



The 38th International Physics Olympiad
Iran
Theory Competition
Sunday, 15 July 2007

Παρακαλώ διαβάστε πρώτα τις πιο κάτω οδηγίες:

1. Η εξέταση διαρκεί 5 h (πέντε ώρες). Υπάρχουν τρεις ερωτήσεις και κάθε μια από αυτές βαθμολογείται με **10 βαθμούς**. Κάθε ερώτηση αναγνωρίζεται από ένα διαφορετικό χρώμα.
2. Χρησιμοποιήσετε μόνο το στυλό που υπάρχει στο τραπέζι σας.
3. Πάνω στο τραπέζι σας υπάρχουν τρεις χρωματιστοί φάκελοι μέσα σε ένα μεγαλύτερο φάκελο. Κάθε χρωματιστός φάκελος περιέχει τα **φύλλα Ερωτήσεων (Question papers)** τα οποία αναγνωρίζονται από το γράμμα **Q**, τα **φύλλα Απαντήσεων (Answer sheets)** τα οποία αναγνωρίζονται από το γράμμα **A** και επίσης έναν αριθμό **φύλλων Γραψίματος (Writing sheets)** τα οποία αναγνωρίζονται από το γράμμα **W**. Όλα τα φύλλα σε ένα φάκελο έχουν το ίδιο χρώμα με τον φάκελο.
4. Παρακαλώ χρησιμοποιήστε το **φύλλο Απαντήσεων (A)** που σας δόθηκε για να γράψετε τις απαντήσεις σας. Για το γράψιμο των απαντήσεων χρησιμοποιήστε τα **φύλλα γραψίματος (W)**. Τα αριθμητικά αποτελέσματα πρέπει να γράφονται με τον κατάλληλο αριθμό ψηφίων ανάλογα με τα δεδομένα. **Μην ξεχνάτε να γράφετε τις μονάδες μέτρησης.**
5. Γράψτε στα κενά φύλλα γραψίματος (**Writing Sheets**) (**W**) οτιδήποτε θεωρείτε ότι χρειάζεται για τη λύση των ερωτήσεων και οτιδήποτε θέλετε να βαθμολογηθεί. Γράψτε **όσο το δυνατό λιγότερο κείμενο** και περιοριστείτε σε εξισώσεις, αριθμούς, σύμβολα και διαγράμματα.
6. Χρησιμοποιήστε μόνο το μπροστινό μέρος των φύλλων χαρτιού που σας δόθηκαν.
7. Είναι πολύ σημαντικό να συμπληρώσετε τον δικό σας **Κωδικό Μαθητή (Student Code)** στα κουτάκια που βρίσκονται στο πάνω μέρος κάθε φύλλου χαρτιού που θα χρησιμοποιήσετε. Επιπλέον στα κενά φύλλα γραψίματος που θα χρησιμοποιήσετε για κάθε ερώτηση θα πρέπει να γράψετε **τον αύξοντα αριθμό κάθε φύλλου (Page No)** και τον συνολικό αριθμό των φύλλων Γραψίματος (**W**) που έχετε χρησιμοποιήσει και επιθυμείτε να βαθμολογηθεί για κάθε ερώτηση (**Total No. of pages**). Θα ήταν επίσης χρήσιμο να γράψετε τον αριθμό του και του υποερωτήματος (Section No) του μέρους (Part) στο οποίο απαντάτε για κάθε ερώτηση, στην αρχή κάθε φύλλου. Αν χρησιμοποιήσετε μερικά φύλλα γραψίματος **W** για πρόχειρες σημειώσεις, για τις οποίες δεν θέλετε να βαθμολογηθείτε, βάλτε ένα μεγάλο σταυρό διαγραφής σε ολόκληρο το φύλλο και μην το συμπεριλάβετε στην αριθμησή σας. .
8. Όταν τελειώσετε, τοποθετήστε όλα τα φύλλα *με τη σωστή σειρά* μέσα στους φακέλους. Για κάθε χρώμα βάλτε τα φύλλα Απαντήσεων (**A**) στην δεξιά θήκη πρώτα μετά τα φύλλα Γραψίματος (**W**) τα οποία έχετε χρησιμοποιήσει για να γράψετε τις απαντήσεις σας με τη σειρά, ακολουθούμενα από τα φύλλα Γραψίματος (**W**) τα οποία δεν θέλετε να βαθμολογηθούν. Βάλτε τα φύλλα που δεν χρησιμοποιήσατε και τις τυπωμένα φύλλα Ερωτήσεων (**Q**) στην αριστερή θήκη). Τοποθετήστε τα φύλλα κάθε χρώματος



στο φάκελο του ίδιου χρώματος, τοποθετήστε τους τρεις φακέλους μέσα στο μεγάλο φάκελο και αφήστε τα πάντα πάνω στο θρανίο σας. **Δεν επιτρέπεται να πάρετε κανένα φύλλο εκτός του δωματίου!!!**

The 38th International Physics Olympiad
Iran
Theory Competition
Sunday, 15 July 2007

1. Αυτός ο φάκελος περιέχει 4 φύλλα Ερωτήσεων (Q) , 2 φύλλα Απαντήσεων (A) και έναν αριθμό φύλλων Γραψίματος (W)
2. Αυτή η ερώτηση είναι η ροζ (**pink**), γι' αυτό παρακαλούμε γράψτε την απάντηση σε πορτοκαλί φύλλα και μετά βάλτε τα πορτοκαλί φύλλα σε αυτό το φάκελο με κατάλληλη σειρά. Βάλτε τα φύλλα Απαντήσεων (A) στη δεξιά θήκη πρώτα, μετά τα φύλλα Γραψίματος (W) τα οποία έχετε χρησιμοποιήσει για να απαντήσετε στην ερώτηση με τη σειρά, ακολουθούμενα από τα φύλλα Γραψίματος (W) τα οποία δεν επιθυμείτε να βαθμολογηθούν. Βάλτε τα αχρησιμοποίητα φύλλα και τα τυπωμένα φύλλα Ερωτήσεων (Q) στην αριστερή θήκη. Στο τέλος βάλτε και τους τρεις φακέλους στο μεγάλο φάκελο.



Δύο αστέρες περιστρέφονται γύρω από το κέντρο μάζας του συστήματός τους σχηματίζοντας έτσι ένα διπλό αστέρα. Σχεδόν οι μισοί από τους αστέρες του Γαλαξία μας είναι διπλοί αστέρες. Για τους περισσότερους από τους διπλούς αστέρες είναι δύσκολο να διαπιστώσουμε από τη Γη ότι πράγματι είναι διπλοί, αφού η απόσταση μεταξύ των δύο αστερών είναι πολύ μικρότερη από την απόστασή τους από τη Γη και έτσι οι αστέρες δεν είναι διακριτοί από τα τηλεσκόπια. Έτσι, έχουμε τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε ή φωτομετρία ή φασματοσκοπία ώστε να παρατηρούμε της μεταβολές της έντασης ή του φάσματος ενός συγκεκριμένου αστέρα με σκοπό να βρούμε αν είναι διπλός ή όχι.

Φωτομετρία των διπλών αστερών

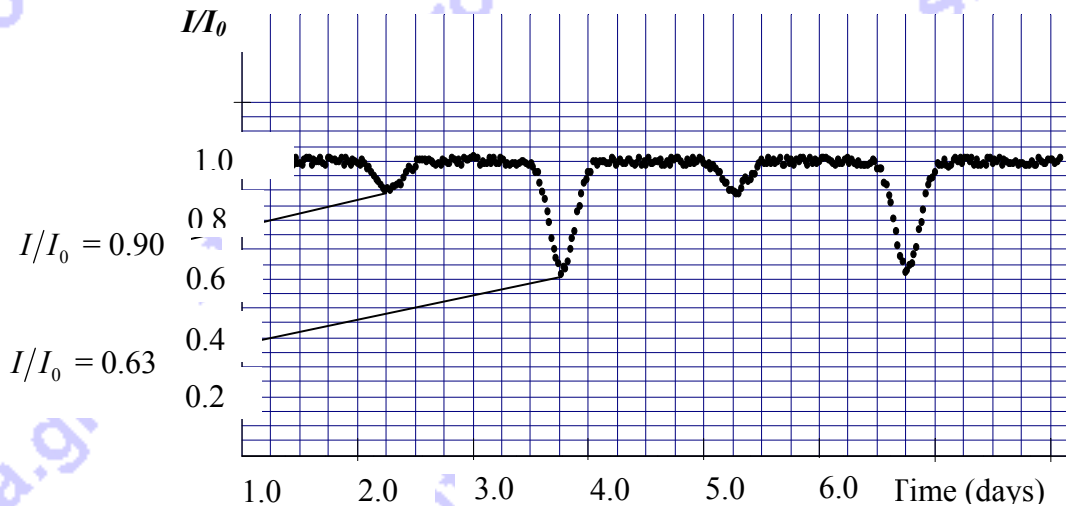
Αν είμαστε σχεδόν στο επίπεδο της κίνησης των δύο αστερών, τότε ο ένας κάποια στιγμή περνά μπροστά από τον άλλο σε ορισμένο χρονικό διάστημα και η ένταση που λαμβάνουμε στο σημείο παρατήρησης από όλο το σύστημα θα μεταβάλλεται με το χρόνο. Στην περίπτωση αυτή οι διπλοί αστέρες καλούνται εκλειπτικοί διπλοί αστέρες.

1 Υποθέστε ότι δύο αστέρες κινούνται σε κυκλικές τροχιές γύρω από το κοινό κέντρο μάζας τους με σταθερή γωνιακή ταχύτητα ω και εμείς είμαστε ακριβώς στο επίπεδο της κίνησης του συστήματός τους.

Επίσης υποθέστε ότι η θερμοκρασία στις επιφάνειες των αστερών είναι T_1 και T_2 , ($T_1 > T_2$), και οι αντίστοιχες ακτίνες τους είναι R_1 και R_2 , ($R_1 > R_2$).

Τα ζεύγη των τιμών της συνολικής έντασης του φωτός όπως μετρείται στη Γη και της αντίστοιχης χρονικής στιγμής φαίνονται στο διάγραμμα του σχήματος 1. Προσεκτικές μετρήσεις μας δείχνουν, ότι οι τιμές της έντασης του φωτός που φτάνει σε μας από το σύστημα των αστερών παρουσιάζει ελάχιστο στο 90 και στο 63 τοις εκατό της μέγιστης έντασης, I_0 , ($I_0 = 4.8 \times 10^{-9} \text{ W/m}^2$).

Ο κατακόρυφος άξονας στην εικόνα 1 δείχνει το λόγο των εντάσεων $\frac{I}{I_0}$ και ο οριζόντιος άξονας δείχνει το χρόνο σε ημέρες.



Σχήμα 1. Η σχετική ένταση που λαμβάνεται από το διπλό αστέρα σε συνάρτηση με το χρόνο.

Ο κατακόρυφος άξονας είναι βαθμολογημένος με τιμή για το $I_0 = 4.8 \times 10^{-9} \text{ W / m}^2$.

Ο χρόνος δίνεται σε ημέρες.

| | | |
|-----|--|-----|
| 1.1 | Να υπολογίσετε την περίοδο της τροχιακής κίνησης. Δώστε την απάντησή σας σε δευτερόλεπτα , με δύο σημαντικά ψηφία. Ποια είναι η κυκλική συχνότητα του συστήματος σε rad/sec ; | 0.8 |
|-----|--|-----|

Σε μια καλή προσέγγιση, η ακτινοβολία που λαμβάνουμε από ένα αστέρα είναι ίδια με εκείνη ενός μέλανος σώματος από ένα επίπεδο δίσκο με ακτίνα ίση με την ακτίνα του αστέρα. Έτσι, η ισχύς που λαμβάνουμε από τον αστέρα είναι ανάλογη με AT^4 όπου A είναι το εμβαδόν του δίσκου και T είναι η θερμοκρασία της επιφάνειας του αστέρα.

| | | |
|-----|--|-----|
| 1.2 | Να χρησιμοποιήσετε το σχήμα 1 για να υπολογίσετε τους λόγους $\frac{T_1}{T_2}$ και $\frac{R_1}{R_2}$. | 1.6 |
|-----|--|-----|



Φασματομετρία διπλών αστέρων

Σε αυτό το μέρος, πρόκειται να υπολογίσετε τις αστρονομικές ιδιότητες ενός διπλού αστέρα χρησιμοποιώντας πειραματικά δεδομένα φασματομετρίας ενός τέτοιου συστήματος.

Τα άτομα απορροφούν ή εκπέμπουν ακτινοβολία σε συγκεκριμένα μήκη κύματος που είναι χαρακτηριστικά των ατόμων. Έτσι, το φάσμα απορρόφησης που προκύπτει από ένα αστέρα περιέχει γραμμές απορρόφησης που οφείλονται στα άτομα που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα του αστέρα.

Το Νάτριο δίνει μια χαρακτηριστική κίτρινη φασματική γραμμή (γραμμή D₁) με μήκος κύματος 5895.9Å. (10Å = 1nm). Εξετάζουμε το φάσμα απορρόφησης ατόμων Νατρίου σε αυτό το μήκος κύματος για το σύστημα δύο αστέρων του προηγούμενου μέρους. Το φάσμα του φωτός που παίρνουμε από το διπλό αστέρα παρουσιάζει μια μετατόπιση Doppler που οφείλεται στην απομάκρυνση του αστέρα σε σχέση με εμάς. Κάθε αστέρας έχει διαφορετική ταχύτητα. Επομένως, το μήκος κύματος στο φάσμα απορρόφησης για κάθε αστέρα είναι μετατοπισμένο κατά διαφορετικό ποσοστό. Απαιτούνται μετρήσεις υψηλής ακριβείας ώστε να παρατηρήσουμε τη μετατόπιση Doppler, εφόσον η ταχύτητα των αστέρων είναι πολύ μικρότερη της ταχύτητας του φωτός. Θεωρούμε, σε αυτό το πρόβλημα, την ταχύτητα του κέντρου μάζας του διπλού αστέρα πολύ μικρότερη από τις γραμμικές ταχύτητες των αστέρων. Επομένως όλες οι μετατοπίσεις μπορούν να αποδοθούν με βάση τις γραμμικές ταχύτητες των αστέρων. Ο πίνακας 1 δείχνει τις πειραματικές μετρήσεις του φάσματος των αστέρων του συστήματος που μελετήσαμε.

Πίνακας 1: Φάσμα απορρόφησης του συστήματος διπλών αστέρων για τη φασματική γραμμή D₁ του Νατρίου

| | | | | | | | | |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| t/μέρες | 0.3 | 0.6 | 0.9 | 1.2 | 1.5 | 1.8 | 2.1 | 2.4 |
| λ_1 (Å) | 5897.5 | 5897.7 | 5897.2 | 5896.2 | 5895.1 | 5894.3 | 5894.1 | 5894.6 |
| λ_2 (Å) | 5893.1 | 5892.8 | 5893.7 | 5896.2 | 5897.3 | 5898.7 | 5899.0 | 5898.1 |
| t/μέρες | 2.7 | 3.0 | 3.3 | 3.6 | 3.9 | 4.2 | 4.5 | 4.8 |
| λ_1 (Å) | 5895.6 | 5896.7 | 5897.3 | 5897.7 | 5897.2 | 5896.2 | 5895.0 | 5894.3 |
| λ_2 (Å) | 5896.4 | 5894.5 | 5893.1 | 5892.8 | 5893.7 | 5896.2 | 5897.4 | 5898.7 |



2 Χρησιμοποιώντας τον πίνακα 1,

| | | |
|-----|--|-----|
| 2.1 | Έστω v_1 και v_2 οι γραμμικές ταχύτητες του κάθε αστέρα. Να υπολογίσετε τις ταχύτητες v_1 και v_2 . Η ταχύτητα του φωτός είναι: $c = 3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$. Αγνοήστε όλα τα σχετικιστικά φαινόμενα. | 1.8 |
|-----|--|-----|

| | | |
|-----|--|-----|
| 2.2 | Να υπολογίσετε το λόγο των μαζών των αστέρων $\frac{m_1}{m_2}$. | 0.7 |
|-----|--|-----|

| | | |
|-----|---|-----|
| 2.3 | Έστω r_1 και r_2 οι αποστάσεις του κάθε αστέρα από το κέντρο μάζας τους. Να υπολογίσετε τις αποστάσεις r_1 και r_2 . | 0.8 |
|-----|---|-----|

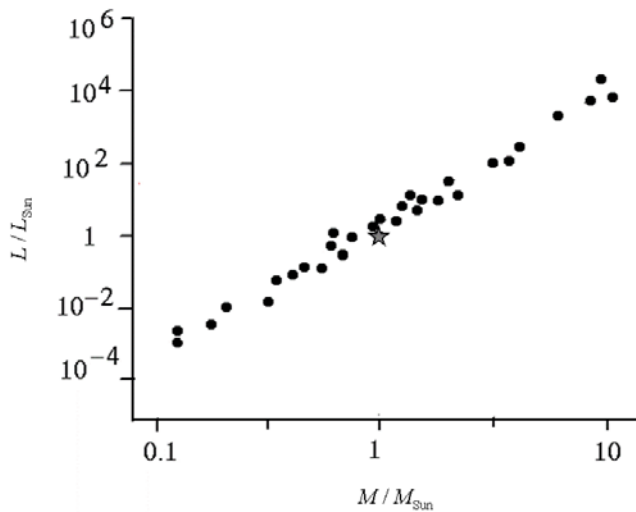
| | | |
|-----|---|-----|
| 2.4 | Έστω r η απόσταση μεταξύ των δύο αστέρων. Να υπολογίσετε την απόσταση r . | 0.2 |
|-----|---|-----|

3 Η βαρυτική δύναμη είναι η μοναδική δύναμη που ασκείται μεταξύ των δύο αστέρων.

| | | |
|-----|--|-----|
| 3.1 | Να υπολογίσετε τη μάζα κάθε αστέρα με ακρίβεια ενός σημαντικού ψηφίου. Η παγκόσμια σταθερά βαρύτητας είναι $G = 6.7 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$. | 1.2 |
|-----|--|-----|

Γενικά Χαρακτηριστικά των Αστέρων.

4 Οι περισσότεροι αστέρες παράγουν ενέργεια με τον ίδιο μηχανισμό. Έτσι, υπάρχει μια εμπειρική σχέση μεταξύ της μάζας, M , και της φωτεινότητας, L , η οποία μπορεί να γραφτεί στη μορφή $\frac{L}{L_{sun}} = \left(\frac{M}{M_{sun}}\right)^\alpha$. Στη σχέση αυτή, $M_{sun} = 2.0 \times 10^{30} \text{ kg}$ είναι η μάζα του Ήλιου και, $L_{sun} = 3.9 \times 10^{26} \text{ W}$ είναι η φωτεινότητα του Ήλιου. Αυτή η σχέση φαίνεται στη γραφική παράσταση του σχήματος 2.



Σχήμα 2. Η φωτεινότητα ενός αστέρα σε σχέση με τη μάζα του μεταβάλλεται

σύμφωνα με τον εμπειρικό νόμο $\frac{L}{L_{sun}} = \left(\frac{M}{M_{sun}}\right)^\alpha$. Η γραφική παράσταση είναι log-log.

Το σύμβολο-αστεράκι που εμφανίζεται ανάμεσα στις τελείες της γραφικής παράστασης αντιπροσωπεύει τον Ήλιο με μάζα $2.0 \times 10^{30} \text{ kg}$ και φωτεινότητα $3.9 \times 10^{26} \text{ W}$

| | | |
|-----|---|-----|
| 4.1 | Να υπολογίσετε τον εκθέτη α στον εμπειρικό νόμο με ακρίβεια μέχρι ένα σημαντικό ψηφίο. | 0.6 |
| 4.2 | Έστω L_1 και L_2 η φωτεινότητα των δύο αστέρων στο σύστημα του διπλού αστέρα που μελετήθηκε στα προηγούμενα μέρη. Να υπολογίσετε τις φωτεινότητες L_1 και L_2 . | 0.6 |
| 4.3 | Να υπολογίσετε την απόσταση, d , του συστήματος των δύο αστέρων από εμάς, σε έτη φωτός. Για να υπολογίσετε την απόσταση μπορείτε να χρησιμοποιήσετε το διάγραμμα του σχήματος 1. Ένα έτος φωτός είναι η απόσταση που διαδίδεται το φως σε χρονικό διάστημα ενός έτους. | 0.9 |
| 4.4 | Να προσδιορίσετε τη μέγιστη γωνία, θ , που σχηματίζεται από τους δύο αστέρες και το σημείο από το οποίο παρατηρούμε τους αστέρες. | 0.4 |
| 4.5 | Να προσδιορίσετε το μέγεθος του μικρότερου ανοίγματος ενός οπτικού τηλεσκοπίου, D , που μπορεί να διακρίνει τους δύο αστέρες. | 0.4 |



Part 1

| Section | Answer | Mark |
|---------|--|------|
| 1.1 | $T =$ $\omega =$ | 0.8 |
| 1.2 | $\frac{T_1}{T_2} =$ $\frac{R_1}{R_2} =$ | 1.6 |

Part 2

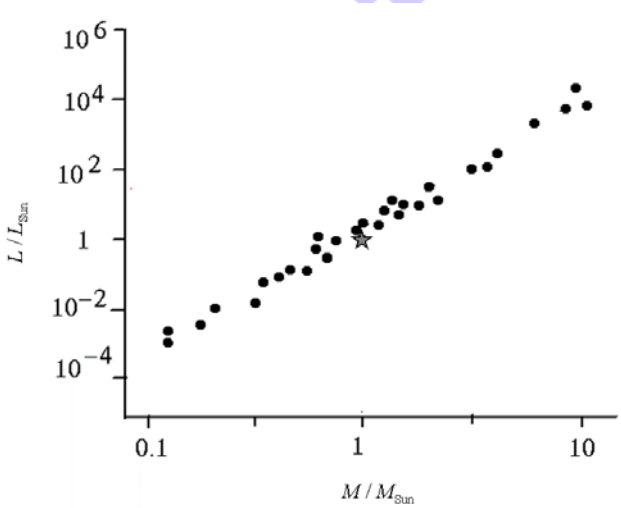
| Section | Answer | Mark |
|---------|---------------------|------|
| 2.1 | $v_1 =$ $v_2 =$ | 1.8 |
| 2.2 | $\frac{m_1}{m_2} =$ | 0.7 |
| 2.3 | $r_1 =$ $r_2 =$ | 0.8 |
| 2.4 | $r =$ | 0.2 |



Part 3

| Section | Answer | Mark |
|---------|--------------------|------|
| 3 | $m_1 =$ $m_2 =$ | 1.2 |

Part 4

| Section | Answer | Mark |
|---------|--|------|
| 4.1 |  <p>$\alpha =$</p> | 0.6 |
| 4.2 | $L_1 =$ $L_2 =$ | 0.6 |
| 4.3 | $d =$ | 0.9 |
| 4.4 | $\theta =$ | 0.4 |
| 4.5 | $D =$ | 0.4 |