

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 13

МАЙ, 1977

ВЫПУСК 2

К РАБОТЕ «МАГНИТОСФЕРА БАРИОННЫХ ЗВЕЗД»

Р. М. АВАКЯН, Г. П. АЛОДЖАНЦ, Г. С. СААКЯН, Д. М. СЕДРАКЯН

Поступила 13 апреля 1976

В настоящем сообщении показано, что модель магнитосферы барионных звезд, разработанная ранее в работе [1], позволяет объяснить наблюдаемое оптическое излучение пульсара в Крабовидной туманности. При этом учтена возможность пополнения частиц в магнитосфере за счет выброса вещества из центрального тела.

1. *Время жизни и оптическое излучение пульсаров.* В наших предыдущих работах [1—3] была установлена возможность существования кольцеобразной плазменной магнитосферы у пульсаров. Исследовались физические условия в ней и определялись ее параметры. Существование плазменной магнитосферы возможно лишь при температурах $T > 10^4$ °К. В работе [3] было показано, что необходимый подогрев плазмы осуществляется в основном джоулевым теплом дрейфовых токов, обусловленных вращением. (Сама магнитосфера в целом жестко вращается со звездой). Оказалось, что температура магнитосферной плазмы пульсара P0531 порядка $5 \cdot 10^4$, а у других со сравнительно большими периодами $T \sim 10^4 \div 10^6$.

Модель магнитосферы, разработанная в [1—3], в принципе позволяет объяснить оптическое излучение пульсара в Крабовидной туманности, однако при этом время жизни магнитосферы оказывается недопустимо малым. Если же согласовать время жизни P0531 с предполагаемым ($\sim 10^{10}$ сек), то оптическое излучение оказывается меньше наблюдаемого.

Эта трудность связана с тем, что учитывалась только утечка частиц из магнитосферы. Имеется, однако, возможность пополнения частиц в магнитосфере за счет выброса вещества из центрального тела (пополнение магнитосферы за счет аккреции неэффективно, т. к. оно возможно только для частиц с очень высокой энергией).

Выброс может осуществляться, например, благодаря вулканической активности центрального тела. Вулканический выброс вещества, по-види-

тому, можно связать с наблюдаемыми скачками периода пульсаров P0531 и P0833. Эти скачки у пульсара P0531 имеют место примерно раз в 3 месяца, а величина скачка $\Delta\Omega/\Omega \approx 3 \cdot 10^{-9}$ [4].

Исходя из этих данных, оценим число частиц, инжектируемых звездой в магнитосферу при одном скачке. Из закона сохранения момента количества движения имеем $\Delta M v R \approx \Delta(I\Omega) = I\Delta\Omega + \Omega\Delta I$.

Здесь M , R , $I \approx MR^2$ — масса, радиус и момент инерции звезды, ΔM — масса выброшенного вещества, v — скорость частиц, в момент отрыва от поверхности звезды. Для того, чтобы протон мог достичь магнитосферы, скорость его должна быть $v \gtrsim 10^{10}$ см/сек.

Учитывая, что $\Delta I \approx R^2 \Delta M$, имеем

$$\Delta M = \frac{I\Delta\Omega}{vR(1 - \Omega R/v)}.$$

Отсюда, принимая для пульсара в Крабовидной туманности $\Omega = 190$ сек $^{-1}$, $M = 0.5 M_\odot$, $R = 1.4 \cdot 10^8$ см, $I = 3.7 \cdot 10^{44}$ г·см 2 , находим $\Delta M \approx I \cdot \Delta\Omega / vR$ и для числа частиц, инжектируемых при одном скачке периода

$$\Delta N \approx \frac{I\Omega}{vRm_p} \frac{\Delta\Omega}{\Omega} \approx 10^{46},$$

где m_p — масса протона. Конечно, лишь часть этих частиц (по-видимому $\approx 10\%$) окажется захваченной магнитосферой.

Для объяснения наблюдаемой оптической светимости P0531 ($L = 10^{33}$ эрг/сек), число частиц в магнитосфере должно быть $N \approx 10^{41}$. В такой магнитосфере без учета инжекции время уменьшения числа частиц вдвое составляет $t_0 \approx 0.6$ месяцев. Однако рассмотренный выше механизм инжекции компенсирует утечку частиц из-за диффузии и поэтому плазма будет находиться в квазистационарном состоянии с приблизительно неизменным числом частиц $N \approx 10^{41}$.

Таким образом, следуя работе [3], можно утверждать, что оптическое излучение P0531 можно объяснить тормозным излучением частиц магнитосферы. Основной вклад в это излучение дает небольшая область вблизи светового цилиндра $r = c/\Omega$, где скорость вращения плазмы близка к скорости света. Вследствие этого наблюдаемое нами излучение имеет резко направленный характер, а пульсацию излучения можно объяснить явлением прецессии магнитосферы. Спектр оптического излучения (с учетом релятивизма) имеет вид [3]

$$I(\omega) d\omega = 6.7 \cdot 10^{18} \left[\ln \frac{9.3}{\frac{\omega}{30 \cdot 10^{15}}} - 0.89 \right] d\omega,$$

который имеет завал в инфракрасной области.

2. Об электрическом поле в магнитосфере пульсаров. В работах [1—3] предполагалось, что плазма вовлекается во вращательное движение магнитным полем центрального тела. Остановимся подробнее на этом вопросе. Проводимость магнитосферной плазмы очень велика:

$$\sigma = 7 \cdot 10^7 \frac{T^{3/2}}{\text{А}} = 10^{13} T_4^{3/2} \text{CGSE},$$

поэтому в системе отсчета, жестко связанной с плазмой, электрическое поле должно практически отсутствовать. Если рассматривать плазму как сплошную проводящую среду $\sigma \rightarrow \infty$, то, как хорошо известно из магнитной гидродинамики, плазма будет увлекаться магнитными силовыми линиями вращающейся звезды.

Относительно неподвижного наблюдателя плазма вращается со скоростью $\vec{v} = [\vec{\Omega} \vec{r}]$, а электрическое поле в его системе отсчета равно

$$\vec{E} = -\frac{1}{c} [\vec{v} \vec{B}].$$

Отметим, что в отличие от [5] продольная компонента электрического поля отсутствует во всех системах отсчета ввиду большой проводимости плазмы.

Движение отдельных частиц (электронов, протонов) можно изучить, используя дрейфовое приближение. При этом для скорости поперечного дрейфа имеем [6]

$$\vec{u}_{\perp} = c \frac{[\vec{E} \vec{B}]}{B^2} - \frac{cm}{eB^2} \left[\frac{d\vec{u}_{\perp}}{dt}, \vec{B} \right]$$

(здесь опущен дрейф, связанный с неоднородностью $\vec{B}$).

Отсюда, учитывая малость второго члена, методом последовательных приближений можно найти $\vec{u}_{\perp}$. В нулевом приближении частица жестко вращается со звездой

$$\vec{u}_{\perp} = c \frac{[\vec{E} \vec{B}]}{B^2} = [\vec{\Omega} \vec{r}].$$

В первом приближении имеем для электронов

$$\vec{u}_{\perp} = [\vec{\Omega} \vec{r}] - \frac{m_e c \Omega^2}{eB^2} [r \vec{B}],$$

а для протонов

$$\vec{u}_{\perp} = [\vec{\Omega} \vec{r}] + \frac{m_p c \Omega^2}{eB^2} [r \vec{B}].$$

Таким образом, уже в первом приближении скорость дрейфа электронов и протонов различна, что является причиной возникновения дрейфового тока в плазме.

Ереванский государственный
университет

CONCERNING THE WORK "MAGNITOSPHERE OF THE BARION STARS"

R. M. AVAKIAN, G. P. ALOJANTS, G. S. SAHAKIAN, D. M. SEDRAKIAN

It has been shown that the model for magnitosphere of barion stars which has been earlier investigated in paper [1], led to the explanation of optical spectrum of Crab Nebula. The injection of particles from the central body will keep the magnitosphere in quasistationary state.

ЛИТЕРАТУРА

1. Р. М. Авакян, А. К. Авестисян, Г. П. Алоджанц, Г. С. Саакян, Д. М. Седракий, Э. В. Чубарян, *Астрофизика*, 11, 109, 1975.
2. Г. С. Саакян, Д. М. Седракий, Э. В. Чубарян, Р. М. Авакян, Г. П. Алоджанц, *Астрофизика*, 11, 679, 1975.
3. Р. М. Авакян, Г. П. Алоджанц, Г. С. Саакян, Д. М. Седракий, *Астрофизика*, 12, 339, 1976.
4. Дж. С. Цакадзс, С. Дж. Цакадзс, *УФН*, 115, 503, 1975.
5. Я. П. Терлецкий, *Труды Международной конференции по космическим лучам*, т. III, 1960, стр. 239.
6. Б. Ленерт, *Динамика заряженных частиц*, Атомиздат, М., 1967.