9. М. А. Аракелян, Э. А. Дибай, В. Ф. Есипов, Б. Е. Маркарян, *Астрофизика*, 6, 357, 1970.
10. М. А. Аракелян, Э. А. Дибай, В. Ф. Есипов, Б. Е. Маркарян, *Астрофизика*, 7, 177, 1971.
11. М. А. Аракелян, Э. А. Дибай, В. Ф. Есипов, *Астрофизика*, 8, 177, 1972.
12. W. L. W. Sargent, *Ap. J.*, 173, 7, 1972.
13. M. Schmidt, *Ap. J.*, 151, 393, 1968.

О ЗАПАСАХ ЭНЕРГИИ ВРАЩАЮЩИХСЯ НЕЙТРОННЫХ ЗВЕЗД

Одной из проблем в теории пульсаров является вопрос источников энергии. В настоящее время в оптической области обнаружен лишь один пульсар (пульсар NP 0531 в Крабовидной туманности), полная светимость которого порядка $\sim 10^{36}$ эрг сек⁻¹. Такая светимость в течение тысячи лет (возраст этого пульсара) не может быть обеспечена запасами тепловой энергии, остаточной ядерной энергии, энергии магнитного поля и энергии радиальных пульсаций [1].

Кинетическая энергия вращения пульсара достаточно велика, чтобы обеспечить наблюдаемую светимость, однако трудно представить механизм, позволяющий преобразовать кинетическую энергию вращения в излучение в самом объеме звезды. Кинетическая энергия вращения, по-видимому, может превратиться в излучение или в тепло благодаря различным диссипативным процессам, происходящим в атмосфере звезды, т. е. не может служить в качестве объемного источника энергии (она может выделяться в самом объеме звезды лишь в случае дифференциального вращения, однако такое вращение нам кажется маловероятным).

Как было отмечено в [1], у вращающихся барионных звезд имеется еще один источник энергии, который может обеспечить светимость пульсара — это добавочная гравитационная энергия, обусловленная деформацией вращающихся звезд.

Наблюдения показывают, что угловые скорости пульсаров со временем медленно уменьшаются. Очевидно, при этом происходит медленное сжатие, вследствие чего в самом объеме звезды будет происходить постепенное преобразование добавочной гравитационной энергии, обусловленной деформацией, в тепловую энергию. Таким образом, добавочная гравитационная энергия может служить в качестве объемного источника энергии. Из общих соображений следует, что добавочная гравитационная энергия как потенциальная энергия взаимодействия должна быть одного порядка с кинетической энергией вращения, однако для получения более точных данных и с целью дальнейших конкрет-

ных применений нами были проведены соответствующие численные расчеты.

В настоящей работе методом, изложенным в [2—4], рассчитаны модели вращающихся и статических конфигураций, состоящих из идеального нейтронного газа. Такой состав был выбран специально для того, чтобы исключить вклад энергии взаимодействия в добавку к энергии, обусловленную вращением. Для всех вращающихся конфигураций имеется верхний предел угловой скорости Ω_m , являющийся функцией полного числа барионов N (или полной массы M). Эту зависимость можно аппроксимировать параболой

$$\Omega_m (\text{сек}^{-1}) = 10^4 (-0.003673 - 0.046947 N_{57} + 0.616801 N_{57}^2). \quad (1)$$

Здесь и в дальнейшем все величины измеряются в единицах CGS, а $N_{57} = 10^{-57} N$. Для устойчивой ветви кривой $M(N)$ нейтронных конфигураций полное число барионов N изменяется в интервале $0.232 \leq N_{57} \leq 0.877$, а максимальная угловая скорость — в интервале $82 \text{ сек}^{-1} \leq \Omega_m \leq 4700 \text{ сек}^{-1}$. Интересующие нас интегральные параметры вращающихся конфигураций были рассчитаны в приближении Ω^2 и в предположении, что угловая скорость вращения является максимально возможной без истечения вещества (в работах [5, 6] показано, что это приближение является хорошим). В частности, была получена добавка к массе, обусловленная вращением (для фиксированного числа барионов)

$$\Delta M_m = M_{\text{вр.}} - M_{\text{ст.}} \quad (2)$$

Энергия, соответствующая ΔM_m , складывается из двух слагаемых

$$\Delta E_m = \Delta M_m c^2 = W_m + T_m, \quad (3)$$

где W_m — добавка к гравитационной энергии, а $T_m = J\Omega_m^2/2$ — кинетическая энергия вращения.

Для конфигураций, вращающихся с угловой скоростью $\Omega \leq \Omega_m$, соответствующие величины определяются следующим образом:

$$\Delta M = \Delta M_m \frac{\Omega^2}{\Omega_m^2}, \quad W = W_m \frac{\Omega^2}{\Omega_m^2}, \quad T = T_m \frac{\Omega^2}{\Omega_m^2}. \quad (4)$$

Величины ΔE_m , W_m , T_m и отношение $\alpha = W_m/T_m$ хорошо аппроксимируются следующими полиномами:

$$\begin{aligned} \Delta E_m &= 10^{52} (0.509462 - 3.241371 N_{57} + 5.572411 N_{57}^2), \\ T_m &= 10^{52} (0.181036 - 1.01573 N_{57} + 1.46041 N_{57}^2), \\ W_m &= 10^{52} (0.328426 - 2.22564 N_{57} + 4.112001 N_{57}^2), \\ \alpha &= 11.71735 - 17.91589 N_{57} + 10.032405 N_{57}^2. \end{aligned} \quad (5)$$

Для рассмотренных конфигураций a изменяется в пределах $10 \lesssim a \lesssim 4$.

Выражения (4), (5) и (1) позволяют вычислить все добавки, обусловленные вращением, для случая, когда угловая скорость отличается от максимальной.

Теперь приведем некоторые оценки. Возраст пульсара в Крабовидной туманности порядка 1000 лет, а $\Omega/|\dot{\Omega}| \approx 2500$ лет, следовательно, время жизни этого пульсара порядка $\tau \sim 3500$ лет. Полное количество энергии, излучаемое пульсаром за все время жизни, будет равно $\Delta E \approx \tau L \approx 10^{47} - 10^{48}$ эрг. Для пульсара в Крабовидной туманности частота вращения равна 200 сек^{-1} . Выполненные в этой работе численные расчеты показывают, что указанную энергию ΔE с избытком могут обеспечить все те конфигурации устойчивой ветви кривой $M(N)$, которые вращаются с угловой скоростью $\Omega \approx 200 \text{ сек}^{-1}$ (укажем, что у большинства барионных конфигураций $\Omega_m > 200 \text{ сек}^{-1}$). Так, например, для конфигурации с $N = 8.13 \cdot 10^{56}$ имеем $\Omega_m = 3600 \text{ сек}^{-1}$, поэтому $W = W_m(\Omega/\Omega_m) = 1.24 \cdot 10^{52} (200/3600)^2 \text{ эрг} \approx 4 \cdot 10^{49} \text{ эрг}$.

В заключение отметим, что порядок добавочной гравитационной энергии W_m можно оценить следующим образом. Гравитационная энергия сферического тела массы M и радиуса R порядка $-GM^2/R$, поэтому добавка к ней, обусловленная деформацией, приблизительно равна $(GM/R^2)\overline{\Delta R}$, где $\overline{\Delta R}$ — изменение радиуса, усредненное по звезде и равное $(\Delta R_p + \Delta R_e)/2 \approx (\Delta R_p + \Delta R_e)/4$, $\Delta R_p = R_p - R$, $\Delta R_e = R_e - R$, а R_p и R_e — полярный и экваториальный радиусы вращающейся конфигурации. Подставляя M , R и $\overline{\Delta R}$ из численных расчетов, получим значения W_m , хорошо согласующиеся с (5). Так, например, для конфигурации с $N = 8.13 \cdot 10^{56}$ эта оценка дает $W_m \approx 0.87 \cdot 10^{52} \text{ эрг}$.

Авторы выражают глубокую благодарность академику В. А. Амбарцумяну и участникам семинара кафедры теоретической физики ЕГУ за полезные обсуждения.

Energy in rotating neutron stars. Integral parameters of the rotating neutron stars and addition mass and energy, due to the deformation of rotation, are calculated. It is shown that the addition of this energy is enough to provide the observed luminosity of pulsars.

31 марта 1972

Ереванский государственный
университет

Р. М. АВАКЯН,
Г. Г. АРУТЮНЯН,
Г. С. СААКЯН

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Р. М. Авакян, Г. С. Саакян, Д. М. Седракян, Ученые записки ЕГУ (в печати).
2. Д. М. Седракян, Э. В. Чубарян. *Астрофизика*, 4, 239, 1968.
3. Д. М. Седракян, Э. В. Чубарян. *Астрофизика*, 4, 481, 1968.
4. Г. Г. Арутюнян, Д. М. Седракян, Э. В. Чубарян. *Астрон. ж.*, 48, 496, 1971.
5. В. В. Паполян, Д. М. Седракян, Э. В. Чубарян. *Астрон. ж.*, 48, 1195, 1971.
6. Д. М. Седракян. Докторская диссертация, ЕГУ, 1972.

О ВОЗМОЖНОСТИ ВСПЫШКИ БЕЛЫХ КАРЛИКОВ

В Nature опубликована заметка Вернера и др. [1] о зарегистрированной ими вспышке одной голубой переменной — G 44-32, которая зачислена в список белых карликов [2]. Амплитуда повышения яркости во время этой вспышки (7.II.1970) оказалась равной $0^m.61$ в В-лучах. Продолжительность вспышки, судя по приведенной в статье [1] световой кривой, порядка одной минуты. Сама световая кривая имеет форму, типичную для вспышки холодных карликовых звезд.

Вспышка, как правило, свойственна молодым карликовым звездам поздних типов, эффективная температура которых порядка 3000°K . Если отвлечься от допущения, довольно тривиального, что упомянутая вспышка звезды G 44-32 может быть вызвана ее невидимым красным спутником-карликом, то сам факт вспышки карликовой звезды раннего типа должен представить определенный интерес.

Согласно ранее развитым представлениям [3, 4], вспышка карликовых звезд спектрального типа К-М вызвана появлением в наружных областях звезды так называемых быстрых электронов, энергия которых порядка $1-2 \text{ Мэв}$. Неупругие взаимодействия этих электронов с исходящими из фотосферы звезды инфракрасными фотонами (обратный комптон-эффект) приводят к быстрому и резкому усилению коротковолновой области спектра звезды. Разработанная на основе этого представления („гипотеза быстрых электронов“) количественная теория [3, 4] позволяет найти все основные параметры вспышки, в том числе показатели цвета и амплитуды вспышек в U, В и V лучах в зависимости от полного количества появившихся во время вспышки быстрых электронов или от τ — эффективной оптической толщины слоя или облака из быстрых электронов на процессы томсоновского рассеяния. При этом подавляющее количество зарегистрированных вспышек у объектов типа UV Cet оказалось соответствующим значению τ порядка $0.001 + 0.0001$.