

ΦΥΣΙΚΗ ΤΩΝ ΑΣΤΕΡΩΝ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ 2023

Διδάσκουσα: Δ. Χατζηδημητρίου

Διάρκεια εξέτασης 3 ώρες

Τα θέματα είναι ισοδύναμα.

Θέμα 1

Θεωρήστε μια οριζόντια παραλληλεπίπεδη πλάκα αερίου με πάχος L η οποία διατηρείται σε σταθερή θερμοκρασία T . Υποθέστε ότι το αέριο έχει οπτικό βάθος τ_λ με $\tau_{\lambda,0} = 0$ στην κορυφή της πλάκας. Υποθέστε, επίσης, ότι προσπίπτουσα ακτινοβολία με ένταση I_λ εισέρχεται (από έξω) στο κάτω μέρος της πλάκας. Χρησιμοποιήστε τη γενική λύση της εξίσωσης της διάδοσης για να δείξετε ότι όταν κοιτάτε την πλάκα από πάνω, βλέπεται ακτινοβολία μέλανος σώματος εάν $\tau_\lambda \gg 1$. Εάν $\tau_\lambda \ll 1$, δείξτε ότι βλέπετε γραμμές απορρόφησης σε υπέρθεση με το φάσμα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας εάν $I_\lambda > S_\lambda$ και γραμμές εκπομπής σε υπέρθεση με το φάσμα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας εάν $I_\lambda < S_\lambda$. Μπορείτε να υποθέσετε ότι η συνάρτηση πηγής S_λ , δε μεταβάλλεται με τη θέση μέσα στο αέριο. Μπορείτε επίσης να θεωρήσετε θερμοδυναμική ισορροπία όταν $\tau_\lambda \gg 1$. (2.5)

Θέμα 2

Περιγράψτε και αιτιολογήστε ποιοτικά τις μεταβολές στα χαρακτηριστικά ενός άστρου σαν τον ήλιο κατά την εξέλιξή του από άστρο στη μηδενική κύρια ακολουθία μέχρι στο στάδιο του πλανητικού νεφελώματος. Σχεδιάστε προσεγγιστικά την εξελικτική του διαδρομή σε ένα θεωρητικό διάγραμμα HR. (2.5)

Θέμα 3

(α) Χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις αστρικής δομής, εξηγήστε γιατί ο πυρήνας ενός άστρου σαν τον ήλιο είναι ισόθερμος στη φάση λίγο μετά την εξάντληση του H στον πυρήνα.

(β) Ξεκινώντας από την εξίσωση:

$$P_{ic} = \frac{3}{4\pi R_{ic}^3} \left(\frac{M_{ic} k T_{ic}}{\mu_{ic} m_H} - \frac{1}{5} \frac{GM_{ic}^2}{R_{ic}} \right),$$

όπου ο δείκτης ic συμβολίζει ισόθερμο πυρήνα, M η μάζα, T η θερμοκρασία, R η ακτίνα, μ το μέσο μοριακό βάρος και P η πίεση, δείξτε ότι η ακτίνα ενός ισόθερμου πυρήνα για τον οποίο η πίεση αερίου είναι μέγιστη δίνεται από τη σχέση:

$$R_{ic} = \frac{2}{5} \frac{GM_{ic} \mu_{ic} m_H}{k T_{ic}}$$

(γ) Με βάση το ερώτημα (β) δείξτε ότι η μέγιστη πίεση στην επιφάνεια του ισόθερμου πυρήνα δίνεται από την εξίσωση:

$$P_{ic,max} = \frac{375}{64} \frac{1}{G^3 M_{ic}^2} \left(\frac{kT_{ic}}{\mu_{ic} m_H} \right)^4.$$

Σύμφωνα με το αποτέλεσμα αυτό, τι θα συμβεί καθώς «καίγεται» Η σε He στον φλοιό γύρω από τον πυρήνα;

(δ) Εξηγήστε τί είναι το όριο Schönberg-Chandrasekhar και πως μπορείτε να το υπολογίσετε προσεγγιστικά χρησιμοποιώντας την σχέση για τη μέγιστη πίεση στην επιφάνεια του ισόθερμου πυρήνα του προηγούμενου ερωτήματος, υποθέτοντας ότι το υλικό του πυρήνα μπορεί να θεωρηθεί ιδανικό αέριο, και ότι $\langle r^4 \rangle = R^4/2$. (2.5)

Θέμα 4

Ξεκινώντας από την σχέση για την πίεση που εξασκούν μη σχετικιστικά ηλεκτρόνια αριθμητικής πυκνότητας n_e και μέσης ταχύτητας $\langle v_e \rangle$

$$P = \frac{1}{3} n_e m_e \langle v_e^2 \rangle$$

να βρείτε μία προσεγγιστική έκφραση για την καταστατική εξίσωση των εκφυλισμένων, μη σχετικιστικών ηλεκτρονίων.

Που βρίσκει εφαρμογή στην Αστροφυσική η καταστατική εξίσωση του προηγούμενου ερωτήματος; Δώστε μια ποιοτική περιγραφή των προϋποθέσεων που πρέπει να εκπληρώνονται για να ισχύει. Ποια είναι η σχέση μάζας-ακτίνας που απορρέει από αυτήν; (2.5)

ΔΙΝΟΝΤΑΙ

Οι εξισώσεις αστρικής δομής:

$$\frac{dP}{dr} = -G \frac{M_r \rho}{r^2}$$

$$\frac{dM_r}{dr} = 4\pi r^2 \rho$$

$$\frac{dT}{dr} = -\frac{3}{4ac} \frac{\bar{\kappa} \rho}{T^3} \frac{L_r}{4\pi r^2}$$

$$= -\left(1 - \frac{1}{\nu}\right) \frac{\mu m_H}{k} \frac{GM_r}{r^2} \quad \text{μεταφορα με ακτινοβολια}$$

αδιαβατικη μεταφορα (οταν $\frac{d \ln P}{d \ln T} > \frac{\gamma}{\gamma-1}$)

$$\frac{dL_r}{dr} = 4\pi r^2 \rho \epsilon$$

$$\text{Ενέργεια Fermi } \epsilon_F = \frac{\hbar^2}{2m_e} \left[3\pi^2 \left(\frac{Z}{A} \right) \frac{\rho}{m_H} \right]^{2/3}$$