

Πανελλήνιο Συνέδριο της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση

Τόμ. 14, Αρ. 2 (2026)


Πρακτικά 14ου Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση

ΠΡΑΚΤΙΚΑ

14^ο

ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ
ΔΙΔΑΚΤΙΚΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
και ΝΕΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ στην ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ

Διδασκαλία και Μάθηση στις Φυσικές Επιστήμες
στην Εποχή της Τεχνητής Νοημοσύνης: Έρευνες, Καινοτομίες και Πρακτικές




12-14 Απριλίου 2025

ΥΠΟ ΤΗΝ ΑΙΓΙΔΑ
ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΦΥΣΙΚΗΣ, ΔΠΘ
ΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ, ΔΠΘ

Εργαστήριο Διδακτικής της Φυσικής & Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας,
Τμήμα Φυσικής, Σχολή Θετικών Επιστημών,
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

synedrio2025.enepht.gr



Τεχνητή Νοημοσύνη και Εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες: Η Αξιολόγηση του ChatGPT στην Κατανόηση Θερμικών Φαινομένων

Γεωργία Βακάρου, Γεώργιος Στύλος, Κώστας Γεωργόπουλος, Κωνσταντίνος Κώτσης

doi: [10.12681/codiste.9893](https://doi.org/10.12681/codiste.9893)

Τεχνητή Νοημοσύνη και Εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες: Η Αξιολόγηση του ChatGPT στην Κατανόηση Θερμικών Φαινομένων

Γεωργία Βακάρου¹, Γεώργιο Στύλος²,
Κώστας Γεωργόπουλος³ και Κωνσταντίνος Θ. Κώτσης⁴

¹Υποψήφια Διδακτόρισα, ^{2,3}Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό, ⁴Καθηγητής
^{1,2,3,4}Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων
¹*g.vakarou@uoi.gr*

Περίληψη

Η τεχνητή νοημοσύνη (artificial intelligence-AI) έχει ήδη αρχίσει να διαμορφώνει τις εκπαιδευτικές διαδικασίες, με τη δυνατότητα να προσφέρει εξατομικευμένη μάθηση και άμεση βοήθεια στους μαθητές/τριες. Η παρούσα μελέτη εξετάζει την αποτελεσματικότητα της AI, και ειδικά του ChatGPT, στην κατανόηση και διδασκαλία θεμελιωδών εννοιών όπως η θερμότητα και η θερμοκρασία. Μέσω της χρήσης του ερωτηματολογίου Thermal Concept Evaluation (TCE), η έρευνα αξιολογεί τις επιστημονικές απαντήσεις που παρέχει το ChatGPT και εντοπίζει τυχόν εναλλακτικές αντιλήψεις. Η μελέτη αναδεικνύει τη σημασία της κριτικής σκέψης κατά τη χρήση τεχνολογιών τεχνητής νοημοσύνης στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών, καθώς οι απαντήσεις που παρέχει δεν είναι πάντα ακριβείς και απαλλαγμένες από κοινές παρανοήσεις. Παρότι παρατηρείται βελτίωση στην απόδοση του ChatGPT σε μεταγενέστερη φάση, οι περιορισμοί που παρουσιάζει η τεχνολογία AI τονίζουν την ανάγκη συνεχούς ανάπτυξης και προσεκτικής ενσωμάτωσής της στην εκπαίδευση.

Λέξεις κλειδιά: εκπαίδευση Φυσικών Επιστημών, εναλλακτικές αντιλήψεις, θερμοκρασία, θερμότητα, τεχνητή νοημοσύνη

Artificial Intelligence and Science Education: Assessing ChatGPT's Understanding of Thermal Phenomena

Georgia Vakarou¹, Georgios Stylos²,
Kostas Georgopoulos³ and Konstantinos T. Kotsis⁴

¹PhD Candidate, ^{2,3}Laboratory Teaching Staff, ⁴Professor
^{1,2,3,4}Department of Primary Education, University of Ioannina
¹*g.vakarou@uoi.gr*

Abstract

Artificial intelligence (AI) has already begun to shape educational processes, with the potential to offer personalized learning and direct assistance to students. This study examines the effectiveness of AI, and especially ChatGPT, in understanding and teaching fundamental concepts such as heat and temperature. Through the Thermal Concept Evaluation (TCE) questionnaire, the research evaluates the scientific answers provided by ChatGPT and identifies any alternative perceptions. The study highlights the importance of critical thinking when using artificial intelligence technologies in science teaching, as the answers it provides are not always accurate and free from common misconceptions. Although there is an improvement in ChatGPT performance at a later stage, the limitations presented by AI technology highlight the need for continuous development and careful integration in training.

Keywords: artificial intelligence (AI), heat, misconceptions, science education, temperature

Εισαγωγή

Η τεχνητή νοημοσύνη (TN) τα τελευταία χρόνια έχει διαμορφώσει νέες οδούς στην εκπαίδευση, επιτρέποντας την εξατομικευμένη μάθηση και την άμεση αλληλεπίδραση μέσω εφαρμογών συνομιλίας (Adiguzel et al., 2023). Μελέτες έχουν δείξει ότι οι εφαρμογές της TN μπορούν να βελτιώσουν τη διδασκαλία και τη μάθηση σε μαθήματα φυσικών επιστημών, προσαρμόζοντας το υλικό στις ανάγκες και τις δεξιότητες κάθε μαθητή (Almasri, 2024; Kotsis, 2024a). Συγκεκριμένα, η χρήση εργαλείων όπως το ChatGPT έχει αναδειχθεί ως καινοτόμος προσέγγιση στη διδακτική πρακτική. Σύμφωνα με έρευνες, το ChatGPT μπορεί να διευκολύνει τη διδασκαλία και τη μάθηση μέσω της δημιουργίας κουίζ, του σχεδιασμού αξιολογήσεων, της παραγωγής περιλήψεων και της μετάφρασης σύνθετων όρων, αναδεικνύοντας την εκτεταμένη επίδρασή του (Ali et al., 2024; Kotsis, 2024b).

Αναφορικά με τον επιστημονικό τομέα της Θερμοδυναμικής, είναι γνωστό ότι παρουσιάζονται σημαντικές προκλήσεις κατά την διδασκαλία εννοιών που εμπίπτουν σε αυτόν, καθώς οι μαθητές/τριες συχνά αναπτύσσουν εναλλακτικές αντιλήψεις. Η θερμότητα αναφέρεται στη μεταφορά ενέργειας λόγω διαφορών θερμοκρασίας, ενώ η θερμοκρασία αφορά την μέση κινητική ενέργεια των σωματιδίων μιας ουσίας, έννοιες που συγχέονται τόσο από μαθητές όσο και από την TN (Suits & Mestre, 2016). Συγκεκριμένα, οι παρανοήσεις σχετικά με αυτές τις έννοιες είναι κοινές, όπως η αντίληψη ότι η θερμότητα είναι μια ουσία ή ότι η θερμοκρασία εξαρτάται από το μέγεθος ενός αντικειμένου (Κασσέτας, 2004; Çakır & Sarıkaya, 2016).

Σύμφωνα με έρευνα των Roll και Wylie (2016), η TN έχει ισχυρές δυνατότητες στη διδασκαλία απλών εννοιών, όπως η μέτρηση και η περιγραφή φαινομένων, αλλά αντιμετωπίζει δυσκολίες όταν καλείται να ερμηνεύσει φαινόμενα που απαιτούν πολύ-παραγοντική ανάλυση. Η έρευνα των Yang και Evans (2021) δείχνει ότι η TN αποδίδει καλά σε απλές ερωτήσεις, αλλά όταν καλείται να απαντήσει σε προβλήματα που περιλαμβάνουν μεταβαλλόμενες φυσικές συνθήκες, όπως η επίδραση της πίεσης και του όγκου στη θερμοκρασία, τα αποτελέσματα είναι συχνά ανεπαρκή.

Η ικανότητα των γλωσσικών μοντέλων τεχνητής νοημοσύνης, όπως το ChatGPT, να ανταποκρίνονται σε εξεταστικά ερωτηματολόγια έχει ήδη αξιολογηθεί σε διάφορους επιστημονικούς τομείς. Στην έρευνα της Βασιλικού (2023) αναφέρεται ότι το ChatGPT μπορεί να περάσει την πλειοψηφία των εξετάσεων σε πανεπιστημιακά και σχολικά περιβάλλοντα, θέτοντας σημαντικά ερωτήματα για τον ρόλο του στην εκπαιδευτική διαδικασία και την αξιολόγηση της γνώσης. Επιπλέον, πρόσφατες μελέτες έχουν διερευνήσει την αποτελεσματικότητα της τεχνητής νοημοσύνης στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών (Kotsis, 2024a), με έμφαση στην αξιολόγηση της απόδοσης του ChatGPT σε ερωτηματολόγια φυσικής. Για παράδειγμα, η έρευνα του West (2023) έδειξε ότι η απόδοση του ChatGPT στην συμπλήρωση ενός ευρέως γνωστού ερωτηματολογίου (Force Concept Inventory-FCI) εμφανίζει βελτίωση, υπογραμμίζοντας την προοπτική ενσωμάτωσης τέτοιων εργαλείων στην εκπαιδευτική διαδικασία.

Στον αντίποδα, στην εργασία του Kortemeyer (2023), διερευνήθηκε η ικανότητα του ChatGPT να ανταποκριθεί σε αξιολογήσεις ενός εισαγωγικού μαθήματος φυσικής με τα αποτελέσματα να δείχνουν ότι το μοντέλο θα περνούσε οριακά το μάθημα, παρουσιάζοντας πολλές παρανοήσεις και σφάλματα που συναντώνται συνήθως σε αρχάριους μαθητές. Τα παραπάνω ενισχύονται και από την έρευνα των Bahak et al. (2023) όπου αναφέρεται ότι η ικανότητα του ChatGPT να απαντά σε ερωτήσεις φυσικής παρουσιάζει σημαντικές αδυναμίες. Ακόμα, διάφορες έρευνες έχουν επισημάνει ανησυχίες σχετικά με την ποιότητα των απαντήσεων και τις πιθανές προκαταλήψεις στο περιεχόμενο που παράγεται από την TN (Ali et al., 2024). Η ακρίβεια των απαντήσεων του ChatGPT έχει αξιολογηθεί σε ποικίλα σενάρια, όπου φαίνεται πως το μοντέλο δυσκολεύεται όταν διαχειρίζεται σύνθετες εννοιολογικά καταστάσεις (Tong et al., 2023). Αυτή η εργασία εξετάζει τις δυνατότητες και τις προκλήσεις που αναδύονται από τη χρήση της TN στη διδασκαλία των εννοιών της θερμότητας και της θερμοκρασίας.

Μεθοδολογία

Ο σκοπός της παρούσας έρευνας είναι να αξιολογηθεί η ικανότητα του μοντέλου τεχνητής νοημοσύνης «ChatGPT» να απαντά ορθά σε ερωτήσεις που αφορούν θερμικά φαινόμενα, όπως αυτές παρουσιάζονται στο ερωτηματολόγιο Thermal Concept Evaluation (TCE), και να παρέχει επαρκείς επιστημονικές αιτιολογήσεις για τις απαντήσεις του. Ειδικότερα, η έρευνα εξετάζει τη συνέπεια και την ακρίβεια των απαντήσεων του ChatGPT σε δύο διαφορετικές χρονικές περιόδους (Ιανουάριος 2024 και Σεπτέμβριος 2024). Η μελέτη αποσκοπεί, επίσης, στη διερεύνηση της ικανότητας του μοντέλου να αποφεύγει εναλλακτικές αντιλήψεις, οι οποίες συχνά παρατηρούνται σε μαθητές/τριες.

Ερευνητικά Ερωτήματα

- 1) Ποιο είναι το ποσοστό επιστημονικά ορθών απαντήσεων του ChatGPT στο ερωτηματολόγιο TCE κατά τις χρονικές περιόδους Ιανουαρίου και Σεπτεμβρίου 2024;
- 2) Ποιες διαφοροποιήσεις παρατηρούνται στις απαντήσεις του ChatGPT μεταξύ των δύο χρονικών περιόδων;
- 3) Ποιες εναλλακτικές αντιλήψεις εντοπίζονται στις απαντήσεις του ChatGPT και πώς μεταβάλλονται διαχρονικά;

Εργαλεία της Έρευνας

Στην παρούσα έρευνα χρησιμοποιήθηκε το ερωτηματολόγιο Thermal Concept Evaluation (TCE), το οποίο αναπτύχθηκε από τους Yeο και Zadnik (2001) και έχει εν μέρει τροποποιηθεί από πιο σύγχρονες μελέτες, όπως αυτή των Stylos et al. (2021). Το TCE αποτελείται από 26 ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής που παρουσιάζουν σενάρια της καθημερινότητας. Κάθε σενάριο συνοδεύεται από δηλώσεις που αντιπροσωπεύουν την επιστημονικά ορθή εξήγηση, καθώς και εναλλακτικές αντιλήψεις που μπορεί να έχουν οι μαθητές/τριες σχετικά με τα θερμικά φαινόμενα.

Οι ερωτήσεις σχεδιάστηκαν ώστε να ενθαρρύνουν τους μαθητές/τριες να εφαρμόσουν τη γνώση της φυσικής σε πρακτικές, καθημερινές συνθήκες. Τα σενάρια επιτρέπουν στους συμμετέχοντες να επιλέξουν απαντήσεις που ταιριάζουν περισσότερο με τις προσωπικές τους αντιλήψεις, παρά με τις απαντήσεις που έχουν ενδεχομένως μάθει στο σχολείο χωρίς να τις κατανοούν πλήρως ή να τις αποδέχονται (Yeο & Zadnik, 2001). Στην παρούσα μελέτη, αντί να διανεμηθεί το ερωτηματολόγιο σε συμμετέχοντες, ζητήθηκε από το ChatGPT να απαντήσει στις ερωτήσεις, επιλέγοντας τη σωστή απάντηση και επεξηγώντας την επιλογή του. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει την αξιολόγηση της ικανότητας του μοντέλου να κατανοεί και να επεξηγεί θερμικές έννοιες με ακρίβεια.

Διαδικασία Συλλογής και Ανάλυσης Δεδομένων

Η έρευνα διεξήχθη σε δύο χρονικές περιόδους. Η πρώτη εφαρμογή έγινε τον Ιανουάριο του έτους 2024 ενώ η δεύτερη εφαρμογή έγινε τον Σεπτέμβριο του έτους 2024, με στόχο τη σύγκριση των εκάστοτε απαντήσεων. Το ερωτηματολόγιο (Stylos et al, 2021), συνοδευόμενο με σαφείς οδηγίες, διατυπώθηκε στην εφαρμογή στα αγγλικά, οπότε και ζητήθηκε η επιλογή των σωστών απαντήσεων, με αιτιολόγηση της κάθε επιλογής. Η επιλογή της αγγλικής γλώσσας έγινε διότι οι περισσότερες πληροφορίες που συναντώνται στο διαδίκτυο, στο οποίο στηρίζεται το ChatGPT, βρίσκονται στα αγγλικά με αποτέλεσμα να είναι πιο αξιόπιστα τα αποτελέσματα της έρευνας, λόγω του εύρους της βάσης δεδομένων (OpenAI, 2024).

Η διαδικασία συλλογής δεδομένων περιλάμβανε τα εξής βήματα:

1. Το ερωτηματολόγιο παρουσιάστηκε στο ChatGPT σε μορφή ερωτήσεων, με κάθε σενάριο να συνοδεύεται από τις πολλαπλές επιλογές που προσφέρονται στο TCE. Κάθε ερώτηση υποβλήθηκε ξεχωριστά.
2. Το ChatGPT κλήθηκε να επιλέξει τη σωστή απάντηση και να παρέχει πλήρη αιτιολόγηση της επιλογής του, εξηγώντας την επιστημονική λογική που υποστηρίζει την απάντησή του.

3. Η διαδικασία επαναλήφθηκε τον Σεπτέμβριο 2024 με το ίδιο ακριβώς ερωτηματολόγιο, υπό τις ίδιες συνθήκες, για να συγκριθούν οι απαντήσεις και οι εξηγήσεις.

Μετά την ολοκλήρωση της συλλογής δεδομένων από τις δύο χρονικές περιόδους, πραγματοποιήθηκε ανάλυση με βάση τα εξής κριτήρια:

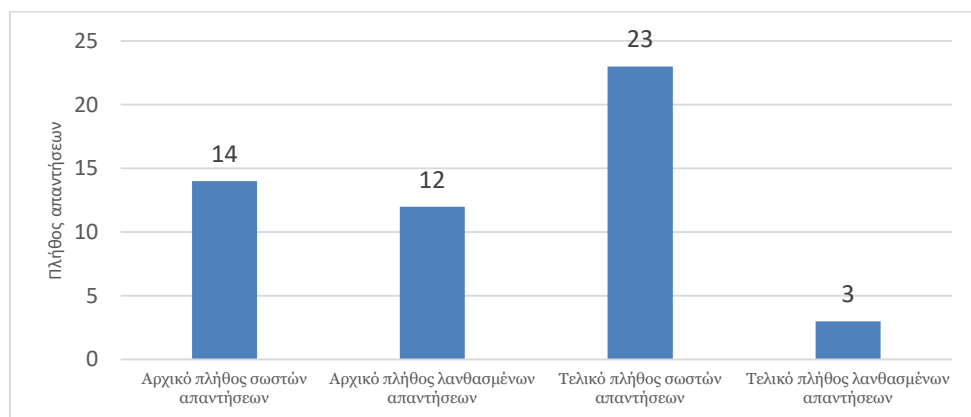
- I. Ακρίβεια των απαντήσεων
- II. Ποιότητα των αιτιολογήσεων
- III. Σύγκριση των απαντήσεων και εξηγήσεων: Συγκρίθηκαν οι απαντήσεις και οι αιτιολογήσεις που δόθηκαν τον Ιανουάριο και τον Σεπτέμβριο του 2024, με στόχο να εντοπιστούν πιθανές αλλαγές στην τεκμηρίωση που χρησιμοποιήθηκε για την επιλογή της σωστής απάντησης. Εξετάστηκε κατά πόσο οι απαντήσεις παρέμειναν συνεπείς ή αν υπήρξαν αποκλίσεις λόγω πρόσθετων πληροφοριών που ενσωματώθηκαν στο μοντέλο.

Για την αξιολόγηση των απαντήσεων εφαρμόστηκε ποιοτική ανάλυση βάσει συγκεκριμένων κριτηρίων. Πιο αναλυτικά, κάθε απάντηση βαθμολογήθηκε ως «σωστή» ή «λανθασμένη» σε δύο επίπεδα: (α) επιστημονική ορθότητα και (β) ποιότητα τεκμηρίωσης. Η επιστημονική ορθότητα βασίστηκε στις καθορισμένες σωστές απαντήσεις του TCE, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία των Yeο & Zadnik (2001) και Stylos et al. (2021). Η ποιότητα τεκμηρίωσης αξιολογήθηκε με βάση την ακρίβεια, πληρότητα και εννοιολογική σαφήνεια των επεξηγήσεων του ChatGPT. Οι απαντήσεις που περιλάμβαναν λανθασμένες ερμηνείες, υπεραπλουστεύσεις ή εναλλακτικές αντιλήψεις χαρακτηρίζονταν ως λανθασμένες, ακόμη κι αν είχαν επιλέξει τη σωστή επιλογή. Επιπλέον, σε περιπτώσεις εννοιολογικής σύγχυσης μεταξύ συναφών εννοιών (π.χ. θερμότητα–θερμοκρασία ή θερμική ικανότητα–αγωγιμότητα), η απάντηση χαρακτηριζόταν ως προβληματική. Η τελική επίδοση για κάθε περίοδο βασίστηκε στο συνολικό ποσοστό σωστών απαντήσεων με επαρκή αιτιολόγηση.

Αποτελέσματα

Σύμφωνα με τα περιγραφικά αποτελέσματα που προέκυψαν από τις δύο χρονικές περιόδους αξιολόγησης, παρατηρήθηκε σημαντική βελτίωση στις απαντήσεις του ChatGPT. Αρχικά, το μοντέλο έδωσε σωστές απαντήσεις σε 14 από τις 26 ερωτήσεις, επιτυγχάνοντας ποσοστό επιτυχίας περίπου 54%. Παράλληλα, το πλήθος των λανθασμένων απαντήσεων ανήλθε σε 12, παρουσιάζοντας ένα ποσοστό λάθους της τάξης του 46%. Ωστόσο, στη δεύτερη χρονική περίοδο, καταγράφηκε ουσιαστική αύξηση στο πλήθος των σωστών απαντήσεων, φτάνοντας τις 23, δηλαδή ποσοστό επιτυχίας 88,5%. Το αντίστοιχο πλήθος των λανθασμένων απαντήσεων μειώθηκε δραστικά σε 3, με το ποσοστό λάθους να διαμορφώνεται στο 11,5%.

Σχήμα 1. Ιστόγραμμα πλήθους σωστών – λανθασμένων απαντήσεων ChatGPT σε δύο χρονικές περιόδους



Αυτά τα αποτελέσματα υποδεικνύουν μια εντυπωσιακή βελτίωση στην απόδοση του ChatGPT, γεγονός που ενδέχεται να οφείλεται σε αναβαθμίσεις του μοντέλου ή σε βελτιώσεις της βάσης δεδομένων του.

Συζήτηση

Αναφορικά με τα δύο πρώτα ερευνητικά ερωτήματα της μελέτης, παρατηρήθηκε ότι αρχικά το μοντέλο παρείχε επιστημονικά σωστές απαντήσεις σε ποσοστό 54% των ερωτήσεων, ενώ στη δεύτερη φάση το ποσοστό αυτό αυξήθηκε στο 88%. Αλλαγές στις απαντήσεις εντοπίστηκαν κυρίως στις ερωτήσεις που απαιτούσαν συνδυαστική προσέγγιση των φυσικών φαινομένων και των μεταβλητών που τα επηρεάζουν (π.χ., η επίδραση του υψόμετρου στη θερμοκρασία βρασμού). Η ποιότητα των αιτιολογήσεων βελτιώθηκε αισθητά στη δεύτερη περίοδο. Ενώ τον Ιανουάριο 2024 το μοντέλο παρείχε γενικές και μερικές φορές υπεραπλουστευμένες αιτιολογήσεις, τον Σεπτέμβριο 2024 οι εξηγήσεις του ήταν πιο πλήρεις και ακριβείς.

Όσον αφορά τις πιθανές αιτίες για τις λανθασμένες απαντήσεις που δόθηκαν τον Ιανουάριο του 2024, παρατηρήθηκε μια τάση του ChatGPT να υπεραπλουστεύσει τις προς εξέταση έννοιες. Για παράδειγμα, μελετώντας τη θερμοκρασία, η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να παρέχει απαντήσεις βασισμένες σε γενικούς κανόνες, όπως ότι το νερό βράζει στους 100°C, χωρίς να λαμβάνει υπόψη περιβαλλοντικές μεταβλητές, όπως το υψόμετρο ή η ατμοσφαιρική πίεση, οι οποίες μπορούν να αλλάξουν αυτή την απάντηση. Στο ίδιο πλαίσιο παραδειγμάτων, η TN στο αρχικό στάδιο, δεν έλαβε υπόψη ότι οι οικιακοί καταψύκτες λειτουργούν σε πολύ χαμηλότερες θερμοκρασίες από το σημείο πήξης του νερού, ή ότι η θερμοκρασία βρασμού μειώνεται σε μεγαλύτερα υψόμετρα.

Υπεραπλούστευση γίνεται και σε απαντήσεις που αφορούν στη θερμοδυναμική. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η σύγκυση μεταξύ θερμικής αγωγιμότητας και θερμικής ικανότητας αποτελεί μια ακόμη τροχοπέδη και για το ChatGPT. Αν και η θερμική αγωγιμότητα αφορά την ικανότητα ενός υλικού να μεταφέρει θερμότητα, η θερμική ικανότητα αναφέρεται στη συγκράτηση της θερμότητας. Η τεχνητή νοημοσύνη φάνηκε να συγχέει αυτές τις έννοιες, οδηγώντας σε λανθασμένες ερμηνείες σχετικά με το γιατί αντικείμενα δεν θερμάνθηκαν επαρκώς (E.E. 3).

Σε τρεις περιπτώσεις ερωτήσεων, το ChatGPT, ακόμη και μετά από την αναβάθμιση σε διάρκεια 9 μηνών, απέτυχε να παράγει σωστές απαντήσεις, παρά το γεγονός ότι είχε αποδείξει βελτιωμένη ακρίβεια στις υπόλοιπες. Οι συγκεκριμένες ερωτήσεις απαιτούσαν πιο λεπτή κατανόηση σύνθετων φυσικών αρχών, όπως λανθάνουσα θερμότητα, αλλαγή φάσης, και τα θεωρητικά όρια της θερμοκρασίας στη Φυσική (κατώτατο όριο: 0 K – το απόλυτο μηδέν και ανώτατο όριο: θερμοκρασία του Πλανκ $\sim 1.416784 \times 10^{32}$ K). Τα σφάλματα υποδηλώνουν ότι ενώ τα μοντέλα τεχνητής νοημοσύνης μπορούν να εμπλουτίσουν τη βάση δεδομένων τους, εξακολουθούν να αντιμετωπίζουν δυσκολίες όταν ασχολούνται με εξειδικευμένα σενάρια που περιλαμβάνουν συλλογιστική πολλαπλών βημάτων ή αφηρημένες επιστημονικές έννοιες. Ο περιορισμός αυτός μπορεί να οφείλεται σε ανεπαρκή δεδομένα ή στον τρόπο που πραγματοποιείται η βελτίωση του μοντέλου των απαντήσεων.

Τα παραπάνω συνάδουν με την έρευνα των Tong et al. (2023) κατά την οποία οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι το ChatGPT μπορεί να παρέχει σωστές απαντήσεις σε πολλές περιπτώσεις, αλλά παρουσίασε δυσκολίες σε πιο σύνθετα σενάρια, όπου η επιστημονική ακρίβεια απαιτεί βαθύτερη κατανόηση (π.χ., πολύπλοκα θερμικά φαινόμενα). Επιπλέον, η μελέτη των Bahak et al. (2023) συνέκρινε την απόδοση του ChatGPT σε ερωτήσεις πολλαπλών γνωστικών επιπέδων, καταδεικνύοντας ότι οι απαντήσεις ήταν γενικά αποδεκτές σε απλές ερωτήσεις αλλά συχνά ανεπαρκείς σε πιο προχωρημένα επίπεδα.

Τα ευρήματα της μελέτης αυτής προσφέρουν πρακτικές ενδείξεις για τη χρήση μοντέλων TN, όπως το ChatGPT, στην εκπαιδευτική διαδικασία των Φυσικών Επιστημών. Η παρατηρούμενη βελτίωση στην απόδοση του μοντέλου δείχνει ότι τέτοιου τύπου εργαλεία μπορούν

να αξιοποιηθούν από τους εκπαιδευτικούς ως υποστηρικτικά μέσα στη διασαφήνιση σύνθετων εννοιών, όπως η θερμοκρασία και η θερμότητα, αλλά και για την ενίσχυση της μεταγνωστικής σκέψης των μαθητών. Ειδικότερα, η χρήση του ChatGPT σε δραστηριότητες πρόβλεψης–επαλήθευσης ή αντιπαραβολής απόψεων μπορεί να συμβάλει στην αποκάλυψη και επεξεργασία εναλλακτικών αντιλήψεων. Οι εκπαιδευτικοί μπορούν να αξιοποιήσουν το ChatGPT ως βοηθητικό μέσο για την επεξήγηση επιστημονικών εννοιών, όπως η θερμοκρασία – θερμότητα, χωρίς όμως την παθητική αποδοχή των απαντήσεων που παρέχει. Η ύπαρξη παρανοήσεων στο λόγο του μοντέλου υπογραμμίζει την ανάγκη καλλιέργειας δεξιοτήτων επιστημονικού γραμματισμού και ενθάρρυνσης των μαθητών να αξιολογούν κριτικά τις απαντήσεις των ψηφιακών εργαλείων. Η ένταξη της τεχνητής νοημοσύνης στη διδακτική πράξη απαιτεί, επομένως, στρατηγικό σχεδιασμό και επιστημονικά τεκμηριωμένη καθοδήγηση.

Ένα πρόσθετο εύρημα της παρούσας μελέτης, που αξίζει να επισημανθεί, αφορά τη σημασία της γλώσσας επικοινωνίας με τα γλωσσικά μοντέλα TN. Στην παρούσα έρευνα, επιλέχθηκε η αγγλική γλώσσα, καθώς το ChatGPT εμφανίζει υψηλότερη ακρίβεια όταν λαμβάνει ερωτήματα στα αγγλικά, λόγω της κατασκευής και εκπαίδευσής του σε αγγλόφωνα δεδομένα. Το γεγονός αυτό θέτει ερωτήματα για τη χρήση τέτοιων εργαλείων σε εκπαιδευτικά περιβάλλοντα όπου η γλωσσική επάρκεια δεν είναι δεδομένη – όπως στην περίπτωση μαθητών με προσφυγικό ή μεταναστευτικό υπόβαθρο. Η σχετική βιβλιογραφία υποδεικνύει ότι η περιορισμένη γλωσσική επάρκεια συνδέεται με δυσκολίες στην κατανόηση εννοιών υψηλής αφαιρετικότητας, όπως αυτές που συναντώνται στις Φυσικές Επιστήμες και τα Μαθηματικά (Theophilou et al., 2023). Επιπλέον, η αλληλεπίδραση με εργαλεία TN στα ελληνικά ή σε άλλες γλώσσες εκτός αγγλικών μπορεί να αποβεί λιγότερο ακριβής και αξιόπιστη, εντείνοντας τις γνωστικές δυσκολίες. Αυτό αναδεικνύει την ανάγκη για περαιτέρω έρευνα σχετικά με τη χρήση TN σε πολυγλωσσικά περιβάλλοντα, αλλά και για τον σχεδιασμό παιδαγωγικών στρατηγικών που ενισχύουν τον επιστημονικό γραμματισμό ανεξαρτήτως γλωσσικού υπόβαθρου (Luckin et al., 2016· Yang & Evans, 2021).

Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με τη χρήση της τεχνητής νοημοσύνης, και ειδικότερα του ChatGPT, στη διδασκαλία και κατανόηση των θερμικών φαινομένων. Η σημαντική βελτίωση της απόδοσης του μοντέλου στη δεύτερη φάση της έρευνας υποδηλώνει ότι οι γλωσσικοί αλγόριθμοι της TN μπορούν να προσαρμόζονται και να ενσωματώνουν αναβαθμισμένες επιστημονικές πληροφορίες με την πάροδο του χρόνου. Παρόλα αυτά, εξακολουθούν να υφίστανται προκλήσεις, καθώς παρατηρήθηκαν περιπτώσεις εναλλακτικών αντιλήψεων και ελλιπούς τεκμηρίωσης στις απαντήσεις του μοντέλου.

Συνολικά, η παρούσα έρευνα συμβάλλει στη συζήτηση για τον ρόλο της τεχνητής νοημοσύνης στη διδακτική των Φυσικών Επιστημών, προσφέροντας δεδομένα σε μια αναπτυσσόμενη συζήτηση των τελευταίων ετών σχετικά με την αξιοποίηση και την ενσωμάτωση των AI μοντέλων στην εκπαιδευτική πράξη. Τα αποτελέσματα αναδεικνύουν τη διττή φύση των εργαλείων τεχνητής νοημοσύνης, τα οποία από τη μία πλευρά προσφέρουν δυναμικές δυνατότητες υποστήριξης της μάθησης και ενεργοποίησης του ενδιαφέροντος των μαθητών, ενώ από την άλλη απαιτούν προσεκτική παιδαγωγική αξιολόγηση και ελεγχόμενη ενσωμάτωση.

Ένας περιορισμός της παρούσας μελέτης είναι ότι το ερωτηματολόγιο εφαρμόστηκε μία φορά, σε κάθε χρονική περίοδο. Προηγούμενες έρευνες έχουν δείξει ότι η απόδοση των γλωσσικών μοντέλων μπορεί να παρουσιάζει διακυμάνσεις μεταξύ διαφορετικών εκτελέσεων του ίδιου ερωτήματος, γεγονός που μπορεί να επηρεάσει την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων (Ribeiro & Lundberg, 2022). Συνεπώς, μια προοπτική για μελλοντική έρευνα είναι η επανάληψη του ερωτηματολογίου σε πολλαπλές εκτελέσεις, ώστε να εξεταστεί η σταθερότητα

των απαντήσεων και να ενισχυθεί η εγκυρότητα της μέτρησης. Ένας ακόμα περιορισμός αφορά την αποκλειστική χρήση της αγγλικής γλώσσας κατά τη διεξαγωγή της έρευνας. Αν και η επιλογή αυτή εξασφαλίζει την πρόσβαση του ChatGPT στη μέγιστη διαθέσιμη πληροφορία, περιορίζει την ερευνητική εμβέλεια ως προς την εφαρμογή σε ελληνόφωνους μαθητές ή σε περιβάλλοντα πολυγλωσσίας.

Βιβλιογραφία

- Αχλαδιανάκης, Α. & Παππά, Ε. (2019). *Τα chatbots και οι δυνατότητες που παρέχουν στο μάρκετινγκ. Υλοποίηση και ενσωμάτωση ενδεικτικού chatbot σε ένα σύστημα διαχείρισης περιεχομένου, (Αδημοσίευτη Πτυχιακή Εργασία)*. Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα, Κρήτη.
<http://hdl.handle.net/20.500.12688/9236>
- Βασιλικού, Μ. Π. (2023). Το ChatGPT περνάει στις Πανελλήνιες. Οι μαθητές;. Στο Α. Καζανίδης, Α. Τσινάκος (Επιμ.), *Πρακτικά Εργασιών 13ου Πανελληνίου και Διεθνούς Συνεδρίου «Οι ΤΠΕ στην Εκπαίδευση»*, Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδας, Καβάλα, 29 Σεπτεμβρίου – 1 Οκτωβρίου 2023. ISSN: 2529-0916, ISBN: 978-618-83186-8-7. Ανακτήθηκε στις 01/11/2024 από:
https://www.etpe.gr/wp-content/uploads/2024/07/HCICTE23_510-516.pdf
- Κασσέτας, Α.Ι. (2004). *Το μήλο και του κουάρκ: Διδακτική της Φυσικής*. Αθήνα: Σαββάλας
- Μάγειρα, Κ. & Πιπτού, Δ. (2021). *Σχεδίαση και Ανάπτυξη Εκπαιδευτικού Λογισμικού Συζητήσεων με Τεχνητή Νοημοσύνη (Ai Chatbot) με Πολιτιστικό Περιεχόμενο, (Αδημοσίευτη Μεταπτυχιακή Εργασία)*. Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη. <http://hdl.handle.net/11610/22825>
- Adiguzel, T., Kaya, M. H., & Cansu, F. K. (2023). Revolutionizing education with AI: Exploring the transformative potential of ChatGPT. *Contemporary Educational Technology, 15*(3), ep429.
<https://doi.org/10.30935/cedtech/13152>
- Ali, D., Fatemi, Y., Boskabadi, E., Nikfar, M., Ugwuoke, J., & Ali, H. (2024). ChatGPT in Teaching and Learning: A Systematic Review. *Education Sciences, 14*(6), 643.
<https://doi.org/10.3390/educsci14060643>
- Almasri, F. (2024). Exploring the impact of artificial intelligence in teaching and learning of science: A systematic review of empirical research. *Research in Science Education, 54*, 977–997.
<https://doi.org/10.1007/s11165-024-10176-3>
- Bahak, H., Taheri, F., Zojaji, Z., & Kazemi, A. (2023). *Evaluating ChatGPT as a question answering system: A comprehensive analysis and comparison with existing models*. arXiv preprint arXiv:2312.07592. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2312.07592>
- Bender, E. M., Gebru, T., McMillan-Major, A., & Shmitchell, S. (2021). On the dangers of stochastic parrots: Can language models be too big? *Proceedings of the 2021 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency, 610-623*. <https://doi.org/10.1145/3442188.3445922>
- Çakır, M., & Sarıkaya, M. (2016). Misconceptions about heat and temperature. *Journal of Education and Training Studies, 4*(5), 105-113. <https://doi.org/10.11114/jets.v4i5.1490>
- Kortemeyer, G. (2023). Could an artificial-intelligence agent pass an introductory physics course?. *Physical Review Physics Education Research, 19*(1), 010132.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.19.010132>
- Kotsis, K. T. (2024a). Integrating artificial intelligence in science education: Benefits and challenges. *International Journal of Educational Innovation, 6*(3), 39-49. <https://doi.org/10.69685/ICAS1772>
- Kotsis, K. T. (2024b). ChatGPT as Teacher Assistant for Physics Teaching. *Journal of Effective Teaching Methods, 2*(4), 18-27. <https://doi.org/10.59652/jetm.v2i4.283>
- Luckin, R., Holmes, W., Griffiths, M., & Forcier, L. B. (2016). *Intelligence unleashed: An argument for AI in education*. Pearson. Ανακτήθηκε στις 28/11/2024 από:
<https://static.googleusercontent.com/media/edu.google.com/en//pdfs/Intelligence-Unleashed-Publication.pdf>
- OpenAI. (2024). *GPT-4 technical report*. Ανακτήθηκε στις 05/11/2024 από:
<https://openai.com/research>

- Ribeiro, M. T., & Lundberg, S. (2022). Adaptive testing and debugging of NLP models. *Proceedings of the 60th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics* (τ. 1: Long Papers), 3253–3267. Association for Computational Linguistics. <https://doi.org/10.18653/v1/2022.acl-long.230>
- Roll, I., & Wylie, R. (2016). Evolution and revolution in artificial intelligence in education. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 26(2), 582–599. <https://doi.org/10.1007/s40593-016-0110-3>
- Stylos, G., Sargioti, A., Mavridis, D., & Kotsis K.T. (2021). Validation of the thermal concept evaluation test for Greek university students' misconceptions of thermal concepts. *International Journal of Science Education*, 43(2), 247–273. <https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1865587>
- Suits, J. P., & Mestre, J. P. (2016). Misconceptions in physics and the physics concepts inventory. Στο *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, σσ. 1261–1298. Springer, Dordrecht. Ανακτήθηκε στις 28/11/2024 από: https://www.academia.edu/125092827/International_Handbook_of_Research_in_History_Philosophy_and_Science_Teaching
- Theophilou, E. et al. (2023). Learning to Prompt in the Classroom to Understand AI Limits: A Pilot Study. Στο R. Basili, D.Lembo, C. Limongelli, A. Orlandini, (Επιμ.) *AIxIA 2023 – Advances in Artificial Intelligence. Lecture Notes in Computer Science*, τ. 14318. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-47546-7_33
- Tong, D., Tao, Y., Zhang, K. et al. (2023). Investigating ChatGPT-4's performance in solving physics problems and its potential implications for education. *Asia Pacific Education Review*, 25, 1379–1389. <https://doi.org/10.1007/s12564-023-09913-6>
- West, C. G. (2023). Advances in apparent conceptual physics reasoning in GPT-4. *Physical Review Physics Education Research*, 19(1), 010132. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.19.010132>
- Yang, X., & Evans, C. (2021). The limits of artificial intelligence in scientific education: Examining the understanding of heat and temperature. *Physics Education*, 56(3), 035011. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/abc123>
- Yeo, S., & Zadnik, M. (2001). Introductory thermal concept evaluation: Assessing students' understanding. *The Physics Teacher*, 39(8), 496–504. <https://doi.org/10.1119/1.1424603>