



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ



## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

**ΑΛΕΞΑΝΔΡΑΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΠΟΥΛΟΥ**

**«Χρήση έξυπνων κινητών τηλεφώνων και αισθητήρων  
και η έννοια της επιστήμης του πολίτη»**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΘΕΟΔΩΝΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ, Ε.ΔΙ.Π., ΤΟΜ. ΦΥΣΙΚΗΣ, ΕΜΠ**

### ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΘΕΟΔΩΝΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ, Ε.ΔΙ.Π., ΤΟΜ. ΦΥΣΙΚΗΣ, ΕΜΠ

ΒΕΛΕΝΤΖΑΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ, Ε.ΔΙ.Π., ΤΟΜ. ΦΥΣΙΚΗΣ, ΕΜΠ

ΠΑΥΛΟΠΟΥΛΟΥ ΚΑΛΛΙΟΠΗ, Ε.ΔΙ.Π., ΤΟΜ. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ, ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2024

*The science of today is the technology of tomorrow.*

Edward Teller

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας, τον κ. Θεοδώνη Ιωάννη, μέλος Ε.ΔΙ.Π του Τομέα Φυσικής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Οι πολύτιμες συμβουλές του και οι εποικοδομητικές συζητήσεις που είχαμε συνέβαλλαν καθοριστικά στην εκπόνηση αυτής της εργασίας.

Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου που όλα αυτά τα χρόνια με στήριζαν και ήταν δίπλα μου σε αυτό το ταξίδι.

.....

Αλεξάνδρα Χαραλαμποπούλου © (2024) Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. All rights Reserved. Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σ' αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Με τη ραγδαία πρόοδο της τεχνολογίας, το κινητό τηλέφωνο έχει εξελιχθεί σε ένα φορητό ηλεκτρονικό gadget με πολλές λειτουργίες. Το τηλέφωνο, εξοπλισμένο πια με αρκετούς αισθητήρες, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ακρόαση μουσικής, προβολή ταινιών και λήψη φωτογραφιών. Αυτή η διπλωματική εργασία έχει ως στόχο την εξερεύνηση του συνεχούς διευρυμένου τοπίου της τεχνολογίας των smartphones και την ενσωμάτωσή τους με αισθητήρες, ανοίγοντας νέες δυνατότητες και δρόμους για επιστημονική έρευνα, εκπαίδευση και συμμετοχή. Κατά τη συζήτηση των κλασικών αισθητήρων και των εφαρμογών τους, συμπεριλαμβανομένων των αισθητήρων εικόνας, των αισθητήρων αναγνώρισης δακτυλικών αποτυπωμάτων και των αισθητήρων βαρύτητας, εμβαθύνουμε στην ανάπτυξη νέων αισθητήρων, τονίζοντας τη συνεχή καινοτομία σε αυτόν τον τομέα αλλά και τις εκπαιδευτικές εφαρμογές των κινητών τηλεφώνων. Στόχος είναι να αναδείξουμε πώς τα smartphones, με τις δυνατότητες αισθητήρων τους, έχουν τη δυνατότητα να φέρουν επανάσταση στον τρόπο διδασκαλίας και μάθησης, κάνοντας την εκπαίδευση πιο διαδραστική, ελκυστική και πρακτική.

Μια σημαντική προσθήκη σε αυτή την εργασία είναι η βαθιά έρευνα πάνω στην έννοια της επιστήμης του πολίτη, διερευνώντας πώς τα smartphones έχουν γίνει ισχυρά εργαλεία για τους επιστήμονες-πολίτες, δίνοντάς τους τη δυνατότητα να συνεισφέρουν σε διάφορα ερευνητικά έργα και να συνεργαστούν με την επιστημονική κοινότητα. Επιπλέον, τονίζεται η σημασία της συμπερίληψης, των ηθικών κριτηρίων και της βιωσιμότητας στο πλαίσιο της επιστήμης των πολιτών.

Συμπερασματικά, στην διπλωματική εργασία, τονίζεται η σημασία των αισθητήρων smartphones με έμφαση και στις ευρύτερες εφαρμογές τους στην επιστήμη των πολιτών, την εκπαίδευση και την επιστημονική έρευνα. Ο αντίκτυπος των αισθητήρων smartphones εκτείνεται πέρα από το μεμονωμένο χρήστη για να ωφελήσει την επιστημονική κοινότητα και την κοινωνία στο σύνολό της. Καθώς η τεχνολογία smartphones συνεχίζει να προοδεύει, οι δυνατότητες και η ζήτηση για αυτές τις συσκευές δεν πρέπει να υποτιμώνται. Η εργασία αυτή είναι μια απόδειξη της συνεχώς εξελισσόμενης σχέσης μεταξύ τεχνολογίας και επιστήμης, ανοίγοντας το δρόμο για ένα πιο συνδεδεμένο και ενεργό μέλλον.

**Λέξεις κλειδιά:** Κινητά τηλέφωνα, Επιστήμη του Πολίτη, Αισθητήρες

## ABSTRACT

With the rapid advancement of technology, the mobile phone has evolved into a portable electronic gadget with many functions. The phone, now equipped with several sensors, can be used for listening to music, watching movies and taking pictures. This thesis aims to explore the ever-expanding landscape of smartphone technology and its integration with sensors, opening up new possibilities and avenues for scientific research, education and participation. While discussing classical sensors and their applications, including image sensors, fingerprint recognition sensors and gravity sensors, it delves into the development of new sensors, highlighting the continuous innovation in this field and the educational applications of mobile phones. The aim is to show how smartphones, with their sensor capabilities, have the potential to revolutionize the way we teach and learn, making education more interactive, engaging and practical.

An important addition to this work is the comprehensive exploration of citizen science, exploring how smartphones have become powerful tools for citizen scientists, enabling them to contribute to various research projects and collaborate with the scientific community. In addition, the importance of inclusion, ethical criteria and sustainability in the context of citizen science is highlighted.

In conclusion, the thesis highlights the importance of smartphone sensors with a focus on their wider applications in citizen science, education and scientific research. The impact of smartphone sensors extends beyond the individual user to benefit the scientific community and society as a whole. As smartphone technology continues to advance, the potential and demand for these devices should not be underestimated. This work is a testament to the ever-evolving relationship between technology and science, paving the way for a more connected and engaged future.

**Key words:** Mobile phones, Citizen Science, Sensors

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<i>Ευχαριστίες</i> .....	3
<i>Περίληψη</i> .....	5
<i>Abstract</i> .....	6
<b>1. Εισαγωγή</b> .....	<b>11</b>
<b>2. «Εξυπνα» τηλέφωνα – smartphones</b> .....	<b>12</b>
2.1 Ιστορία των smartphones .....	12
2.2 Χαρακτηριστικά των smartphones .....	14
2.3 Η Εκπαιδευτική Χρήση των smartphones .....	15
<b>3. Τα smartphones και η Εκπαίδευση της Φυσικής</b> .....	<b>17</b>
3.1 Ενσωμάτωση smartphones στην Εκπαίδευση της Φυσικής .....	17
3.1.1 Πλεονεκτήματα των Πειραμάτων που βασίζονται σε smartphones .....	17
3.1.2 Ξεπερνώντας τα Εμπόδια στην Εφαρμογή .....	19
3.2 Παραδείγματα Πρακτικών Εφαρμογών smartphones στην Εκπαίδευση .....	20
3.2.1 Η Εφαρμογή Phyrhox.....	20
Χρήση της Εφαρμογής Phyrhox στην Εκπαίδευση .....	22
3.2.2 Μέτρηση Επιτάχυνσης και Ελεύθερης Πτώσης .....	22
3.2.3 Διερεύνηση Απλής Αρμονικής Κίνησης.....	24
3.2.4 Διερεύνηση των Νόμων της Θερμοδυναμικής .....	25
3.3 Καινοτόμες Προσεγγίσεις.....	27
3.3.1 Ενσωμάτωση Στοιχείων Gamification.....	27
3.3.2 Συνδυασμός της Εξ Αποστάσεως και της Προσωποποιημένης Μάθησης.....	28
3.3.3 Ενσωμάτωση Εμπειριών Επαυξημένης Πραγματικότητας (AR) .....	30
<b>4. Εφαρμογές Αισθητήρων στα smartphones</b> .....	<b>32</b>
4.1 Ορισμός Αισθητήρων .....	32
4.2 Αισθητήρες Οθόνης Αφής .....	33
Αντιστατική Οθόνη Αφής.....	33

4.2.1	Οθόνη Αφής με Τεχνολογία Χωρητικότητας .....	35
4.3	Αισθητήρας Εικόνας .....	36
4.4	Αισθητήρας για Αναγνώριση Δακτυλικών Αποτυπωμάτων.....	38
4.5	Αισθητήρας Φωτός .....	40
4.6	Τεχνολογία Μικροηλεκτρομηχανικών Συστημάτων (MEMS).....	42
4.7	Επιταχυνσιόμετρο .....	44
	Εφαρμογές.....	48
4.8	Γυροσκόπιο .....	51
	Γυροσκόπια MEMS .....	52
	Εφαρμογές.....	53
4.9	Μαγνητόμετρο .....	55
	Ανίχνευση Μαγνητικού Πεδίου.....	55
	Εφαρμογές.....	57
4.10	Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης (GPS) .....	58
4.11	Βαρόμετρο .....	58
<b>5.</b>	<b><i>Εισαγωγή στην Επιστήμη του Πολίτη.....</i></b>	<b>59</b>
5.1	Καθορισμός της Επιστήμης του Πολίτη .....	60
5.1.1	Εννοιολογικό Πλαίσιο .....	60
5.1.2	Ιστορικό Πλαίσιο .....	62
5.2	Αρχές και Στόχοι.....	63
5.2.1	Βασικές Αρχές .....	63
5.2.2	Αντικείμενα και Στόχοι.....	64
5.3	Ο Ρόλος της Τεχνολογίας και των smartphones στην Επιστήμη του Πολίτη .....	66
5.3.1	Τεχνολογικές εξελίξεις .....	66
5.3.2	Ενσωμάτωση των smartphones και του Cloud Computing .....	68
5.4	Παραδείγματα Έργων Επιστήμης του Πολίτη.....	70
5.4.1	Περιβαλλοντική Παρακολούθηση .....	70



5.4.2	Βιολογική Έρευνα.....	72
5.4.3	Αστρονομικές Παρατηρήσεις .....	73
5.5	Οφέλη και Προκλήσεις .....	75
5.5.1	Πλεονεκτήματα για την Επιστήμη .....	75
5.5.2	Δέσμευση της Κοινότητας.....	76
<b>6.</b>	<b><i>Συμμετοχή Πολιτών μέσω Εφαρμογών για Κινητά .....</i></b>	<b>79</b>
6.1	Εφαρμογές Κινητών σχετικές με την Επιστήμη του Πολίτη .....	80
6.1.1	Εξέλιξη Εφαρμογών Επιστήμης του Πολίτη .....	80
6.1.2	Προσβασιμότητα και Συμμετοχικότητα .....	81
6.2	Σχεδιασμός Φιλικών προς το Χρήστη Εφαρμογών .....	83
6.2.1	Σχεδιασμός με Επίκεντρο τον Χρήστη .....	83
6.2.2	Στοιχεία Gamification.....	85
6.3	Μελέτες Περίπτωσης στην Ενσωμάτωση Εφαρμογών για Κινητά .....	88
6.3.1	Εφαρμογές Παρακολούθησης Βιοποικιλότητας.....	88
6.3.2	Εφαρμογές Εξερεύνησης Διαστήματος .....	90
6.3.3	Εφαρμογές Υγείας και Ιατρικής Έρευνας.....	92
6.3.4	Η Πλατφόρμα Zooniverse.....	94
6.4	Συλλογή και Ανάλυση Δεδομένων .....	95
6.4.1	Ποιότητα και Επικύρωση Δεδομένων .....	95
6.4.2	Ανάλυση Δεδομένων μέσω Πληθοπορισμού (Crowdsourcing) .....	97
<b>7.</b>	<b><i>Ενδυνάμωση των Πολιτών ως Επιστημονικοί Συντελεστές .....</i></b>	<b>100</b>
7.1	Ενδυνάμωση του Κοινού .....	101
7.1.1	Συμμετοχικότητα και Διαφορετικότητα .....	101
7.1.2	Εκπαιδευτικός Αντίκτυπος .....	103
7.2	Ηθικά Ζητήματα .....	104
7.2.1	Απόρρητο και Ασφάλεια Δεδομένων .....	104
7.2.2	Συναίνεση μετά από Ενημέρωση.....	107
7.3	Εκπαίδευση και Προβολή.....	109

7.3.1	Επιστήμη του Πολίτη στην Εκπαίδευση Φοιτητών .....	109
7.3.2	Στρατηγικές Δημόσιας Δέσμευσης .....	111
7.4	Μελλοντικές Τάσεις και Προκλήσεις .....	113
7.4.1	Αναδυόμενες Τεχνολογίες .....	113
7.4.2	Βιωσιμότητα και Χρηματοδότηση.....	116
<b>8.</b>	<b>Συμπεράσματα .....</b>	<b>119</b>
	<b>Βιβλιογραφία .....</b>	<b>122</b>

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα των φορητών συσκευών έχουν οδηγήσει στην αλλαγή των παραδοσιακών τεχνολογιών επικοινωνίας. Πανταχού παρόντα είναι φορητά ηλεκτρονικά gadget, συμπεριλαμβανομένων φορητών υπολογιστών, συσκευών αναπαραγωγής MP4, tablets και κινητών τηλεφώνων (Andrachuk et al., 2019).

Τα smartphones έχουν αποκτήσει κυρίαρχη θέση στην αγορά κινητών τηλεφώνων, ξεπερνώντας άλλες φορητές συσκευές. Πιο αναλυτικά, το smartphone είναι ένα φορητό τηλέφωνο εξοπλισμένο με το δικό του λειτουργικό σύστημα, με μια σειρά από διαμορφώσιμες εφαρμογές και μια οθόνη αφής με διεπαφή απόκρισης. Πλέον έχει αντικαταστήσει τα παραδοσιακά κινητά τηλέφωνα που είχαν φυσικά πληκτρολόγια (Andrachuk et al., 2019). Σαν «φορητοί υπολογιστές», εξυπηρετούν τον σκοπό της διευκόλυνσης της επικοινωνίας με αγαπημένα πρόσωπα και συνεργάτες, τη πραγματοποίηση διαδικτυακών αγορών, την ενημέρωση για τα τοπικά και παγκόσμια νέα και τη συμμετοχή σε συζητήσεις σε φόρουμ στο διαδίκτυο. Με την αυξανόμενη ενσωμάτωση των έξυπνων κινητών τηλεφώνων στην καθημερινή ρουτίνα των χρηστών, υπάρχει μια αυξανόμενη ζήτηση για προηγμένες υπηρεσίες πέρα από τις βασικές εφαρμογές. Τα smartphones εξοπλίζονται με διάφορες εφαρμογές αισθητήρων για να καλύψουν την αυξανόμενη ανάγκη για υπηρεσίες που είναι πιο προσαρμόσιμες και εξατομικευμένες.

Τα smartphones βασίζονται σε αισθητήρες για τη σωστή λειτουργία τους (Aldhaban, 2012). Ορισμένοι αισθητήρες βασίζονται για τη λειτουργία τους σε hardware, ενώ άλλοι σε software. Η ανάπτυξη στο κομμάτι του hardware και software έχει συμβάλει σημαντικά στην πρόοδο της τεχνολογίας των κινητών τηλεφώνων, καθώς και στην κάλυψη των αναγκών της αγοράς για πιο εξεζητημένες χρήσεις και εφαρμογές. Κάθε ηλεκτρονική πυξίδα, όσο μικρή κι αν είναι, χρειάζεται έναν αισθητήρα μαγνητικού πεδίου για τη διάκριση μεταξύ των κατευθύνσεων. Πολλά παιχνίδια εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τον αισθητήρα βαρύτητας, ενώ ο αισθητήρας απόστασης κλειδώνει αυτόματα την οθόνη κατά τη διάρκεια τηλεφωνικών συνομιλιών (Aldhaban, 2012). Από μια ευρύτερη σκοπιά, είναι αξιοσημείωτο ότι τα smartphones πραγματοποιούν μια πληθώρα βασικών λειτουργιών μέσω ενός συνδυασμού αισθητήρων. Αυτό καταδεικνύει την αναγκαιότητα των αισθητήρων στα smartphones.

## 2. «ΕΞΥΠΝΑ» ΤΗΛΕΦΩΝΑ – SMARTPHONES

### 2.1 ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΩΝ SMARTPHONES

---

Το Simon Personal Communicator της IBM ήταν το πρώτο smartphone που παρουσιάστηκε στο κοινό το 1993. Διέθετε την πρώτη μονοχρωματική οθόνη αφής στον κόσμο. Χρησιμοποιούσε το λειτουργικό σύστημα Zaurus και περιείχε μία μόνο εφαρμογή τρίτου μέρους με την ονομασία DispatchIt. Η δημιουργία και κυκλοφορία του στο ευρύ κοινό αποτέλεσε ορόσημο για τους μελλοντικούς επεξεργαστές smartphone (Martin, 2014).



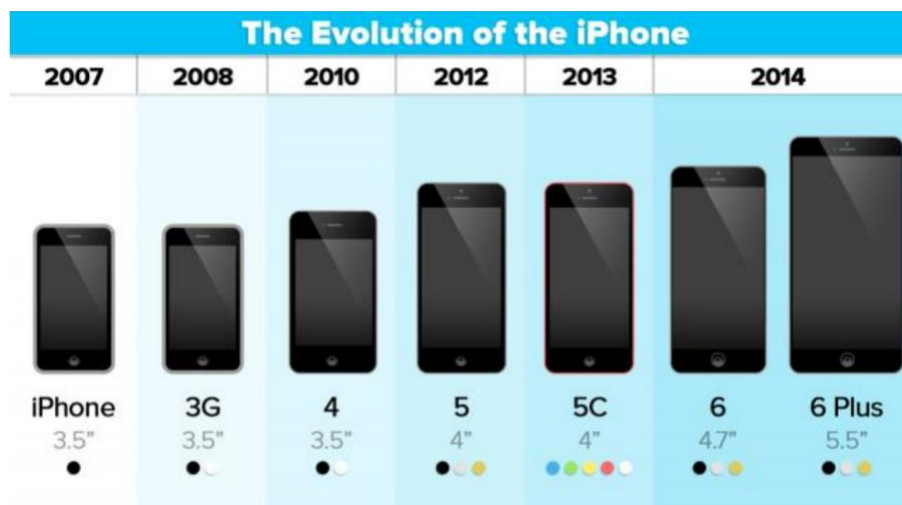
ΕΙΚΟΝΑ 1: SIMON PERSONAL COMMUNICATOR ΤΗΣ IBM (POCKETNOW, 2014)

Στα χρόνια που ακολούθησαν, η συσκευή επικοινωνίας Nokia 9000 θεωρήθηκε το πρωτότυπο smartphone, ενώ ο διάδοχός της (το 9500) ήταν το πρώτο smartphone της Nokia που διέθετε έγχρωμη οθόνη. Από το 1996 έως το 2011, το λειτουργικό σύστημα Symbian OS κυριάρχησε στην αγορά των λειτουργικών συστημάτων smartphone (Thenextweb, 2011).



ΕΙΚΟΝΑ 2: NOKIA 9500 COMMUNICATOR (THENEXTWEB, 2011)

Αξίζει να σημειωθεί ότι η εισαγωγή του iPhone από την Apple Inc. ήταν η πρώτη σημαντική ένδειξη ότι η αγορά άρχισε να αλλάζει. Πιο συγκεκριμένα η Apple Inc. κυκλοφόρησε το iPhone 3G, αυξάνοντας έτσι το μερίδιο στην αγορά των smartphones. Έκτοτε, η καινοτομία της Apple εγκαινίασε μια νέα εποχή για τα κινητά τηλέφωνα και το iPhone έγινε το πρότυπο του κλάδου. Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι τα προϊόντα της Apple αγκαλιάστηκαν γρήγορα από διάφορες χώρες, όπως φαίνεται από την επιτυχία της εταιρείας όσον αφορά τις πωλήσεις και, κατά περίπτωση, τις ελλείψεις προμηθειών.



ΕΙΚΟΝΑ 3: Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ IPHONE (MASHABLE, 2014)

## 2.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ SMARTPHONES

---

Τα smartphones περιέχουν πολυάριθμα σημαντικά χαρακτηριστικά. Κάθε smartphone πρέπει να διαθέτει τουλάχιστον τα τέσσερα ακόλουθα στοιχεία.

### **Πρόσβαση στο διαδίκτυο με ασύρματη συνδεσιμότητα**

Υποδεικνύει ότι το smartphone είναι συμβατό με GPRS σε δίκτυα GSM και CDMA1X σε δίκτυα CDMA. Είναι επίσης συμβατό με δίκτυα 3G (WCDMA, CDMA2000, TD-CDMA), 4G (HSPA+, FDD-LTE, TDD-LTE) και 5G.

### **Λειτουργικά συστήματα ανοικτού κώδικα**

Το smartphone θα πρέπει να διαθέτει ανεξάρτητη CPU και μνήμη για εγγραφή και ανάγνωση. Αυτά, επιτρέπουν στους χρήστες να διαμορφώνουν τα προγράμματα σύμφωνα με τις ανάγκες τους και να μπορούν να εκτελούν εφαρμογές χωρίς υπερθέρμανση της κινητής συσκευής. Με τις ανοικτές πλατφόρμες, οι δυνατότητες των κινητών τηλεφώνων μπορούν να επεκταθούν επ' άπειρον.

### **Εξατομίκευση**

Η εξατομίκευση νοείται η δυνατότητα των χρηστών να αυξάνουν τις λειτουργίες και τις δυνατότητες συσκευής σύμφωνα με τις ιδιαίτερες απαιτήσεις τους. Για παράδειγμα, οι χρήστες θα μπορούσαν να προσαρμόσουν την οθόνη κλειδώματος και τον ενισχυτή φωτογραφιών στις συσκευές τους σε πραγματικό χρόνο. Επιπλέον, οι χρήστες μπορούν να ενημερώνουν την συσκευή με λογισμικά ασφάλειας για την αποτροπή επιθέσεων από ιούς. Τα smartphones είναι επίσης εξοπλισμένα με έξυπνη αναγνώριση συμβατότητας λογισμικού.

### **Ισχυρές δυνατότητες**

Ακόμα ένα χαρακτηριστικό είναι η δυνατότητα επέκτασης και υποστήριξης λογισμικού τρίτων κατασκευαστών. Οι χρήστες ενθαρρύνονται να διερευνήσουν τις πιθανές λειτουργίες των smartphones, όπως αναγνώριση δακτυλικών αποτυπωμάτων, αποκωδικοποίηση barcode κωδικών συσκευασίας προϊόντων και έξυπνη απενεργοποίηση των φώτων όταν δεν χρησιμοποιούνται. Τα smartphones μπορούν πλέον να αλληλοεπιδρούν με τους χρήστες, να απαντούν σε ερωτήματα και να αναζητούν πληροφορίες.

### 2.3 Η ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ SMARTPHONES

---

Το πρώτο κύμα της ψηφιακής γενιάς (Digital Generation) ήταν η γενιά Y (δεκαετίες 1980 – 1990) και ακολουθούν οι γενιές Z (δεκαετίας 1990 – 2010) και A (δεκαετία 2010 ) όπου γεννήθηκαν και μεγάλωσαν στον κόσμο της τεχνολογίας και της εξέλιξης. Οι σημερινοί έφηβοι (γενιές Z και A) έχουν πρόσβαση σε έξυπνες συσκευές και είναι πλήρως εξοικειωμένοι με αυτές. Μάλιστα σύμφωνα με τους Kacetl και Klímoná (2019) φαίνεται δύσκολο να επιβιώσουν σε έναν κόσμο χωρίς κινητά τηλέφωνα και άλλα είδη τεχνολογικής εξέλιξης, μιας και πλέον είναι αναπόσπαστο κομμάτι της ζωής τους. Στο σχολικό πλαίσιο, ολοένα και περισσότεροι καθηγητές βασίζονται στην τεχνολογία για να παραδίδουν διαλέξεις και να επικοινωνούν με τους μαθητές (Cho et al., 2014).

Η αξιοποίηση ενός smartphone ως εργαλείο κοινωνικής μάθησης στην τάξη έχει πολλά πλεονεκτήματα (Baumgart, 2011).

- Τα παιδιά λαμβάνουν άμεση βοήθεια μέσω της χρήσης εκπαιδευτικών εφαρμογών, μηχανών αναζήτησης και άλλων διαδικτυακών πηγών. Όταν οι μαθητές μπορούν να εντοπίζουν γρήγορα τις απαντήσεις στις ερωτήσεις τους, δεν χρειάζεται να ξοδεύουν αμέτρητες ώρες αναζητώντας σε βιβλία.
- Ο εξοπλισμός βίντεο και ήχου κάνει μαθήματα όπως τη λογοτεχνία, την ιστορία και την φυσική να ζωντανεύουν.
- Η χρήση κινητών τηλεφώνων διευκολύνει την επικοινωνία μεταξύ των μαθητών. Εάν οι μαθητές συνεργάζονται σε μια εργασία, μπορούν να επικοινωνούν μέσω των μέσων κοινωνικής δικτύωσης και να παρακολουθούν ο ένας την εξέλιξη του άλλου. Η δημιουργία μιας ομάδας συζήτησης είναι μια έξυπνη μέθοδος για την άμεση ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ καθηγητών και μαθητών.

Λόγω της αλληλεξάρτησής τους, είναι δύσκολο, αν όχι αδύνατο, να διαχωριστεί η ανθρώπινη ζωή από την τεχνική πρόοδο. Το πρωταρχικό ζήτημα, ωστόσο, είναι κατά πόσον τα κινητά τηλέφωνα είναι ωφέλιμα για τους μαθητές (Phillippi & Wyatt, 2011). Αποτελούν έναν έγκυρο τρόπο διδασκαλίας και μάθησης για τους νέους ή είναι απλώς μια ακόμη πηγή κοινωνικής απομάκρυνσης;

Χάρη στις έξυπνες συσκευές, είναι πλέον απλούστερο για τους μαθητές να έχουν πρόσβαση σε επιπλέον εκπαιδευτικό υλικό. Μέσω μιας σειράς εφαρμογών και του διαδικτύου, οι μαθητές μπορούν να έχουν πρόσβαση σε κάθε είδους γνώση ή εμπειρογνώμονα από οπουδήποτε στον κόσμο για πληροφόρηση. Λόγω της τεχνολογικής προόδου, οι ευκαιρίες για εκπαίδευση είναι πλέον προσβάσιμες σε όλο και περισσότερο πληθυσμό.

Σημαντικό ρόλο σε αυτή την πρόοδο διαδραμάτισε η πανδημία COVID-19. Λόγω των συνθηκών το εκπαιδευτικό σύστημα αναγκάστηκε να αναπτύξει ταχύτατα νέο εκπαιδευτικό υλικό και διαδικτυακές πλατφόρμες, οδηγώντας σε σημαντική αύξηση της χρήσης εικονικών (virtual) εργαλείων μάθησης. Οι καινοτομίες στην εκπαιδευτική τεχνολογία, όπως η εικονική (virtual) διδασκαλία και οι τηλεδιασκέψεις, βελτίωσαν την εμπειρία της μάθησης. Οι νέες πλατφόρμες που σχεδιάστηκαν ήταν ελκυστικές για τους μαθητές και προσβάσιμες σε όλους. Η αλλαγή αυτή διευκόλυνε την εξ αποστάσεως μάθηση κατά τη διάρκεια της κρίσης και ανέδειξε τις δυνατότητες για μακροπρόθεσμες αλλαγές στην παροχή εκπαίδευσης και τη δέσμευση των μαθητών (Cathy Li et al., 2020).

Η εξέλιξη αυτή συνεχίζεται και σήμερα, και με την τεχνολογική πρόοδο, αυξάνεται ακόμη περισσότερο. Λόγω της ευκολότερης πρόσβασης σε πειραματικό εξοπλισμό και εφαρμογές, οι φοιτητές μπορούν πλέον να προσφέρουν καινοτομία σε διάφορους τομείς συμβάλλοντας στην τεχνολογική πρόοδο (Hochberg et al., 2018).



### 3. ΤΑ SMARTPHONES ΚΑΙ Η ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΤΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ

#### 3.1 ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ SMARTPHONES ΣΤΗΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΤΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ

---

##### 3.1.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΒΑΣΙΖΟΝΤΑΙ ΣΕ SMARTPHONES

---

Η χρήση των κινητών τηλεφώνων στις τάξεις φυσικής έχει αναδειχθεί ως στρατηγική που αλλάζει το παιχνίδι στην εκπαίδευση, αναδιαμορφώνοντας τον τρόπο με τον οποίο οι μαθητές αλληλεπιδρούν με τις πειραματικές έννοιες και βελτιώνοντας κατά πολύ την εκπαίδευσή τους στο σύνολό της (Hirca, 2017). Αυτή η προσέγγιση έχει πολλά πιθανά οφέλη, συμπεριλαμβανομένης της δημιουργίας νέων ευκαιριών για τη συμμετοχή των μαθητών αλλά την ευρεία πληροφόρηση.

Τα smartphones, με τον εξειδικευμένο εργαστηριακό εξοπλισμό, είναι ευρέως διαθέσιμα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν από μαθητές και φοιτητές από ένα ευρύ φάσμα κοινωνικοοικονομικών υποβάθρων. Λόγω αυτής της ισότητας ευκαιριών, τα όλο και περισσότερα παιδιά θα έχουν την ίδια ευκαιρία να συμμετάσχουν σε πρακτικά πειράματα φυσικής (Hirca, 2017).

Επιπλέον, όσον αφορά τη συλλογή και την ανάλυση πληροφοριών, τα smartphones παρέχουν επίσης μια συμπαγή και ευέλικτη πλατφόρμα. Τα ενσωματωμένα επιταχυνσιόμετρα, γυροσκόπια και το παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης (GPS) τους επιτρέπουν να συλλέγουν δεδομένα για μια ποικιλία φυσικών φαινομένων (Staacks et al., 2018). Αυτή η προσαρμοστικότητα επιτρέπει στους μαθητές περισσότερη ελευθερία να επινοήσουν και να πραγματοποιήσουν τα δικά τους πειράματα, κάτι που με τη σειρά του ενθαρρύνει την πρωτοβουλία και την αγάπη για μάθηση. Επιπλέον, οι μαθητές μπορούν να συγκεντρωθούν καλύτερα στις θεμελιώδεις αρχές της φυσικής αντί να παλεύουν με περίπλοκο εξοπλισμό λόγω της ευκολίας συλλογής δεδομένων και της διαθεσιμότητας φιλικών προς τον χρήστη εφαρμογών (Jian-hua & hong, 2012).

Το βασικό πλεονέκτημα στην χρήση των smartphones είναι η δυνατότητα πρακτικής εφαρμογής. Ως αντανάκλαση της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται στον ακαδημαϊκό χώρο και τη βιομηχανία, τα smartphones εξοικειώνουν τους μαθητές με τους πόρους που θα αντιμετωπίσουν στο χώρο εργασίας (Jian-hua & hong, 2012). Αυτό όχι μόνο βελτιώνει τον τεχνολογικό τους αλφαριθμητισμό αλλά και τους βοηθά να κάνουν τη μετάβαση από τη θεωρητική μελέτη στην πρακτική εφαρμογή. Με το να βλέπουν οι μαθητές από πρώτο χέρι πώς εφαρμόζεται η θεωρητική φυσική στον πραγματικό κόσμο, ενισχύεται η αξιοπιστία των σπουδών τους.

Η διαδραστικότητα των κινητών τηλεφώνων είναι ένα επιπλέον όφελος για το ενδιαφέρον και τη διατήρηση αυτού στους μαθητές (Jian-hua & hong, 2012). Οι μαθητές είναι σε θέση να διερευνήσουν πολύπλοκα φαινόμενα με δυναμικό και διαισθητικό τρόπο με τη βοήθεια προσομοιώσεων και απεικονίσεων μέσα από εφαρμογές που έχουν κατασκευαστεί ειδικά για πειράματα φυσικής. Πιο συγκεκριμένα, οι μαθητές επωφελούνται πολύ από αυτά τα οπτικά βοηθήματα, τα οποία διευκολύνουν την κατανόηση βασικών ιδεών.

Επιπρόσθετα, η ευκολία των κινητών τηλεφώνων συνεπάγεται ότι η έρευνα μπορεί να διεξαχθεί εκτός ενός παραδοσιακού εργαστηριακού περιβάλλοντος (Hung et al., 2017). Είτε πρόκειται για την εκτέλεση μετρήσεων στην ύπαιθρο είτε για τη διεξαγωγή ενός πειράματος, οι εφαρμογές της φυσικής μπορούν να εξερευνηθούν στον πραγματικό κόσμο. Αυτό το είδος προσαρμοστικότητας παρακινεί τους μαθητές να συμμετέχουν ενεργά στην τάξη και αυξάνει την επιθυμία τους να μάθουν έξω από την αυτή.

Τα smartphones επιτρέπουν επίσης την άμεση ανταλλαγή πληροφοριών και τη συνεργασία μεταξύ των μαθητών. Η κοινή χρήση πειραματικών δεδομένων με συμμαθητές ή δασκάλους είναι απλή, ανοίγοντας ευκαιρίες για ομαδική ανάλυση και συζήτηση. Αυτή η δυναμική της ομάδας ενισχύει την ικανότητα των μαθητών να μαθαίνουν ο ένας από τον άλλον, βελτιώνει τις ικανότητες επίλυσης προβλημάτων και τους παρακινεί να εξηγήσουν με σαφήνεια τα ευρήματά τους και τις σκέψεις τους.

### 3.1.2 ΞΕΠΕΡΝΩΝΤΑΣ ΤΑ ΕΜΠΟΔΙΑ ΣΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ

---

Αν και τα κινητά τηλέφωνα προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα στην τάξη της φυσικής, υπάρχουν επίσης ορισμένες προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Ο ενδεδειγμένος σχεδιασμός και η προσεκτική αξιολόγηση πολλαπλών παραγόντων είναι απαραίτητα για την αποτελεσματική εκτέλεση μελετών που βασίζονται σε smartphones (Stern et al., 2017). Ευτυχώς, αντιμετωπίζοντας επιμελώς αυτές τις προκλήσεις, οι εκπαιδευτικοί και τα ιδρύματα μπορούν να τις ξεπεράσουν με επιτυχία και να αξιοποιήσουν πλήρως την υπόσχεση αυτής της νέας προσέγγισης στη διδασκαλία της φυσικής.

Ωστόσο δεν έχουν όλοι πρόσβαση σε κινητά τηλέφωνα με τις ίδιες δυνατότητες και εφαρμογές. Δυστυχώς, τα πειράματα φυσικής που απαιτούν αισθητήρες ή άλλες λειτουργίες που δεν είναι παγκοσμίως διαθέσιμες σε όλα τα κινητά τηλέφωνα, μπορεί να είναι απρόσιτα σε ορισμένους μαθητές. Για να ξεπεράσουν αυτόν τον περιορισμό, τα εκπαιδευτικά ιδρύματα μπορούν να εξετάσουν εναλλακτικές λύσεις όπως η παροχή των δικών τους συσκευών στους μαθητές, η δημιουργία προγραμμάτων δανεισμού smartphones και η επιλογή πειραμάτων που μπορούν να πραγματοποιηθούν χρησιμοποιώντας διάφορα μοντέλα smartphones.

Οι καθηγητές πρέπει να διαθέτουν προσαρμοστικότητα προκειμένου να ενσωματώνουν απρόσκοπτα πειράματα που βασίζονται σε smartphones στις διδακτικές τους μεθόδους. Ενδεικτικά παραδείγματα αυτής της προσπάθειας περιλαμβάνουν τη σύλληψη εννοιών για νέα πειράματα, την επιμέλεια ή την κατασκευή εκπαιδευτικών εφαρμογών και τη καθοδήγηση πάνω στη χρήση κινητών συσκευών στην επιστημονική μεθοδολογία (Stern et al., 2017). Οι προσπάθειες επαγγελματικής ανάπτυξης μπορούν να εξοπλίσουν τους εκπαιδευτικούς με τις απαραίτητες δεξιότητες και την αυτοπεποίθηση για να ενσωματώσουν αποτελεσματικά τη χρήση smartphones στην τάξη.

Επιπρόσθετα, η χρήση κινητών τηλεφώνων στην τάξη ενέχει πιθανό κίνδυνο απόσπασης της προσοχής από την καθαρά εκπαιδευτική διαδικασία. Τα smartphones έχουν χρησιμότητα στη διδασκαλία, αν και θέτουν επίσης τον κίνδυνο της εκτροπής. Για να δημιουργηθεί ένα περιβάλλον που ευνοεί την εστιασμένη μάθηση, είναι απαραίτητο να παρέχονται σαφείς οδηγίες και προσδοκίες για τη χρήση smartphones κατά τη διάρκεια πειραμάτων. Επιπλέον, είναι

σημαντική τόσο η επίβλεψη όσο και η καθοδήγηση για την διασφάλιση της ορθής χρήσης των κινητών τηλεφώνων κατά την διαδικασία του μαθήματος.

Κατά τη διεξαγωγή μελετών με smartphones, είναι σημαντικό να λαμβάνεται υπόψη το δικαίωμα των υποκειμένων στην ιδιωτική ζωή και η προστασία των δεδομένων τους. Τα εκπαιδευτικά ιδρύματα έχουν καθήκον να προστατεύουν τις πληροφορίες των μαθητών και να τις χρησιμοποιούν με τρόπο ηθικό και νόμιμο (Azlan et al., 2020). Προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι ανησυχίες σχετικά με το απόρρητο των μαθητών και των γονέων και να δημιουργηθεί ένα αίσθημα εμπιστοσύνης, είναι σημαντικό να εκφράζονται σωστά οι περιορισμοί για τη χρήση δεδομένων και, όταν είναι απαραίτητο, να λαμβάνεται ενημερωμένη συγκατάθεση.

Οι συνεργατικές συμμαχίες και οι εναλλακτικοί τρόποι συνεργασίας έχουν τη δυνατότητα να ξεπεράσουν σημαντικά αυτές τις προκλήσεις. Τα ακαδημαϊκά ιδρύματα έχουν την ευκαιρία να συνεργαστούν με επιχειρήσεις τεχνολογίας, προγραμματιστές εφαρμογών και ακαδημαϊκούς για να συνδυάσουν πόρους για τη διεξαγωγή πειραμάτων χρησιμοποιώντας smartphones (Holmes et al., 2015). Με την προώθηση της συνεργασίας, δύναται να βελτιωθούν τα κινητά τηλέφωνα μέσω της ανάπτυξης νέων εφαρμογών, υλικού προγράμματος σπουδών και υποδειγματικών μεθοδολογιών.

Για να είναι επιτυχημένα τα πειράματα που βασίζονται σε smartphones, είναι απαραίτητο να παρακολουθούνται και να αξιολογούνται με συνέπεια (Holmes et al., 2015).

## 3.2 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΠΡΑΚΤΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ SMARTPHONES ΣΤΗΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ

---

### 3.2.1 Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ PHYRHOX

---

Η εφαρμογή Phyrhox αναπτύχθηκε ειδικά για τη χρήση των αισθητήρων που ενσωματώνονται σε smartphones, με στόχο τη διεξαγωγή πειραμάτων (Milner-Bolotin & Milner, 2022). Η εφαρμογή είναι διαθέσιμη δωρεάν για πλατφόρμες iOS και Android. Αυτή τη στιγμή, έχει περίπου 500.000 εγκαταστάσεις και είναι πλήρως προσβάσιμη σε έντεκα διαφορετικές γλώσσες,

με στόχο την επέκταση της και σε άλλες γλώσσες στο μέλλον. Στην κεντρική σελίδα της εφαρμογής αναγράφονται όλοι οι διαθέσιμοι τους αισθητήρες που είναι προσβάσιμοι από το κινητό. Επιπλέον, σε ένα δευτερεύον μενού, παρουσιάζεται κάθε διαθέσιμος αισθητήρας ξεχωριστά, καθώς και πώς μπορούν να εμφανιστούν γραφικά τα ακατέργαστα δεδομένα σε σχέση με τον χρόνο. Από τις βασικές λειτουργίες της εφαρμογής είναι να πραγματοποιεί ταυτόχρονες μετρήσεις με πολλαπλούς αισθητήρες. Η εφαρμογή Phyrhox διαθέτει δυνατότητα δημιουργίας οπτικών αναπαραστάσεων των ακατέργαστων δεδομένων που λαμβάνονται από διαφορετικούς αισθητήρες, επιτρέποντας στους χρήστες να προσαρμόζουν την οπτικοποίηση σύμφωνα με τις προτιμήσεις και τις ανάγκες τους.

Τα smartphones διαθέτουν ένα ευρύ φάσμα αισθητήρων και έχουν σημαντικές υπολογιστικές δυνατότητες. Αυτή η τεχνολογία επιτρέπει την άμεση ανάλυση δεδομένων στη συσκευή smartphone. Η εφαρμογή Phyrhox παρέχει εκτενή υποστήριξη για πολλές αναλυτικές τεχνικές, περιλαμβανομένων αριθμητικών πράξεων και προηγμένων μεθοδολογιών όπως η ανάλυση Fourier.

Μερικές φορές, μπορεί να υπάρχουν εμπόδια στην έναρξη, τον τερματισμό ή την επίβλεψη ενός πειράματος λόγω των ιδιοτήτων του πειραματικού περιβάλλοντος. Μια εναλλακτική μέθοδος περιλαμβάνει τον απομακρυσμένο χειρισμό του Phyrhox. Η ενεργοποίηση της απομακρυσμένης πρόσβασης στο smartphone ξεκινά έναν διακομιστή ιστού, ο οποίος παρέχει πρόσβαση σε άλλη συσκευή με πρόγραμμα περιήγησης ιστού. Είναι σημαντικό και οι δύο συσκευές πρέπει να είναι συνδεδεμένες στο ίδιο δίκτυο. Επιπλέον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια εναλλακτική συσκευή, όπως ένα συμπληρωματικό smartphone, φορητός υπολογιστής, tablet ή άλλη συσκευή με πρόγραμμα περιήγησης Ιστού.

Το Phyrhox όχι μόνο παρέχει δυνατότητες ανάγνωσης αισθητήρων, αλλά προσφέρει επίσης προτάσεις για τη διεξαγωγή έρευνας. Οι μεθοδολογίες για την ανάλυση και οι οπτικές αναπαραστάσεις δεδομένων προσαρμόζονται για να ανταποκρίνονται στις ανάγκες κάθε προκαθορισμένου πειράματος (Cho et al., 2014). Ο χρήστης έχει την ελευθερία να διεξάγει πειράματα που δεν περιορίζονται στις συνηθισμένες επιλογές. Μέσω της χρήσης ενός διαδικτυακού εργαλείου σύνταξης, τα άτομα μπορούν να δημιουργήσουν και να αναπτύξουν τα δικά τους καινοτόμα σχέδια (Sykes, 2014).

## ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΡΗΥΡΗΟΧ ΣΤΗΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ

---

Τα πειράματα που βασίζονται σε smartphoness έχουν τη δυνατότητα να ενισχύσουν την εκπαιδευτική διαδικασία μέσω της εφαρμογής τους στο μάθημα της φυσικής. Το Rhyrhex, για παράδειγμα, χρησιμοποιείται τόσο σε διαλέξεις όσο και σε ασκήσεις φυσικής στα μαθήματα φυσικής στο Πανεπιστήμιο RWTH του Άαχεν, ενισχύοντας την εκπαιδευτική διαδικασία των φοιτητών που σπουδάζουν φυσική, μηχανολογία, ηλεκτρολογία και βιολογία. Η εφαρμογή διευκολύνει τόσο την διεξαγωγή των συμβατικών πειραμάτων επίδειξης όσο και των ασκήσεων για το σπίτι, οι οποίες μπορούν να ενισχυθούν με πειραματικές εργασίες (O'Connor & Andrews, 2018). Για παράδειγμα, η πειραματική εργασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ενισχύσει την κατανόηση ενός πειράματος, η οποία έχει ήδη απεικονιστεί στη διάλεξη για ορισμένες παραμέτρους μέτρησης. Μπορεί να ανατεθεί στους μαθητές να διερευνήσουν το πεδίο των παραμέτρων μέτρησης ή να εξερευνήσουν εναλλακτικές πειραματικές συνθήκες για το φαινόμενο που μελετάται. Εναλλακτικά, δίνεται η δυνατότητα στους μαθητές να εφαρμόσουν πειραματικές διαδικασίες σε οποιοδήποτε θεωρητικές έννοιες κατά τη διάρκεια των διαλέξεων. Οι πρακτικές δραστηριότητες για παράδειγμα περιλαμβάνουν τη μέτρηση του μαγνητικού πεδίου που παράγεται από έναν συρμάτινο βρόχο με διαφορετικές ακτίνες, καθώς και τον προσδιορισμό της περιόδου ενός εκκρεμούς με διαφορετικά μήκη αιώρησης. Η εφαρμογή αυτής της παιδαγωγικής προσέγγισης έχει τη δυνατότητα να αυξήσει τη συμμετοχή των μαθητών στα μαθήματα φυσικής (Milner-Bolotin and Milner, 2022).

### 3.2.2 ΜΕΤΡΗΣΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΚΑΙ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΠΤΩΣΗΣ

---

Η χρήση αισθητήρων που βασίζονται σε smartphoness για τη μέτρηση της επιτάχυνσης και της ελεύθερης πτώσης είναι μια ενδιαφέρουσα μελέτη στην εκπαίδευση στη φυσική. Αυτό το πείραμα καταδεικνύει τη δυνατότητα των τεχνολογικών προόδων να μεταμορφώσουν πλήρως τον τρόπο με τον οποίο οι μαθητές ασχολούνται με τις θεμελιώδεις έννοιες της φυσικής, επιτρέποντάς τους να κατανοήσουν εύκολα θέματα που προηγουμένως ήταν αφηρημένα (Aalst, 2000).

Προηγουμένως, η ακριβής μέτρηση της επιτάχυνσης και της ελεύθερης πτώσης απαιτούσε τη χρήση προηγμένου εργαστηριακού εξοπλισμού, όπως αισθητήρες κίνησης και καταγραφείς δεδομένων (Aalst, 2000). Αυτές οι ρυθμίσεις είχαν ως αποτέλεσμα σημαντικές δαπάνες και λειτουργικές προκλήσεις για τα εκπαιδευτικά ιδρύματα. Ωστόσο, με την εμφάνιση των smartphones και των ενσωματωμένων επιταχυνσιομέτρων τους, έχει καταστεί εφικτή και πρακτική η διεξαγωγή τέτοιων δοκιμών ακόμα και εν κινήσει.

Αυτή η δραστηριότητα περιλαμβάνει την χρήση των κινητών συσκευών από τους μαθητές για να διερευνήσουν την έννοια της ελεύθερης πτώσης ποσοτικοποιώντας την επιτάχυνση που προκύπτει από τη βαρύτητα (συχνά αναπαρίσταται ως "g"). Η διαδικασία περιλαμβάνει την απότομη πτώση των κινητών τηλεφώνων από ένα συγκεκριμένο ύψος, ενώ αυτά προστατεύονται από γυαλί ασφαλείας, με σκοπό τη μέτρηση του χρόνου που απαιτείται για την άφιξή τους στο έδαφος (Gonsalves et al., 2016). Οι μαθητές μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν για να εξακριβώσουν το μέγεθος του «g» και να επαληθεύσουν την καθορισμένη στην βιβλιογραφία τιμή για την επιφάνεια της Γης (περίπου 9,81 m/s<sup>2</sup>). Η διεξαγωγή αυτού του πειράματος έχει πολλά εκπαιδευτικά πλεονεκτήματα. Πρώτον, παρέχει πρακτική εκπαίδευση που ευθυγραμμίζεται με τις αρχές της επιστημονικής έρευνας. Οι μαθητές συμμετέχουν σε διαδικασίες μέτρησης, συλλογής δεδομένων και ανάλυσης, συμμετέχοντας ενεργά και ενισχύοντας έτσι την κατανόησή τους για τις θεμελιώδεις ιδέες. Επιπλέον, οι μαθητές είναι σε θέση να αντιληφθούν τις πληροφορίες πιο εύκολα εάν είναι σε θέση να χρησιμοποιήσουν τα smartphones που ήδη διαθέτουν.

Η δραστηριότητα επιπλέον βοηθά τους συμμετέχοντες στην καλλιέργεια αναλυτικών ικανοτήτων και δεξιοτήτων επίλυσης προβλημάτων. Πιο αναλυτικά, ο μαθητής καλείται να επινοήσει το πείραμα, να εξετάσει μεταβλητές (όπως η αντίσταση του αέρα) και να χρησιμοποιήσει μαθηματικές τεχνικές για να εξακριβώσει την τιμή του g. Η εγγενής διερευνητικότητα των μαθητών διεγείρεται καθώς προσπαθούν να συμπεράνουν τους παράγοντες που συμβάλλουν στους διάφορους τρόπους καθόδου των αντικειμένων. Επιπλέον, η εφαρμογή ενημερώσεων και προσθηκών στο πείραμα είναι απλή. Οι μαθητές μπορούν να διεξάγουν έρευνα για να εξετάσουν την επίδραση παραγόντων, όπως το ύψος και η μάζα των αντικειμένων, στο φαινόμενο της ελεύθερης πτώσης. Μπορούν να συγκρίνουν τα πειραματικά τους αποτελέσματα με θεωρητικές προβλέψεις, ξεκινώντας συζητήσεις σχετικά με τα

πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς των θεωρητικών μοντέλων σε σχέση με τα εμπειρικά στοιχεία. Επιπλέον, η χρήση εφαρμογών των smartphones για συλλογή και ανάλυση δεδομένων επιτρέπει στους μαθητές να επικεντρωθούν περισσότερο στις θεμελιώδεις έννοιες της φυσικής παρά στις τεχνικές πτυχές της διεξαγωγής πειραμάτων (Hake, 2002). Αυτή η προσέγγιση ενισχύει την προσβασιμότητα της φυσικής και των εργαστηριακών διαδικασιών για μαθητές που ενδέχεται να έχουν περιορισμένη προηγούμενη έκθεση σε αυτά τα θέματα.

### 3.2.3 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΠΛΗΣ ΑΡΜΟΝΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

Οι αισθητήρες που βρίσκονται σε smartphones ενισχύουν την προσβασιμότητα και την ελκυστικότητα της μελέτης της Απλής Εναρμονισμένης Κίνησης (ΑΑΚ), ενός βασικού μαθήματος στην εκπαίδευση της φυσικής. Χρησιμοποιώντας τεχνολογία αιχμής, οι μαθητές έχουν την ευκαιρία να εμβαθύνουν στις βασικές αρχές της ταλάντωσης και να κατανοήσουν βαθύτερα φαινόμενα όπως τα εκκρεμή, τα ελατήρια και οι δονήσεις. Παραδοσιακά, η απόκτηση γνώσεων σχετικά με την Απλή Αρμονική Κίνηση (ΑΑΚ) απαιτεί την χρήση κοστοβόρων εργαστηριακών συσκευών, όπως συλλογές εκκρεμών, ελατηρίων και ανιχνευτών κίνησης, που καταλαμβάνουν επίσης σημαντικό χώρο. Ωστόσο, η έλευση των smartphones εξοπλισμένων με επιταχυνσιόμετρα και γυροσκόπια έχει φέρει επανάσταση στις γνωστικές διαδικασίες των μαθητών και στην προσέγγισή τους στο θέμα. Αυτοί οι αισθητήρες διευκολύνουν την οικονομική και απλή έρευνα ΑΑΚ για τους μαθητές.

Οι μαθητές μπορούν να εξερευνήσουν τα χαρακτηριστικά της Απλής Αρμονικής Κίνησης (ΑΑΚ) παρακολουθώντας την ταλάντωση ενός εκκρεμούς ή ενός συστήματος ελατηρίου μάζας χρησιμοποιώντας ένα smartphone. Πιο συγκεκριμένα, οι μετρήσιμες ιδιότητες της δυναμικής ΑΑΚ περιλαμβάνουν το πλάτος, τη συχνότητα και την περίοδο ταλάντωσης. Οι μαθητές μπορούν να βελτιώσουν την κατανόησή τους για τις αρχές της Απλής Αρμονικής Κίνησης (ΑΑΚ) συλλαμβάνοντας δεδομένα κίνησης και εξετάζοντάς τα χρησιμοποιώντας εφαρμογές smartphone. Έτσι η χρήση των smartphones για τη μελέτη της Απλής Αρμονικής Κίνησης (ΑΑΚ) επιτρέπει την απεικόνιση της κίνησης σε πραγματικό χρόνο. Τα ταλαντευόμενα μοτίβα είναι ορατά στην οθόνη smartphone ενός μαθητή, γεγονός που ενισχύει την πρακτική εφαρμογή των ιδεών της θεωρητικής φυσικής. Παρέχοντας οπτική ανατροφοδότηση, τα άτομα μπορούν να βελτιώσουν την κατανόησή τους για το πώς η προσαρμογή των παραμέτρων, όπως



το μήκος ενός εκκρεμούς ή η σταθερά ενός ελατηρίου, επηρεάζει την Απλή Αρμονική κίνηση (AAK).

Επιπλέον, η άσκηση προωθεί τόσο τη συνεργατική μάθηση όσο και την κριτική ενδοσκοπήση. Για να λάβουν ακριβή αποτελέσματα από της μελέτης τους, οι μαθητές πρέπει να συμμετέχουν στη διαδικασία σχεδιασμού πειράματος, επιλογής κατάλληλων τεχνικών μέτρησης και ενδεδειγμένης ανάλυσης δεδομένων (Ince, 2018). Μέσω αυτής της διαδικασίας, τα άτομα καλλιεργούν την ικανότητά τους για αναλυτικό συλλογισμό και την ικανότητα να αντιμετωπίζουν σύνθετα ζητήματα διερευνώντας την αλληλεπίδραση μεταξύ μαθηματικών μοντέλων και απτών φαινομένων. Η ευελιξία των δοκιμών μέτρησης μέσω smartphone επιτρέπει την εξερεύνηση μιας ποικιλίας εφαρμογών. Μπορεί κανείς να αναλύσει μη γραμμικά φαινόμενα, να διερευνήσει την επίδραση των δυνάμεων απόσβεσης, να συγκρίνει την απλή αρμονική κίνηση (AAK) στη Γη και στο διάστημα και να την εξετάσει σε διάφορες ρυθμίσεις. Η δυνατότητα αυτή ενθαρρύνει τους μαθητές να διερευνήσουν και να συμμετάσχουν στη δική τους εξερεύνηση των θεμελιωδών αρχών της φυσικής.

Η εφαρμογή διευκολύνει αποτελεσματικά την προσβασιμότητα των μαθημάτων φυσικής σε μαθητές από διαφορετικά υπόβαθρα (Ince, 2018). Πιο αναλυτικά, το πείραμα είναι εύκολα προσβάσιμο σε μαθητές που δεν έχουν γνώση φυσικής ή εργαστηριακής εργασίας, χάρη στη χρήση κινητών τηλεφώνων. Αυτή η ενοποίηση απλοποιεί σημαντικά τη διαδικασία συλλογής και ανάλυσης δεδομένων.

### 3.2.4 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΝΟΜΩΝ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

---

Η θερμοδυναμική είναι ένα ουσιαστικό μάθημα της φυσικής και η ενσωμάτωση πειραμάτων συμβατών με smartphone έχει βελτιώσει τη μαθησιακή εμπειρία σε αυτόν τον τομέα. Η Θερμοδυναμική είναι ένα πεδίο της φυσικής που επιδιώκει να διευκρινίσει τα χαρακτηριστικά και τις αλληλεπιδράσεις ύλης και ενέργειας. Τα smartphones εξοπλισμένα με μια ποικιλία αισθητήρων παρέχουν μια βολική και εύκολα προσβάσιμη μέθοδο που επιτρέπει στους μαθητές να έχουν πρακτική εμπειρία με αυτές τις έννοιες.

Η διεξαγωγή πειραμάτων στη θερμοδυναμική ήταν παραδοσιακά πρόκληση για μια κανονική τάξη ή εργαστήριο λόγω του περίπλοκου εξοπλισμού, της απαίτησης για

εξειδικευμένα όργανα και της ανάγκης για αυστηρούς περιβαλλοντικούς ελέγχους. Τα smartphones διαθέτουν ενσωματωμένους αισθητήρες που τους επιτρέπουν να παρακολουθούν τη θερμοκρασία, την πίεση και την υγρασία που απαιτούνται για την εξερεύνηση θερμοδυναμικών θεμάτων. Επιπρόσθετα, η φορητότητα και η ευελιξία των smartphones είναι σημαντικά προνόμια για πειράματα στη θερμοδυναμική. Κάνοντας λοιπόν πειράματα, οι μαθητές μπορούν να κατανοήσουν βαθύτερα θεμελιώδεις αρχές όπως ο νόμος των ιδανικών αερίων, ο πρώτος νόμος της θερμοδυναμικής (αρχή της διατήρησης της ενέργειας) και ο δεύτερος νόμος της θερμοδυναμικής (αρχή της εντροπίας). Η εξοικονόμηση ενέργειας σε διαφορετικά θερμοδυναμικά συστήματα μπορεί να παρακολουθηθεί ανιχνεύοντας μεταβλητές όπως οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και οι αλλαγές στην πίεση.

Επιπλέον, οι μαθητές μπορούν να χρησιμοποιήσουν τις έννοιες της θερμοδυναμικής σε πραγματικές συνθήκες. Οι θερμοδυναμικοί νόμοι υπαγορεύουν τη συμπεριφορά όλων των φυσικών διεργασιών. Εξετάζοντας δεδομένα από το περιβάλλον τους, όπως οι καθημερινές διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και της πίεσης, μπορεί κανείς να κατανοήσει βαθύτερα αυτές τις διαδικασίες. Καθιερώνοντας συνδέσεις μεταξύ θερμοδυναμικής και πρακτικών σεναρίων, οι μαθητές μπορούν να ενισχύσουν την κατανόηση και τον θαυμασμό τους για το θέμα. Η οικονομική προσιτότητα και η πρακτικότητα των κινητών τηλεφώνων είναι ένα ακόμα πλεονέκτημα. Δεδομένου ότι η πλειοψηφία των μαθητών διαθέτει ήδη αυτές τις συσκευές, υπάρχει μειωμένη ανάγκη για δαπανηρό εξοπλισμό ή σημαντικούς πόρους. Λόγω αυτής της ίσης πρόσβασης, παρέχονται σε μαθητές οι ίδιες ευκαιρίες να διερευνήσουν και να κατανοήσουν τις αρχές που διέπουν τη θερμοδυναμική. Επιπλέον, η χρήση εφαρμογών smartphones απλοποιεί τη διαδικασία δοκιμών, επιτρέποντας τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων. Οι μαθητές μπορούν να δώσουν προτεραιότητα στις θεμελιώδεις αρχές της φυσικής χωρίς να ανησυχούν υπερβολικά για τις τεχνικές πτυχές της συλλογής δεδομένων (Gonsalves et al., 2016). Αυτή η απλοποίηση δίνει τη δυνατότητα στους μαθητές να διαθέσουν επιπλέον χρόνο και γνωστική ικανότητα για να επικεντρωθούν στις θεμελιώδεις αρχές της θερμοδυναμικής (Kabil, 2015).

Τέλος, οι μαθητές μπορούν να ενισχύσουν τις ικανότητες κριτικής σκέψης τους κάνοντας ανεξάρτητα πειράματα πάλι με την χρήση smartphones. Για να καταλήξουν σε λογικά συμπεράσματα, είναι απαραίτητο να ασχοληθούν με υποθέσεις, προετοιμασία και ανάλυση αποδεικτικών στοιχείων. Η μελέτη της θερμοδυναμικής απαιτεί αφοσίωση και αναλυτική

προσέγγιση, για αυτό αναπτύσσεται περαιτέρω μέσω αυτής της βιωματικής και ερευνητικής μεθοδολογίας.

### 3.3 ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ

---

#### 3.3.1 ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ GAMIFICATION

---

Η ενσωμάτωση της μηχανικής των παιχνιδιών στις τάξεις φυσικής σηματοδοτεί μια βαθιά αλλαγή στον τρόπο με τον οποίο οι μαθητές αλληλεπιδρούν και μαθαίνουν για το συγκεκριμένο θέμα (Airey, 2009). Για να κάνει τη μελέτη των ιδεών φυσικής πιο ενδιαφέρουσα και συναρπαστική, το gamification χρησιμοποιεί αρχές σχεδιασμού παιχνιδιών για να δημιουργήσει διαδραστικά και ενδιαφέροντα περιβάλλοντα μάθησης.

Όταν τα μαθήματα φυσικής «παιχνιδιοποιούνται» με χαρακτηριστικά όπως πόντοι, προκλήσεις, βραβεία και ανταγωνισμός εισάγονται στο πρόγραμμα σπουδών δημιουργώντας μεγαλύτερη ευελιξία και ενδιαφέρον. Πιο αναλυτικά, όλα αυτά τα χαρακτηριστικά επιλέχθηκαν προσεκτικά λόγω της αποδεδειγμένης ικανότητάς τους να συγκρατούν το ενδιαφέρον των μαθητών, να ενθαρρύνουν την ομαδική εργασία και να τονώνουν το ηθικό. Οι εκπαιδευτικοί μπορούν να αντιμετωπίσουν ευρέως διαδεδομένα προβλήματα στις τάξεις φυσικής υιοθετώντας μια προσέγγιση βασισμένη στο παιχνίδι στη διδασκαλία, η οποία με τη σειρά της δημιουργεί μια ατμόσφαιρα που ευνοεί την έρευνα και την ανακάλυψη (Monk, 1994). Η ενσωμάτωση στοιχείων gamification είναι βοηθητική, καθώς αυξάνει το ενδιαφέρον και τα κίνητρα των μαθητών. Οι μαθητές μπορεί να βιώσουν άγχος όταν βλέπουν για πρώτη φορά τις αφηρημένες ιδέες και τα περίπλοκα μαθηματικά μοντέλα που είναι κοινά στη φυσική. Φαίνεται επίσης ότι οι μαθητές ασχολούνται περισσότερο το αντικείμενο όταν τους παρουσιάζονται ευκαιρίες για ανάπτυξη και εξέλιξη μέσω του συναγωνισμού. Παρέχοντας μια αίσθηση προόδου και νίκης, το gamification εμπνέει τους μαθητές να αναλάβουν δύσκολες εργασίες και να συνεχίσουν τις σπουδές τους.

Στο σημείο αυτό, αναφέρουμε ότι το gamification επιτρέπει εξατομικευμένες εκπαιδευτικές ευκαιρίες. Οι μαθητές μπορούν να καθορίσουν τη δική τους ταχύτητα και το επίπεδο πρόκλησης καθώς εργάζονται μέσα από το υλικό. Αυτή η ευέλικτη μέθοδος διασφαλίζει ότι όλοι οι μαθητές θα έχουν επιτυχία με το υλικό, καλύπτοντας τα ατομικά τους στυλ μάθησης. Εξαιτίας λοιπόν της συχνής χρήσης ανατροφοδότησης σε πραγματικό χρόνο στα παιχνίδια

φυσικής, οι μαθητές μπορούν να εντοπίσουν προβληματικές περιοχές και να βελτιώσουν τις ικανότητές τους στην επίλυση προβλημάτων καθώς προχωρούν. Η ανάπτυξη αναλυτικών ικανοτήτων και ικανοτήτων επίλυσης προβλημάτων είναι ένα ακόμη ένα πλεονέκτημα (Airey, 2009). Ο στόχος των περισσότερων παιχνιδιών που βασίζονται στη φυσική είναι να πείσουν τους μαθητές να εφαρμόσουν τις έννοιες της φυσικής σε προβλήματα του πραγματικού κόσμου. Αυτά τα τεστ βοηθούν τους μαθητές να αναπτύξουν δεξιότητες ανάλυσης, φαντασίας και δημιουργίας συνδέσεων μεταξύ θεωρίας και πράξης. Ξεπερνώντας αυτά τα εμπόδια στο παιχνίδι, οι μαθητές αναπτύσσουν τη νοοτροπία ενός φυσικού.

Η ανταγωνιστική φύση του gamification, από την άλλη πλευρά, μπορεί να εμπνεύσει τους μαθητές να εργαστούν μαζί. Η ανταγωνιστική και κοινωνική ανάπτυξη μπορεί να προωθηθεί μέσω συνεργατικών παιχνιδιών, ομαδικών προκλήσεων ή πίνακες κατάταξης. Αυτό το συνεργατικό στοιχείο της εκπαίδευσης της φυσικής που βασίζεται σε παιχνίδια έχει τη δυνατότητα να βελτιώσει τη δυναμική της τάξης και να ενθαρρύνει τους μαθητές να μάθουν ο ένας από τον άλλο. Η χρήση των λειτουργιών gamification είναι μια φυσική εφαρμογή για κινητές συσκευές. Με τη βοήθεια εξειδικευμένων εφαρμογών, οι μαθητές μπορούν να έχουν πρόσβαση σε περιεχόμενο φυσικής που βασίζεται σε παιχνίδια ανά πάσα στιγμή και από οποιαδήποτε τοποθεσία. Οι διαδραστικές προσομοιώσεις, τα κουίζ και τα σενάρια επίλυσης προβλημάτων που βρίσκονται σε πολλές από αυτές τις εφαρμογές έχουν σχεδιαστεί για να συμπληρώνουν και να ενισχύουν όσα μαθαίνουν οι μαθητές στην τάξη.

### 3.3.2 ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΞ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΠΡΟΣΩΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΜΑΘΗΣΗΣ

Η μικτή μάθηση, η οποία ενσωματώνει τη διαδικτυακή διδασκαλία και τη διδασκαλία στην τάξη, είναι μια ευέλικτη και περιεκτική προσέγγιση που μπορεί να καλύψει διαφορετικές απαιτήσεις μάθησης, μεταμορφώνοντας ως εκ τούτου τη εκπαίδευση της φυσικής. Αυτό το μικτό παράδειγμα μάθησης αξιοποιεί αποτελεσματικά τα πλεονεκτήματα και των δύο προσεγγίσεων ενσωματώνοντας την εκπαίδευση στην τάξη με διαδικτυακό υλικό και αλληλεπιδράσεις. Οι μαθητές αντλούν σημαντικά πλεονεκτήματα από την προσαρμοστικότητα που παρέχεται από μια παιδαγωγική προσέγγιση που ενσωματώνει τόσο διαδικτυακή όσο και αυτοπροσώπως εκπαίδευση φυσικής. Η πρόσβαση των μαθητών στην εκμάθηση φυσικής σε τυπικά

περιβάλλοντα της τάξης μπορεί να παρεμποδίζεται. Μπορεί δηλαδή να υπάρχουν τόσο γεωγραφικά όσο και χρονικά εμπόδια και περιορισμοί. Η μικτή μάθηση παρέχει στους μαθητές την ευκαιρία να έχουν εύκολη πρόσβαση και να ασχολούνται με το υλικό και τις δραστηριότητες μαθημάτων από πολλές τοποθεσίες και σε διαφορετικές χρονικές στιγμές.

Αυτή η προσέγγιση παρέχει επιπλέον στους μαθητές μεγαλύτερη αυτονομία στις ακαδημαϊκές τους προσπάθειες. Οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να ανατρέχουν εκ νέου δύσκολα θέματα όσο συχνά επιθυμούν και να βελτιώνουν την κατανόησή τους χρησιμοποιώντας διαδικτυακούς πόρους όπως διαλέξεις και διαδραστικές προσομοιώσεις. Σύμφωνα με τον Esquembre (2002), αυτή η προσέγγιση μελέτης ενθαρρύνει την αυτοδυναμία και την υπευθυνότητα, τα οποία είναι ζωτικής σημασίας ιδιότητες για την ακαδημαϊκή και επαγγελματική επιτυχία στον τομέα της φυσικής. Η μικτή μάθηση παρέχει βελτιωμένη πρόσβαση στα μαθήματα φυσικής για μαθητές με διαφορετικά εκπαιδευτικά υπόβαθρα, ενδιαφέροντα και ανάγκες. Η προσαρμογή των διαδικτυακών μαθησιακών δραστηριοτήτων για να καλύψει τις συγκεκριμένες απαιτήσεις ατόμων με προβλήματα κινητικότητας, μάθησης ή άλλους περιορισμούς μπορεί να ενισχύσει την ικανότητά τους να συμμετέχουν σε αυτές τις δραστηριότητες. Οι διαδικτυακοί πόροι προσφέρουν γενικά δυνατότητες προσβασιμότητας, όπως προγράμματα ανάγνωσης οθόνης, λεζάντες και προσαρμόσιμα μεγέθη γραμματοσειράς, τα οποία μπορεί να είναι επωφελή για όλους τους μαθητές.

Η χρήση κινητών συσκευών είναι ζωτικής σημασίας για την επίτευξη μικτής μάθησης. Πιο αναλυτικά, με τη βοήθεια των smartphones τους, οι μαθητές μπορούν πλέον να συμμετέχουν σε διαλέξεις, να συμμετέχουν σε διαδικτυακές συζητήσεις και να κάνουν εργασίες από σχεδόν οποιαδήποτε τοποθεσία. Οι μαθητές μπορούν να μεταβαίνουν απρόσκοπτα μεταξύ των μαθημάτων αυτοπροσώπως και των διαδικτυακών τάξεων χάρη στη φορητότητα των smartphones και την ευελιξία της μικτής μάθησης. Η δέσμευση προωθείται στη μικτή μάθηση μέσω μιας ποικιλίας πόρων και δραστηριοτήτων. Τα διαδικτυακά φόρουμ συζήτησης, τα συνεργατικά έργα και οι διαδραστικές προσομοιώσεις ενισχύουν την ικανότητα των μαθητών να εφαρμόζουν αποτελεσματικά τις θεωρητικές τους γνώσεις. Αυτές οι ψηφιακές αλληλεπιδράσεις προσφέρουν δυνατότητες κριτικής σκέψης, επίλυσης προβλημάτων και μάθησης, που εμπλουτίζουν την εκπαιδευτική εμπειρία. Η ενσωμάτωση της διαδικτυακής διδασκαλίας και της διδασκαλίας στην τάξη ενισχύει την αμοιβαία επικοινωνία μεταξύ των δασκάλων και των

μαθητών τους. Οι συνομιλίες σε ψηφιακές πλατφόρμες επιτρέπουν στους μαθητές να αναζητήσουν διευκρινίσεις και να λάβουν απαντήσεις πέρα από τα όρια της τάξης. Οι δάσκαλοι έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν στους μαθητές γρήγορες απαντήσεις στις εργασίες και τις αξιολογήσεις τους, οι οποίες μπορούν να ενισχύσουν ένα πιο ευνοϊκό περιβάλλον στην τάξη.

Η μικτή μάθηση, μέσω της ενσωμάτωσης τεχνικών ανάλυσης δεδομένων και αξιολόγησης, μπορεί να ενισχύσει την αποτελεσματικότητα της διδασκαλίας της φυσικής. Οι δάσκαλοι έχουν τη δυνατότητα να παρακολουθούν και να αξιολογούν την πρόοδο και τη δέσμευση των μαθητών τους προκειμένου να εντοπίσουν τομείς δύναμης και τομείς που μπορεί να απαιτούν πρόσθετη βοήθεια. Η στρατηγική μάθησης επικεντρώνεται γύρω από τον εκπαιδευόμενο και καθοδηγείται από δεδομένα, επιτρέποντας τη συνεχή πρόοδο και την εξατομικευμένη υποστήριξη.

### 3.3.3 ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΕΜΠΕΙΡΙΩΝ ΕΠΑΥΞΗΜΕΝΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (AR)

Παρέχοντας στους μαθητές πιο διαδραστικές δυνατότητες μάθησης, το AR έχει εγκαινιάσει μια νέα εποχή διδασκαλίας της φυσικής βοηθώντας τους μαθητές να κάνουν τη σύνδεση μεταξύ αφηρημένων εννοιών και πρακτικής χρήσης. Με το AR, οι μαθητές μπορούν να βιώσουν δυναμικές και συναρπαστικές εξερευνήσεις δύσκολων ιδεών φυσικής χάρη στην απρόσκοπτη ενσωμάτωση ψηφιακών στοιχείων με το φυσικό περιβάλλον (Esquembre, 2002). Οι εμπειρίες επαυξημένης πραγματικότητας (AR) smartphone στην εκπαίδευση της φυσικής συνδυάζουν το πραγματικό περιβάλλον με ψηφιακές πληροφορίες, προσομοιώσεις και διαδραστικά στοιχεία. Επίπεδα ενασχόλησης με τα φαινόμενα της φυσικής είναι πλέον δυνατά για τους μαθητές που ήταν προηγουμένως αδύνατα. Αναλυτικότερα, τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία μπορούν να απεικονιστούν, οι συγκρούσεις σωματιδίων μπορούν να προσομοιωθούν και η συμπεριφορά των ατόμων και των μορίων σε τρεις διαστάσεις μπορεί να διερευνηθεί.

Η βελτίωση της χωρικής γνώσης και των ικανοτήτων οπτικοποίησης είναι ένα από τα κύρια οφέλη του συνδυασμού εμπειριών AR. Οι αφηρημένες ιδέες και οι αόρατες δυνάμεις είναι συνηθισμένες στη φυσική, καθιστώντας το θέμα δύσκολο να κατανοηθεί για κάποιους. Η κατανόηση των χωρικών συνδέσεων, των τροχιών και των αλληλεπιδράσεων από τους μαθητές ενισχύεται μέσω της οπτικής και διαδραστικής παρουσίασης αυτών των φαινομένων από το AR. Επιπλέον, οι εμπειρίες επαυξημένης πραγματικότητας προσφέρουν μια συγκεκριμένη σύνδεση μεταξύ των ιδεών της αφηρημένης φυσικής και των εφαρμογών του πραγματικού κόσμου.

Χρησιμοποιώντας ψηφιακά μοντέλα φυσικών συστημάτων, οι μαθητές μπορούν να προσομοιώσουν πειράματα σε εργαστήρια φυσικής και να παρατηρήσουν τα αποτελέσματα της αλλαγής των παραμέτρων και των συνθηκών σε πραγματικό χρόνο. Οι μαθητές μπορούν να κατανοήσουν τις σχέσεις αιτίας και αποτελέσματος χρησιμοποιώντας τη μέθοδο αυτή, η οποία προωθεί επίσης την ενεργό μάθηση και την επίλυση προβλημάτων.

Επιπλέον, οι εμπειρίες επαυξημένης πραγματικότητας μπορούν να προσαρμοστούν στις διαφορετικές προτιμήσεις και επίπεδα δεξιοτήτων των μαθητών. Οι κιναισθητικοί εκπαιδευόμενοι μπορούν να αλληλεπιδράσουν φυσικά με αντικείμενα AR, οι ακουστικοί μαθητές μπορούν να ακούσουν επεξηγήσεις και ηχητικά εφέ και οι οπτικοί μαθητές επωφελούνται από τις δυναμικές και διαδραστικές απεικονίσεις. Αυτή η προσαρμοστικότητα προάγει την ποικιλομορφία και την ένταξη στην εκπαίδευση στη φυσική, διασφαλίζοντας ότι όλοι οι μαθητές μπορούν να κατανοήσουν και να απολαύσουν την ύλη. Ως πρόσθετο πλεονέκτημα, το AR μπορεί να βοηθήσει τους μαθητές με κινητικά προβλήματα να μάθουν για τη φυσική. Μπορεί να προσαρμόσει τους όρους παιχνιδιού για μαθητές όλων των ικανοτήτων, παρέχοντας σε όσους δυσκολεύονται να μετακινηθούν πρόσβαση στα ίδια είδη πειραμάτων και εμπειριών φυσικής με τους συνομηλίκους τους. Επίσης, οι δραστηριότητες επαυξημένης πραγματικότητας μπορεί να αυξήσουν το ενδιαφέρον και τον ενθουσιασμό για μάθηση. Η καινοτομία και η αλληλεπίδραση του AR δημιουργούν ένα συναρπαστικό περιβάλλον στην τάξη, ιδανικό για την ενθάρρυνση της περιέργειας και τη δοκιμή νέων πραγμάτων. Οι μαθητές είναι πιο πιθανό να συμμετέχουν σε μαθήματα φυσικής όταν έχουν την ευκαιρία να εξερευνήσουν και να πειραματιστούν με αφηρημένες έννοιες φυσικής σε ένα εικονικό περιβάλλον (Gok, 2010).

Εν κατακλείδι, τα παιδιά μπορεί να ενθαρρύνονται να συνεργαστούν μέσω δραστηριοτήτων AR. Η συνεργατική επίλυση προβλημάτων και η ομαδική εργασία ενισχύονται σε παιχνίδια επαυξημένης πραγματικότητας (AR) και προσομοιώσεις με πολλούς παίκτες. Οι μαθητές μπορούν να αναπτύξουν μια αίσθηση κοινότητας και κοινής επιτυχίας συνεργαζόμενοι για να βρουν λύσεις σε προβλήματα φυσικής.

## 4. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΣΤΑ SMARTPHONES

### 4.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

---

Ένας αισθητήρας είναι μια συσκευή που προσδιορίζει συγκεκριμένα περιστατικά και τα μετατρέπει σε σήμα που βασίζεται σε καθιερωμένες, τυπικά μαθηματικές, αρχές (Algamili et al., 2021). Τα κύρια στοιχεία αυτού είναι ευαίσθητες πτυχές και πτυχές μετατροπής. Ουσιαστικά, ένας αισθητήρας είναι μια συσκευή που αναλύει τα συλλεγμένα δεδομένα και τα μετατρέπει σε μια μορφή που μπορούν να κατανοήσουν τα smartphoness. Ως εκ τούτου, τα δεδομένα μπορούν να μεταδοθούν, να αναλυθούν, να αποθηκευτούν, να παρουσιαστούν, να τεκμηριωθούν και να εμποτεύονται σύμφωνα με τις καθορισμένες απαιτήσεις και λειτουργίες. Αυτό αντιπροσωπεύει το αρχικό στάδιο για την επίτευξη αυτοματοποιημένης αναγνώρισης και ρύθμισης. Τον τελευταίο καιρό, τα κινητά τηλέφωνα έχουν ξεπεράσει τους προκατόχους τους όσον αφορά τις τεχνολογικές εξελίξεις. Έρευνα που έγινε από τους Algamili et al. (2021) καταδεικνύει ότι αυτές οι βελτιώσεις δεν χαρακτηρίζονται μόνο από αυξημένη απόδοση της CPU, αλλά ενισχύουν επίσης τη συμμετοχή των χρηστών.

Οι αισθητήρες ενισχύουν τον ρεαλισμό του εικονικού περιβάλλοντος για τον χρήστη επεκτείνοντας τις δυνατότητες των εφαρμογών λογισμικού smartphones. Σύμφωνα με τους Dutta et al. (2019), οι αισθητήρες μπορεί αρχικά να προσελκύουν χρήστες σε εφαρμογές, αλλά οι χρήστες δεν θα αποκτήσουν έντονο ενδιαφέρον για τα προγράμματα εκτός εάν ασχοληθούν ενεργά με αυτά. Τα κινητά τηλέφωνα γίνονται πιο έξυπνα ενσωματώνοντας πολλούς αισθητήρες. Οι διαδραστικές αποκρίσεις των επιταχυνσιόμετρων ενισχύουν τη συμβατική εργασία εισαγωγής, δημιουργώντας μια νέα και διεγερτική εμπειρία όπως αυτή που προσφέρουν τα παιχνίδια.

Αξιοσημείωτο είναι ότι τα παλαιότερα κινητά τηλέφωνα αξιολογήθηκαν με βάση την παρουσία επιταχυνσιόμετρου, αλλά το σημερινό κριτήριο είναι η συμπερίληψη γυροσκοπίου τριών αξόνων. Στο μέλλον, η χρήση πρόσθετων αισθητήρων θα χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση της εμπειρίας του χρήστη.

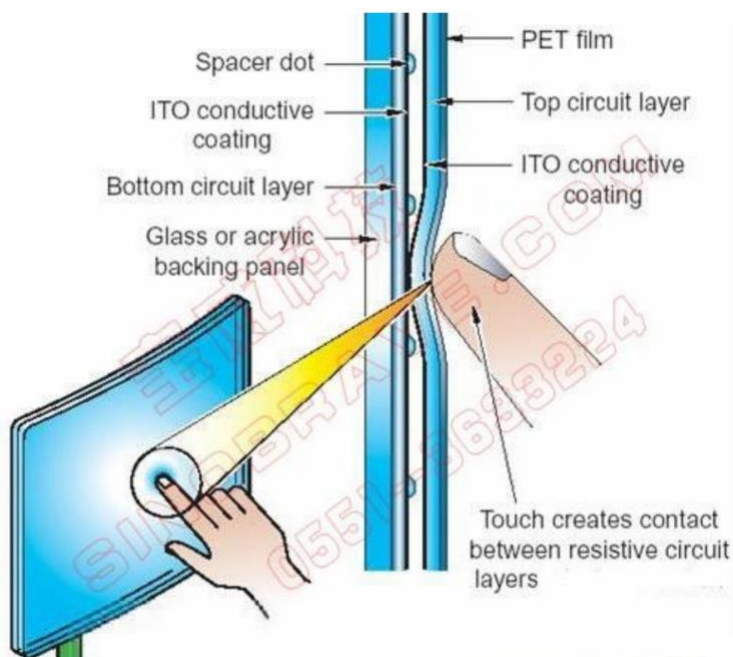


## 4.2 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΟΘΟΝΗΣ ΑΦΗΣ

Υπάρχουν δύο τύποι αισθητήρων οθόνης αφής στα κινητά τηλέφωνα. Ο πρώτος είναι ένας αισθητήρας αντίστασης, ενώ ο δεύτερος είναι χωρητικός. Σήμερα, τα κινητά τηλέφωνα με χωρητική οθόνη αφής είναι δημοφιλή μεταξύ των παιδιών και των ενηλίκων, ενώ τα smartphones με ανθεκτική οθόνη αφής εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται από τους ηλικιωμένους.

### ΑΝΤΙΣΤΑΤΙΚΗ ΟΘΟΝΗ ΑΦΗΣ

Η οθόνη αφής αντίστασης είναι ένα είδος παθητικής τεχνολογίας που ανταποκρίνεται σε οτιδήποτε την αγγίζει και ένας αισθητήρας που μπορεί να μετατρέψει τη φυσική θέση του σημείου αφής (X, Y) σε σχετική τάση των συντεταγμένων X και Y (Vu et al., 2021).

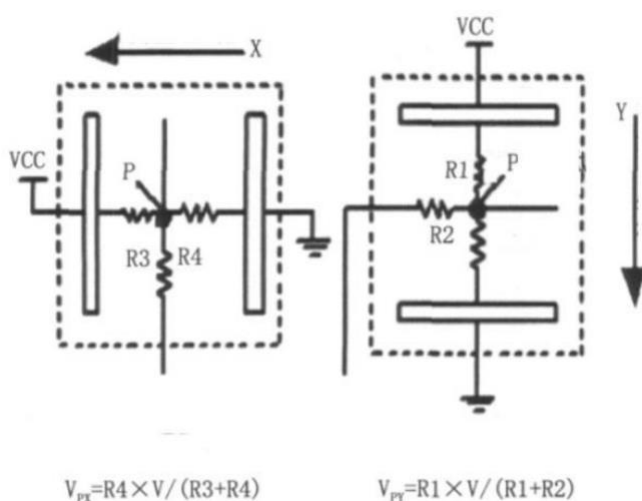


ΕΙΚΟΝΑ 4 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΟΘΟΝΗΣ ΑΦΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΣΥΡΜΑΤΩΝ (SINOBRAVE, 2011)

Η συμβατική οθόνη αφής αντίστασης αποτελείται από τέσσερις αγωγούς. Αυτή είναι η θεμελιώδης λειτουργία των οθονών αφής αντίστασης (βλ. Σχήμα 4). Συνήθως, για το πολυστρωματικό σύνθετο φιλμ της οθόνης αφής αντίστασης χρησιμοποιείται φιλμ PET

(Polyethylene Terephthalate). Το πρώτο στρώμα αποτελείται από ένα γυάλινο ή ακρυλικό πάνελ στήριξης. Η αγώγιμη επίστρωση ITO (Indium Tin Oxide) καλύπτει το στρώμα βάσης. Ενώ το δεύτερο φύλλο αποτελείται από μεμβράνη PET, το ενδιάμεσο στρώμα διαθέτει αγώγιμη κάλυψη ITO.

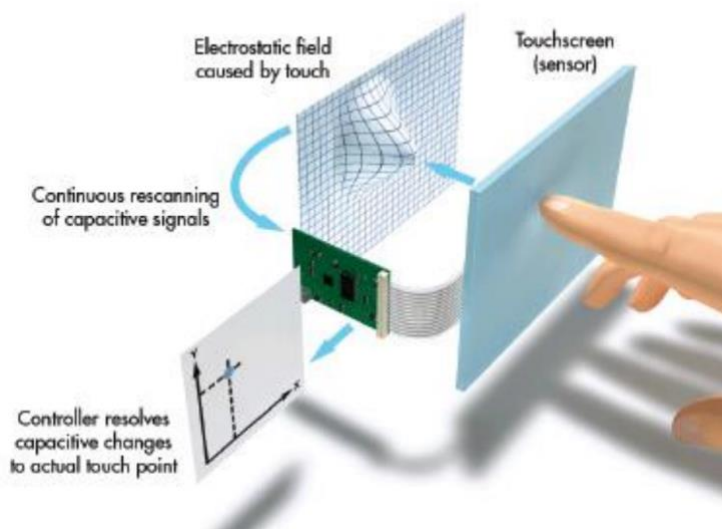
Οι συντεταγμένες X και Y αντιπροσωπεύονται από τις επικαλύψεις X και Y ITO, αντίστοιχα. Επιπλέον, οι επικαλύψεις ITO διαχωρίζονται από μικροσκοπικές διαφανείς αποστασιοποιητικές κουκκίδες. Όταν δύο φύλλα πιέζονται μεταξύ τους με ένα δάχτυλο ή άλλο ερέθισμα, δημιουργούνται συνδέσεις μεταξύ δύο επικαλύψεων ITO και μεταβάλλεται η αντίσταση. Κατά συνέπεια, ο ελεγκτής μπορεί να καθορίσει τη θέση συντεταγμένων με βάση τις μεταβολές της αντίστασης (βλ. Σχήμα 5). Τέλος, τα δεδομένα αυτά μεταδίδονται στην ΚΜΕ μμούμενοι την κίνηση του ποντικιού (Sinobrave, 2011).



ΕΙΚΟΝΑ 5 ΑΛΛΑΓΕΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ

#### 4.2.1 ΟΘΟΝΗ ΑΦΗΣ ΜΕ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Η οθόνη αφής με χωρητική τεχνολογία λειτουργεί με την αίσθηση του σώματος. Δεν απαιτεί άμεση επαφή (Barrett & Omote, 2010), απλώς μια μικρή ολίσθηση στην οθόνη. Έτσι, είναι σε θέση να ανιχνεύσει το επαγόμενο ρεύμα προκειμένου να προσδιορίσει τη συντεταγμένη αφής. Πιο συγκεκριμένα, το σχήμα 6 δείχνει ότι το ανθρώπινο σώμα είναι ηλεκτρικός αγωγός. Λόγω της παραμόρφωσης του ηλεκτροστατικού πεδίου της οθόνης, υπάρχει ένας πυκνωτής σύζευξης όταν μια φιγούρα χτυπά το εξωτερικό αγωγικό στρώμα. Ως αποτέλεσμα, η χωρητικότητα έχει μεταβληθεί, γεγονός που καθιστά αναγκαία τη συνεχή επανασάρωση των χωρητικών σημάτων για την ανίχνευση της θέσης της αφής. Η θέση διαβιβάζεται στη συνέχεια σε έναν ελεγκτή για επεξεργασία. Ο ελεγκτής παρέχει στη συνέχεια τη συντεταγμένη της αφής και εκτελεί την καθορισμένη ενέργεια. Το όφελος περιλαμβάνει υποστήριξη πολλαπλών αφής, αυξημένη ευαισθησία και γρήγορο χρόνο απόκρισης.



ΕΙΚΟΝΑ 6 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΧΩΡΗΤΙΚΗΣ ΟΘΟΝΗΣ ΑΦΗΣ (CHINABAIKE, 2013)

Σε σύγκριση με τις οθόνες αφής αντίστασης, οι χωρητικές οθόνες αφής είναι λιγότερο ακριβείς και λιγότερο σταθερές. Επιπλέον, το κόστος είναι αρκετά υψηλό και υπάρχει σημαντική περιβαλλοντική επίπτωση. Με τη βελτίωση των επιδόσεων, μια χωρητική οθόνη αφής αντισταθμίζει τις αδυναμίες της- αποκτά μεγαλύτερη σταθερότητα και η οθόνη είναι επίσης ανώτερη από εκείνη μιας οθόνης αφής αντίστασης. Από την άποψη της μελλοντικής εμπειρίας του χρήστη, οι χωρητικές οθόνες αφής με ανώτερη ρευστότητα και ποιότητα εικόνας αντιπροσωπεύουν τη μελλοντική τάση.

#### 4.3 ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΕΙΚΟΝΑΣ

---

Ο αισθητήρας εικόνας των κινητών τηλεφώνων λειτουργεί βασισμένος σε τεχνολογίες CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) ή CCD (Charge-Coupled Device), με την τεχνολογία CMOS να είναι η πιο διαδεδομένη λόγω της χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας και της υψηλής ταχύτητας. Ο αισθητήρας περιέχει ένα πλέγμα από φωτοδιόδους που ανιχνεύουν το φως και το μετατρέπουν σε ηλεκτρικά σήματα. Κάθε φωτοδίοδος αντιστοιχεί σε ένα εικονοστοιχείο (pixel) της εικόνας. Όταν το φως προσπίπτει στον αισθητήρα, τα φωτόνια απελευθερώνουν ηλεκτρόνια στις φωτοδιόδους, δημιουργώντας ένα ηλεκτρικό φορτίο που μετατρέπεται σε ψηφιακό σήμα μέσω αναλογοψηφιακών μετατροπέων (ADC). Αυτό το σήμα στη συνέχεια επεξεργάζεται για να δημιουργήσει την τελική εικόνα. Η συνεχής εξέλιξη στους αισθητήρες CMOS έχει οδηγήσει σε βελτιώσεις στην ανάλυση, τη φωτεινότητα και τη χρωματική πιστότητα των εικόνων που παράγονται από τα κινητά τηλέφωνα (Kim, S., et al. 2018).

Η ποιότητα της κάμερας είναι ένας σημαντικός παράγοντας στην επιλογή κινητού τηλεφώνου από τους χρήστες (Yamazato et al., 2014). Η αυξανόμενη ανάγκη για κάμερες ως τυπικό εξάρτημα στα σύγχρονα smartphones έχει οδηγήσει στην ευρεία χρήση αισθητήρων εικόνας με ποικίλες εφαρμογές. Ο πολλαπλασιασμός των καμερών για φωτογραφία έχει γίνει κοινή πρακτική μεταξύ εκείνων που ασχολούνται με ψυχαγωγικές δραστηριότητες, χάρη στις συνεχείς εξελίξεις στην τεχνολογία επεξεργασίας εικόνας που έχουν διευρύνει το φάσμα των εφαρμογών για αισθητήρες εικόνας. Άλλες συνήθειες χρήσης της κάμερας είναι η αναγνώριση καρτών (επαγγελματικών και τραπεζικών), την αναγνώριση προσώπου και η ανάγνωση QR Code (Quick Response code).

Η μέθοδος αναγνώρισης καρτών (επαγγελματικών και τραπεζικών) συνεπάγεται τη χρήση κινητού τηλεφώνου για τη λήψη μιας εικόνας επαγγελματικής ή τραπεζικής κάρτας. Σκοπός είναι η διευκόλυνση της αναγνώρισης και εξαγωγής οπτικών δεδομένων με τη χρήση λογισμικού επεξεργασίας εικόνας (Bigas et al., 2006). Μετά την ολοκλήρωση του ελέγχου, σημαντικές λεπτομέρειες που σχετίζονται με τα στοιχεία της κάρτας, όπως το όνομα, η ηλικία, ο αριθμός τηλεφώνου, η διεύθυνσή, αριθμός κάρτα, πάροχος και ημερομηνία λήξης της κάρτας, συμπεριλαμβάνονται αμέσως στην μνήμη του κινητού.

Η τεχνολογία αναγνώρισης προσώπου επιτρέπει την αναγνώριση ατόμων με την ανάλυση μιας φωτογραφίας αυτοπροσωπογραφίας. Η εικόνα θα υποβληθεί σε ανάλυση από λογισμικό σχεδιασμένο για αισθητήρες εικόνας, το οποίο στη συνέχεια θα αποθηκεύει τα χαρακτηριστικά του προσώπου του χρήστη ως πρότυπο για μελλοντικούς λόγους ελέγχου ταυτότητας. Οι Yamazato et al. (2014) υποστηρίζουν ότι δεν απαιτείται μακρύς και περίπλοκος κωδικός πρόσβασης όταν ένας χρήστης θέλει να ανακτήσει ένα αρχείο ασφαλείας στην κινητή συσκευή του.

Τα smartphones μπορούν να επαληθεύσουν την εγκυρότητά τους χρησιμοποιώντας μια απλή φωτογραφία selfie. Οι Mendis et al. (1994) υποστηρίζουν ότι οι λύσεις ασφάλειας κινητών συσκευών προσφέρουν τόσο ευκολία όσο και βελτιωμένη προστασία για τις συσκευές και τα δεδομένα των χρηστών.

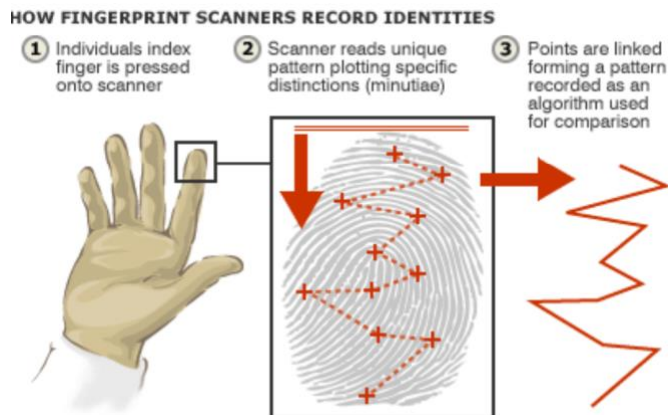
Τέλος, η ανάγνωση με σκανάρισμα μέσω κάμερας QR Code (Quick Response code) χρησιμοποιείται ευρέως σε πολλές εφαρμογές κινητών, με σκοπό τη γρήγορη πρόσβαση σε ιστοσελίδες, πληρωμές μέσω κινητών πορτοφολιών, ανταλλαγή πληροφοριών επαφής και διαφήμιση. Τα QR codes (Quick Response codes) είναι δισδιάστατοι γραμμωτοί κώδικες που αποθηκεύουν πληροφορίες οι οποίες μπορούν να διαβαστούν γρήγορα από κάμερες κινητών τηλεφώνων. Κάθε QR code αποτελείται από μαύρα και άσπρα τετράγωνα που σχηματίζουν ένα μοτίβο το οποίο μπορεί να κωδικοποιήσει δεδομένα όπως URL, κείμενο, ή άλλα δεδομένα. Όταν σαρώνεται με την κάμερα του κινητού, η εφαρμογή ανάγνωσης QR code αναγνωρίζει το μοτίβο και αποκωδικοποιεί τα αποθηκευμένα δεδομένα. Η ευκολία και η ταχύτητα χρήσης τους τα καθιστούν ιδιαίτερα δημοφιλείς για την άμεση πρόσβαση σε πληροφορίες και υπηρεσίες μέσω κινητών συσκευών (Denso Wave Incorporated, 2023).

#### 4.4 ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΓΙΑ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΔΑΚΤΥΛΙΚΩΝ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΩΝ

---

Υπάρχει μια αυξανόμενη ανησυχία μεταξύ των χρηστών για τη διαφύλαξη των προσωπικών τους δεδομένων, με αποτέλεσμα να δίνεται μεγαλύτερη έμφαση στην αναγκαιότητα ενισχυμένων μέτρων ασφαλείας. Ως συνέπεια των σημαντικών εξελίξεων όσον αφορά τη συμπαγή, οικονομική προσιτότητα και ακρίβεια (SaLoutos et al., 2023), η τεχνολογία αναγνώρισης δακτυλικών αποτυπωμάτων έχει βρει εκτεταμένη εφαρμογή σε πολλές κινητές συσκευές. Προς το παρόν, τα smartphones που είναι ιδιαίτερα περιζήτητα από τις επιχειρήσεις είναι προ-εξοπλισμένα με μια σειρά από αυτές τις λειτουργίες. Επί του παρόντος, η βιομηχανία διαθέτει δύο αισθητήρες δακτυλικών αποτυπωμάτων που θεωρούνται αξιόπιστοι. Ο Qiu (2014) έχει αναγνωρίσει τους αισθητήρες αφής και τους αισθητήρες ολίσθησης ως παραδείγματα τέτοιων τεχνολογιών.

Προκειμένου να αποτυπωθεί και να αποθηκευτεί με ακρίβεια το σχήμα των άκρων των δακτύλων ενός ατόμου, οι αισθητήρες αφής απαιτούν μια σταθερή και αξιόπιστη απτική επαφή με την περιοχή των δακτυλικών αποτυπωμάτων. Από την άλλη πλευρά, πρέπει να σημειωθεί ότι οι συρόμενοι αισθητήρες απαιτούν αποκλειστικά την πράξη ολίσθησης της επιφάνειας του αισθητήρα, όπως αναφέρεται στον Romero και συνεργάτες (2020). Ο αισθητήρας έχει σχεδιαστεί για να συγκεντρώνει μια προκαθορισμένη και ξεχωριστή συλλογή δεδομένων. Η διαδικασία συνεχίζεται με ταχεία ανάλυση και πιστοποίηση. Η επικράτηση των αισθητήρων ολίσθησης στην καταναλωτική αγορά μπορεί να αποδοθεί στη σύγκλιση των εξελίξεων στην τεχνολογία αισθητήρων και αλγορίθμων, στην ευαίσθητη στο κόστος νοοτροπία των καταναλωτών και στους εγγενείς περιορισμούς στον όγκο σε φορητές συσκευές (Romero et al., 2020).



ΕΙΚΟΝΑ 7 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΑΡΩΤΗ ΔΑΚΤΥΛΙΚΩΝ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΩΝ (BBC, 2006)

Ο κύριος σκοπός του αισθητήρα αναγνώρισης δακτυλικών αποτυπωμάτων στο τηλέφωνο είναι ο έλεγχος ταυτότητας του ατόμου που αλληλοεπιδρά μαζί του. Αυτή η διαδικασία ελέγχου ταυτότητας είναι συγκρίσιμη με έναν κωδικό πρόσβασης, καθώς επαληθεύει αποκλειστικά και επιτρέπει την πρόσβαση στη συσκευή με βάση τις πληροφορίες αναγνώρισης δακτυλικών αποτυπωμάτων του κατόχου (Guo et al., 2016). Οι αυξανόμενες εξελίξεις στην τεχνολογία ημιαγωγών και λογισμικού έχουν στόχο να αναβαθμίσουν την λειτουργικότητα των κινητών τηλεφώνων και να κάνουν εύκολη την πρόσβαση των χρηστών σε προσωπικές και επαγγελματικές πληροφορίες και δεδομένα.

Ως εκ τούτου, είναι επιτακτική ανάγκη να διασφαλιστεί η ασφάλεια της πρόσβασης των χρηστών προκειμένου να μετριαστεί ο κίνδυνος μη εξουσιοδοτημένης εισόδου (Mascaro & Asada, 2004). Στο πλαίσιο των επιχειρήσεων ηλεκτρονικού εμπορίου, η εφαρμογή λογισμικού αναγνώρισης δακτυλικών αποτυπωμάτων έχει τη δυνατότητα να παρακάμψει την ανάγκη για τους καταναλωτές να εισάγουν επανειλημμένα κωδικούς πρόσβασης, βελτιστοποιώντας έτσι τη λειτουργική ροή και αυξάνοντας τα συνολικά μέτρα ασφαλείας. Η εφαρμογή της αναγνώρισης δακτυλικών αποτυπωμάτων σε πολλές περιπτώσεις είναι μια αξιόπαινη ιδέα, με εκτεταμένες συνέπειες (Qiu, 2014). Για παράδειγμα, οι υπηρεσίες επιβολής του νόμου ενδέχεται να χρησιμοποιήσουν αυτήν την τεχνολογία για να συλλάβουν ένα άτομο που έχει παραβιάσει τους κανονισμούς κυκλοφορίας. Ποιοι είναι οι πιθανοί κίνδυνοι που συνδέονται με την ακρίβεια και την αξιοπιστία των πληροφοριών που παρέχονται από έναν ύποπτο όταν τα δακτυλικά

αποτυπώματα χρησιμοποιούνται ως απαίτηση, σε αντίθεση με τη χρήση συμβατικών μεθόδων; Μετά τη συλλογή δακτυλικών αποτυπωμάτων, οι αρμόδιοι επιβολής του νόμου διαθέτουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιούν κινητά τηλέφωνα ως μέσο για τη διεξαγωγή διαδικτυακής αναζήτησης μέσα σε μια βάση δεδομένων δακτυλικών αποτυπωμάτων προκειμένου να εντοπιστούν πιθανές αντιστοιχίες. Σύμφωνα με τους Wolterink et al. (2021), θα ήταν πιο πρακτικό να συλλέγουμε δεδομένα που αφορούν την αυθεντική ταυτότητα του υπόπτου, αντί να παρουσιάζουμε την ταυτότητά του ή την άδεια οδήγησης. Το διάγραμμα που απεικονίζεται στο Σχήμα 7 παρέχει μια οπτική αναπαράσταση του τρόπου με τον οποίο οι σαρωτές δακτυλικών αποτυπωμάτων χρησιμοποιούνται από τις υπηρεσίες επιβολής του νόμου για τον σκοπό της ταυτοποίησης ατόμων (BBC, 2006).

#### 4.5 ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΦΩΤΟΣ

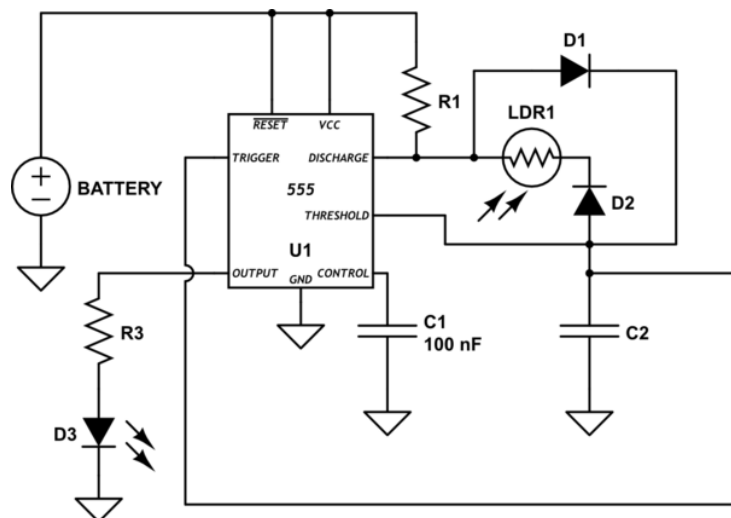
---

Οι αισθητήρες φωτός των smartphones βασίζονται κυρίως στη φωτεινότητα του περιβάλλοντος για την αξιολόγηση του περιβάλλοντος του χρήστη, επιτρέποντάς τους να δρομολογούν έξυπνες ρυθμίσεις για εξοικονόμηση ενέργειας και φιλική προς τον χρήστη λειτουργία (Dutta, 2019). Σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού, είναι δυνατή η ρύθμιση της φωτεινότητας του οπίσθιου φωτισμού για την αποφυγή της θάμβωσης. Πιο συγκεκριμένα, με την τοποθέτηση του κινητού τηλεφώνου στο αυτί του ανθρώπου κατά την διάρκεια μιας κλήσης, οι αισθητήρες επιτρέπουν την αυτόματη μείωση της οθόνης και του οπίσθιου φωτισμού (Purschwitz et al., 2006). Αυτή η μέθοδος θα μπορούσε να αυξήσει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας ενός κινητού τηλεφώνου και να απενεργοποιήσει την οθόνη αφής. Επιπλέον, αποτρέπει τους χρήστες να κλείσουν κατά λάθος το τηλέφωνο αγγίζοντας την οθόνη επαφής.

Η φωτοαντίσταση είναι μια ημιαγώγιμη αντίσταση που χρησιμοποιείται στα smartphones σε απόκριση στις μεταβολές του φωτός (Levin et al., 2020). Η υψηλή ευαισθησία, η ταχεία αντίδραση, η ευδιάκριτη φασματική χαρακτηριστική και η σταθερή τιμή της αντίστασης είναι παραδείγματα τυπικών ιδιοτήτων. Ακόμη και σε περιβάλλον υψηλής θερμοκρασίας και υγρασίας, διατηρεί τη σταθερότητα και την αξιοπιστία του. Εξακολουθεί να είναι απαραίτητο να διασφαλιστεί ότι η συσκευή μπορεί να προσαρμόζει τη φωτεινότητα της οθόνης με βάση τη μοναδική ένταση του φωτός σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους, επιτρέποντας στους



χρήστες να βλέπουν το περιεχόμενο της οθόνης σε έντονο και αμυδρό φως χωρίς θάμβωση (Wang et al., 2018).



ΕΙΚΟΝΑ 8 ΚΥΚΛΩΜΑ ΕΞΑΣΘΕΝΙΣΗΣ ΦΩΤΟΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ

Το σχήμα 8 είναι μια σχηματική αναπαράσταση ενός συμβατικού κυκλώματος που χρησιμοποιείται για τη μείωση της φωτεινότητας των φωτοαντιστάσεων. Η λειτουργική θεωρία συνεπάγεται ότι η φωτοαντίσταση παρουσιάζει αύξηση της αντίστασης σε απόκριση σε χαμηλά επίπεδα φωτός περιβάλλοντος. Στη συνέχεια, η τάση στους πυκνωτές C2 θα αυξηθεί. Αυτό διευκολύνει την αύξηση της γωνίας αγωγής του ελεγχόμενου ανορθωτή με πυρίτιο (SCR), με αποτέλεσμα την αύξηση της τάσης κατά μήκος του λαμπτήρα. Αντίθετα, σε περιπτώσεις όπου το φως του περιβάλλοντος είναι ανυψωμένο, η γωνία αγωγής του ελεγχόμενου από πυρίτιο ανορθωτή (SCR) μειώνεται, με αποτέλεσμα τη μείωση της τάσης κατά μήκος της λάμπας. Για να διευκολυνθεί η λειτουργία ελέγχου φωτισμού του κυκλώματος, είναι απαραίτητο να μειωθεί η φωτεινότητα της πηγής φωτός (Base, 2010). Ένα συναρπαστικό πρόγραμμα έχει αναπτυχθεί για τη ρύθμιση της έντασης του δακτυλίου μέσω της χρήσης της αντίχρεσης φωτεινότητας. Σύμφωνα με τους Lu et al. (2010), υπάρχει μια υποψία ότι το μέγεθος των θορύβων κλήσης επηρεάζεται από το επίπεδο του φωτός που υπάρχει στο περιβάλλον. Ενδεικτικά, όταν ένα smartphone εισάγεται σε μια τσέπη ή τσάντα, ο ηχητικός ήχος κλήσης είναι αντιληπτός, ενώ κατά την αφαίρεση, ο φωτισμός του περιβάλλοντος υφίσταται αλλαγές και η ένταση του ήχου κλήσης μειώνεται (Rosell-Polo et al. , 2015).

#### 4.6 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΜΙΚΡΟΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ (MEMS)

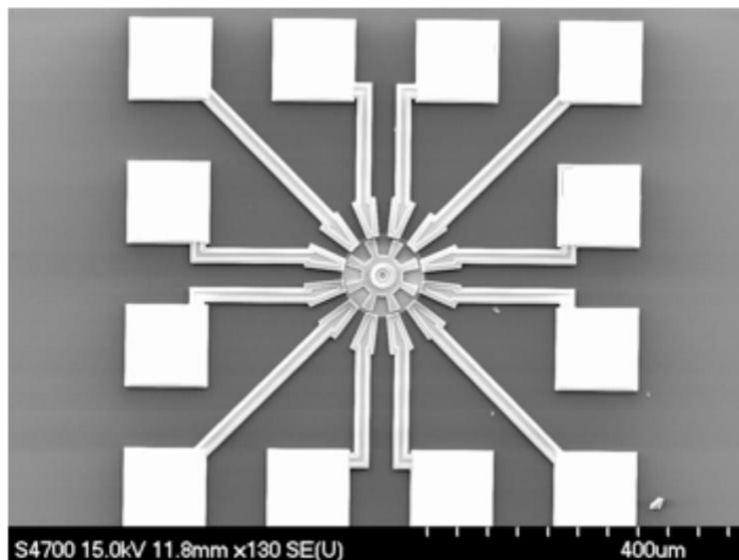
---

Στο σημείο αυτό θα κάνουμε μια σύντομη αναφορά στα μικροηλεκτρομηχανικά συστήματα (MEMS) καθώς θα τα συναντήσουμε σε παρακάτω ανάλυση. Με αυτόν τον όρο αναφερόμαστε σε ένα τεχνολογικό πεδίο που επικεντρώνεται στη δημιουργία μικροσκοπικών μηχανικών και ηλεκτρομηχανικών εξαρτημάτων, που περιλαμβάνουν συσκευές και δομές, χρησιμοποιώντας τεχνικές μικροκατασκευής (Wang et al., 2020). Οι διαστάσεις των συσκευών MEMS παρουσιάζουν σημαντικές διακυμάνσεις, που κυμαίνονται από τη μικροκλίμακα έως αρκετά χιλιοστά. Ομοίως, η ταξινόμηση των συσκευών MEMS έχει ένα εύρος που εκτείνεται από βασικές ρυθμίσεις χωρίς κινητά στοιχεία έως περίπλοκα ηλεκτρομηχανικά συστήματα που διαθέτουν πολλαπλά κινούμενα στοιχεία που διέπονται από ενσωματωμένη μικροηλεκτρονική (Grayson et al., 2004). Η κύρια απαίτηση για τα μικροηλεκτρομηχανικά συστήματα (MEMS) είναι η ενσωμάτωση εξαρτημάτων που παρέχουν μηχανική λειτουργικότητα, ανεξάρτητα από την ικανότητά τους για κίνηση. Η ερμηνεία του MEMS παρουσιάζει περιφερειακές παραλλαγές σε διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές. Στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, η ονομασία που χρησιμοποιείται συνήθως για την αναφορά σε αυτές τις συσκευές είναι MEMS. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι σε άλλες γεωγραφικές περιοχές, αναφέρονται εναλλακτικά ως «τεχνολογία μικροσυστημάτων» ή «μικρομηχανικές συσκευές» (Algamili et al., 2021).

Τα MEMS περιλαμβάνουν πολλά λειτουργικά στοιχεία, συγκεκριμένα μικροηλεκτρονικές δομές, αισθητήρες, ενεργοποιητές και μικροηλεκτρονική. Μέσα σε αυτό το σύνολο εξαρτημάτων, οι μικροαισθητήρες και οι μικροενεργοποιητές ξεχωρίζουν ως ιδιαίτερα αξιοσημείωτα και ενδιαφέροντα στοιχεία (Algamili et al., 2021). Οι μικροαισθητήρες και οι μικροενεργοποιητές μπορούν να ταξινομηθούν με ακρίβεια ως μετατροπείς, οι οποίοι είναι συσκευές που έχουν σχεδιαστεί ειδικά για να μετατρέπουν ένα είδος ενέργειας σε άλλο. Συνήθως, ένας μικροαισθητήρας κατασκευάζεται για να μετατρέπει μια μηχανική είσοδο σε ηλεκτρική αντίδραση.

Τις τελευταίες δεκαετίες, έχουν γίνει αξιοσημείωτες εξελίξεις από ερευνητές και προγραμματιστές στον τομέα των MEMS, με αποτέλεσμα την επιτυχή ανάπτυξη μιας ποικιλίας μικροαισθητήρων με ικανότητα ανίχνευσης πληθώρας φυσικών γεγονότων. Διάφορες μέθοδοι ανίχνευσης περιλαμβάνουν μια σειρά φυσικών φαινομένων, όπως θερμοκρασία, πίεση, αδρανειακές δυνάμεις, χημικές ουσίες, μαγνητικά πεδία, ακτινοβολία και άλλους σχετικούς

παράγοντες (Arbabi et al., 2018). Είναι αξιοσημείωτο ότι η απόδοση πολλών μικρομηχανικών αισθητήρων ξεπερνά αυτή των μακροσκοπικών ισοδυνάμων τους. Πιο αναλυτικά, παρατηρείται τυπικά ότι η μικροκατασκευασμένη έκδοση ενός μορφοτροπέα πίεσης επιδεικνύει βελτιωμένη απόδοση σε σύγκριση με έναν αισθητήρα πίεσης που κατασκευάζεται μέσω της χρήσης μεθόδων μηχανουργικής κατεργασίας μακροκλίμακας υψηλής ακρίβειας. Επιπλέον, πρέπει να σημειωθεί ότι οι συσκευές MEMS παρουσιάζουν εξαιρετικά χαρακτηριστικά απόδοσης (Trippel et al., 2017). Αξίζει να αναφερθεί επιπλέον ότι αυτές οι συσκευές κατασκευάζονται χρησιμοποιώντας τις ίδιες διαδικασίες παραγωγής κατά παρτίδες που χρησιμοποιούνται στον τομέα των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων. Η σύγκλιση των τεχνολογιών παραγωγής όχι μόνο οδηγεί σε μείωση του κόστους κατασκευής ανά συσκευή αλλά παρουσιάζει και διάφορα άλλα οφέλη. Ως εκ τούτου, είναι εφικτό να επιτευχθεί η βέλτιστη λειτουργικότητα της συσκευής, διατηρώντας παράλληλα ένα λογικό οικονομικό κόστος. Η ταχεία εμπορευματοποίηση διακριτών μικροαισθητήρων με βάση το πυρίτιο έχει οδηγήσει σε σημαντική ανάπτυξη στις αγορές αυτών των συσκευών (Zhu et al., 2020).



ΕΙΚΟΝΑ 9 ΜΙΚΡΟΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΜΙΚΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ. ΑΥΤΟ ΤΟ GADGET ΕΙΝΑΙ ΕΝΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΜΙΚΡΟΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΤΗ ΠΟΥ ΒΑΣΙΖΕΤΑΙ ΣΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ MEMS.

Η υλοποίηση του συνόλου των δυνατοτήτων του MEMS (Μικροηλεκτρομηχανικά Συστήματα), γνωστά και ως μικροηλεκτρονικά, επιτυγχάνεται όταν η ενσωμάτωση μικρής κλίμακας αισθητήρων, ενεργοποιητών και δομών σε ένα κοινό υπόστρωμα πυριτίου πραγματοποιείται παράλληλα με ολοκληρωμένα κυκλώματα (Algamili et al., 2021). Τα ηλεκτρονικά παράγονται μέσω της χρήσης αλληλουχιών διεργασιών ολοκληρωμένων κυκλωμάτων (IC), όπως οι διαδικασίες CMOS, διπολικές ή BICMOS. Από την άλλη πλευρά, τα μικρομηχανικά εξαρτήματα κατασκευάζονται χρησιμοποιώντας συμβατές διαδικασίες «μικρομηχανικής», οι οποίες περιλαμβάνουν την επιλεκτική αφαίρεση συγκεκριμένων τμημάτων του πλακιδίου πυριτίου ή την προσθήκη νέων δομικών στρωμάτων. Αυτές οι διαδικασίες χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία μηχανικών και ηλεκτρομηχανικών συσκευών (Algamili et al., 2021). Θα είχε μεγάλο ενδιαφέρον εάν το MEMS μπορούσε να ενσωματωθεί όχι μόνο με τη μικροηλεκτρονική, αλλά και με τη φωτονική, τη νανοτεχνολογία και άλλους συναφείς κλάδους. Αυτό το φαινόμενο είναι κοινώς γνωστό ως «ετερογενής ολοκλήρωση». Η δυνατότητα για σημαντικές εμπορικές ευκαιρίες σε αυτές τις τεχνολογίες είναι εμφανής.

#### 4.7 ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΙΟΜΕΤΡΟ

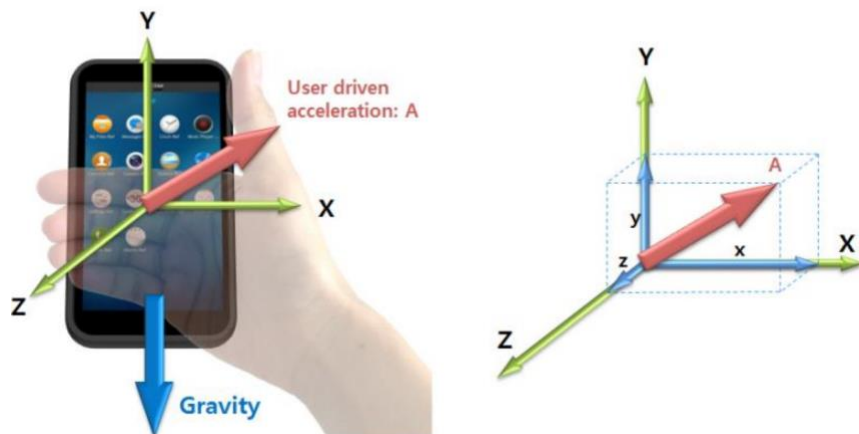
---

Το επιταχυνσιόμετρο είναι ένας αισθητήρας που χρησιμοποιείται για την ποσοτικοποίηση της επιτάχυνσης.

Επειδή η επιφάνεια της Γης ασκεί μια κανονική δύναμη προς τα πάνω σε σχέση με το τοπικό αδρανειακό σύστημα, ένα επιταχυνσιόμετρο σε ηρεμία σε σχέση με την επιφάνεια της Γης θα καταγράψει περίπου 1 g προς τα πάνω (το σύστημα ενός αντικειμένου που πέφτει ελεύθερα κοντά στην επιφάνεια). Για να προκύψει η επιτάχυνση λόγω της κίνησης σε σχέση με τη Γη, πρέπει να αφαιρεθεί αυτή η "αντιστάθμιση βαρύτητας" και να γίνουν διορθώσεις για τις επιδράσεις που προκύπτουν από την περιστροφή της Γης σε σχέση με το αδρανειακό σύστημα.

Όταν ο αισθητήρας γέρνει υπό γωνία, δημιουργείται μια συνιστώσα που αντιπροσωπεύει το πεδίο βαρύτητας (Ibrahim et al., 2020). Χρησιμοποιώντας αυτή τη συνιστώσα, μπορεί να προσδιοριστεί η γωνία κλίσης του κινητού τηλεφώνου, επιτρέποντας τον καθορισμό και των υπόλοιπων συνιστωσών της επιτάχυνσης (X, Y και Z), όπως φαίνεται στο σχήμα 9. Υπάρχει

επίσης ένας δεύτερος τύπος επιτάχυνσης, η δυναμική, η οποία μπορεί να ανιχνεύει την ταχύτητα, την πρόσκρουση και άλλους παράγοντες.



ΕΙΚΟΝΑ 10 ΔΙΑΝΥΣΜΑ ΚΑΙ ΑΞΟΝΕΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ (TIZEN, 2010)

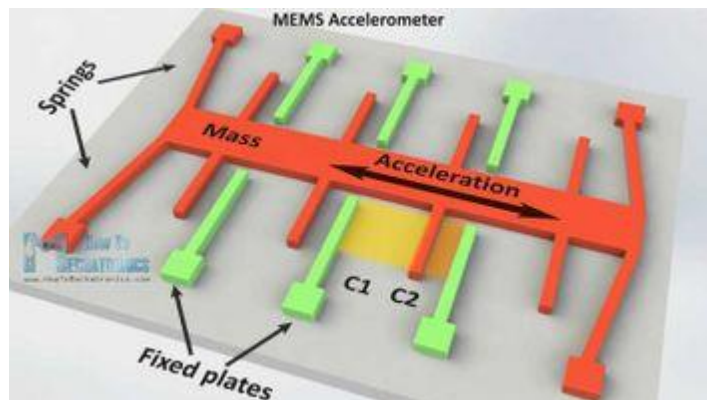
Ένα παράδειγμα χρήσης επιταχυνσιόμετρου έχουμε αν το τοποθετήσουμε σε κατάσταση ηρεμίας στην επιφάνεια της Γης. Αυτό θα ανιχνεύσει μια επιτάχυνση που προκαλείται από τη δύναμη της βαρύτητας της Γης, κατευθυνόμενη κάθετα προς τα πάνω, με μέγεθος  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  (σύμφωνα με τον ορισμό του). Τα επιταχυνσιόμετρα έχουν ένδειξη μηδέν όταν υποβάλλονται σε συνθήκες ελεύθερης πτώσης, όπως όταν κατεβαίνουν προς τον πυρήνα της Γης με βαρυτική επιτάχυνση περίπου  $9,81 \text{ m/s}^2$ .

Τα επιταχυνσιόμετρα διαθέτουν ένα ευρύ φάσμα βιομηχανικών και επιστημονικών εφαρμογών. Πιο αναλυτικά, τα επιταχυνσιόμετρα με σημαντικό επίπεδο ευαισθησίας χρησιμοποιούνται σε συστήματα αδρανειακής πλοήγησης αεροσκαφών και πυραύλων (Zhu et al., 2020). Επίσης χρησιμοποιούνται για τον ποσοτικό προσδιορισμό των κραδασμών σε μηχανήματα που υφίστανται περιστροφική κίνηση (Varanis et al., 2018). Σε υπολογιστές tablet και ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές, χρησιμοποιούνται επιταχυνσιόμετρα για τη διατήρηση του σταθερού προσανατολισμού των φωτογραφιών στην οθόνη. Η χρήση επιταχυνσιόμετρων σε μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAV) διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στην ενίσχυση της σταθερότητας της πτήσης (Varanis et al., 2018).

Ακόμη, τα επιταχυνσιόμετρα μονού και πολλαπλών αξόνων διαθέτουν την ικανότητα να μετρούν τόσο το μέγεθος όσο και την κατεύθυνση της πραγματικής επιτάχυνσης, η οποία αναπαρίσταται ως διανυσματική ποσότητα. Αυτές οι συσκευές είναι ικανές να ανιχνεύουν διάφορα φαινόμενα όπως προσανατολισμό (λόγω αλλαγών στην κατεύθυνση του βάρους), επιτάχυνση συντεταγμένων, κραδασμούς και την πράξη πτώσης σε ένα μέσο αντίστασης (όπου η θετική επιτάχυνση υφίσταται αλλαγή, αυξανόμενη από το μηδέν) (Mustafazade et al., 2020). Η χρήση επιταχυνσιόμετρων μικροκατασκευασμένων μικροηλεκτρομηχανικών συστημάτων (MEMS) επικρατεί προοδευτικά σε φορητές ηλεκτρονικές συσκευές και ελεγκτές βιντεοπαιχνιδιών με σκοπό την ανίχνευση αλλαγών στη θέση τους.

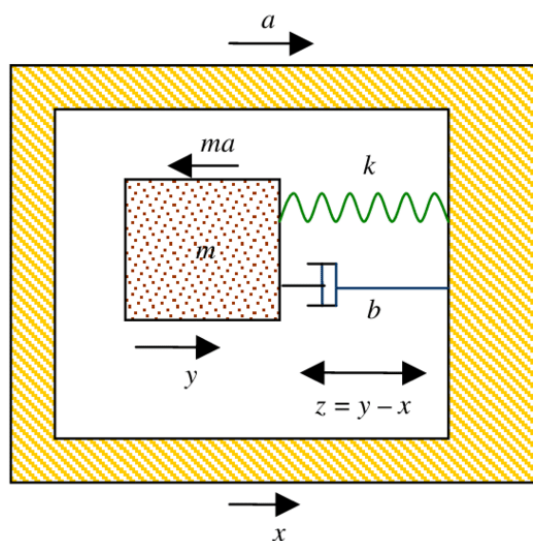
Τα σύγχρονα μηχανικά επιταχυνσιόμετρα συνήθως υποθέτουν τη διαμόρφωση μικροηλεκτρομηχανικών συστημάτων (MEMS). Αυτές οι συσκευές αναγνωρίζονται κοινώς για την εγγενή τους απλότητα, που περιλαμβάνουν κυρίως μια δοκό προβόλου που περικλείει μια μάζα απόδειξης (proof mass), η οποία είναι επίσης γνωστή ως σεισμική μάζα (Zou & Seshia, 2015). Το αποτέλεσμα απόσβεσης επηρεάζεται από την ύπαρξη υπολειμματικού αερίου εντός της ερμητικά σφραγισμένης συσκευής. Η επίδραση της απόσβεσης στην ευαισθησία είναι ελάχιστη, με την προϋπόθεση ότι ο παράγοντας  $Q$  παραμένει αρκετά υψηλός.

Η μάζα απόδειξης υφίσταται μετατόπιση λόγω της επίδρασης εξωτερικών επιταχύνσεων, οδηγώντας σε απόκλιση από τη θέση ισορροπίας της. Η μέτρηση παραμόρφωσης μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε μέσω αναλογικών είτε μέσω ψηφιακών μεθοδολογιών. Η παραδοσιακή μεθοδολογία συνεπάγεται την ποσοτικοποίηση της χωρητικότητας μεταξύ ενός συνόλου σταθερών δοκών και ενός συνόλου δοκών που συνδέονται με τη μάζα απόδειξης. Η διαδικασία που περιγράφεται παραπάνω διακρίνεται από την απλότητα, την αξιοπιστία και την οικονομική αποδοτικότητά της.



ΕΙΚΟΝΑ 10 MEMS ΕΠΙΤΑΧΥΣΝΙΟΜΕΤΡΟ (DEJAN, 2015)

Τα θεμελιώδη στοιχεία των επιταχυνσιόμετρων τυπικά περιλαμβάνουν ένα ελατήριο, μια μάζα απόδειξης και μια αποσβεσμένη μάζα. Όταν ένα επιταχυνσιόμετρο βιώνει επιτάχυνση, η μάζα μέσα σε αυτό υφίσταται μετατόπιση έως ότου το ελατήριο μπορέσει να ασκήσει μια δύναμη που επιταχύνει τη μάζα με ρυθμό ισοδύναμο με αυτόν της περίπτωσης του επιταχυνσιόμετρου. Η μέτρηση της επιτάχυνσης λαμβάνεται μέσω της συμπίεσης του ελατηρίου (Zoton et al., 2015). Η απόσβεση του συστήματος εξυπηρετεί τον μετριάσμό της πρόσκρουσης των ταλαντώσεων ή δονήσεων που προέρχονται από τη μάζα και το ελατήριο στις απαραίτητες μετρήσεις. Η απόκριση των επιταχυνσιόμετρων ποικίλλει σε διαφορετικές συχνότητες επιτάχυνσης λόγω της παρουσίας απόσβεσης. Αυτό το φαινόμενο είναι κοινώς γνωστό ως απόκριση συχνότητας.



ΕΙΚΟΝΑ 11 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΙΟΜΕΤΡΟΥ (KRISHNAN ET AL., 2007)

Αξιοσημείωτο είναι ότι πολλά είδη ζώων διαθέτουν αισθητήρια όργανα ικανά να αντιλαμβάνονται την επιτάχυνση, ιδιαίτερα τις δυνάμεις βαρύτητας. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η αποδεικτική μάζα τυπικά αποτελείται από έναν ή περισσότερους ωτόλιθους, οι οποίοι είναι κρύσταλλοι ανθρακικού ασβεστίου ή στατοκόνοι, επίσης γνωστοί ως "πέτρες του αυτιού". Αυτές οι δομές λειτουργούν μέσα σε ένα σύμπλεγμα τριχών που συνδέονται με νευρώνες (Zotou et al., 2015). Τα τριχοθυλάκια λειτουργούν ως μηχανικά ελατήρια, παρέχοντας αισθητηριακή ανάδραση στο σώμα, ενώ οι νευρώνες λειτουργούν ως εξειδικευμένοι αισθητικοί υποδοχείς. Γενικά, η διαδικασία απόσβεσης συνήθως επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης μιας υγρής ουσίας. Οι δομές που αναφέρονται υπάρχουν στα εσωτερικά αυτιά διαφόρων ζώων, συμπεριλαμβανομένου του ανθρώπινου είδους. Τα περισσότερα ασπόνδυλα διαθέτουν ανάλογα όργανα, αλλά όχι ως συστατικά του ακουστικού τους συστήματος. Αυτές οι δομές αναφέρονται συνήθως ως στατοκύστες.

## ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

---

### **Μηχανική**

Τα επιταχυνσιόμετρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση της επιτάχυνσης ενός οχήματος, τη μέτρηση κραδασμών σε αυτοκίνητα, εξοπλισμό, κατασκευές, συστήματα ελέγχου διεργασιών και εγκαταστάσεις ασφαλείας (Brage et al., 2003). Επιπλέον, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της σεισμικής δραστηριότητας, της κλίσης, των δονήσεων μηχανών, της δυναμικής απόστασης και της ταχύτητας, με ή χωρίς την επίδραση της βαρύτητας. Τα βαρυόμετρα είναι εφαρμογές για επιταχυνσιόμετρα που ανιχνεύουν τη βαρύτητα, όπου ένα επιταχυνσιόμετρο είναι ειδικά διαμορφωμένο για χρήση στη βαρυμετρία. Οι φορητοί υπολογιστές με επιταχυνσιόμετρα μπορούν να συμμετέχουν στο δίκτυο Quake-Catcher Network (QCN), ένα έργο αφιερωμένο στην έρευνα για τους σεισμούς.

### **Βιολογία**

Τα επιταχυνσιόμετρα χρησιμοποιούνται επίσης όλο και συχνότερα στις βιολογικές επιστήμες. Οι καταγραφές της δι-αξονικής ή τριαξονικής επιτάχυνσης σε υψηλή συχνότητα επιτρέπουν τη διάκριση προτύπων συμπεριφοράς όταν τα ζώα δεν είναι ορατά (Taraldsen et al., 2012). Επιπλέον, οι καταγραφές επιτάχυνσης επιτρέπουν στους ερευνητές να υπολογίζουν τον ρυθμό με



τον οποίο ένα ζώο δαπανά ενέργεια στη φύση, προσδιορίζοντας τη συχνότητα κίνησης των άκρων ή μετρώντας τη συνολική δυναμική επιτάχυνση του σώματος. Λόγω της αδυναμίας μελέτης πλασμάτων στη φύση με οπτικές παρατηρήσεις, οι επιστήμονες της θάλασσας έχουν υιοθετήσει κυρίως αυτές τις μεθόδους- ωστόσο, ένας αυξανόμενος αριθμός χερσαίων βιολόγων υιοθετεί παρόμοιες μεθόδους.

Για παράδειγμα, έχουν χρησιμοποιηθεί επιταχυνσιόμετρα για τη μελέτη της ενεργειακής δαπάνης πτήσης του γερακιού Harris (*Parabuteo unicinctus*). Οι ερευνητές συλλέγουν και εξάγουν επίσης μηχανοβιολογικά χαρακτηριστικά της άσκησης με αντίσταση χρησιμοποιώντας επιταχυνσιόμετρα smartphone. Έτσι, οι ερευνητές συνδυάζουν ολοένα και περισσότερο τα επιταχυνσιόμετρα με άλλες τεχνολογίες, όπως κάμερες και μικρόφωνα, για να κατανοήσουν καλύτερα τη συμπεριφορά των ζώων στο πεδίο.

### **Βιομηχανία**

Τα επιταχυνσιόμετρα χρησιμοποιούνται επίσης για την παρακολούθηση της υγείας των μηχανημάτων για να υποδεικνύουν τη δόνηση και τις μεταβολές της στο χρόνο των αξόνων στα έδρανα του περιστρεφόμενου εξοπλισμού, όπως οι τουρμπίνες, οι αντλίες, οι ανεμιστήρες, οι κύλινδροι, οι συμπιεστές, ή το πρόβλημα των ρουλεμάν, το οποίο, αν δεν αντιμετωπιστεί άμεσα, μπορεί να οδηγήσει σε δαπανηρές επισκευές (Ragam and Devidas Sahebraoji, 2019). Τα δεδομένα δονήσεων του επιταχυνσιόμετρου επιτρέπουν στον χρήστη να παρακολουθεί τα μηχανήματα και να εντοπίζει ελαττώματα πριν από την πλήρη αποτυχία του περιστρεφόμενου εξοπλισμού.

### **Πλοήγηση**

Ένα αδρανειακό σύστημα πλοήγησης (INS) αναφέρεται σε μια συσκευή πλοήγησης που χρησιμοποιεί έναν υπολογιστή και αισθητήρες κίνησης, συγκεκριμένα επιταχυνσιόμετρα, για να υπολογίσει τη θέση, τον προσανατολισμό και την ταχύτητα (δηλαδή κατεύθυνση και ταχύτητα κίνησης) μιας κινητής οντότητας χωρίς να βασίζεται σε εξωτερικά σημεία αναφοράς. Πρόσθετες ονομασίες για συστήματα αδρανειακής πλοήγησης ή συγκρίσιμο εξοπλισμό περιλαμβάνουν σύστημα αδρανειακής καθοδήγησης, αδρανειακή πλατφόρμα αναφοράς και διάφορες εναλλακτικές ονομασίες (Ragam & Devidas Sahebraoji, 2019).

Στο πλαίσιο των αεροσκαφών και των πυραύλων, δεν είναι σκόπιμο να βασίζεστε αποκλειστικά σε ένα επιταχυνσιόμετρο για να μετράτε με ακρίβεια τις αλλαγές στο υψόμετρο σε σημαντικές αποστάσεις όταν υπάρχει σημαντική κατακόρυφη πτώση βαρύτητας. Η αριθμητική σταθερότητα της διαδικασίας βαθμονόμησης και μείωσης δεδομένων διακυβεύεται όταν υπάρχει μια βαρυτική κλίση.

Τα επιταχυνσιόμετρα μεταφοράς χρησιμοποιούνται τόσο σε επαγγελματικές όσο και σε ερασιτεχνικές πυραυλικές προσπάθειες για τον προσδιορισμό του υψηλότερου σημείου στο οποίο φτάνει ο πύραυλος, που συνήθως αναφέρεται ως το απόγειο. Επιπλέον, αυτές οι συσκευές βρίσκουν εφαρμογή στο πλαίσιο των ευφυών κυλίνδρων συμπίεσης (Cummins et al., 2013). Τα συστήματα αδρανειακής πλοήγησης χρησιμοποιούν επιταχυνσιόμετρα και γυροσκόπια για τη λειτουργική τους λειτουργικότητα.

Η χρήση επιταχυνσιόμετρων MEMS σε σύγχρονα συστήματα ενεργοποίησης αερόσακων αυτοκινήτου είναι μια διαδεδομένη και ευρέως διαδεδομένη εφαρμογή. Στο συγκεκριμένο πλαίσιο, χρησιμοποιούνται επιταχυνσιόμετρα για την ανίχνευση της γρήγορης επιβράδυνσης του οχήματος, επιτρέποντας έτσι τον προσδιορισμό του χρόνου και της έντασης του ατυχήματος. Τα πλευρικά επιταχυνσιόμετρα χρησιμοποιούνται συχνά σε ηλεκτρονικά συστήματα ελέγχου ευστάθειας για τον εντοπισμό των δυνάμεων στις στροφές. Η τιμή των επιταχυνσιόμετρων στην αυτοκινητοβιομηχανία έχει μειωθεί σημαντικά λόγω της εκτεταμένης υιοθέτησής τους. Η παρακολούθηση θορύβου, κραδασμών και τραχύτητας (NVH) αντιπροσωπεύει μια πρόσθετη εφαρμογή στην αυτοκινητοβιομηχανία. Αυτά τα χαρακτηριστικά προκαλούν δυσφορία τόσο για τους οδηγούς όσο και για τους επιβάτες και μπορεί επίσης να χρησιμεύσουν ως δείκτες τεχνικών θεμάτων (Cummins et al., 2013). Τα διαβαθμισμένα τρένα χρησιμοποιούν επιταχυνσιόμετρα και γυροσκόπια για να καθορίσουν την απαραίτητη κλίση.

### **Ιατρικές εφαρμογές**

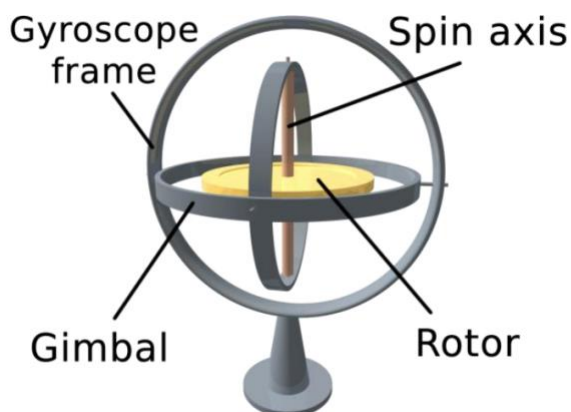
Αρκετές εταιρείες έχουν δημιουργήσει και πουλήσει αθλητικά ρολόγια για δρομείς με ποδοστάτες και επιταχυνσιόμετρα για τον προσδιορισμό της ταχύτητας και της απόστασης του δρομέα κατά τη διάρκεια των προηγούμενων ετών (Taraldsen et al., 2012). Η βελγική κυβέρνηση προωθεί την καταμέτρηση βημάτων με βάση επιταχυνσιόμετρα για να ενθαρρύνει τα άτομα να περπατούν αρκετές χιλιάδες βήματα την ημέρα. Τα επιταχυνσιόμετρα

χρησιμοποιούνται από την Herman Digital Trainer για την αξιολόγηση της δύναμης πρόσκρουσης κατά τη διάρκεια της σωματικής άσκησης. Επιπρόσθετα, έχει προταθεί να εξοπλιστούν τα κράνη ποδοσφαίρου με επιταχυνσιόμετρα για την ποσοτικοποίηση της δύναμης των χτυπημάτων στο κεφάλι. Τα επιταχυνσιόμετρα έχουν χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό μετρήσεων βάρδισης, συμπεριλαμβανομένης της φάσης στάσης και της φάσης αιώρησης. Αυτός ο τύπος αισθητήρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση ή τη μέτρηση ατόμων.

#### 4.8 ΓΥΡΟΣΚΟΠΙΟ

Η Apple ήταν η πρώτη εταιρεία που ενσωμάτωσε το γυροσκόπιο στα προϊόντα της. Σε συνέντευξη Τύπου του 2010 ανακοίνωσε για το iPhone 4 και το iPod Touch 4 ότι το γυροσκόπιο τριών αξόνων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πλοήγηση, αναγνώριση προσανατολισμού αλλά και για μια ποικιλία παιχνιδιών στα οποία το γυροσκόπιο τριών αξόνων κυριαρχεί έναντι του αισθητήρα βαρύτητας που υπάρχει στα τυπικά κινητά τηλέφωνα (Jain & Kanhangad, 2018).

Τα πεδία εφαρμογής είναι ευρύτερα και οι κατευθύνσεις μπορούν να προσδιοριστούν με μεγαλύτερη ακρίβεια. Ταυτόχρονα, ο τριαξονικός θα μπορούσε να διακρίνει τη δράση του χρήστη ανιχνεύοντας τις κατευθύνσεις και τις γωνίες κλίσης, ακόμη και αν ο χρήστης βρίσκεται στο κρεβάτι και κουνάει ελεύθερα το κινητό του τηλέφωνο (Ha & Choi, 2016). Οι παραδοσιακοί αισθητήρες βαρύτητας υπόκεινται στο έδαφος ανά πάσα στιγμή. Αυτή είναι η πρωταρχική διάκριση μεταξύ των αισθητήρων βαρύτητας και των γυροσκοπίων.



ΕΙΚΟΝΑ 11 ΓΥΡΟΣΚΟΠΙΟ 3 ΑΞΟΝΩΝ

Στο σχήμα 11 απεικονίζεται η δομή ενός γυροσκοπίου με τρεις άξονες. Το γυροσκόπιο είναι μια συσκευή που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση και τη διατήρηση των γωνιών προσανατολισμού, με βάση την αρχή της διατήρησης της στροφορμής. "Όταν ένα γυροσκόπιο χρησιμοποιείται με μια συγκεκριμένη ταχύτητα, οι κατακόρυφες κατευθύνσεις θα μπορούσαν να παραμείνουν σταθερές (Ha & Choi, 2016). Η μετρούμενη τιμή είναι η στροφορμή μέσω της περιστροφής και της κλίσης, ενώ ο προσανατολισμός του άξονα περιστροφής διατηρείται σταθερός.

Η IEEE ορίζει το γυροσκόπιο δονούμενης δομής ως ένα γυροσκόπιο δόνησης Coriolis (VSG), το οποίο χρησιμοποιεί μια δονούμενη δομή για τον υπολογισμό του ρυθμού περιστροφής (IEEE, 2004). Ακόμα και αν το στήριγμά του περιστρέφεται, το δονούμενο στοιχείο προτιμά να συνεχίσει να δονείται στο ίδιο επίπεδο, σύμφωνα με την υποκείμενη φυσική αρχή. Το αντικείμενο ασκεί μια δύναμη στο στήριγμά του λόγω του φαινομένου Coriolis, και με τη μέτρηση αυτής της δύναμης μπορεί να προσδιοριστεί ο ρυθμός περιστροφής. Τα γυροσκόπια δονούμενης δομής είναι πιο απλά και λιγότερο ακριβά από τα συμβατικά περιστρεφόμενα γυροσκόπια συγκρίσιμης ακρίβειας.

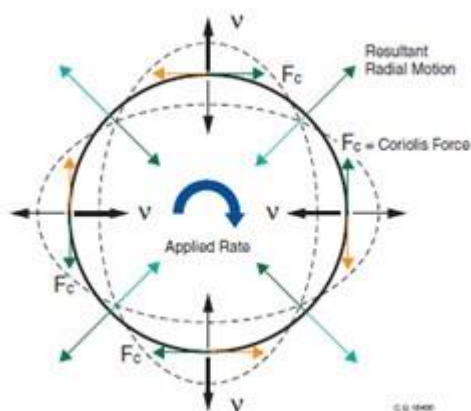
Με την τεχνολογία MEMS, τα φθηνά γυροσκόπια δονούμενης δομής χρησιμοποιούνται ευρέως σε smartphones, συσκευές παιχνιδιών, φωτογραφικές μηχανές και πολλές άλλες εφαρμογές (Passaro et al., 2017).

## ΓΥΡΟΣΚΟΠΙΑ MEMS

---

Υπάρχει ευρεία διαθεσιμότητα φθηνών γυροσκοπίων μικροηλεκτρομηχανικών συστημάτων (MEMS) με δονούμενη δομή. Αυτά τα ολοκληρωμένα κυκλώματα είναι κατασκευασμένα παρόμοια με τα συμβατικά ολοκληρωμένα κυκλώματα και μπορούν να προσφέρουν είτε αναλογικές είτε ψηφιακές εξόδους (Johnson et al., 2010). Συχνά, ένα ενιαίο στοιχείο διαθέτει γυροσκοπικούς αισθητήρες για πολλούς άξονες. Ορισμένα εξαρτήματα περιλαμβάνουν πολλά γυροσκόπια και επιταχυνσιόμετρα (ή γυροσκόπια και επιταχυνσιόμετρα πολλαπλών αξόνων) για την επίτευξη έξι βαθμών ελευθερίας εξόδου. Οι IMU είναι η συντομογραφία για τις μονάδες αδρανειακής μέτρησης. Οι κύριοι παραγωγοί περιλαμβάνουν τις Panasonic, Robert Bosch GmbH, InvenSense, Seiko Epson, Sensoror, Hanking Electronics, STMicroelectronics, Freescale Semiconductors και Analog Devices.

Εσωτερικά, τα γυροσκόπια MEMS χρησιμοποιούν λιθογραφικά κατασκευασμένα αντίγραφα ενός ή περισσοτέρων από τους μηχανισμούς που αναφέρονται παραπάνω (πιρουνία συντονισμού, δονητικοί τροχοί ή στερεά σώματα συντονισμού διαφόρων σχεδίων. Τα γυροσκόπια MEMS χρησιμοποιούνται σε συστήματα αποτροπής ανατροπής αυτοκινήτων και αερόσακους, καθώς και σε συστήματα σταθεροποίησης εικόνας και άλλες εφαρμογές.



ΕΙΚΟΝΑ 12 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΓΥΡΟΣΚΟΠΙΟΥ (SILICON SENSING | MEMS GYROSCOPES)

## ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

### Αυτοκίνητο

Οι αισθητήρες περιστροφής των αυτοκινήτων μπορούν να κατασκευαστούν με γυροσκόπια με δονούμενες δομές (Passaro et al., 2017). Όταν συνδέονται ως είσοδος σε ηλεκτρονικά συστήματα ελέγχου ευστάθειας σε συνδυασμό με έναν αισθητήρα τιμονιού, χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό εσφαλμένων καταστάσεων στην κλίση σε σχέση με την αναμενόμενη απόκριση. Τα προηγμένα συστήματα θα μπορούσαν θεωρητικά να παρέχουν αντίχενυση ανατροπής χρησιμοποιώντας ένα δεύτερο VSG, ωστόσο είναι λιγότερο δαπανηρό να προστεθούν διαμήκη και κατακόρυφα επιταχυνσιόμετρα στο σημερινό πλευρικό επιταχυνσιόμετρο.

## **Ψυχαγωγία**

Το παιχνίδι WarioWare: Twisted! του Nintendo Game Boy Advance ανιχνεύει την περιστροφική κίνηση χρησιμοποιώντας ένα πιεζοηλεκτρικό γυροσκόπιο (Passaro et al., 2017). Το χειριστήριο Sony SIXAXIS PS3 μετρά τον έκτο άξονα χρησιμοποιώντας ένα μόνο γυροσκόπιο MEMS (yaw). Το εξάρτημα Nintendo Wii MotionPlus χρησιμοποιεί τα γυροσκόπια MEMS πολλαπλών αξόνων της InvenSense για να ενισχύσει τις δυνατότητες ανίχνευσης κίνησης του Wii Remote. Η πλειονότητα των σύγχρονων smartphones και των συσκευών παιχνιδιών διαθέτουν επίσης γυροσκόπια MEMS.

## **Χόμπι**

Τα γυροσκόπια δονούμενης δομής χρησιμοποιούνται συχνά σε τηλεκατευθυνόμενα ελικόπτερα για να βοηθήσουν στον έλεγχο του ουραίου ρότορα και σε τηλεκατευθυνόμενα αεροπλάνα για να βοηθήσουν στη διατήρηση σταθερής στάσης κατά τη διάρκεια της πτήσης. Δεδομένου ότι τα πολυροτέρ είναι εγγενώς αεροδυναμικά ασταθή και δεν μπορούν να παραμείνουν στον αέρα χωρίς ηλεκτρονική σταθεροποίηση, χρησιμοποιούνται επίσης σε ελεγκτές πτήσης (Passaro et al., 2017).

## **Τεχνολογία βιομηχανικών ρομπότ**

Το QMEMS είναι ένα γυροσκόπιο χαλαζία MEMS που χρησιμοποιείται από την Epson Robots για την ανίχνευση και τη ρύθμιση των δονήσεων στα ρομπότ της. Αυτό επιτρέπει στα ρομπότ να τοποθετούν τον τελικό επενεργητή με μεγάλη ακρίβεια κατά την επιτάχυνση και την επιβράδυνση υψηλής ταχύτητας (Barshan & Durrant-Whyte, 1995).

## **Φωτογραφία**

Πολυάριθμες τεχνικές σταθεροποίησης εικόνας βίντεο και φωτογραφικών μηχανών ενσωματώνουν γυροσκόπια δονούμενης δομής.

## **Δορυφορικός προσανατολισμός**

Στο γυροσκόπιο δονούμενης δομής μπορεί επίσης να δημιουργηθεί και να ρυθμιστεί η ταλάντωση για τη θέση διαστημικών σκαφών όπως το Cassini-Huygens. Αυτά τα μικρά γυροσκόπια με ημισφαιρικό αντηχείο από γυαλί χαλαζία λειτουργούν στο κενό. Υπάρχουν

επίσης πρωτότυπα γυροσκόπια κυλινδρικού αντηχείου από μονοκρυσταλλικό ζαφείρι υψηλής καθαρότητας (CRG) που είναι ελαστικά αποσυνδεδεμένα. Ο συντελεστής  $Q$  του λευκοσαπφείρου υψηλής καθαρότητας είναι μια τάξη μεγέθους μεγαλύτερος από αυτόν του γυαλιού χαλαζία που χρησιμοποιείται για HRG, αν και το υλικό αυτό είναι εύθραυστο και ανισότροπο. Επιτρέπουν τον ακριβή τριαξονικό προσανατολισμό του διαστημοπλοίου και είναι εξαιρετικά αξιόπιστα λόγω της απουσίας κινούμενων στοιχείων (Zhanshe et al., 2015).

#### 4.9 ΜΑΓΝΗΤΟΜΕΤΡΟ

---

Ενώ το γυροσκόπιο λειτουργεί κυρίως για τον φυσικό προσανατολισμό του τηλεφώνου και το επιταχυνσιόμετρο παρακολουθεί την κίνηση, το μαγνητόμετρο ανιχνεύει μαγνητικά πεδία για τον προσδιορισμό της κατεύθυνσης και του παγκόσμιου εντοπισμού θέσης (Kok & Schön, 2016). Ο αισθητήρας μαγνητικού πεδίου είναι μια συσκευή μικροηλεκτρομηχανικών συστημάτων (MEMS) σχεδιασμένη για την ανίχνευση και τη μέτρηση μαγνητικών πεδίων (μαγνητόμετρο). Πολλές από αυτές τις συσκευές λειτουργούν με την ανίχνευση των φαινομένων της δύναμης Lorentz: μια αλλαγή στην τάση ή στη συχνότητα συντονισμού μπορεί να παρακολουθείται ηλεκτρονικά ή μια μηχανική μετατόπιση μπορεί να ανιχνεύεται οπτικά. Σε τέτοιες περιπτώσεις, πρέπει να υπάρχει αντιστάθμιση για τις επιδράσεις της θερμοκρασίας. Η χρήση του ως μικρή πυξίδα είναι ένα παράδειγμα μιας τέτοιας απλής εφαρμογής.

Για παράδειγμα, κατά τη χρήση των εφαρμογών Apple Maps ή Google Maps, το μαγνητόμετρο συνεργάζεται με τον αισθητήρα GPS για την περιστροφή του χάρτη σε συγκεκριμένο προσανατολισμό (Kok & Schön, 2016). Αυτός ο αισθητήρας είναι ο κύριος λόγος για τον οποίο το τηλέφωνό σας μπορεί να εντοπίσει τη θέση σας σε σχέση με άλλες τοποθεσίες, επιτρέποντας στις εφαρμογές πλοήγησης να παρέχουν ακριβείς οδηγίες.

#### ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

---

Ανάλογα με το μέγεθος του μετρούμενου πεδίου, τα μαγνητόμετρα μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις διαφορετικούς τύπους. Εάν το επιδιωκόμενο πεδίο  $B$  είναι μεγαλύτερο από το γήινο μαγνητικό πεδίο (μέγιστη τιμή περίπου 60  $\mu\text{T}$ ), ο αισθητήρας δεν χρειάζεται να είναι πολύ ευαίσθητος. Καλύτεροι αισθητήρες είναι απαραίτητοι για τη μέτρηση του γήινου πεδίου μεγαλύτερου από τον γεωμαγνητικό θόρυβο (περίπου 0,1 nT). Για να επιτευχθεί μεγαλύτερη

χωρική ανάλυση με σκοπό τον εντοπισμό μαγνητικών ανωμαλιών, είναι απαραίτητο να αναπτυχθούν αισθητήρες σε πολλά σημεία για να εξαλειφθεί ο χωρικά συσχετιζόμενος θόρυβος. Επιπλέον, για την ανίχνευση του πεδίου κάτω από τον γεωμαγνητικό θόρυβο απαιτούνται πολύ πιο ευαίσθητοι αισθητήρες μαγνητικού πεδίου. Αυτοί οι αισθητήρες χρησιμοποιούνται κυρίως σε ιατρικές και βιολογικές εφαρμογές, όπως η απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού (MRI) και η μοριακή σήμανση (Dong et al., 2022).

Ο αισθητήρας φαινομένου Hall, η μαγνητοδίοδος, το μαγνητοτρανζίστορ, το μαγνητόμετρο AMR, το μαγνητόμετρο GMR, το μαγνητόμετρο σύνδεσης μαγνητικής σήραγγας, ο μαγνητο-οπτικός αισθητήρας, ο αισθητήρας MEMS με βάση τη δύναμη Lorentz, ο αισθητήρας MEMS με βάση τη σήραγγα ηλεκτρονίων, η πυξίδα MEMS, ο αισθητήρας μαγνητικού πεδίου πυρηνικής μετάπτωσης, ο αισθητήρας μαγνητικού πεδίου με οπτική άντληση, το μαγνητόμετρο fluxgate, ο αισθητήρας μαγνητικού πεδίου πηνίου αναζήτησης και το μαγνητόμετρο SQUID αποτελούν παραδείγματα τεχνικών μαγνητικής ανίχνευσης.

### **Τα πλεονεκτήματα του μαγνητικού αισθητήρα MEMS**

Οι μαγνητικοί αισθητήρες MEMS έχουν διάφορες ιδιότητες, όπως ο συντελεστής ποιότητας (Q), η συχνότητα συντονισμού, το σχήμα λειτουργίας, η απόκριση και η ανάλυση. Ο παράγοντας ποιότητας υποδεικνύει πόση ενέργεια μπορεί να διατηρηθεί κατά τη δόνηση του αντηχείου (Dejan et al., 2015). Μπορεί να υπάρχουν διάφορες μεταβλητές που μπορούν να αποσβέσουν τον αντηχείο, συμπεριλαμβανομένης της μηχανικής απόσβεσης του ίδιου του αντηχείου και της απόσβεσης από την εξωτερική πίεση και θερμοκρασία.

Η συχνότητα συντονισμού ορίζεται ως η συχνότητα στην οποία εμφανίζεται το μέγιστο πλάτος δόνησης (ή το μεγαλύτερο, όπως μια χτυπημένη καμπάνα ή ένα πιρούνι συντονισμού). Η συχνότητα συντονισμού καθορίζεται από τη γεωμετρία της συσκευής. Μπορούμε να υπολογίσουμε τη συχνότητα συντονισμού αν γνωρίζουμε τις διαστάσεις της συσκευής, το ισοδύναμο μέτρο ελαστικότητας Young και την ισοδύναμη πυκνότητά της.



### **Η μορφή του τρόπου λειτουργίας είναι το μοτίβο της δόνησης του αντηχείου.**

Η απόκριση (η οποία προστίθεται στην ανάλυση) ορίζει το μέγεθος της ταλάντωσης που μπορούμε να λάβουμε από πανομοιότυπα διαμορφωμένες συσκευές. Όταν το ίδιο ρεύμα και το ίδιο πεδίο B εφαρμόζονται σε πολλούς συντονιστές, οι συσκευές με μεγαλύτερα πλάτη ταλάντωσης θεωρείται ότι έχουν μεγαλύτερη απόκριση. Το εύρος των μαγνητόμετρων που βασίζονται σε πιεζοηλεκτρικούς αντηχείς είναι mV/T (millivolt/Tesla), επομένως μια υψηλότερη ευαισθησία απόκρισης είναι συχνά προτιμότερη.

Η ανάλυση αναφέρεται στο χαμηλότερο μαγνητικό πεδίο που μπορεί να μετρηθεί από ένα όργανο. Πιο συγκεκριμένα, όσο μικρότερος είναι ο αριθμός, τόσο μεγαλύτερη είναι η ευαισθησία της συσκευής. Το εύρος των μαγνητόμετρων που βασίζονται σε πιεζοηλεκτρικό αντηχείο είναι μερικά νανοτέσλα (nanoTesla).

### **Πλεονεκτήματα των αισθητήρων που βασίζονται σε MEMS**

Το συμπαγές μέγεθος ενός αισθητήρα μαγνητικού πεδίου που βασίζεται σε MEMS επιτρέπει την τοποθέτησή του πιο κοντά στο σημείο μέτρησης και την επίτευξη μεγαλύτερης χωρικής ανάλυσης από τους παραδοσιακούς αισθητήρες μαγνητικού πεδίου. Επιπλέον, η μικροκατασκευή μαγνητικού υλικού είναι περιττή για την κατασκευή ενός αισθητήρα μαγνητικού πεδίου MEMS. Κατά συνέπεια, η τιμή του αισθητήρα μπορεί να μειωθεί δραστικά (Dejan et al., 2015). Η ενσωμάτωση του αισθητήρα MEMS με τη μικροηλεκτρονική μπορεί να μειώσει το συνολικό μέγεθος του συστήματος ανίχνευσης μαγνητικού πεδίου.

## **ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ**

---

### **Παρακολούθηση της υγείας των θωρακικών οργάνων**

Όταν αναπνέουμε, τα θωρακικά νεύρα και οι μύες δημιουργούν ένα αμυδρό μαγνητικό πεδίο. Τα μαγνητόμετρα που βασίζονται σε πιεζοηλεκτρικούς συντονιστές παρέχουν μεγάλη ανάλυση (στην περιοχή των nT), επιτρέποντας την ανίχνευση του αναπνευστικού συστήματος σε στερεά κατάσταση.

#### 4.10 ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ (GPS)

---

Ενώ το μαγνητόμετρο βοηθά με τα μαγνητικά χαρακτηριστικά θέσης, ο αισθητήρας GPS είναι κυρίως υπεύθυνος για τον προσδιορισμό της παγκόσμιας θέσης του τηλεφώνου. Το GPS επικοινωνεί με διαστημικούς δορυφόρους χωρίς να χρησιμοποιεί τα δεδομένα του τηλεφώνου. Ωστόσο, η συνδεσιμότητα GPS καταναλώνει την μπαταρία του τηλεφώνου μας, επειδή ο αισθητήρας GPS προσπαθεί συνεχώς να δημιουργήσει σύνδεση με τους δορυφόρους. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο η απενεργοποίηση του GPS είναι μια από τις κορυφαίες ιδέες εξοικονόμησης μπαταρίας για τα κινητά τηλέφωνα (Cummins et al., 2013).

#### 4.11 ΒΑΡΟΜΕΤΡΟ

---

Ορισμένα smartphones περιέχουν βαρόμετρο, έναν αισθητήρα που μετρά την πίεση του αέρα. Πρόκειται για βασικά συστατικά των εφαρμογών που σχετίζονται με τον καιρό και το υψόμετρο. Εκτός από τη μέτρηση της ατμοσφαιρικής πίεσης, ένα βαρόμετρο μετρά την απόσταση από το επίπεδο της θάλασσας και συνεργάζεται με ένα GPS για τον προσδιορισμό της πίεσης του αέρα στην τρέχουσα θέση (Muralidharan et al., 2014)

## 5. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΤΟΥ ΠΟΛΙΤΗ

Η επιστήμη του πολίτη (ΕτΠ - citizen science) περιλαμβάνει περισσότερα από μια απλή μεθοδολογία. Αντιπροσωπεύει μια δυναμική αλλαγή στις διαδικασίες επιστημονικής ανακάλυψης και εμπλοκής. Στόχος είναι να διευκολυνθεί η ενεργός συμμετοχή των ατόμων, ανεξάρτητα από το διαφορετικό υπόβαθρο ή το επάγγελμά τους, σε επιστημονικές ερευνητικές προσπάθειες, ενισχύοντας έτσι την ενδυνάμωση (Bonney et al., 2016). Αυτό το κεφάλαιο παρέχει μια εισαγωγή στις θεμελιώδεις έννοιες και αρχές που χαρακτηρίζουν την Επιστήμη των Πολιτών. Επιπρόσθετα, διερευνά την ιστορική προέλευση αυτής της προσέγγισης και υπογραμμίζει τη σημαντική επιρροή της τεχνολογίας, ειδικά των smartphones, στον καθορισμό της ανάπτυξης αυτής της νέας επιστημονικής μεθόδου εξερεύνησης.

Το αρχικό βήμα περιλαμβάνει τη δημιουργία ενός σαφούς ορισμού της ΕτΠ, τη διερεύνηση του εννοιολογικού πλαισίου που υποστηρίζει, τη φιλοσοφική της βάση και την ανάλυση του ιστορικού της υπόβαθρου (Burgess et al., 2017). Αυτή η μελέτη εξετάζει τις θεμελιώδεις αρχές που διέπουν τα προγράμματα της ΕτΠ και διερευνά τα διαφορετικά κίνητρα που παρακινούν αυτές τις πρωτοβουλίες. Οι δραστηριότητες που σχετίζονται με αυτόν τον τομέα καλύπτουν μια σειρά προσπαθειών, συμπεριλαμβανομένης της επιστημονικής έρευνας και εξερεύνησης, της ενεργού συμμετοχής με τις τοπικές κοινότητες, ακόμη και των προσπαθειών που στοχεύουν στην προώθηση περιβαλλοντικών πρωτοβουλιών.

Η τεχνολογία διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην καθιέρωση της ΕτΠ, με ιδιαίτερη έμφαση στην επιρροή των κινητών τηλεφώνων και των ενσωματωμένων αισθητήρων τους. Ο γρήγορος ρυθμός των τεχνικών βελτιώσεων έχει επιφέρει μια αλλαγή στον τρόπο με τον οποίο τα άτομα μπορούν να συμμετέχουν ενεργά στην επιστημονική μελέτη. Αυτή η μελέτη υπογραμμίζει τη χρήση εφαρμογών για κινητές συσκευές σε συνδυασμό με αισθητήρες, δίνοντας τη δυνατότητα σε άτομα από μη επιστημονικό υπόβαθρο να συμμετέχουν ενεργά στη συλλογή επιστημονικών πληροφοριών. Αυτό το φαινόμενο έχει ουσιαστικά διαλύσει τα συμβατικά όρια που κάποτε χώριζαν τους επιστήμονες από το γενικό πληθυσμό.

Τα έργα της ΕτΠ χρησιμεύουν ως απτές εκδηλώσεις θεωρητικών εννοιών κυρίως μέσω των πολλαπλών εφαρμογών του πραγματικού κόσμου, όπως η παρακολούθηση του περιβάλλοντος, η βιολογική έρευνα και οι αστρονομικές παρατηρήσεις, για να καταδείξει πώς

αυτά τα προγράμματα ενσωματώνουν την περιεκτική και συνεργατική φύση της Επιστήμης των Πολιτών (Rotman et al., 2012).

Σε όλο αυτό το κεφάλαιο, θα εμβαθύνουμε στα πολυάριθμα πλεονεκτήματα που παρέχει η Επιστήμη των Πολιτών στον τομέα της επιστήμης και της κοινωνίας συνολικά. Επιπλέον, θα εξετάσουμε τα πολύπλοκα εμπόδια που αντιμετωπίζει. Τα οφέλη περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα πλεονεκτημάτων, συμπεριλαμβανομένης της ανάπτυξης εκτεταμένων βάσεων δεδομένων και της προώθησης της αυξημένης δημόσιας γνώσης και της συμμετοχής σε επιστημονικές προσπάθειες. Ωστόσο, είναι επιτακτική ανάγκη να αναγνωρίσουμε και να αντιμετωπίσουμε τις προκλήσεις που προκύπτουν, συμπεριλαμβανομένων των κρίσιμων πτυχών της διατήρησης της ακεραιότητας των δεδομένων και της προώθησης της αυθεντικής συμμετοχής της κοινότητας σε όλη την ερευνητική προσπάθεια.

## 5.1 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΟΥ ΠΟΛΙΤΗ

---

### 5.1.1 ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

---

Η θεμελιώδης βάση της ΕπΠ είναι ένα ισχυρό εννοιολογικό πλαίσιο που οριοθετεί τον πυρήνα της και υποστηρίζει τον τρόπο με τον οποίο η συλλογική συμμετοχή μη επαγγελματιών επιστημόνων συμβάλλει στην επιστημονική έρευνα. Η Επιστήμη του Πολίτη λειτουργεί ως αρωγός που ενισχύει τη σύνδεση μεταξύ της σφαίρας των επαγγελματιών επιστημόνων και της ευρύτερης κοινότητας. Η κεντρική ιδέα είχε να κάνει με την αρχή ότι η παραγωγή πληροφοριών και η επίδιωξη επιστημονικής έρευνας δεν περιορίζονται αποκλειστικά σε ειδικούς, αλλά μπορούν να είναι προσβάσιμες σε οποιονδήποτε κινείται από τη ζέση για έρευνα (Dickinson et al., 2010). Αυτό το φαινόμενο αμφισβητεί τους συμβατικούς περιορισμούς γύρω από την ταυτότητα των επιστημόνων και διευρύνει τη συμμετοχή του ευρύτερου κοινού από παθητικούς θεατές σε εμπλεκόμενους συμμετέχοντες.

Οι θεμελιώδεις ιδέες που στηρίζουν το εννοιολογικό πλαίσιο της προσέγγισης αυτής είναι υψίστης σημασίας (Pateman et al., 2021). Πρώτα και κύρια, ανθίζει μέσα από μια κουλτούρα διαφάνειας, δίνοντας σημαντική έμφαση στη διαθεσιμότητα και την προσβασιμότητα των επιστημονικών δεδομένων και των ερευνητικών αποτελεσμάτων. Η παροχή διαφάνειας στον επιστημονικό λόγο διευκολύνει την ένταξη του ευρύτερου κοινού, προάγοντας έτσι το αίσθημα

συμμετοχής και συνεργασίας. Επιπλέον, η ενεργή συμμετοχή αποτελεί ένα ακόμα βασικό στοιχείο του πλαισίου αυτού. Η Επιστήμη του Πολίτη υπερβαίνει τους περιορισμούς που επιβάλλονται από επαγγελματικούς τίτλους ή ακαδημαϊκούς τίτλους (Pateman et al., 2021). Η ερευνητική διαδικασία με την αναγνώριση της συμπερίληψης ατόμων από διάφορες προελεύσεις, ηλικιακές ομάδες και εμπειρίες ζωής, καθώς αναγνωρίζει την αξία πολλαπλών απόψεων.

Μέσω της Επιστήμης των Πολιτών, οι πολίτες συνειδητοποιούν ότι ακόμη και οι αυθεντίες μπορούν να αμφισβητηθούν αν τα πειράματα δείξουν διαφορετικά αποτελέσματα. Αυτή η διαδικασία ενισχύει τη δημοκρατικότητα της επιστημονικής μεθόδου, καθώς επιτρέπει τη συμμετοχή και την κριτική από ένα ευρύ φάσμα ατόμων ανεξάρτητα από την επαγγελματική ή ακαδημαϊκή τους κατάρτιση. Η συμμετοχή των πολιτών στη συλλογή και ανάλυση δεδομένων όχι μόνο εμπλουτίζει τη γνώση, αλλά και προάγει τη διαφάνεια και την ακεραιότητα στην επιστημονική έρευνα (Bonney et al., 2014).

Η δημοκρατικότητα της επιστημονικής μεθόδου έγκειται στη δυνατότητα της διαρκούς επανεξέτασης και αναθεώρησης των επιστημονικών γνώσεων, ανεξάρτητα από το ποιος έχει κάνει την αρχική έρευνα. Οι πολίτες που συμμετέχουν σε επιστημονικές έρευνες μπορούν να συνεισφέρουν με νέες παρατηρήσεις και δεδομένα, τα οποία μπορεί να επιβεβαιώσουν ή να αμφισβητήσουν υπάρχουσες θεωρίες και συμπεράσματα. Αυτό το χαρακτηριστικό της επιστήμης αποδεικνύει ότι η γνώση δεν είναι στατική, αλλά διαρκώς εξελίσσεται μέσω της συλλογικής προσπάθειας και της κριτικής σκέψης (Irwin, 1995).

Ακόμη, η ΕτΠ τονίζει τις δυνατότητες της συλλογικής νοημοσύνης. Αναγνωρίζει τη δυνατότητα συλλογικής συνεργασίας για την αντιμετώπιση επιστημονικών ερευνών μεγέθους που διαφορετικά θα ήταν ανέφικτο. Βασικό πλεονέκτημα είναι ότι οι συλλογικές προσπάθειες πολλών συντελεστών ενισχύουν την επιρροή της έρευνας και διευρύνουν την εμβέλειά της (Pateman et al., 2021). Τέλος, το πλαίσιο αναγνωρίζει τον επαναστατικό αντίκτυπο της τεχνολογίας, συμπεριλαμβανομένων των smartphones και των εφαρμογών για κινητά. Η έλευση αυτών των τεχνολογιών έχει μεταμορφώσει σημαντικά την προσβασιμότητα για τους ερασιτέχνες επιστήμονες καθώς και την ενεργό συμμετοχή τους στις διαδικασίες συλλογής και ανάλυσης δεδομένων.

### 5.1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

---

Οι ιστορικές απαρχές της συμμετοχής των πολιτών στην επιστημονική μελέτη εντοπίζονται σε αρκετούς αιώνες πριν. Σε όλη τη διάρκεια της ιστορίας, άτομα που δεν είχαν επίσημη επιστημονική κατάρτιση, κοινώς γνωστά ως «ερασιτέχνες» ή «φυσιοδίφες των πολιτών», συνέβαλαν σημαντικά στη συσσώρευση δεδομένων, παρατηρήσεων και ανακαλύψεων (Heigl et al., 2019). Οι συνεισφορές αυτών των ατόμων είχαν καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη πολλαπλών επιστημονικών τομέων. Αναλυτικότερα, η προέλευση της ΕτΠ μπορεί να αποδοθεί στον τομέα της ορνιθολογίας (Parsons et al., 2011). Κατά τον 19ο αιώνα, άτομα με έντονο ενδιαφέρον για την ορνιθολογία συμμετείχαν σε αποστολές παρατήρησης πουλιών και τεκμηριώναν επιμελώς τις παρατηρήσεις τους, συμβάλλοντας έτσι σημαντικά στη γνώση μας για τα είδη των πτηνών. Άτομα όπως ο John James Audubon και η Phoebe Snetsinger ήταν η επιτομή της θέρμης και της δέσμευσης που επέδειξαν οι ερασιτέχνες ορνιθολόγοι.

Η συμμετοχή πολιτών – ερασιτεχνών αστρονόμων - έχει συμβάλει σημαντικά στην πρόοδο στη μελέτη της αστρονομίας (Parsons et al., 2011). Η ενεργή συμμετοχή ατόμων που έχουν βαθύ ενθουσιασμό για την παρατήρηση ουράνιων φαινομένων έχει αποφέρει σημαντικά ευρήματα στους τομείς της αστρονομίας, συμπεριλαμβανομένης της αναγνώρισης κομητών, μεταβλητών αστεριών και της κατηγοριοποίησης των γαλαξιών. Επιπλέον το ιστορικό υπόβαθρο της Επιστήμης των Πολιτών περιλαμβάνει τον τομέα της βοτανικής, όπου οι μη επαγγελματίες βοτανολόγοι έχουν κάνει αξιοσημείωτη συμβολή στην καταγραφή φυτικών ειδών και περιβαλλόντων (Parsons et al., 2011). Η διατήρηση και η ανάπτυξη των βοτανοειδών, τα οποία είναι αποθήκες πεπλατυσμένων δειγμάτων φυτών, έχουν διευκολυνθεί από άτομα εκτός της επαγγελματικής σφαίρας για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Η εξερεύνηση της δημόσιας επιστήμης σε όλη την ιστορία αποκαλύπτει ένα ποικίλο και περίπλοκο τοπίο δημόσιας συμμετοχής στην επιστημονική έρευνα. Οι προαναφερθείσες αρχικές συνεισφορές έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στη θέσπιση των θεμελίων για το σημερινό κίνημα της Επιστήμης των Πολιτών. Αυτό το κίνημα γνώρισε σημαντική ανάπτυξη και αντίκτυπο λόγω των εξελίξεων στην τεχνολογία και της ανανεωμένης έμφασης στην προώθηση της συμμετοχής της κοινότητας.

## 5.2 ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ

---

### 5.2.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ

---

Η ουσία της ΕτΠ βασίζεται σε ένα σύνολο βασικών αρχών που καθορίζουν τον χαρακτήρα της και καθοδηγούν τις προσπάθειές της (de Sherbinin et al., 2021).

1. Ανοιχτότητα και προσβασιμότητα: Στην καρδιά της ΕτΠ βρίσκεται η δέσμευση για διαφάνεια και προσβασιμότητα. Δεδομένα, ευρήματα και ερευνητικές διαδικασίες διατίθενται στο κοινό, προσκαλώντας άτομα από κάθε υπόβαθρο να συμμετάσχουν. Αυτή η διαφάνεια όχι μόνο ενισχύει την εμπιστοσύνη, αλλά επίσης δίνει τη δυνατότητα στους συμμετέχοντες να συνεισφέρουν ουσιαστικά.
2. Συμμετοχή και συμπερίληψη: Η Επιστήμη του Πολίτη ευδοκμεί στη συμπερίληψη, καλωσορίζοντας άτομα ανεξάρτητα από τα επαγγελματικά τους προσόντα ή την πείρα τους. Αναγνωρίζει ότι η επιστημονική έρευνα δεν πρέπει να περιορίζεται σε λίγους εκλεκτούς αλλά θα πρέπει να περιλαμβάνει τις διαφορετικές εμπειρίες και προοπτικές όλων των συμμετεχόντων.
3. Συνεργασία: Η συνεργασία είναι χαρακτηριστικό γνώρισμα της ΕτΠ. Τονίζει τη δύναμη της συλλογικής νοημοσύνης, αναγνωρίζοντας ότι με τη συγκέντρωση των προσπαθειών πολλών, μπορούμε να αντιμετωπίσουμε επιστημονικά ερωτήματα σε ευρύτερη κλίμακα. Αυτή η συνεργασία μεγεθύνει τον αντίκτυπο της έρευνας και ενθαρρύνει τις διεπιστημονικές ανταλλαγές.
4. Επιστημονική Αυστηρότητα: Παρά τον περιεκτικό χαρακτήρα του, η Επιστήμη του Πολίτη υποστηρίζει την επιστημονική αυστηρότητα. Τα δεδομένα που συλλέγονται από μη επαγγελματίες επιστήμονες πρέπει να πληρούν τα επιστημονικά πρότυπα, διασφαλίζοντας ότι οι πληροφορίες που παράγονται είναι ακριβείς και αξιόπιστες. Ισχυρές μεθοδολογίες και πρωτόκολλα είναι απαραίτητα.
5. Δέσμευση της Κοινότητας: Τα έργα της ΕτΠ είναι βαθιά ριζωμένα στη συμμετοχή της κοινότητας. Στόχος τους είναι να συνδέσουν τα άτομα με το τοπικό τους περιβάλλον και με θέματα που τους ενδιαφέρουν. Αυτή η δέσμευση όχι μόνο ενδυναμώνει τους συμμετέχοντες, αλλά ενισχύει επίσης την αίσθηση της περιβαλλοντικής διαχείρισης και της αστικής ευθύνης.

6. Εκπαίδευση και προβολή: Η εκπαίδευση είναι βασική αρχή της ΕτΠ. Αναγνωρίζει τη δυνατότητα των συμμετεχόντων να μάθουν ενώ συμβάλλουν ενεργά στην έρευνα. Παρέχοντας ευκαιρίες εκπαίδευσης, τα έργα ΕτΠ ενισχύουν τον επιστημονικό γραμματισμό και εμπνέουν μια νέα γενιά επιστημόνων.
7. Δεοντολογικά ζητήματα: Τα έργα της ΕτΠ καθοδηγούνται από ηθικούς σκοπούς. Τηρούν δεοντολογικά πρότυπα στη συλλογή και κοινή χρήση δεδομένων, διασφαλίζοντας το απόρρητο και την ενημερωμένη συναίνεση των συμμετεχόντων, ιδιαίτερα όταν πρόκειται για ευαίσθητα δεδομένα ή ανθρώπινα υποκείμενα.

Αυτές οι βασικές αρχές αποτελούν την ηθική και λειτουργική πυξίδα της ΕτΠ. Αντικατοπτρίζουν τις βασικές αξίες του ανοιχτού χαρακτήρα, της συμμετοχής, της συνεργασίας και της αυστηρότητας που καθιστούν την ΕτΠ μια δυναμική και μεταμορφωτική προσέγγιση στην επιστημονική έρευνα (Wiggins & Wilbanks, 2019).

### 5.2.2 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ

---

Στον τομέα της ΕτΠ, η επιδίωξη στόχων χρησιμεύει ως η κύρια ώθηση για την καθοδήγηση των συλλογικών προσπαθειών των συμμετεχόντων. Πρωταρχικός στόχος της ΕτΠ είναι να κάνει πολύτιμες συνεισφορές στη σφαίρα της επιστημονικής ανακάλυψης (Brossard et al., 2005). Οι ερασιτέχνες επιστήμονες συμμετέχουν ενεργά στη συλλογή και ανάλυση δεδομένων, δίνοντάς τους τη δυνατότητα να συνεισφέρουν σημαντικά σε διάφορους ακαδημαϊκούς κλάδους.

Ο πρωταρχικός στόχος των προγραμμάτων Επιστήμης του Πολίτη είναι να ενθαρρύνουν τη συμμετοχή της κοινότητας σε επιστημονικές ερευνητικές προσπάθειες. Μέσω της συμπερίληψης ατόμων σε τοπικές ή παγκόσμιες πρωτοβουλίες που επικεντρώνονται στην περιβαλλοντική παρακολούθηση ή έρευνα, τα προγράμματα αυτά ενθαρρύνουν το αίσθημα δέσμευσης της κοινότητας και δίνουν τη δυνατότητα στους πολίτες να συμμετέχουν ενεργά στην αντιμετώπιση ζητημάτων που έχουν επίδραση στο άμεσο περιβάλλον τους (Kosmala et al., 2016). Η υιοθέτηση μιας στρατηγικής με γνώμονα την κοινότητα καλλιεργεί ένα συλλογικό αίσθημα ευθύνης και διαχείρισης.



Η υπεράσπιση του περιβάλλοντος είναι μια εξέχουσα πτυχή πολλών πρωτοβουλιών της ΕτΠ, με σημαντική έμφαση στα περιβαλλοντικά προβλήματα. Οι στόχοι περιλαμβάνουν την αύξηση της συνείδησης του κοινού σχετικά με τις περιβαλλοντικές ανησυχίες, την παρακολούθηση των αλλαγών στα οικοσυστήματα και την προώθηση της υιοθέτησης βιώσιμων μεθοδολογιών. Έτσι, μέσω της ενεργού δέσμευσης στη συλλογή δεδομένων που σχετίζονται με τα αντίστοιχα τοπικά οικοσυστήματα τους, οι συμμετέχοντες αναλαμβάνουν το ρόλο των υποστηρικτών για την πραγματοποίηση καλών αλλαγών στον τομέα της διατήρησης του περιβάλλοντος.

Επιπλέον, ο επιστημονικός αλφαριθμητισμός αποτελεί θεμελιώδη στόχο της ΕτΠ, τονίζοντας την ανάγκη της εκπαίδευσης. Τα προγράμματα της ΕτΠ συμβάλλουν στην ενίσχυση του επιστημονικού γραμματισμού με την ενεργή εμπλοκή ατόμων στην επιστημονική διαδικασία. Οι συμμετέχοντες αποκτούν μια βαθύτερη κατανόηση των επιστημονικών εννοιών, διαδικασιών και της σημασίας της εμπειρικής έρευνας. Η εκπαιδευτική διάσταση έχει ιδιαίτερη σημασία όταν τα έργα συνεπάγονται τη συμμετοχή σχολείων ή εκπαιδευτικών ιδρυμάτων.

Ακόμη, οι πρωτοβουλίες της ΕτΠ διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην ενίσχυση των διαδικασιών επικύρωσης δεδομένων και ποιοτικού ελέγχου. Μέσω της διαδικασίας ενοποίησης δεδομένων από πολλούς επιστήμονες, αυτά τα προγράμματα διαθέτουν τη δυνατότητα να εντοπίζουν ανωμαλίες ή ανακρίβειες, διασφαλίζοντας έτσι την αξιοπιστία των πληροφοριών που συγκεντρώνονται. Η υιοθέτηση μιας συνεργατικής μεθόδου ενισχύει το συνολικό διαμέτρημα των δεδομένων που χρησιμοποιούνται στην επιστημονική μελέτη.

Η προώθηση της δημόσιας αλληλεπίδρασης εκτείνεται πέρα από τον τομέα της έρευνας, καθώς οι ερευνητικές πρωτοβουλίες των πολιτών προσπαθούν να προωθήσουν την ευρύτερη συμμετοχή του κοινού. Τα άτομα ενθαρρύνονται να συμμετέχουν ενεργά σε κοινωνικά και περιβαλλοντικά θέματα, καλλιεργώντας έτσι την αίσθηση της αστικής ευθύνης και συμμετοχής. Συχνά, αυτή η ενεργός δέσμευση εκδηλώνεται περαιτέρω μέσω συλλογικών προσπαθειών και εκστρατειών που στοχεύουν στην ευαισθητοποίηση του κοινού (Kosmala et al., 2016).

Η πρακτική της ΕτΠ συχνά συνεπάγεται τη συμμετοχή ατόμων από πολλά υπόβαθρα και τομείς γνώσης, ενισχύοντας τη διεπιστημονική ανταλλαγή. Η προώθηση της διεπιστημονικής αλληλεπίδρασης είναι ένας αξιόπαινος στόχος, καθώς διευκολύνει τη δημιουργία σχέσεων

συνεργασίας μεταξύ ατόμων που διαθέτουν ποικίλη τεχνογνωσία και κατανόηση. Η πρακτική αυτή, προωθεί μια ολοκληρωμένη μεθοδολογία για την αντιμετώπιση προβλημάτων και προσφέρει νέες ιδέες για περίπλοκα ζητήματα.

### 5.3 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΤΩΝ SMARTPHONES ΣΤΗΝ ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΤΟΥ ΠΟΛΙΤΗ

---

#### 5.3.1 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ

---

Οι τεχνολογικές καινοτομίες διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο στη διαμόρφωση της συμμετοχής των πολιτών στην επιστημονική μελέτη στο διαρκώς εξελισσόμενο πεδίο της ΕτΠ. Η εμφάνιση της ψηφιακής τεχνολογίας, δηλαδή η εκτεταμένη προσβασιμότητα των smartphones, έχει μεταμορφώσει θεμελιωδώς τη σφαίρα της επιστημονικής δέσμευσης (Heigl et al., 2019). Η εμφάνιση φορητών gadgets, που ενσωματώνουν προηγμένους αισθητήρες και υπολογιστικές ικανότητες, έχει αλλάξει σημαντικά το βαθμό στον οποίο άτομα χωρίς επαγγελματική επιστημονική κατάρτιση μπορούν να συμμετέχουν ενεργά σε ερευνητικές προσπάθειες.

Η έλευση των smartphones έχει διευκολύνει τον εκδημοκρατισμό της συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων. Πιο αναλυτικά, ενσωμάτωση πολλών αισθητήρων, όπως GPS, επιταχυνσιόμετρα, κάμερες και περιβαλλοντικοί αισθητήρες, επιτρέπει στους χρήστες να συμμετέχουν ενεργά στην επιστημονική έρευνα συλλέγοντας εύκολα σημαντικά δεδομένα (Brossard et al., 2005). Για παράδειγμα, άτομα που προσδιορίζονται ως μελετητές της ΕτΠ και διαθέτουν smartphones έχουν την ικανότητα να παρατηρούν και να αξιολογούν την ποιότητα του αέρα, να καταγράφουν την ποικιλία των ειδών σε ένα οικοσύστημα, να παρακολουθούν και να αναλύουν μετεωρολογικά πρότυπα και ακόμη και να δημιουργούν οπτικές αναπαραστάσεις ουράνιων σωμάτων.

Η απανταχού παρουσία των κινητών τηλεφώνων είναι ένας βασικός παράγοντας που συμβάλλει στην επαναστατική φύση της Επιστήμης των Πολιτών. Αυτές οι συσκευές δεν περιορίζονται σε μια συγκεκριμένη ομάδα ειδικών, αλλά χρησιμοποιούνται από έναν τεράστιο αριθμό ατόμων σε όλο τον κόσμο. Η εκτεταμένη προσβασιμότητα των εργαλείων συλλογής δεδομένων επιτρέπει σε άτομα από πολλά υπόβαθρα να συμμετάσχουν στην πρακτική,

προάγοντας έτσι τη συμπερίληψη και τον εκδημοκρατισμό στον τομέα της Επιστήμης των Πολιτών.

Οι εφαρμογές για κινητά, που μερικές φορές αναφέρονται ως «apps», χρησιμεύουν ως κρίσιμο εργαλείο για τη διευκόλυνση της σύνδεσης μεταξύ επιστημόνων πολιτών και διαφόρων έργων και ερευνητικών δραστηριοτήτων (Wiggins & Crowston, 2015). Αυτές οι εφαρμογές λειτουργούν ως πύλες σε ένα πεδίο επιστημονικής συμμετοχής, παρέχοντας εύκολα πλοηγήσιμες διεπαφές (interfaces) για τη συλλογή και την αναφορά δεδομένων. Επιπλέον, προσφέρουν πολύτιμη κατεύθυνση, διευκολύνοντας έτσι την ικανότητα των συμμετεχόντων να συνεισφέρουν ουσιαστικά σε ερευνητικές προσπάθειες.

Επιπροσθέτως, το πεδίο εφαρμογής της ΕτΠ έχει επεκταθεί μέσω της χρήσης πλατφορμών υπολογιστικού νέφους (cloud computing) και κοινής χρήσης δεδομένων, χάρη στις τεχνολογικές βελτιώσεις. Οι εν λόγω ψηφιακές υποδομές χρησιμεύουν για τη διευκόλυνση των διαδικασιών αποθήκευσης δεδομένων, ανταλλαγής και συλλογικής ανάλυσης. Κατά συνέπεια, η ενσωμάτωση εκτεταμένων συνόλων δεδομένων που συγκεντρώθηκαν από άτομα που συμμετέχουν σε πρωτοβουλίες επιστήμης των πολιτών μπορεί να αφομοιωθεί σε ευρύτερες ερευνητικές προσπάθειες, δημιουργώντας έτσι σημαντικά και ουσιαστικά ευρήματα.

Η γεωχωρική τεχνολογία αντιπροσωπεύει ένα τρομερό πλεονέκτημα μέσα στην εργαλειοθήκη της ΕτΠ. Η χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) επιτρέπει στα άτομα να χαρτογραφούν αποτελεσματικά και να αναπαριστούν οπτικά δεδομένα με χωρικό τρόπο, διευκολύνοντας έτσι τους ερευνητές να αποκτήσουν μια πιο ολοκληρωμένη κατανόηση της παγκόσμιας διασποράς των περιστατικών (Haklay, 2015). Αυτό έχει διαπιστωθεί ότι είναι ιδιαίτερα επωφελές σε έργα που σχετίζονται με την περιβαλλοντική παρακολούθηση, τη χρήση της γης και την αντιμετώπιση καταστροφών.

Η στιγμιαία μετάδοση δεδομένων που διευκολύνεται από την τεχνολογία σε πραγματικό χρόνο είχε ως αποτέλεσμα τη μετατροπή της ΕτΠ σε μια δυναμική διαδικασία. Η στιγμιαία κοινή χρήση και προσβασιμότητα των δεδομένων που δημιουργούνται από τους συμμετέχοντες επιτρέπει σε ερευνητές και συμμελετητές της ΕτΠ να έχουν πρόσβαση και να χρησιμοποιούν τις πληροφορίες. Η χρήση ενός βρόχου ανάδρασης σε πραγματικό χρόνο βελτιώνει σημαντικά τόσο την ποιότητα όσο και την επικαιρότητα της ερευνητικής διαδικασίας.

### 5.3.2 ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΤΩΝ SMARTPHONES ΚΑΙ ΤΟΥ CLOUD COMPUTING

---

Η ενσωμάτωση των smartphones παίζει καθοριστικό ρόλο στη διευκόλυνση της τεχνολογικής προόδου της Επιστήμης των Πολιτών (Kobori et al., 2016). Τα smartphones παρέχουν ένα ευρύ φάσμα λειτουργιών πέρα από τον κύριο σκοπό τους ως συσκευές επικοινωνίας, καθιστώντας τα ευέλικτα ερευνητικά εργαλεία. Η ενσωμάτωση διαφορετικών αισθητήρων σε αυτές τις φορητές συσκευές δίνει τη δυνατότητα σε άτομα από το ευρύ κοινό να συμμετέχουν στη συλλογή δεδομένων με απaráμιλλη ευκολία. Τα smartphones προσφέρουν μια βολική και φιλική προς τον χρήστη μέθοδο συλλογής πολύτιμων δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων πολλών εφαρμογών όπως η μέτρηση της ποιότητας του αέρα, η εγγραφή ήχου περιβάλλοντος, η παρακολούθηση κίνησης και η λήψη εικόνων (Trumbull et al., 2000).

Η εν λόγω ένταξη δεν περιορίζεται σε μια συγκεκριμένη ειδικότητα, αλλά αντιπροσωπεύει το κυρίαρχο πρότυπο (Trumbull et al., 2000). Ένα σημαντικό ποσοστό των σύγχρονων smartphones είναι εξοπλισμένο με μια συλλογή αισθητήρων, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα πρόσβασης στη συλλογή επιστημονικών δεδομένων από όσους τα φέρουν (de Sherbinin et al., 2021). Ο εκδημοκρατισμός της συλλογής δεδομένων έχει ευρύ αντίκτυπο. Όχι μόνο δίνει τη δυνατότητα στα άτομα να συμμετέχουν ενεργά στην επιστημονική έρευνα, αλλά αλλάζει επίσης τη δυναμική μεταξύ των επιστημόνων και του ευρύτερου κοινού (Dickinson et al., 2010).

Η χρήση των εφαρμογών της ΕτΠ έχει γίνει ολοένα και πιο διαδεδομένη ως μέσο πρόσβασης σε ένα ευρύ φάσμα ερευνητικών προσπαθειών. Αυτά τα προγράμματα έχουν σχεδιαστεί με μια φιλική προς το χρήστη διεπαφή (interface) που προσφέρει σαφείς οδηγίες, διευκολύνει τη συλλογή δεδομένων και επιτρέπει την υποβολή παρατηρήσεων. Κατά συνέπεια, άτομα που δεν έχουν προηγούμενη επιστημονική εμπειρία θα μπορούσαν να συμμετέχουν αποτελεσματικά συνεισφέροντας σε ερευνητικές προσπάθειες.

Η ενσωμάτωση των smartphones στις πρωτοβουλίες της ΕτΠ διευκολύνει τη διεύρυνση της συμμετοχής σε διάφορες δημογραφικές ομάδες (Trumbull et al., 2000). Άτομα διαφορετικών ηλικιακών ομάδων, που κατοικούν τόσο σε αστικές όσο και σε αγροτικές περιοχές, με διαφορετικά επίπεδα τεχνολογικής επάρκειας, μπορούν να συμμετέχουν ενεργά στην επιστημονική διαδικασία. Η προαναφερθείσα συμπερίληψη είναι σύμφωνη με ένα θεμελιώδες

δόγμα της ΕτΠ, το οποίο στοχεύει να εγγυηθεί ότι η επιστημονική έρευνα είναι προσβάσιμη σε άτομα από κάθε υπόβαθρο.

Επιπλέον, η συνεργατικότητα στο πλαίσιο της ΕτΠ ενισχύεται σημαντικά από το cloud computing, καθώς παρέχει στους ερευνητές και τους εθελοντές απρόσκοπτη πρόσβαση σε κοινόχρηστα δεδομένα, εργαλεία και υπολογιστικούς πόρους. Μέσω των πλατφορμών cloud, όπως το Amazon Web Services (AWS) ή το Google Cloud Platform, οι συμμετέχοντες μπορούν εύκολα να αποθηκεύουν και να ανακτούν μεγάλα σύνολα δεδομένων, να εκτελούν πολύπλοκες αναλύσεις και να συνεργάζονται σε πραγματικό χρόνο από οπουδήποτε στον κόσμο. Αυτή η προσβασιμότητα καταργεί γεωγραφικούς φραγμούς και επιτρέπει σε διαφορετικές ομάδες να εργάζονται αποδοτικά σε έργα όπως ο παρακολούθηση της βιοποικιλότητας ή η έρευνα για το κλίμα. Σύμφωνα με μελέτη του Haklay (2015), το cloud computing διευκολύνει την κλιμακούμενη αποθήκευση και επεξεργασία δεδομένων, τα οποία είναι ζωτικής σημασίας για τη διαχείριση των τεράστιων ποσοτήτων δεδομένων που παράγονται σε πρωτοβουλίες πολιτικής επιστήμης.

Παράλληλα, το cloud computing δημοκρατοποιεί την πρόσβαση σε επιστημονικούς πόρους, προάγει τις διεπιστημονικές συνεργασίες και επιταχύνει την πρόοδο της έρευνας στις πρωτοβουλίες πολιτικής επιστήμης. Η προώθηση της διαφάνειας και η πρόσκληση για δημόσια επιθεώρηση, που διευκολύνονται από τον χαρακτήρα ανοιχτής πρόσβασης αυτών των πλατφορμών, χρησιμεύουν στην ενίσχυση των θεμελιωδών εννοιών της διαφάνειας και της συμπεριληπτικότητας που αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της έννοιας της ΕτΠ.

Παρά τις σημαντικές τεχνολογικές δυνατότητες των κινητών τηλεφώνων, είναι σημαντικό να δοθεί προτεραιότητα σε ηθικά ζητήματα. Η ενσωμάτωση smartphones στην ΕτΠ απαιτεί την τήρηση θεμελιωδών αρχών όπως η ενημερωμένη συγκατάθεση, η προστασία δεδομένων και η προσεκτική διαχείριση ευαίσθητων πληροφοριών. Είναι επιτακτική ανάγκη για τους συμμετέχοντες να διαθέτουν μια αίσθηση σιγουριάς σχετικά με την ηθική και υπεύθυνη χρήση των δεδομένων τους.

## 5.4 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΡΓΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΟΥ ΠΟΛΙΤΗ

---

### 5.4.1 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ

---

Σε αυτή την ενότητα, διερευνούμε τη δυναμική σφαίρα των πρωτοβουλιών της Επιστήμης των Πολιτών που επικεντρώνονται ειδικά στην περιβαλλοντική παρακολούθηση. Αυτά τα προγράμματα αποτελούν παράδειγμα της αποτελεσματικής και ρεαλιστικής χρήσης της συνεργατικής μεθοδολογίας της ΕτΠ, δίνοντας τη δυνατότητα σε οποιονδήποτε να συμμετέχει ενεργά στη διατήρηση και τη διερεύνηση του φυσικού περιβάλλοντος (Schade et al., 2021).

Η συμμετοχή των επιστημόνων πολιτών έχει αποδειχθεί μεγάλης αξίας στην παρακολούθηση των περιβαλλοντικών αλλαγών και στην υποστήριξη της υιοθέτησης βιώσιμων συμπεριφορών. Αξιοσημείωτο παράδειγμα αποτελεί η παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα. Εθελοντές εξοπλισμένοι με κινητά τηλέφωνα και εξειδικευμένους αισθητήρες συλλέγουν δεδομένα για ατμοσφαιρικούς ρύπους, συμπεριλαμβανομένων των σωματιδίων και του διοξειδίου του αζώτου, σε διάφορες αστικές περιοχές. Οι παρατηρήσεις που έγιναν από άτομα παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες για την τρέχουσα κατάσταση της ποιότητας του αέρα, οι οποίες έχουν σημαντικές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία και στην ανάπτυξη περιβαλλοντικών πολιτικών.

Η παρακολούθηση της βιοποικιλότητας είναι ένα ακμάζον πεδίο στη σφαίρα της Επιστήμης των Πολιτών. Παθιασμένοι φυσιδίφες και περιβαλλοντολόγοι συμμετέχουν ενεργά σε πρωτοβουλίες που επικεντρώνονται στην τεκμηρίωση των αυτόχθονων φυτικών και ζωικών ειδών στα τοπικά τους οικοσυστήματα. Τα άτομα τεκμηριώνουν και καταγράφουν εμπειρικά δεδομένα που σχετίζονται με διάφορα είδη φυτών και ζώων, συμβάλλοντας έτσι πολύτιμη στην ανάπτυξη και τη συντήρηση εκτεταμένων αποθετηρίων βιοποικιλότητας (Wiggins & Crowston, 2015). Αυτές οι προσπάθειες αποδίδουν σημαντικές παρατηρήσεις σχετικά με την ευημερία των οικοσυστημάτων, τις γεωγραφικές περιοχές των ειδών και τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής.

Οι πρωτοβουλίες παρακολούθησης της ποιότητας των υδάτων παρέχουν ευκαιρίες στους μελετητές της ΕτΠ να διαδραματίσουν ενεργό ρόλο στην προστασία και τη διατήρηση των πόρων του γλυκού νερού. Οι εθελοντές πραγματοποιούν αξιολογήσεις της διαφάνειας του νερού,

της χημικής σύνθεσης και της ύπαρξης ρύπων μέσα σε ποτάμια, λίμνες και ρέματα. Η πράξη της παρατήρησης είναι υψίστης σημασίας για τον εντοπισμό των πηγών ρύπανσης, την παρακολούθηση των τάσεων στην ποιότητα των υδάτων και τη διαφύλαξη των υδάτινων οικοσυστημάτων.

Οι πρωτοβουλίες παρακολούθησης του καιρού και του κλίματος χρησιμοποιούν τη συμμετοχή επιστημόνων πολιτών για τη συλλογή μετεωρολογικών δεδομένων, μια πηγή μεγάλης σημασίας σε περιοχές όπου η παρουσία επίσημων μετεωρολογικών σταθμών είναι περιορισμένη. Οι συμμετέχοντες συμμετέχουν στη συλλογή μετεωρολογικών δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων της θερμοκρασίας, της υγρασίας, της ταχύτητας του ανέμου και άλλων σχετικών παραγόντων. Αυτά τα δεδομένα χρησιμοποιούνται στη συνέχεια για τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου δικτύου παρατηρήσεων καιρού, το οποίο με τη σειρά του διευκολύνει την προώθηση των γνώσεών μας σχετικά με τα τοπικά καιρικά μοτίβα και τις μακροπρόθεσμες τάσεις που σχετίζονται με το κλίμα (Kosmala et al., 2016).

Ένα κρίσιμο στοιχείο της περιβαλλοντικής παρακολούθησης που συχνά παραβλέπεται, είναι το θέμα της ηχορύπανσης. Οι πρωτοβουλίες ΕτΠ που επικεντρώνονται στην παρακολούθηση του θορύβου δίνουν στα άτομα την ευκαιρία να τεκμηριώσουν και να μετρήσουν τα επίπεδα ήχου στις αντίστοιχες κοινότητές τους (Burgess et al., 2017). Αυτές οι προσπάθειες έχουν ρεαλιστικές επιπτώσεις στον τομέα του πολεοδομικού σχεδιασμού, καθώς βοηθούν στον εντοπισμό τοποθεσιών που χαρακτηρίζονται από υψηλά επίπεδα θορύβου και συμβάλλουν στη διαμόρφωση μέτρων με στόχο τον μετριασμό της ηχορύπανσης.

Η αποτελεσματικότητα αυτών των πρωτοβουλιών περιβαλλοντικής παρακολούθησης έγκειται στην ικανότητά τους να συσσωρεύουν εκτεταμένα σύνολα δεδομένων (Haklay, 2015). Οι συλλογικές προσπάθειες ατόμων που ασχολούνται με την επιστήμη των πολιτών αποδίδουν ένα σημαντικό σύνολο δεδομένων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά από ακαδημαϊκούς και υπεύθυνους χάραξης πολιτικής για τη λήψη καλών ενημερωμένων αποφάσεων. Τα χαρακτηριστικά των πρωτοβουλιών σε πραγματικό χρόνο και με γνώμονα την κοινότητα εγγυώνται ότι τα περιβαλλοντικά ζητήματα υπερβαίνουν απλές ακαδημαϊκές εκτιμήσεις και γίνονται απτές προκλήσεις που αντιμετωπίζουν ενεργά τα άτομα.

#### 5.4.2 ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΈΡΕΥΝΑ

---

Η τεκμηρίωση της ποικιλίας των ειδών είναι μια ιδιαίτερα σαγηνευτική πτυχή της βιολογικής έρευνας στη σφαίρα της Επιστήμης των Πολιτών. Τα έργα που εμπίπτουν σε αυτήν την κατηγορία περιλαμβάνουν άτομα που συμμετέχουν ενεργά στη συγκέντρωση και υποβολή παρατηρήσεων σχετικά με διάφορους οργανισμούς όπως φυτά, έντομα, πουλιά και άλλους. Αυτές οι παρατηρήσεις συμβάλλουν στην ανάπτυξη εκτεταμένων βάσεων δεδομένων που παρέχουν πληροφορίες για το φάσμα των ειδών, τις τάσεις στη δυναμική του πληθυσμού και τις επιπτώσεις των περιβαλλοντικών αλλαγών.

Η επιδίωξη της παρατήρησης πουλιών, ένα δημοφιλές χόμπι μεταξύ των ενθουσιωδών, έχει ενισχυθεί με την εμφάνιση της ΕτΠ. Οι εθελοντές συμμετέχουν σε προσπάθειες που περιλαμβάνουν την επιτήρηση των πληθυσμών των πτηνών και τα πρότυπα συμπεριφοράς τους. Οι παρατηρήσεις που έγιναν από τους ερευνητές προσφέρουν πολύτιμες και ουσιαστικές γνώσεις στον τομέα της οικολογίας των πτηνών, συμπεριλαμβανομένης της μελέτης των προτύπων μετανάστευσης και των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στους βιότοπους των πτηνών. Τα ευρήματα αυτής της μελέτης έχουν πρακτική σημασία για τον τομέα της διατήρησης των πτηνών και την ανάπτυξη περιβαλλοντικών πολιτικών.

Παρέχεται στους μελετητές της ΕτΠ η ευκαιρία να ασχοληθούν με τη μελέτη μικρών οργανισμών μέσω πρωτοβουλιών παρακολούθησης εντόμων και επικονιαστών. Οι ερευνητές παρακολουθούν τα επίπεδα πληθυσμού των επικονιαστών όπως οι μέλισσες και οι πεταλούδες, οι οποίοι διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη διατήρηση της ευημερίας των οικοσυστημάτων και της γεωργίας. Η παρακολούθηση των πληθυσμών των εντόμων παρέχει πολύτιμες γνώσεις για τις περιβαλλοντικές αλλαγές και τους πιθανούς κινδύνους για τη βιοποικιλότητα.

Τα έργα θαλάσσιας και υδάτινης βιολογίας παρέχουν ευκαιρίες σε άτομα να διερευνήσουν τα πολλά οικοσυστήματα που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια του ωκεανού. Οι μελετητές της ΕτΠ έχουν τη δυνατότητα να συμμετάσχουν σε πολλές προσπάθειες, συμπεριλαμβανομένης της παρατήρησης των κοραλλιογενών υφάλων, της παρακολούθησης των πληθυσμών θαλάσσιων χελωνών και της τεκμηρίωσης των ειδών της παλίρροιας (Bonney et al., 2016). Αυτές οι πρωτοβουλίες διαδραματίζουν βασικό ρόλο στην κατανόηση της κατάστασης



των θαλάσσιων οικοσυστημάτων και των επιπτώσεων της ρύπανσης, της κλιματικής αλλαγής και της υπεραλίευσης.

Είναι σημαντικό ότι η σφαίρα της βιολογικής μελέτης στο πεδίο της ΕτΠ περιλαμβάνει την εξερεύνηση και την κατανόηση της συμπεριφοράς των ζώων (Gura, 2013). Τα άτομα έχουν την ευκαιρία να συμμετέχουν σε πρωτοβουλίες παρακολούθησης της άγριας ζωής ως εθελοντές, οι οποίες μπορεί να περιλαμβάνουν τη χρήση παγίδων κάμερας, τεχνικών ακουστικής παρακολούθησης ή μεθόδων παρατήρησης συμπεριφοράς. Αυτά τα προγράμματα προσφέρουν πολύτιμες γνώσεις για τη συμπεριφορά των ζώων, τα πρότυπα μετανάστευσης και τις αλληλεπιδράσεις που έχουν στο οικολογικό τους περιβάλλον.

Ένα αξιοσημείωτο χαρακτηριστικό της βιολογικής έρευνας στην Επιστήμη των Πολιτών είναι η ικανότητά της να εμπλέκει άτομα από διαφορετικά υπόβαθρα. Είτε κάποιος είναι έμπειρος βιολόγος είτε παθιασμένος λάτρης του περιβάλλοντος, αυτά τα προγράμματα παρέχουν δυνατότητες για ενεργό συμμετοχή (Wiggins & Wilbanks, 2019). Ο αντίκτυπος αυτών των δραστηριοτήτων ενισχύεται από τη συνεργατική τους φύση, καθώς τα δεδομένα που συλλέγονται από επιστήμονες πολίτες συμβάλλουν στην πληρέστερη κατανόηση του φυσικού κόσμου.

#### 5.4.3 ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

---

Οι αστρονομικές παρατηρήσεις στο πλαίσιο των πρωτοβουλιών της ΕτΠ εκτείνονται πέρα από την αρμοδιότητα των αποκλειστικά επαγγελματιών αστρονόμων. Άτομα με βαθύ πάθος να βλέπουν ουράνια σώματα, συμπεριλαμβανομένων ενθουσιωδών ερασιτεχνών αστρονόμων και λάτρων του διαστήματος από διαφορετικές ηλικιακές ομάδες και υπόβαθρα, συμμετέχουν ενεργά στην επιδίωξη ουράνιων σπουδών (de Sherbinin et al., 2021). Το πεδίο των παρατηρήσεων τους περιλαμβάνει την παρακολούθηση των διακυμάνσεων της φωτεινότητας που εμφανίζονται από μεταβλητά αστέρια, καθώς και την αναγνώριση και τεκμηρίωση των κομητών και τη συστηματική ταξινόμηση των γαλαξιών.

Η επιστήμη των παρατηρήσεων μεταβλητών αστεριών έχει εμπλουτιστεί σημαντικά από τις αξιοσημείωτες συνεισφορές πολιτών αστρονόμων. Αυτά τα ουράνια αντικείμενα παρουσιάζουν περιοδικές διακυμάνσεις στη φωτεινότητα και άτομα που δεν είναι επαγγελματίες

επιστήμονες παρατηρούν και καταγράφουν ενεργά αυτές τις ταλαντώσεις (Wiggins & Crowston, 2015). Οι παρατηρήσεις που γίνονται από άτομα συμβάλλουν στην κατανόηση των αστρικών κύκλων ζωής και προσφέρουν πολύτιμες γνώσεις για τα ουράνια φαινόμενα.

Η εύρεση κομητών είναι μια συναρπαστική πτυχή των αστρονομικών ερευνών (Trumbull et al., 2000). Κομήτες στον νυχτερινό ουρανό έχουν εντοπιστεί από άτομα που αναγνωρίζονται ως αστρονόμοι πολίτες, χρησιμοποιώντας τηλεσκόπια και ψηφιακές κάμερες. Αυτά τα ευρήματα ενισχύουν την κατανόησή μας για το ηλιακό σύστημα και παρουσιάζουν προοπτικές για πρόσθετη έρευνα.

Οι πρωτοβουλίες γαλαξιακής καταλογογράφησης περιλαμβάνουν την ενεργό συμμετοχή επιστημόνων πολιτών στη μεθοδική παρακολούθηση των γαλαξιών (Trumbull et al., 2000). Μέσω της εξέτασης ουράνιων φωτογραφιών, τα άτομα εμπλέκονται στη διαδικασία κατηγοριοποίησης των γαλαξιών διακρίνοντας τα ξεχωριστά σχήματα και άλλα σχετικά χαρακτηριστικά τους (Bonney et al., 2014). Αυτές οι συνεισφορές διευκολύνουν τις προσπάθειες των αστρονόμων για την ταξινόμηση και τη διερεύνηση των εκτεταμένων πληθυσμών γαλαξιών στο σύμπαν.

Η χρήση της ΕτΠ στη διεξαγωγή αστρονομικών παρατηρήσεων χρησιμεύει ως συναρπαστική απόδειξη του εκδημοκρατισμού της διαστημικής έρευνας (Kobori et al., 2016). Αυτές οι πλατφόρμες επιτρέπουν στα άτομα να συμμετέχουν ενεργά στη διεύρυνση της κατανόησής μας για το σύμπαν, καλλιεργώντας ένα αίσθημα δέους και εξερεύνησης. Αυτές οι πρωτοβουλίες χρησιμεύουν ως παραδείγματα για το πώς η συλλογική έρευνα μπορεί να καταστήσει προσβάσιμους και χωρίς αποκλεισμούς ακόμη και τους πιο απομακρυσμένους και φαινομενικά ανέφικτους τομείς της επιστήμης.

## 5.5 ΟΦΕΛΗ ΚΑΙ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ

---

### 5.5.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΣΤΗΜΗ

---

Εδώ, διερευνούμε τα πολυάριθμα πλεονεκτήματα που προσφέρει την ΕτΠ στο χώρο της επιστήμης συνολικά. Αυτή η συνεργατική προσέγγιση εκτείνεται πέρα από τον ορίζοντα των παραδοσιακών ερευνητικών μεθοδολογιών, προσφέροντας μια σειρά από οφέλη που εμπλουτίζουν το επιστημονικό τοπίο.

1. Όγκος δεδομένων και επεκτασιμότητα: Τα έργα της ΕτΠ έχουν τη δυνατότητα να παράγουν τεράστιες ποσότητες δεδομένων, συχνά σε κλίμακα που θα ήταν προκλητική για τις παραδοσιακές ερευνητικές προσπάθειες. Αυτός ο πλούτος δεδομένων επιτρέπει πιο ολοκληρωμένη ανάλυση και παρέχει πληροφορίες για επιστημονικά φαινόμενα που μπορεί να είχαν παραλειφθεί διαφορετικά.
2. Γεωγραφική Κάλυψη: Τα έργα ΕτΠ καλύπτουν συχνά τον κόσμο, με συμμετέχοντες από διαφορετικές τοποθεσίες να συνεισφέρουν δεδομένα. Αυτή η γεωγραφική ποικιλομορφία επιτρέπει τη συλλογή δεδομένων από απομακρυσμένες ή λιγότερο μελετημένες περιοχές, διευρύνοντας την κατανόησή μας για τα περιφερειακά και παγκόσμια περιβαλλοντικά πρότυπα.
3. Επικαιρότητα: Η φύση σε πραγματικό χρόνο πολλών έργων Επιστήμης του Πολίτη επιτρέπει την ταχεία συλλογή και διάδοση δεδομένων. Αυτή η επικαιρότητα είναι ανεκτίμητη σε τομείς όπως η περιβαλλοντική παρακολούθηση, η αντιμετώπιση καταστροφών και η επιδημιολογία, όπου η γρήγορη πρόσβαση στα δεδομένα είναι ζωτικής σημασίας για τη λήψη αποφάσεων.
4. Διαφορετική τεχνογνωσία: Την ΕτΠ καλωσορίζουν συμμετέχοντες από διάφορα υπόβαθρα και τεχνογνωσία. Αυτή η ποικιλία γνώσεων και προοπτικών οδηγεί συχνά σε δημιουργική επίλυση προβλημάτων και καινοτόμες προσεγγίσεις σε ερευνητικά ερωτήματα. Οι διεπιστημονικές συνεργασίες είναι κοινές και μπορούν να οδηγήσουν σε νέες ιδέες.
5. Κόστος-Αποτελεσματικότητα: Αξιοποιώντας τη δύναμη από τις συνεισφορές των πολιτών, πολλά έργα ΕτΠ μπορούν να πετύχουν ερευνητικούς στόχους με χαμηλότερο κόστος σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους. Αυτή η σχέση κόστους-

αποτελεσματικότητας επιτρέπει την εκτέλεση έργων μεγαλύτερης κλίμακας που μπορεί να είναι οικονομικά ανέφικτα με συμβατικά μέσα.

6. Δημόσια Δέσμευση: Η Επιστήμη του Πολίτη προωθεί τη συμμετοχή του κοινού σε επιστημονικά και περιβαλλοντικά ζητήματα. Με τη συμμετοχή των πολιτών στην ερευνητική διαδικασία, αυξάνεται ο επιστημονικός γραμματισμός και η ευαισθητοποίηση. Αυτή η δέσμευση είναι ιδιαίτερα σημαντική για την οικοδόμηση δημόσιας υποστήριξης για την επιστήμη και τις επιστημονικές προσπάθειες.
7. Συνηγορία και Ευαισθητοποίηση: Η Επιστήμη του Πολίτη συχνά οδηγεί σε αυξημένη συνηγορία για συγκεκριμένες αιτίες και ζητήματα. Οι συμμετέχοντες γίνονται όχι μόνο συλλέκτες δεδομένων αλλά και υποστηρικτές της θετικής αλλαγής. Η συμμετοχή τους μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερη ευαισθητοποίηση του κοινού και υποστήριξη για τη διατήρηση του περιβάλλοντος και τις αλλαγές πολιτικής.
8. Νεοφανή Ερευνητικά Ερωτήματα: Η συμμετοχική φύση της Επιστήμης των Πολιτών επιτρέπει την εξερεύνηση ενός μεγάλου φάσματος ερευνητικών ερωτημάτων που μπορεί να μην αποτελούν μέρος των παραδοσιακών ερευνητικών προγραμμάτων. Αυτά τα ερωτήματα πηγάζουν συχνά από τα ενδιαφέροντα και τις ανησυχίες της κοινότητας, με αποτέλεσμα μια πιο σχετική με την καθημερινότητα επιστημονική ατζέντα.
9. Εμπνέοντας μελλοντικούς επιστήμονες: Έργα ΕτΠ που περιλαμβάνουν εκπαιδευτικά ιδρύματα και νέους συμμετέχοντες μπορούν να εμπνεύσουν την επόμενη γενιά επιστημόνων. Η εμπειρία του ενθουσιασμού της ανακάλυψης και η ενεργή ενασχόληση με την επιστημονική έρευνα μπορεί να παρακινήσει τα νεαρά μυαλά να ακολουθήσουν σταδιοδρομία στην επιστήμη.

### 5.5.2 ΔΕΣΜΕΥΣΗ ΤΗΣ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑΣ

---

Τα οφέλη από τη συμμετοχή της κοινότητας στην Επιστήμη των Πολιτών εκτείνονται πέρα από το πεδίο της έρευνας, καλύπτοντας τομείς όπως η εκπαίδευση, η κοινωνική συνοχή και η περιβαλλοντική διαχείριση. Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα της συμμετοχής της κοινότητας στην Επιστήμη των Πολιτών είναι η ικανότητά της να καλλιεργεί μια σύνδεση μεταξύ του ανθρώπου και του φυσικού περιβάλλοντος (Sullivan et al., 2014). Η ενεργός συμμετοχή των πολιτών σε πρωτοβουλίες παρακολούθησης και έρευνας ενισχύει την αίσθηση της αξίας και της κατανόησης προς το άμεσο περιβάλλον τους. Τα άτομα που ασχολούνται με την εξερεύνηση των

οικοσυστημάτων αναλαμβάνουν το ρόλο των διαχειριστών, καλλιεργώντας έτσι μια αυξημένη συνειδητοποίηση των ευθυνών τους και τη δέσμευσή τους για τη διατήρηση του περιβάλλοντος.

Η εκπαίδευση διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στην προώθηση της συμμετοχής της κοινότητας στο πεδίο της Επιστήμης των Πολιτών. Ομάδες ατόμων, όπως μαθητές, εκπαιδευτικοί και μέλη της κοινότητας, έχουν την ευκαιρία να αποκτήσουν γνώσεις που σχετίζονται με επιστημονικές αρχές και διαδικασίες μέσω της βιωματικής μάθησης. Αυτές οι εκπαιδευτικές ευκαιρίες χρησιμεύουν για την αύξηση του επιστημονικού γραμματισμού και ενισχύουν τα κίνητρα μιας νέας ομάδας επιστημόνων, όπως αναφέρεται στους (Cooper et al., 2021).

Επιπλέον, η συμμετοχή της κοινότητας χρησιμεύει στη διεύρυνση του πεδίου εφαρμογής της Επιστήμης των Πολιτών με τη συμμετοχή ατόμων από διάφορα δημογραφικά υπόβαθρα. Άτομα από διαφορετικά υπόβαθρα και από διαφορετικές ηλικιακές ομάδες έχουν την ευκαιρία να συμμετάσχουν, ανεξάρτητα από το επίπεδο επιστημονικής τους εμπειρίας (Dickinson et al., 2010). Η προαναφερθείσα ένταξη είναι σύμφωνη με μια βασική αρχή της ΕτΠ, η οποία στοχεύει στην προώθηση της προσβασιμότητας και της ένταξης στην επιστημονική έρευνα.

Η δέσμευση στις πρωτοβουλίες της ΕτΠ προκαλεί συχνά ένα συλλογικό αίσθημα κοινότητας και κοινούς στόχους (Kosmala et al., 2016). Οι εθελοντές ενσωματώνονται σε μια ομάδα ατόμων που έχουν κοινό ενθουσιασμό για επιστημονική έρευνα. Η καθιέρωση συλλογικής ταυτότητας και αμοιβαίας αφοσίωσης προάγει την κοινωνική ένταξη και ενισχύει την ικανότητα της κοινότητας να αντέχει και να ανταποκρίνεται στις περιβαλλοντικές αντιξοότητες.

Η συμμετοχή της κοινότητας στην Επιστήμη των Πολιτών έχει την ικανότητα να επιφέρει καλές αλλαγές σε τοπικό επίπεδο. Μέσω της δέσμευσης ατόμων σε δραστηριότητες όπως η παρακολούθηση του περιβάλλοντος, η παρακολούθηση της ρύπανσης και η αντιμετώπιση καταστροφών, αυτά τα έργα υποστηρίζουν την ενδυνάμωση των κοινοτήτων, δίνοντάς τους τη δυνατότητα να αντιμετωπίζουν προληπτικά σχετικά ζητήματα (Tweddle et al., 2012). Τα δεδομένα που συλλέγονται συχνά έχουν άμεση σημασία για τη διαμόρφωση πολιτικών και έχουν τη δυνατότητα να υποκινήσουν τροποποιήσεις στις τοπικές πρακτικές, βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα ζωής των κατοίκων.

Τέλος, η ΕτΠ προωθεί όχι μόνο τη συλλογή δεδομένων αλλά και την ιδιοκτησία των δεδομένων. Τα άτομα που εμπλέκονται στη διαδικασία συλλογής δεδομένων έχουν έννομο συμφέρον, καθώς γνωρίζουν ότι οι παρατηρήσεις τους έχουν τη δυνατότητα να οδηγήσουν σε συγκεκριμένους μετασχηματισμούς εντός των αντίστοιχων κοινοτήτων τους. Η αντίληψη της κατοχής και της επιρροής μιας συγκεκριμένης οντότητας μπορεί να χρησιμεύσει ως ισχυρός καταλύτης για διαρκή συμμετοχή.

## 6. ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΠΟΛΙΤΩΝ ΜΕΣΩ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΓΙΑ ΚΙΝΗΤΑ

Οι εφαρμογές για κινητά έχουν αναδειχθεί ως το πρωταρχικό κανάλι μέσω του οποίου οι πολίτες εμπλέκονται με ποικίλες πρωτοβουλίες Επιστήμης του Πολίτη. Αυτό περιλαμβάνει δραστηριότητες όπως η παρακολούθηση αλλαγών στο φυσικό περιβάλλον και η διερεύνηση ουράνιων φαινομένων. Η χρήση αυτών των εφαρμογών όχι μόνο έχει βελτιώσει την προσβασιμότητα της συμμετοχής, αλλά έχει επίσης αυξήσει τη συνολική εμπειρία των ατόμων που ασχολούνται με τις προσπάθειες της επιστήμης των πολιτών (Burgess et al., 2017).

Κατά τη διάρκεια της εξέτασης του Κεφαλαίου 6, θα εμβαθύνουμε στην εξέλιξη των εφαρμογών της ΕτΠ, θα διευκρινίσουμε τις αρχές του σχεδιασμού με επίκεντρο τον χρήστη και θα εξακριβώσουμε τους τρόπους με τους οποίους τα στοιχεία παιχνιδιού (gamification) αυξάνουν την αφοσίωση των χρηστών. Αυτή η μελέτη θα εξετάσει επίσης πρακτικά παραδείγματα στα οποία οι εφαρμογές για κινητά έχουν μεταμορφώσει σημαντικά την έρευνα που ηγείται ο πολίτης στους τομείς της παρακολούθησης της βιοποικιλότητας, της εξερεύνησης του διαστήματος και των πρωτοβουλιών που σχετίζονται με την υγεία. Επιπλέον, θα εξετάσουμε τις πολυπλοκότητες που σχετίζονται με την απόκτηση δεδομένων, τη διασφάλιση της ακρίβειας των δεδομένων αυτών και τη διεξαγωγή ανάλυσης με χρήση δεδομένων (crowdsourcing) στο πλαίσιο του τομέα Επιστήμης του Πολίτη που βασίζεται σε εφαρμογές.

Ο πολλαπλασιασμός των εφαρμογών για κινητά όχι μόνο έχει διευρύνει το πεδίο της επιστημονικής δέσμευσης, αλλά έχει επίσης ενισχύσει την αλληλεπίδραση μεταξύ της επιστήμης, της τεχνολογίας και του γενικού πληθυσμού. Αυτό το κεφάλαιο υπογραμμίζει τη σύγκλιση της ψηφιακής καινοτομίας και της συμμετοχής των πολιτών, ωθώντας μας προς ένα μέλλον όπου οι επιστημονικές προσπάθειες ξεπερνούν τα όρια των παραδοσιακών εργαστηρίων και των ειδικών επαγγελματιών (Pateman et al., 2021). Αντίθετα, η επιστήμη γίνεται ένας δυναμικός ιστός συνυφασμένος από τις συλλογικές προσπάθειες ατόμων που έχουν γνήσιο ενδιαφέρον για το παγκόσμιο περιβάλλον.

## 6.1 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΙΝΗΤΩΝ ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΜΕ ΤΗΝ ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΤΟΥ ΠΟΛΙΤΗ

---

### 6.1.1 ΕΞΕΛΙΞΗ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΟΥ ΠΟΛΙΤΗ

---

Ο πολλαπλασιασμός των εφαρμογών της ΕτΠ αποτελεί παράδειγμα του σημαντικού ρόλου της τεχνολογίας στη διευκόλυνση της ευρείας συμμετοχής σε επιστημονικές προσπάθειες. Η εμφάνιση των εφαρμογών ΕτΠ μπορεί να αναχθεί στην ευρεία υιοθέτηση των smartphones (Wiggins & Wilbanks, 2019). Με την ευρεία υιοθέτηση αυτών των συσκευών υπολογιστικών συσκευών, οι προγραμματιστές και οι επιστήμονες αναγνώρισαν τη δυνατότητα να αξιοποιήσουν τις λειτουργίες τους για επιστημονικές έρευνες. Στα αρχικά τους στάδια, οι πρώιμες εφαρμογές λειτουργούσαν ως επί το πλείστον ως στοιχειώδη εργαλεία που στόχευαν στη συλλογή δεδομένων για συγκεκριμένους σκοπούς. Αυτές οι καινοτόμες εφαρμογές έθεσαν τις βάσεις για μεταγενέστερες εξελίξεις.

Με την πάροδο του χρόνου, υπήρξε μια αξιοσημείωτη επέκταση στο φάσμα των εφαρμογών της ΕτΠ, γεγονός που είναι ενδεικτικό της αυξανόμενης ποικιλίας έργων και των εξελισσόμενων απαιτήσεων των εμπλεκόμενων ατόμων. Οι εφαρμογές παρουσίασαν αυξημένη πολυπλοκότητα, περιλαμβάνοντας μια ποικιλία λειτουργιών που εκτείνονται πέρα από τη συλλογή δεδομένων. Δόθηκαν τα εργαλεία για την αναγνώριση των ειδών, οι χρήστες καθοδηγήθηκαν μέσω των πρωτοκόλλων μελέτης και διευκολύνθηκε η δυνατότητα υποβολής δεδομένων σε πραγματικό χρόνο (Schade et al., 2021).

Μια σημαντική εξέλιξη στην πορεία των εφαρμογών ΕτΠ ήταν η εμφάνιση πλατφορμών που διευκόλυναν τη φιλοξενία πολλών έργων. Αυτές οι πλατφόρμες διευκόλυναν τους χρήστες να διερευνήσουν ένα ευρύ φάσμα έργων μέσω μιας ενοποιημένης εφαρμογής, αυξάνοντας έτσι το επίπεδο συμμετοχής τους και απλοποιώντας τη διαδικασία της ανακάλυψης ερευνητικών έργων που είναι πιο κοντά στα προσωπικά τους ενδιαφέροντα.

Στις εφαρμογές της ΕτΠ συναντάμε συχνά στοιχεία gamification. Πιο συγκεκριμένα, η ενσωμάτωση στοιχείων, όπως τα σήματα (badges), τα βραβεία και οι βαθμολογικοί πίνακες, εισήγαγαν μια διάσταση ανταγωνιστικότητας και πρόκλησης. Οι χρήστες καλούνται να διατηρήσουν την ενεργό συμμετοχή τους και να συνεισφέρουν συνεχώς σε έργα. Η χρήση του gamification έχει αναδειχθεί ως μια ισχυρή στρατηγική για την προώθηση της διαρκούς



δέσμευσης. Ακόμη, η ενσωμάτωση κοινωνικών στοιχείων στις εφαρμογές ΕτΠ έχει αλλάξει σημαντικά τη συνολική εμπειρία χρήστη. Οι συμμετέχοντες έχουν την ευκαιρία να επικοινωνήσουν με συμμελετητές της ΕτΠ, να ανταλλάξουν τις ανακαλύψεις τους και να συμμετάσχουν σε διάλογο για τις προσωπικές τους συναντήσεις (Eitzel et al., 2017). Η παρουσία ενός κοινοτικού πνεύματος και ενός συλλογικού στόχου χρησιμεύει στην ενίσχυση της συνεργατικής ουσίας της ΕτΠ.

Τέλος, η πρόοδος των εφαρμογών της ΕτΠ έχει επηρεαστεί σημαντικά από την επιταγή της προσβασιμότητας. Οι προγραμματιστές έχουν καταβάλει συντονισμένες προσπάθειες για να βελτιώσουν τη χρηστικότητα αυτών των εργαλείων, με στόχο τη διευκόλυνση της δέσμευσης από άτομα από όλα τα υπόβαθρα και τις ηλικιακές ομάδες. Η έννοια της ένταξης έχει σημαντική σημασία στο πεδίο της ΕτΠ, με τις εφαρμογές για κινητά να διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο στην επέκταση της προσβασιμότητας της έρευνας σε ένα ευρύτερο δημογραφικό.

#### 6.1.2 ΠΡΟΣΒΑΣΙΜΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΥΜΜΕΤΟΧΙΚΟΤΗΤΑ

---

Η προσβασιμότητα και η συμπερίληψη είναι θεμελιώδεις αρχές στο πλαίσιο των εφαρμογών της ΕτΠ και όχι απλοί μοντέρνοι όροι. Αυτές οι αρχές αποτελούν τη βάση μιας συμμετοχικής στρατηγικής που στοχεύει στη συμμετοχή ατόμων από διαφορετικά υπόβαθρα στην επιστημονική δέσμευση (Newman et al., 2012). Η βασική αρχή στην οποία βασίζεται η προσβασιμότητα στις εφαρμογές της ΕτΠ είναι η αφοσίωση στη διασφάλιση ότι η συμμετοχή είναι όσο πιο απλή και εφικτή. Οι εφαρμογές έχουν αναπτυχθεί ειδικά για να έχουν φιλικές προς το χρήστη διεπαφές, ρητή καθοδήγηση και περιορισμένη χρήση τεχνικής ορολογίας (Gura, 2013). Ο στόχος είναι να διασφαλιστεί ότι άτομα με διαφορετικά επίπεδα τεχνολογικής επάρκειας μπορούν να χρησιμοποιήσουν αυτές τις εφαρμογές για να συνεισφέρουν στην επιστημονική μελέτη.

Ο ρόλος του οπτικού σχεδιασμού (UI) είναι υψίστης σημασίας για τη διασφάλιση της προσβασιμότητας (Rotman et al., 2012). Οι προγραμματιστές εφαρμογών αναγνωρίζουν τη σημασία της χρήσης ευανάγνωστων γραμματοσειρών, της εφαρμογής χρωμάτων υψηλής αντίθεσης και της συμπερίληψης απλών συστημάτων πλοήγησης. Τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά σχεδιασμού έχουν σημαντική σημασία, ιδιαίτερα για άτομα με προβλήματα όρασης ή για άτομα που χρησιμοποιούν την εφαρμογή υπό διαφορετικές συνθήκες φωτισμού.

Ο εντοπισμός της γλώσσας είναι ένας επιπλέον κρίσιμος παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη. Οι εφαρμογές ΕτΠ είναι συχνά προσβάσιμες σε διάφορες γλώσσες, διευκολύνοντας έτσι την άνετη συμμετοχή ατόμων από διαφορετικά γλωσσικά υπόβαθρα. Το εύρος αυτής της προσπάθειας τοπικής προσαρμογής επεκτείνεται πέρα από τις απλές μεταφράσεις για να καλύψει πολιτιστικά σημαντικό περιεχόμενο και διεπαφές. Επίσης, η έννοια της προσβασιμότητας δεν περιλαμβάνει μόνο τις φυσικές ικανότητες αλλά και τη γνωστική προσβασιμότητα. Οι σχεδιαστές εφαρμογών εξετάζουν τις πολλές μεθόδους με τις οποίες τα άτομα αφομοιώνουν και κατανοούν πληροφορίες (Rotman et al., 2012). Το υλικό της εφαρμογής είναι οργανωμένο με λογικό τρόπο, παρουσιάζοντας πληροφορίες με συνεκτικό και διαδοχικό τρόπο. Επιπλέον, προσφέρει σαφείς και ξεκάθαρες οδηγίες, διευκολύνοντας την κατανόηση και την εκτέλεση εργασιών από τους χρήστες. Επιπλέον, η εφαρμογή παρέχει συμπληρωματικούς πόρους για να βοηθήσει άτομα με διαφορετικές μαθησιακές προτιμήσεις και προσεγγίσεις.

Η έννοια της ένταξης στις εφαρμογές της ΕτΠ εκτείνεται πέρα από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του προγράμματος. Αντιπροσωπεύει μια βασική ιδέα που αγκαλιάζει άτομα από διαφορετικά υπόβαθρα, ηλικιακές ομάδες και επίπεδα ικανοτήτων. Αυτές οι εφαρμογές αναγνωρίζουν την απεριόριστη φύση της επιστημονικής περιέργειας και προσπαθούν να προωθήσουν τη συμπερίληψη, επιτρέποντας σε όσον το δυνατό περισσότερα άτομα να συμμετάσχουν στην επιστημονική εξερεύνηση, όπως αναφέρεται στους (Cooper et al., 2021). Επιπλέον, η εκπαίδευση διαδραματίζει βασικό ρόλο στην προώθηση της διαφορετικότητας. Οι εφαρμογές ΕτΠ συχνά ενσωματώνουν εκπαιδευτικό υλικό που διευκολύνει τους συμμετέχοντες στην κατανόηση των επιστημονικών αρχών που διέπουν τα αντίστοιχα έργα. Οι διαθέσιμοι πόροι περιλαμβάνουν μια ποικιλία μέσων, όπως επιστημονικές δημοσιεύσεις, εκπαιδευτικά βίντεο και διαδραστικά μαθήματα. Επιτρέπουν στους χρήστες όχι μόνο να υποβάλλουν δεδομένα αλλά και να αποκτούν γνώση και να αναπτύσσονται ως άτομα και ενεργά μέλη της κοινωνίας.

Συνεχίζοντας, τα προγράμματα περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα θεμάτων, συμπεριλαμβανομένων, ενδεικτικά, της αστρονομίας, της παρακολούθησης του περιβάλλοντος, της παρακολούθησης της άγριας ζωής και της δημόσιας υγείας. Η παρουσία της διαφορετικότητας στην ΕτΠ εγγυάται τη διαθεσιμότητα ενός ευρύ φάσματος επιλογών, σύμφωνα με τις προτιμήσεις και τα ενδιαφέροντα των ατόμων. Αυτή η γκάμα επιλογών

ευθυγραμμίζεται με τη θεμελιώδη ιδέα ότι η Επιστήμη του Πολίτη είναι προσβάσιμη σε όλα τα άτομα.

Η έννοια της συμπερίληψης εντός των εφαρμογών της ΕτΠ εκτείνεται πέρα από την ατομική συμμετοχή, περιλαμβάνοντας τη δημιουργία μιας συνεκτικής κοινότητας ενεργά εμπλεκόμενων επιστημόνων πολιτών. Κοινωνικές πτυχές, όπως πίνακες συζητήσεων και προφίλ χρηστών, διευκολύνουν τη δημιουργία εικονικών περιβαλλόντων όπου τα άτομα έχουν την ευκαιρία να ανταλλάξουν τις δικές τους εμπειρίες, να συμμετάσχουν σε διάλογο για τα ερευνητικά τους αποτελέσματα και να δημιουργήσουν συνδέσεις με άτομα που έχουν παρόμοια ενδιαφέροντα (Pocock et al., 2017). Η δημιουργία μιας κοινοτικής ατμόσφαιρας καλλιεργεί μια συνεργατική νοοτροπία και ενισχύει την αντίληψη ότι τα άτομα που ασχολούνται με την επιστήμη των πολιτών είναι αναπόσπαστα μέλη μιας παγκόσμιας προσπάθειας.

Επιπλέον, η έννοια της ένταξης περιλαμβάνει την αναγνώριση των κινήτρων και ενδιαφερόντων που επιδεικνύονται από όλους τους εμπλεκόμενους. Οι εφαρμογές ΕτΠ αναγνωρίζουν τα διαφορετικά κίνητρα που διαθέτουν τα άτομα όταν συμμετέχουν σε επιστημονικές ερευνητικές προσπάθειες. Τα κίνητρα για την ενασχόληση με ορισμένες δραστηριότητες μπορεί να διαφέρουν μεταξύ των ατόμων, με μερικά να οδηγούνται από την εκτίμηση για τον φυσικό κόσμο, άλλα από τη δέσμευση σε σημαντικά κοινωνικά ζητήματα και μερικά από την τάση για εξερεύνηση και ενθουσιασμό. Αυτές οι εφαρμογές αναγνωρίζουν και φιλοξενούν τα διαφορετικά κίνητρα των ατόμων, προσφέροντάς τους την ευκαιρία να ανακαλύψουν πρωτοβουλίες που συνάδουν με τα προσωπικά τους ενδιαφέροντα (Eitzel et al., 2017).

## 6.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΦΙΛΙΚΩΝ ΠΡΟΣ ΤΟ ΧΡΗΣΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

---

### 6.2.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΕ ΕΠΙΚΕΝΤΡΟ ΤΟΝ ΧΡΗΣΤΗ

---

Η βασική αρχή του σχεδιασμού με επίκεντρο τον χρήστη (UX) είναι αναπόσπαστο μέρος της ανάπτυξης εφαρμογών ΕτΠ που επιτρέπουν αποτελεσματικά την επιστημονική δέσμευση, ενώ παράλληλα προσφέρουν μια ευχάριστη και ικανοποιητική εμπειρία χρήστη, όπως αναφέρεται στους (Cooper et al., 2021). Ο σχεδιασμός με επίκεντρο τον χρήστη είναι μια μέθοδος σχεδιασμού που δίνει προτεραιότητα στις απαιτήσεις, τις προτιμήσεις και τις ικανότητες των

χρηστών ως κεντρικό επίκεντρο της διαδικασίας σχεδιασμού (Burgess et al., 2017). Η εστίαση έγκειται στην ανάπτυξη εφαρμογών που διαθέτουν ιδιότητες όπως η διαισθητική ικανότητα, η αποτελεσματικότητα και, κυρίως, η ευθυγράμμιση με τους στόχους και τις προσδοκίες των χρηστών για τους οποίους προορίζονται.

Η αρχική φάση της σχεδίασης με επίκεντρο τον χρήστη περιλαμβάνει την απόκτηση συνολικής κατανόησης των δημογραφικών στοιχείων του χρήστη που προορίζονται. Οι προγραμματιστές εφαρμογών συμμετέχουν στην έρευνα χρηστών προκειμένου να συλλέξουν πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με τις ενέργειες, τα κίνητρα και τα εμπόδια που αντιμετωπίζουν τα μελλοντικά άτομα. Αυτή η μελέτη παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για τη διαδικασία σχεδιασμού, διασφαλίζοντας ότι η εφαρμογή είναι προσαρμοσμένη για να ανταποκρίνεται στις ξεχωριστές απαιτήσεις των χρηστών της. Ακόμη, η συμπερίληψη των δοκιμών ευχρηστίας είναι ένα ουσιαστικό στοιχείο στο πλαίσιο της σχεδίασης με επίκεντρο τον χρήστη, όπως αναφέρεται στη δουλειά των (McKinley et al., 2017). Σε αυτό το στάδιο, πραγματικοί χρήστες ασχολούνται με την εφαρμογή και αναλύονται οι συμπεριφορές, τα σχόλια και οι δυσκολίες τους. Αυτή η διαδικασία διευκολύνει τον εντοπισμό προβλημάτων και περιοχών δυσφορίας, επιτρέποντας στους προγραμματιστές να εφαρμόσουν βασικές βελτιώσεις.

Ένα θεμελιώδες στοιχείο του σχεδιασμού με επίκεντρο τον χρήστη (UX) περιλαμβάνει την ανάπτυξη διεπαφών που είναι τόσο ξεκάθαρες όσο και συνοπτικές (Guerrini et al., 2018). Ο σχεδιασμός της διεπαφής, των μενού και της πλοήγησης της εφαρμογής θα πρέπει να δίνει προτεραιότητα σε μια απρόσκοπτη και φιλική προς το χρήστη εμπειρία. Οι προγραμματιστές εφαρμογών καταβάλλουν συντονισμένη προσπάθεια να μειώσουν την πολυπλοκότητα χρησιμοποιώντας γλώσσα και σύμβολα που είναι εύκολα κατανοητά (Heigl et al., 2019).

Η σημασία της συνέπειας στο σχεδιασμό δεν μπορεί να υπερεκτιμηθεί. Είναι επιτακτική ανάγκη να παρέχεται στους χρήστες μια συνεπής και συνεκτική εμπειρία σε όλη την εφαρμογή (Ottinger, 2010). Η προαναφερθείσα συνέπεια περιλαμβάνει διάφορες πτυχές, όπως οπτικά στοιχεία, μοτίβα αλληλεπίδρασης και οργάνωση πληροφοριών. Αυτή η δυνατότητα εγγυάται ότι οι χρήστες μπορούν να περιηγηθούν αποτελεσματικά στην εφαρμογή χωρίς να αντιμετωπίσουν απροσδόκητες ή περίπλοκες καταστάσεις.

Η έννοια της προσβασιμότητας, η οποία εξετάστηκε προηγουμένως, είναι στενά διασυνδεδεμένη με τις αρχές του σχεδιασμού με επίκεντρο τον χρήστη (Riesch & Potter, 2014). Η ενσωμάτωση λειτουργιών προσβασιμότητας για άτομα με αναπηρίες, συμπεριλαμβανομένων εκείνων με προβλήματα όρασης ή ακοής, είναι ένα κρίσιμο στοιχείο για την ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης εμπειρίας χρήστη. Επιπλέον, πρακτική της σχεδίασης με επίκεντρο τον χρήστη εκτείνεται πέρα από την πρώτη έκδοση της εφαρμογής (Pocock et al., 2017). Η προσέγγιση είναι επαναληπτικής φύσης, που χαρακτηρίζεται από συνεχείς βελτιώσεις που οδηγούνται από τα σχόλια των χρηστών και τις αυξανόμενες απαιτήσεις. Συχνά, οι προγραμματιστές λογισμικού εφαρμογών εκδίδουν ενημερώσεις με σκοπό την επίλυση προβλημάτων, τη βελτίωση των λειτουργιών και την αντιμετώπιση της εξελισσόμενης τεχνολογίας και των απαιτήσεων των χρηστών.

Ο πρωταρχικός στόχος του σχεδιασμού με επίκεντρο τον χρήστη στις εφαρμογές ΕπΠ είναι να διασφαλίσει μια συνεκτική και ευχάριστη εμπειρία χρήστη για τους συμμετέχοντες. Όταν οι χρήστες βλέπουν την εφαρμογή ως φιλική και κατανοητή, αυξάνεται η πιθανότητα να συμμετέχουν ενεργά και να συνεισφέρουν ουσιαστικά στην επιστημονική έρευνα. Αυτή η μέθοδος εγγυάται ότι η τεχνολογία λειτουργεί ως εργαλείο ενδυνάμωσης, διευκολύνοντας τη σύνδεση μεταξύ των ατόμων και της διερεύνησής τους, καθώς και της επιστημονικής κοινότητας.

## 6.2.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ GAMIFICATION

---

Η ενσωμάτωση του παιχνιδιού, του ανταγωνισμού και της ανταμοιβής στο επιστημονικό ταξίδι έχει αναδειχθεί ως σημαντική επιρροή στη σφαίρα των εφαρμογών ΕπΠ, που μερικές φορές αναφέρονται ως gamification. Το gamification, στον πυρήνα του, χρησιμοποιεί στοιχεία που συνδέονται συνήθως με παιχνίδια, όπως πόντους, σήματα, βαθμολογικούς πίνακες και προκλήσεις, προκειμένου να βελτιώσει τη συνολική εμπειρία μιας εφαρμογής και να αυξήσει το κίνητρο. Αυτοί οι παράγοντες απευθύνονται στην εγγενή ανθρώπινη κλίση προς την ολοκλήρωση, την αναγνώριση και τον ανταγωνισμό, μετατρέποντας έτσι τη διαδικασία της επιστημονικής συμμετοχής σε μια συναρπαστική αποστολή.

Οι βαθμολογικοί πίνακες και οι βαθμολογίες είναι καλά αναγνωρισμένα και σημαντικά συστατικά του gamification. Οι συμμετέχοντες έχουν την ευκαιρία να αξιολογήσουν τη συγκριτική αξία των συνεισφορών τους σε σχέση με αυτές που έγιναν από άλλους. Τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά ενσωματώνουν μια ανταγωνιστική πτυχή, η οποία παρακινεί τα άτομα να ενισχύσουν τη συμμετοχή τους προκειμένου να ανέβουν στο leaderboard και να επιτύχουν αναγνώριση.

Τα σήματα και τα βραβεία αποτελούν ζωτικό στοιχείο στο πλαίσιο του gamification. Στους συμμετέχοντες παρέχονται κίνητρα για την επίτευξη προκαθορισμένων ορόσημων ή την επιτυχή ολοκλήρωση εργασιών εντός της εφαρμογής (Eitzel et al., 2017). Τα εικονικά βραβεία δεν λειτουργούν μόνο ως μέσο αναγνώρισης των επιτευγμάτων, αλλά λειτουργούν και ως κίνητρα, ενισχύοντας το κίνητρο των χρηστών να ξεπερνούν συνεχώς τα όρια της επιστημονικής εξερεύνησης. Τα συστήματα σημείων χρησιμοποιούνται ευρέως ως μηχανισμός παιχνιδιού. Προσφέρονται μετρήσιμα μέτρα για την αξιολόγηση των συνεισφορών ενός χρήστη, όπως αναφέρεται στη δουλειά των (McKinley et al., 2017). Η πράξη της συγκέντρωσης πόντων μπορεί να χρησιμεύσει ως μια μαγευτική μέθοδος για τους συμμετέχοντες να παρακολουθούν την πρόοδό τους και να παρατηρούν τα συγκεκριμένα αποτελέσματα της εμπλοκής τους καθώς προχωρά ο χρόνος.

Η συμπερίληψη προκλήσεων και αποστολών στις εφαρμογές ΕτΠ εισάγει ένα περιπετειώδες στοιχείο. Τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά ενθαρρύνουν τους χρήστες να συμμετέχουν σε συγκεκριμένες εργασίες ή στόχους εντός της εφαρμογής. Η συμπερίληψη μιας προκλητικής συνιστώσας χρησιμεύει στη διατήρηση της ενεργού συμμετοχής των συμμετεχόντων και εισάγει ένα επιπλέον στοιχείο ενθουσιασμού στις επιστημονικές τους αναζητήσεις. Η χρήση των χαρακτηριστικών του διαδικτυακού παιχνιδιού διευκολύνει τη δημιουργία συνδέσεων μεταξύ των χρηστών και άλλων παικτών. Η συμπερίληψη χαρακτηριστικών όπως οι λίστες φίλων, οι προκλήσεις της ομάδας και οι κοινές επιτυχίες ενισχύει την αίσθηση της κοινότητας και των συλλογικών στόχων. Η δημιουργία κοινωνικών συνδέσεων εξυπηρετεί στην ενίσχυση της αφοσίωσης των χρηστών, φέρνοντας ένα στοιχείο συνεργασίας στην εμπειρία της εφαρμογής.

Η χρήση του gamification σε εφαρμογές ΕτΠ εκτείνεται πέρα από τον απλό μετασχηματισμό των ερευνητικών δραστηριοτήτων σε εμπειρίες που μοιάζουν με παιχνίδια.

Εκπληρώνει πολλούς ουσιαστικούς ρόλους. Μία από τις βασικές ευθύνες είναι η διατήρηση της διαρκούς συμμετοχής για εκτεταμένη χρονική περίοδο (Wiggins & Wilbanks, 2019). Πολλές πρωτοβουλίες της ΕτΠ απαιτούν τη συνεχή συλλογή δεδομένων και η ενσωμάτωση στοιχείων παιχνιδιών εξυπηρετεί στη διατήρηση των κινήτρων των συμμετεχόντων να συνεισφέρουν για παρατεταμένη διάρκεια.

Επιπλέον, το gamification χρησιμεύει ως καταλύτης για τους χρήστες να εμπλακούν ενεργά και να ανακαλύψουν νέα χαρακτηριστικά μέσα στην εφαρμογή. Με την ενσωμάτωση προκλήσεων ή αναζητήσεων που ευθυγραμμίζονται ειδικά με ορισμένα χαρακτηριστικά ή θέματα του έργου, οι συμμετέχοντες ενθαρρύνονται να επεκτείνουν τις επιστημονικές τους γνώσεις και προοπτικές (Wiggins & Wilbanks, 2019). Η πράξη της εξερεύνησης ενισχύει την εκπαιδευτική διαδικασία.

Η αίσθηση του επιτεύγματος που διευκολύνεται από την εφαρμογή του gamification ξεπερνά τα όρια της εν λόγω εφαρμογής (Newman et al., 2012). Οι συμμετέχοντες βιώνουν συχνά μια αίσθηση ικανοποίησης για τα επιτεύγματά τους και απολαμβάνουν ευχαρίστηση συζητώντας τις προόδους τους με το κοινωνικό τους δίκτυο και τα αγαπημένα τους πρόσωπα. Ο προαναφερόμενος τύπος εξωτερικής επικύρωσης χρησιμεύει για την περαιτέρω ενίσχυση της αφοσίωσής τους στην εφαρμογή και την επιχείρηση. Επιπλέον, η εφαρμογή του gamification ενθαρρύνει το αίσθημα προόδου και εξέλιξης μεταξύ των ατόμων (Vohland et al., 2021). Οι συμμετέχοντες βλέπουν αισθητά να διαμορφώνεται η επιστημονική τους τροχιά και έτσι αντιλαμβάνονται ότι η συμβολή τους έχει σημασία (Riesch & Potter, 2014). Αυτή η διαδικασία ενδυνάμωσης καλλιεργεί μια πιο βαθιά αντίληψη της ιδιοκτησίας και της συμμετοχής.

Ωστόσο, η επίτευξη ισορροπίας στην ένταξη του gamification είναι υψίστης σημασίας. Η υπερβολική ανταγωνιστικότητα ή η πίεση μπορεί να αποθαρρύνουν ορισμένα άτομα από τη συμμετοχή, επομένως είναι ζωτικής σημασίας να δοθεί προτεραιότητα στην επιστημονική πτυχή. Η ενσωμάτωση στοιχείων gamification θα πρέπει να χρησιμεύει στον εμπλουτισμό της συνολικής εμπειρίας χρήστη, χωρίς να μειώνει ή να επισκιάζει τους κύριους στόχους της μελέτης.

## 6.3 ΜΕΛΕΤΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΓΙΑ ΚΙΝΗΤΑ

---

### 6.3.1 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΒΙΟΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑΣ

---

Οι εφαρμογές παρακολούθησης της βιοποικιλότητας έχουν εξελιχθεί ως ισχυρά εργαλεία για τους μελετητές της ΕτΠ ώστε να συμμετέχουν ενεργά στη διατήρηση και τη διερεύνηση του φυσικού περιβάλλοντος. Ένας από τους κύριους στόχους των εφαρμογών παρακολούθησης της βιοποικιλότητας είναι η διευκόλυνση της ενδυνάμωσης των πολιτών στην ανάληψη του ρόλου των θεματοφυλάκων για τα αντίστοιχα τοπικά τους οικοσυστήματα. Αυτές οι εφαρμογές διευκολύνουν τους χρήστες να τεκμηριώνουν και να αναφέρουν τις παρατηρήσεις τους για διάφορα είδη, που περιλαμβάνουν πτηνά, έντομα, χλωρίδα και θηλαστικά. Η συλλογική προσπάθεια διευκολύνει την ανάπτυξη σημαντικών βάσεων δεδομένων για τη βιοποικιλότητα.

Οι εφαρμογές παρακολούθησης της βιοποικιλότητας συχνά περιλαμβάνουν οδηγούς πεδίου και βοηθήματα για την αναγνώριση ειδών. Τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά επιτρέπουν στα άτομα να διακρίνουν αποτελεσματικά τα είδη που συναντούν, ακόμη και ελλείψει προηγούμενης βιολογικής πληροφορίας. Η ικανότητα αναγνώρισης και καταγραφής πολλών ειδών έχει σημαντική εκπαιδευτική επιρροή, προάγοντας τον επιστημονικό γραμματισμό και καλλιεργώντας μια βαθύτερη συγγένεια με τον φυσικό κόσμο. Ακόμη, οι εφαρμογές αυτές χαρακτηρίζονται από την ικανότητά τους να συλλέγουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο. Οι συμμετέχοντες έχουν τη δυνατότητα να υποβάλλουν αμέσως τις παρατηρήσεις τους, οι οποίες στη συνέχεια ενσωματώνονται σε εκτεταμένες βάσεις δεδομένων. Τα τρέχοντα δεδομένα έχουν σημαντική αξία όσον αφορά την παρακολούθηση της διασποράς και των επιπέδων πληθυσμού διαφόρων ειδών, την παρατήρηση προτύπων μετανάστευσης και τον εντοπισμό αλλαγών στη συμπεριφορά της άγριας ζωής.

Η συμπερίληψη μιας γεωγραφικής συνιστώσας διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στις εφαρμογές παρακολούθησης της βιοποικιλότητας (Ottinger, 2010). Η χρήση της τεχνολογίας GPS επιτρέπει στα άτομα να τεκμηριώνουν την ακριβή θέση των παρατηρήσεών τους, δημιουργώντας έτσι γεωχωρικά δεδομένα που διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην κατανόηση των προτύπων κατανομής των διαφόρων ειδών. Τα γεωγραφικά δεδομένα διαδραματίζουν ζωτικό ρόλο στις προσπάθειες διατήρησης, καθώς βοηθούν τους ερευνητές να εντοπίσουν



περιοχές που χαρακτηρίζονται από σημαντική βιοποικιλότητα ή ενδιατήματα που απαιτούν προστασία.

Η σημασία των δεδομένων που συνεισφέρουν οι πολίτες στην παρακολούθηση της βιοποικιλότητας δεν πρέπει να υποτιμάται. Η περιορισμένη διαθεσιμότητα πόρων συχνά εμποδίζει τους ερευνητές και τους οικολόγους να παρακολουθούν αποτελεσματικά την ποικιλία των ειδών σε εκτεταμένες γεωγραφικές περιοχές (Schade et al., 2021). Αυτό αποτελεί σημαντική πρόκληση για την επίτευξη πλήρους κάλυψης. Οι επιστήμονες των πολιτών διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην αντιμετώπιση αυτής της ανεπάρκειας, συνεισφέροντας δεδομένα που μπορούν να ενημερώσουν αποτελεσματικά τις βασικές επιλογές που σχετίζονται με τη νομοθεσία για τη διατήρηση και το περιβάλλον. Επίσης, η συμπερίληψη της αλληλεπίδρασης με την κοινότητα είναι θεμελιώδες στοιχείο των εφαρμογών παρακολούθησης της βιοποικιλότητας. Τα άτομα συχνά συνεργάζονται με γειτονικές περιβαλλοντικές οργανώσεις, ανταλλάσσοντας τα ερευνητικά τους πορίσματα και συμμετέχοντας ενεργά σε συλλογικές προσπάθειες (Conrad & Hilchey, 2011). Η δημιουργία ενός ισχυρού συναισθήματος κοινότητας χρησιμεύει στην ενίσχυση της αντίληψης ότι τα άτομα είναι αναπόσπαστα μέλη ενός παγκόσμιου δικτύου ατόμων που έχουν βαθιά εκτίμηση για τη φύση και συμμετέχουν ενεργά στην πρόοδο της έρευνας για τη βιοποικιλότητα.

Η χρήση εφαρμογών παρακολούθησης της βιοποικιλότητας είχε σημαντική επίδραση στη διαφύλαξη των απειλούμενων ειδών και των αντίστοιχων οικοσυστημάτων τους (Cooper et al., 2007). Τα δεδομένα που συλλέγονται έχουν τη δυνατότητα να επιστήσουν την προσοχή σε συγκεκριμένες περιοχές που απαιτούν προσπάθειες διατήρησης, βοηθώντας έτσι τους οργανισμούς να καθορίσουν τα πιο κρίσιμα βήματα για την προστασία των οικοσυστημάτων που κινδυνεύουν, όπως αναφέρεται στη δουλειά των (McKinley et al., 2017). Επιπλέον, η συμμετοχή των ατόμων στην παρακολούθηση της βιοποικιλότητας χρησιμεύει ως ισχυρός μηχανισμός για την προώθηση της περιβαλλοντικής εκπαίδευσης. Αυτή η δραστηριότητα προάγει την κατανόηση των οικοσυστημάτων, τις οικολογικές διαδικασίες και την περίπλοκη ισορροπία της ζωής στον πλανήτη μας (Elliott & Rosenberg, 2019). Οι συμμετέχοντες στη μελέτη όχι μόνο αναλαμβάνουν το ρόλο των παρατηρητών αλλά και συνηγορούν ενεργά για τη διατήρηση και τη διατήρηση του φυσικού περιβάλλοντος.

### 6.3.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΞΕΡΕΥΝΗΣΗΣ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΟΣ

---

Η έλευση των εφαρμογών εξερεύνησης του διαστήματος έχει προσφέρει στους μελετητές της ΕτΠ μια πύλη προς την τεράστια έκταση του σύμπαντος, επιτρέποντας τη συμμετοχή τους δίπλα σε επαγγελματίες αστρονόμους, αστροφυσικούς και λάτρεις του διαστήματος. Η δυνατότητα των εφαρμογών εξερεύνησης του διαστήματος να καταστήσουν το τεράστιο και περίπλοκο σύμπαν προσιτό σε άτομα που χρησιμοποιούν smartphone ή tablet θεωρείται κρίσιμο χαρακτηριστικό (Heigl et al., 2019). Αυτές οι εφαρμογές διευκολύνουν τη σύνδεση μεταξύ προσώπων και ουράνιων φαινομένων, που περιλαμβάνουν πλανήτες, αστέρια, γαλαξίες και κοσμικά γεγονότα. Παρέχουν μια διαδραστική και ενημερωτική πλατφόρμα για τους χρήστες να συμμετέχουν στην εξερεύνηση του σύμπαντος.

Μία από τις κύριες λειτουργίες που προσφέρουν οι εφαρμογές εξερεύνησης του διαστήματος περιλαμβάνει την παροχή χαρτών ουρανού σε πραγματικό χρόνο και αστρικών χαρτών. Αυτά τα τεχνολογικά όργανα διευκολύνουν την αναγνώριση αστερισμών, πλανητών και άλλων ουράνιων οντοτήτων χρησιμοποιώντας έναν μηχανισμό που επιτρέπει στους χρήστες να ευθυγραμμίσουν το gadget τους με τον νυχτερινό ουρανό. Αυτή η διαδραστική εμπειρία παρατήρησης των άστρων διευκολύνει μια μεγαλύτερη σύνδεση με τα θαύματα του σύμπαντος εντός των ορίων του δικού του περιβάλλοντος.

Οι εφαρμογές αστρονομίας προσφέρουν συχνά δεδομένα που σχετίζονται με επερχόμενα ουράνια συμβάντα, όπως βροχές μετεωριτών, εκλείψεις και πλανητικές ευθυγραμμίσεις (Riesch & Potter, 2014). Αυτό το χαρακτηριστικό δεν χρησιμεύει μόνο για να παρέχει στους χρήστες πληροφορίες, αλλά χρησιμεύει επίσης στην προώθηση υπαίθριων δραστηριοτήτων και στη διευκόλυνση της παρατήρησης ουράνιων γεγονότων, προωθώντας έτσι μια αίσθηση σύνδεσης με το νυχτερινό στερέωμα. Ακόμη, οι εφαρμογές εξερεύνησης του διαστήματος συχνά παρέχουν εκπαιδευτικό υλικό που βοηθά τους χρήστες να κατανοήσουν τις επιστημονικές αρχές που διέπουν την τεράστια έκταση του σύμπαντος (Newman et al., 2012). Τα άτομα έχουν τη δυνατότητα να επωφεληθούν από μια ποικιλία αστρονομικών πόρων, συμπεριλαμβανομένων άρθρων, ταινιών και διαδραστικών μαθημάτων. Αυτοί οι πόροι περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα θεμάτων στον τομέα της αστρονομίας, που κυμαίνονται από τα περίπλοκα στάδια της αστρικής εξέλιξης έως την αινιγματική φύση των μαύρων τρυπών.

Επιπλέον, αυτές οι εφαρμογές συχνά ενσωματώνουν λειτουργίες σχεδιασμένες για το σκοπό της λήψης αστροφωτογραφίας. Τα άτομα έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιούν τον ηλεκτρονικό τους εξοπλισμό για να συλλαμβάνουν εικόνες του νυχτερινού στερεώματος, επιτρέποντάς τους έτσι να καταγράφουν τις επιστημονικές τους ανακαλύψεις και να διαδίδουν τις συναντήσεις τους με ουράνια φαινόμενα σε ένα ευρύτερο κοινό (Strasser et al., 2019). Η συμπερίληψη της δημιουργικότητας στο πλαίσιο της εξερεύνησης του διαστήματος εισάγει ένα επιπλέον επίπεδο στην εμπειρία. Πολυάριθμες εφαρμογές που σχετίζονται με την εξερεύνηση του διαστήματος προωθούν ενεργά τη συμμετοχή της κοινότητας. Τα άτομα έχουν την ευκαιρία να συμμετέχουν σε διαδικτυακά φόρουμ, όπου μπορούν να συνεισφέρουν ενεργά τις δικές τους παρατηρήσεις και να συμμετέχουν ενεργά σε συζητήσεις που σχετίζονται με ένα ευρύ φάσμα αστρονομικών θεμάτων. Η εμπειρία του να είσαι μέρος μιας κοινότητας ατόμων που ενδιαφέρονται να δουν ουράνια σώματα προωθεί τις συλλογικές προσπάθειες και διευκολύνει την απόκτηση γνώσεων από έμπειρους αστρονόμους.

Στον τομέα της επιστήμης των πολιτών, οι εφαρμογές εξερεύνησης του διαστήματος διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην απόκτηση δεδομένων (Cooper et al., 2007). Τα άτομα έχουν την ικανότητα να τεκμηριώνουν και να κοινοποιούν τα εμπειρικά τους ευρήματα σχετικά με ουράνια γεγονότα όπως βροχές μετεωριτών, σεληνιακές φάσεις και κινήσεις πλανητών. Τα παρεχόμενα δεδομένα χρησιμεύουν ως πολύτιμη συμβολή στην επιστημονική έρευνα, βοηθώντας τους αστρονόμους στις προσπάθειές τους να παρακολουθούν και να αναλύουν τις διακυμάνσεις που συμβαίνουν μέσα στην ουράνια σφαίρα. Οι εφαρμογές εξερεύνησης του διαστήματος παρέχουν επίσης στους χρήστες τη δυνατότητα να διαμορφώνουν τηλεσκόπια και κάμερες με σκοπό την παρακολούθηση και τη λήψη δεδομένων που σχετίζονται με συγκεκριμένα κοσμικά γεγονότα. Οι προαναφερθείσες συνεισφορές συχνά παρέχουν υποστήριξη για τρέχουσες ερευνητικές προσπάθειες, ενισχύοντας έτσι την ενεργό συνεργασία μεταξύ των χρηστών και διευκολύνοντας τη διερεύνηση αινιγματικών πτυχών του σύμπαντος. Τέλος, οι προεκτάσεις των εφαρμογών εξερεύνησης του διαστήματος υπερβαίνουν τις επιστημονικές συνεισφορές. Το θέμα προκαλεί μια βαθιά αίσθηση δέους και διανοητικής διερεύνησης σχετικά με το σύμπαν. Τα άτομα βιώνουν συχνά την καλλιέργεια ενός βαθύ θαυμασμού για τις αινιγματικές πτυχές του σύμπαντος, που στη συνέχεια τρέφει μια διαρκή γοητεία στους τομείς της αστρονομίας και της αστροφυσικής.

### 6.3.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΥΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΙΑΤΡΙΚΗΣ ΈΡΕΥΝΑΣ

---

Η χρήση εφαρμογών έρευνας για την υγεία και την ιατρική έχει δώσει τη δυνατότητα στα άτομα να συμμετέχουν ενεργά σε επιστημονικές έρευνες που σχετίζονται με την προσωπική τους ευημερία και την πρόοδο της ιατρικής κατανόησης (Mueller et al., 2012). Ένα αξιοσημείωτο χαρακτηριστικό των εφαρμογών για την υγεία και την ιατρική έρευνα είναι η ικανότητά τους να διευκολύνουν τη συλλογή προσωπικών δεδομένων υγείας. Τα άτομα έχουν τη δυνατότητα να παρακολουθούν διάφορες διαστάσεις της ευημερίας τους, συμπεριλαμβανομένων, ενδεικτικά, των καρδιακών παλμών, των προτύπων ύπνου, των επιπέδων σωματικής δραστηριότητας και των διατροφικών πρακτικών (Conrad & Hilchey, 2011). Τα προαναφερθέντα δεδομένα αποκτούν μεγάλη σημασία από την άποψη της προσωπικής ευημερίας και συμβάλλουν επίσης ζωτικής σημασίας σε ευρύτερες ερευνητικές προσπάθειες για την υγεία.

Οι εφαρμογές ιατρικής έρευνας συχνά λειτουργούν ως ενδιάμεσοι για κλινικές δοκιμές και έρευνες. Τα άτομα έχουν την ευκαιρία να συμμετάσχουν σε ερευνητικές μελέτες που σχετίζονται με τις συγκεκριμένες ιατρικές τους ανησυχίες ή να συμμετάσχουν σε κλινικές δοκιμές που διερευνούν νέες θεραπείες ή παρεμβάσεις (Elliott & Rosenberg, 2019). Η συμμετοχή των συμμετεχόντων σε ερευνητικές μελέτες προσφέρει στους ερευνητές πρόσβαση σε ένα ευρύ φάσμα ατόμων, επιταχύνοντας δυνητικά τον ρυθμό με τον οποίο σημειώνονται ιατρικές προόδους. Το εκπαιδευτικό στοιχείο αυτών των εφαρμογών είναι κρίσιμο. Συχνά, παρέχουν δεδομένα σχετικά με διάφορες ασθένειες υγείας, συμπτώματα και εναλλακτικές λύσεις θεραπείας. Η συμπερίληψη αυτού του εκπαιδευτικού στοιχείου όχι μόνο δίνει τη δυνατότητα στους καταναλωτές να κάνουν καλά ενημερωμένες επιλογές υγείας αλλά επίσης καλλιεργεί μια βαθύτερη κατανόηση της ιατρικής επιστήμης.

Η συμπερίληψη της παρακολούθησης της υγείας σε πραγματικό χρόνο αποτελεί βασικά στοιχεία. Τα άτομα έχουν τη δυνατότητα να λαμβάνουν ειδοποιήσεις σχετικά με τις μετρήσεις υγείας τους, ενισχύοντας έτσι την επίγνωσή τους για τυχόν διακυμάνσεις στη γενική τους υγεία και παρακινώντας τους να αναζητήσουν κατάλληλη ιατρική καθοδήγηση όταν είναι απαραίτητο. Η εφαρμογή αυτής της προληπτικής προσέγγισης έχει τη δυνατότητα να οδηγήσει σε έγκαιρο εντοπισμό και επακόλουθη παρέμβαση. Επιπλέον, αυτές οι εφαρμογές έχουν συχνά στοιχεία για τη διευκόλυνση της επικοινωνίας με τους παρόχους υγειονομικής περίθαλψης ή την απόκτηση δευτερογενών αξιολογήσεων. Τα άτομα έχουν την ευκαιρία να αναζητήσουν καθοδήγηση από

επαγγελματίες ιατρούς ή εμπειρογνώμονες μέσω πλατφορμών τηλεϊατρικής, δίνοντάς τους τη δυνατότητα να λαμβάνουν συστάσεις και να επωφελούνται από υλικά υγειονομικής περίθαλψης, μέσω της ευκολίας των φορητών συσκευών τους.

Η κοινοτική στήριξη διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στον τομέα των εφαρμογών για την υγεία και την ιατρική έρευνα. Τα άτομα έχουν τη δυνατότητα να δημιουργήσουν σχέσεις με εκείνους που έχουν συγκρίσιμες δυσκολίες υγείας, που περιλαμβάνουν ασυνήθιστες ασθένειες, χρόνιες παθήσεις ή στόχους ευεξίας. Η εμπειρία του αισθήματος ότι ανήκει σε μια κοινότητα έχει τη δυνατότητα να προσφέρει στα άτομα συναισθηματική υποστήριξη και χρήσιμες προοπτικές για τη διαχείριση της υγείας (Strasser et al., 2019). Μελετητές της ΕτΠ συμμετέχουν μάλιστα ενεργά στην έρευνα που σχετίζεται με διάφορα θέματα υγείας. Τα άτομα έχουν την ικανότητα να παρέχουν δεδομένα που σχετίζονται με πολλές πτυχές όπως οι συνήθειες ύπνου, η καρδιαγγειακή υγεία, η ψυχική ευεξία και άλλοι σχετικοί παράγοντες. Η συγκέντρωση αυτών των δεδομένων χρησιμεύει ως το θεμέλιο για προσπάθειες ιατρικής έρευνας που έχουν τη δυνατότητα να ενισχύσουν τις θεραπευτικές προσεγγίσεις, τις παρεμβάσεις και τις μεθοδολογίες υγειονομικής περίθαλψης.

Επιπλέον, οι εφαρμογές της υγείας και της ιατρικής έρευνας πρωτοστατούν στον τομέα της εξατομικευμένης ιατρικής. Τα άτομα έχουν τη δυνατότητα να συνεισφέρουν τα δεδομένα υγείας και τις γονιδιωματικές τους πληροφορίες για τους σκοπούς της μελέτης, διευκολύνοντας την προώθηση εξατομικευμένων θεραπευτικών στρατηγικών που ταιριάζουν ειδικά στη διακριτή γενετική σύνθεση ενός ατόμου. Οι εφαρμογές έχουν σημαντική επίδραση στην επιτήρηση ασθενειών και στην παρακολούθηση των εστιών. Τα άτομα έχουν τη δυνατότητα να καταγράφουν τα συμπτώματά τους και να παρέχουν δεδομένα που βοηθούν τις αρχές δημόσιας υγείας στην παρακολούθηση της διάδοσης ασθενειών, όπως η γρίπη ή του COVID-19. Η χρήση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο έχει μεγάλη σημασία στον τομέα της επιδημιολογικής έρευνας και στην εφαρμογή στρατηγικών ανταπόκρισης.

#### 6.3.4 Η ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ ZOONIVERSE

---

Το Zooniverse είναι μια διαδικτυακή πλατφόρμα αφιερωμένη στην επιστήμη των πολιτών, που επιτρέπει στο ευρύ κοινό να συμβάλλει σε πραγματική επιστημονική έρευνα συμμετέχοντας σε διάφορα έργα. Ξεκίνησε το 2007 και από τότε έχει εξελιχθεί σε μία από τις μεγαλύτερες και πιο δημοφιλείς πλατφόρμες επιστήμης των πολιτών παγκοσμίως. Η πλατφόρμα αξιοποιεί τη δύναμη του πλήθους (crowdsourcing) για να βοηθήσει τους ερευνητές να διαχειριστούν και να αναλύσουν μεγάλα σύνολα δεδομένων που θα ήταν δύσκολο ή αδύνατο να επεξεργαστούν χειροκίνητα. Αυτή η προσέγγιση καθιστά την επιστημονική έρευνα πιο προσβάσιμη και συνεργατική.

Το Zooniverse χρησιμοποιείται από επιστήμονες και ερευνητές για να αξιοποιήσουν τις συλλογικές προσπάθειες των εθελοντών ώστε να επεξεργαστούν μεγάλα σύνολα δεδομένων και να λάβουν ταξινομήσεις δεδομένων που είναι απαραίτητες για την έρευνά τους. Επιπλέον, χρησιμοποιείται από το γενικό κοινό και εθελοντές, συμπεριλαμβανομένων μαθητών, εκπαιδευτικών, συνταξιούχων και χομπίστων, που συμμετέχουν σε έργα του Zooniverse για να συμβάλλουν στην επιστήμη και να μάθουν περισσότερα για διάφορους τομείς έρευνας. Εκπαιδευτικοί χρησιμοποιούν την πλατφόρμα ως εργαλείο για να εμπλέξουν τους μαθητές σε πραγματική επιστημονική έρευνα και να ενισχύσουν το ενδιαφέρον για την επιστήμη (Land-Zandstra et al., 2016).

Η πλατφόρμα προσφέρει φιλικό προς τον χρήστη περιβάλλον με ποικιλία έργων από διάφορους επιστημονικούς κλάδους, οδηγίες και καθοδήγηση για να βοηθήσει τους εθελοντές να κατανοήσουν τι πρέπει να κάνουν, κοινωνική αλληλεπίδραση μέσω φόρουμ και πινάκων συζητήσεων, και στοιχεία παιχνιδοποίησης (gamification) για να κάνουν τη συμμετοχή πιο ενδιαφέρουσα και ανταποδοτική. Η πλατφόρμα αυτή αποτελεί παράδειγμα του δυναμικού της επιστήμης των πολιτών να αξιοποιεί τη συλλογική δύναμη των εθελοντών σε παγκόσμιο επίπεδο, συμβάλλοντας σε σημαντικές επιστημονικές προόδους ενώ εκπαιδεύει το κοινό (Simpson, 2014).

## 6.4 ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

---

### 6.4.1 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΕΠΙΚΥΡΩΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

---

Στο πεδίο της επιστήμης των πολιτών, η σχολαστικότητα και η επαλήθευση των δεδομένων έχουν ουσιαστική σημασία, καθώς τεκμηριώνουν την αξιοπιστία των πληροφοριών που συγκεντρώνονται από άτομα που εμπλέκονται στη διαδικασία. Η διαδικασία διασφάλισης της ποιότητας των δεδομένων ξεκινά με τη θέσπιση σαφών και συνοπτικών πρωτοκόλλων συλλογής δεδομένων. Οι πρωτοβουλίες επιστήμης των πολιτών παρέχουν στους συμμετέχοντες σαφείς κατευθυντήριες γραμμές σχετικά με τη διαδικασία των παρατηρήσεων και της τεκμηρίωσης δεδομένων (Jordan et al., 2012). Ο σκοπός αυτών των πρωτοκόλλων είναι να μειώσουν τα σφάλματα και να καθιερώσουν μια τυποποιημένη προσέγγιση στη διαδικασία συλλογής δεδομένων.

Η ενσωμάτωση της επικύρωσης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο είναι μια βασική πτυχή που βρίσκεται σε πολλές εφαρμογές της επιστήμης των πολιτών (Mueller et al., 2012). Η προαναφερθείσα διαδικασία περιλαμβάνει αυτόματες αξιολογήσεις που εκτιμούν την αληθοφάνεια και τη συνοχή των δεδομένων κατά την υποβολή τους. Μια πιθανή προσέγγιση για τη διασφάλιση της ακρίβειας των παρατηρήσεων είναι η επαλήθευση των συντεταγμένων GPS για να επιβεβαιωθεί η ευθυγράμμισή τους με την αναμενόμενη γεωγραφική περιοχή. Παράλληλα, χρησιμοποιούνται τεχνικές ποιοτικού ελέγχου για τον εντοπισμό και την επισήμανση πιθανών ελαττωμάτων ή ανωμαλιών στα δεδομένα (Parsons et al., 2011). Οι προαναφερθέντες αλγόριθμοι διαθέτουν την ικανότητα να αναγνωρίζουν τιμές, αποκλίσεις ή μοτίβα που παρουσιάζουν απιθανότητα ή αποκλίνουν από τον αναμενόμενο κανόνα. Αφού επισημανθούν, τα δεδομένα μπορούν να υποβληθούν σε διαδικασία αξιολόγησης και επικύρωσης από συντονιστές ή εμπειρογνώμονες έργων.

Η διαδικασία επικύρωσης δεδομένων απαιτεί συχνά μια συλλογική προσέγγιση (Riesch & Potter, 2014). Οι πρωτοβουλίες για την επιστήμη των πολιτών συχνά περιλαμβάνουν τη συμμετοχή έμπειρων εθελοντών ή συντονιστών έργων που συμμετέχουν στα κρίσιμα καθήκοντα της αξιολόγησης και επικύρωσης δεδομένων. Αυτοί οι εμπειρογνώμονες είναι υπεύθυνοι για την αξιολόγηση των δεδομένων που παρέχονται από τους συμμετέχοντες για να διασφαλίσουν την ακρίβεια και την αξιοπιστία τους. Σε ορισμένες περιπτώσεις μάλιστα, οι συμμετέχοντες

καλούνται να υποβάλουν συμπληρωματικά αποδεικτικά στοιχεία, όπως φωτογραφίες, ηχογραφήσεις ή συμπληρωματικές σημειώσεις. Η συμπερίληψη συμπληρωματικών πληροφοριών μπορεί να ενισχύσει την αξιοπιστία και τη χρήση των δεδομένων παρέχοντας επικύρωση και δημιουργία συμφραζομένων, καθιστώντας τα πιο κατάλληλα για σκοπούς ακαδημαϊκής έρευνας (Mueller et al., 2012).

Οι βρόχοι ανάδρασης διαδραματίζουν βασικό ρόλο στη βελτίωση της ποιότητας των δεδομένων. Οι συντονιστές του έργου συχνά επικοινωνούν με τους συμμετέχοντες προκειμένου να προσφέρουν οδηγίες και εξηγήσεις σχετικά με τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή δεδομένων. Η παρουσία αυτού του βρόχου ανατροφοδότησης διευκολύνει μια δυναμική διαδικασία μάθησης, επιτρέποντας στα άτομα να βελτιώσουν και να τελειοποιήσουν τις ικανότητές τους στην παρατήρηση. Η επικύρωση δεδομένων (crowdsourcing) αντιπροσωπεύει μια πρόσθετη ωφέλιμη μεθοδολογία. Σε πολλές περιπτώσεις πρωτοβουλιών επιστήμης των πολιτών, μια σημαντική ομάδα ατόμων συμμετέχει σε συλλογικές προσπάθειες για την αξιολόγηση και την πιστοποίηση των δεδομένων που παρέχονται από τους συνομηλίκους τους. Αυτή η συλλογική προσπάθεια αξιοποιεί τη συγκεντρωτική γνώση και τις γνώσεις μιας ομάδας ατόμων, διευκολύνοντας τον εντοπισμό και τη διόρθωση λαθών.

Η χρήση της μηχανικής μάθησης και της τεχνητής νοημοσύνης έχει δει μια αυξανόμενη τάση στην εφαρμογή της προς την ενίσχυση της διαδικασίας επικύρωσης δεδομένων. Αυτές οι τεχνολογίες έχουν τη δυνατότητα να ανιχνεύουν μοτίβα και ανωμαλίες σε εκτεταμένα σύνολα δεδομένων, ενισχύοντας έτσι την αποτελεσματικότητα και την ακρίβεια της διαδικασίας επικύρωσης.

Το θέμα της ποιότητας των δεδομένων στην έρευνα πολιτών δεν περιλαμβάνει μόνο τον εντοπισμό σφαλμάτων, αλλά και τον μετριασμό των προκαταλήψεων. Είναι επιτακτική ανάγκη να ληφθούν υπόψη τυχόν προκαταλήψεις που μπορεί να προκύψουν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας συλλογής δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων παραγόντων όπως η τοποθεσία και το ιστορικό των συμμετεχόντων, καθώς και οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για παρατήρηση (Kobori et al., 2016). Η κατανόηση αυτών των προκαταλήψεων δίνει τη δυνατότητα στους ερευνητές να αναπτύξουν πιο περίπλοκες ερμηνείες των δεδομένων.



Οι διαδικασίες ποιότητας και επικύρωσης δεδομένων είναι συνεχείς και διαρκούς χαρακτήρα. Η εξέλιξη των προσεγγίσεων διασφάλισης ποιότητας δεδομένων καθοδηγείται από τη συσσώρευση δεδομένων και την αυξανόμενη τεχνογνωσία των συμμετεχόντων (Parsons et al., 2011). Η χρήση αυτής της προσαρμοστικής μεθοδολογίας διασφαλίζει ότι τα δεδομένα που παρέχονται από επιστήμονες πολίτες παραμένουν σύμφωνα με τα μέγιστα πρότυπα ακρίβειας και αξιοπιστίας.

#### 6.4.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕΣΩ ΠΛΗΘΟΠΟΡΙΣΜΟΥ (CROWDSOURCING)

---

Η χρήση της ανάλυσης δεδομένων μέσω crowdsourcing σηματοδοτεί μια σημαντική αλλαγή παραδείγματος στη μεθοδολογία που χρησιμοποιείται για την επιστημονική έρευνα (Cooper et al., 2007). Ο άφθονος όγκος δεδομένων που παράγονται σε πρωτοβουλίες επιστήμης των πολιτών μπορεί να είναι μια τρομακτική πρόκληση για έναν ερευνητή ή μια μικρή ερευνητική ομάδα. Η χρήση του crowdsourcing για την ανάλυση δεδομένων παρουσιάζει μια βιώσιμη προσέγγιση για την αντιμετώπιση αυτής της συγκεκριμένης πρόκλησης, καθώς περιλαμβάνει τη δίκαιη κατανομή των καθηκόντων μεταξύ μιας ετερογενούς και με κίνητρα ομάδας ατόμων.

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα της χρήσης ανάλυσης δεδομένων με crowdsourcing είναι η δυνατότητα για αποτελεσματική και γρήγορη επεξεργασία εκτεταμένων συνόλων δεδομένων. Αυτή η μεθοδολογία χρησιμοποιεί τις συνδυασμένες δυνατότητες πολλών συμμετεχόντων που αφιερώνουν τον χρόνο και τις εξειδικευμένες γνώσεις τους για την αξιολόγηση, το χειρισμό και την ανάλυση δεδομένων. Η χρήση του crowdsourcing συχνά συνεπάγεται την ενσωμάτωση ενός ευρέος φάσματος προοπτικών και υποβάθρων, ενισχύοντας έτσι την αναλυτική διαδικασία. Οι συμμετέχοντες στη μελέτη μπορεί να διαθέτουν διαφορετικούς βαθμούς γνώσης, οι οποίοι μπορούν να συμβάλουν σε μια ευρύτερη και πιο λεπτή κατανόηση των δεδομένων.

Η ευκαιρία να συμμετάσχουν σε ανάλυση δεδομένων με crowdsourcing είναι συχνά διαθέσιμη σε μια διαφορετική ομάδα ατόμων, ανεξάρτητα από τη γεωγραφική τους θέση ή την προηγούμενη επιστημονική τους εμπειρία (Newman et al., 2011). Η προώθηση της ένταξης διευκολύνει την αυξημένη συμμετοχή των ατόμων σε επιστημονικές ερευνητικές προσπάθειες, ενισχύοντας έτσι την πολύτιμη συνεισφορά τους σε διάφορους ακαδημαϊκούς κλάδους. Προκειμένου να διατηρηθούν τα πρότυπα και η ομοιομορφία της ανάλυσης, πολλές

πρωτοβουλίες επιστήμης των πολιτών ενσωματώνουν προγράμματα κατάρτισης και σαφείς κανόνες για τα μέλη τους (Newman et al., 2011). Αυτοί οι πόροι διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη διατήρηση της ακεραιότητας των δεδομένων και στον μετριασμό της πιθανότητας σφαλμάτων.

Οι βρόχοι ανάδρασης σε πραγματικό χρόνο εφαρμόζονται για την αντιμετώπιση ερωτήσεων, την προσφορά εξηγήσεων και την υποστήριξη των συμμετεχόντων στις προσπάθειές τους για ανάλυση δεδομένων (Pocock et al., 2017). Σε πολλές περιπτώσεις, οι διαχειριστές έργων ή τα άτομα με εκτεταμένη τεχνογνωσία στον εθελοντισμό είναι εύκολα προσβάσιμα για να απαντήσουν σε ερωτήματα και να παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες, δημιουργώντας έτσι μια ατμόσφαιρα τροφής για τους συμμετέχοντες. Η χρήση εργαλείων μηχανικής μάθησης και αυτοματισμού είναι μια κοινή πρακτική στον τομέα της ανάλυσης δεδομένων (Resnik et al., 2015). Αυτές οι τεχνολογίες έχουν τη δυνατότητα ταξινόμησης, βελτίωσης και προεπεξεργασίας δεδομένων, ενισχύοντας έτσι την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας και δίνοντας τη δυνατότητα στους συμμετέχοντες να επικεντρωθούν σε πιο προηγμένες εργασίες ανάλυσης.

Ορισμένα προγράμματα ανάλυσης δεδομένων crowdsourcing προωθούν την πρακτική της συλλογικής λήψης αποφάσεων (Resnik et al., 2015). Οι συμμετέχοντες έχουν την ευκαιρία να συμμετάσχουν σε συζητήσεις σχετικά με τα ευρήματά τους, να ανταλλάξουν πολύτιμες σκέψεις και από κοινού να καταλήξουν σε τεκμηριωμένα συμπεράσματα. Η χρήση μιας συνεργατικής προσέγγισης έχει τη δυνατότητα να αποφέρει αποτελέσματα που είναι πιο ολοκληρωμένα και ανθεκτικά.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης δεδομένων που διεξάγεται μέσω του crowdsourcing διαδίδονται συχνά τόσο στο ευρύ κοινό όσο και στην επιστημονική κοινότητα (Strasser et al., 2019). Η πρακτική της διαφάνειας όχι μόνο καλλιεργεί εμπιστοσύνη αλλά διευκολύνει επίσης τη διάδοση της γνώσης και των προόδων μεταξύ της ευρύτερης ερευνητικής κοινότητας, που προκύπτουν από επιστημονικές προσπάθειες των πολιτών. Η συμμετοχή των επιστημόνων πολιτών στη μελέτη δεδομένων έχει μεγάλη σημασία σε διάφορους επιστημονικούς κλάδους (Strasser et al., 2019). Συμβάλλουν σημαντικά στην κατανόηση διαφορετικών φαινομένων, συμπεριλαμβανομένης της συμπεριφοράς της άγριας ζωής, των κλιματικών τάσεων, των

επιδημιών ασθενειών και πολλών άλλων τομέων μελέτης. Το έργο τους παίζει καθοριστικό ρόλο όχι μόνο στην υποστήριξη αλλά και στην προώθηση της προαγωγής της γνώσης.

Η χρήση της ανάλυσης δεδομένων με χρήση crowdsourcing έχει μια σημαντική ικανότητα αντιμετώπισης ερευνητικών ερευνών που διαφορετικά θα θεωρούνταν ανέφικτα. Μέσω της στρατολόγησης μιας ευρείας και ετερογενούς ομάδας ατόμων, οι μελετητές είναι σε θέση να εξετάσουν περίπλοκα και περίπλοκα ζητήματα, όπως η κλιματική αλλαγή ή η παρακολούθηση της βιοποικιλότητας, σε παγκόσμιο μέγεθος.

## 7. ΕΝΔΥΝΑΜΩΣΗ ΤΩΝ ΠΟΛΙΤΩΝ ΩΣ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ

Στην τελική ενότητα της ανάλυσής μας, διερευνούμε τη βαθιά δυνατότητα για αλλαγή που είναι εγγενής στην επιστήμη των πολιτών. Το Κεφάλαιο 7, με τίτλο «Ενδυνάμωση των πολιτών ως επιστημονικοί συντελεστές», υπογραμμίζει τη σημαντική επιρροή των ατόμων που, οπλισμένοι με smartphones και την ικανότητα συνεργασίας, συμμετέχουν ως ενεργοί συντελεστές στην επιστημονική έρευνα. Αυτό το κεφάλαιο εξετάζει τις ευρύτερες προεκτάσεις της επιστήμης των πολιτών, δίνοντας έμφαση στην ικανότητά της να ενδυναμώνει τα άτομα στη διαμόρφωση του επιστημονικού τομέα, στη διάδοση της επιστημονικής μεθόδου και την προώθηση της γνώσης.

Μέσω της χρήσης κινητών τηλεφώνων, τα άτομα έχουν την ικανότητα να συμμετέχουν στην παρακολούθηση της βιοποικιλότητας, να εμβαθύνουν στην εξερεύνηση του σύμπαντος, να εντοπίζουν κλιματικά πρότυπα και να διεξάγουν έρευνες που σχετίζονται με διάφορους επιστημονικούς τομείς. Έχουν αναδειχθεί ως πολύτιμοι πόροι σε επιστημονικές έρευνες, αλλάζοντας έτσι τον παραδοσιακό ρόλο των απλών παρατηρητών σε αυτόν των ενεργών συμμετεχόντων. Αυτό το κεφάλαιο διευκρινίζει τις πολλαπλές διαστάσεις αυτής της αλλαγής, επισημαίνοντας τις θεμελιώδεις ιδέες που αποτελούν το θεμέλιο της επιστήμης των πολιτών και τα ηθικά ζητήματα που τη διέπουν.

Επιπλέον, το Κεφάλαιο 7 εμβαθύνει στις εκπαιδευτικές επιπτώσεις της επιστήμης των πολιτών, με ιδιαίτερη έμφαση στην ικανότητά της να καλλιεργεί τον επιστημονικό γραμματισμό, την περιέργεια και ένα πάθος ζωής για την απόκτηση γνώσης (Elliott & Rosenberg, 2019). Αυτή η ανάλυση διερευνά τους ηθικούς λόγους που είναι απαραίτητοι για να συνοδεύσουν αυτό το ενισχυμένο επίπεδο αλληλεπίδρασης, εστιάζοντας συγκεκριμένα στους τομείς της προστασίας δεδομένων και της ενημερωμένης άδειας.

Τέλος, αυτό το κεφάλαιο διερευνά τη σημασία της επιστήμης των πολιτών στον τομέα της εκπαίδευσης, απεικονίζοντας τον αντίκτυπό της στη διδασκαλία των φοιτητών τριτοβάθμιας εκπαίδευσης και παρουσιάζοντας μεθόδους για τη συμμετοχή της ευρύτερης κοινότητας σε επιστημονικές αναζητήσεις. Αυτή η μελέτη διερευνά τα τρέχοντα πρότυπα και τα εμπόδια στον τομέα, που περιλαμβάνει τη βιωσιμότητα των επιστημονικών έργων των πολιτών και την προσβασιμότητα σε οικονομικούς πόρους για τη στήριξη αυτών των προσπαθειών.

## 7.1 ΕΝΔΥΝΑΜΩΣΗ ΤΟΥ ΚΟΙΝΟΥ

---

### 7.1.1 ΣΥΜΜΕΤΟΧΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΤΗΤΑ

---

Το βασικό δόγμα της προώθησης της δημόσιας συμμετοχής μέσω της επιστήμης των πολιτών έγκειται στη θεμελιώδη αξία της ένταξης και της διαφορετικότητας (Pandya, 2012). Οι πρωτοβουλίες για την επιστήμη των πολιτών είναι σκόπιμα δομημένες ώστε να είναι περιεκτικές και να φιλοξενούν άτομα από διαφορετικά υπόβαθρα, ανεξάρτητα από την ηλικία, το μορφωτικό τους υπόβαθρο ή το επίπεδο επάρκειας. Η θεμελιώδης αρχή της επιστήμης των πολιτών είναι η συμπερίληψη, με στόχο τη συμμετοχή ατόμων που μπορεί να μην έχουν προηγουμένως αυτοπροσδιοριστεί ως επιστήμονες (Bonney et al., 2016). Τα έργα που επικεντρώνονται στα smartphones, συγκεκριμένα, παρέχουν ένα βολικό και εύκολα διαθέσιμο μέσο για τα άτομα να συμμετέχουν. Η προσβασιμότητα της επιστημονικής εξερεύνησης διευκολύνεται από ελάχιστες απαιτήσεις εισόδου, που συνήθως περιορίζονται στην κατοχή smartphone και σύνδεση στο διαδίκτυο, επιτρέποντας έτσι σε ένα ευρύ και ετερογενές κοινό να συμμετάσχει σε αυτήν την επιδίωξη.

Η έννοια της διαφορετικότητας στην έρευνα των πολιτών περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα ατόμων με διαφορετική καταγωγή, εμπειρίες και απόψεις. Αυτό το φαινόμενο χρησιμεύει ως απόδειξη για την ιδέα ότι τα άτομα όλων των ηλικιών, φύλων, φυλών και γεωγραφικών τοποθεσιών έχουν την ικανότητα να κάνουν πολύτιμες συνεισφορές στον τομέα της έρευνας. Η συμπερίληψη ατόμων από διαφορετικά υπόβαθρα ενισχύει την ερευνητική διαδικασία προσφέροντας ένα ευρύ φάσμα προοπτικών και μεθοδολογιών (Jordan et al., 2012).

Οι επιστημονικές πρωτοβουλίες των πολιτών προσπαθούν ενεργά να προωθήσουν τη συμπερίληψη και να αγκαλιάσουν τις περιθωριοποιημένες και μη προνομιούχες κοινότητες. Αυτά τα έργα δίνουν συχνά προτεραιότητα στην επίλυση σχετικών ζητημάτων εντός των τοπικών κοινωνιών, καλλιεργώντας έτσι την αίσθηση της ιδιοκτησίας και της ενδυνάμωσης. Ο πρωταρχικός στόχος είναι να αντιμετωπιστεί η ανισότητα στην επιστημονική εκπροσώπηση και να δημιουργηθεί ένα φόρουμ που ενισχύει τις περιθωριοποιημένες προοπτικές που διαφορετικά θα παρέμεναν ανήκουστες (Jordan et al., 2012).

Η προώθηση της ένταξης και της διαφορετικότητας εντός της επιστημονικής κοινότητας χρησιμεύει στον εκδημοκρατισμό του πεδίου και στην καλλιέργεια της αυξημένης αίσθησης του ανήκειν μεταξύ των μελών του. Οι συμμετέχοντες συχνά ενσωματώνονται σε μια παγκόσμια κοινότητα, όπου συμμετέχουν στην ανταλλαγή των παρατηρήσεων, των ευρημάτων και των σκέψεών τους με τους συναδέλφους τους (Guerrini et al., 2018). Η έννοια της κοινότητας εκτείνεται πέρα από γεωγραφικά, πολιτιστικά και γλωσσικά όρια, ενισχύοντας τις διασυνδέσεις και τις συνεργατικές προσπάθειες που φέρνουν τα άτομα κοντά στην αναζήτησή τους για γνώση.

Η ενσωμάτωση ενός ευρέος φάσματος προοπτικών έχει ουσιαστική επιρροή στο διαμέτρημα και την καταλληλότητα της επιστημονικής έρευνας. Η συμπερίληψη διαφορετικών πολιτιστικών υποβάθρων και τοπικής γνώσης μπορεί να προσφέρει σημαντική επιπρόσθετη αξία στις επιστημονικές παρατηρήσεις (Newman et al., 2011). Σε προσπάθειες που σχετίζονται με τη βιοποικιλότητα, το κλίμα ή την υγεία της κοινότητας, η παρουσία της ποικιλότητας παίζει καθοριστικό ρόλο στη διευκόλυνση μιας πιο ολοκληρωμένης κατανόησης των προαναφερθέντων θεμάτων.

Οι έννοιες της συμπερίληψης και της διαφορετικότητας δεν περιλαμβάνουν μόνο τα εμπλεκόμενα άτομα, αλλά επεκτείνονται και στα ερευνητικά ερωτήματα και τη μεθοδολογία που χρησιμοποιείται (Sullivan et al., 2014). Οι πρωτοβουλίες για την επιστήμη των πολιτών περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα επιστημονικών αναζητήσεων και μεθοδολογιών, οι οποίες διαμορφώνονται από τα διαφορετικά ενδιαφέροντα και τις ικανότητες των εμπλεκόμενων ατόμων. Η ευελιξία προσαρμογής εγγυάται ότι η μελέτη διατηρεί τη συνάφειά της και αντανακλά ένα ευρύ φάσμα ενδιαφερόντων και στόχων.

Επιπλέον, η ενσωμάτωση της ένταξης και της διαφορετικότητας ενισχύει τη διδακτική αποτελεσματικότητα της επιστήμης των πολιτών. Οι συμμετέχοντες σε ερευνητικές μελέτες όχι μόνο συνεισφέρουν πολύτιμες στην πρόοδο της επιστημονικής γνώσης, αλλά αποκτούν επίσης επιστημονικό γραμματισμό, αναπτύσσουν ικανότητες κριτικής σκέψης και καλλιεργούν την εκτίμηση για την επιστημονική μέθοδο (Tweddle et al., 2012). Η απόκτηση αυτής της γνώσης προσδίδει ένα διαρκές πλεονέκτημα, καλλιεργώντας ένα κλίμα που ενθαρρύνει την περιέργεια και την πνευματική ανάπτυξη.

### 7.1.2 ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟΣ ΑΝΤΙΚΤΥΠΟΣ

---

Η εκπαιδευτική επιρροή της επιστήμης των πολιτών εκτείνεται πέρα από τα συμβατικά σχολικά περιβάλλοντα. Ένας από τους κύριους τρόπους με τους οποίους οι πρωτοβουλίες επιστήμης των πολιτών ενισχύουν την εκπαίδευση είναι μέσω της παροχής πρακτικών, βιωματικών ευκαιριών μάθησης. Τα άτομα που εμπλέκονται στην επιστημονική έρευνα δεν είναι απλοί αποδέκτες γνώσης, αλλά μάλλον ενεργοί συμμετέχοντες που συμβάλλουν εμπράκτως. Χρησιμοποιώντας τα smartphones τους, τα άτομα συμμετέχουν στη διαδικασία συλλογής, ανάλυσης και ερμηνείας δεδομένων, η οποία μοιάζει πολύ με τις δραστηριότητες που αναλαμβάνουν επαγγελματίες επιστήμονες. Η βιωματική μάθηση χρησιμεύει στην ενίσχυση της κατανόησής τους, ενώ ταυτόχρονα καλλιεργεί μια ζέση για τον τομέα της επιστήμης.

Τα προγράμματα επιστήμης του πολίτη που χρησιμοποιούν smartphones συχνά ενσωματώνουν στοιχεία gamification. Οι συμμετέχοντες σε επιστημονικές αναζητήσεις, επιτυγχάνουν ορόσημα, παίρνουν μέρος σε συλλογικές προσπάθειες, βιώνοντας ταυτόχρονα μια αίσθηση ενθουσιασμού και εξερεύνησης.

Αυτές οι πρωτοβουλίες παρέχουν μια ξεχωριστή προσέγγιση στην αυτοκατευθυνόμενη μάθηση. Οι συμμετέχοντες έχουν την ευκαιρία να επιλέξουν έργα που είναι σύμφωνα με τα προσωπικά τους ενδιαφέροντα, όπως η παρακολούθηση μεταναστεύσεων πουλιών, η παρακολούθηση των καιρικών τάσεων ή η έρευνα τοπικών οικοσυστημάτων. Η ικανότητα ανεξάρτητης επιλογής έργων ενισχύει την ατομική περιέργεια και το κίνητρο (Fraisl et al., 2020).

Η εκπαιδευτική σημασία της επιστήμης των πολιτών περιλαμβάνει μια ποικιλία επιστημονικών τομέων. Οι συμμετέχοντες έχουν την ευκαιρία να ασχοληθούν με τη μελέτη της αστρονομίας, της βιολογίας, της επιστήμης του κλίματος και άλλων κλάδων, αποκτώντας έτσι γνώση και κατανόηση σε τομείς που ενδέχεται να μην αντιμετωπίζονται εκτενώς εντός των ορίων του συμβατικού εκπαιδευτικού προγράμματος σπουδών τους.

Εκτός από την ένταξη επιστημονικού υλικού, οι συμμετέχοντες καλλιεργούν και κρίσιμες ικανότητες (Sullivan et al., 2014). Οι επιστήμονες των πολιτών αναπτύσσουν ικανότητες στη συλλογή και ανάλυση δεδομένων, την κριτική σκέψη, την επίλυση προβλημάτων και τη συνεργατική εργασία. Αυτά τα ταλέντα έχουν την ικανότητα να εφαρμόζονται σε

διάφορους τομείς της ζωής και είναι ζωτικής σημασίας για τις μελλοντικές επαγγελματικές προοπτικές.

Οι πρωτοβουλίες επιστήμης των πολιτών παρέχουν συχνά χρήσιμους εκπαιδευτικούς πόρους, όπως πρόσβαση σε σεμινάρια, οδηγούς και εκπαιδευτικό υλικό που βοηθούν στην ενίσχυση της κατανόησης για επιστημονικών θεμάτων. Η ενσωμάτωση μιας εκπαιδευτικής συνιστώσας εμποτίζει την επιστήμη των πολιτών με τα χαρακτηριστικά μιας αυτοκατευθυνόμενης και ρυθμισμένης μαθησιακής προσπάθειας.

Επιπλέον, το κοινοτικό στοιχείο των πρωτοβουλιών επιστήμης των πολιτών καλλιεργεί μια κουλτούρα που επικεντρώνεται στη συλλογική απόκτηση γνώσης. Οι συμμετέχοντες δημιουργούν συνδέσεις με άτομα που έχουν συγκρίσιμα ενδιαφέροντα και συχνά συμμετέχουν σε διαλόγους, ανταλλάσσουν ανακαλύψεις και ζητούν καθοδήγηση. Το παρόν πλαίσιο συνεργασίας προωθεί τη διευκόλυνση της ανταλλαγής πληροφοριών και εμπειρογνομosύνης.

Τέλος, η επιστήμη των πολιτών εξοικειώνει τους συμμετέχοντες με την επιστημονική μέθοδο και τους ενθαρρύνει να την εφαρμόζουν πρακτικά. Αυτό επιτρέπει στα άτομα να διεξάγουν έλεγχο γεγονότων (fact checking) και ανεξάρτητη έρευνα σε αμφιλεγόμενα θέματα όπως οι θεωρίες συνωμοσίας, εκμεταλλεόμενοι ιδιαίτερα τα εργαλεία AI για υποστήριξη (Vohland, K., et al. 2021).

Οι εκπαιδευτικές επιδράσεις της επιστήμης των πολιτών εκτείνονται πέρα από την ηλικία και τα επίσημα επίπεδα εκπαίδευσης. Η αναζήτηση της γνώσης είναι μια συνεχής προσπάθεια, όπου το smartphone χρησιμεύει ως ένα πολύπλευρο όργανο για εξερεύνηση.

## 7.2 ΗΘΙΚΑ ΖΗΤΗΜΑΤΑ

---

### 7.2.1 ΑΠΟΡΡΗΤΟ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

---

Η σφαίρα της επιστήμης των πολιτών είναι εγγενώς συνυφασμένη με ηθικούς προβληματισμούς, με πρωταρχικό στόχο τη διαφύλαξη της ιδιωτικής ζωής και της ασφάλειας των δεδομένων. Οι πρωτοβουλίες επιστήμης πολιτών που βασίζονται σε smartphones συχνά απαιτούν την υποβολή διαφορετικών συνόλων δεδομένων από τους χρήστες, που περιλαμβάνουν δεδομένα τοποθεσίας, φωτογραφίες και προσωπικές παρατηρήσεις. Η διασφάλιση της προστασίας αυτών των



δεδομένων είναι υψίστης σημασίας. Σύμφωνα με τις δεοντολογικές κατευθυντήριες γραμμές, οι πρωτοβουλίες χρησιμοποιούν αυστηρά πρωτόκολλα ασφαλείας για την προστασία του απορρήτου των συμμετεχόντων.

Η πρακτική της ανωνυμοποίησης δεδομένων θεωρείται βασική πτυχή της διαχείρισης δεδομένων. Τα ευαίσθητα προσωπικά δεδομένα, όπως τα ονόματα των ατόμων και τα στοιχεία επικοινωνίας, εξαλείφονται συστηματικά ή αντικαθίστανται με διακριτά αναγνωριστικά. Η διαδικασία ανωνυμοποίησης εγγυάται ότι τα δεδομένα που λαμβάνονται δεν μπορούν να συσχετιστούν με συγκεκριμένους συμμετέχοντες, προστατεύοντας έτσι το απόρρητό τους.

Επιπλέον, πολλά έργα χρησιμοποιούν μεθοδολογίες κρυπτογράφησης προκειμένου να προστατεύονται τα δεδομένα σε όλη τη διάρκεια των διαδικασιών μετάδοσης και αποθήκευσης. Η κρυπτογράφηση είναι μια διαδικασία που μετατρέπει τα δεδομένα σε ακατάληπτη μορφή, καθιστώντας τα μη αναγνώσιμα (Jordan et al., 2012). Η αποκωδικοποίηση αυτών των κρυπτογραφημένων δεδομένων μπορεί να εκτελεστεί μόνο από εξουσιοδοτημένο προσωπικό, ειδικά συντονιστές έργων, που διαθέτουν τα απαραίτητα κλειδιά αποκρυπτογράφησης (Congrad & Hilchey, 2011). Αυτό το μέτρο ασφαλείας χρησιμεύει για τον μετριασμό του κινδύνου μη εξουσιοδοτημένης πρόσβασης σε εμπιστευτικά δεδομένα.

Η λήψη ενημερωμένης συναίνεσης από τους συμμετέχοντες είναι μια θεμελιώδης αρχή της δεοντολογικής συλλογής δεδομένων εντός της σφαίρας της επιστήμης των πολιτών. Παρέχονται στους συμμετέχοντες πληροφορίες σχετικά με τις διάφορες μορφές δεδομένων που θα συγκεντρωθούν, την προβλεπόμενη χρήση των δεδομένων και τα άτομα ή οντότητες στα οποία θα παραχωρηθεί πρόσβαση σε αυτά (Ottinger, 2010). Οι συμμετέχοντες πρέπει να παρέχουν ενημερωμένα άδεια, επιδεικνύοντας την κατανόησή τους και την προθυμία τους να συμμετάσχουν στη μελέτη.

Η διατήρηση της διαφάνειας διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στη διατήρηση των δεοντολογικών πρακτικών δεδομένων. Τα έργα συχνά θεσπίζουν ρητές πολιτικές χρήσης δεδομένων που οριοθετούν τις επιδιωκόμενες εφαρμογές των δεδομένων. Η παροχή διαφάνειας δίνει τη δυνατότητα στους συμμετέχοντες να λαμβάνουν καλά ενημερωμένες αποφάσεις σχετικά με τη δέσμευσή τους και τη χρήση των δεδομένων τους.

Οι κανόνες διατήρησης δεδομένων εφαρμόζονται προκειμένου να διασφαλιστεί ότι τα δεδομένα δεν διατηρούνται για χρονικό διάστημα που υπερβαίνει την ουσιαστική τους περίοδο. Σύμφωνα με τους κανόνες δεοντολογίας, είναι επιτακτική ανάγκη να διατηρούνται δεδομένα αποκλειστικά για τη διάρκεια κατά την οποία εξυπηρετούν έναν έγκυρο σκοπό. Στη συνέχεια, μόλις επιτευχθεί αυτός ο σκοπός, είναι απαραίτητο να διαγραφούν με ασφάλεια τα δεδομένα προκειμένου να διαφυλαχθεί το απόρρητο των εμπλεκόμενων ατόμων.

Σε πολλά έργα, οι κανόνες πρόσβασης δεδομένων χρησιμοποιούνται για τον περιορισμό του αριθμού των ατόμων στα οποία παρέχεται πρόσβαση και εξουσιοδοτείται να αλλάξουν τα δεδομένα. Αυτή η στρατηγική μετριάζει την πιθανότητα παραβίασης δεδομένων και μη εξουσιοδοτημένης πρόσβασης. Η πρόσβαση περιορίζεται σε άτομα που εμπλέκονται άμεσα σε ερευνητικές ή διαχειριστικές δραστηριότητες.

Σε περίπτωση παραβίασης δεδομένων ή ζητημάτων ασφάλειας, τα έργα είναι εξοπλισμένα με καθιερωμένες στρατηγικές απόκρισης. Ο οργανισμός ανταποκρίνεται άμεσα και αποτελεσματικά και επιλύει την παραβίαση ασφάλειας, ειδοποιεί αμέσως τα άτομα που επηρεάζονται από την παραβίαση και εφαρμόζει μέτρα για την προληπτική αποφυγή τέτοιων περιστατικών στο μέλλον. Η αφοσίωση στη διασφάλιση της ασφάλειας των δεδομένων αποτελεί κρίσιμο συστατικό της ηθικής συμπεριφοράς.

Η σημασία της συνεχούς εκπαίδευσης σχετικά με την ηθική των δεδομένων δεν πρέπει να υποτιμάται. Οι συμμετέχοντες συχνά εφοδιάζονται με υλικό και πληροφορίες σχετικά με θέματα ιδιωτικότητας και ασφάλειας δεδομένων (Jordan et al., 2011). Αυτό δίνει τη δυνατότητα στα άτομα να λαμβάνουν καλά ενημερωμένες αποφάσεις σχετικά με τις πληροφορίες που αποκαλύπτουν και ενισχύει την κατανόησή τους για τις ηθικές επιπτώσεις που συνδέονται με τέτοιες ενέργειες.

Η τήρηση των δεοντολογικών πρακτικών δεδομένων εντός της σφαίρας της επιστήμης των πολιτών δεν είναι μόνο θέμα ικανοποίησης κανονιστικών απαιτήσεων, αλλά χρησιμεύει μάλλον ως ένδειξη του σεβασμού και της εκτίμησης προς τα άτομα που αφιερώνουν ανιδιοτελώς το χρόνο, τις παρατηρήσεις και τα δεδομένα τους (Fraisl et al., 2020). Αυτές οι πρακτικές εγγυώνται ότι τα άτομα μπορούν να συμμετέχουν στην επιστήμη των πολιτών με σιγουριά,

καθώς το απόρρητό τους διατηρείται και η διαχείριση των δεδομένων τους γίνεται με το υψηλότερο επίπεδο προσοχής.\

### 7.2.2 ΣΥΝΑΙΝΕΣΗ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΕΝΗΜΕΡΩΣΗ

---

Η έννοια της ενημερωμένης συναίνεσης κατέχει σημαντική θέση στην τήρηση των ηθικών προτύπων στις πρωτοβουλίες επιστήμης των πολιτών, ιδιαίτερα εκείνων που συνεπάγονται τη συλλογή δεδομένων μέσω μεθόδων που βασίζονται σε smartphones. Στο πεδίο της επιστήμης των πολιτών, η έννοια της ενημερωμένης συναίνεσης υποδηλώνει την εθελοντική και συνειδητή συμφωνία των συμμετεχόντων να παρέχουν τα δεδομένα και τις παρατηρήσεις τους για μια συγκεκριμένη μελέτη. Αυτή η διαδικασία συνεπάγεται την παροχή πληροφοριών στους συμμετέχοντες σχετικά με τους στόχους του έργου, τις μεθοδολογίες για τη συλλογή δεδομένων και την προβλεπόμενη χρήση των δεδομένων τους. Επιπλέον, περιλαμβάνει τη λήψη της εθελοντικής συγκατάθεσής τους για συμμετοχή.

Η έννοια της διαφάνειας παίζει καθοριστικό ρόλο στην απόκτηση συναίνεσης μετά από ενημέρωση. Οι συντονιστές του έργου είναι υπεύθυνοι για τη διάδοση συνοπτικών και εύκολα κατανοητών πληροφοριών στους συμμετέχοντες, διασφαλίζοντας έτσι την πλήρη κατανόηση του έργου και την έκταση της δέσμευσής τους. Η διαφάνεια περιλαμβάνει τους πιθανούς κινδύνους και τα πλεονεκτήματα που συνδέονται με τη συμμετοχή.

Συνήθως, οι συμμετέχοντες αποστέλλονται με έντυπα συναίνεσης ή ψηφιακές συμφωνίες που οριοθετούν τις παραμέτρους της δέσμευσής τους. Ο σκοπός αυτών των εγγράφων είναι να διασφαλίσουν την κατανόηση και να χρησιμοποιήσουν μια γλώσσα που είναι εύκολα κατανοητή από τα εμπλεκόμενα άτομα. Οι ερευνητές παρέχουν σαφείς λεπτομέρειες σχετικά με τις συγκεκριμένες κατηγορίες δεδομένων που θα συγκεντρωθούν, το χρονικό διάστημα που οι συμμετέχοντες θα εμπλακούν στη μελέτη και τον επιδιωκόμενο τρόπο με τον οποίο θα χρησιμοποιηθούν τα ληφθέντα δεδομένα.

Η διαδικασία λήψης ενημερωμένης συγκατάθεσης βρίσκεται σε εξέλιξη, καθώς εγγυάται ότι οι συμμετέχοντες έχουν τη δυνατότητα να αποχωρήσουν από το έργο ανά πάσα στιγμή χωρίς να αντιμετωπίσουν αρνητικές συνέπειες ή υποχρεώσεις. Η αρχή του εθελοντισμού έχει σημαντική σημασία στο πλαίσιο της ηθικής δέσμευσης (Pandya, 2012). Η δήλωση υπογραμμίζει

τη σημασία της παραχώρησης στους συμμετέχοντες της υπηρεσίας για να καθορίσουν τη χρήση των δεδομένων τους και εάν επιθυμούν να διατηρήσουν τη δέσμευσή τους.

Όταν ασχολούμαστε με πρωτοβουλίες που αφορούν άτομα κάτω της ενηλικίωσης, υπάρχουν συγκεκριμένοι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη (Guerrini et al., 2018). Η δέσμευση γονέα ή νόμιμου κηδεμόνα είναι συχνά απαραίτητη στις διαδικασίες ενημερωμένης συγκατάθεσης, καθώς είναι υπεύθυνοι για την παροχή συναίνεσης εκ μέρους του ανήλικου συμμετέχοντα. Αυτή η διαδικασία ενσωματώνει τις νομικές και ηθικές πτυχές που σχετίζονται με τη συμμετοχή ατόμων κάτω της ηλικίας σε ερευνητικές προσπάθειες.

Οι τεχνικές για τη λήψη ενημερωμένης συναίνεσης δεν είναι σταθερές, αλλά μάλλον ευέλικτες και ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις και τις προσδοκίες των συμμετεχόντων (Resnik et al., 2015). Τα έργα συχνά ενσωματώνουν εργαλεία ανατροφοδότησης, τα οποία επιτρέπουν στους συμμετέχοντες να ρωτήσουν, να λάβουν διευκρινίσεις και να εκφράσουν τυχόν προβλήματα που μπορεί να έχουν. Η συνεχής ανταλλαγή ιδεών και προοπτικών συμβάλλει στη διατήρηση των ηθικών αρχών που υποστηρίζονται από την πρωτοβουλία.

Τα έργα λαμβάνουν επίσης υπόψη πολιτιστικούς και ηθικούς παράγοντες που σχετίζονται με την απόκτηση δεδομένων. Ορισμένοι συμμετέχοντες ενδέχεται να εκφράσουν πολιτιστικές ή θρησκευτικές ανησυχίες για συγκεκριμένες κατηγορίες δεδομένων ή παρατηρήσεις σε ορισμένες περιπτώσεις. Τα έργα εξετάζουν αυτές τις ευαισθησίες, επιδεικνύοντας σεβασμό για τις απόψεις και τις πεποιθήσεις των συμμετεχόντων.

Επιπλέον, οι ιδέες γύρω από την ενημερωμένη συναίνεση είναι ριζωμένες στην έννοια της ιδιοκτησίας δεδομένων. Παρέχονται στους συμμετέχοντες πληροφορίες σχετικά με τα άτομα ή τις οντότητες που θα έχουν πρόσβαση στα δεδομένα τους, καθώς και τις ειδικές συνθήκες υπό τις οποίες θα επιτρέπεται η πρόσβαση αυτή. Η ηθική σχέση μεταξύ του έργου και των συμμετεχόντων του επηρεάζεται σημαντικά από την ιδιοκτησία και τον έλεγχο που έχουν τα άτομα στα δεδομένα τους.

Η πράξη απόκτησης ενημερωμένης άδειας δεν θα πρέπει να θεωρείται ως απλή διαδικαστική απαίτηση, αλλά μάλλον ως θεμελιώδης ηθική υποχρέωση. Το προαναφερθέν μέτρο εγγυάται ότι τα άτομα που συμμετέχουν σε προγράμματα επιστήμης των πολιτών έχουν επαρκείς γνώσεις και συμβάλλουν πρόθυμα στις πρωτοβουλίες. Αυτή η πρακτική αποδεικνύει τη δέσμευση για την

υποστήριξη της αυτονομίας των ατόμων και την αναγνώριση της συμμετοχής τους στη συμβολή στην πρόοδο της επιστημονικής γνώσης.

### 7.3 ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΒΟΛΗ

---

#### 7.3.1 ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΤΟΥ ΠΟΛΙΤΗ ΣΤΗΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΦΟΙΤΗΤΩΝ

---

Η επιστήμη του πολίτη εκτείνεται πέρα από τη δημόσια αλληλεπίδραση και έχει σημαντική αξία στη σφαίρα της εκπαίδευσης των φοιτητών πανεπιστημίου (Newman et al., 2011). Στον τομέα της τριτοβάθμιας εκπαίδευσης, η συμβατική προσέγγιση της μάθησης σε πανεπιστημιακό επίπεδο συχνά περιλαμβάνει την απόκτηση θεωρητικής γνώσης μέσω διδασκαλίας στην τάξη. Ωστόσο, οι επιστημονικές πρωτοβουλίες των πολιτών παρέχουν μια πολύτιμη οδό για τη γεφύρωση του χάσματος μεταξύ θεωρητικών εννοιών και πρακτικής εφαρμογής (Guerrini et al., 2018). Με τη συμμετοχή φοιτητών πανεπιστημίου σε αυτά τα προγράμματα, τους παρέχεται η ευκαιρία να εφαρμόσουν αμέσως τις γνώσεις και τις δεξιότητες που αποκτήθηκαν στην τάξη σε πρακτικές, πραγματικές καταστάσεις.

Η ενσωμάτωση της επιστήμης των πολιτών στα πανεπιστημιακά μαθήματα ενισχύει την εκπαιδευτική εμπειρία παρέχοντας στους φοιτητές πρακτικές, βιωματικές ευκαιρίες μάθησης. Οι μαθητές έχουν την ευκαιρία να συμμετάσχουν σε συλλογή δεδομένων, ανάλυση και ερευνητικές προσπάθειες που συνάδουν με τα αντίστοιχα πεδία σπουδών τους, που περιλαμβάνουν κλάδους όπως η βιολογία, η περιβαλλοντική επιστήμη, η αστρονομία και διάφορα άλλα.

Αυτά τα έργα έχουν τη δυνατότητα να εκδηλωθούν σε διάφορες μορφές. Για παράδειγμα, οι μαθητές έχουν την ευκαιρία να συμμετάσχουν σε δραστηριότητες περιβαλλοντικής παρακολούθησης, όπου συμβάλλουν στη συλλογή και ανάλυση δεδομένων που σχετίζονται με κοντινά οικοσυστήματα, κλιματικά πρότυπα και βιοποικιλότητα (Bonney et al., 2014). Η απόκτηση πρακτικής εμπειρίας όχι μόνο ενισχύει την κατανόηση των ατόμων αλλά επίσης ενσταλάζει την αίσθηση της υπευθυνότητας απέναντι στο περιβάλλον.

Επιπλέον, οι πρωτοβουλίες επιστήμης των πολιτών έχουν τη δυνατότητα να χρησιμεύσουν ως μέσο για προπτυχιακούς και μεταπτυχιακούς φοιτητές για να αποκτήσουν πολύτιμες ερευνητικές ευκαιρίες. Μπορεί να δοθεί στα άτομα η ευκαιρία να συμμετάσχουν σε

πρωτοβουλίες αιχμής, να συνεισφέρουν σε συνεχείς έρευνες ή ακόμη και να αναπτύξουν τις δικές τους ερευνητικές έρευνες με την υποστήριξη και καθοδήγηση αξιότιμων ακαδημαϊκών μελών. Η πρακτική ερευνητική εμπειρία που παρέχεται είναι μεγάλης σημασίας για την ακαδημαϊκή και επαγγελματική τους ανάπτυξη.

Η συνεργασία αποτελεί ζωτικό στοιχείο στη σφαίρα των επιστημονικών πρωτοβουλιών πολιτών, που περιλαμβάνει την ενεργό συμμετοχή των φοιτητών. Συχνά, άτομα συνεργάζονται σε διεπιστημονικές ομάδες, συμμετέχοντας ενεργά με συναδέλφους που διαθέτουν ποικίλα ακαδημαϊκά υπόβαθρα. Ο συνεργατικός χαρακτήρας αυτού του περιβάλλοντος αντανακλά ερευνητικά σενάρια που βρίσκονται σε πραγματικές συνθήκες, παρέχοντας στους μαθητές πολύτιμες δεξιότητες στην ομαδική εργασία και στην επικοινωνία.

Η ενσωμάτωση της επιστήμης των πολιτών στις εκπαιδευτικές πρακτικές χρησιμεύει στην ενίσχυση της συνολικής αίσθησης του σκοπού στον τομέα της εκπαίδευσης (Fritz et al., 2019). Οι μαθητές αντιλαμβάνονται την άμεση συσχέτιση μεταξύ των ακαδημαϊκών τους γνώσεων και της απτής επίδρασής τους σε σημαντικές επιστημονικές προσπάθειες και κοινωνικές ανησυχίες. Η συσχέτιση μεταξύ της διαδικασίας μάθησης και του επακόλουθου αντίκτυπου της καλλιέργει μια αίσθηση ενθουσιασμού και δέσμευσης για τις ακαδημαϊκές επιδιώξεις.

Επιπλέον, οι εκπαιδευτικές επιπτώσεις της επιστήμης των πολιτών πέρα από τα όρια του παραδοσιακού ακαδημαϊκού περιβάλλοντος. Τα άτομα που συμμετέχουν ενεργά σε αυτές τις ακαδημαϊκές προσπάθειες επιδεικνύουν μεγαλύτερη τάση για ανάπτυξη μιας δια βίου δέσμευσης για μάθηση, που χαρακτηρίζεται από μια επίμονη περιέργεια για το περιβάλλον τους (Fraisl et al., 2020). Τα άτομα αποκτούν βαθιά κατανόηση του επιστημονικού γραμματισμού και καλλιεργούν έναν γνήσιο θαυμασμό για την επιστημονική διαδικασία, εξοπλίζοντας έτσι τον εαυτό τους με πολύτιμες δεξιότητες που θα αποδειχθούν επωφελείς σε διάφορες πτυχές της ζωής τους.

Η εκπαιδευτική εμπειρία περιλαμβάνει επίσης ηθικούς λόγους (Newman et al., 2011). Στο εκπαιδευτικό περιβάλλον, οι μαθητές λαμβάνουν οδηγίες σχετικά με τη σημασία της ενημερωμένης άδειας, της προστασίας δεδομένων και των υπεύθυνων ερευνητικών πρακτικών.

Η δημιουργία ενός δεοντολογικού πλαισίου είναι υψίστης σημασίας για την επικείμενη ομάδα επιστημόνων και ερευνητών.

### 7.3.2 ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΔΕΣΜΕΥΣΗΣ

---

Η θεμελιώδης αρχή της επιστήμης των πολιτών επικεντρώνεται στη δημόσια δέσμευση. Η προσβασιμότητα είναι μια θεμελιώδης στρατηγική στον τομέα της δημόσιας συμμετοχής. Οι πρωτοβουλίες για την επιστήμη των πολιτών είναι σκόπιμα δομημένες για να προάγουν τη συμπερίληψη και την προσβασιμότητα, φιλοξενώντας έτσι μια ποικιλία ατόμων ως συμμετέχοντες. Η ευρεία παρουσία, η σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας και η φιλική προς τον χρήστη φύση των smartphones συμβάλλουν στην αυξημένη προσβασιμότητα αυτού του είδους αλληλεπίδρασης. Εξαλείφουν τα εμπόδια που σχετίζονται με τον εξειδικευμένο εξοπλισμό ή την τεχνική εμπειρογνωμοσύνη, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα σε άτομα με smartphones να ασχοληθούν με την επιστήμη των πολιτών.

Η συμπερίληψη της ποικιλομορφίας του έργου είναι ένα ουσιαστικό στοιχείο. Οι πρωτοβουλίες για την επιστήμη των πολιτών καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα επιστημονικών κλάδων και θεμάτων. Οι συμμετέχοντες έχουν την ευκαιρία να επιλέξουν έργα που είναι σύμφωνα με τα προσωπικά τους ενδιαφέροντα, όπως η παρακολούθηση της άγριας ζωής, η παρακολούθηση των καιρικών τάσεων ή η έρευνα ουράνιων φαινομένων. Η παρουσία της διαφορετικότητας εγγυάται ότι τα άτομα έχουν την ευκαιρία να επιδιώξουν τα ενδιαφέροντά τους και να συνδεθούν με θέματα που έχουν απήχηση σε αυτά, με αποτέλεσμα μια εμπειρία που είναι ταυτόχρονα ευχάριστη και ουσιαστική.

Τα έργα επιστήμης του πολίτη συχνά ενσωματώνουν εκπαιδευτικά στοιχεία. Οι συμμετέχοντες εφοδιάζονται με μια ποικιλία εργαλείων, οδηγιών και σεμιναρίων που διευκολύνουν την κατανόηση των επιστημονικών εννοιών και διαδικασιών που εξετάζονται (Jordan et al., 2011). Αυτή η εκπαιδευτική βοήθεια διευκολύνει τη διαδικασία μάθησης και επιτρέπει στα άτομα να συνεισφέρουν σημαντικά στις ερευνητικές προσπάθειες.

Επιπρόσθετα, τα έργα επιστήμης του πολίτη με στοιχεία παιχνιδιού, με τα κινητά τηλέφωνα χρησιμεύουν ως βέλτιστες πλατφόρμες για την εφαρμογή τέτοιων χαρακτηριστικών

(Tweddle et al., 2012). Οι συμμετέχοντες αποκτούν μια αυξημένη αίσθηση ολοκλήρωσης καθώς προχωρούν στο έργο, ενισχύοντας έτσι τα κίνητρά τους να διατηρήσουν τη δέσμευσή τους.

Η εδραίωση της αίσθησης της κοινότητας είναι μια κρίσιμη προσέγγιση στο πεδίο της δημόσιας συμμετοχής. Οι επιστημονικές πρωτοβουλίες των πολιτών συχνά δημιουργούν πλατφόρμες για τη συμμετοχή των συμμετεχόντων, την ανταλλαγή των εμπειριών τους και τη συμμετοχή σε συλλογικές προσπάθειες. Τα διαδικτυακά φόρουμ, οι ομάδες μέσω κοινωνικής δικτύωσης και οι εκδηλώσεις χρησιμεύουν ως πλατφόρμες που επιτρέπουν τη διάδοση της γνώσης και ενισχύουν την αίσθηση της κοινότητας μεταξύ των εμπλεκόμενων ατόμων.

Η συνεργασία με τις τοπικές κοινωνίες αποδεικνύεται μια ισχυρή τακτική, ιδιαίτερα σε προσπάθειες που σχετίζονται με την περιβαλλοντική παρακολούθηση και την ενίσχυση της κοινοτικής ευημερίας (Pandya, 2012). Η συμμετοχή των μελών της κοινότητας στη διαδικασία συλλογής δεδομένων προάγει το αίσθημα ιδιοκτησίας και υπευθυνότητας. Αυτές οι συλλογικές προσπάθειες βασίζονται στις αρχές της εμπιστοσύνης και του αμοιβαίου σεβασμού και συχνά παρέχουν σημαντικές συνεισφορές τόσο στον τομέα της έρευνας όσο και στην ευρύτερη κοινότητα.

Οι πρωτοβουλίες ευαισθητοποίησης του κοινού και προβολής είναι υψίστης σημασίας για την αποτελεσματική συμμετοχή ενός ευρύτερου φάσματος ατόμων. Τα έργα χρησιμοποιούν ένα ευρύ φάσμα διαύλων επικοινωνίας, που περιλαμβάνουν πλατφόρμες μέσω κοινωνικής δικτύωσης, ιστότοπους και συμβατικά μέσα ενημέρωσης, προκειμένου να ενισχύσουν τη γνώση και την κατανόηση των δεσμεύσεών τους από το κοινό. Αυτές οι προσπάθειες όχι μόνο χρησιμεύουν στην προσέλκυση νέων συμμετεχόντων, αλλά δημιουργούν επίσης μια αίσθηση ενθουσιασμού και ενδιαφέροντος γύρω από το έργο, κατευθύνοντας έτσι την προσοχή προς τους στόχους και τα αποτελέσματά του (Tweddle et al., 2012).

Τα έργα επιστήμης του πολίτη ενσωματώνουν επιπλέον μηχανισμούς ανατροφοδότησης για να διευκολύνουν τη συμπερίληψη και την αναγνώριση των προοπτικών των συμμετεχόντων. Τα άτομα έχουν την ικανότητα να συνεισφέρουν τις σκέψεις τους, να θέτουν ερωτήσεις και να προσφέρουν τις προοπτικές τους. Η συνεχής συνομιλία ενθαρρύνει μια ισχυρή δυναμική συμμετεχόντων-έργων, ενισχύοντας την αίσθηση της αξίας και της εκτίμησης των συμμετεχόντων.



Οι πρωτοβουλίες για την επιστήμη των πολιτών προωθούν συχνά τη χρήση των αρχών ανοιχτών δεδομένων (Conrad & Hilchey, 2011). Τα ευρήματα της μελέτης διαδίδονται στο ευρύ κοινό, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα στους συμμετέχοντες να παρατηρήσουν την επιρροή των προσπαθειών τους. Η προαναφερθείσα διαφάνεια και υπευθυνότητα δημιουργούν μια ατμόσφαιρα διαφάνειας, διασφαλίζοντας έτσι ότι οι συμμετέχοντες διαθέτουν γνώσεις σχετικά με τη χρήση των δεδομένων τους.

## 7.4 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ

---

### 7.4.1 ΑΝΑΔΥΟΜΕΝΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ

---

Το πεδίο της επιστήμης των πολιτών βρίσκεται σε μια συνεχή κατάσταση ανάπτυξης, και μια ιδιαίτερα σαγηνευτική πτυχή της επερχόμενης τροχιάς της αφορά την εμφάνιση νέων τεχνολογιών (Fritz et al., 2019). Τα smartphones, καθώς είναι ευέλικτα και ευρέως χρησιμοποιούμενα, παίζουν καθοριστικό ρόλο στην προώθηση της επιστήμης των πολιτών. Η συμπερίληψη ενσωματωμένων αισθητήρων, όπως GPS, επιταχυνσιόμετρα και κάμερες, διευκολύνει ένα ευρύ φάσμα δυνατοτήτων για τη συλλογή δεδομένων. Επιπλέον, τα σύγχρονα smartphones ενσωματώνουν όλο και πιο εξελιγμένους αισθητήρες, όπως το LiDAR και τα φασματόμετρα, επεκτείνοντας έτσι τις δυνατότητες απόκτησης δεδομένων (Bonney et al., 2014).

Η χρήση της μηχανικής μάθησης και της τεχνητής νοημοσύνης (AI) γίνεται ολοένα και περισσότερο ουσιαστικό στοιχείο στον τομέα της ανάλυσης δεδομένων στο πεδίο της επιστήμης των πολιτών. Αυτές οι τεχνολογίες επιτρέπουν αυξημένη αποτελεσματικότητα και ακρίβεια στην επεξεργασία εκτεταμένων όγκων αποκτηθέντων δεδομένων. Τα συστήματα που βασίζονται στην τεχνητή νοημοσύνη (AI) διαθέτουν τη δυνατότητα να ανιχνεύουν αυτόνομα μοτίβα, είδη ή ανωμαλίες σε φωτογραφίες ή δεδομένα αισθητήρων, μειώνοντας έτσι τον φόρτο εργασίας για τους συμμετέχοντες και τους διοργανωτές του έργου.

Η χρήση της τεχνολογίας blockchain διερευνάται τώρα για τους σκοπούς της ενίσχυσης της ασφάλειας και της εγκυρότητας των δεδομένων. Στον τομέα της επιστήμης των πολιτών, όπου η διασφάλιση της ακρίβειας και της αξιοπιστίας των δεδομένων είναι υψίστης σημασίας, η εφαρμογή της τεχνολογίας blockchain μπορεί να προσφέρει ένα ασφαλές και διαφανές μέσο καταγραφής και διευκόλυνσης της ανταλλαγής δεδομένων. Αυτή η τεχνολογική πρόοδος

εγγυάται την ακρίβεια των δεδομένων και προάγει την εμπιστοσύνη μεταξύ των συμμετεχόντων και των ερευνητών.

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) διευρύνει την εμβέλεια της επιστήμης των πολιτών. Οι αισθητήρες Internet of Things (IoT), που συνδέονται συχνά με κινητές συσκευές, διευκολύνουν τη συνεχή παρακολούθηση και συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Έργα που ενσωματώνουν περιβαλλοντικούς αισθητήρες, μετεωρολογικούς σταθμούς ή συσκευές παρακολούθησης ποιότητας αέρα έχουν την ικανότητα να παρέχουν σημαντικά και έγκαιρα δεδομένα για ερευνητικούς σκοπούς (Jordan et al., 2011).

Η χρήση της τεχνολογίας επαυξημένης πραγματικότητας (AR) και εικονικής πραγματικότητας (VR) ενισχύει τη συνολική συνάντηση της επιστήμης των πολιτών. Τα smartphones διαθέτουν την ικανότητα να λειτουργούν ως πλατφόρμες επαυξημένης πραγματικότητας (AR), επιτρέποντας την υπέρθεση ψηφιακών πληροφοριών σε δεδομένα πραγματικού κόσμου. Τα άτομα έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιούν εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας (AR) για να διακρίνουν αστερισμούς στη νυχτερινή έκταση, να αποκτήσουν γνώσεις σχετικά με τη γλωρίδα και την πανίδα ή να διερευνήσουν ιστορικές πληροφορίες που σχετίζονται με το άμεσο περιβάλλον τους.

Οι εφαρμογές smartphones της ΕτΠ έχουν ένα επιπλέον προβάδισμα λόγω των βελτιωμένων διεπαφών χρήστη και τη σχεδίαση. Η εφαρμογή σχεδιασμού με επίκεντρο τον χρήστη είχε ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη διεπαφών που είναι ολοένα και πιο διαισθητικές και ελκυστικές. Αυτές οι τροποποιήσεις βελτιώνουν ολόκληρη την εμπειρία των συμμετεχόντων, διευκολύνοντας και ενισχύοντας την ικανότητα των ατόμων να συμμετέχουν ενεργά στην επιστημονική έρευνα.

Η εφαρμογή του 5G και των μελλοντικών γενεών συνδεσιμότητας διευκολύνει την απρόσκοπτη ανταλλαγή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας στα άτομα να συμμετέχουν ενεργά στη διαδικασία συλλογής και ανταλλαγής πληροφοριών. Η παροχή συνδεσιμότητας υψηλής ταχύτητας και χαμηλής καθυστέρησης ενισχύει σημαντικά τις δυνατότητες για έργα που εξαρτώνται από smartphones. Η ικανότητα των συμμετεχόντων να στέλνουν γρήγορα δεδομένα, φωτογραφίες και παρατηρήσεις διευκολύνει τις άμεσες απαντήσεις και διευκολύνει τις συλλογικές προσπάθειες.

Αν και οι αναπτυσσόμενες τεχνολογίες παρέχουν σημαντικές δυνατότητες, θέτουν επίσης διάφορα εμπόδια. Ο πολλαπλασιασμός της τεχνητής νοημοσύνης (AI), του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) και των τεχνολογιών blockchain έχει αυξήσει σημαντικά τη σημασία του απορρήτου των δεδομένων και των ηθικών κριτηρίων (Cooper et al., 2007). Η διασφάλιση της αρμονικής ενσωμάτωσης αυτών των τεχνολογιών απαιτεί τη συνειδητή εξέταση των ηθικών αρχών που σχετίζονται με τη διαχείριση δεδομένων και τη διατήρηση των δικαιωμάτων των συμμετεχόντων.

Οι τεχνικές κβαντικής επικοινωνίας (quantum communication techniques), όπως η κατανομή κβαντικών κλειδιών (QKD), μπορούν να χρησιμοποιηθούν διασφαλίζοντας την ασφάλεια των μεταδόσεων δεδομένων, προστατεύοντας τα προσωπικά δεδομένα των συμμετεχόντων και διευκολύνοντας τη συνεργασία μεταξύ ερευνητών και πολιτών επιστημόνων.

Η εξέλιξη στην κβαντική τεχνολογία μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την ΕτΠ, και στο κομμάτι της συλλογής, επεξεργασίας και ανάλυσης δεδομένων καθώς και της ασφάλεια των επικοινωνιών. Οι κβαντικοί αισθητήρες προσφέρουν ακριβείς μετρήσεις φυσικών ποσοτήτων, επιτρέποντας στους συμμετέχοντες να συλλέγουν λεπτομερή δεδομένα για περιβαλλοντικές αλλαγές, κλιματικές συνθήκες και ρύπανση. Επιπλέον, οι κβαντικοί υπολογιστές μπορούν να επεξεργαστούν μεγάλες ποσότητες δεδομένων πολύ πιο γρήγορα από τους κλασικούς υπολογιστές, παρέχοντας δυνατότητες ανάλυσης σε πραγματικό χρόνο και πολύπλοκων προσομοιώσεων.

Καθώς οι τεχνολογίες κβάντου γίνονται πιο προσιτές και οικονομικά εφικτές, μπορούν να ενσωματωθούν σε καθημερινές συσκευές και εφαρμογές που χρησιμοποιούν οι πολίτες επιστήμονες, διευρύνοντας τη συμμετοχή και βελτιώνοντας την ποιότητα της έρευνας. Οι φορητοί κβαντικοί αισθητήρες και οι μικροί κβαντικοί υπολογιστές μπορούν να διανεμηθούν στους πολίτες επιστήμονες, επιτρέποντάς τους να συμβάλλουν σε προηγμένη έρευνα χωρίς να απαιτούνται ακριβός εξοπλισμός. Επίσης, η ενσωμάτωση των τεχνολογιών κβάντου στα έργα πολιτών επιστήμης μπορεί να λειτουργήσει ως εκπαιδευτικό εργαλείο, αυξάνοντας την κατανόηση και τη συνειδητοποίηση του κοινού για την κβαντική επιστήμη και τις εφαρμογές της (Dr. Steffen Fritz et al. 2016).

Το ζήτημα της τεχνολογικής προσβασιμότητας εξακολουθεί να αποτελεί σημαντικό εμπόδιο. Δεν είναι πολλά τα άτομα που διαθέτουν τα μέσα για να αποκτήσουν τα πιο πρόσφατα smartphones ή να έχουν πρόσβαση στο διαδίκτυο υψηλής ταχύτητας. Είναι επιτακτική ανάγκη για τα έργα να δίνουν προτεραιότητα στη συμπερίληψη και να αποφεύγουν τον ακούσιο αποκλεισμό συμμετεχόντων που μπορεί να διαθέτουν παλαιότερες συσκευές ή να έχουν περιορισμένη πρόσβαση στη συνδεσιμότητα.

#### 7.4.2 ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ

---

Η βιωσιμότητα των επιστημονικών πρωτοβουλιών για τους πολίτες, ιδιαίτερα εκείνων που χρησιμοποιούν τεχνολογία smartphones, είναι στενά συνυφασμένη με την προσβασιμότητα σε οικονομική υποστήριξη και πόρους. Οι πηγές χρηματοδότησης για προγράμματα επιστήμης των πολιτών παρουσιάζουν σημαντική διαφοροποίηση (Resnik et al., 2015). Η οικονομική υποστήριξη για ερευνητικά έργα μπορεί να ληφθεί από διάφορες πηγές, συμπεριλαμβανομένων κρατικών επιχορηγήσεων, ιδρυμάτων, ακαδημαϊκών ιδρυμάτων ή ιδιωτικών δωρεών. Η παρουσία ενός ευρέος φάσματος εναλλακτικών λύσεων χρηματοδότησης είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση της μακροπρόθεσμης βιωσιμότητας αυτών των πρωτοβουλιών, καθώς μετριάζει την εξάρτηση από μια μοναδική πηγή χρηματοδότησης.

Μια ενθαρρυντική εξέλιξη τον τελευταίο καιρό είναι η εμφάνιση συνεργατικών προσεγγίσεων χρηματοδότησης. Οι ιστότοποι crowdfunding, όπως το Kickstarter και το Indiegogo, διευκολύνουν την απόκτηση οικονομικών πόρων για έργα από ένα ευρύτερο φάσμα ατόμων.

Εκτός από τη διάθεση οικονομικών πόρων, η επιτυχής υλοποίηση των έργων απαιτεί τη δημιουργία μιας βιώσιμης οργανωτικής δομής. Η αποτελεσματική διαχείριση του έργου, η επικοινωνία και ο συντονισμός διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη διασφάλιση της βέλτιστης χρήσης των πόρων. Η μακροπρόθεσμη επιτυχία του έργου εξαρτάται από την παρουσία μιας συνεκτικής και καλά οργανωμένης ομάδας, αποτελούμενης συχνά από επιστήμονες, εκπαιδευτικούς και επαγγελματίες ευαισθητοποίησης.

Η δημιουργία στρατηγικών συμμαχιών είναι μια πρόσθετη προσέγγιση για την επίτευξη βιωσιμότητας (Fritz et al., 2019). Οι συνεργασίες που δημιουργούνται με ακαδημαϊκά ιδρύματα, μη κερδοσκοπικές οντότητες ή κυβερνητικούς φορείς μπορούν να προσφέρουν πολύτιμη πρόσβαση σε συμπληρωματικούς πόρους και εξειδικευμένη γνώση. Αυτές οι συνεργατικές συμμαχίες επεκτείνουν το πεδίο εφαρμογής του έργου και δημιουργούν ένα δίκτυο βοήθειας.

Η ενεργός συμμετοχή των τοπικών κοινωνιών διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στην προώθηση της βιωσιμότητας. Οι επιστημονικές πρωτοβουλίες των πολιτών που είναι έντονα ενσωματωμένες στις αντίστοιχες κοινότητες τους επωφελούνται συχνά από τη διαρκή υποστήριξη και την πρόσβαση σε πόρους από κατοίκους της περιοχής που εκτιμούν τη μελέτη (Vohland et al., 2021). Η πράξη της συνεργασίας καλλιεργεί ένα συλλογικό αίσθημα ιδιοκτησίας και εγγυάται τη διαρκή ύπαρξη του έργου.

Η πρακτική της ανταλλαγής δεδομένων και της συνεργασίας μεταξύ έργων γίνεται όλο και πιο διαδεδομένη. Μέσω της ανταλλαγής δεδομένων, διαδικασιών και πόρων, τα έργα έχουν τη δυνατότητα αμοιβαίας ενίσχυσης και ελαχιστοποίησης των διπλών προσπαθειών (Vohland et al., 2021). Η συνεργασία διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στην προώθηση της βιωσιμότητας αξιοποιώντας αποτελεσματικά τους πόρους και τη γνώση για την επίτευξη του μέγιστου αντίκτυπου.

Η σημασία του μακροπρόθεσμου σχεδιασμού δεν μπορεί να υπερεκτιμηθεί. Οι πρωτοβουλίες για την επιστήμη των πολιτών συχνά ξεκινούν με ζέση και ζωντάνια και στη συνέχεια συναντούν εμπόδια στη διατήρηση της μακροπρόθεσμης δυναμικής. Για να διασφαλιστεί η μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα ενός έργου, είναι ζωτικής σημασίας να υπάρχει ένα ξεχωριστό όραμα, καλά διατυπωμένοι στόχοι και ένα στρατηγικό σχέδιο που περιγράφει τα απαραίτητα βήματα που πρέπει να γίνουν.

Η εφαρμογή συστημάτων παρακολούθησης και αξιολόγησης είναι ζωτικής σημασίας προκειμένου να προβληθούν αποτελεσματικά τα αποτελέσματα των έργων επιστήμης των πολιτών. Είναι επιτακτική ανάγκη για αυτά τα προγράμματα να αξιολογούν με συνέπεια τον αντίκτυπό τους στην επιστημονική έρευνα, την εκπαίδευση και τη συμμετοχή της κοινότητας. Αυτές οι αξιολογήσεις προσφέρουν εμπειρικά δεδομένα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εξασφαλιστούν συνεχείς οικονομικοί πόροι και υποστήριξη (Riesch & Potter, 2014).

Η έννοια της βιωσιμότητας είναι στενά συνδεδεμένη με τεχνολογικούς παράγοντες. Είναι επιτακτική ανάγκη τα έργα να ανταποκρίνονται αποτελεσματικά στη δυναμική φύση της τεχνολογίας smartphones, διασφαλίζοντας έτσι τη συμβατότητα των εφαρμογών και των πλατφορμών τους με τις πιο πρόσφατες συσκευές και λειτουργικά συστήματα. Οι συνεπείς ενημερώσεις και συντήρηση διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη διασφάλιση της μακροπρόθεσμης βιωσιμότητας των έργων που βασίζονται σε smartphones (Kobori et al., 2016).

Υπάρχουν πράγματι προκλήσεις που είναι εγγενείς στην προσπάθεια επίτευξης βιωσιμότητας. Οι επιστημονικές πρωτοβουλίες του πολίτη λειτουργούν συχνά σε περιβάλλοντα περιορισμένων πόρων, απαιτώντας την προσεκτική διαχείριση των δημοσιονομικών απαιτήσεων σε ευθυγράμμιση με τους στόχους του έργου. Τα άτομα πρέπει να διαπραγματεύονται αποτελεσματικά την περίπλοκη φύση των κύκλων χρηματοδότησης και τις εξαιρετικά ανταγωνιστικές διαδικασίες ανάθεσης.

## 8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αυτή η διπλωματική εργασία έχει προσφέρει μια επίσκεψη στην ιστορία και το μέλλον των αισθητήρων smartphones και των εφαρμογών τους στην πράξη. Έχει επίσης διερευνήσει την ευρύτερη επιρροή των αισθητήρων smartphones σε μια ποικιλία εφαρμογών, όπως η αναγνώριση δακτυλικών αποτυπωμάτων για ασφάλεια και η χρήση αισθητήρων βαρύτητας και επιτάχυνσης για την παροχή εξατομικευμένων εμπειριών χρηστών. Επίσης, έχει εξετάσει τις διάφορες χρήσεις των αισθητήρων εικόνας πέρα από τη φωτογραφία.

Είναι σαφές από αυτή την ανάλυση των δυνατοτήτων των αισθητήρων ότι η τεχνολογία smartphones αναπτύσσεται γρήγορα για να συμβαδίζει με τις συνεχώς αυξανόμενες προσδοκίες των χρηστών της σε όλα τα κοινωνικά στρώματα. Καθώς οι αισθητήρες smartphones βελτιώνονται, μπορούν να βοηθήσουν τους ανθρώπους με περισσότερους τρόπους και να κάνουν τη ζωή τους πιο εύκολη. Υπάρχει μια αυξανόμενη άποψη ότι τα κινητά τηλέφωνα μπορεί να ωφεληθούν σε μεγάλο βαθμό από περισσότερους και καλύτερους αισθητήρες. Αν και υπάρχει μεγάλη ελπίδα για το μέλλον των αισθητήρων smartphones, υπάρχουν επίσης ορισμένα εμπόδια που πρέπει να ξεπεραστούν. Οι ειδικοί και οι πρωτοπόροι στον τομέα εργάζονται εντατικά για να βελτιώσουν τη σχεδίαση και τη λειτουργικότητα των αισθητήρων στο μέλλον, ώστε αυτοί οι περιορισμοί να μπορούν να αρθούν.

Οι εφαρμογές που βασίζονται σε αισθητήρες έχουν αλλάξει τον τρόπο με τον οποίο ασχολούμαστε με την τεχνολογία και τα smartphones, έχουν γίνει αναπόσπαστο μέρος της καθημερινότητάς μας. Σχεδόν όλο το σύγχρονο λογισμικό βασίζεται σε αυτούς τους αισθητήρες για να βελτιώσει την εμπειρία του χρήστη και να ανοίξει το δρόμο για νέα είδη υπηρεσιών. Η βιομηχανία των smartphones είναι έτοιμη για συνεχή ανάπτυξη και μεταμόρφωση, καθώς περισσότεροι αισθητήρες ενσωματώνονται στις συσκευές.

Παράλληλα, αυτή η έρευνα εξέτασε τον ρόλο της επιστήμης των πολιτών σε σχέση με την τεχνολογία smartphones, παρέχοντας μια διεξοδική ανάλυση της πολυπλοκότητας και της σημασίας αυτών των συνεργατικών πρωτοβουλιών. Το Κεφάλαιο 5 του κειμένου εξοικείωσε τους αναγνώστες με τη σφαίρα της επιστήμης των πολιτών, προσφέροντας μια θεωρητική δομή, ιστορικό υπόβαθρο και κατανόηση των θεμελιωδών εννοιών και στόχων της. Η παρούσα μελέτη διερεύνησε τη σημαντική συμβολή της τεχνολογίας και των smartphones στον τομέα της

επιστήμης των πολιτών, με ιδιαίτερη έμφαση στις βελτιώσεις στην τεχνολογία και την ενσωμάτωση των smartphones σε αυτές τις δραστηριότητες. Η ποικιλότητα και σχετική φύση των επιστημονικών έργων πολιτών επισημάνθηκε μέσω πολλών περιπτώσεων, οι οποίες περιλάμβαναν την περιβαλλοντική παρακολούθηση, τη βιολογική έρευνα και τις αστρονομικές παρατηρήσεις.

Το επόμενο κεφάλαιο παρείχε πληροφορίες για τα συναρπαστικά στοιχεία της επιστήμης των πολιτών που διευκολύνονται από εφαρμογές για κινητές συσκευές. Κατά τη συζήτησή μας, εξετάσαμε την εξέλιξη αυτών των εφαρμογών, με ιδιαίτερη έμφαση στις βελτιωμένες δυνατότητες προσβασιμότητας και συμπερίληψής τους. Τονίστηκε η σημασία των αρχών σχεδιασμού με επίκεντρο τον χρήστη και η ενσωμάτωση των πτυχών gamification, καθιστώντας τις πρωτοβουλίες επιστήμης των πολιτών όχι μόνο εκπαιδευτικές αλλά και συναρπαστικές και ευχάριστες. Η εξέταση συγκεκριμένων περιπτώσεων έδωσε πληροφορίες για τους διάφορους τομείς στους οποίους οι εφαρμογές για κινητές συσκευές φέρνουν επανάσταση στις επιστημονικές εξελίξεις, καλύπτοντας τομείς όπως η παρακολούθηση της βιοποικιλότητας, η εξερεύνηση του διαστήματος και η έρευνα για την υγεία.

Στη συνέχεια επικεντρωθήκαμε στο ζητούμενο της ενδυνάμωσης των πολιτών και την ενεργή συμμετοχή τους ως επιστημονικοί συντελεστές. Κατά τη συζήτησή μας, διερευνήσαμε τη σημασία της ένταξης και της διαφορετικότητας ως θεμελιωδών αρχών προκειμένου να διασφαλιστεί η προσβασιμότητα της επιστήμης των πολιτών σε ένα ευρύ φάσμα ατόμων. Η μετασχηματιστική σημασία της επιστήμης των πολιτών στην τριτοβάθμια εκπαίδευση τονίζεται από τον εκπαιδευτικό αντίκτυπο αυτών των έργων, ιδιαίτερα στο πλαίσιο των φοιτητών πανεπιστημίου. Η μελέτη περιλάμβανε, επίσης, εξέταση ηθικών παραγόντων, με ιδιαίτερη έμφαση στους τομείς της προστασίας δεδομένων, της ασφάλειας και της ενημερωμένης συναίνεσης, προκειμένου να διασφαλιστεί η συνειδητή απόκτηση και χρήση δεδομένων.

Επιπλέον, στο πεδίο της εκπαίδευσης και της προβολής, εξετάσαμε τις τακτικές δημόσιας δέσμευσης που δίνουν προτεραιότητα στη συμπερίληψη, την ποικιλία, τη διάδοση της γνώσης, την παιχνιδιοποίηση (gamification) και την ενίσχυση της αίσθησης της κοινότητας. Αυτές οι τακτικές διευκολύνουν την ανάπτυξη μιας κοινοτικής ατμόσφαιρας μεταξύ των συμμετεχόντων, προωθώντας έτσι τη συνεχή συνεργασία και ενισχύοντας μια κουλτούρα συνεχούς μάθησης.



Στον τομέα των επερχόμενων τάσεων και εμποδίων, έχουμε εμβαθύνει σε τεχνολογίες που εκκολάπτονται, συμπεριλαμβανομένων εξελιγμένων κβαντικών αισθητήρων, τεχνητής νοημοσύνης, blockchain, Internet of Things, επαυξημένης πραγματικότητας (AR) και εικονικής πραγματικότητας (VR). Οι προαναφερθείσες τεχνολογίες διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο επηρεάζοντας την τροχιά της επιστήμης των πολιτών, διευρύνοντας έτσι τους ορίζοντες για τη συλλογή δεδομένων και τη συμμετοχή του κοινού. Ωστόσο, είναι σημαντικό να αναγνωρίσουμε τις επακόλουθες ηθικές συνέπειες που προκύπτουν από αυτές τις εξελίξεις.

Το κεφάλαιο που αφορά τη βιωσιμότητα και τη χρηματοδότηση υπογράμμισε τη σημασία της εξασφάλισης οικονομικής υποστήριξης, της χρήσης συνεργατικών μεθόδων χρηματοδότησης, της εφαρμογής αποτελεσματικών στρατηγικών διαχείρισης έργων, της προώθησης συνεργασιών, της ενασχόλησης με την κοινότητα, της ανταλλαγής δεδομένων και της συμμετοχής σε μακροπρόθεσμο σχεδιασμό. Η μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα των επιστημονικών έργων πολιτών συνδέεται περίπλοκα με τη διαχείριση των πόρων και τις οργανωτικές δομές. Όταν αυτές οι πτυχές αντιμετωπίζονται σωστά, συμβάλλουν στη βιωσιμότητα και τη διαρκή φύση τέτοιων πρωτοβουλιών.

Το μέλλον της τεχνολογίας smartphones και των εφαρμογών αισθητήρων πρόκειται να αλλάξει με ιλιγγιώδεις ρυθμούς. Πρέπει να είμαστε ευέλικτοι απέναντι στη μεταβαλλόμενη δυναμική της αγοράς και καινοτόμοι στη σκέψη μας για να διασφαλίσουμε ότι τα smartphones θα συνεχίσουν να κάνουν βήματα προς τα εμπρός. Οι μελλοντικές δυνατότητες για ενσωμάτωση smartphones και αισθητήρων φαίνονται ελπιδοφόρες όχι μόνο στην πράξη αλλά και σε πολλούς άλλους τομείς και στην καθημερινή ζωή των ανθρώπων.

Εν ολίγοις, οι αισθητήρες smartphones είναι μια συναρπαστική, ταχέως αναπτυσσόμενη περιοχή με τεράστιες δυνατότητες. Έχουν τη δυνατότητα να φέρουν επανάσταση στους τομείς της τεχνολογίας και της εκπαίδευσης παρέχοντας υπηρεσίες αιχμής και βελτιωμένα χαρακτηριστικά σε ανθρώπους σε όλο τον κόσμο. Είμαστε σε καλό δρόμο για ένα μέλλον όπου τα smartphones και οι αισθητήρες συνεχίζουν να βελτιώνουν τη ζωή μας και να ανοίγουν νέες δυνατότητες.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Jones, A. (2012). There is nothing generic about graduate attributes: unpacking the scope of context. *Journal of Further and Higher Education* 37(5): 591-605
- ‘Patents Come to Life: Video Calling, 3-Axis Gyroscope & Video-Cam’. Patently Apple, <https://www.patentlyapple.com/2010/06/patents-come-to-life-for-video-calling-3-axis-gyroscope-video-cam.html>. Accessed 6 Feb. 2023.
- Aalst, J. van. (2000). An introduction to physics education research. *Canadian Journal of Physics*, 78(1), 57–71. <https://doi.org/10.1139/p00-005>
- Airey, J. (2009). Science, language, and literacy: Case studies of learning in swedish university physics. <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:uu:diva-9547>
- Aldhaban, F. (2012). Exploring the adoption of Smartphone technology: Literature review. 2012 Proceedings of PICMET '12: Technology Management for Emerging Technologies, 2758–2770.
- Algami, A. S., Khir, M. H. Md., Dennis, J. O., Ahmed, A. Y., Alabsi, S. S., Ba Hashwan, S. S., & Junaid, M. M. (2021). A review of actuation and sensing mechanisms in mems-based sensor devices. *Nanoscale Research Letters*, 16(1), 16. <https://doi.org/10.1186/s11671-021-03481-7>
- Andrachuk, M., Marschke, M., Hings, C., & Armitage, D. (2019). Smartphone technologies supporting community-based environmental monitoring and implementation: A systematic scoping review. *Biological Conservation*, 237, 430–442. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.07.026>
- Angell, C., Guttersrud, Ystein, Henriksen, E. K., & Isnes, A. (2004). Physics: Frightful, but fun. Pupils’ and teachers’ views of physics and physics teaching. *Science Education*, 88(5), 683–706. <https://doi.org/10.1002/sce.10141>
- Arbabi, E., Arbabi, A., Kamali, S. M., Horie, Y., Faraji-Dana, M., & Faraon, A. (2018). MEMS-tunable dielectric metasurface lens. *Nature Communications*, 9(1), 812. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03155-6>
- Azlan, C. A., Wong, J. H. D., Tan, L. K., A.D. Huri, M. S. N., Ung, N. M., Pallath, V., Tan, C. P.

- L., Yeong, C. H., & Ng, K. H. (2020). Teaching and learning of postgraduate medical physics using Internet-based e-learning during the COVID-19 pandemic – A case study from Malaysia. *Physica Medica*, 80, 10–16. <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2020.10.002>
- Bahreyni, B.; Shafai, C. A resonant micromachined magnetic field sensor. *IEEE Sensor J.* 2007, 7, 1326-1334.
- Barrett, G., & Omote, R. (2010). Projected-capacitive touch technology. *Information Display*, 26(3), 16–21. <https://doi.org/10.1002/j.2637-496X.2010.tb00229.x>
- Barshan, B., & Durrant-Whyte, H. F. (1995). Evaluation of a solid-state gyroscope for robotics applications. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 44(1), 61–67. <https://doi.org/10.1109/19.368102>
- Baumgart, D. C. (2011). Smartphones in clinical practice, medical education, and research. *Archives of Internal Medicine*, 171(14), 1294–1296. <https://doi.org/10.1001/archinternmed.2011.320>
- Beroulle, V.; Bertrand, Y.; Latorre, L.; Nouet, P. Monolithic Piezoresistive CMOS magnetic field sensors. *Sens. Actuators A* 2003, 103, 23-32
- Bigas, M., Cabruja, E., Forest, J., & Salvi, J. (2006). Review of CMOS image sensors. *Microelectronics Journal*, 37(5), 433–451. <https://doi.org/10.1016/j.mejo.2005.07.002>
- Bogusevski, D., Muntean, C., & Muntean, G.-M. (2020). Teaching and learning physics using 3d virtual learning environment: A case study of combined virtual reality and virtual laboratory in secondary school. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 39(1), 5–18. <https://www.learntechlib.org/primary/p/210965/>
- Bonney, R., Phillips, T. B., Ballard, H. L., & Enck, J. W. (2016). Can citizen science enhance public understanding of science? *Public Understanding of Science*, 25(1), 2–16. <https://doi.org/10.1177/0963662515607406>
- Bonney, R., Shirk, J. L., Phillips, T. B., Wiggins, A., Ballard, H. L., Miller-Rushing, A. J., & Parrish, J. K. (2014). Next steps for citizen science. *Science*, 343(6178), 1436–1437. <https://doi.org/10.1126/science.1251554>
- Boymirov, S., Ashirov, S., Urozbokov, A., Mamatov, A., & Shermatov, I. (2021). The effect of

- using interactive methods in teaching physics. *ACADEMICIA: An International Multidisciplinary Research Journal*, 11(3), 962–971. <https://doi.org/10.5958/2249-7137.2021.00725.4>
- Brage, Søren, et al. 'Reliability and Validity of the Computer Science and Applications Accelerometer in a Mechanical Setting'. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, vol. 7, no. 2, June 2003, pp. 101–19. Taylor and Francis+NEJM, [https://doi.org/10.1207/S15327841MPPE0702\\_4](https://doi.org/10.1207/S15327841MPPE0702_4).
- Brossard, D., Lewenstein, B., & Bonney, R. (2005). Scientific knowledge and attitude change: The impact of a citizen science project. *International Journal of Science Education*, 27(9), 1099–1121. <https://doi.org/10.1080/09500690500069483>
- Burgess, H. K., DeBey, L. B., Froehlich, H. E., Schmidt, N., Theobald, E. J., Ettinger, A. K., HilleRisLambers, J., Tewksbury, J., & Parrish, J. K. (2017). The science of citizen science: Exploring barriers to use as a primary research tool. *Biological Conservation*, 208, 113–120. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.05.014>
- Cai, S., Chiang, F.-K., Sun, Y., Lin, C., & Lee, J. J. (2017). Applications of augmented reality-based natural interactive learning in magnetic field instruction. *Interactive Learning Environments*, 25(6), 778–791. <https://doi.org/10.1080/10494820.2016.1181094>
- Cathy Li, Farah Lalani (2020). The COVID-19 pandemic has changed education forever. <https://www.weforum.org/agenda/2020/04/coronavirus-education-global-covid19-online-digital-learning/>
- Campus, W. N. E. U. S., Shijiazhuang, Campus, C. F. E. U. S., Shijiazhuang, Campus, C. X. E. U. S., Shijiazhuang, Campus, C. L. E. U. S., Shijiazhuang, Campus, C. H. E. U. S., Shijiazhuang, Campus, C. G. E. U. S., Shijiazhuang, Campus, C. Q. E. U. S., Shijiazhuang, & China. (2018). Summary of research status and application of mems accelerometers. *Journal of Computer and Communications*, 06(12), 215. <https://doi.org/10.4236/jcc.2018.612021>
- Cheon, S. H., & Reeve, J. (2015). A classroom-based intervention to help teachers decrease students' amotivation. *Contemporary Educational Psychology*, 40, 99–111. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2014.06.004>
- Cho, M. J., Sim, J. L., & Hwang, S. Y. (2014). Development of smartphone educational

- application for patients with coronary artery disease. *Healthcare Informatics Research*, 20(2), 117–124. <https://doi.org/10.4258/hir.2014.20.2.117>
- Chong, S., Rui, S., Jie, L., Xiaoming, Z., Jun, T., Yunbo, S., Jun, L., & Huiliang, C. (2016). Temperature drift modeling of MEMS gyroscope based on genetic-Elman neural network. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 72–73, 897–905. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2015.11.004>
- Conrad, C. C., & Hilchey, K. G. (2011). A review of citizen science and community-based environmental monitoring: Issues and opportunities. *Environmental Monitoring and Assessment*, 176(1), 273–291. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1582-5>
- Cooper, C. B., Dickinson, J., Phillips, T., & Bonney, R. (2007). Citizen science as a tool for conservation in residential ecosystems. *Ecology and Society*, 12(2). <https://www.jstor.org/stable/26267884>
- Cooper, C. B., Hawn, C. L., Larson, L. R., Parrish, J. K., Bowser, G., Cavalier, D., Dunn, R. R., Haklay, M. (Muki), Gupta, K. K., Jelks, N. O., Johnson, V. A., Katti, M., Leggett, Z., Wilson, O. R., & Wilson, S. (2021). Inclusion in citizen science: The conundrum of rebranding. *Science*, 372(6549), 1386–1388. <https://doi.org/10.1126/science.abi6487>
- Cummins, C., Orr, R., O'Connor, H., & West, C. (2013). Global positioning systems (Gps) and microtechnology sensors in team sports: A systematic review. *Sports Medicine*, 43(10), 1025–1042. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0069-2>
- de Sherbinin, A., Bowser, A., Chuang, T.-R., Cooper, C., Danielsen, F., Edmunds, R., Elias, P., Faustman, E., Hultquist, C., Mondardini, R., Popescu, I., Shonowo, A., & Sivakumar, K. (2021). The critical importance of citizen science data. *Frontiers in Climate*, 3. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fclim.2021.650760>
- Dejan. 'What Is MEMS? Accelerometer, Gyroscope & Magnetometer with Arduino'. *How To Mechatronics*, 19 Nov. 2015, <https://howtomechatronics.com/how-it-works/electrical-engineering/mems-accelerometer-gyroscope-magnetometer-arduino/>.
- Dennis, John Ojur, et al. "Optical characterization of Lorentz force based CMOS-MEMS magnetic field sensor." *Sensors* 15.8 (2015): 18256-18269.

- Denso Wave Incorporated. (2023). QR Code Essentials. Retrieved from <https://www.qrcode.com/en/about/>
- Dickinson, J. L., Zuckerberg, B., & Bonter, D. N. (2010). Citizen science as an ecological research tool: Challenges and benefits. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 41(1), 149–172. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-102209-144636>
- Dong, X., Chen, G., Tian, X., & Yan, X. (2022). Real-time estimation of roll angles by magnetometer based on two-step adaptive Kalman filter. *Measurement*, 198, 111349. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.111349>
- Dr. Steffen Fritz, Dr. Cidalia C Fonte (2016). MDPI Special Issue: Citizen Science and Earth Observation. [https://www.mdpi.com/journal/remotesensing/special\\_issues/earth\\_observation](https://www.mdpi.com/journal/remotesensing/special_issues/earth_observation)
- Dutta, S. (2019). Point of care sensing and biosensing using ambient light sensor of smartphone: Critical review. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 110, 393–400. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.11.014>
- Eitzel, M., Cappadonna, J., Santos-Lang, C., Duerr, R., West, S. E., Virapongse, A., Kyba, C., Bowser, A., Cooper, C., Sforzi, A., Metcalfe, A., Harris, E., Thiel, M., Haklay, M., Ponciano, L., Roche, J., Ceccaroni, L., Shilling, F., Dorler, D., ... Jiang, Q. (2017). Citizen science terminology matters: Exploring key terms. *Citizen Science: Theory and Practice*, 1–20. <https://eprints.whiterose.ac.uk/117418/>
- El Gamal, A. (2002). Trends in CMOS image sensor technology and design. Digest. International Electron Devices Meeting, 805–808. <https://doi.org/10.1109/IEDM.2002.1175960>
- Elliott, K. C., & Rosenberg, J. (2019). Philosophical foundations for citizen science. 4(1), 9. <https://doi.org/10.5334/cstp.155>
- Emmerich, H.; Schöfthaler, M. Magnetic field measurements with a novel surface micromachined magnetic-field sensor. *IEEE Tans. Electron Dev.* 2000, 47, 972-977.
- Esquembre, F. (2002). Computers in physics education. *Computer Physics Communications*, 147(1), 13–18. [https://doi.org/10.1016/S0010-4655\(02\)00197-2](https://doi.org/10.1016/S0010-4655(02)00197-2)
- Fraisl, D., Campbell, J., See, L., Wehn, U., Wardlaw, J., Gold, M., Moorthy, I., Arias, R., Piera, J., Oliver, J. L., Masó, J., Penker, M., & Fritz, S. (2020). Mapping citizen science contributions to the UN sustainable development goals. *Sustainability Science*, 15(6), 1735–

1751. <https://doi.org/10.1007/s11625-020-00833-7>

- Fritz, S., See, L., Carlson, T., Haklay, M. (Muki), Oliver, J. L., Fraisl, D., Mondardini, R., Brocklehurst, M., Shanley, L. A., Schade, S., Wehn, U., Abrate, T., Anstee, J., Arnold, S., Billot, M., Campbell, J., Espey, J., Gold, M., Hager, G., ... West, S. (2019). Citizen science and the united nations sustainable development goals. *Nature Sustainability*, 2(10), 922–930. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0390-3>
- Gok, T. (2010). The general assessment of problem solving processes and metacognition in physics education. *International Journal of Physics and Chemistry Education*, 2(2), 110–122. <https://doi.org/10.51724/ijpce.v2i2.186>
- Gonsalves, A. J., Danielsson, A., & Pettersson, H. (2016). Masculinities and experimental practices in physics: The view from three case studies. *Physical Review Physics Education Research*, 12(2), 020120. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.12.020120>
- GRAYSON, A. C. R., SHAWGO, R. S., JOHNSON, A. M., FLYNN, N. T., LI, Y., CIMA, M. J., & LANGER, R. (2004). A BioMEMS review: MEMS technology for physiologically integrated devices. *Proceedings of the IEEE*, 92(1), 6–21. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2003.820534>
- Guerrini, C. J., Majumder, M. A., Lewellyn, M. J., & McGuire, A. L. (2018). Citizen science, public policy. *Science*, 361(6398), 134–136. <https://doi.org/10.1126/science.aar8379>
- Guo, Y., Kong, J., Liu, H., Xiong, H., Li, G., & Qin, L. (2016). A three-axis force fingertip sensor based on fiber Bragg grating. *Sensors and Actuators A: Physical*, 249, 141–148. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2016.08.020>
- Gura, T. (2013). Citizen science: Amateur experts. *Nature*, 496(7444), 259–261. <https://doi.org/10.1038/nj7444-259a>
- Ha, S., & Choi, S. (2016). Convolutional neural networks for human activity recognition using multiple accelerometer and gyroscope sensors. 2016 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), 381–388. <https://doi.org/10.1109/IJCNN.2016.7727224>
- Hake, R. (2002). Lessons from the physics education reform effort. *Conservation Ecology*, 5(2). <https://www.jstor.org/stable/26271821>

- Haklay, M. E. (2015). Citizen science and policy: A european perspective (Report 4). Woodrow Wilson International Center for Scholars. <https://www.wilsoncenter.org/publication/citizen-science-and-policy-european-perspective>
- Heigl, F., Kieslinger, B., Paul, K. T., Uhlik, J., & Dörler, D. (2019). Toward an international definition of citizen science. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(17), 8089–8092. <https://doi.org/10.1073/pnas.1903393116>
- Herrera-May, A.L.; García-Ramírez, P.J.; Aguilera-Cortés, L.A.; Martínez-Castillo, J.; Saucedo-Carvajal, A.; García-González, L.; Figueras-Costa, E. A resonant magnetic field microsensor with high quality factor at atmospheric pressure. *J. Micromech. Microeng.* 2009, 19, 015016.
- Hırça, N. (2017). The influence of hands on physics experiments on scientific process skills according to prospective teachers' experiences I. *European Journal of Physics Education*, 4(1), 6–14. <http://www.eu-journal.org/index.php/EJPE/article/view/77>
- Hochberg, K., Kuhn, J., & Müller, A. (2018). Using smartphones as experimental tools—Effects on interest, curiosity, and learning in physics education. *Journal of Science Education and Technology*, 27(5), 385–403. <https://doi.org/10.1007/s10956-018-9731-7>
- Holmes, N. G., Wieman, C. E., & Bonn, D. A. (2015). Teaching critical thinking. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(36), 11199–11204. <https://doi.org/10.1073/pnas.1505329112>
- Hung, Y. -H., Chen, C. -H., & Huang, S. -W. (2017). Applying augmented reality to enhance learning: A study of different teaching materials. *Journal of Computer Assisted Learning*, 33(3), 252–266. <https://doi.org/10.1111/jcal.12173>
- Ibrahim, A., Eltawil, A., Na, Y., & El-Tawil, S. (2020). Accuracy limits of embedded smart device accelerometer sensors. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 69(8), 5488–5496. <https://doi.org/10.1109/TIM.2020.2964912>
- IEEE Std 1431–2004 Coriolis Vibratory Gyroscopes.
- Ince, E. (2018). An overview of problem solving studies in physics education. *Journal of Education and Learning*, 7(4), 191–200. <https://eric.ed.gov/?id=EJ1179603>
- Iqbal, S., & Bhatti, Z. A. (2020). A qualitative exploration of teachers' perspective on



- smartphones usage in higher education in developing countries. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 17(1), 29. <https://doi.org/10.1186/s41239-020-00203-4>
- Irwin, A. (1995). *Citizen Science: A Study of People, Expertise and Sustainable Development*. Routledge.
- Jain, A., & Kanhangad, V. (2018a). Human activity classification in smartphones using accelerometer and gyroscope sensors. *IEEE Sensors Journal*, 18(3), 1169–1177. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2017.2782492>
- Jalal, A., Quaid, M. A. K., Tahir, S. B. ud din, & Kim, K. (2020). A study of accelerometer and gyroscope measurements in physical life-log activities detection systems. *Sensors*, 20(22), 6670. <https://doi.org/10.3390/s20226670>
- Jian-hua, S., & hong, L. (2012). Explore the effective use of multimedia technology in college physics teaching. *Energy Procedia*, 17, 1897–1900. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.02.329>
- Johnson, B. R., Cabuz, E., French, H. B., & Supino, R. (2010). Development of a MEMS gyroscope for northfinding applications. *IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium*, 168–170. <https://doi.org/10.1109/PLANS.2010.5507133>
- Jordan, R. C., Ballard, H. L., & Phillips, T. B. (2012). Key issues and new approaches for evaluating citizen-science learning outcomes. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 10(6), 307–309. <https://doi.org/10.1890/110280>
- Jordan, R. C., Gray, S. A., Howe, D. V., Brooks, W. R., & Ehrenfeld, J. G. (2011). Knowledge gain and behavioral change in citizen-science programs: Citizen-scientist knowledge gain. *Conservation Biology*, 25(6), 1148–1154. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2011.01745.x>
- Kabil, O. (2015). Philosophy in physics education. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 197, 675–679. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.07.057>
- Kacetl, J., & Klímová, B. (2019). Use of smartphone applications in english language learning—A challenge for foreign language education. *Education Sciences*, 9(3), 179. <https://doi.org/10.3390/educsci9030179>

- Kádár, Z.; Bossche, A.; Sarro, P.M.; Mollinger, J.R. Magnetic-field measurements using an integrated resonant magnetic-field sensor. *Sens. Actuators A* 1998, 70, 225-232.
- Keplinger, F.; Kvasnica, S.; Hauser, H.; Grössinger, R. Optical readouts of cantilever bending designed for high magnetic field application. *IEEE Trans. Magn.* 2003, 39, 3304-3306.
- Keplinger, F.; Kvasnica, S.; Jachimowicz, A.; Kohl, F.; Steurer, J.; Hauser, H. Lorentz force based magnetic field sensor with optical readout. *Sens. Actuators A* 2004, 110, 12-118.
- Kim, S., et al. (2018). Evolution of CMOS image sensors. *Nature Electronics*, 1(7), 339-349.
- Kobori, H., Dickinson, J. L., Washitani, I., Sakurai, R., Amano, T., Komatsu, N., Kitamura, W., Takagawa, S., Koyama, K., Ogawara, T., & Miller-Rushing, A. J. (2016). Citizen science: A new approach to advance ecology, education, and conservation. *Ecological Research*, 31(1), 1–19. <https://doi.org/10.1007/s11284-015-1314-y>
- Kok, M., & Schön, T. B. (2016). Magnetometer calibration using inertial sensors. *IEEE Sensors Journal*, 16(14), 5679–5689. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2016.2569160>
- Koponen, I. T., & Mäntylä, T. (2006). Generative role of experiments in physics and in teaching physics: A suggestion for epistemological reconstruction. *Science & Education*, 15(1), 31–54. <https://doi.org/10.1007/s11191-005-3199-6>
- Kosmala, M., Wiggins, A., Swanson, A., & Simmons, B. (2016). Assessing data quality in citizen science. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 14(10), 551–560. <https://doi.org/10.1002/fee.1436>
- Krishnan, Girish & Kshirsagar, Chaitanya & Ananthasuresh, G. & Bhat, Navakanta. (2007). Micromachined High-Resolution Accelerometers. *Journal of the Indian Institute of Science*. 87.
- Levin, N., Kyba, C. C. M., Zhang, Q., Sánchez de Miguel, A., Román, M. O., Li, X., Portnov, B. A., Molthan, A. L., Jechow, A., Miller, S. D., Wang, Z., Shrestha, R. M., & Elvidge, C. D. (2020). Remote sensing of night lights: A review and an outlook for the future. *Remote Sensing of Environment*, 237, 111443. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111443>
- Lu, J., Birru, D., & Whitehouse, K. (2010). Using simple light sensors to achieve smart daylight harvesting. *Proceedings of the 2nd ACM Workshop on Embedded Sensing Systems for*

- Energy-Efficiency in Building, 73–78. <https://doi.org/10.1145/1878431.1878448>
- Mascaro, S. A., & Asada, H. H. (2004). Measurement of finger posture and three-axis fingertip touch force using fingernail sensors. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 20(1), 26–35. <https://doi.org/10.1109/TRA.2003.820931>
- McCarty, Brad. ‘The History of Smartphones’. TNW | Mobile, 6 Dec. 2011, <https://thenextweb.com/news/the-history-of-the-smartphone>.
- McKinley, D. C., Miller-Rushing, A. J., Ballard, H. L., Bonney, R., Brown, H., Cook-Patton, S. C., Evans, D. M., French, R. A., Parrish, J. K., Phillips, T. B., Ryan, S. F., Shanley, L. A., Shirk, J. L., Stepenuck, K. F., Weltzin, J. F., Wiggins, A., Boyle, O. D., Briggs, R. D., Chapin, S. F., ... Soukup, M. A. (2017). Citizen science can improve conservation science, natural resource management, and environmental protection. *Biological Conservation*, 208, 15–28. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.05.015>
- Mendis, S., Kemeny, S. E., & Fossum, E. R. (1994). CMOS active pixel image sensor. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 41(3), 452–453. <https://doi.org/10.1109/16.275235>
- Metruk, R. (2020). Efl learners’ perspectives on the use of smartphones in higher education settings in slovakia. *Electronic Journal of E-Learning*, 18(6), pp537 549-pp537 549. <https://doi.org/10.34190/JEL.18.6.006>
- Miller, A. (2015). Games centered approaches in teaching children & adolescents: Systematic review of associated student outcomes. *Journal of Teaching in Physical Education*, 34(1), 36–58. <https://doi.org/10.1123/jtpe.2013-0155>
- Milner-Bolotin, Marina, and Valery Milner. ‘Phyphox Smartphone Labs in Physics Education: Breaking the Vicious Circle of Student Disengagement’. *Proceedings of the IUPAP International Conference on Physics Education 2022*, Nov. 2022, pp. 123–123. [openjournals.library.sydney.edu.au](https://openjournals.library.sydney.edu.au), <https://openjournals.library.sydney.edu.au/ICPE/article/view/16420>.
- Monk, M. (1994). Mathematics in physics education: A case of more haste less speed. *Physics Education*, 29(4), 209. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/29/4/005>
- Mueller, M., Tippins, D., & Bryan, L. (2012). The future of citizen science. *Democracy and Education*, 20(1). <https://democracyeducationjournal.org/home/vol20/iss1/2>

- Muralidharan, K., Khan, A. J., Misra, A., Balan, R. K., & Agarwal, S. (2014). Barometric phone sensors: More hype than hope! Proceedings of the 15th Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, 1–6. <https://doi.org/10.1145/2565585.2565596>
- Mustafazade, A., Pandit, M., Zhao, C., Sobreviela, G., Du, Z., Steinmann, P., Zou, X., Howe, R. T., & Seshia, A. A. (2020). A vibrating beam MEMS accelerometer for gravity and seismic measurements. *Scientific Reports*, 10(1), 10415. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67046-x>
- Newman, G., Graham, J., Crall, A., & Laituri, M. (2011a). The art and science of multi-scale citizen science support. *Ecological Informatics*, 6(3), 217–227. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2011.03.002>
- Newman, G., Graham, J., Crall, A., & Laituri, M. (2011b). The art and science of multi-scale citizen science support. *Ecological Informatics*, 6(3), 217–227. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2011.03.002>
- Newman, G., Wiggins, A., Crall, A., Graham, E., Newman, S., & Crowston, K. (2012). The future of citizen science: Emerging technologies and shifting paradigms. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 10(6), 298–304. <https://doi.org/10.1890/110294>
- Nichols, Jeanne F., et al. 'Assessment of Physical Activity with the Computer Science and Applications, Inc., Accelerometer: Laboratory versus Field Validation'. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, vol. 71, no. 1, Mar. 2000, pp. 36–43. Taylor and Francis+NEJM, <https://doi.org/10.1080/02701367.2000.10608878>.
- O'Connor, S., & Andrews, T. (2018). Smartphones and mobile applications (Apps) in clinical nursing education: A student perspective. *Nurse Education Today*, 69, 172–178. <https://doi.org/10.1016/j.nedt.2018.07.013>
- Ottinger, G. (2010). Buckets of resistance: Standards and the effectiveness of citizen science. *Science, Technology, & Human Values*, 35(2), 244–270. <https://doi.org/10.1177/0162243909337121>
- Pandya, R. E. (2012). A framework for engaging diverse communities in citizen science in the US. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 10(6), 314–317. <https://doi.org/10.1890/120007>
- Parsons, J., Lukyanenko, R., & Wiersma, Y. (2011). Easier citizen science is better. *Nature*,

471(7336), 37–37. <https://doi.org/10.1038/471037a>

- Passaro, V. M. N., Cuccovillo, A., Vaiani, L., De Carlo, M., & Campanella, C. E. (2017). Gyroscope technology and applications: A review in the industrial perspective. *Sensors*, 17(10), 2284. <https://doi.org/10.3390/s17102284>
- Pateman, R. M., Dyke, A., & West, S. E. (2021). The diversity of participants in environmental citizen science. *Citizen Science: Theory and Practice*. <https://doi.org/10.5334/cstp.369>
- Petry, C. A., Pacheco, F. S., Lohmann, D., Correa, G. A., & Moura, P. (2016). Project teaching beyond Physics: Integrating Arduino to the laboratory. 2016 Technologies Applied to Electronics Teaching (TAEE), 1–6. <https://doi.org/10.1109/TAEE.2016.7528376>
- Phillippi, J. C., & Wyatt, T. H. (2011). Smartphones in nursing education. *CIN: Computers, Informatics, Nursing*, 29(8), 449. <https://doi.org/10.1097/NCN.0b013e3181fc411f>
- Piyabongkarn, D., Rajamani, R., & Greminger, M. (2005). The development of a MEMS gyroscope for absolute angle measurement. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 13(2), 185–195. <https://doi.org/10.1109/TCST.2004.839568>
- Pocock, M. J. O., Tweddle, J. C., Savage, J., Robinson, L. D., & Roy, H. E. (2017). The diversity and evolution of ecological and environmental citizen science. *PLOS ONE*, 12(4), e0172579. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172579>
- Purschwitz, J., Müller, S., Kastner, C., & Fischer, R. (2006). Seeing the rainbow: Light sensing in fungi. *Current Opinion in Microbiology*, 9(6), 566–571. <https://doi.org/10.1016/j.mib.2006.10.011>
- Qiu, L. (2014). Fingerprint sensor technology. 2014 9th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, 1433–1436. <https://doi.org/10.1109/ICIEA.2014.6931393>
- Ragam, Prashanth, and Nimaje Devidas Sahebraoji. ‘Application of MEMS-based Accelerometer Wireless Sensor Systems for Monitoring of Blast-induced Ground Vibration and Structural Health: A Review’. *IET Wireless Sensor Systems*, vol. 9, no. 3, June 2019, pp. 103–09. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1049/iet-wss.2018.5099>.
- Resnik, D. B., Elliott, K. C., & Miller, A. K. (2015). A framework for addressing ethical issues in citizen science. *Environmental Science & Policy*, 54, 475–481.

<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.05.008>

- Riesch, H., & Potter, C. (2014). Citizen science as seen by scientists: Methodological, epistemological and ethical dimensions. *Public Understanding of Science*, 23(1), 107–120. <https://doi.org/10.1177/0963662513497324>
- Romero, B., Veiga, F., & Adelson, E. (2020). Soft, round, high resolution tactile fingertip sensors for dexterous robotic manipulation. 2020 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 4796–4802. <https://doi.org/10.1109/ICRA40945.2020.9196909>
- Rosell-Polo, J. R., Auat Cheein, F., Gregorio, E., Andújar, D., Puigdomènech, L., Masip, J., & Escolà, A. (2015). Chapter three—Advances in structured light sensors applications in precision agriculture and livestock farming. In D. L. Sparks (Ed.), *Advances in Agronomy* (Vol. 133, pp. 71–112). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2015.05.002>
- Rotman, D., Preece, J., Hammock, J., Procita, K., Hansen, D., Parr, C., Lewis, D., & Jacobs, D. (2012). Dynamic changes in motivation in collaborative citizen-science projects. *Proceedings of the ACM 2012 Conference on Computer Supported Cooperative Work*, 217–226. <https://doi.org/10.1145/2145204.2145238>
- Saadon, S., & Sidek, O. (2011). A review of vibration-based MEMS piezoelectric energy harvesters. *Energy Conversion and Management*, 52(1), 500–504. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.07.024>
- SaLoutos, A., Stanger-Jones, E., Guo, M., Kim, H., & Kim, S. (2023). Design of a multimodal fingertip sensor for dynamic manipulation. 2023 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 8017–8024. <https://doi.org/10.1109/ICRA48891.2023.10160256>
- Sari, U., & Kirindi, T. (2019). Using arduino in physics teaching: Arduino-based physics experiment to study temperature dependence of electrical resistance. *Journal of Computer and Education Research*, 7(14), 698–710. <https://doi.org/10.18009/jcer.579362>
- Schade, S., Pelacho, M., van Noordwijk, T. (C. G. E. ), Vohland, K., Hecker, S., & Manzoni, M. (2021). Citizen science and policy. In K. Vohland, A. Land-Zandstra, L. Ceccaroni, R. Lemmens, J. Perelló, M. Ponti, R. Samson, & K. Wagenknecht (Eds.), *The Science of Citizen Science* (pp. 351–371). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-58278-4\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-030-58278-4_18)

- Silicon Sensing | MEMS Gyroscopes. <https://www.siliconsensing.com/technology/mems-gyroscopes/>. Accessed 6 Feb. 2023.
- Staacks, S., Hütz, S., Heinke, H., & Stampfer, C. (2018). Advanced tools for smartphone-based experiments: Phyphox. *Physics Education*, 53(4), 045009. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/aac05e>
- Stern, C., Echeverría, C., & Porta, D. (2017). Teaching physics through experimental projects. *Procedia IUTAM*, 20, 189–194. <https://doi.org/10.1016/j.piutam.2017.03.026>
- Strasser, B., Baudry, J., Mahr, D., Sanchez, G., & Tancoigne, É. (Eds.). (2019). ‘Citizen science’? Rethinking science and public participation. *Science & Technology Studies*. <https://doi.org/10.23987/sts.60425>
- Sullivan, B. L., Aycrigg, J. L., Barry, J. H., Bonney, R. E., Bruns, N., Cooper, C. B., Damoulas, T., Dhondt, A. A., Dietterich, T., Farnsworth, A., Fink, D., Fitzpatrick, J. W., Fredericks, T., Gerbracht, J., Gomes, C., Hochachka, W. M., Iliff, M. J., Lagoze, C., La Sorte, F. A., ... Kelling, S. (2014). The eBird enterprise: An integrated approach to development and application of citizen science. *Biological Conservation*, 169, 31–40. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.11.003>
- Sunier, R.; Vancura, T.; Li, Y.; Kay-Uwe, K.; Baltés, H.; Brand, O. Resonant magnetic field sensor with frequency output. *J. Microelectromech. Syst.* 2006, 15, 1098-1107.
- Sykes, E. R. (2014). New methods of mobile computing: From smartphones to smart education. *TechTrends*, 58(3), 26–37. <https://doi.org/10.1007/s11528-014-0749-2>
- Taraldsen, Kristin, et al. ‘Physical Activity Monitoring by Use of Accelerometer-Based Body-Worn Sensors in Older Adults: A Systematic Literature Review of Current Knowledge and Applications’. *Maturitas*, vol. 71, no. 1, Jan. 2012, pp. 13–19. ScienceDirect, <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2011.11.003>.
- Trippel, T., Weisse, O., Xu, W., Honeyman, P., & Fu, K. (2017). Walnut: Waging doubt on the integrity of mems accelerometers with acoustic injection attacks. 2017 IEEE European Symposium on Security and Privacy (EuroS&P), 3–18. <https://doi.org/10.1109/EuroSP.2017.42>
- Trumbull, D. J., Bonney, R., Bascom, D., & Cabral, A. (2000). Thinking scientifically during

- participation in a citizen-science project. *Science Education*, 84(2), 265–275.  
[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(200003\)84:2<265::AID-SCE7>3.0.CO;2-5](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(200003)84:2<265::AID-SCE7>3.0.CO;2-5)
- Tweddle, J. C., Robinson, L. D., Pocock, M. J. O., & Roy, H. E. (2012). *Guide to citizen science: Developing, implementing and evaluating citizen science to study biodiversity and the environment in the UK*. NERC/Centre for Ecology & Hydrology.  
<http://www.ukeof.org.uk/documents/guide-to-citizen-science.pdf>
- Varanis, M., Silva, A., Mereles, A., & Pederiva, R. (2018). MEMS accelerometers for mechanical vibrations analysis: A comprehensive review with applications. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 40(11), 527.  
<https://doi.org/10.1007/s40430-018-1445-5>
- Vohland, K., Land-zandstra, A., Ceccaroni, L., Lemmens, R., Perelló, J., Ponti, M., Samson, R., & Wagenknecht, K. (Eds.). (2021). *The science of citizen science*. Springer Nature.  
<https://doi.org/10.1007/978-3-030-58278-4>
- Vu, C. C., Kim, S. J., & Kim, J. (2021). Flexible wearable sensors—An update in view of touch-sensing. *Science and Technology of Advanced Materials*, 22(1), 26–36.  
<https://doi.org/10.1080/14686996.2020.1862629>
- Wang, D., Watkins, C., & Xie, H. (2020). Mems mirrors for lidar: A review. *Micromachines*, 11(5), 456. <https://doi.org/10.3390/mi11050456>
- Wang, X., Yu, Z., & Mao, S. (2018). Deepml: Deep lstm for indoor localization with smartphone magnetic and light sensors. 2018 IEEE International Conference on Communications (ICC), 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICC.2018.8422562>
- Warren, Christina. ‘Apple Announces iPhone 6 Plus, the First iPhone Phablet’. Mashable, 9 Sept. 2014, <https://mashable.com/archive/apple-iphone-6-plus>.
- Wickenden, D.K.; Champion, J.L.; Osiander, R.; Givens, R.B.; Lamb, J.L.; Miragliotta, J.A.; Oursler, D.A.; Kistenmacher, T.J. Micromachined polysilicon resonating xylophone bar magnetometer. *Acta Astronautica* 2003, 52, 421-425.
- Wiggins, A., & Crowston, K. (2015). Surveying the citizen science landscape. *First Monday*, 20(1–5). <https://digitalcommons.unomaha.edu/isqafacpub/75>



- Wiggins, A., & Wilbanks, J. (2019). The rise of citizen science in health and biomedical research. *The American Journal of Bioethics*, 19(8), 3–14.  
<https://doi.org/10.1080/15265161.2019.1619859>
- Wolterink, G., Sanders, R., van Beijnum, B.-J., Veltink, P., & Krijnen, G. (2021). A 3d-printed soft fingertip sensor for providing information about normal and shear components of interaction forces. *Sensors*, 21(13), 4271. <https://doi.org/10.3390/s21134271>
- Yamazato, T., Takai, I., Okada, H., Fujii, T., Yendo, T., Arai, S., Andoh, M., Harada, T., Yasutomi, K., Kagawa, K., & Kawahito, S. (2014). Image-sensor-based visible light communication for automotive applications. *IEEE Communications Magazine*, 52(7), 88–97.  
<https://doi.org/10.1109/MCOM.2014.6852088>
- Zanetti, L.J.; Potemra, T.A.; Oursler, D.A.; Lohr, D.A.; Anderson, B.J.; Givens, R.B.; Wickenden, D.K.; Osiander, R.; Kistenmacher, T.J.; Jenkins, R.E. Miniature magnetic field sensors based on xylophone resonators. In *Science Closure and Enabling Technologies for Constellation Class Missions*; Angelopoulos, V., Panetta, P.V., Eds.; University of California: Berkeley, CA, USA, 1998; pp. 149-151.
- Zhampeissova, K., Kosareva, I., & Borisova, U. (2020). Collaborative mobile learning with smartphones in higher education. *International Association of Online Engineering*.  
<https://www.learntechlib.org/p/218550/>
- Zhanshe, G., Fucheng, C., Boyu, L., Le, C., Chao, L., & Ke, S. (2015). Research development of silicon MEMS gyroscopes: A review. *Microsystem Technologies*, 21(10), 2053–2066.  
<https://doi.org/10.1007/s00542-015-2645-x>
- Zhanshe, G., Fucheng, C., Boyu, L., Le, C., Chao, L., & Ke, S. (2015). Research development of silicon MEMS gyroscopes: A review. *Microsystem Technologies*, 21(10), 2053–2066.  
<https://doi.org/10.1007/s00542-015-2645-x>
- Zheng, Xu-dong, et al. ‘An In-Plane Low-Noise Accelerometer Fabricated with an Improved Process Flow’. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE A*, vol. 10, no. 10, Oct. 2009, pp. 1413–20. Springer Link, <https://doi.org/10.1631/jzus.A0820757>.
- Zhu, J., Liu, X., Shi, Q., He, T., Sun, Z., Guo, X., Liu, W., Sulaiman, O. B., Dong, B., & Lee, C. (2020). Development trends and perspectives of future sensors and mems/nems.

Micromachines, 11(1), 7. <https://doi.org/10.3390/mi11010007>

Zhu, J., Wang, W., Huang, S., & Ding, W. (2020). An improved calibration technique for mems accelerometer-based inclinometers. *Sensors*, 20(2), 452. <https://doi.org/10.3390/s20020452>

Zotov, S. A., Simon, B. R., Trusov, A. A., & Shkel, A. M. (2015). High quality factor resonant mems accelerometer with continuous thermal compensation. *IEEE Sensors Journal*, 15(9), 5045–5052. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2015.2432021>

Zou, X., & Seshia, A. A. (2015). A high-resolution resonant MEMS accelerometer. 2015 Transducers - 2015 18th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (TRANSDUCERS), 1247–1250. <https://doi.org/10.1109/TRANSDUCERS.2015.7181156>