

3.1 Tempo reakcji termojądrowych

1. Obliczyć tempo reakcji (zderzeń na sekundę w jednostce objętości) nienaladowanych kul o promieniach r_1, r_2 i masach $m_1 = m_2$, zakładając, że ich gęstości liczbowe wynoszą n_1 i n_2 a rozkład prawdopodobieństwa prędkości zadany jest rozkładem Maxwella-Boltzmana w temperaturze T . ODP: $\sigma n_1 n_2 \sqrt{8k_B T / \pi / \mu}$, $\sigma = \pi(r_1^2 + r_2^2)$, $\mu = (1/m_1 + 1/m_2)^{-1}$.
2. Wyznaczyć prawdopodobieństwo tunelowania cząstki o energii E i ładunku $+Z_b q_e$ w polu elektrostatycznym jądra o ładunku $+Z_a q_e$, gdzie q_e to ładunek elementarny, natomiast Z_a, Z_b liczby protonów w jądrze (całkowity ładunek jądra). ODP: $e^{-2\pi\eta}$, $\eta = \alpha Z_a Z_b / (v/c) \equiv q_e^2 Z_a Z_b / (2\varepsilon_0 h v)$.
3. Obliczyć tempo reakcji termojądrowych w plazmie o zadanej temperaturze i gęstości jeżeli przekrój czynny $\sigma(E)$ na reakcję jest znany, łącząc wyniki Zad. 1a i 1 b. Oszacować wynik korzystając z własności piku Gamowa.

Wskazówka: zob. np: R. Kippenhahn, **Stellar Structure and Evolution** Rozdz. 18.3 Thermonuclear reaction rates lub D. Arnett, **Supernovae and nucleosynthesis**, Rozdz. 3.3 Coulomb barrier

3.2 Tempo reakcji pp

Obliczyć tempo produkcji energii i neutrin w cyklu pp. Sprawdzić tempo reakcji λ_{pp} z podanym w tabeli niżej.

Poniżej zaprezentowano wyciąg ze standardowej tabeli reakcji jądrowych, oryginał można pobrać pod adresem <http://download.nucastro.org/astro/reaclib/old/2000/reaclib.nosmo.gz> Tabela zawiera współczynniki tempa reakcji λ_{pp} (Zad. 3.2).

p	p	d	bet+	1.44206E+00	-0.347863E+02	0.141438E-03	-0.351193E+01	0.310086E+01	-0.198314E+00	0.126251E-01	-0.102517E+01
Jednostką $\langle \sigma v \rangle$ powinien być [$\text{cm}^3 \text{s}^{-1} \text{mol}$].											

Wskazówka: zob. Bahcall, Neutrino astrophysics, §3.2 Reaction rates, Table 3.2 Uwaga na jednostki! UWAGA: Można założyć, że S_0 jest znane/zmierzone.

Odp:

$$\lambda(T_9) = e^{a_1 + \frac{a_2}{T_9} + \frac{a_3}{\sqrt{T_9}} + a_4 \sqrt[3]{T_9} + a_5 T_9 + a_6 T_9^{5/3} + a_7 \ln(T_9)}$$

gdzie $T_9 = T / (10^9 \text{K})$.

3.3 Równania kinetyki termojądrowej

Wyprowadzić układ równań spalania wodoru w cyklu pp . Dla uproszczenia można założyć, że początkowo materia składa się tylko z wodoru lub pochodzi wprost z Wielkiego Wybuchu (nukleosyntezy kosmologicznej).

3.4 Widno energetyczne neutrin słonecznych

Wyznaczyć przebieg widma energetycznego (liczby cząstek emitowanych w przedziale energii neutrina \mathcal{E}_{ν_e}) dla neutrin pp przyjmując warunki w centrum Słońca.

Wskazówka: zob. Weinberg, Teoria pól kwantowych, T.1, Rozdz. 3.4 Szybkości i przekroje czynne, wyprowadzenie wzoru (3.4.31). Element macierzowy można przyjąć $|M|^2 = 2G_F^2 = \text{const}$, gdzie G_F to stała Fermiego (sprzężenia oddziaływań słabych).