

Zadanie 1.

Przeprowadzić w programie MESA symulację ewolucji gwiazdy typu Słońca ($M=1 M_{\odot}$, $Z=0.02$), od etapu proto-gwiazdy, poprzez ciąg główny, spalanie w powłoce (czerwony olbrzym), zapłon He, pulsy termiczne, AGB, stygnięcie białego karła aż do czarnego karła.

Zadanie 2.

Obliczyć strukturę, masę i promień gwiazdy z równaniem stanu zadanym w postaci tablicy liczb. Do pobrania pod adresem: [EOS 1](#), [EOS 2](#). Na podstawie G. S. Bisnovatyi-Kogan, Stellar Physics, vol. 1.

Zadanie 3.

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

Przyjąć następujące przybliżenie zależności temperaturowej tempa reakcji λ :

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

gdzie $T_9 = T/(10^9 K)$.

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 tempa reakcji λ_{pp} , λ_{pd} , λ_{33} .

					Q	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7
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
p	d	he3		cf88n	5.49400e+00	0.789331e+01	-0.295519e-02	-0.323527e+01	0.142088e+01	-0.126344e+00	0.974799e-02	-0.178045e+00
he3	he3	p	p	he4	1.28600e+01	0.254460e+02	0.685749e-02	-0.130056e+02	-0.985324e+00	0.119691e+01	-0.139031e+00	-0.115865e+01

Jednostką $\langle \sigma v \rangle$ powinien być $[\text{cm}^3 \text{s}^{-1} \text{mol}]$.

$\rho, \text{g cm}^{-3}$	$P, \text{dyn cm}^{-2}$	n_0, cm^{-3}	$\rho, \text{g cm}^{-3}$	$P, \text{dyn cm}^{-2}$	n_0, cm^{-3}
7.86	1.01(9)	4.73(24)	4.400(11)	7.890(29)	2.670(35)
7.90	1.01(10)	4.76(24)	5.228(11)	8.352(29)	3.126(35)
8.15	1.01(11)	4.91(24)	6.610(11)	9.098(29)	3.951(35)
11.6	1.21(12)	6.99(24)	7.964(11)	9.831(29)	4.759(35)
16.4	1.40(13)	9.90(24)	9.228(11)	1.083(30)	5.812(35)
45.1	1.70(14)	2.72(25)	1.196(12)	1.218(30)	7.143(35)
212	5.82(15)	1.27(26)	1.471(12)	1.399(30)	8.786(35)
1150	1.90(17)	6.93(26)	1.805(12)	1.638(30)	1.077(36)
1.044(4)	9.744(18)	6.295(27)	2.202(12)	1.950(30)	1.314(36)
2.622(4)	4.968(19)	1.581(28)	2.930(12)	2.592(30)	1.748(36)
6.587(4)	2.431(20)	3.972(28)	3.833(12)	3.506(30)	2.287(36)
1.654(5)	1.151(21)	9.976(28)	4.933(12)	4.771(30)	2.942(36)
4.156(5)	5.266(21)	2.506(29)	6.248(12)	6.481(30)	3.726(36)
1.044(6)	2.318(22)	6.294(29)	7.801(12)	8.748(30)	4.650(36)
2.622(6)	9.750(22)	1.581(30)	9.611(12)	1.170(31)	5.728(36)
6.588(6)	5.911(23)	3.972(30)	1.246(13)	1.695(31)	7.424(36)
8.293(6)	5.259(23)	5.000(30)	1.496(13)	2.209(31)	8.907(36)
1.655(7)	1.435(24)	9.976(30)	1.778(13)	2.848(31)	1.059(37)
3.302(7)	3.833(24)	1.993(31)	2.210(13)	3.931(31)	1.315(37)
6.589(7)	1.006(25)	3.972(31)	2.988(13)	6.178(31)	1.777(37)
1.315(8)	2.604(25)	7.924(31)	3.767(13)	8.774(31)	2.239(37)
2.624(8)	6.676(25)	1.581(32)	5.081(13)	1.386(32)	3.017(37)
3.304(8)	8.738(25)	1.990(32)	6.193(13)	1.882(32)	3.676(37)
5.237(8)	1.629(26)	3.155(32)	7.732(13)	2.662(32)	4.585(37)
8.301(8)	3.029(26)	5.000(32)	9.826(13)	3.897(32)	5.821(37)
1.045(9)	4.129(26)	6.294(32)	1.262(14)	5.861(32)	7.468(37)
1.316(9)	5.036(26)	7.924(32)	1.586(14)	8.595(32)	9.371(37)
1.657(9)	6.860(26)	9.976(32)	2.004(14)	1.286(33)	1.182(38)
2.626(9)	1.272(27)	1.581(33)	2.520(14)	1.900(33)	1.484(38)
4.164(9)	2.356(27)	2.506(33)	2.761(14)	2.242(33)	1.625(38)
6.601(9)	4.362(27)	3.972(33)	3.085(14)	2.751(33)	1.814(38)
8.112(9)	5.662(27)	5.000(33)	3.433(14)	3.369(33)	2.017(38)
1.046(10)	7.702(27)	6.294(33)	3.885(14)	4.286(33)	2.280(38)
1.318(10)	1.048(28)	7.924(33)	4.636(14)	6.403(33)	2.715(38)
1.659(10)	1.425(28)	9.976(33)	5.994(14)	7.391(33)	2.979(38)
2.630(10)	1.938(28)	1.256(34)			
2.631(10)	2.503(28)	1.581(34)			
3.313(10)	3.404(28)	1.990(34)			
4.172(10)	4.628(28)	2.506(34)			
5.254(10)	5.949(28)	3.155(34)			
6.617(10)	8.089(28)	3.972(34)			
8.332(10)	1.100(29)	5.000(34)			
1.049(11)	1.495(29)	6.294(34)			
1.322(11)	2.033(29)	7.924(34)			
1.664(11)	2.597(29)	9.976(34)			
1.844(11)	2.892(29)	1.100(35)			
2.096(11)	3.290(29)	1.256(35)			
2.640(11)	4.473(29)	1.581(35)			
3.325(11)	5.916(29)	1.990(35)			
4.188(11)	7.538(29)	2.506(35)			
4.299(11)	7.805(29)	2.572(35)			