649–2662, 2018, doi: 10.1109/TVCG.2017.2754257.
4. Azuma, "A Survey on Augmented Reality" *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 6, no. 4, pp. 87–96, December 2017
5. Kato H, Billinghurst M (1999) Marker tracking and HMD calibration for a video-based augmented reality conferencing system. In: *Proceedings 2nd IEEE and ACM international workshop on augmented reality (IWAR'99)*.IEEE, pp 85–94
6. Muñoz T (2017) *Supporting technology for augmented reality game-based learning (Doctoral dissertation, Universitat de Girona, Departament d'Arquitectura i Tecnologia de Computadors)*
7. Koutromanos G, Sofos A, Avraamidou L (2015) "The use of augmented reality games in education: a review of the literature." *Educ Media Int* 52(4):253–271 Krevelen
8. Pucihar KC, Kljun M (2018) *ART for art: augmented reality taxonomy for art and cultural heritage*. In: *Augmented reality art*.Springer, Cham, pp 73–94
9. Weerasinghe M, Quigley A, Ducasse J, Pucihar K C , Kljun M (2019) *Educational augmented reality games*.In: *Augmented reality games II*. Springer, Cham, pp 3–32
10. Protalinski, E (2015) 100,000 students and counting: Google brings VR kits to schools in 15 more cities. *VB Venture Beat*. <https://venturebeat.com/2015/11/09/100000-students-and-counting-google-brings-vr-kits-to-schools-in-15-more-cities/>
11. Pierce D (2016) 3D technologies add another dimension to learning.*J Transform Educ Technol* 43(1):9–10

12. Tinti-Kane H, Vahey P (2018) xR in EDU Survey 2018: Benchmarking Adoption Trends in K12 and Higher Education. Report series, EdTech Times
13. Healthcare IT Today (2017) CAE Healthcare announces first mixed reality ultrasound simulation solution with Microsoft HoloLens, January 27, 2017
14. <https://www.healthcareittoday.com/2017/01/27/cae-healthcare-announces-first-mixed-reality-ultrasound-simulation-solution-with-microsoft-hololens>
15. Reid Vassallo, Adam Rankin, Elvis C. S. Chen, Terry M. Peters, "Hologram stability evaluation for Microsoft HoloLens," Proc. SPIE 10136, Medical Imaging 2017: Image Perception, Observer Performance, and Technology Assessment, 1013614
16. Microsoft (2018) Galaxy explorer: you shared your ideas. We're sharing the code. <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/galaxy-explorer>.
17. Liou, H.-H., Yang, S. J. H., Chen, S. Y., & Tarn, W. (2017). The Influences of the 2D Image-Based Augmented Reality and Virtual Reality on Student Learning. *Journal of Educational Technology & Society*, 20(3), 110–121.
18. Sielhorst, T., Obst, T., Burgkart, R., Riener, R., & Navab, N. (2004). An Augmented Reality Delivery Simulator for Medical Training.
19. Tobias Sielhorst, Marco Feuerstein, and Nassir Navab, "Advanced Medical Displays: A Literature Review of Augmented Reality," *J. Display Technol.* 4, 451-467 (2008)
20. Kaufmann, Hannes. (2003). Collaborative Augmented Reality in Education.
21. T. H. C. Chiang, S. J. H. Yang, and G.-J. Hwang, "An augmented reality-based mobile learning system to improve students' learning achievements and motivations in natural science inquiry activities," *J. Educ. Technol. Soc.*, vol. 17, no. 4, pp. 352–365, 2014.
22. Hsu, Y. S., Lin, Y. H., & Yang, B. (2017). Impact of augmented reality lessons on students' STEM interest. *Research and practice in technology enhanced learning*, 12(1), 2.
23. Cascales-Martínez, Antonia & Martínez Segura, María-José & López, David & Contero, Manuel. (2016). Using an Augmented Reality Enhanced Tabletop System to Promote Learning of Mathematics: A Case Study with Students with Special Educational

- Needs. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*. 13. 355-380.  
10.12973/eurasia.2017.00621a.
24. Carmigniani, Julie & Furht, Borko. (2011). Augmented Reality: An Overview. 10.1007/978-1-4614-0064-6\_1.
25. Bai, S, Hew, K F, & Huang, B (2020). Does gamification improve student learning outcome? Evidence from a meta-analysis and synthesis of qualitative data in educational contexts. *Educational Research Review*, 30, 100322.
26. Bai, S, Hew, K F, & Huang, B. (2020). Is gamification “bullshit”? Evidence from a meta-analysis and synthesis of qualitative data in educational contexts. *Educational Research Review*, 100322.
27. Battistella, P E, & von Wangenheim, C G (2016). Engaged: Engaged: A game development process for teaching computing. In *Brazilian symposium on computers in education*, (Vol. 27 p. 380).
28. Cozar-Gutierrez, R, & Saez-Lopez, J M (2016). Game-based learning and gamification in initial teacher training in the social sciences: An experiment with minecraftedu. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 13(1), 2.
29. Hamari, J. (2019). Gamification, chap The Blackwell Encyclopedia of Sociology, pp 1–3. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9781405165518.wbeos1321>.
30. Hamari, J, Koivisto, J, & Sarsa, H (2014). Does gamification work?—a literature review of empirical studies on gamification. In *2014 47th Hawaii international conference on system sciences (HICSS)* (pp.3025–3034).IEEE.
31. Hamari, J, Shernoff, D J, Rowe, E, Coller, B, Asbell-Clarke, J, & Edwards, T (2016). Challenging games help students learn: An empirical study on engagement, flow and immersion in game-based learning. *Computers in Human Behavior*, 54, 170–179.
32. Kapp, K M (2012). Games, gamification, and the quest for learner engagement. *T+ D*, 66(6), 64–68.

33. Koivisto, J, & Hamari, J (2019). The rise of motivational information systems: A review of gamification research.*International Journal of Information Management*, 45, 191–210.
34. Koszt्यान, Z T, Orban-Mihalyko, E, Mihalyko, C, Csanyi, V V, & Telcs, A. (2020).Analyzing and clustering students' application preferences in higher education. *Journal of Applied Statistics*, 1–23.
35. Legaki, N-Z, Xi, N, Hamari, J, Karpouzis, K, & Assimakopoulos, V (2020). The effect of challengebased gamification on learning: An experiment in the context of statistics education.*International Journal of Human-Computer Studies*, 144, 102496.
36. Majuri, J, Koivisto, J, & Hamari, J (2018). Gamification of education and learning: A review of empirical literature. In *Proceedings of the 2nd international GamiFIN conference, GamiFIN 2018*. CEUR-WS.
37. Masthoff, J, & Vassileva, J (2015). Tutorial on personalization for behaviour change. In *Proceedings of the 20th international conference on intelligent user interfaces* (pp. 439–442).ACM.
38. Metwally, A H S, Yousef, A M F, & Yining, W (2020). Micro design approach for gamifying students'assignments. In *2020 IEEE 20th International conference on advanced learning technologies (ICALT)* (pp. 349–351).IEEE.
39. Mostafa, L (2019). Student sentiment analysis using gamification for education context. In *International conference on advanced intelligent systems and informatics* (pp. 329–339).Springer.
40. Oliveira, W, & Bittencourt, I I. (2019). Tailored gamification to educational technologies.Springer Nature.
41. Oliveira, W, Hamari, J, Joaquim, S, Toda, A M, Palomino, P T, Vassileva, J, & Isotani, S (2022). The effects of personalized gamification on students' flow experience, motivation, and enjoyment.*Smart Learning Environments*, 9(1), 1– 26.
42. Oliveira, W, Toda, A, Toledo, P, Shi, L, Vassileva, J, Bittencourt, I I, & Isotani, S (2020). Does tailoring gamified educational systems matter? The impact on students' flow

experience. In *Proceedings of the 53rd Hawaii international conference on system sciences* (pp. 1226–1235).

43. Qaffas, A, Kaabi, K, Shadiev, R, & Essalmi, F (2020). Towards an optimal personalization strategy in moocs. *Smart Learning Environments*, 7, 1–18.
44. Rapp, A, Hopfgartner, F, Hamari, J, Linehan, C, & Cena, F. (2019). Strengthening gamification studies: Current trends and future opportunities of gamification research. Elsevier.
45. Santos, A C G , Oliveira, W, Hamari, J, Rodrigues, L, Toda, A M, Palomino, P T, & Isotani, S (2021). The relationship between user types and gamification designs. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 31 (5), 907–940.
46. Santos, W O, Bittencourt, I I, Isotani, S, Dermeval, D, Marques, L B ,& Silveira, I F (2018). Flow theory to promote learning in educational systems: Is it really relevant? *Brazilian Journal of Computers in Education*, 26(02), 29.
47. Seaborn, K, & Fels, D I (2015). Gamification in theory and action: A survey. *International Journal of Human-Computer Studies*, 74, 14–31.
48. Shi, L, & Cristea, A I (2016). Motivational gamification strategies rooted in self-determination theory for social adaptive e-learning. In A Micarelli, J Stamper, & K Panourgia (Eds.) *Intelligent tutoring systems* (pp. 294–300). Cham: Springer International Publishing.
49. Shi, L, Cristea, A I, Hadzidedic, S, & Dervishalidovic, N (2014). Contextual gamification of social interaction– towards increasing motivation in social e- learning. In E Popescu, R W H Lau, K Pata, H Leung, & M Laanpere (Eds.) *Advances in web-based learning – ICWL 2014* ((pp. 116–122). Cham: SpringerInternational Publishing.
50. S. Aisyah, Sutrisno, and Abd. Madjid, "The influence of parenting, teacher's personality, peer conformity and islamic school culture on student's extraversion personality in smp it nurul ilmi medan, indonesia," *European Journal of Education Studies*, vol. 7, no. 8, pp. 353-365, July 2020.
51. Toda, A M, Klock, Ana CT, Oliveira, W, Palomino, P T, Rodrigues, L, Shi, L, Bittencourt, I, Gasparini, I, Isotani, S, & Cristea, A I (2019a). Analysing gamification

elements in educational environments using an existing gamification taxonomy. *Smart Learning Environments*, 6(1), 1–14.

52. Toda, A M, Oliveira, W, Shi, L, Bittencourt, I I, Isotani, S, & Cristea, A. (2019b). Planning gamification strategies based on user characteristics and dm: A gender-based case study. arXiv:1905.09146.
53. Toda, A M, Valle, Pedro HD, & Isotani, S (2017). The dark side of gamification: An overview of negative effects of gamification in education. In *Researcher links workshop: Higher education for all* (pp. 143–156). Springer.
54. Tondello, G F, Orji, R, & Nacke, L E (2017). Recommender systems for personalized gamification. In *Adjunct publication of the 25th conference on user modeling, adaptation and personalization* (pp.425–430).ACM.
55. Tsai, C-Y, & Chu, H-C (2019). Effects of integrating a personalization mechanism into the flipped learning approach on students' learning achievement and behaviors. In *2019 8th International congress on advanced applied informatics (IIAI-AAI)* (pp. 278–281).IEEE.
56. Stuart, H, Lavoue, E, & Serna, A (2020). To tailor or not to tailor gamification? An analysis of the impact of tailored game elements on learners' behaviors and motivation. In *21th International conference on artificial intelligence in education* (pp. 216–227).
57. Stuart, H, Serna, A, Marty, J-C, & Lavoue, E (2019). Adaptive gamification in education: A literature review of current trends and developments. In *European conference on technology enhanced learning (EC-TEL)* (pp. 294–307).
58. Sullivan, A P, Bird, D W, & Perry, G H (2017). Human behaviour as a long-term ecological driver of non-human evolution. *Nature Ecology & Evolution*, 1(3), 0065.
59. Adaji, I, Oyibo, K, & Vassileva, J (2018). The effect of gender and age on the factors that influence healthy shopping habits in e-commerce. In *Proceedings of the 26th conference on user modeling, adaptation and personalization* (pp. 251– 255). ACM.
60. N.Yılmaz& Batdı “The use of AR in the laboratory,”*The Turkish Online Journal of Educational Technology*, vol. 8, no. 4, pp. 238-248, Nov. 2021

61. Alomair, Y, & Hammami, S (2020). A review of methods for adaptive gamified learning environments. In *2020 3rd International conference on computer applications & information security (ICCAIS)* (pp.1–6).IEEE.
62. Ampatzoglou, A, & Stamelos, I (2010). Software engineering research for computer games: A systematic review.*Information and Software Technology*, 52(9), 888–901.
63. M. Aehnelt and K. Wegner, Learn but work! towards self-directed learning at mobile assembly workplaces, *ACM Int.Conf. Proceeding Ser.*, vol. 21-22-Octo, no. October 2015, 2015, doi: 10.1145/2809563.2809577.
64. F. Echtler, Virtual and Augmented Reality Applications in Manufacturing, *Virtual Augment. Real. Appl. Manuf.*, no. January, pp. 0–27, 2004, doi: 10.1007/978-1-4471-3873-0.
65. S. Gavaghan, K. A., Anderegg, S., Peterhans, M., Oliveira-Santos, T., and Weber, Augmented reality image overlay projection for image guided open liver ablation of metastatic liver cancer, Springer, pp. 36–46, 2011.
66. T. H. Dani and R. Gadh, Creation of concept shape designs via a virtual reality interface, *CAD Comput. Aided Des.*, vol. 29, no. 8, pp. 555–563, 1997, doi: 10.1016/S0010-4485(96)00091-7.
67. Mitchell, R., 2011. Alien Contact!: Exploring teacher implementation of an augmented reality curricular unit. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 30(3), pp.271-302.
68. B. R. De Araojo, G. Casiez, and J. A. Jorge, Mockup builder: Direct 3D modeling on and above the surface in a continuous interaction space, *Proc. - Graph. Interface*, pp. 173–180, 2012.
69. Y. Aoki, S. Ujihara, T. Saito, and Y. Yuminaka, “Development of augmented reality systems displaying three-dimensional dynamic motion in real time,” *Phys.Educ.*, vol. 55, no. 4, Jun. 2020, Art. no. 045020.
70. M. Chandrakar and K. K. Bhagat, “Development of an augmented reality-based game for projectile motion,” *Phys.Teacher*, vol. 58, no. 9,pp. 668–669, Dec. 2020.

71. N.-J. Sung, J. Ma, Y.-J. Choi, and M. Hong, “Real-time augmented reality physics simulator for education,” *Appl. Sci.*, vol. 9, no. 19, p. 4019, Sep. 2019
72. S. Kapp, M. Thees, M. P. Strzys, F. Beil, J. Kuhn, O. Amiraslanov, H. Javaheri, P. Lukowicz, F. Lauer, C. Rheinl nder, and N. Wehn, “Augmenting Kirchhoff’s laws: Using augmented reality and smartglasses to enhance conceptual electrical experiments for high school students,” *Phys. Teacher*, vol. 57, no. 1, pp. 52–53, Jan. 2019.
73. R. Amelia, G. Kadarisma, N. Fitriani, and Y. Ahmadi, “The effect of online mathematics learning on junior high school mathematics resilience during the covid-19 pandemic,” *Journal of Physics Conference Series*, vol.10, no.2, pp.1657-1667, Oct.2020.
74. Taylor CS. *Validity and validation*. Oxford University Press; 2013.
75. Ismail, I. Festiana, T. I. Hartini, Y. Yusal, and A. Malik, “Enhancing students’ conceptual understanding of electricity using learning media-based augmented reality,” *J. Phys., Conf. Ser.*, vol. 1157, Feb. 2019, Art.no. 032049.
76. Teichrow and R. Erb, “How augmented reality enhances typical classroom experiments: Examples from mechanics, electricity and optics,” *Phys. Educ.*, vol. 55, no. 6, Oct. 2020, Art.no. 065029.
77. M. Billingham and A. Duenser, “Augmented reality in the classroom,” *Computer*, vol. 45, no. 7, pp. 56–63, Jul. 2012.
78. M. P. Strzys, S. Kapp, M. Thees, J. Kuhn, P. Lukowicz, P. Knierim, and A. Schmidt, “Augmenting the thermal flux experiment: A mixed reality approach with the HoloLens,” *Phys. Teacher*, vol. 55, no. 6, pp. 376–377, Sep. 2017
79. K. H. Cheong, J. M. Koh, D. J. Yeo, Z. X. Tan, B. O. E. Boo, and G. Y. Lee, “Paradoxical simulations to enhance education in mathematics,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 17941–17950, 2019.
80. K. H. Cheong and J. M. Koh, “Integrated virtual laboratory in engineering mathematics education: Fourier theory,” *IEEE Access*, vol. 6, pp. 58231–58243, 2018.

81. D. Y. Tan and C. W. Cheah, “Developing a gamified AI-enabled online learning application to improve students’ perception of university physics,” *Comput. Educ., Artif.Intell.*, vol. 2, Jan. 2021, Art.no. 100032.
82. G. Olympiou and Z. C. Zacharia, “Blending physical and virtual manipulatives in physics laboratory experimentation,” in *Topics and Trends in Current Science Education*. Dordrecht, The Netherlands: Springer, Sep. 2013, pp. 419– 433, doi: 10.1007/978-94-007-7281-6\_26
83. A. Chang, and M. Hwang, “Trends in digital game-based learning in the mobile era: a systematic review of journal publications from 2007 to 2016,” *International Journal of Mobile Learning and Organization*, vol.13, no.1, pp.68-90, Sept. 2019.
84. G. Aşıksoy and D. Islek, “The impact of the virtual laboratory on students’ attitude in a general physics laboratory,” *Int. J. Online Eng.*, vol. 13, no. 4, p. 20, Apr. 2017.
85. J. Bolmsten and M. E. Manuel, “Sustainable participatory processes of education technology development,” *Educ.Technol. Res. Develop.*, vol. 68, no. 5, pp. 2705–2728, Jul. 2020.
86. K.-E. Chang, Y.-L. Chen, H.-Y. Lin, and Y.-T. Sung, “Effects of learning support in simulation-based physics learning,” *Comput.Educ.*, vol. 51, no. 4, pp. 1486–1498, Dec. 2008.
87. K. Cranmer, J. Brehmer, and G. Louppe, “The frontier of simulation-based inference,” *Proc. Nat.Acad. Sci. USA*, vol. 117, no. 48, pp. 30055–30062, May 2020.
88. D. Tillman, V. Alvidrez-Aguirre, S. J. Kim, and S. An, “Teachers’ conceptions of the pedagogical potential for classroom-based augmented reality,” *J. Educ.Multimedia Hypermedia*, vol. 28, no. 4, pp. 411–434, 2019.
89. O. Sarıgöz, “Augmented reality, virtual reality and digital games: A research on teacher candidates,” *Educ. Policy Anal. Strategic Res.*, vol. 14, no. 3, pp. 41–63, Sep. 2019.
90. Sural, “Augmented reality experience: Initial perceptions of higher education students,” *Int. J. Instruct.*, vol. 11, no. 4, pp. 565–576, Oct. 2018.

91. M. Sáez-López, R. Cózar-Gutiérrez, J. A. González-Calero, and C. J. G.Carrasco, “Augmented reality in higher education: An evaluation program in initial teacher training,” *Educ. Sci.*, vol. 10, no. 2, p. 26, Jan. 2020.
92. H. Salmi, H. Thuneberg, and M. Vainikainen, “Making the invisible observable by Augmented Reality in informal science education context,” *International Journal of Science Education, Part B Communication and Public Engagement*, vol.7, no. 3, pp.253-268, Nov.2016.
93. M. Akçayır, G. Akçayır, H. M. Pektaş, and M. A. Ocak, “Augmented reality in science laboratories: The effects of augmented reality on university students’ laboratory skills and attitudes toward science laboratories,” *Comput.Hum. Behav.*, vol. 57, pp. 334–342, Apr. 2016.
94. Y. Wahyu, I. W. Suastra, I. W. Sadia, and N. K. Suarni, “The effectiveness of mobile augmented reality assisted STEM-based learning on scientific literacy and students’ achievement,” *Int. J. Instruct.*, vol. 13, no. 3, pp. 343–356, Jul. 2020, doi: 10.29333/iji.2020.13324a.
95. R. Lamb, J. Lin, and J. B. Firestone, “Virtual reality laboratories: A way forward for schools?” *Eurasia J. Math., Sci. Technol. Educ.*, vol. 16, no. 6, Apr. 2020, Art. no. em1856.
96. O. S. Kaya and H. Bicen, “Study of augmented reality applications use in education and its effect on the academic performance,” *Int. J. Distance Educ.Technol.*, vol. 17, no. 3, pp. 25–36, Jul. 2019.
97. M. Thees, S. Kapp, M. P. Strzys, F. Beil, P. Lukowicz, and J. Kuhn, “Effects of augmented reality on learning and cognitive load in university physics laboratory courses,” *Comput.Hum. Behav.*, vol. 108, Jul. 2020, Art. no. 106316.
98. S. Cai, C. Liu, T. Wang, E. Liu, and J. Liang, “Effects of learning physics using augmented reality on students’ self-efficacy and conceptions of learning,” *Brit. Educ. Technol.*, vol. 52, no. 1, pp. 235–251, Aug. 2020.
99. Fidan and M. Tuncel, “Integrating augmented reality into problem based learning: The effects on learning achievement and attitude in physics education,” *Comput. Educ.*, vol. 142, Dec. 2019, Art.no. 103635.

100. G. D. Hendry, M. Frommer, and R. A. Walker, “Constructivism and problem-based learning,” *J. Further Higher Educ.*, vol. 23, no. 3, pp. 369–371, Oct. 1999.
101. J. R. Savery, “Overview of problem-based learning: Definitions and distinctions,” *Interdiscipl.J. Problem-Based Learn.*, vol. 1, no. 1, p. 3, May 2006.
102. S.Cai, F.-K. Chiang, Y. Sun, C. Lin, and J. J. Lee, “Applications of augmented reality-based natural interactive learning in magnetic field instruction,” *Interact. Learn. Environ.*, vol. 25, no. 6, pp. 778–791, May 2016.
103. Volioti C, Keramopoulos E, Sapounidis T, Melisidis K, Zafeiropoulou M, Sotiriou C, Spiridis V. Using Augmented Reality in K-12 Education: An Indicative Platform for Teaching Physics. *Information*. 2022 Jul 12;13(7):336.
104. Z. A. Yılmaz and V. Batdı, “A meta-analytic and thematic comparative analysis of the integration of augmented reality applications into education,” *Egitim ve Bilim*, vol. 41, no. 188, pp. 273–289, Dec. 2016.
105. Techakosit S, Nilsook P. The Learning Process of Scientific Imagineering through AR in Order to Enhance STEM Literacy. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*. 2016 Oct 1;11(7).
106. S.Cai, F.-K. Chiang, and X. Wang, “Using the augmented reality 3D technique for a convex imaging experiment in a physics course,” *Int. J. Eng.Educ.*, vol. 29, no. 4, pp. 856–865, 2013.
107. J.-C. Yen, C.-H. Tsai, and M. Wu, “Augmented reality in the higher education: Students’ science concept learning and academic achievement in astronomy,” *Proc.-Social Behav. Sci.*, vol. 103, pp. 165–173, Nov. 2013.
108. M. Aji, M. Astuti, and N. Nasirun “The teaching of physics using the OP” *European Journal of Education Studies*, vol. 7, no. 5, pp. 148-154, Oct. 2021
109. Τσιαβός, Π., Σοφός, Α., «Χρήση της επαυξημένης πραγματικότητας στην εκπαίδευση: Ανάπτυξη και χρήση εφαρμογής για το μάθημα «Φυσικά - Ερευνώ και Ανακαλύπτω» της Ε΄ τάξης του Δημοτικού σχολείου». *Ανοικτή Εκπαίδευση: το περιοδικό για την Ανοικτή και εξ Αποστάσεως Εκπαίδευση και την Εκπαιδευτική Τεχνολογία*, τόμ. 15, αρ. 2, 38-53, 2019

110. P. F. Bendicho, C. E. Mora, B. Aporbe-Dvaz, and P. Rivero-Rodriguez, "Effect on academic procrastination after introducing augmented reality," *EURASIA J. Math., Sci. Technol. Educ.*, vol. 13, no. 2, pp. 319–330, Dec. 2016.
111. S. Smith and M. Khechara, "Using augmented reality to enhance the students' laboratory experience," in *Proc. EDULEARN*, Mar. 2017, pp. 54–72
112. Crăciun D, Bunoiu M. Digital Comics, a Visual Method for Reinvigorating Romanian Science Education. *Romanian Journal for Multidimensional Education/Revista Romaneasca Pentru Educatie Multidimensionala*. 2019 Dec 1;11(4).
113. Cheng, "Views of students to use AR in learning physics," *J Biosci Bioeng*, vol. 123, no. 2, pp. 141-146, Aug. 2017.
114. Daineko Y, Dmitriyev V, Ipalakova M. Using virtual laboratories in teaching natural sciences: An example of physics courses in university. *Computer Applications in Engineering Education*. 2017 Jan;25(1):39-47.
115. Ibáñez MB, Di Serio Á, Villarán D, Delgado-Kloos C. Impact of visuospatial abilities on perceived enjoyment of students toward an ar-simulation system in a physics course. In *2019 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON) 2019 Apr 8* (pp. 995-998). IEEE.
116. Abdusselam MS, Karal H. The effect of using augmented reality and sensing technology to teach magnetism in high school physics. *Technology, Pedagogy and Education*. 2020 Aug 7;29(4):407-24.
117. Virata RO, Castro JD. Augmented reality in science classroom: Perceived effects in education, visualization and information processing. In *Proceedings of the 10th International Conference on E-Education, E-Business, E-Management and E-Learning 2019 Jan 10* (pp. 85-92).
118. Ozdamli F, Karagozlu D. Preschool teachers' opinions on the use of augmented reality application in preschool science education. *Croatian Journal of Education: Hrvatski časopis za odgoj i obrazovanje*. 2018 Mar 30;20(1):43-74.
119. Zafeiropoulou M, Volioti C, Keramopoulos E, Sapounidis T. Developing Physics Experiments Using Augmented Reality Game-Based Learning Approach: A Pilot Study in Primary School. *Computers*. 2021 Oct 11;10(10):126.

120. Dünser A, Walker L, Horner H, Bentall D. Creating interactive physics education books with augmented reality. In Proceedings of the 24th Australian computer-human interaction conference 2012 Nov 26 (pp. 107-114).
121. Enyedy N, Danish JA, Delacruz G, Kumar M. Learning physics through play in an augmented reality environment. International journal of computer-supported collaborative learning. 2012 Sep;7(3):347-78.
122. Nielsen BL, Brandt H, Swensen H. Augmented Reality in science education—affordances for student learning. NorDiNa. 2016;12(2):157-74.
123. Yoon S, Anderson E, Lin J, Elinich K. How augmented reality enables conceptual understanding of challenging science content. Journal of Educational Technology & Society. 2017 Jan 1;20(1):156-68.
124. Kiv AE, Bilous VV, Bodnenko DM, Horbatovskyi DV, Lytvyn OS, Proshkin VV. The development and use of mobile app AR Physics in physics teaching at the university. CEUR Workshop Proceedings.
125. Palamar SP, Bieliienka GV, Ponomarenko TO, Kozak LV, Nezhyva LL, Voznyak AV. Formation of readiness of future teachers to use augmented reality in the educational process of preschool and primary education. CEUR Workshop Proceedings.