

СТЯГИВАЮЩИЕСЯ СИСТЕМЫ ГИПЕРОНОВ И ЭВОЛЮЦИЯ ЗВЕЗД

В. А. ФИЛИМОНОВ

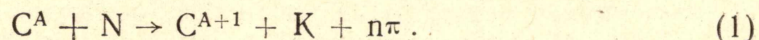
(Представлена научно-техническим семинаром лаборатории
высоких энергий НИИ ЯФ)

Несмотря на значительные усилия, пока что не удалось выяснить до конца причины, предотвращающие стягивание ядерного вещества в область размера радиуса действия нуклон-нуклонных сил. Трудности установления определенного механизма для объяснения насыщения в ядерном веществе позволяют считать это свойство случайным, присутствующим только нуклонам и не обязательным для других барионов. Например, нельзя быть уверенным в том, что системы гиперонов будут вести себя подобно обычным ядрам. Поэтому следует учитывать возможность того, что такие системы не обладают свойством насыщения [1, 2].

При отсутствии насыщения система гиперонов будет образовывать компактный объект размером порядка комптоновской длины волны λ -мезона, напоминающий сильновзаимодействующую частицу. Такие объекты были названы коллапсонами [3].

В работе [4] рассматривались некоторые свойства стянутых систем гиперонов. Было получено, что при определенных предположениях относительно сил, действующих внутри коллапсона, он будет стабильным, если его барионное число $A > A_y \approx 50$. В этом случае ядра с $A > A_y$ приобретают возможность коллапса посредством слабого взаимодействия с превращением нуклонов в гипероны. Это процесс A_y -го порядка по слабому взаимодействию. Оцененное время жизни ядер по отношению к такому процессу $\tau \sim 10^{12} A_y^{-33}$ лет. Это время жизни столь велико, что подобное превращение ядер следует считать невозможным.

В настоящее время из-за отсутствия теории сильных взаимодействий нельзя предсказать свойства коллапсонов. Но можно предугадать некоторые особенности их поведения. Прежде всего следует отметить их способность к поглощению в сильном взаимодействии нуклонов с образованием K -мезонов для баланса гиперзаряда:



В (1) C обозначает коллапсон, A — его барионный заряд. Мы будем предполагать, что в процессе (1) масса покоя нуклона преобразуется в массу K -мезона, пионов и кинетическую энергию конечных продуктов.

Условия, необходимые для протекания реакции (1), зависят от заряда коллапсона. Для данного A существует заряд Z , при котором коллапсон имеет наименьшую массу и, следовательно, является стабильным. В плоскости (A, Z) стабильным коллапсонам будет соответство-

вать некоторая линия. Эта линия условно изображена на рис. 1 сплошной кривой. В вакууме коллапсоны будут распадаться, приближаясь в плоскости (A, Z) к линии стабильности по вертикальным прямым. В веществе отрицательно заряженный коллапсон будет захватываться ядрами и поглощать нуклоны. Барийонное число его при этом увеличивается, и в плоскости (A, Z) он движется вправо по некоторой траектории, которая на рис. 1 условно обозначена пунктирной линией. Процесс поглощения нуклонов коллапсоном будет продолжаться до тех пор, пока его заряд не станет положительным. Затем, претерпев распада, коллапсон достигнет линии стабильности и будет оставаться в этом положении практически бесконечно долго, так как взаимодействие его с ядрами будет подавлено кулоновским барьером. Положительный коллапсон ведет себя в веществе подобно обычным ядрам. (При некоторых условиях в веществе, состоящем из двух компонент — коллапсонной и ядерной, может возникнуть самоподдерживающийся процесс поглощения нейтронов. Эта возможность будет рассмотрена ниже).

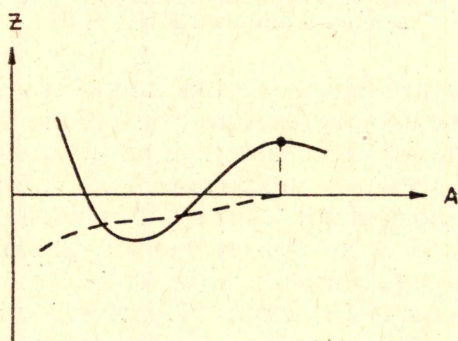


Рис. 1. Траектория коллапсона (пунктирная кривая) в плоскости (A, Z) при поглощении нуклонов и распадах.

Энергия, генерируемая отрицательным коллапсоном в веществе, определяется средним временем между двумя последовательными актами реакции (1). Если принять в качестве этого времени $t \sim 10^{-10}$ с, то генерируемая энергия составит $\sim 10^7$ эрг/с. Положительно заряженные коллапсоны будут активными в нейтронной среде. В нейтронном веществе при ядерной плотности время протекания процессов под действием сильных взаимодействий $\sim 10^{-22}$ с. Генерация энергии единичным коллапсоном в такой среде может происходить со скоростью 10^{19} эрг/с.

Коллапсоны не могут возникнуть вследствие распадов обычных ядер. Но они могут образоваться на определенной стадии эволюции звезд в процессе нейтронизации вещества. Как показывают расчеты [5], при достижении нейтронным веществом плотности $\approx 3 \cdot 10^{14}$ г/см³ в нем начинает возникать гиперонная компонента. Обычно принимается — без достаточных на то оснований, — что она ведет себя подобно нуклонному веществу, в частности, обладает таким же свойством насыщения. В случае отсутствия насыщения гипероны будут стягиваться в коллапсоны, а последние энергично взаимодействовать с нейтронами. Нейтронизация вещества происходит в результате гравитационного сжатия. Достижение плотностей, при которых начинают образовываться коллапсоны, приведет к включению мощного механизма генерации энергии за счет процесса (1). Так как скорость и размер выделения энергии велики, подобный процесс может не только приостановить дальнейший гравитационный коллапс, но и рассеять вещество, сжатое гравитационными силами.

В свете сказанного нельзя считать достаточно обоснованными заключения, что конечной стадией эволюции звезд большой массы является образование самозамкнувшегося объекта — «черной дыры». Это лишь одна из многих возможностей, допускаемых существующими неясностями в понимании сильных взаимодействий элементарных частиц.

Рассмотрим теперь упомянутый выше самоподдерживающийся процесс поглощения нейтронов коллапсонами в веществе. Пусть имеется вещество, состоящее из двух компонент. Одна компонента имеет в качестве ядер атомов положительно заряженные коллапсоны, вторая — обычные нуклонные ядра. При поглощении коллапсоном случайного нейтрона происходит реакция «аннигиляции» нейтрона (1) с образованием K^+ - или K^0 -мезона и нескольких π -мезонов. Дополнительные π -мезоны возникают при распаде K -мезонов. В среднем на один акт «аннигиляции» нейтрона следует ожидать образования примерно одного π -мезона с отрицательным зарядом. Если плотность вещества достаточно велика (>1 г/см³), π^- -мезоны будут захватываться ядрами. Поглощение π^- -мезонов ядрами происходит в основном посредством квазиэлектронного механизма по схеме $\pi^- + d \rightarrow n + n$ с образованием по крайней мере двух нейтронов. Испущенные нейтроны в свою очередь имеют определенную вероятность быть захваченными коллапсонами и т. д. В результате может возникнуть самоподдерживающийся процесс поглощения нейтронов.

Этот процесс приведет к появлению нейтронных и π^- -мезонных потоков с некоторыми плотностями токов j_n и j_π соответственно. Введем обозначения: $\sigma_{ня}$, $\sigma_{нк}$, $\sigma_{\pi я}$, $\sigma_{\pi к}$ — средние сечения поглощения нейтронов и π^- -мезонов на ядрах и коллапсонах; $\rho_я$, $\rho_к$ — число ядер и коллапсонов в единице объема соответственно; ν_π , ν_n — средний выход π^- -мезонов и нейтронов на один акт поглощения нейтрона коллапсоном и π^- ядром соответственно. Тогда при установившемся режиме будем иметь

$$j_n (\sigma_{ня} \rho_я + \sigma_{нк} \rho_к) - j_\pi \sigma_{\pi я} \nu_n \rho_я = 0, \quad (2)$$

$$j_n \sigma_{нк} \rho_к \nu_\pi - j_\pi (\sigma_{\pi я} \rho_я + \sigma_{\pi к} \rho_к) = 0.$$

Из условия разрешимости этой системы следует условие, при котором возможно существование самоподдерживающегося процесса:

$$\nu_n \nu_\pi \geq 1 + x + 2\sqrt{x}, \quad (3)$$

$$x = \sigma_{ня} \sigma_{\pi к} / \sigma_{нк} \sigma_{\pi я}.$$

Если принять $\nu_n \nu_\pi \approx 2$, то для максимально возможного значения x получим оценку $x_m \approx 0,17$. Минимально возможное значение плотности коллапсонов при этом будет

$$\rho_к \min = (\sigma_{ня} / \sigma_{нк}) \rho_я / x_m^{1/2}. \quad (4)$$

Поглощение нейтронов ядрами происходит посредством радиационного захвата, в то время как поглощение нейтронов коллапсонами осуществляется за счет сильного взаимодействия (1). Поэтому можно предположить, что $\sigma_{ня} / \sigma_{нк} \sim 0,01$. Тогда для минимальной концентрации коллапсонов, при которой возможно установление самоподдерживающегося процесса, будем иметь оценку

$$\rho_к \min \sim 0,02 \rho_я. \quad (5)$$

При построении моделей квазаров и ядер галактик основной трудностью, с которой приходится сталкиваться, является отсутствие достаточно долго действующих источников энергии, способных поддерживать наблюдающееся излучение этих объектов. В рассмотренных здесь

процессах генерируется энергия в масштабах, превосходящих энерговыделение при всех других известных явлениях, происходящих в обычном веществе. Можно предположить, что разновидности коллапсонных процессов имеют место внутри квазаров и ядер галактик.

По существующим оценкам масса квазара $M \sim 10^{43}$ г, а мощность его излучения $\sim 10^{47}$ эрг/с [6, 7]. Чтобы обеспечить такое излучение за счет поглощения коллапсонами нейтронов в нейтронном веществе, необходимо допустить существование в нем $\sim 10^{28}$ коллапсонов, что составляет 10^{-39} к числу нуклонов. Считается, что время жизни квазара $\sim 10^{14}$ с. За это время барионный заряд каждого коллапсона в среднем увеличится на 10^{36} единиц.

Если в качестве источника энергии квазаров принять рассмотренный выше самоподдерживающийся процесс поглощения нейтронов, то в этом случае не требуется большая плотность вещества, но необходима высокая концентрация коллапсонов (5). Выделяющаяся энергия определяется выражением

$$\frac{dE}{dt} = j_n \sigma_{ня} M c^2 / A_{я} X^{1/2}, \quad (6)$$

где $A_{я}$ — среднее массовое число ядер. Для поддержания наблюдающегося излучения квазара необходимы потоки нейтронов

$$j_n \sim 10^9 \text{ с}^{-1} \text{ см}^{-2}.$$

Все, о чем здесь говорилось, основывается на предположении о специфическом характере взаимодействия гиперонов. Это предположение на современном уровне не может быть ни доказано, ни опровергнуто. Но точно такой же характер носят и все другие обсуждающиеся в литературе предположения относительно поведения вещества при плотностях выше ядерной. Рассмотренная здесь возможность не противоречит никаким фундаментальным законам физики и ее реализация в природе вполне допустима.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Филимонов. ЖЭТФ, **36**, 1941, 1959.
2. В. А. Филимонов. Изв. вузов, «Физика», № 1, 60, 1960.
3. В. А. Филимонов. IV международная конференция по физике высоких энергий и структуре ядра. D 1-5988, 32, Дубна, 1971.
4. В. А. Филимонов. Изв. вузов, «Физика», № 12, 119, 1972.
5. W. D. Langer, L. C. Rosen. Astrophys. Space Sci., **6**, 211, 1970.
6. G. R. Burbidge, M. Burbidge, F. Hoyle, C. Lynds. Nature, **210**, 774, 1966.
7. J. L. Greenstein, T. A. Matthews. Nature, **197**, 1041, 1963.