ePublishing
ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ
NATIONAL DOCUMENTATION CENTRE

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

Τόμ. 14, Αρ. 1 (2025)

14ο Συνέδριο Διδακτικής Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση - Συνόψεις

Η Συνεισφορά της Μηχανικής Προτροπών με Μεγάλα Γλωσσικά Μοντέλα στην Ανάπτυξη Δεξιοτήτων Επιστημονικού Συλλογισμού στο μάθημα της Φυσικής

Αντώνιος Ματσίγκος, Γεώργιος Κρητικός

doi: 10.12681/codiste.7549

https://epublishing.ekt.gr | **e-Εκδότης:** EKT | **Πρόσβαση:** 02/03/2026 19:45:57

Η Συνεισφορά της Μηχανικής Προτροπών με Μεγάλα Γλωσσικά Μοντέλα στην Ανάπτυξη Δεξιοτήτων Επιστημονικού Συλλογισμού στο μάθημα της Φυσικής

Αντώνιος Ματσίγκος[1] και Γεώργιος Κρητικός[2]
[1]Υποψήφιος Διδάκτορας, [2]Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό,
[1,2]Τμήμα Επιστημών της Προσχολικής Αγωγής και του Εκπαιδευτικού Σχεδιασμού,
Πανεπιστήμιο Αιγαίου
[1]psed25001@aegean.gr, [2]gkritikos@aegean.gr

Περίληψη
Η παρούσα έρευνα εξετάζει τον ρόλο της μηχανικής προτροπών (prompt engineering) με τα μεγάλα γλωσσικά μοντέλα (Large Language Models-LLMs), όπως το ChatGPT-4, ως μαθησιακό εργαλείο για την ανάπτυξη δεξιοτήτων επιστημονικού συλλογισμού και την ενίσχυση της ικανότητας επίλυσης προβλημάτων Φυσικής σε μαθητές δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Βασικός στόχος της έρευνας είναι να ενσωματώσει τα μοντέλα τεχνητής νοημοσύνης στις παραδοσιακές μεθόδους διδασκαλίας, ως «υποστηρικτές» της μάθησης σε ένα μαθητοκεντρικό περιβάλλον. Αξιοποιώντας στρατηγικές της μηχανικής προτροπών, όπως η αλυσίδα σκέψης (Chain of Thought-CoT), επιδιώκεται η ενίσχυση της κριτικής σκέψης των μαθητών και η κατανόηση θεμελιωδών αρχών της Φυσικής.

Λέξεις κλειδιά: δεξιότητες επιστημονικού συλλογισμού, επίλυση προβλήματος, μεγάλα γλωσσικά μοντέλα, μηχανική προτροπών

The Contribution of Prompt Engineering with Large Language Models to the Development of Scientific Reasoning Skills in Physics Courses

Antonios Matsigkos[1] and Georgios Kritikos[2]
[1]PhD Student, [2]Laboratory Teaching Staff,
[1,2]School of Education, University of the Aegean
[1]psed25001@aegean.gr, [2]gkritikos@aegean.gr

Abstract
This research examines the role of prompt engineering with Large Language Models (LLMs), such as ChatGPT-4, as a learning tool for developing scientific reasoning skills and enhancing the ability to solve Physics problems for secondary school students. The main goal of the research is to integrate artificial intelligence models into traditional teaching methods, as "supporters" of learning in a student-centered environment. Utilizing prompt engineering strategies such as the chain of thought (CoT), the aim is to strengthen students' critical thinking and understanding of fundamental principles of Physics.

Keywords: Large Language Models (LLMs), problem solving, prompt engineering, scientific reasoning skills

Αναγνωριστικό ψηφιακής εργασίας: https://doi.org/10.12681/codiste.7549

Εισαγωγή

Η άνοδος της τεχνητής νοημοσύνης και οι εφαρμογές της αναπόφευκτα εισβάλλουν σε διάφορους τομείς της ζωής του ανθρώπου, συμπεριλαμβανομένης της εκπαίδευσης. Στην εκπαίδευση των φυσικών επιστημών, η ανάπτυξη δεξιοτήτων επιστημονικού συλλογισμού θεωρείται κρίσιμη για την κατανόηση και την επίλυση πολύπλοκων προβλημάτων (Lawson, 2000). Η συγκεκριμένη έρευνα στοχεύει στην ανάπτυξη μιας στρατηγικής επίλυσης προβλημάτων Φυσικής, η οποία προωθεί την ανάπτυξη βασικών δεξιοτήτων επιστημονικού συλλογισμού. Ο σχεδιασμός αλυσίδας σκέψης (CoT) βασισμένης σε δεξιότητες επιστημονικού συλλογισμού από τον εκπαιδευτικό και η υιοθέτησή της από το μοντέλο (LLM) μέσα από την μηχανική προτροπών (prompt engineering), διαμορφώνει ένα υποστηρικτικό πλαίσιο επίλυσης προβλημάτων Φυσικής εστιάζοντας στην αποτελεσματική και παραγωγική χρήση της τεχνητής νοημοσύνης.

Θεωρητικό Πλαίσιο

Στη μάθηση με δυνατότητα τεχνητής νοημοσύνης, η εμφάνιση μεγάλων γλωσσικών μοντέλων όπως το ChatGPT και το davinci-003 έχει δείξει πιθανά οφέλη στην εκπαίδευση στη Φυσική (MacIsaac, 2023˙ Yeadon et al., 2022). Αν και αρχικά έρευνες είχαν διαπιστώσει πως τα LLMs, ενώ είχαν καλή απόδοση σε εργασίες επεξεργασίας φυσικής γλώσσας και υστερούσαν σημαντικά σε παραδείγματα εργασιών που απαιτούσαν μαθηματικές επεξεργασίες, μετά την κυκλοφορία των γνωστών LLMs-powered chatbot ChatGPT, όπως το GPT-4, φαίνεται πως πλέον μπορούν να επιλύουν σύνθετες εργασίες σε επίπεδα απόδοσης παρόμοια με αυτά του ανθρώπου (Bubeck et al., 2023).

Η Μηχανική Προτροπών (Prompt Engineering) είναι ένα πεδίο-τομέας που περιλαμβάνει πολλαπλές τεχνικές και στρατηγικές για τη βελτίωση της απόδοσης των γλωσσικών μοντέλων (LLMs – Large Language Models). Προτροπή ορίζεται η οδηγία φυσικής γλώσσας που δίνεται σε ένα LLM για να διευκολυνθεί η δημιουργία μίας εξόδου και αποτελεί μία μορφή «άμεσου προγραμματισμού» (White et al., 2024). Στην παρούσα εργασία ερευνάται ο αντίκτυπος της μηχανικής προτροπών, μέσα από τη χρήση τεχνικών όπως είναι η προτροπή μάθησης λίγων βολών (Few-Shot Prompting) και η προτροπή αλυσίδας σκέψης (Chain of Thought-CoT) (Wei et al., 2022˙ Sahoo et al., 2024) με σκοπό τη βελτίωση της απόδοσης του μοντέλου στον τομέα της Φυσικής και τη διαμόρφωση μαθησιακού υποστηρικτικού περιβάλλοντος.

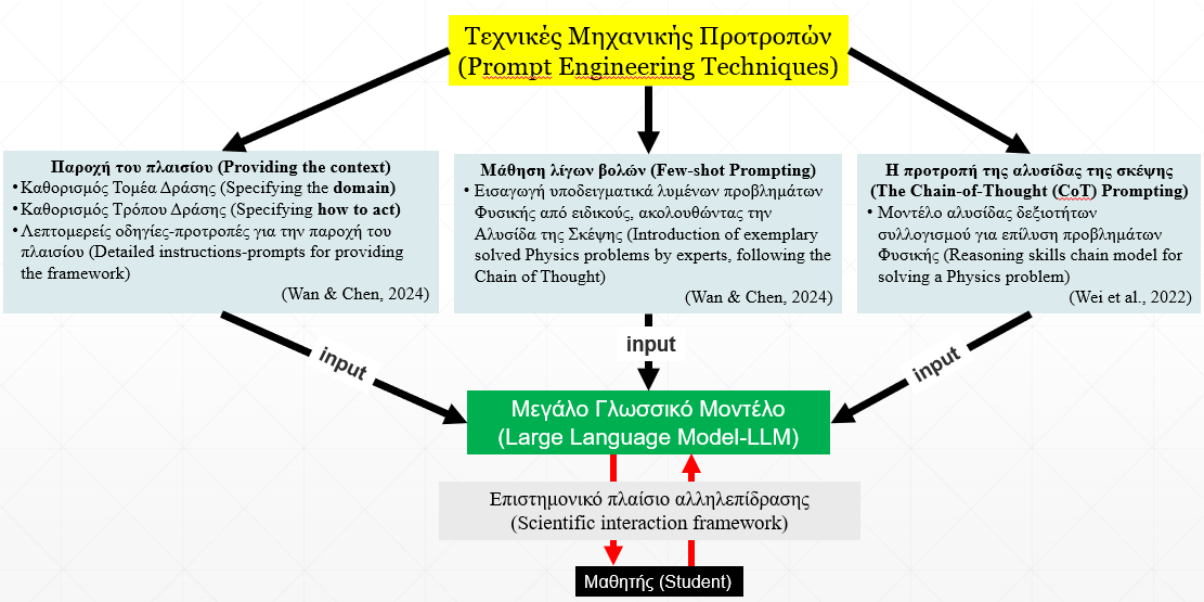
Μεθοδολογία έρευνας

Η συγκεκριμένη έρευνα περιλαμβάνει δύο φάσεις. Η πρώτη φάση αφορά στη βελτιστοποίηση της απόδοσης του μεγάλου γλωσσικού μοντέλου (LLM), και η δεύτερη φάση στην αλληλεπίδραση μοντέλου-μαθητή για την επίλυση προβλήματος Φυσικής. Η επίλυση προβλήματος στην παρούσα εργασία, σχετίζεται με τη μελέτη της οριζόντιας βολής σώματος. Η μελέτη του συγκεκριμένου φαινομένου προσφέρεται τόσο για δυναμική-κινηματική προσέγγιση αξιοποιώντας τους νόμους του Νεύτωνα και τις εξισώσεις κίνησης , όσο και για ενεργειακή προσέγγιση εφαρμόζοντας την Αρχή Διατήρησης της Ενέργειας. Οι δύο αυτές προσεγγίσεις είναι θεμελιώδεις για την επίλυση προβλήματος στην κλασική Φυσική.

Κατά την πρώτη φάση διαμορφώνονται κατάλληλες προτροπές με σκοπό την «εκπαίδευση» του μοντέλου. Αρχικά, εισάγεται μία λίστα προτροπών-οδηγιών στο μοντέλο, η οποία έχει ως στόχο τη διαμόρφωση επιστημονικού πλαισίου αλληλεπίδρασης με τον χρήστη-μαθητή (Εικόνα 1). Οι οδηγίες της πρώτης προτροπής ακολουθούν στρατηγικές της μηχανικής προτροπών (prompt engineering) και αποσκοπούν στη βελτιστοποίηση της απόδοσης του μοντέλου. Στη συνέχεια, ελέγχεται η ποιότητα των ανατροφοδοτήσεων του μοντέλου προς τον χρήστη από ομάδα ειδικών (καθηγητές Φυσικής) μέσω ρουμπρίκας συγκεκριμένων διαστάσεων αξιολόγησης, γίνονται κατάλληλες τροποποιήσεις στην

αρχιτεκτονική των προτροπών και εξασφαλίζεται ικανοποιητική απόδοση σε θέματα καθοδήγησης επίλυσης προβλήματος.

Εικόνα 1. Σχήμα "Εκπαίδευσης" του μοντέλου με χρήση τεχνικών του Prompt Engineering



Κατά τη δεύτερη φάση γίνεται ενσωμάτωση του μοντέλου (LLM) στη μαθησιακή διαδικασία. Το δείγμα της πιλοτικής έρευνας είναι μαθητές της Β' τάξης Γενικού Λυκείου οι οποίοι εμπλέκονται στην παρέμβαση, αφού έχει προηγηθεί η διδασκαλία με την παραδοσιακή μέθοδο (διάλεξη καθηγητή σχετικά με το φαινόμενο, συζήτηση στην τάξη, επίδειξη εφαρμογών, επίλυση σχετικών προβλημάτων). Κάθε μαθητής αλληλεπιδρά σε πραγματικό χρόνο με το μοντέλο σε πλαίσιο επίλυσης προβλήματος Φυσικής στο φαινόμενο της οριζόντιας βολής. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζεται η δομή της αλυσίδας σκέψης (CoT) στην οποία εμπλέκονται οι μαθητές βήμα-βήμα κατά την επίλυση προβλημάτων Φυσικής. Περιλαμβάνει δεξιότητες όπως η αναγνώριση των φαινομένων που πραγματεύεται το προς επίλυση πρόβλημα, η αναγνώριση αρχικών και τελικών συνθηκών του συστήματος (Chi et al., 1981), η διατύπωση υποθέσεων και αναγνώριση αιτιακών σχέσεων (Lawson, 2000), η αναγνώριση και ο έλεγχος των μεταβλητών (Lawson, 1978˙ Chi et al., 1981), ο συσχετιστικός συλλογισμός, ο παραγωγικός συλλογισμός, η εξαγωγή αποτελεσμάτων και η αξιολόγηση (Zimmerman, 2007).

Πίνακας 1. Αλυσίδα σκέψης (Chain of Thought-CoT) για την επίλυση προβλήματος Φυσικής

1. Αναγνώριση φαινομένων του προβλήματος (Phenomenon Recognition)
2. Οπτικοποίηση και σχεδιασμός (Visualization and design)
3. Εντοπισμός των κεντρικών ερωτημάτων του προβλήματος (Identifying the central questions of the problem)
4. Διάκριση τύπου φαινομένου (Στατικά-Δυναμικά φαινόμενα) (Phenomenon Classification)
5. Εντοπισμός μεταβλητών του προβλήματος - Συσχετιστικός συλλογισμός (Control of Variables - Associative Reasoning)
6. Διατύπωση υποθέσεων - Αιτιακός συλλογισμός (Hypothesis Formulation - Causal Reasoning) - Ανάλυση δυναμικής και ενεργειακής εξέλιξης του φαινομένου (Phenomenon Dynamic & Energy Analysis)
7. Εφαρμογή των φυσικών αρχών που διέπουν το φαινόμενο (Application of the physical principles governing the phenomenon)
8. Έλεγχος και αξιολόγηση αποτελεσμάτων (Validation and Evaluation of Results)

Σημείωση: Στον πίνακα 1, αναγράφονται σε τίτλους βασικά θεμελιώδη βήματα επιστημονικού συλλογισμού για την επίλυση προβλήματος Φυσικής, τα οποία υιοθετούνται στις προτροπές προς το μοντέλο (LLM).

Για τη συλλογή των δεδομένων οι μαθητές θα απαντήσουν σε δύο ερωτηματολόγια, ένα πριν την παρέμβαση και ένα μετά. Το ερωτηματολόγιο είναι διαμορφωμένο σύμφωνα με την τεχνοτροπία του Lawson Classroom Test of Scientific Reasoning (LCTSR), το οποίο εστιάζει στις παραπάνω δεξιότητες επιστημονικού συλλογισμού που αναπτύσσονται κατά την επίλυση προβλήματος Φυσικής.

Συμπεράσματα

Στόχος της έρευνας είναι να διερευνήσει τη δυναμική που αναπτύσσεται από την αλληλεπίδραση των μαθητών με τα μεγάλα γλωσσικά μοντέλα, τα οποία καθοδηγούν διερευνητικά και ενισχύουν την ανάπτυξη δεξιοτήτων επιστημονικού συλλογισμού κατά την επίλυση προβλημάτων στη Φυσική. Η έρευνα φιλοδοξεί να αναδείξει την επίδραση της ενσωμάτωσης της χρήσης μεγάλων γλωσσικών μοντέλων στην εκπαίδευση με κέντρο τον μαθητή, τις νέες δυνατότητες για εξατομικευμένη μάθηση που ενισχύουν την κατανόηση της Φυσικής αξιοποιώντας την τεχνητή νοημοσύνη με γόνιμο τρόπο και να διερευνήσει τους τρόπους βελτιστοποίησης της απόδοσης τους.

Βιβλιογραφία

Bubeck, S., Chandrasekaran, V., Eldan, R., Gehrke, J., Horvitz, E., Kamar, E., ... & Zhang, Y. (2023). Sparks of artificial general intelligence: Early experiments with gpt-4. *arXiv preprint arXiv:2303.12712*. https://doi.org/10.48550/arXiv.2303.12712

Chi, M. T., Feltovich, P. J., & Glaser, R. (1981). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive science, 5*(2), 121-152. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0364021381800298

Lawson, A. E. (1978). The development and validation of a classroom test of formal reasoning. *Journal of Research in Science Teaching*. https://doi.org/10.1002/tea.3660150103

Lawson, A. E. (2000). The generality of hypothetico-deductive reasoning: Making scientific thinking explicit. *The American Biology Teacher, 62*(7), 482-495. https://doi.org/10.2307/4450956

MacIsaac, D. (2023). Chatbots attempt physics homework—chatgpt: Chat generative pre-trained transformer. *The Physics Teacher, 61*(4), 318-318. https://doi.org/10.1119/10.0017700

Sahoo, P., Singh, A. K., Saha, S., Jain, V., Mondal, S., & Chadha, A. (2024). A systematic survey of prompt engineering in large language models: Techniques and applications. arXiv preprint arXiv:2402.07927. https://doi.org/10.48550/arXiv.2402.07927

Wan, T., & Chen, Z. (2024). Exploring generative AI assisted feedback writing for students' written responses to a physics conceptual question with prompt engineering and few-shot learning. *Physical Review Physics Education Research, 20*(1), 010152. https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.20.010152

Wei, J., Wang, X., Schuurmans, D., Bosma, M., Xia, F., Chi, E., ... & Zhou, D. (2022). Chain-of-thought prompting elicits reasoning in large language models. *Advances in neural information processing systems, 35*, 24824-24837. https://proceedings.neurips.cc/paper_files/paper/2022/file/9d5609613524ecf4f15af0f7b31abca4-Paper-Conference.pdf

White, J., Hays, S., Fu, Q., Spencer-Smith, J., & Schmidt, D. C. (2024). Chatgpt prompt patterns for improving code quality, refactoring, requirements elicitation, and software design. Στο *Generative AI for Effective Software Development, σ.* 71-108. Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-55642-5

Yeadon, W., Inyang, O. O., Mizouri, A., Peach, A., & Testrow, C. P. (2023). The death of the short-form physics essay in the coming AI revolution. *Physics Education, 58*(3), 035027. https://doi.org/10.48550/arXiv.2212.11661

Zimmerman, C. (2007). The development of scientific thinking skills in elementary and middle school. *Developmental review, 27*(2), 172-223. https://doi.org/10.1016/j.dr.2006.12.001