

новых, равновесных решений для диска (2), используя предложенный в [4] способ. Очевидно, что при произвольном  $\varphi(\lambda)$  функция

$$f = \frac{\int_0^{R/a^2} f_\lambda \varphi(\lambda) d\lambda}{\int_0^{R/a^2} \varphi(\lambda) d\lambda}$$

также описывает равновесное состояние дважды уравновешенного диска.

*Doubly Balanced Elliptical Stellar Disks in Binary Systems.* The solutions are obtained for doubly balanced compressed disks in binary galaxy systems. Some special cases are analyzed.

10 июня 1982

Институт космических  
исследований АН СССР

Г. С. БИСНОВАТЫЙ-КОГАН

#### ЛИТЕРАТУРА

1. R. S. Freeman, M.N. RAS, 134, 15, 1966.
2. G. S. Bisnovatyi-Kogan, M. N. RAS, 174, 203, 1976.
3. Г. С. Бисноватый-Коган, *Астрофизика*, 19, 65, 1983.
4. Г. С. Бисноватый-Коган, Я. Б. Зельдович, *Астрофизика*, 6, 387, 1970.

УДК 524.3.6

#### МОДЕЛИ ВЫРОЖДЕННЫХ ЗВЕЗДНЫХ КОНФИГУРАЦИЙ

Параметры сверхплотных небесных тел были рассчитаны в [1] и затем неоднократно в ряде других работ (см. [2]). Наличие большого числа публикаций по этому вопросу в основном обусловлено отсутствием единого мнения об уравнении состояния вырожденного звездного вещества. В серии работ [3—5] проводился ряд важных уточнений в уравнении состояния, учитывающих явление пионной конденсации сверхплотной плазмы и достижения физики элементарных частиц за последние десять лет. Параметры сверхплотных небесных тел достаточно чувствительны к изменениям в уравнении состояния. Учитывая их важность для астрофизики и, в частности, для теорий пульсаров, мы заново рассчитали их на основе наиболее

корректного, на наш взгляд, уравнения состояния, приведенного в недавно выполненной работе [5].

Результаты расчетов приведены в таблице. В первых двух ее столбцах даны центральное давление  $P(0)$  и плотность  $\rho(0)$ . Ими, по существу, определяется уравнение состояния вещества за исключением небольшой области низких давлений  $P(0) < 10^{23}$  эрг/см<sup>3</sup>. В последующих столбцах приведены: в третьем и четвертом — радиус и накопленная масса кваркового ядра; в пятом и шестом — толщина и масса адронного слоя; в седьмом и восьмом — толщина и масса слоя звезды из ядерного вещества; в девятом и десятом — толщина и масса оболочки, состоящей из Ae-плазмы; в одиннадцатом и двенадцатом — координатный радиус  $R$  и полная масса  $M$  звезды. Размеры измерены в километрах, а масса — в единицах массы Солнца. В последних двух столбцах приведены соответственно полное число барионов  $N$  в единицах  $N_{\odot} = M_{\odot}/m_n$  и момент инерции  $I$  конфигурации в единицах CGS.

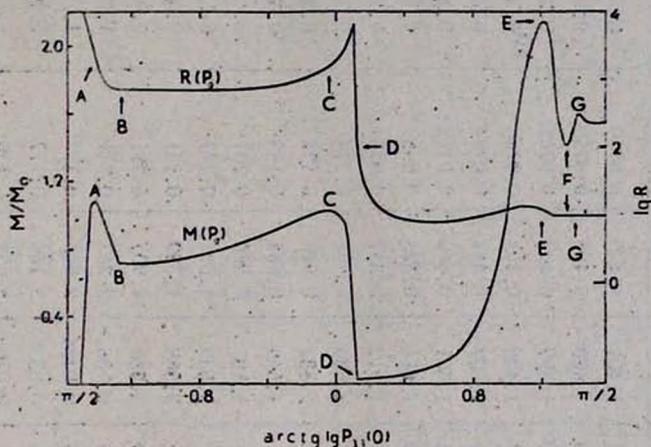


Рис. 1. Зависимость координатного радиуса в км и массы конфигураций в массах Солнца от центрального давления  $P(0)$  ( $P$  измерено в единицах CGS, а  $P_{00} = 16^{-33} P$ ). На всех кривых этого и последующего рисунков одинаковыми буквами отмечены параметры одних и тех же конфигураций.

На рис. 1 представлена зависимость радиуса и массы конфигураций от центрального давления. На рис. 2 дана зависимость энергии связи, рассчитанной на одну частицу, от полного числа барионов. Дополнительная информация приводится в подписях к рисункам.

Из приведенных графиков можно заключить [2], что конфигурации, соответствующие отрезку DE (нейтронные конфигурации) и отрезку левее точки А (ветвь белых карликов), являются устойчивыми, а остальные — не-

## ПАРАМЕТРЫ ВЫРОЖДЕННЫХ ЗВЕЗДНЫХ КОНФИГУРАЦИЙ

$P(0)$ (эрг см <sup>-3</sup> )	$\rho(0)$ г см <sup>-3</sup>	Кварковое ядро		Андронный слой		Слой ядерного вещества		„Ае“-оболочка		$R$ (км)	$M/M_{\odot}$	$N/N_{\odot}$	$I$ (г см <sup>2</sup> )
		$\Delta R$ (км)	$\Delta M/M_{\odot}$	$\Delta R$ (км)	$\Delta M/M_{\odot}$	$\Delta R$ (км)	$\Delta M/M_{\odot}$	$\Delta R$ (км)	$\Delta M/M_{\odot}$				
$\infty$	$\infty$	0.554	0.0788	8.848	1.401	0.405	0.0759	0.209	$9.79 \cdot 10^{-6}$	10.02	1.555	1.693	$1.132 \cdot 10^{45}$
$1.00 \cdot 10^{41}$	$3.45 \cdot 10^{23}$	0.554	0.0787	8.846	1.400	0.405	0.0759	0.209	$9.78 \cdot 10^{-6}$	10.01	1.555	1.692	$1.131 \cdot 10^{45}$
$2.54 \cdot 10^{41}$	$8.92 \cdot 10^{20}$	0.563	0.0803	8.842	1.397	0.407	0.0763	0.210	$9.83 \cdot 10^{-6}$	10.02	1.553	1.690	$1.132 \cdot 10^{45}$
$1.56 \cdot 10^{29}$	$5.62 \cdot 10^{20}$	0.531	0.0829	8.977	1.429	0.401	0.0768	0.207	$9.88 \cdot 10^{-6}$	10.12	1.589	1.739	$1.197 \cdot 10^{45}$
$7.77 \cdot 10^{27}$	$2.87 \cdot 10^{27}$	0.702	0.0924	8.544	1.302	0.431	0.0784	0.223	$1.02 \cdot 10^{-5}$	9.900	1.473	1.581	$1.012 \cdot 10^{45}$
$3.68 \cdot 10^{27}$	$1.39 \cdot 10^{27}$	0.638	0.0520	8.324	1.301	0.419	0.0715	0.217	$9.29 \cdot 10^{-6}$	9.598	1.425	1.516	$8.961 \cdot 10^{44}$
$3.33 \cdot 10^{26}$	$1.26 \cdot 10^{26}$			9.246	1.611	0.328	0.0589	0.169	$7.54 \cdot 10^{-6}$	9.742	1.669	1.861	$1.212 \cdot 10^{45}$
$9.56 \cdot 10^{25}$	$3.84 \cdot 10^{25}$			10.54	1.917	0.337	0.0784	0.172	$9.90 \cdot 10^{-6}$	11.04	1.995	2.337	$2.095 \cdot 10^{45}$
$3.73 \cdot 10^{25}$	$1.69 \cdot 10^{25}$			11.62	2.026	0.401	0.114	0.203	$1.43 \cdot 10^{-5}$	12.23	2.139	2.549	$2.886 \cdot 10^{45}$
$1.79 \cdot 10^{25}$	$9.77 \cdot 10^{24}$			12.08	1.882	0.510	0.158	0.257	$1.98 \cdot 10^{-5}$	12.84	2.039	2.409	$3.028 \cdot 10^{45}$
$9.84 \cdot 10^{24}$	$6.82 \cdot 10^{24}$			11.85	1.560	0.662	0.199	0.332	$2.53 \cdot 10^{-5}$	12.85	1.760	2.033	$2.540 \cdot 10^{45}$
$6.01 \cdot 10^{24}$	$5.41 \cdot 10^{24}$			11.13	1.183	0.850	0.231	0.426	$2.96 \cdot 10^{-5}$	12.41	1.414	1.592	$1.825 \cdot 10^{45}$
$3.96 \cdot 10^{24}$	$4.65 \cdot 10^{24}$			10.12	0.839	1.071	0.247	0.536	$3.24 \cdot 10^{-5}$	11.73	1.087	1.197	$1.196 \cdot 10^{45}$
$2.77 \cdot 10^{24}$	$4.21 \cdot 10^{24}$			9.001	0.568	1.320	0.251	0.659	$3.36 \cdot 10^{-5}$	10.98	0.818	0.884	$7.503 \cdot 10^{44}$
$1.53 \cdot 10^{24}$	$3.76 \cdot 10^{24}$			6.760	0.230	1.907	0.231	0.947	$3.35 \cdot 10^{-5}$	9.615	0.461	0.485	$2.894 \cdot 10^{44}$
$1.19 \cdot 10^{24}$	$3.63 \cdot 10^{24}$			5.696	0.136	2.257	0.215	1.112	$3.27 \cdot 10^{-5}$	9.065	0.351	0.336	$1.832 \cdot 10^{44}$
$9.58 \cdot 10^{23}$	$3.55 \cdot 10^{24}$			4.655	0.0734	2.665	0.197	1.295	$3.18 \cdot 10^{-5}$	8.615	0.269	0.279	$1.184 \cdot 10^{44}$
$7.81 \cdot 10^{23}$	$3.48 \cdot 10^{24}$			3.596	0.0336	3.166	0.177	1.499	$3.10 \cdot 10^{-5}$	8.262	0.211	0.217	$7.829 \cdot 10^{43}$
$6.48 \cdot 10^{23}$	$3.43 \cdot 10^{24}$			2.414	0.0109	3.859	0.156	1.729	$3.02 \cdot 10^{-5}$	8.002	0.166	0.171	$5.295 \cdot 10^{43}$
$5.45 \cdot 10^{23}$	$3.39 \cdot 10^{24}$					5.841	0.133	1.992	$2.95 \cdot 10^{-5}$	7.833	0.133	0.136	$3.661 \cdot 10^{43}$
$3.97 \cdot 10^{23}$	$3.33 \cdot 10^{24}$					5.114	0.0881	2.664	$2.86 \cdot 10^{-5}$	7.779	0.0882	0.0896	$1.846 \cdot 10^{43}$
$2.31 \cdot 10^{23}$	$3.23 \cdot 10^{24}$					4.049	0.0427	5.372	$2.97 \cdot 10^{-5}$	9.422	0.0428	0.0432	$5.589 \cdot 10^{42}$

1.82 · 10 <sup>33</sup>	3.19 · 10 <sup>14</sup>			3.642
1.32 · 10 <sup>33</sup>	3.14 · 10 <sup>14</sup>			3.154
1.28 · 10 <sup>33</sup>	3.13 · 10 <sup>14</sup>			3.107
1.26 · 10 <sup>33</sup>	3.13 · 10 <sup>14</sup>			3.089
1.20 · 10 <sup>33</sup>	3.12 · 10 <sup>14</sup>			3.024
1.16 · 10 <sup>33</sup>	3.12 · 10 <sup>14</sup>			2.974
1.09 · 10 <sup>33</sup>	3.11 · 10 <sup>14</sup>			2.900
1.05 · 10 <sup>33</sup>	3.10 · 10 <sup>14</sup>			2.839
9.31 · 10 <sup>32</sup>	3.09 · 10 <sup>14</sup>			2.691
7.47 · 10 <sup>32</sup>	3.06 · 10 <sup>14</sup>			3.431
5.96 · 10 <sup>32</sup>	3.03 · 10 <sup>14</sup>			2.189
4.71 · 10 <sup>32</sup>	3.00 · 10 <sup>14</sup>			1.959
2.79 · 10 <sup>32</sup>	2.95 · 10 <sup>14</sup>			1.528
1.46 · 10 <sup>32</sup>	2.91 · 10 <sup>14</sup>			1.115
5.93 · 10 <sup>31</sup>	2.87 · 10 <sup>14</sup>			0.716
1.39 · 10 <sup>31</sup>	2.85 · 10 <sup>14</sup>			0.341
4.22 · 10 <sup>30</sup>	2.84 · 10 <sup>14</sup>			0.178
6.41 · 10 <sup>29</sup>	5.83 · 10 <sup>11</sup>			
3.64 · 10 <sup>29</sup>	2.89 · 10 <sup>11</sup>			
1.90 · 10 <sup>29</sup>	1.46 · 10 <sup>11</sup>			
8.92 · 10 <sup>28</sup>	7.23 · 10 <sup>10</sup>			
3.65 · 10 <sup>28</sup>	3.35 · 10 <sup>10</sup>			
3.35 · 10 <sup>27</sup>	4.99 · 10 <sup>9</sup>			
6.47 · 10 <sup>26</sup>	1.42 · 10 <sup>9</sup>			
7.77 · 10 <sup>25</sup>	2.89 · 10 <sup>8</sup>			
4.52 · 10 <sup>24</sup>	3.62 · 10 <sup>7</sup>			
8.15 · 10 <sup>23</sup>	2.31 · 10 <sup>6</sup>			

0.0308	9.177	$3.33 \cdot 10^{-5}$	12.82	0.0309	0.0311	$3.258 \cdot 10^{43}$
0.0198	102.8	$8.58 \cdot 10^{-5}$	105.9	0.0199	0.0200	$2.261 \cdot 10^{43}$
0.0189	6129	$5.57 \cdot 10^{-2}$	6133	0.0746	0.0752	$1.244 \cdot 10^{49}$
0.0186	6845	0.403	6848	0.422	0.426	$8.285 \cdot 10^{48}$
0.0174	4351	0.796	4354	0.814	0.822	$4.979 \cdot 10^{49}$
0.0165	3478	0.901	3481	0.918	0.927	$3.225 \cdot 10^{49}$
0.0153	2729	0.972	2732	0.987	0.997	$1.911 \cdot 10^{49}$
0.0145	2340	0.998	2343	1.013	1.023	$1.349 \cdot 10^{49}$
0.0122	1759	1.019	1762	1.032	1.042	$6.505 \cdot 10^{49}$
$8.93 \cdot 10^{-3}$	1265	1.004	1267	1.013	1.023	$3.066 \cdot 10^{48}$
$6.48 \cdot 10^{-3}$	1030	0.968	1032	0.975	0.985	$1.785 \cdot 10^{48}$
$4.63 \cdot 10^{-3}$	896.5	0.928	898.5	0.933	0.942	$1.197 \cdot 10^{48}$
$2.17 \cdot 10^{-3}$	761.7	0.849	763.3	0.851	0.959	$6.911 \cdot 10^{47}$
$8.39 \cdot 10^{-4}$	711.3	0.784	712.4	0.785	0.792	$4.984 \cdot 10^{47}$
$2.20 \cdot 10^{-4}$	701.9	0.741	702.6	0.741	0.748	$4.249 \cdot 10^{47}$
$2.38 \cdot 10^{-5}$	707.4	0.720	707.8	0.720	0.727	$4.045 \cdot 10^{47}$
$3.37 \cdot 10^{-6}$	709.8	0.716	709.9	0.717	0.723	$4.022 \cdot 10^{47}$
	710.9	0.715	710.9	0.715	0.722	$4.017 \cdot 10^{47}$
	701.3	0.761	701.3	0.761	0.768	$4.496 \cdot 10^{47}$
	730.4	0.828	730.4	0.828	0.836	$5.922 \cdot 10^{47}$
	807.1	0.902	807.1	0.902	0.911	$8.846 \cdot 10^{47}$
	942.5	0.973	942.5	0.973	0.982	$1.453 \cdot 10^{48}$
	1508	1.068	1508	1.068	1.079	$5.100 \cdot 10^{48}$
	2078	1.074	2078	1.074	1.084	$1.114 \cdot 10^{49}$
	3058	1.018	3059	1.018	1.028	$2.711 \cdot 10^{49}$
	4801	0.825	4801	0.825	0.833	$6.728 \cdot 10^{49}$
	7576	0.415	7576	0.415	0.419	$1.139 \cdot 10^{50}$

устойчивыми. Следует отметить, что наиболее устойчивой является ветвь DE. Конфигурации белых карликов являются метастабильными, поскольку при одном и том же числе барионов масса белых карликов больше массы соответствующей нейтронной звезды на величину порядка 10 МэВ в расчете на один барион.

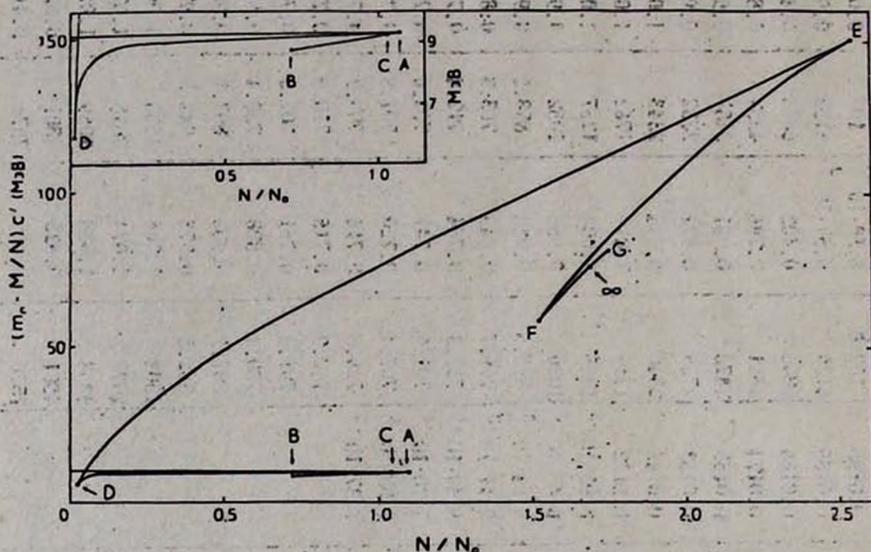


Рис. 2. Зависимость средней энергии связи, рассчитанной на один барион, от полного числа барионов  $N$ ,  $N_{\odot} = M_{\odot}/m_n$  — число нуклонов в Солнце,  $m_n$  — масса нейтрона. В верхнем левом углу рисунка воспроизведена часть DCBA кривой в крупном масштабе. Точка кривой, обозначенная символом  $\infty$ , соответствует конфигурации с бесконечно большим центральным давлением. При заданном числе барионов устойчивыми являются конфигурации с наибольшей энергией связи.

Авторы признательны проф. Г. С. Саакяну за ценные указания и помощь, а также С. Г. Симоняну и Х. В. Котанджяну за помощь при выполнении численных расчетов.

*Models of Degenerate Stellar Configurations.* Models of white dwarfs and of neutron stars are calculated by a new improved state equation of degenerate stellar matter.

21 мая 1982

Отдел прикладных проблем  
физики АН Арм. ССР.  
Ереванский государственный  
университет

Л. ШЕ ГРИГОРЯН

Г. Г. АРУТЮНЯН

## ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Амбарцумян, Г. С. Саакян, *Астрон. ж.*, 37, 193, 1960.
2. Г. С. Саакян, *Равновесные конфигурации вырожденных газовых масс*, Наука, М., 1972.
3. Л. Ш. Григорян, Г. С. Саакян, *Физика элементарных частиц и атомного ядра*, 10, 1075, 1979.
4. G. H. Sahakian, L. S. Grigorian, *Astrophys. Space Sci.* 73, 307, 1980.
5. Л. Ш. Григорян, *Астрофизика* (в печати).