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 Σημασία της Διδασκαλίας της Κβαντικής Διεμπλοκής. Στρατηγικές του Διδακτικού της Μετασχηματισμού και Προσδοκώμενα Μαθησιακά Αποτελέσματα

Αριστοτέλης Γκιόλμας, Γιάννα Κατσιαμπούρα, Αικατερίνη Μπενίση, Κωνσταντίνος Σκορδούλης, Ζωγραφιά Παπαναγιώτου

doi: 10.12681/codiste.7747

https://epublishing.ekt.gr | **e-Εκδότης:** EKT | **Πρόσβαση:** 25/01/2026 08:15:54

Η Σημασία της Διδασκαλίας της Κβαντικής Διεμπλοκής. Στρατηγικές του Διδακτικού της Μετασχηματισμού και Προσδοκώμενα Μαθησιακά Αποτελέσματα

Αριστοτέλης Γκιόλμας[1], Γιάννα Κατσιαμπούρα[2], Αικατερίνη Μπενίση[3], Κωνσταντίνος Σκορδούλης[4] και Ζωγραφιά Παπαναγιώτου[3]

[1]Επίκουρος καθηγητής, [2]Επίκουρη καθηγήτρια, [3]Επιστημονική Συνεργάτης, [4]Καθηγητής,

[1]Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

[2,3,4]Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης,

Εθνικόν και Καποδιστριακόν Πανεπιστήμιον Αθηνών

[1]agkiolm@eled.auth.gr

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία διερευνάται διεξοδικά η υπάρχουσα βιβλιογραφία και οι χρησιμοποιούμενες πρακτικές για τη διδασκαλία της κβαντικής διεμπλοκής, μίας πολύ βασικής έννοιας για την εκπαίδευση σήμερα, κυρίως λόγω των πάρα πολλών τεχνολογικών και άλλων εφαρμογών της. Έμφαση δίνεται σε στρατηγικές διδασκαλίας και διδακτικού μετασχηματισμού που αποφεύγουν δύσκολους όρους Φυσικής και μαθηματικό φορμαλισμό. Τα ευρήματα θα χρησιμοποιηθούν για να δομηθεί μία νέα διδακτική ακολουθία και μία αντίστοιχη εμπειρική έρευνα για τη διδασκαλία της κβαντικής διεμπλοκής σε προπτυχιακούς φοιτητές και φοιτήτριες Παιδαγωγικών Τμημάτων.

Λέξεις κλειδιά: διδακτικός μετασχηματισμός, διδασκαλία, κβαντική διεμπλοκή, μαθησιακά αποτελέσματα

The Importance of Teaching Quantum Entanglement. Strategies of its Didactic Transform and Expected Learning Outcomes

Aristotelis Gkiolmas[1], Gianna, Katsiampoura[2] Aikaterini Benisi[2], Constantine Skordoulis[4] and Zografia Papanagiotou[3]

[1]Assistant Professor, [2]Assistant Professor, [3]Research Fellow, [4]Professor,

[1]Department of Primary Education, Aristotle University of Thessaloniki,

[2,3,4]Department of Primary Education, National and Kapodistrian University of Athens

[1]agkiolm@eled.auth.gr

Abstract

This paper thoroughly explores the existing literature and the practices used, in order to teach quantum entanglement, a very essential concept for education today, mainly because of its many technological and other applications. Emphasis is placed on those teaching and didactic transformation strategies, which avoid difficult Physics' terms, as well as Mathematical formalism. The findings are used to structure a new teaching sequence and corresponding empirical research, aiming at teaching quantum entanglement to undergraduate students of Primary Education Departments.

Keywords: didactic transform, learning outcomes, quantum entanglement, teaching

Αναγνωριστικό ψηφιακής εργασίας: https://doi.org/10.12681/codiste.7747

Εισαγωγή

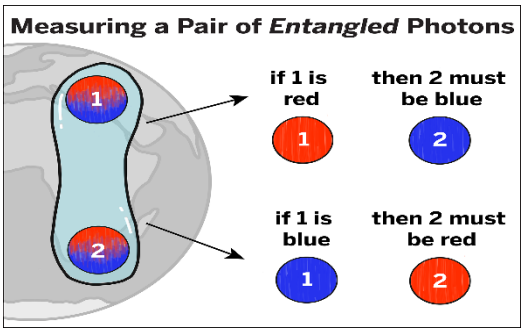
Η έννοια της «Κβαντικής Διεμπλοκής» ("Quantum Entanglement") χρονολογείται ιστορικά από το 1935, όταν την πρωτο-θέτει ένα νοητικό πείραμα, το λεγόμενο «Παράδοξο Einstein-Podolosky -Rosen» (EPR) (Pospiech, 1999). Δεκαετίες αργότερα, το πείραμα αυτό υλοποιείται στο εργαστήριο και οδηγεί στην απονομή ενός βραβείο Νόμπελ το 2022, για τη συμβολή του στην κβαντική τεχνολογία (Penchev, 2023).

Η έννοια αποτέλεσε μία από τις νέες έννοιες στα προπτυχιακά εγχειρίδια Κβαντομηχανικής των τελευταίων δεκαετιών. Πρόκειται όμως για μία έννοια που σαφώς γίνεται προσπάθεια διεθνώς να διαχυθεί σε χαμηλότερες βαθμίδες εκπαίδευσης – διδασκόμενη χωρίς μαθηματικό φορμαλισμό – κυρίως λόγω των πάρα πολλών εφαρμογών της, στην τεχνολογία τους υπολογιστές και αλλού. Στην εργασία αυτή στοχεύεται να μελετηθεί διεξοδικά η εκπαιδευτική διεθνής και ελληνική βιβλιογραφία πάνω στους τρόπους διδασκαλίας της κβαντικής διεμπλοκής, και τα μαθησιακά οφέλη που προκύπτουν από αυτήν. Αυτά θα αποτελέσουν τη βάση μίας σχεδιαζόμενης εκπαιδευτικής έρευνας για τη διδασκαλία της διεμπλοκής σε προπτυχιακούς/-ες φοιτητές και φοιτήτριες Παιδαγωγικών Τμημάτων.

Θεωρητικό Υπόβαθρο

Σε έναν απλό ορισμό, μπορούμε να πούμε ότι η Κβαντική Διεμπλοκή (ή Κβαντικός Εναγκαλισμός, Quantum Entanglement) είναι η άμεση συσχέτιση των καταστάσεων δύο σωματιδίων που μπορεί να βρίσκονται σε πολύ μεγάλη απόσταση. Κάθε αλλαγή στην κατάσταση του ενός επηρεάζει άμεσα και την κατάσταση του άλλου. Χρησιμοποιείται συχνά στην εκπαίδευση το παράδειγμα των δύο κερμάτων που μόλις τα ρίξουμε και το ένα φέρει «κορώνα», το άλλο φέρνει – ευρισκόμενο σε τεράστια απόσταση – «γράμματα» και αντίστροφα. Το πολύ σημαντικό σε αυτή τη συσχέτιση είναι ότι εκτός από το ότι υφίσταται σε πολύ μεγάλες αποστάσεις, κάθε αλληλεπίδραση/αλλαγή των δύο σωματιδίων υλοποιείται και ακαριαία, υπερβαίνει δηλαδή την ταχύτητα του φωτός. Ο Einstein χαρακτηριστικά την αποκαλούσε «στοιχειωμένη δράση από απόσταση» ("spooky action at a distance"). Στην εικόνα 1 δίνεται σε απλουστευμένη μορφή ένα ζεύγος κβαντικά διεμπλεκόμενων (ή εναγκαλισμένων) φωτονίων.

Εικόνα 1. Μία απεικόνιση δύο κβαντικά διεμπλεκομένων φωτονίων



Πηγή: (Quantum Atlas,2024)

Βιβλιογραφική επισκόπηση

Στις περισσότερες απόπειρες και διερευνήσεις που έχουν γίνει και γίνονται για τη διδασκαλία βασικών θεμάτων της Κβαντομηχανικής στην εκπαίδευση, συμπεριλαμβάνεται και η κβαντική διεμπλοκή (Weissman et al., 2022). Ένας βασικός λόγος είναι η τεράστια γκάμα πεδίων εφαρμογής της σε άλλα πεδία της σχολικής γνώσης όπως πχ. η Τεχνολογία και η Πληροφορική (Satanassi et al., 2022). Σε πολλές έρευνες έχουν, επίσης, διερευνηθεί οι προϋπάρχουσες αντιλήψεις και οι γνώσεις μαθητών και φοιτητών για το τι μπορεί να είναι η κβαντική διεμπλοκή (Brang et al., 2024˙ Zwickl & Hersom, 2024). Σε ό,τι αφορά τον διδακτικό

μετασχηματισμό της έννοιας της κβαντικής διεμπλοκής με απλούς όρους, προκρίνονται συχνά μέθοδοι με διδακτικά παιχνίδια (games) (Chiofalo et al., 2022).

Μεθοδολογίες Διδακτικού Μετασχηματισμού

Συγκεκριμένα, δύο κλασικές προτεινόμενες μεθοδολογίες διδασκαλίας της κβαντικής διεμπλοκής είναι: α) αυτή των López–Incera και Dür (2019), μία τεχνική παιχνιδιού ρόλων, όπου οι εκπαιδευόμενοι στέκονται πάνω σε χρωματιστές γραμμές και αλληλεπιδρούν με συγκεκριμένους κανόνες και β) αυτή των Marckwordt et al. (2021) που διδάσκει την κβαντική διεμπλοκή ως ένα παιχνίδι dodgeball με μπάλα.

Η σχεδιαζόμενη από εμάς διδακτική ακολουθία για τη διδασκαλία και την κατανόηση της κβαντικής διεμπλοκής είναι ένας συνδυασμός των δύο παραπάνω μεθοδολογιών, με κάποιες τροποποιήσεις και με τη διανομή Φύλλου Εργασίας στους/στις εκπαιδευόμενους/-ες του δείγματος, το οποίο περιλαμβάνει εικόνες, σχήματα και ερωτήσεις προς απάντηση.

Ακόμη, είναι θεμιτό στο σχεδιασμό της διδακτικής παρέμβασης, να χρησιμοποιηθούν για την εκμάθηση και κατανόηση της κβαντικής διεμπλοκής και: α) ηλεκτρονικά "κβαντικά παιχνίδια", όπως η κβαντική τρίλιζα (van Nieuwenburg, 2019), β) απλές πειραματικές τεχνικές στηριγμένες στην πόλωση του φωτός (Michelini & Stefanel, 2021) αλλά και γ) απλά μαθηματικά των πιθανοτήτων, χωρίς ιδιαίτερο φορμαλισμό (Ferrie, 2024).

Αποτελέσματα

Επιδίωξη, μέσα από την έρευνα που σχεδιάζεται, είναι: Κατ' αρχήν, να καταγραφεί διεξοδικά όλη η υπάρχουσα μέχρι σήμερα ελληνική και διεθνής βιβλιογραφία για τη διδασκαλία της κβαντικής διεμπλοκής στις βαθμίδες της εκπαίδευσης. Κατά δεύτερον, να ανιχνευθούν οι όποιες γνώσεις προπτυχιακών φοιτητών πάνω σε θέματα Κβαντομηχανικής – και ιδιαίτερα αυτών που αφορούν τη διεμπλοκή – όσον αφορά εφαρμογές τους στην καθημερινή ζωή και στον κόσμο που μας περιβάλλει. Και τέλος, μετά την εμπειρική έρευνα και τη διδακτική παρέμβαση, να διαπιστωθεί κατά πόσο κατέστη εφικτό να βελτιωθεί η γνώση και η κατανόηση φοιτητών και φοιτητριών πάνω σε ένα θέμα με τόσο πολλές εφαρμογές όπως η κβαντική διεμπλοκή, χωρίς να χρησιμοποιούνται δυσνόητοι όροι Φυσικής και μαθηματικός φορμαλισμός.

Συμπεράσματα

Θεωρούμε ότι είναι πολύ σημαντικό και σχετικά καινοτόμο για την ελληνική εκπαίδευση (αν εξαιρεθούν κλάδοι Κβαντικής Υπολογιστικής και Πληροφορικής) να υλοποιηθεί μία στρατηγική διάχυσης της έννοιας της κβαντικής διεμπλοκής σε μαθητές και μέλλοντες εκπαιδευτικούς. Αυτό κυρίως γιατί η έννοια έχει τεράστιο εύρος εφαρμογών στην τεχνολογία και τον κόσμο γύρω μας. Επίσης, αποτελεί ένα κλασικό πεδίο διάκρισης των ορίων μεταξύ επιστήμης και ψευδο-επιστήμης. Υπό το πρίσμα αυτό η σχεδιαζόμενη έρευνα μπορεί να αποφέρει νέες προοπτικές στη διδασκαλία θέματος σύγχρονης Φυσικής στην εκπαίδευση.

Βιβλιογραφία

Brang, M., Franke, H., Greinert, F., Ubben, M. S., Hennig, F., & Bitzenbauer, P. (2024). Spooky action at a distance? A two-phase study into learners' views of quantum entanglement. *EPJ Quantum Technology, 11*(1), 33 (σ. 1-30). https://doi.org/10.1140/epjqt/s40507-024-00244-y

Chiofalo, M. L., Foti, C., Michelini, M., Santi, L., & Stefanel, A. (2022). Games for teaching/learning quantum mechanics: a pilot study with high-school students. *Education Sciences, 12*(7), 446 (σ. 1-34). https://doi.org/10.3390/educsci12070446

Ferrie, C. (2024, September 16). *Quantum Entanglement with Just a Little Algebra*. Medium. https://csferrie.medium.com/quantum-entanglement-with-just-a-little-algebra-9760ef2f42ee

López-Incera, A., & Dür, W. (2019). Entangle me! A game to demonstrate the principles of quantum mechanics. *American Journal of Physics, 87*(2), (σ. 95-101). https://doi.org/10.1119/1.5086275

Marckwordt, J., Muller, A., Harlow, D., Franklin, D., & Landsberg, R. H. (2021). Entanglement ball: using dodgeball to introduce quantum entanglement. *The Physics Teacher, 59*(8), (σ. 613-616). https://doi.org/10.1119/5.0019871

Michelini, M., & Stefanel, A. (2021, May). A path to build basic Quantum Mechanics ideas in the context of light polarization and learning outcomes of secondary students. *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1929, No. 1, p. 012052). IOP Publishing. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1929/1/012052

Penchev, V. (2023). This Year's Nobel Prize (2022) in Physics for Entanglement and Quantum Information: the New Revolution in Quantum Mechanics and Science. Available at SSRN 4382533 (σ. 1-68). https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4382533

Pospiech, G. (1999). Teaching the EPR paradox at high school?. *Physics Education, 34*(5), (σ. 311-322). https://doi.org/10.1088/0031-9120/34/5/307

Quantum Atlas (2024). *Quantum Entanglement* https://quantumatlas.umd.edu/entry/entanglement/

Satanassi, S., Ercolessi, E., & Levrini, O. (2022). Designing and implementing materials on quantum computing for secondary school students: The case of teleportation. *Physical Review Physics Education Research, 18*(1), 01012 (σ.1–28). https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.18.010122

van Nieuwenburg, E. (2019, July 15). *Introducing a New Game: Quantum TiqTaqToe*. Quantum Frontiers. https://quantumfrontiers.com/2019/07/15/tiqtaqtoe/

Weissman, E. Y., Merzel, A., Katz, N., & Galili, I. (2022). Phenomena and principles: presenting quantum physics in a high school curriculum. *Physics, 4*(4), (σ. 1299-1317). https://doi.org/10.3390/physics4040083

Zwickl, B. M. & Hersom, H. J. (2024) Investigating Students' Understanding of Entanglement. Πρακτικά του Physics Education Research Conference (PERC), Βοστώνη, Η.Π.Α., 10-11 Ιουλίου 2024 (σ. 467-472). https://doi.org/10.1119/perc.2024.pr.Zwickl