

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 15

АВГУСТ, 1979

ВЫПУСК 3

УДК 533.9.01.1

ВРАЩАЮЩИЕСЯ СВЕРХПЛОТНЫЕ КОНФИГУРАЦИИ С УЧЕТОМ ПИОНИЗАЦИИ ВЕЩЕСТВА

Г. Г. АРУТЮНЯН, В. В. ПАПОЯН, А. В. САРКИСЯН, Э. В. ЧУБАРЯН

Поступила 5 июля 1978

Пересмотрена 20 декабря 1978

В работе подсчитаны параметры вращающихся сверхплотных конфигураций с новым уравнением состояния вещества, учитывающим эффект пионизации.

На сегодняшний день накопилось достаточно оснований для того, чтобы с известной долей уверенности высказать утверждение о наличии π -конденсата в ядрах тяжелых элементов и в сплошной ядерной материи. Возникшая в связи с этим необходимость уточнений в уравнениях, описывающих состояние сверхплотного вещества, частично стимулировала работу [1], в которой весьма последовательно учтен эффект пионизации и найдена еще одна возможная модель состояния вещества вырожденной плазмы. С этой точки зрения нам кажется оправданной целью настоящей статьи — определение параметров вращающихся сверхплотных небесных тел на основе полученного в [1] нового уравнения состояния. При этом используется предложенный в [2] метод расчета.

1. Уравнения равновесных вращающихся конфигураций. Метрика стационарно вращающейся конфигурации выбрана в виде [2]

$$-ds^2 = e^{\lambda} dR^2 + e^{\nu} (d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2) + 2\omega e^{\nu} \sin^2 \theta d\varphi dt + (m^2 e^{\nu} \sin^2 \theta - e^{\mu}) dt^2,$$

где $\lambda, \nu, \varphi, \omega$ — функции R, θ и Ω .

В качестве независимых уравнений Эйнштейна, определяющих искомые функции, взяты

$$\begin{aligned} G_1^1 - G_0^0 &= 8\pi (T_1^1 - T_0^0), & G_7^1 &= 0, \\ G_2^2 - G_3^3 &= 8\pi (T_2^2 - T_3^3), & G_3^0 &= 8\pi T_3^0, \end{aligned} \quad (1)$$

$$M(R, \theta) = 2 \int \frac{dP}{P + \rho} = -\nu - \ln |1 - e^{\mu-\nu} (\omega + \Omega)^2 \sin^2 \theta| + \text{const.}$$

Эта система уравнений допускает разделение переменных в приближении $\beta = \Omega^2 / 8\pi G \rho_c$ (Ω — угловая скорость вращения, ρ_c — центральная плотность), если решения искать в виде разложений по полиномам Лежандра. Компоненты метрического тензора, а также давление, плотность и функция $M(R, \theta)$ представляются в виде

$$\begin{aligned} e^{\lambda} &= e^{-\nu} [1 + \beta f(R, \theta)], & M(R, \theta) &= m(R) + \beta N(R, \theta), \\ e^{\nu} &= e^{\nu_0} [1 + \beta \Phi(R, \theta)], & P &= P_0 + \beta p, & \rho &= \rho_0 + \beta \rho', \\ e^{\mu} &= R^2 [1 + \beta U(R, \theta)], & \omega &= \sqrt{\beta} q(R), \end{aligned}$$

где f , Φ , U и q — неизвестные функции, а $e^{-\nu_0}$, e^{ν_0} , m , P_0 , ρ_0 — величины нулевого приближения, соответствующие статической задаче.

Вне распределения масс уравнения Эйнштейна в приближении β интегрируются аналитически, а внутренняя задача решается численным интегрированием. Сшивка этих решений позволяет определить постоянные интегрирования и параметры, характеризующие рассматриваемые конфигурации.

2. Уравнение состояния вещества. В работе [1] получено уравнение состояния вырожденной сверхплотной плазмы с учетом отрицательного π -конденсата в тяжелых ядрах, которое может быть записано следующим образом:

$$\begin{aligned} P &\leq 4.0816 \cdot 10^{-13}, & \rho &= 0.1538 P^{3/5}; \\ 4.0816 \cdot 10^{-13} &< P < 1.2882 \cdot 10^{-6}, & \rho &= 11.2383 P^{3/4} |1 + \\ &+ 33.84 P^{1/4} - 2905.57 P^{1/2} + 9.5245 \cdot 10^4 P^{1/4}|]; \\ 1.2882 \cdot 10^{-6} &< P < 1.3119 \cdot 10^{-2}, & \rho &= 0.4965; \\ 1.3119 \cdot 10^{-2} &\leq P < 3.1491, & \rho &= 19.7632 \cdot P^{0.85}; \\ 3.1491 &\leq P < 52.4017, & \rho &= 52.4017; \\ 52.4017 &< P, & \rho &= P. \end{aligned}$$

3. *Результаты численного интегрирования.* Система уравнений (1) была численно проинтегрирована на ЭВМ ES-1020 для ряда конфигураций белых карликов и барионных звезд с центральными давлениями от $P \sim 10^{-11}$ до ∞ . Значения интегральных параметров представлены в табл. 1. В первом столбце таблицы приводятся значения центрального давления в единицах CGS. Масса вращающейся конфигурации M , масса соответствующей сферической конфигурации M_0 (в единицах массы Солнца), экваториальный R_+ и полярный радиусы R_- , радиус сферической конфигурации R_0 (в км), момент инерции I и квадрупольный момент D , а также минимальный период вращения T_{\min} приводятся в последующих столбцах таблицы. Эти интегральные параметры вычислены по следующим формулам:

$$M = \left[M_0 - \frac{\beta}{2} A_0 \right], \quad M_0 = u(R_0),$$

$$I = -\frac{c_1}{2V 2\rho_c}, \quad D = -\beta \left(A_2 + \frac{c_1^2}{2M_0} \right),$$

$$R_+ = R_0 + \beta(d_0 - 0.5 d_2), \quad R_- = R_0 + \beta(d_0 + d_2),$$

где A_0 , c_1 , A_2 , d_0 и d_2 — постоянные интегрирования, определяемые сшивкой внешних и внутренних решений на границе конфигурации,

$$R = R_0 + \beta \sum_n P_n(\cos \theta) d_n.$$

Параметры вращающихся конфигураций рассчитаны для максимального без истечения вещества с экватора значения угловой скорости вращения Ω_{\max} . Для наглядности наиболее интересная часть полученных результатов представлена на рис. 1 в виде зависимости массы барионных конфигураций от центрального давления (такая же кривая для белых карликов не приводится ввиду малого различия масс вращающихся и статических звезд с одинаковыми центральными давлениями). Как видно из рисунка, наибольшее различие в массах (порядка 38%) имеет место для значения параметра $\eta = 1.365$ ($\eta = \arctg \lg P_{33}$, где $P_{33} = P \cdot 10^{-33}$).

Численные значения интегральных параметров имеет смысл сравнить с результатами аналогичных расчетов, выполненных с использованием уравнения состояния сверхплотного вещества без учета эффекта пионизации [3]. В табл. 2 приводятся значения масс и радиусов четырех статических и вращающихся конфигураций, являющихся экстремальными точками кривой $(M - \eta)$, с учетом и без учета эффекта пионизации.

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ВРАЩАЮЩИХСЯ И СТАТИЧЕСКИХ СВЕРХПЛОТНЫХ
КОНФИГУРАЦИЙ

P (грг/см ³)	M/M_{\odot}	M_0/M_{\odot}	R (км)	R_0 (км)	R_p (км)	I_{44} (г·см ²)	\bar{D}_{44} (г·см ²)	T_{\min} (с)
6.465·10 ²²	0.9377	0.9375	8896.43	7060.36	7574.18	3.06·10 ⁴	592	17.025
6.465·10 ²⁴	1.0621	1.0618	6553.86	5230.27	5566.86	1.49·10 ⁴	288	10.21
6.465·10 ²⁵	1.0479	1.0477	4412.68	3547.76	3739.28	4.57·10 ³	55	17.94
6.465·10 ²⁶	0.9438	0.9435	2767.75	2232.54	2340.23	1421	37	55.83
6.455·10 ²⁷	0.9370	0.9356	1648.72	1531.86	1393.29	480	11.35	11.35
6.465·10 ²⁸	0.8743	0.8739	958.9	777.69	808.98	120	4.001	2.117
6.465·10 ²⁹	0.6956	0.6949	736.19	650.68	671.57	33.19	1.842	0.547
6.465·10 ³⁰	0.6519	0.6515	748.42	607.58	630.34	21.56	1.407	0.511
6.465·10 ³¹	0.6265	0.6261	642.39	522.46	540.9	22.64	1.13	0.415
6.465·10 ³²	0.8616	0.8613	1634.6	1321.3	1380.2	270.3	12.87	1.429
1.095·10 ³³	0.9239	0.9236	735.7	6319.2	6747.8	1.52·10 ⁴	414.8	14.49
1.181·10 ³³	0.0197	0.0157	18.117	15.095	15.099	1.63·10 ⁻⁴	3.79·10 ⁻⁸	0.0114
6.465·10 ³³	0.2308	0.2248	10.564	8.749	8.822	9.7·10 ⁻³	1.04·10 ⁻⁴	0.0015
5.593·10 ³⁴	0.5029	0.4504	10.595	8.391	8.887	2.16·10 ⁻²	1.07·10 ⁻³	0.001
6.465·10 ³⁴	0.5009	0.4485	10.289	8.146	8.627	1.57·10 ⁻²	1.09·10 ⁻³	8.9·10 ⁻⁴
6.465·10 ³⁵	0.3936	0.3455	8.1048	6.335	6.776	7.15·10 ⁻³	3.14·10 ⁻⁴	6.9·10 ⁻⁴
6.465·10 ³⁶	0.4642	0.2938	3.854	2.669	3.085	1.21·10 ⁻³	1.55·10 ⁻⁴	1.2·10 ⁻⁴
6.465·10 ³⁷	0.7521	0.5426	2.311	1.792	2.269	3.07·10 ⁻³	1.82·10 ⁻⁴	8·10 ⁻⁵
∞	0.7159	0.4467	2.278	1.652	2.054	1.7·10 ⁻³	7.8·10 ⁻⁴	2·10 ⁻¹²

P — давление в единицах CGS, M и M_0 — соответственно массы вращающихся и статических конфигураций (в единицах Солнца), R , R_0 и R_p — соответственно экваториальный и полярный радиусы вращающихся конфигураций и радиус статической конфигурации (в км), $I_{44} = I \cdot 10^{-46}$ — момент инерции в единицах CGS, $\bar{D}_{44} = D \cdot 10^{-46}$ — квадрупольный момент в единицах CGS и T_{\min} — минимальный период вращения (в секундах).

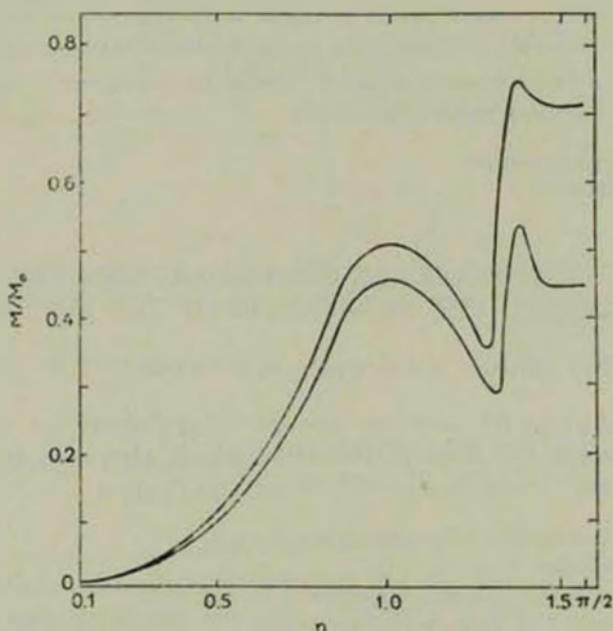


Рис. 1. Зависимость массы вращающихся конфигураций (верхняя кривая) и массы статических конфигураций (нижняя кривая) в единицах массы Солнца от параметра $\eta = \arctg \lg P_{32}$, где $P_{32} = 10^{-32}P$ (P в единицах CGS).

Таблица 2

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ТОЧЕК КРИВОЙ С УЧЕТОМ И БЕЗ УЧЕТА ЭФФЕКТА ПИОНИЗАЦИИ

M	M_0	$\Delta M (\%)$	R_+	R_-	R_s	Ω_{max}	
0.7521	0.5426	39.6	2.3116	1.7919	2.2697	$7.8 \cdot 10^4$	с пионизацией
0.5029	0.4504	11.6	10.5949	8.3907	8.8580	$6.1 \cdot 10^3$	
0.9239	0.9236	0.03	7936.74	6319.23	6747.78	0.4334	
1.0621	1.0618	0.03	6551.87	5230.27	5566.86	0.6145	без пионизации
1.1775	1.0933	7.7	7.722	6.0202	6.7574	$1.7 \cdot 10^4$	
1.6612	1.5305	8.53	9.3341	7.0634	8.3023	$1.6 \cdot 10^4$	
0.9993	0.9705	2.96	702.8	566.8	539.1	16.86	
1.3392	1.2573	6.5	2422.3	1896.4	2027.6	3.1	

M и M_0 — массы вращающихся и статических конфигураций в единицах масс Солнца, $\Delta M = (M - M_0)/M_0$ — в процентах, R_+ , R_- , R_s — экваторальный, полярный и статический радиусы в км, Ω_{max} — максимальная угловая скорость (c^{-1}). В каждой из секций таблицы центральное давление конфигурации убывает сверху вниз.

Уменьшение разницы между массами в области белых карликов связано с существенным уменьшением максимальной угловой скорости вращения Ω_{max} , а увеличение в области барионных звезд — со значительным увеличением Ω_{max} при учете пионизации.

Ереванский государственный
университет

ROTATING SUPERDENSE CONFIGURATIONS TAKING IN ACCOUNT THE PIONIZATION OF THE MATTER

G. G. HARUTTHYUNIAN, V. V. PAPOYAN, A. V. SARKISSIAN, E. V. CHUBARIAN

Parameters of the rotating superdense configurations are obtained with new equation of state of the matter which account the effect of pionization.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. С. Саакян, А. Ш. Григорян, *Астрофизика*, 13, 669, 1977.
2. Д. М. Седракян, Э. В. Чубарян, *Астрофизика*, 4, 239, 1968; 4, 481, 1968.
3. Г. Г. Арутюнян, Д. М. Седракян, Э. В. Чубарян, *Астрон. ж.*, 49, 1216, 1972.