

Εξέταση 2/3/2015

Γενικές Οδηγίες. Να επιλέξετε ένα (1) θέμα από τα δύο (2) βαθμολογικώς ισοδύναμα θέματα της Ομάδας A (20% κάθε θέμα) και δύο (2) θέματα από τα τέσσερα (4) βαθμολογικώς ισοδύναμα θέματα της Ομάδας B (40% κάθε θέμα). Διάρκεια εξέτασης: 2 ώρες. **Καλή επιτυχία!**

Ομάδα A

1. Θεωρήστε τον ακόλουθο ισχυρισμό: «Αν ένα σύνθετο φυσικό σύστημα βρίσκεται σε καθαρή κατάσταση τότε καθένα από τα υποσυστήματά του βρίσκονται σε καθαρές κατάστασεις και επιπλέον οι καταστάσεις των υποσυστημάτων (και οι μεταξύ τους σχέσεις) καθορίζουν μονοσήμαντα την κατάσταση του σύνθετου συστήματος». Είναι αληθής ο ισχυρισμός αυτός στην κλασική μηχανική; Είναι αληθής ο ισχυρισμός αυτός στη μη σχετικιστική κβαντική μηχανική; Δικαιολογήστε την απάντησή σας σε κάθε ερώτημα και σχολιάστε τις φιλοσοφικές συνέπειες.
2. Αναπτύξτε ένα επιχείρημα που συνηγορεί υπέρ του συμβατικού χαρακτήρα της ταυτοχρονίας στην ειδική θεωρία της σχετικότητας.

Ομάδα B

1. Αναπτύξτε με λεπτομέρεια το πρόβλημα της κβαντικής μέτρησης. Για ποιους λόγους δεν κρίνεται (απολύτως) ικανοποιητική η «καθιερωμένη λύση» με την εισαγωγή ενός αιτήματος «προβολής» (ή «αναγωγής του διανύσματος κατάστασης» ή «κατάρρευσης της υπέρθεσης»);
2. Αναπτύξτε με συντομία την ερμηνεία του Bohm [Μπομ] για τη μη σχετικιστική κβαντική μηχανική σωματιδίων, δίνοντας έμφαση στις διαφορές της με την ορθόδοξη ερμηνεία (καθεστώς της κυματοσυνάρτησης, σύνδεσμος ιδιοκατάστασης-ιδιοτιμής, δυναμική εξέλιξη και μέτρηση, ντετερμινισμός). Γιατί θεωρείται ασυμβίβαστη με την (ειδική) θεωρία της σχετικότητας η ερμηνεία Bohm; Ποια είναι, κατά τη γνώμη σας, τα πλεονεκτήματα και ποια τα μειονεκτήματα της ερμηνείας Bohm;
3. Διατυπώστε τον ορισμό του όρου «τοπική χωροχρονική θεωρία» και δώστε ένα παράδειγμα θεωρίας που ικανοποιεί αυτόν τον ορισμό. Σκιαγραφήστε τη φιλοσοφική στάση που ονομάζεται «υποστασιοκρατία ως προς τον χωρόχρονο». Αναπτύξτε με συντομία το «επιχείρημα περί οπής» για τοπικές χωροχρονικές θεωρίες και διατυπώστε ακριβώς το δίλημμα στο οποίο οδηγεί τον υποστασιοκράτη ως προς τον χωρόχρονο.
4. (α) Στο πλαίσιο ενός (νοητικού) πειράματος EPRB [Einstein-Podolsky-Rosen-Bohm, Αϊνστάιν-Ποντόλσκυ-Ρόουζεν-Μπομ], αναπτύξτε ένα επιχείρημα προς το συμπέρασμα ότι η μη σχετικιστική κβαντική μηχανική είναι ή μη τοπική ή μη πλήρης, χωρίς να αναφερθείτε σε παρατηρήσιμα μεγέθη των οποίων οι αυτοσυγγείς τελεστές δεν (αντι)μετατίθενται.
(β) 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

την ανεξαρτησία από παράμετρο [parameter independence]¹ από την ανεξαρτησία από αποτέλεσμα [outcome independence]². Ποια από αυτές τις αρχές τοπικότητας ικανοποιεί και ποια παραβιάζει η μη σχετικιστική κβαντική μηχανική;

ΒΟΗΘΗΜΑΤΑ

I. $|\Psi_{\text{singlet}}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|z,+\rangle^{(1)}|z,-\rangle^{(2)} - |z,-\rangle^{(1)}|z,+\rangle^{(2)})$, $|\Psi_{\text{triplet}}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|z,+\rangle^{(1)}|z,+\rangle^{(2)} - |z,-\rangle^{(1)}|z,-\rangle^{(2)})$,

$$\hat{W}^{(j)} = \frac{1}{2}\left(\hat{P}_{|z,+ \rangle^{(j)}} + \hat{P}_{|z,- \rangle^{(j)}}\right), \quad \text{όπου} \quad \hat{P}_{|z,\pm \rangle^{(j)}} = |z,\pm\rangle^{(j)} \langle z,\pm| \quad \text{και} \quad \hat{S}_z^{(j)} |z,\pm\rangle^{(j)} = (\pm \hbar/2) |z,\pm\rangle^{(j)} \quad \text{για} \\ j=1,2.$$

II. Σωματίδιο με μάζα m και θέση $\vec{x}(t)$ στον 3-διάστατο ευκλείδειο χώρο υπό την επίδραση κλασικού δυναμικού $V(\vec{x})$

$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \psi + V(\vec{x}) \psi$$

$$\psi = R \exp(iS/\hbar), \quad P = R^2$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot \left(P \frac{\vec{\nabla} S}{m} \right) = 0 \quad \text{και} \quad \underbrace{\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{(\vec{\nabla} S)^2}{2m} + V(\vec{x})}_{\text{κλασικός Hamilton-Jacobi όρος}} - \underbrace{\frac{\hbar^2}{4m} \left(\frac{\nabla^2 P}{P} - \frac{1}{2} \frac{(\vec{\nabla} P)^2}{P^2} \right)}_{\text{κβαντικό δυναμικό}} = 0$$

$$\vec{p} = m\vec{v} = m \frac{d\vec{x}}{dt} = \vec{\nabla} S = \hbar \operatorname{Im} \frac{\vec{\nabla} \psi}{\psi}.$$

III. N σωματίδια, καθένα με μάζα m_k και θέση $\vec{X}_k(t)$ ($k=1,2,\dots,N$), στον 3-διάστατο ευκλείδειο χώρο υπό την επίδραση κλασικού δυναμικού $V(q_1, \dots, q_{3N})$

$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = -\sum_{k=1}^N \frac{\hbar^2}{2m_k} \nabla_k^2 \psi + V(q_1, \dots, q_{3N}) \psi$$

$$\psi = \psi(q_1, \dots, q_{3N}, t), \quad \vec{\nabla}_k = \left(\frac{\partial}{\partial q_{3k-2}}, \frac{\partial}{\partial q_{3k-1}}, \frac{\partial}{\partial q_{3k}} \right), \quad \nabla_k^2 = \vec{\nabla}_k \cdot \vec{\nabla}_k,$$

$$\frac{d\vec{X}_k}{dt} = \frac{\hbar}{m_k} \operatorname{Im} \frac{\vec{\nabla}_k \psi}{\psi} \Big|_{(q_{3k-2}, q_{3k-1}, q_{3k}) = \vec{X}_k}.$$

¹ Η ανεξαρτησία διατάξεως [setting independence].

² Η ανεξαρτησία αποτελέσματος.