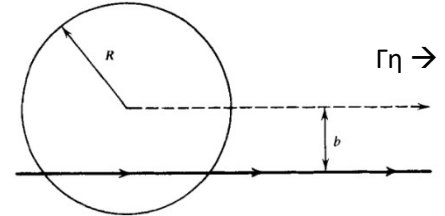


ΦΥΣΙΚΗ ΤΩΝ ΑΣΤΕΡΩΝ 2024-25

ΕΡΓΑΣΙΑ 1

1.

Ένα αέριο εκπέμπει θερμικά με ρυθμό $P(\nu)$ (ισχύς ανά μονάδα όγκου και για συχνότητες μεταξύ ν και $\nu+d\nu$). Ένα σφαιρικό νέφος από αυτό το αέριο έχει ακτίνα R , θερμοκρασία T και βρίσκεται σε απόσταση d από τη γη ($d \gg R$). (i) υποθέστε ότι το νέφος είναι οπτικά αραιό. Ποια είναι η ειδική ένταση που θα μετρήσουμε στη γη (υποθέτουμε ότι είναι resolved); Δώστε την απάντησή σας συναρτήσει της απόστασης b από το κέντρο του νέφους, υποθέτοντας ότι οι ακτίνες που φτάνουν στη γη από το νέφος είναι παράλληλες μεταξύ τους. (ii) Ποια είναι η ενεργός θερμοκρασία του νέφους; (iii) Ποια είναι η ροή F_ν που μετράμε στη Γη από ολόκληρο το νέφος; (iv) Συγκρίνετε την “θερμοκρασία λαμπρότητας” (brightness temperature) με τη θερμοκρασία του νέφους. (v) Απαντήστε τα προηγούμενα ερωτήματα για οπτικά πυκνό νέφος.



2. Υπολογίστε τους σχετικούς πληθυσμούς για τις πέντε χαμηλότερες ενεργειακές στάθμες του ατόμου του υδρογόνου, για θερμοκρασία 50.000K.
3. Για ατμόσφαιρα υδρογόνου, σε $T=10^4\text{K}$ και πυκνότητα $\rho = 10^{-7} \text{g cm}^{-3}$ βρείτε τις μερικές πιέσεις για τα άτομα, ιόντα και ηλεκτρόνια.
4. Χρησιμοποιήστε την εξίσωση Saha για να προσδιορίσετε το κλάσμα των ατόμων του υδρογόνου τα οποία είναι ιονισμένα N_{II}/N_{total} , στο κέντρο του Ήλιου, όπου η θερμοκρασία είναι $15.7 \times 10^6\text{K}$ και η αριθμητική πυκνότητα των ηλεκτρονίων είναι περίπου $n_e = 6.1 \times 10^{31} \text{m}^{-3}$. (Χρησιμοποιήστε $Z_I = 2$). Συμφωνεί το αποτέλεσμα σας με το γεγονός ότι πρακτικά όλο το υδρογόνο του Ήλιου είναι ιονισμένο στο κέντρο του Ήλιου; Ποιος είναι ο λόγος της όποιας ασυμφωνίας;
5. Η συνολική ενέργεια ενός άστρου μπορεί να γραφεί ως: $E_{\text{tot}} = E_{\text{gr}} + E_{\text{int}} + E_{\text{kin}}$ (όπου E_{gr} η βαρυτική δυναμική ενέργεια, E_{kin} η κινητική ενέργεια λόγω μακροσκοπικών - bulk κινήσεων στο εσωτερικό του άστρου και E_{int} η εσωτερική ενέργεια). Υποθέστε ότι το άστρο είναι σε υδροστατική ισορροπία και ότι η εσωτερική ενέργεια ανά μονάδα μάζας είναι $u = \phi \frac{P}{\rho}$. Δείξτε ότι $E_{\text{int}} = -\frac{1}{3} \phi E_{\text{gr}}$.

Για ποιες τιμές του ϕ είναι το άστρο δέσιμο; Τι συμβαίνει όταν το αέριο είναι ιδανικό; Εξηγήστε χρησιμοποιώντας τα παραπάνω γιατί ένα άστρο θερμαίνεται ενώ χάνει ενέργεια (ρυθμός απώλειας ενέργειας = φωτεινότητα του άστρου).

6. Σε ένα άστρο μάζας M υποθέστε ότι η πυκνότητα αυξάνεται από το κέντρο προς την επιφάνεια σαν συνάρτηση της ακτινικής απόστασης r σύμφωνα με τη σχέση $\rho = \rho_c \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right]$, όπου ρ_c η κεντρική πυκνότητα και R η ακτίνα του άστρου.
- Βρείτε το $m(r)$
 - Βρείτε τη σχέση μεταξύ M και R
 - Δείξτε ότι η μέση πυκνότητα του άστρου είναι $0.4\rho_c$
7. Τι εννοούμε όταν λέμε Τοπική Θερμοδυναμική Ισορροπία; Γιατί είναι μία καλή προσέγγιση για το εσωτερικό των αστέρων; Ποια η διαφορά από την Θερμοδυναμική Ισορροπία;
8. Βρείτε το μέσο μοριακό βάρος για: (i) Υδρογόνο που είναι ιονισμένο κατά 50%, (ii) μίγμα ίσων μαζών H και He, αν το H είναι τελείως ιονισμένο και το He είναι ουδέτερο (iii) μίγμα ίσων μαζών H και He, αν το H είναι τελείως ιονισμένο και το He είναι 50% ιονισμένο.
- 9.
- Χρησιμοποιήστε τον πρώτο νόμο της Θερμοδυναμικής για να δείξετε ότι για ιδανικό αέριο που υποβάλλεται σε αδιαβατική διεργασία $P \propto \rho^{\gamma_{ad}}$ και δώστε μία τιμή για τον αδιαβατικό δείκτη.
 - Χρησιμοποιήστε τη προηγούμενη σχέση μαζί με τον νόμο ιδανικού αερίου για να δείξετε ότι η αδιαβατική βαθμίδα θερμοκρασίας $\nabla_{ad} = \left(\frac{d \ln T}{d \ln P} \right)_{ad, id} = 0.4$.
 - Υποθέστε ότι έχετε ένα άστρο Eddington με $P = P_{gas} + P_{rad}$, με $P_{gas} = \beta P$, $0 < \beta < 1$. Δείξτε ότι το $\gamma_{ad} = \frac{32-24\beta-3\beta^2}{24-21\beta}$. Εξετάστε τι γίνεται στο όριο όπου η ακτινοβολία είναι κυρίαρχη, ή που η πίεση του αερίου είναι κυρίαρχη.
10. Για το αστρικό μοντέλο του Eddington δείξτε ότι:
- $P = K\rho^\gamma = \left(\frac{3R^4}{a\mu^4} \frac{1-\beta}{\beta^4} \right)^{1/3} \rho^{4/3}$
 - $E_{tot} = \frac{\beta}{2} E_{gr} = -\frac{\beta}{2-\beta} E_{int}$. Τι γίνεται στα όρια $\beta \rightarrow 1$ και $\beta \rightarrow 0$;
 - Βρείτε για ένα πολύτροπο με $n = 3$, για το οποίο είναι γνωστό (βλ. Αστροφυσικά Ρευστά) ότι η μάζα προσδιορίζεται μοναδικά από το K , τη σχέση της μάζας του άστρου από τα β και μ , $M(\beta, \mu)$.
11. Ρεύματα μεταφοράς:
- Γιατί ενώ με τα ρεύματα μεταφοράς έχουμε μεταφορά ενέργειας προς τα έξω, δεν έχουμε μεταφορά μάζας;

- (ii) Εξηγήστε πως προκύπτει το κριτήριο Schwarzschild $\left(\frac{d \ln T}{d \ln P}\right)_{\text{rad}} > \left(\frac{d \ln T}{d \ln P}\right)_{\text{ad}}$ για μεταφορά ενέργειας με ρεύματα μεταφοράς.
- (iii) Άστρα μικρής μάζας, σαν τον ήλιο, έχουν περιβλήματα όπου κυριαρχεί η μεταφορά ενέργειας με ρεύματα μεταφοράς. Όσο μικρότερο το άστρο, τόσο μεγαλύτερο μέρος του άστρου συμμετέχει σε ρεύματα μεταφοράς. Μπορείτε να εξηγήσετε γιατί;

- 12.** (i) Υπολογίστε την ενέργεια που απελευθερώνεται ανά αντίδραση σε MeV (δηλ. το Q) για τις τρεις αντιδράσεις της αλυσίδας ppI.
- (ii) Ποιο είναι το συνολικό Q από τη μετατροπή τεσσάρων πυρήνων ^1H σε ^4He για την αλυσίδα ppI; (να λάβετε υπόψη ότι το νεutrino που απελευθερώνεται έχει κατά μέσο όρο ενέργεια 0.263MeV)
- (iii) Υπολογίστε την ενέργεια που απελευθερώνεται από την αλυσίδα ppI σε erg/g.
- (iv) Θα διαφέρει το αποτέλεσμα σας για τις αλυσίδες ppII, ppIII, ή τον κύκλο CNO; Αιτιολογήστε την απάντησή σας.
- 13.** Υπολογίστε την ενέργεια που απελευθερώνεται ανά g για την «καύση» ηλίου με την αντίδραση 3α, και για την αντίδραση $^{12}\text{C}+^4\text{He}$ αν το τελικό αποτέλεσμα είναι ένα μίγμα από 50% άνθρακα και 50% οξυγόνο (κατά μάζα). Συγκρίνετε την απάντησή σας με εκείνη της προηγούμενης άσκησης. Πως σχετίζεται αυτή η σύγκριση με τον χρόνο που περιμένετε να διαρκέσει η φάση καύσης He σε σχέση με τη φάση καύσης H;

Οι απαντήσεις σας να είναι πλήρως αιτιολογημένες. Να παραθέσετε τυχόν βιβλιογραφία που θα χρησιμοποιήσετε.