

## Εξέταση 12/2/2009

**Γενικές Οδηγίες.** Να επιλέξετε ένα (1) θέμα από τα δυο (2) βαθμολογικώς ισοδύναμα θέματα της Ομάδας A (20% κάθε θέμα) και δυο (2) θέματα από τα τρία (3) βαθμολογικώς ισοδύναμα θέματα της Ομάδας B (40% κάθε θέμα). **Κραλή επιτυχία!**

### Ομάδα A

1. Παρουσιάστε με αυστηρότητα το πρόβλημα της μέτρησης στην κβαντική μηχανική. Δείξτε ότι η φυσική υπόθεση καθολικής ισχύος μιας μοναδιαίας γραμμικής δυναμικής εξέλιξης (σαν αυτή που περιγράφει η εξίσωση Σρέντιγκερ [Schrödinger]) δεν συμβιβάζεται με τη μεταφυσική υπόθεση ότι τα αποτελέσματα όλων των μετρήσεων καθορίζονται από φυσικά γεγονότα και τον σημασιολογικό κανόνα σύμφωνα με τον οποίο ένα παρατηρήσιμο μέγεθος ενός κβαντικού συστήματος έχει ορισμένη τιμή σε μια χρονική στιγμή μόνον αν η κατάσταση του συστήματος σε εκείνη τη χρονική στιγμή αναπαριστάνεται από ιδιοδιάνυσμα του αντίστοιχου αυτοσυζυγούς τελεστή (οπότε η ορισμένη τιμή ισούται με την αντίστοιχη ιδιοτιμή).

2. Αναπτύξτε με συντομία και χωρίς «τεχνικές λεπτομέρειες» τις συνέπειες του θεωρήματος του Μπελ [Bell] για τα θεμέλια και την ερμηνεία της κβαντικής μηχανικής. Στο πλαίσιο αυτό, διακρίνετε (a) την ανεξαρτησία από παράμετρο [parameter independence] ή ανεξαρτησία διατάξεως [setting independence] από (β) την ανεξαρτησία από αποτέλεσμα [outcome independence] ή ανεξαρτησία αποτελέσματος. Ποια από αυτές τις αρχές τοπικότητας ικανοποιεί και ποια παραβιάζει η μη σχετικιστική κβαντική μηχανική;

### Ομάδα B

1. Θεωρήστε τις παρακάτω δυο αρχές στο πλαίσιο της μη σχετικιστικής κβαντικής μηχανικής:

(LOC): Αν κατά τη στιγμή της μέτρησης δύο συστήματα δεν αλληλεπιδρούν πια, καμία πραγματική αλλαγή δεν μπορεί να λάβει χώρα στο ένα σύστημα ως αποτέλεσμα οποιασδήποτε επέμβασης στο άλλο.

(NSV): Όταν οι αυτοσυζυγείς τελεστές που αντιστοιχούν σε δύο παρατηρήσιμα φυσικά μεγέθη δεν (αντι)μετατίθενται, τότε αυτά τα φυσικά μεγέθη είναι αδύνατον να λαμβάνουν ταυτόχρονα καθορισμένες τιμές.

Ακολουθώντας τις βασικές ιδέες και προκείμενες των Αϊνστάιν-Ποντόλσκυ-Ρόουζεν [Einstein-Podolsky-Rosen, EPR] αναπτύξτε ένα επιχείρημα προς το συμπέρασμα:

(C) Η μη σχετικιστική κβαντική μηχανική παραβιάζει την (NSV) εάν είναι τοπική υπό την έννοια ότι ικανοποιεί την (LOC).

Ποιο, επομένως, είναι το τελικό συμπέρασμα που μπορεί να συναχθεί από το επιχείρημα των EPR; Θα μπορούσε αυτό το συμπέρασμα να συναχθεί χωρίς αναφορά σε παρατηρήσιμα φυσικά μεγέθη των οποίων οι αυτοσυζυγείς τελεστές δεν (αντι)μετατίθενται; Αν «ναι», με ποιο επιχείρημα;

Υπόδειξη. Μπορείτε να θεωρήσετε ζεύγη σωματιδίων spin  $\frac{1}{2}$  που παράγονται στην κατάσταση singlet του ολικού spin,

$$|\Psi_{\text{singlet}}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|\vec{n},+\rangle|\vec{n},-\rangle - |\vec{n},-\rangle|\vec{n},+\rangle), \text{ όπου } \vec{n} \text{ είναι το μοναδιαίο διάνυσμα για τυχαία διεύθυνση στο χώρο και } |\vec{n},\pm\rangle \text{ είναι}$$

τα ιδιοδιανύσματα του τελεστή  $\hat{S}_z$  του spin στην κατεύθυνση του  $\vec{n}$  που αντιστοιχούν στις ιδιοτιμές  $\pm 1$  (σε μονάδες  $\hbar/2$ ). Για ορθοκανονικό σύστημα  $(x, y, z)$  ισχύουν οι σχέσεις:  $[\hat{S}_x, \hat{S}_y] = i\hbar\hat{S}_z$ ,  $[\hat{S}_y, \hat{S}_z] = i\hbar\hat{S}_x$ ,  $[\hat{S}_z, \hat{S}_x] = i\hbar\hat{S}_y$ .

2. Σκιαγραφήστε τη φιλοσοφική διάκριση μεταξύ υποστασιοκρατίας και σχεσιοκρατίας ως προς τον χώρο και τον χρόνο. Στο πλαίσιο αυτό, αναπτύξτε με συντομία τις απόψεις του Νεύτωνα [Newton] για τον χώρο και τον χρόνο καθώς και την κριτική που άσκησε στις απόψεις αυτές ο Λάιμπνιτς [Leibniz].

3. Με αφετηρία μια αιτιακή θεωρία του χρόνου αναπτύξτε ένα επιχείρημα υπέρ του συμβατικού χαρακτήρα της ταυτοχρονίας στην ειδική θεωρία της σχετικότητας (ΕΘΣ). Διατυπώστε το θεωρημα του Μάλαμεντ [Malament] και συζητήστε τις συνέπειες του για τη συμβατικότητα της ταυτοχρονίας στην ΕΘΣ.