

## ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ ΦΥΣΙΚΗΣ ΤΩΝ ΑΣΤΕΡΩΝ

### ΕΞΕΤΑΣΗ ΕΦ' ΟΛΗΣ ΤΗΣ ΥΛΗΣ

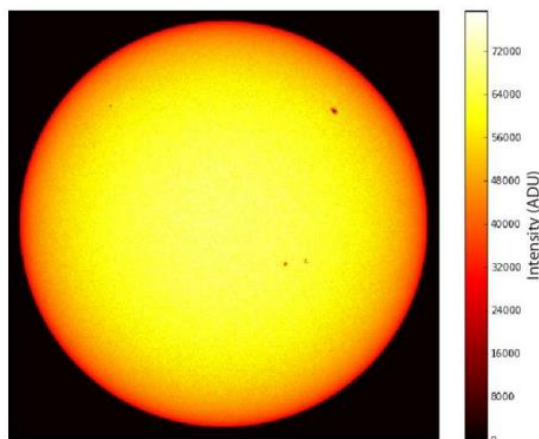
- ✓ ΔΙΚΑΙΩΜΑ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΕΧΟΥΝ ΟΣΟΙ ΕΧΟΥΝ ΚΑΝΕΙ ΣΧΕΤΙΚΗ ΔΗΛΩΣΗ ΣΤΟ ECLASS ΚΑΙ ΕΧΟΥΝ ΔΗΛΩΣΕΙ ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ ΣΤΟ ΜΥ-STUDIES
- ✓ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΕΞΕΤΑΣΗΣ 90 ΛΕΠΤΑ
- ✓ ΕΠΙΤΡΕΠΕΤΑΙ Η ΧΡΗΣΗ ΕΚΤΥΠΩΜΕΝΟΥ Ή ΧΕΙΡΟΓΡΑΦΟΥ ΤΥΠΟΛΟΓΙΟΥ (ΜΕΧΡΙ 2 ΣΕΛΙΔΕΣ)
- ✓ ΣΤΟ ΤΕΛΟΣ ΤΗΣ ΕΞΕΤΑΣΗΣ ΘΑ ΣΚΑΝΑΡΕΤΕ ΚΑΙ ΘΑ ΑΝΕΒΑΣΕΤΕ ΤΙΣ ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΣΑΣ ΕΝΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΣΕ ΕΝΑ ΑΡΧΕΙΟ ΜΕ ΟΝΟΜΑ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΜΗΤΡΩΟΥ ΣΑΣ (20XXXXXXX) ΚΑΙ ΚΑΤΑΛΛΗΛΗ ΕΠΕΚΤΑΣΗ (π.χ. .pdf, .jpeg, .png) ΣΤΟ ECLASS ΣΤΙΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ. ΠΑΡΑΚΑΛΕΙΣΤΕ ΝΑ ΑΡΙΘΜΗΣΕΤΕ ΤΙΣ ΣΕΛΙΔΕΣ, ΚΑΙ ΝΑ ΓΡΑΨΕΤΕ ΤΟ ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΣΑΣ ΚΑΙ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΜΗΤΡΩΟΥ ΣΑΣ ΣΤΗ ΠΡΩΤΗ ΣΕΛΙΔΑ.
- ✓ ΘΑ ΑΚΟΛΟΥΘΗΣΕΙ ΠΡΟΦΟΡΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΟΥ ΕΧΕΙ ΑΝΑΚΟΙΝΩΘΕΙ ΣΤΟ ECLASS

### ΘΕΜΑΤΑ

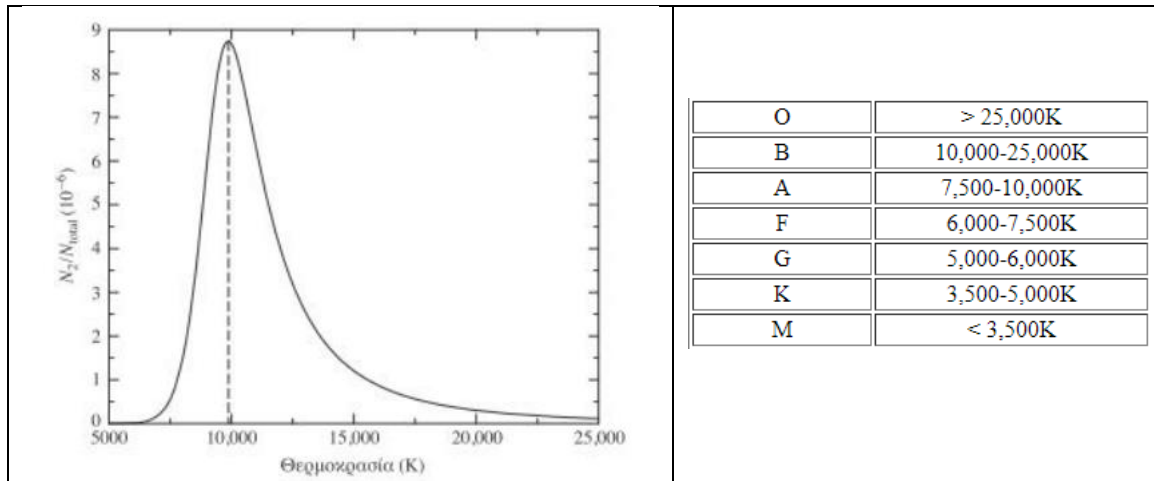
#### ΑΠΑΝΤΑΤΕ ΚΑΙ ΣΤΑ ΕΝΝΕΑ ΘΕΜΑΤΑ

1. Αν υποθέσουμε ότι ισχύει το μοντέλο της γκρίζας παραλληλεπίπεδης ατμόσφαιρας αστέρα, ότι δεν υπάρχουν πηγές ή καταβόθρες ενέργειας στην ατμόσφαιρα και ότι ισχύει η προσέγγιση Eddington, βρίσκουμε ότι η μεταβολή της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας με το κατακόρυφο οπτικό βάθος  $\tau_\nu$  δίνεται από τη σχέση  $T^4 = \frac{3}{4} T_o^4 \left( -\tau_\nu + \frac{2}{3} \right)$  (1), όπου  $T_o$  η επιφανειακή θερμοκρασία. Τι σημαίνει στη πράξη το αποτέλεσμα αυτό;

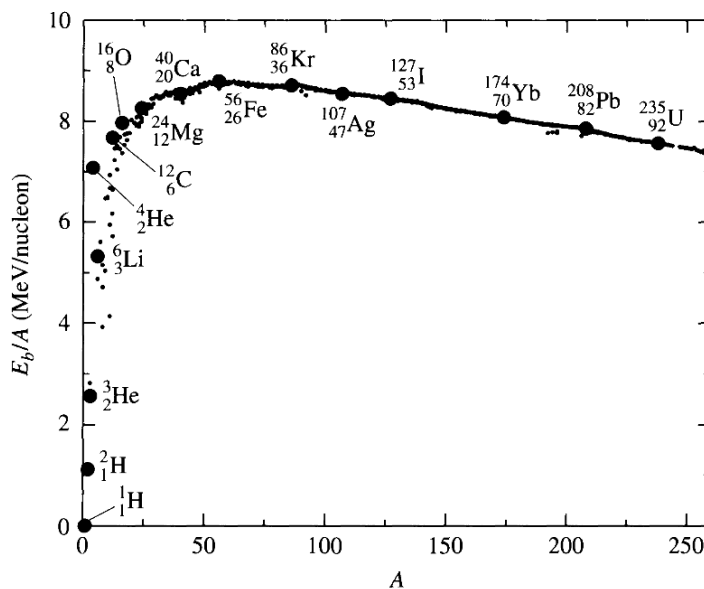
Ακολουθεί μία αποτύπωση του ηλιακού δίσκου, όπου το χρώμα αλλάζει με την ένταση της ακτινοβολίας (όπως φαίνεται στη κατακόρυφη μπάρα στα δεξιά). Τι παρατηρείτε στο άκρο του ηλιακού δίσκου; Μπορείτε να εξηγήσετε το φαινόμενο αυτό χρησιμοποιώντας τη σχέση (1) και ένα κατάλληλο σχήμα;



2. Στο παρακάτω διάγραμμα δίνεται η μεταβολή του λόγου του αριθμού των ουδέτερων ατόμων H που βρίσκονται στη κατάσταση  $n = 2$  προς τον συνολικό αριθμό ουδέτερων ατόμων H και ιόντων H. Χρησιμοποιείστε το διάγραμμα αυτό για να προβλέψετε τη μεταβολή του ισοδύναμου πλάτους των γραμμών Balmer με το φασματικό τύπο. Δίνεται πίνακας με τις θερμοκρασίες (κατά προσέγγιση) των αστέρων διαφορετικών φασματικών τύπων.

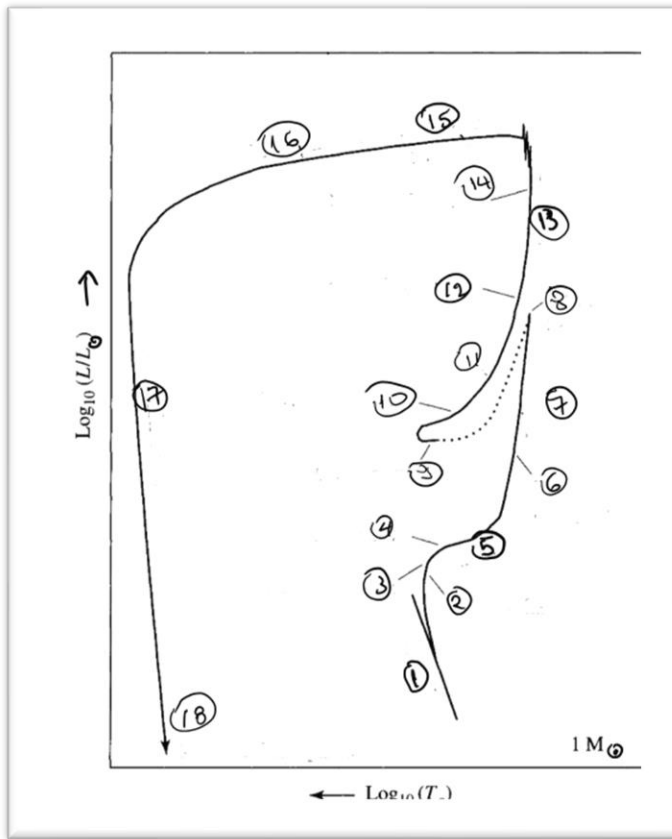


3. Στο παρακάτω διάγραμμα δίνεται η ενέργεια σύνδεσης ανά νουκλεόνιο συναρτήσει του μαζικού αριθμού A. Τι συνέπειες έχει η μορφή του διαγράμματος αυτού στην αστρική εξέλιξη;



4. Το κέντρο ενός αστέρα περιλαμβάνει 60% υδρογόνο (κατά βάρος) και 35% ήλιο (κατά βάρος). Ποια είναι η πίεση στο κέντρο του άστρου αν η πυκνότητα είναι  $50\text{g/cm}^3$  και η θερμοκρασία  $15 \times 10^6\text{K}$ .
5. Ακολουθεί ένα σχηματικό διάγραμμα HR που δείχνει την εξελικτική πορεία ενός άστρου μίας ηλιακής μάζας. Οι αριθμοί (1-18) που εμφανίζονται στο διάγραμμα αντιστοιχούν

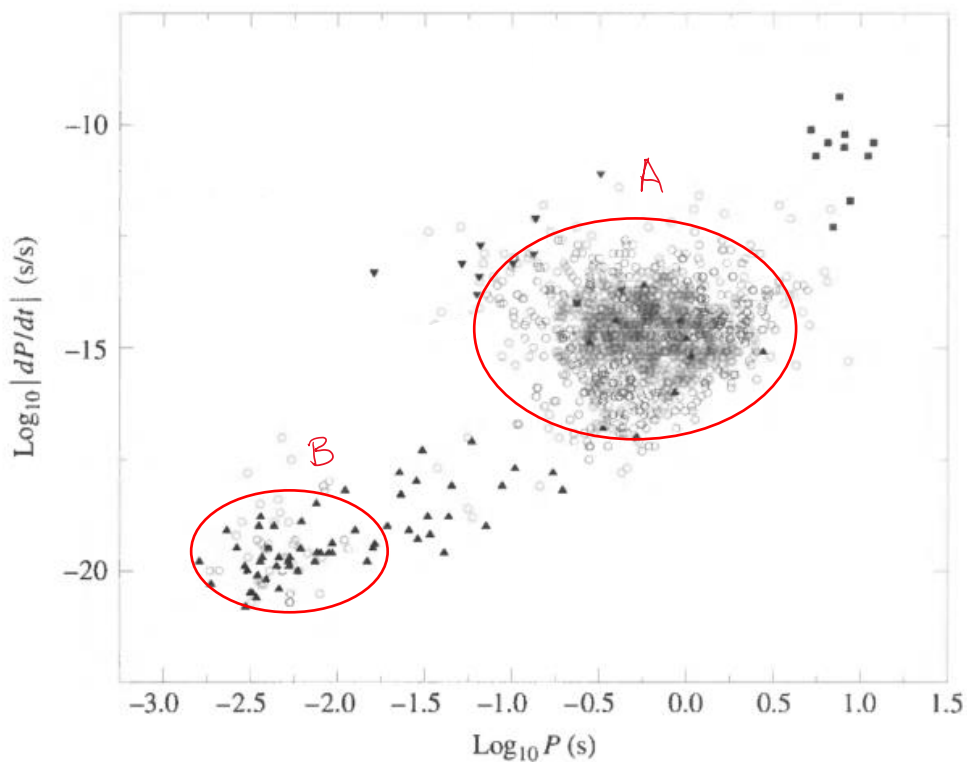
σε διαφορετικές φάσεις αστρικής εξέλιξης. Αντιστοιχίστε σε κάθε αριθμό τον ορθό χαρακτηρισμό που θα επιλέξετε από τη λίστα που ακολουθεί.



- Ασυμπτωτικός κλάδος Θερμικής Ανάπαλσης
- Δεύτερη βυθοκόρηση (dredge-up)
- Δημιουργία πλανητικού νεφελώματος
- Δημιουργία Λευκού νάνου
- Έκλαμψη He στον πυρήνα
- Έναρξη καύσης H σε φλοιό γύρω από τον πυρήνα
- Έναρξη καύσης He σε φλοιό γύρω από τον πυρήνα
- Καύση He στον πυρήνα και H σε φλοιό γύρω από τον πυρήνα
- Κλάδος ερυθρών γιγάντων
- Κλάδος υπογιγάντων
- Κύρια ακολουθία μηδενικής ηλικίας
- Προγενέστερος ασυμπτωτικός κλάδος γιγάντων
- Πρώτη βυθοκόρηση (dredge-up)
- Συστολή πυρήνα He
- Τέλος της καύσης H στον πυρήνα
- Τέλος της καύσης He στον πυρήνα
- Ύστερος Ασυμπτωτικός Κλάδος Γιγάντων (post-AGB)
- Φάση πριν τη δημιουργία Λευκού Νάνου

**Σημείωση:** Κάποιοι από τους χαρακτηρισμούς αναφέρονται σε ένα «σημείο» πάνω στο HR διάγραμμα. Για αυτές τις περιπτώσεις υπάρχει ένα μικρό ευθύγραμμο τμήμα που υποδεικνύει τη σωστή θέση πάνω στην εξελικτική πορεία του άστρου.

6. Περιγράψτε ένα φαινόμενο που παρατηρείται σε αστέρες διαφορετικών μαζών και σταδίων εξέλιξης και που οφείλεται στη θέση και την έκταση των ζωνών μερικού ιονισμού υδρογόνου και ηλίου.
7. Τι είναι η χρονική κλίμακα Kelvin-Helmholtz και σε ποιες φάσεις της αστρικής δημιουργίας και εξέλιξης είναι σημαντική;
8. Ποιος είναι ο ρόλος των νετρίνων στην αστρική εξέλιξη. Σε ποιες φάσεις παίζουν καθοριστικό ρόλο.
9. Στο παρακάτω διάγραμμα δίνεται ο λογάριθμος της απόλυτης τιμής του ρυθμού μεταβολής της περιόδου ενός pulsar (σε s/s) συναρτήσει της περιόδου του pulsar (σε s). Αγνοείτε τα διαφορετικά σύμβολα που χρησιμοποιούνται στο διάγραμμα. Στο διάγραμμα αυτό έχουν σημειωθεί δύο ομάδες A, και B. Ποιας ομάδας τα pulsar είναι μεγαλύτερης ηλικίας; Ποιας ομάδας τα pulsar έχουν μεγαλύτερο μαγνητικό πεδίο; Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.



## ΤΥΠΟΛΟΓΙΟ

$$L_{\odot} = 3.85 \times 10^{33} \text{ ergs}^{-1}$$

$$f_{\odot} \equiv S = 1.367 \times 10^6 \text{ ergs}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ (ηλιακή σταθερά)}$$

$$M_{\odot} = 1.9891 \times 10^{30} \text{ kg}$$

$$R_{\odot} = 6.957 \times 10^8 \text{ m}$$

$$R_{\oplus} = 6.371 \times 10^6 \text{ m}$$

$$r_{\oplus} = 1 \text{ AU} = 1.496 \times 10^{11} \text{ m}$$

$$1 \text{ Jy} = 10^{-26} \text{ Wm}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$$

$$1 \text{ Parsec} = 3.0857 \times 10^{16} \text{ m}$$

$$h = 6.62607015 \times 10^{-34} \text{ m}^2 \text{ kg/s}$$

$$k_B = 8.6 \times 10^{-5} \text{ eV K}^{-1}$$

$$m_e = 9.1093837 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

$$m_p = 1.67262158 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

$$e = 1.60217663 \times 10^{-19} \text{ Cb}$$

$$G = 6.6743 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$$

$$\frac{dI_{\nu}}{ds} = -I_{\nu}(\alpha_{\nu} + \sigma_{\nu}) + \alpha_{\nu}B_{\nu} + \sigma_{\nu}J_{\nu} \text{ (για μέσο που εκπέμπει θερμικά, και για ελαστική σκέδαση)}$$

$$\tau_{\nu}(s) = \int_{s_0}^s a_{\nu}(s') ds'$$

$$B_{\nu}(T) = \frac{2hv^3/c^2}{\exp(hv/k_B T) - 1}$$

$$x = 3(1 - e^{-x}) \Rightarrow x = 2.82, y = 5(1 - e^{-y}) \Rightarrow y = 4.97, \int_0^{\infty} \frac{x^3 dx}{e^x - 1} = \pi^4/15$$

$$g_1 B_{12} = g_2 B_{21} \quad A_{21} = \frac{2hv^3}{c^2} B_{21}$$

$$j_{\nu} = \frac{hv_0}{4\pi} n_2 A_{21} \phi(\nu) \quad \alpha_{\nu} = \frac{hv}{4\pi} \phi(\nu) (n_1 B_{12} - n_2 B_{21}) \quad S_{\nu} = \frac{2hv^3}{c^2} \left( \frac{g_2 n_1}{g_1 n_2} - 1 \right)^{-1}$$

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{g_1 \exp(-E/k_B T)}{g_2 \exp[-(E+hv_0)/k_B T]} = \frac{g_1}{g_2} \exp(hv_0/k_B T)$$

$$n_{\nu} d\nu = n \left( \frac{m}{2\pi k_B T} \right)^{3/2} e^{-mv^2/2k_B T} 4\pi v^2 d\nu$$

$$\frac{N_{i+1} n_e}{N_i} = \frac{Z_e Z_{i+1}}{Z_i} \left( \frac{2\pi m_e k_B T}{h^2} \right)^{3/2} e^{-\chi_i/k_B T}$$

$$\frac{1}{\alpha_R} \equiv \frac{\int_0^{\infty} (\alpha_{\nu} + \sigma_{\nu})^{-1} \frac{\partial B_{\nu}}{\partial T} d\nu}{\int_0^{\infty} \frac{\partial B_{\nu}}{\partial T} d\nu}$$

$$\alpha_{bf} = \frac{64\pi^4 m e^{10}}{3\sqrt{3} c^4 h^6} Z'^4 \frac{g_{bf}}{n^5} \lambda^3 \propto \lambda^3 n^{-5} \quad (\lambda < \lambda_n) \quad \text{όπου } \lambda_n = \frac{ch^3 n^2}{2\pi^2 m e^4 Z'^2}$$

$$\alpha_{ff}(\lambda, Z', \nu) = \frac{4\pi}{3\sqrt{3}} \frac{e^6}{c^4 h m^2} Z'^2 \frac{g_{ff}}{\nu} \lambda^3$$

$$\alpha_e = \frac{8}{3} \pi \left( \frac{e^2}{mc^2} \right)^2 = 6.654 \times 10^{-29} \text{ m}^2$$

$$\kappa_R \text{ (ή } \sigma_R) = \kappa_e \left( \frac{\lambda_L}{\lambda} \right)^4, \lambda_L = 1026 \text{ \AA}$$

$$\bar{\kappa}_{ff} = 3.68 \times 10^{18} g_{ff} (1-Z)(1+X) \frac{\rho}{T^{3.5}} \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$$

$$\bar{\kappa}_{H^-} \approx 7.9 \times 10^{-34} (Z/0.02) \rho^{1/2} T^9 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$$

$$\bar{\kappa}_{es} = 0.02(1+X) \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$$

$$\text{Balmer series: } \frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2} \right) \text{ for } m = 3, 4, 5, \dots, R_H = 1.09677583 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$$

$$2\Delta\lambda_{1/2} = \frac{2}{c} \sqrt{\frac{2kT}{m}} \ln 2 \lambda_0$$

$$\alpha_{\nu} = \frac{\pi e^2}{mc} f \frac{\Gamma_{\text{rad}} + \Gamma_{\text{coll}}}{4\pi^2} \frac{1}{\{v - [v_0 + v_0(v/c)]\}^2 + [(\Gamma_{\text{rad}} + \Gamma_{\text{coll}})/4\pi]^2}$$

$$t_{\text{ff}} = \left( \frac{3\pi}{32} \frac{1}{G\rho_0} \right)^{1/2}$$

$$M_J \simeq \left( \frac{5kT}{G\mu m_H} \right)^{3/2} \left( \frac{3}{4\pi\rho_0} \right)^{1/2}$$

$$\frac{dP_{\text{rad}}}{dr} = -\frac{\bar{\kappa}\rho}{c} F_{\text{rad}}$$

$$\frac{dP}{dr} = -G \frac{M_r \rho}{r^2} \quad \frac{dM_r}{dr} = 4\pi r^2 \rho \quad \frac{dL_r}{dr} = 4\pi r^2 \rho \epsilon$$

$$\begin{aligned} \frac{dT}{dr} &= -\frac{3}{4ac} \frac{\bar{\kappa}\rho}{T^3} \frac{L_r}{4\pi r^2} \gamma_{\text{IA}} \frac{d\ln P}{d\ln T} < \frac{\gamma}{\gamma-1} \\ &= -\left(1 - \frac{1}{\gamma}\right) \frac{\mu m_H}{k} \frac{GM_r}{r^2} \gamma_{\text{IA}} \frac{d\ln P}{d\ln T} > \frac{\gamma}{\gamma-1} \end{aligned}$$

$$t_{\text{KA}} \sim M^{-(\beta+7)/(\beta+1)}$$

$$P_{\text{rad}} = \frac{1}{3} a T^4$$

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

$$\left( \frac{M_{\text{ic}}}{M} \right)_{\text{SC}} \simeq 0.37 \left( \frac{\mu_{\text{env}}}{\mu_{\text{ic}}} \right)^2$$

$$\mu = \frac{\sum_j N_j A_j}{\sum_j N_j}, \quad \mu = \frac{\sum_j N_j A_j}{\sum_j N_j (Z_j + 1)}$$

$$r_{\text{ix}} = \left( \frac{2}{kT} \right)^{3/2} \frac{n_i n_x}{(\mu_m \pi)^{1/2}} \int_0^\infty S(E) e^{-bE^{-1/2}} e^{-E/kT} dE, \quad b \equiv \frac{\pi \mu_m^{1/2} Z_1 Z_2 e^2}{2^{1/2} \epsilon_0 h}$$

$$\epsilon_{pp} \simeq \epsilon'_{0,pp} \rho X^2 f_{pp} \psi_{pp} C_{pp} T_6^4$$

$$\epsilon_{\text{CNO}} \simeq \epsilon'_{0,\text{CNO}} \rho X X_{\text{CNO}} T_6^{19.9}$$

$$\epsilon_{3\alpha} \simeq \epsilon'_{0,3\alpha} \rho^2 Y^3 f_{3\alpha} T_8^{41.0}$$

$$E_b = \Delta m c^2 = [Z m_p + (A - Z) m_n - m_{\text{nucleus}}] c^2$$

$${}^{44}\text{Ti} \tau_{1/2} = 59.1\text{y}, \quad {}^{56}\text{Ni} \tau_{1/2} = 6.1\text{d}, \quad {}^{65}\text{Ni} \tau_{1/2} = 2.5\text{h}, \quad {}^{56}\text{Co} \tau_{1/2} = 77.2\text{d}, \quad {}^{57}\text{Co} \tau_{1/2} = 271.8\text{d}$$

$${}^{55}\text{Fe} \tau_{1/2} = 2.7\text{y}, \quad {}^{59}\text{Fe} \tau_{1/2} = 44.5\text{d}$$

$$\epsilon_F = \frac{\hbar^2 N^2}{8mL^2} = \frac{\hbar^2}{2m} (3\pi^2 n)^{2/3}$$

$$P_{\text{εκφ,μη σχετικ}} e^- = \frac{(3\pi^2)^{2/3}}{5} \frac{\hbar^2}{m_e} \left[ \left( \frac{Z}{A} \right) \frac{\rho}{m_H} \right]^{5/3}$$

$$P_{\text{εκφ,σχετικ}} e^- = \frac{(3\pi^2)^{1/3}}{4} \hbar c \left[ \left( \frac{Z}{A} \right) \frac{\rho}{m_H} \right]^{4/3}$$

$$P_{\text{εκφ,νετρονια}} = K \rho^\gamma, \quad \gamma = \frac{5}{3}, \quad K = \frac{3^{2/3} \pi^{4/3}}{5} \frac{\hbar^2}{m_n^{8/3}}$$

$$B_p \sin a = \left( \frac{12Mc^3 \dot{\Omega}}{5R^4 \Omega^3} \right)^{1/2}$$

$$r_g = \frac{2GM}{c^2}$$

$$\Delta\tau = \left( \frac{2}{9GM} \right)^{1/2} (r_1)^{3/2}$$

$$ds^2 = c^2 \left( 1 - \frac{2GM}{rc^2} \right) dt^2 - \left( 1 - \frac{2GM}{rc^2} \right)^{-1} dr^2$$