

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°

**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

Στην μνήμη της Άννας Σπύριου



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.enepnet.gr



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.9888](https://doi.org/10.12681/codiste.9888)

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

Αριστοτέλης Γκιόλμας¹, Γιάννα Κατσιαμπούρα², Αικατερίνη Μπενίση³,
Κωνσταντίνος Σκορδούλης⁴ και Ζωγραφιά Παπαναγιώτου⁵

¹Επίκουρος καθηγητής, ²Επίκουρη καθηγήτρια, ^{3,5}Επιστημονική Συνεργάτης, ⁴Καθηγητής,
¹Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

^{2,3,4,5}Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης,

Εθνικών και Καποδιστριακών Πανεπιστημίων Αθηνών

¹agkiolm@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 Gkiolmas¹, Gianna Katsiampoura², Aikaterini Benisi²,
Constantine Skordoulis⁴ and Zografia Papanagiotou⁵

¹Assistant Professor, ²Assistant Professor, ^{3,5}Research Fellow, ⁴Professor,

¹Department of Primary Education, Aristotle University of Thessaloniki,

^{2,3,4,5}Department of Primary Education, National and Kapodistrian University of Athens

¹agkiolm@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

Εισαγωγή

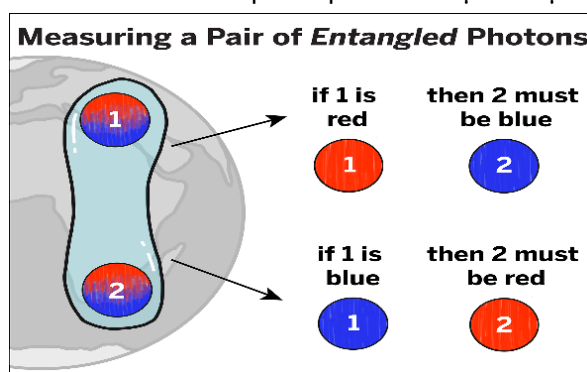
Η έννοια της «Κβαντικής Διεμπλοκής» (“Quantum Entanglement”) χρονολογείται ιστορικά από το 1935, όταν την πρωτο-θέτει ένα νοητικό πείραμα, το λεγόμενο «Παράδοξο Einstein-Podolsky-Rosen» (EPR) (Pospiech, 1999). Δεκαετίες αργότερα, το πείραμα αυτό υλοποιείται στο εργαστήριο και οδηγεί στην απονομή ενός βραβείου 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 και 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, καθώς 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

Ως ένας απλός ορισμός, μπορεί να ειπωθεί 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 (Nielsen & Chuang, 2010). 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 (Siegfried, 2006). 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”) (Dien-Lane, 2008). Στην Εικόνα 1 δίνεται σε απλουστευμένη μορφή ένα ζεύγος κβαντικά διεμπλεκόμενων (ή εναγκαλισμένων) φωτονίων.

Εικόνα 1. Μία απεικόνιση δύο κβαντικά διεμπλεκόμενων 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

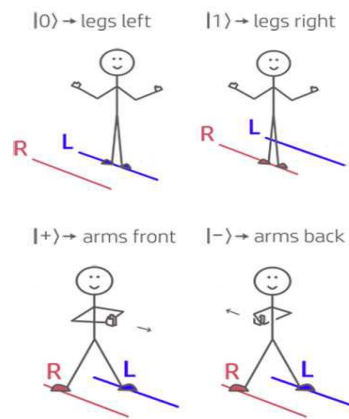
προϋπάρχουσες αντιλήψεις και οι γνώσεις μαθητών και φοιτητών για το τι μπορεί να είναι η κβαντική διεμπλοκή (Brang et al., 2024 ; Zwickl & Hersom, 2024). Σε ό,τι αφορά τον διδακτικό μετασχηματισμό της έννοιας της κβαντικής διεμπλοκής με απλούς όρους, προκρίνονται συχνά μέθοδοι με διδακτικά παιχνίδια (teaching games) (Chiofalo et al., 2022).

Μεθοδολογίες Διδακτικού Μετασχηματισμού

Συγκεκριμένα, υπάρχουν δύο κλασικές προτεινόμενες μεθοδολογίες διδασκαλίας της κβαντικής διεμπλοκής :

- A) αυτή των López–Incera και Dür (2019), μία τεχνική παιχνιδιού ρόλων, όπου οι εκπαιδευόμενοι στέκονται πάνω σε χρωματιστές γραμμές και αλληλεπιδρούν με συγκεκριμένους κανόνες. Στην Εικόνα 2 απεικονίζεται αυτή η μέθοδος, όπου διάφορες κβαντομηχανικές καταστάσεις αντιστοιχούν είτε στο σε ποια από τις δύο γραμμές (μπλέ ή κόκκινη) βάζει τα πόδια του ο φοιτητής/η φοιτήτρια είτε ως μία θέση των χεριών του.

Εικόνα 2. Οι κβαντομηχανικές καταστάσεις ως θέσεις των ποδιών σε γραμμές ή θέσεις των χεριών (López–Incera & Dür, 2019)



- B) αυτή των Marckwordt et al. (2021) που διδάσκει την κβαντική διεμπλοκή ως ένα παιχνίδι dodgeball με μπάλα (πρόκειται για ένα άθλημα που προσομοιάζει αυτό που εμείς ονομάζουμε “μήλα”, παίζεται όμως από δύο ομάδες παικτών, με πολλές μπάλες.

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 τριλιζα” (van Nieuwenburg, 2019), β) απλές πειραματικές τεχνικές στηριγμένες στην πόλωση του φωτός (Michellini & Stefanel, 2021) αλλά και γ) απλά Μαθηματικά των Πιθανοτήτων, χωρίς ιδιαίτερο φορμαλισμό (Ferrie, 2024).

Το δείγμα και η μικρή εμπειρική έρευνα

Το δείγμα αποτελείτο από $N = 5$ άτομα (4 φοιτήτριες και 1 φοιτητής), που προσφέρθηκαν εθελοντικά, και ανήκαν στο Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης του ΑΠΘ. Ανήκαν σε αυτούς που παρακολουθούσαν το επιλεγόμενο μάθημα: “Η Φυσική για εκπαιδευτικούς Πρωτοβάθμιας Εκπαίδευσης”.

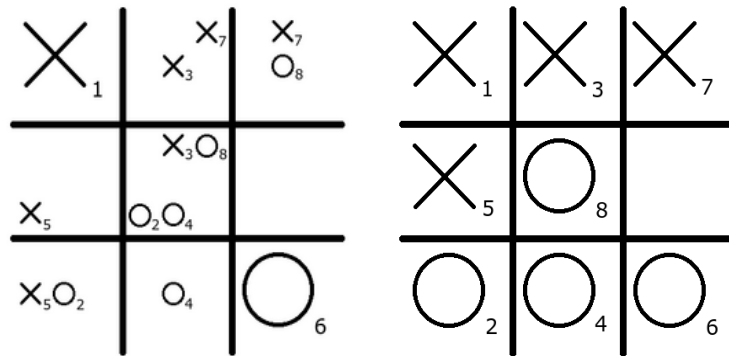
1^η Δραστηριότητα

Οι φοιτητές και φοιτήτριες παίζουν σε ζευγάρια την “κβαντική τριλιζα” (“Quantum-Tic-Tac-Toe”), συμπληρώνοντας τα “X” και τα “O”, αλλά ταυτόχρονα εκτελούν και τις “κινήσεις” τους στην (δωρεάν) εφαρμογή στο κινητό τηλέφωνο, γιατί εκεί κρίνεται κάθε φορά η τελική έκβαση του παιχνιδιού.

Οι κανόνες του παιχνιδιού είναι ίδιοι με την κλασική τριλιζα με δύο βασικές διαφοροποιήσεις (Οικονόμου, 2023· Wikipedia, 2025): (i) Κάθε παίκτης βάζει το X ή το O σε δύο τετράγωνα της επιλογής του - που άρα είναι “διεμπλεκόμενα” (entangled) και (ii) Κάθε τετράγωνο μπορεί να έχει μέσα μέχρι και οκτώ (8) ενδείξεις X ή O.

Τελικά - εν μέρει βάσει επιλογής ενός παίκτη, άρα τυχαιότητας - στο κάθε τετράγωνο αποδίδεται ΜΙΑ τιμή X ή O (μία κβαντομηχανική κατάσταση), άρα έχουμε μία εικόνα τελικά κλασικής τριλιζας. Στην Εικόνα 3, δίνονται διάφορα στάδια εξέλιξης ενός παιχνιδιού κβαντικής τριλιζας.

Εικόνα 3. Διάφορα στάδια εξέλιξης ενός παιχνιδιού κβαντικής τριλιζας (Wikipedia, 2025)



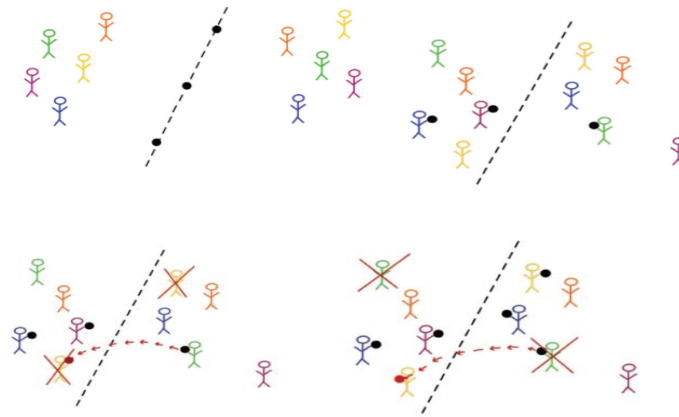
Στις φοιτήτριες και στον φοιτητή δίνονται, σε Φύλλο Εργασίας, για να απαντηθούν ατομικά, οι εξής ερωτήσεις:

- Ποιοι κανόνες πιστεύεις ότι καθορίζουν την ΜΙΑ τελική τιμή, που θα πάρει το κάθε τετραγωνάκι;
- Μπορείς να δεις κάποια συμπεριφορά “αλγορίθμου” σε αυτό που συμβαίνει;
- Υπάρχει, θεωρείς, κάποιος βαθμός τυχαιότητας σε αυτό;
- Αν παίξουν ξανά και οι δύο παίκτριες τις ίδιες κινήσεις, θα έχουμε την ίδια εξέλιξη και τελική έκβαση (ίδιος νικητής ή νικήτρια ή ισοπαλία);

2^η Δραστηριότητα

Πρόκειται για παιχνίδι τύπου “dodgeball”, με το όνομα “Διεμπλοκή με Dodgeball” που παίζεται μέσα σε αίθουσα με μπάλες, όπως το σχεδίασαν για πρώτη φορά οι Marckwordt et al. (2021). Για να συμπληρωθεί ο απαιτούμενος αριθμός των 6 παικτών, παίζω κι εγώ μαζί με τις φοιτήτριες και το φοιτητή του δείγματος. Στην Εικόνα 4 φαίνονται διάφορες φάσεις της εξέλιξης αυτού του παιχνιδιού “dodgeball”. Με ίδιο χρώμα είναι οι παίκτες που αποτελούν “διεμπλεκόμενα ζεύγη”.

Εικόνα 4. Φάσεις εξέλιξης του παιχνιδιού “Διεμπλοκή με Dodgeball” (Marckwordt et al., 2021).



Οι κανόνες αυτού του παιχνιδιού είναι οι εξής: Κάθε ομάδα αποτελείται από δύο παίκτες (εικονίζονται με ίδιο χρώμα) που είναι το “διεμπλεκόμενο ζεύγος”. Κάθε παίκτης της ίδιας ομάδας κάθετα σε άλλη πλευρά της διαχωριστικής γραμμής. Οι μπάλες του dodgeball τοποθετούνται στην κεντρική γραμμή. Όταν ξεκινά το παιχνίδι, όλοι οι παίκτες τρέχουν προς το κέντρο και προσπαθούν να πιάσουν μια μπάλα (αφού υπάρχουν περισσότεροι παίκτες από μπάλες, μόνο μερικοί παίκτες θα πάρουν με επιτυχία μια μπάλα, αρχικά). Κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού, οι παίκτες πρέπει να παραμείνουν στη δική τους πλευρά του γηπέδου και να προσπαθήσουν να χτυπήσουν παίκτες στην αντίθετη πλευρά με μια μπάλα. Εάν ένας παίκτης χτυπηθεί με μια μπάλα και δεν την πιάσει, πρέπει να βγει από το γήπεδο και να καθίσει στις πλάγιες γραμμές για το υπόλοιπο του παιχνιδιού. Ωστόσο, εάν ένας παίκτης πιάσει μια μπάλα που του πετάγεται, ο παίκτης που έριξε την μπάλα πρέπει να καθίσει στις πλάγιες γραμμές. Ο στόχος είναι να αποκλειστούν όλοι οι παίκτες της αντίπαλης ομάδας, τερματίζοντας το παιχνίδι. Νικήτρια είναι η ομάδα που της απομένει στο τέλος έστω και ένας παίκτης. Οι ερωτήσεις που δόθηκαν στα Φύλλα Εργασίας, προς τις φοιτήτριες και τον φοιτητή, ήταν:

- a. Τι σημαίνει για τη φύση το “πετάω την μπάλα”, το “πίνω την μπάλα” και το “με χτυπάει η μπάλα”;
(Χρησιμοποιείστε όρους όπως “μέτρηση”, “κατάσταση”, “φυσικό αντικείμενο”..)
- b. Γιατί οι μπάλες είναι λιγότερες από τους παίκτες;
- c. Ποιο σκεπτικό θα πρέπει - πιστεύετε να ακολουθήσει μία ομάδα, προκειμένου να κερδίσει το παιχνίδι;

Αποτελέσματα

Επιδίωξη, μέσα από την έρευνα που ακόμη εξελίσσεται, 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.

Μετά την εμπειρική έρευνα και τη διδακτική παρέμβαση, επιδιώκεται 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.

Τα επιμέρους αποτελέσματα των δύο δραστηριοτήτων (με ελληνικούς χαρακτήρες οι τέσσερις ερωτήσεις της πρώτης δραστηριότητας και με αγγλικούς χαρακτήρες οι τρεις ερωτήσεις της δεύτερης δραστηριότητας).

1^η δραστηριότητα

- α. 0/5 φοιτητές/-τριες αναγνωρίζουν τους κανόνες
- β. 4/5 φοιτητές/-τριες βλέπουν κάποια συμπεριφορά αλγορίθμου
- γ. 3/5 φοιτητές/-τριες βλέπουν κάποιο παράγοντα “τυχειρότητας” (όντως, ο ένας παίκτης κάποια στιγμή αποφασίζει)
- δ. 5/5 φοιτητές/-τριες αναγνωρίζουν την μη επαναληψιμότητα / στατιστικότητα

2^η δραστηριότητα

- α. 1/5 φοιτητές/-τριες το σχετίζει με αλλαγή (κβαντομηχανικής) κατάστασης
- β. 2/5 φοιτητές/-τριες κατανοούν την μη ύπαρξη αρχικής κατάστασης για όλους τους συμμετέχοντες, και ότι δεν μπορούν όλες και όλοι να “αλλάξουν” κατάσταση.
- γ. 2/5 φοιτητές/-τριες βρίσκουν τον “επιστημονικά ορθό” αλγόριθμο

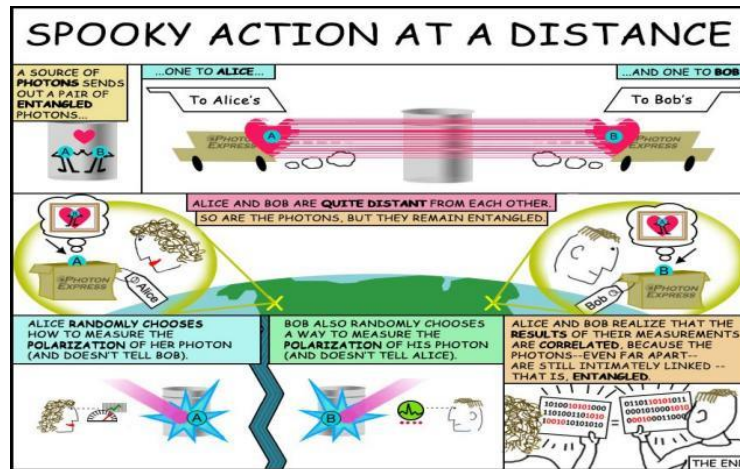
Συμπεράσματα

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 εξελισσόμενη έρευνα μπορεί να αποφέρει νέες προοπτικές στη διδασκαλία θέματος σύγχρονης Φυσικής στην εκπαίδευση. Τα ευρήματα από την μικρή εμπειρική παρέμβαση με το (περιορισμένο) δείγμα, δείχνουν ότι η λειτουργία των παιχνιδιών (“games”) μπορεί να οδηγήσει σε επιτυχείς στρατηγικές διδακτικού μετασχηματισμού της κβαντικής διεμπλοκής και εννοιών γύρω από αυτήν.

Στο μελλοντικό επανασχεδιασμό και επαν-εκτέλεση της παρέμβασης, σε ευρύτερα δείγματα προπτυχιακών φοιτητών, σκοπεύουμε να εντάξουμε:

- α. Απλά παιχνίδια με πιθανότητες και πίνακες. Κλασικό παράδειγμα: ο Bob και η Alice που συλλαμβάνονται και ανακρίνονται, σε σχέση κυρίως με το αν ήταν με τον Charlie και την Diane. Δημιουργείται ένα απλό Πινακάκι με τα ψηφία 1 και 0 σε κάθε κελί, με 16 πιθανές καταστάσεις, που είναι μεταξύ τους “διεμπλεκόμενες” (Ferrie, 2024).
- β. Διδακτικές προσεγγίσεις για την κβαντική διεμπλοκή που δεν απαιτούν πολύ μαθηματικό φορμαλισμό, όπως αυτή των Michelini και Stefanel (2021) ή και απλά απεικονιστικά παραδείγματα, όπως αυτό που αφορά ζεύγη φωτονίων και φαίνεται στην Εικόνα 5, προερχόμενο από την ιστοσελίδα www.space.com. (Emspak & Hickok, 2024)

Εικόνα 5. Απλή απεικονιστική εξήγηση της κβαντικής διεμπλοκής, ως αλληλεπίδραση ζεύγους φωτονίων (Emspak & Hickok, 2024).



Η έρευνα αυτή, πάνω στη διδασκαλία της κβαντικής διεμπλοκής και στις διδακτικές στρατηγικές για αυτήν, είναι μία έρευνα σε εξέλιξη, και θεωρούμε ότι τα πρώτα αποτελέσματα είναι ενθαρρυντικά.

Βιβλιογραφία

- Οικονόμου, Α. Β. (2023). *Κβαντική υπολογιστική στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή Τεχνολογίας, Τμήμα Ψηφιακών Συστημάτων.*
- 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, 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, 1-34. <https://doi.org/10.3390/educsci12070446>
- Diem-Lane, A. (2008). *Spooky Physics*. Mount San Antonio College (MSAC) Philosophy Group.
- Emspak, J., & Hickok, K. (2024) Quantum Entanglement: Unlocking the mysteries of particle connections. Ανακτήθηκε στις 25 Ιουνίου 2025, από: <https://www.space.com/31933-quantum-entanglement-action-at-a-distance.html>
- Ferrie, C. (2024). *Quantum Entanglement with Just a Little Algebra*. Medium. Ανακτήθηκε στις 2 Ιουλίου 2025, από: <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), 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), 613-616. <https://doi.org/10.1119/5.0019871>
- Michelini, M., & Stefanel, A. (2021). 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*, 1929, 1, 012052). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1929/1/012052>
- Nielsen, M. A., & Chuang, I. L. (2010). *Quantum computation and quantum information*. Cambridge University Press.
- Penchev, V. (2023). This Year's Nobel Prize (2022) in Physics for Entanglement and Quantum Information: the New Revolution in Quantum Mechanics and Science. *SSRN* 4382533, 1-68. <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4382533>

- Pospiech, G. (1999). Teaching the EPR paradox at high school?. *Physics Education*, 34(5), 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, 1 – 28.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.18.010122>
- Siegfried, T. (2006). *A beautiful Math: John Nash, game theory, and the modern quest for a code of nature*. National Academies Press.
- van Nieuwenburg, E. (2019, July 15). *Introducing a New Game: Quantum TicTaqToe*. 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), 1299-1317.
<https://doi.org/10.3390/physics4040083>
- Wikipedia (2025). *Quantum tic-tac-toe*. Ανακτήθηκε στις 1 Ιουλίου 2025, από τον ιστότοπο:
https://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_tic-tac-toe.
- Zwickl, B. M. & Hersom, H. J. (2024) Investigating Students' Understanding of Entanglement. *Πρακτικά του Physics Education Research Conference (PERC)*, 467-472. Βοστώνη, Η.Π.Α., 10-11 Ιουλίου 2024 <https://doi.org/10.1119/perc.2024.pr.Zwickl>