

ФИЗИКА

ЗАХВАТКИН Александр Юрьевич

Россия, г. Балашиха

О ПРИРОДЕ ЗВЁЗДНОЙ ПУЛЬСАЦИИ

Аннотация. Рассматриваются вопросы природы переменной светимости звёзд в широком интервале периодов от микросекунд до нескольких лет в контексте электромагнитной инверсии и «электронного тумана».

Ключевые слова: пульсары, цефеиды, инверсиды, магнитный диполь, дипольный туннель, электронный туман, солнечный ветер.

3 августа 1596 г. протестантский пастор Восточной Фрисландии Д. Фабр (Фабрициус) обнаружил новую звезду в созвездии Кита и проследил уменьшение ее блеска от второй величины до невидимости для невооруженного глаза. В 1609 г. он обнаружил эту звезду вновь, а в 1631 г. её наблюдал немецкий астроном В. Шикард. Таким образом, впервые была обнаружена звезда, которая проявляла переменную светимость. Интересно, что звезда Фабрициуса в промежутке между двумя его наблюдениями была нанесена немецким астрономом Й. Байером на карту его знаменитого звездного атласа (1603 г.) под именем ϵ Кита (Омикрон Кита), причем Байер, очевидно, ничего не знал ни об открытии Фабрициуса, ни о её переменной светимости.

С 1639 г. за ϵ Кита стали следить систематически. Так, польский астроном Ян Гевелий в течение двадцати трёх лет (с 1659 по 1682 г.) произвел тщательные наблюдения этого переменного светящегося объекта и определил период колебания её светимости, который оказался равным примерно 333 суткам. Большую часть этого времени звезда не видна невооруженным глазом, так как имеет примерно десятую положительную звездную величину. Лишь через пять месяцев глаз начинает с трудом замечать крохотную искорку на установленном для неё месте. Искорка разгорается и за три месяца достигает второй положительной звездной величины. Затем, продержавшись пятнадцать дней во всей своей красе, начинает так же не торопясь угасать, и через три месяца снова скрывается. Восхищенный Гевелий назвал ее «Мирой»,

что в переводе с латинского означало «дивная» или «удивительная».

Результаты Гевелия в 1667 г. подтвердил французский астроном И. Буйо, что изменения её блеска носят периодический, но не устойчивый, характер, со средним периодом пульсации яркости – 332 дня, при изменении её яркости в видимом диапазоне в сотни раз в ходе одного цикла, тогда как (это уже было установлено позже) в инфракрасной части спектра яркость колеблется всего в два раза. Эта существенная разница в интенсивности колебаний мощности излучения в оптическом и тепловом диапазонах указывает на нетепловой характер наблюдаемой пульсации. Поэтому все предложенные гипотезы теплового объяснения звездной пульсации не могут рассматриваться, как отражающие реальную физику наблюдаемого явления.

В 1784 году голландский глухонемой девятнадцатилетний астроном-любитель Джон Гудрайк, получивший образование в Англии, представил в Лондонское королевское общество обстоятельное исследование изменения блеска звезды Дельты Цефея, которая регулярно с периодом в 5 суток 8 часов 52 минуты и 48 секунд меняла свой блеск. Подобная регулярность изменения блеска, так же указывала на нетепловой характер процесса звездной пульсации. В 1785 г. Гудрайк во время наблюдения за звездами сильно переохладился и умер, а в следующем, 1786 г., его сосед по поместью, Э. Пиготт опубликовал первый список переменных звезд. В этом списке было 12 объектов, среди них были две сверхновые, одна новая, 4 звезды

типа Миры Кита, две цефеиды, две затменных звезды, а также специфический объект «P Cug» /1/.

Фактически, с этого времени берут свое начало регулярные наблюдения за переменными звёздами. К началу 20-го века уже были открыты тысячи цефеид. Некоторые из них были ярче остальных, другие имели более длительные периоды уменьшения яркости, среди них были звёзды в самом широком спектральном диапазоне.

В 1908 году, анализируя цефеиды, находящиеся в Большом Магеллановом Облаке, американский астроном Генриетта Суон Ливитт

обнаружила, что существует связь между их яркостью и периодом пульсации.

В 1913 году датский астроном Эйнар Герцшпрунг установил, что цефеиды в Магеллановых Облаках – такие же, как и в окрестностях Солнца, и открытая Ливитт зависимость периода и светимости везде одинакова. Тогда же Герцшпрунг ввёл обозначение «цефеида» – по названию звезды δ Цефея.

С тех пор параметры этой зависимости неоднократно уточнялись. В настоящее время общепринята зависимость звездной величины (блеска) от периода пульсации для классических цефеид в виде представленном на рисунке 1.

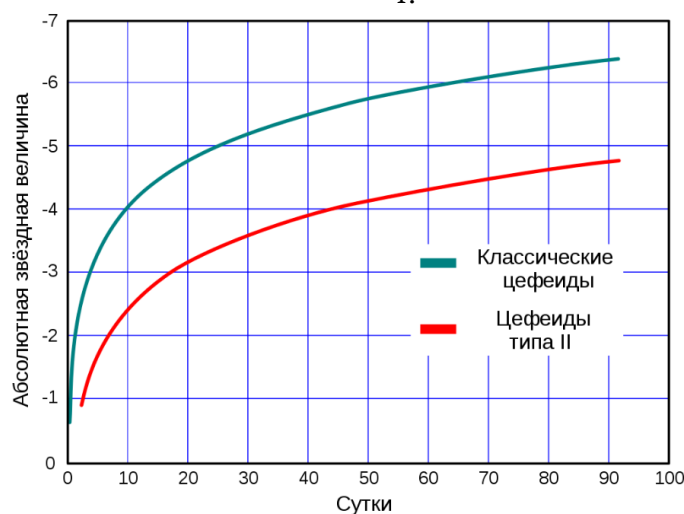


Рис. 1. Зависимость абсолютной звездной величины (блеска) от периода пульсации

Представленные графики показывают прямую зависимость увеличения блеска звёзд от продолжительности периода пульсации, с одной стороны, а с другой, позволяют выделить два класса переменных звёзд, которые сохраняют установленную зависимость, но при этом имеют иной уровень блеска при схожих параметрах периода пульсации.

Для того, чтобы объяснить представленные зависимости необходимо объяснить механизм увеличения мощности излучения от увеличения продолжительности периода пульсации блеска.

Во-первых, увеличение периода, наиболее вероятно, связано с угловой скоростью вращения звёзд. Эту версию подтверждают пульсары, у которых частота пульсации кратна больше частоты пульсаций цефеид. Если частота пульсации связана с угловой скоростью вращения звёзд, то увеличение периода пульсации на представленных графиках является следствием уменьшения угловых скоростей звёзд. С другой стороны, уменьшение угловой скорости

вращения звёзд явно связано с увеличением их блеска. Эта зависимость может говорить только об одном: чем больше временной интервал между наблюдаемой максимальной активностью, тем больше энергии накапливается в звезде, для того чтобыкратно увеличить свой блеск. Но поскольку уменьшение угловой скорости для вращающихся тел, как правило, связано с увеличением их радиуса, то можно предположить, что существует некая астрономическая константа, связывающая между собой период обращения звезды с её радиусом:

$$k_{\text{ты}} = R/T$$

Где:

R – устойчивый радиус звезды (0,75 наблюдаемого радиуса), м;

T – период обращения звезды вокруг собственной оси по устойчивому радиусу, с.

В настоящее время эту константу мы можем вычислить только по характеристикам Солнца.

Наблюдаемый радиус Солнца равен $6,957 \cdot 10^8$ м, соответственно устойчивый радиус равен $5,21775 \cdot 10^8$ м.

$T = 27,2753$ суток = 2356586 с.

Таким образом, звёздная константа по устойчивому радиусу (0,75 наблюдаемого) равна:

$$k_{\text{ты}} = 5,21775 \cdot 10^8 / 2356586 = 221,41 \text{ м/с} = 0,0275 \text{ R}_{\text{C}}/\text{сут}$$

Где $R_{\text{C}}/\text{сут}$ – отношение полного радиуса звезды выраженного в радиусах Солнца к периоду её обращения вокруг своей оси в сутках.

Таким образом, если исходить из предположения, что звёздная пульсация является следствием вращения звёзд, то можно, зная, период пульсации, рассчитать фактический радиус звезды. В таблице представлены результаты такого расчёта для некоторых переменных звёзд.

При этом, следует предположить, что водородные звёзды ограничиваются нижним периодом пульсации около одних суток, ниже которых располагаются звёзды переходного периода, это «пульсары» в активной фазе формирования водорода с условным названием «дейтериды» и «ателиды» /2/. От водородных звёзд их

отличает водородно-протонная дисперсия, которая позволяет им сохранить высокую угловую скорость вращения, за счёт увеличенной плотности. Для вычисления радиуса «дейтеридов» и «ателидов», до начала синтеза в них гелия, звездную константу водородных звезд необходимо увеличить на поправочный коэффициент $1000/3$:

$$K_{\text{ты}} = 1000k_{\text{ты}} = 27,5 \text{ R}_{\text{C}}/\text{сут}$$

Последний класс переменных звёзд представляют собой, собственно, протонные пульсары с периодом пульсаций в секундах и ниже, в которых ещё нет водорода, либо он присутствует фрагментарно. Поправочный коэффициент для них необходимо умножить на 100 по отношению к предыдущему классу пульсирующих звёзд:

$$K_{\text{ты}} = 100 * 27,5 = 2750 \text{ R}_{\text{C}}/\text{сут}$$

Предложенная в таблице классификация основана на концепте происхождения пульсации звёздного блеска за счёт движения электронов в магнитном поле звезды.

Таблица

Радиусы некоторых переменных звёзд

наименование	период сутки	радиус		отношение радиуса электронного тумана к устойчивому радиусу звезды	примечание
		Расчётный устойчивый $k_{\text{ты}} = 0,0275 \text{ R}_{\text{C}}/\text{сут}$	предполагаемый в настоящее время [расчётно-наблюдаемый]		
ИНВЕРСИДЫ					
	> 365				по периоду инверсии
Солнце	7665±365** 27,2753***	0,75R _C	R _C (наблюдаемый)	-	дипольная инверсия
Бетельгейзе* (α Ориона)	2008±548** 300±150***	8,25R _C	(702 ÷ 816) R _C (11,6 ÷ 19) R _C [11,0R _C]	69	/4/
ЦЕФЕИДЫ					
	0,8 ÷ 1500	расчётный $k_{\text{ты}} = 0,0275 \text{ R}_{\text{C}}/\text{сут}$	предполагаемый в настоящее время [расчётно-наблюдаемый $k_{\text{ты}} = 0,03666 \text{ R}_{\text{C}}/\text{сут}$]		по периоду вращения сфероида
NML Cygn*	940–1280 ср. 1110	30,5R _C	(1183 ÷ 2770) R _C [40,7R _C]	48,6	/5/
Зайца R*	432,47	11,9R _C	(480 ÷ 535) R _C [15,86R _C]	32,0	
Чи (кси) Лебедь*	395±40	10,86R _C	(348 ÷ 480) R _C [14,48R _C]	28,6	Δ = 10,9 ЗВ max: -3,3 ЗВ min: +7,7 ЗВ в отдельные периоды max: +5 ÷ +7 ЗВ

наименование	период сутки	радиус		отношение радиуса элек- тронного ту- мана к устой- чивому ради- усу звезды	примечание
		Расчётный устойчивый $k_{\text{тн}} = 0,0275 R_{\text{с}}/\text{сут}$	предполагаемый в настоящее время [расчётно- наблюдаемый]		
Мира А*	331,65	9,12R _с	(330 ÷ 400) R _с [12,16R _с]	30,0	$\Delta = 8,1 \text{ ЗВ max:}$ $+2,0 \text{ ЗВ min:}$ $+10,1 \text{ ЗВ}$
Р Суг*	318,3±1,5	8,75R _с	76R _с [11,67R _с]	6,5	аномально ма- ленькая об- ласть элек- тронного ту- мана (?!), что отличат её от «красных ги- гантов» /6/
Р Льва*	312	8,58R _с	(320 ÷ 350) R _с [11,44R _с]	29,3	$\Delta = 7,34 \text{ ЗВ}$ max: +4,31 ЗВ min: +11,65 ЗВ ангармоничная магнитная ин- дукция /7/
Цефея А	150	4,12R _с	8R _с [5,5R _с]	1,45	(?!), вероятно, что звезда находится на последней ста- дии формиро- вания тяжёлых атомов
Каппа Павонис*	9,0814	0,2497R _с	15R _с [0,333R _с]	45,0	$\Delta = 0,81 \text{ ЗВ} /8/$
Цефея Дельта*	5,366249	0,14757R _с	44,5R _с [0,19676R _с]	226,2	
Полярная А*	3,97	0,1092R _с	(47 ÷ 50) R _с [0,1456R _с]	333,1	$\Delta = 0,03 \text{ ЗВ}$ с 1900 по 2005 г. яркость увели- чилась на 15%. Звезда нахо- дится в актив- ной фазе фор- мирования электронного гало
Хоман* (Дзета Пеаса)	0,956 ± 0,0335	0,0263R _с	(3,3 ÷ 4) R _с [0,035R _с]	104,3	$\Delta = 0,00049 \text{ ЗВ}$
ДЕЙТЕРИДЫ					
	0,04 ÷ 0,8	Расчётный ($K_{\text{тн}} =$ 27,5 R _с /сут)	предполагаемый в настоящее время [расчётно- наблюдаемый $K_{\text{тн}}$ = 36,66 R _с /сут]		
Альфирик* (Бета Цефея)	0,19042	5,23655R _с	16,32R _с [6,982R _с]	2,33	$\Delta = 0,11 \text{ ЗВ}$ наблюдаются ещё несколько циклов пульса- ций меньшей амплитуды
АТЕЛИДЫ					
	0,0002 ÷ 0,04	расчётный ($K_{\text{т}} =$ 27,5 R _с /сут)	предполагаемый в настоящее время [расчётно-		

наименование	период сутки	радиус		отношение радиуса элек- тронного тумана к устойчи- вому ради- усу звезды	примечание
		Расчётный устойчивый $k_{\text{тв}} = 0,0275 R_{\text{с}}/\text{сут}$	предполагаемый в настоящее время [расчётно- наблюдаемый]		
			наблюдаемый $K_{\text{тн}} = 36,66 R_{\text{с}}/\text{сут}$		
HL Тельца 76	$0,004398 \div 0,016088$ (380 ÷ 1390 с)	0,28R _с	0,013R _с [0,373R _с]	?	/9/
ПУЛЬСАРЫ					
	0,0002 >	расчётный ($K_{\text{тв}} = 2750 R_{\text{с}}/\text{сут}$ по устойчивому радиусу 0,75Солнца)	предполагаемый в настоящее время [расчётно-наблюдаемый 3667 R _с /сут]		
PSR B0531+21	$3,85 \cdot 10^{-7}$ (0,0333 с)	0,001R _с	13 км [982 км]	?	температура поверхности – 1,6 млн Кельвин излучение синхронно во всем электромагнитном диапазоне. Ускорение вращения на 231 мин за 1 млрд лет
PSR 1937+21	$1,803 \cdot 10^{-8}$ (0,00155781 с)	0,00005R _с	9 км [46 км]	?	отмечена неравномерность амплитуды излучения и увеличение скорости вращения с интенсивностью $3 \cdot 10^{-14}$ секунд в секунду (15,78 мин за 1 млрд лет)

* звёзды, окруженные электронным туманом (гало)

** период дипольной инверсии

*** период вращательной пульсации для инверсид

По неизвестной пока причине «рождение» нейтронных (протонных) звёзд сопровождается формированием у них магнитных диполей, которые сохраняются в течение всего периода их последующего существования. В процессе эволюции нейтронных (протонных) звёзд из её протонов формируются свободные электроны, которые, попадая под влияние магнитного диполя звезды начинают двигаться по магнитному тору, сформированного диполем.

Так как во время отрыва от поверхности звезды, электроны в составе «солнечного ветра» пересекают его магнитные линии, в том числе и под углом отличным от 90°, то это придает им устойчивое спиралеобразное движение по магнитным линиям диполя. На рисунках 2 и 3 представлены схемы магнитного поля сфероида и траектория движения электрона вдоль магнитных линий.

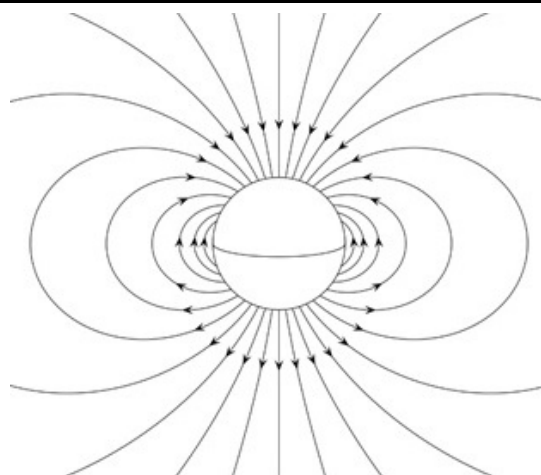


Рис. 2. Схема магнитного поля сфероида

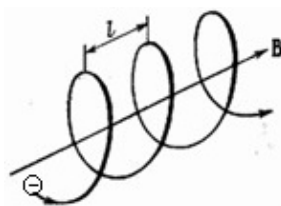


Рис. 3. Схема движения электрона вдоль магнитной линии

Как видно из рисунка 2 максимальный охват магнитосферы сфероида происходит на экваторе с радиусом окружности $R\sqrt{2}$, где R радиус звезды /10/. Электроны вышедшие с поверхности звезды захватываются магнитным полем диполя и устремляются к точке вхождения магнитных линий в сфероид, при этом, по мере приближения к точке входа, плотность магнитного потока увеличивается, тормозя движение электронов. Максимальное торможение происходит в туннеле диполя. Потеря кинетической энергии электрона реализуется в двух основных видах излучения: в тепловом и оптическом. Тепловое излучение расходуется на разогрев звезды, а оптическое вырывается с противоположного полюса в виде мощного джета. Таким образом, все тела, имеющие в своем строении диполь и электронный туман, всегда будут излучать джеты.

После того как в нейтронной (протонной) звезде запускается процесс производства электронов она начинает выпускать мощные джеты. На этом этапе электроны ещё не могут покинуть поверхность звезды, но уже активно участвуют в снижении её плотности, увеличивая её радиус. И только процесс формирования дейтериев начинает снижать интенсивность вращения превращая пульсар в «ателид».

По мере того как интенсивность производства электронов превышает мощности магнитного диполя по вовлечению их в круговорот, нейтронная (протонная) звезда начинает

обрастать электронным туманом и переходит в следующую фазу своего существования в форме «ателидов». Отличительной особенностью этого эволюционного этапа развития звёзд являются устойчивые атомы дейтериев, которые формируются при температурах $10 \div 100$ гигакальвинов, но доля водорода в этом состоянии звезды ещё меньше 50%. На этом этапе у нейтронной (протонной) звезды, как правило, ещё нет гало электронного тумана, так как, вероятно, все вновь образованные электроны вовлекаются в круговорот магнитного диполя увеличивая оптические и тепловые характеристики звезды.

Следующий этап – дейтериды – характеризуется повышением доли водорода и соответствующим уменьшением доли свободных протонов, что сопровождается уменьшением плотности звезды и увеличением её радиуса, а также формированием гало электронного тумана. Этот процесс отражается увеличением периодов пульсации за счёт увеличения диаметра звезды, при этом гало, как правило, не превышает 5 радиусов звезды, как, например, у Альфирик (2,33).

Следующий этап – цефеиды – характеризуется завершением формирования водорода и началом синтеза гелия, при этом продолжается незначительное увеличение радиуса звезды, с резким увеличением гало электронного тумана от 5 до 350 радиусов звезды.

Последующий этап, это звезды солнечного типа, которые остановились в изменении своего диаметра и активно начали перерабатывать электронный туман в синтезе тяжелых элементов. Таким образом, по уровню металличности звезды мы можем определить её возраст от перехода из класса цефеид или дейтерид к солнечному состоянию, но это только малый фрагмент её полного жизненного цикла к моменту наблюдения. Этот период характерен снижением плотности гало электронного тумана до уровня солнечного ветра, но при этом ещё достаточным, чтобы обеспечивать ядерный температурный режим звезды. Последующие этапы жизненного цикла звезды связаны с её постепенным охлаждением и сопровождающим этот процесс уменьшением диаметра, при этом никакого коллапсического схлопывания не происходит, звезда просто переходит в состояние планеты.

Итак, все звёзды производят джет разной мощности, и Солнце, в том числе. Наблюдение солнечного джета даст, полагаю, много полезной информации о процессах, которые в нём происходят, в дополнении к тому, что получают другие методы его исследования.

Джет, который мы можем наблюдать всегда ориентирован по оси магнитного диполя звезды, и если он, например, как у Солнца ориентирован по оси вращения, то мы можем наблюдать только пульсацию его инверсии. Если оси вращения и диполя расходятся, как, например, у Бетельгейзе (α Ориона), то мы можем наблюдать одновременно две формы пульсаций: инверсий диполя и вращение звезды. То, что у других звезд при наличии вращательной пульсации не наблюдается инверсионная, указывает нам на тот факт, что их периоды настолько сильно различаются, что инверсионная пульсация остаётся незамеченной на фоне пульсации вращательной. Так, у Солнца это соотношение составляет 1:281, у Бетельгейзе 1:6,7.

Инверсионная пульсация диполя является индивидуальной характеристикой звезды и, возможно, определяется этапом её развития. Так Бетельгейзе, имеющая значительный, по объёму и плотности, электронный туман, по отношению к Солнцу является молодой звездой, и это, вероятно, отражается в инверсионном периоде, который у Бетельгейзе в 3,8 раза короче, чем у Солнца, и в 6 раз менее стабилен.

Если экстраполировать эту динамику на более ранние этапы развития звёзд, то вполне

может оказаться, что на каких-то ранних стадиях развития их осевое вращение и дипольная инверсия могут совпадать. На эту ситуацию, возможно, указывают характеристики звездной пульсации ателиды «HL Тельца 76» с набором (около 40) независимых периодов в интервале $380 \div 1390$ с. На уровень ангармоничности звездной пульсации может оказывать влияние также и смещение диполя относительно центра планеты, как, например, у Урана, у которого это смещение составляет до трети радиуса планеты.

Вращательная звездная пульсация в отличие от инверсионной относительно более стабильна в периодах, но значительно менее стабильна по уровню амплитуды импульса. Природа этой нестабильности, возможно, связана с неравномерной плотностью электронного тумана, который при каждом новом обороте отклоняется к диполю разный объём электронов, что находит своё отражение в амплитудной пульсации, что, возможно, связано с волновыми процессами в электронном тумане, порождаемых её вращением и бурлением плазмы на её поверхности /11/.

Нужны дополнительные исследования физико-динамических свойств электронных туманов разных звёзд, чтобы понять механизм их влияния на пульсацию джетов.

Особо следует отметить, что только часть высвобождаемой энергии электронов при их торможении в туннеле диполя расходуется на генерацию оптического излучения джета. Возможно, не менее половины этой энергии расходуется на нагрев магнитного диполя. Причём, у нейтронных (протонных) звёзд эта температура может достигать сотен теракеливинов, а у водородных звёзд до сотен мегакеливинов, что позволяет им поддерживать высокую температуру на своей поверхности неограниченно долго, до тех пор, пока для этого будет хватать соответствующего объёма электронного тумана. После его исчерпания за счёт вакуумного испарения звезда охлаждается до состояния планет.

Таким образом, механизм формирования звездной пульсации, наиболее вероятно, развивается по следующей схеме.

Нейтронная (протонная) звезда «рождается» с уже сформированным магнитным диполем, но при этом у неё нет электронного тумана. Обладая огромной плотностью и массой, она, как «пылесос» втягивает в себя межзвёздное вещество на расстоянии доступном её

гравитационному взаимодействию, которое при этом ускоряется до сверх световых скоростей и начинает бомбардировку звезды, следствием которой является разрушение «оплодотворенных протонов», и формирование свободных электронов, которые тут же вовлекаются её магнитным диполем в бесконечный круговорот [1, с. 14-21].

При выходе из туннеля магнитного диполя электроны обладают скоростью, кратно ниже той, которую они приобретают во время тепловых процессов на поверхности звезды, и начинают создавать вихрь на одном из полюсов звезды, что становится зачатком будущего электронного тумана. Постепенно это облако растёт, превращаясь в гало электронного тумана звезды, являясь основой бесперебойной работы её электромагнитного динамо. При этом плотность электронного тумана не является равномерной. У полюса, из которого выходят магнитные линии, он разрежен, в то время как с противоположной стороны, наоборот уплотнён. Тепловые конвенционные потоки с поверхности звезды создают в электронном тумане непредсказуемую топографию его плотности, что и является основой амплитудной пульсации оптического излучения джета.

Полушарие звезды, которое выбрасывает джет в межзвездное пространство, и которое наблюдается с повышенным блеском, является разгонным для электронов околозвездного электронного тумана, которые приобретают в этом секторе максимальную скорость на экваторе, после чего начинают тормозиться по мере увеличения плотности магнитного потока при его приближении к противоположному полюсу вхождения в туннель диполя. К моменту входа в дипольный туннель электроны, которые набрали дополнительную энергию во время разгона от полюса до экватора, после пересечения экватора уже отдают часть своей энергии электронному туману, что делает эту область гало существенно горячее. Этот эффект отражается на приповерхностном течении электронов в обратную сторону к холодному полюсу джета, что порождает мощные конвенционные бури, связанные со встречей двух противоположно направленных потоков, особенно в области экватора, где, собственно, и формируется основной поток электронов, определяющий энергетическую мощность джета. Тепловая конвенция в сочетании с асинхронными магнитными кольцами протуберанцев постоянно выбрасывает с поверхности

звезды в область её электронного тумана разные по мощности потоки звездного вещества, которое захватывается магнитным полем диполя, создавая ангармоничную амплитуду оптического излучения джета.

Термодинамическая нестабильность этой области является основой ангармоничности амплитуды звездной пульсации вращения.

Поскольку джеты, в отличие от общепринятого мнения, выбрасывают оптическое излучение только с одного магнитного полюса, то при наблюдении за пульсирующей звездой наблюдатель видит повышенный уровень излучения всегда только с одной её стороны. При отсутствии, иных источников выброса оптического излучения у звезды наблюдается только один период пульсации. В идеальном случае магнитный диполь располагается перпендикулярно оси вращения. Тогда ритм пульсации приближается к идеально синхронному и совпадает с периодом вращения звезды, как, например, мы это видим у «Цефеи Δ». Эта ситуация наиболее характерна для пульсаров. По мере эволюции, у звезды начинают формироваться некоторый индивидуальные особенности её строения и динамики, которые на разных этапах развития приобретают весьма причудливые формы. К одной из таких причудливых форм можно отнести «веер диполей». В этом случае параллельно основному диполю (при наблюдении его джет отличается от остальных максимальной амплитудой излучения), формируется ещё несколько джетов под углом к основному. Сложность ангармоничной пульсации при этом определяется двумя основными факторами. Несмотря на то, что дополнительные джеты имеют всегда равномерное расположение относительно основного джета, они, во-первых, не всегда располагаются с основным джетом в одной плоскости, а, во-вторых, могут иметь обратную полярность, поэтому периоды между ними могут носить весьма хаотичный характер.

На эту хаотичность расположения основного и вспомогательных джетов может оказывать влияние прецессия и нутация оси вращения. Это явление наиболее характерно для этапов эволюции «ателид» и «дейтерид», но не редкость и у «цефеид».

Итак, завершая данное исследование, следует отметить следующее.

Природа звездной пульсации определяется движением компоненты электронного тумана по туннелю магнитного диполя звезды, что

проявляется при наблюдении как периодическая вспышка оптического излучения (когда звезда обращается к наблюдателю стороной выхода джета) светового пучка, существенно отличающегося своей мощностью от фонового свечения звезды.

Абсолютная интенсивность оптического импульса в первую очередь зависит от эволюционного этапа, на котором находится наблюдаемая звезда. Максимально наблюдаемые значения относятся к пульсарам (протонным звёздам). Для них же характерны наиболее короткие периоды пульсации менее 20 секунд.

По мере формирования электронов из разрушенных во время внешней бомбардировки протонии начинают образовываться атомы водорода, которые изменяют плотность звезды, что приводит к увеличению её диаметра. Этот процесс находит своё отражение в увеличении периода звёздной пульсации и снижении её абсолютной амплитуды.

Поскольку одна протония производит 1836 электронов, а объединение двух не разрушенных протоний (так как разрушенные протонии перестают существовать) для образования дейтерия потребляет только один электрон, то вся избыточная масса электронов начинает формировать гигантский электронный туман вокруг звезды в виде гало. Это хорошо видно на примере «красных гигантов», которые фактически представляют собой электронный «кокон» со звездой в центре.

Например, отношение радиуса электронного тумана к радиусу звезды «Полярная А» составляет около 333:1 ($0,15R_C$), «Цефея Δ » – 226:1 ($0,2R_C$), «Хоман» – 104:1 ($0,04R_C$), «Чи Лебедь» – 32:1 ($14,5R_C$), «Зайца R» – 31:1 ($15,9R_C$), «Мира А» – 30:1 ($12,2R_C$), «R Льва» – 29:1 ($11,4R_C$). В представленном списке хорошо видно, как объём электронного тумана, уменьшается с увеличением диаметра звезды. Отношение радиуса гало к радиусу звезды является характерным маркером возраста звезды на фоне периода её звёздной пульсации. Увеличение периода пульсаций от долей секунд до 10 дней, как правило, сопровождается увеличением радиуса гало звезды, затем начинается процесс разрядки электронного тумана и уменьшения радиуса гало, пока звезда не достигнет возраста Солнца, когда гало звезды разряжается настолько, что перестаёт наблюдаться в оптическом диапазоне.

На это влияют два фактора. С одной стороны синтез элементов тяжелее гелия, с другой,

вакуумное испарение тумана в межзвёздное пространство. Учитывая динамику уменьшения относительного диаметра электронного тумана, можно предположить, что существует некий критический диаметр, когда звезда перестаёт производить электроны. Это, вероятно связано с уменьшением интенсивности бомбардировок, за счёт плотности электронного тумана, и истощением межзвёздной среды продуктами бомбардировок. Иными словами, в определённый момент наступает некое равновесие факторов влияющих на производство электронов.

В дальнейшем «красные гиганты» теряют плотность электронного тумана, до значений солнечного ветра.

При расположении магнитного диполя под углом к оси вращения звёздная пульсация характеризуется исключительно частой вращения звезды, с аномальными кратковременными отклонениями, связанными с инверсией магнитного диполя при переполюсовке.

При расположении магнитного диполя вдоль оси вращения, как, например, у Солнца, можно наблюдать только инверсию диполя звезды.

Таким образом, звёздная пульсация является важной характеристикой эволюции звезд от рождения пульсаров до состояния Солнца. Дальнейшая эволюция происходит на фоне остывания звезды до стояния планет. Причём, планеты при этом сохраняют дипольный туннель, и попадая в электронный туман действующей звезды получают источник прогрева своего ядра.

Это хорошо видно на примере планет Солнечной системы. Принимая магнитное поле Земли за 1, магнитное поле Меркурия 1/2800, Венеры 1/3000, Марса 1/5000, Юпитера 19500/1, Сатурна 585/1. Учитывая, что магнитный диполь Земли позволяет поддерживать достаточно высокую температуру внутри планеты, можно сделать вывод о том, что диполи планет значительно различаются по своей магнитной силе, и если у Венеры при её слабом диполе мы видим вулканическую деятельность на планете, то у Меркурия, который находится в самой плотной области электронного тумана, вулканическая активность не выходит на поверхность, несмотря на его незначительные размеры. Подобную аномалию можно объяснить шириной дипольного туннеля. Чем больше диаметр дипольного туннеля, тем меньше тепла он может производить, даже в

условиях плотного электронного тумана. Но это вопросы уже будущих исследований звёздной пульсации /12/.

Примечания

/1/ «Р Суг» сегодня можно отнести к классу цефеид, так как после её обнаружения в 1600 году, продемонстрировав несколько не синхронных периодов, после 1715 г. звезда успокоилась, демонстрируя 9 синхронных периодов в интервале от 100 до 318,3 суток. Последний является максимальным среди наблюдаемых пульсаций, что позволяет определить радиус звезды.

/2/ Предложенная в настоящей статье классификация переменных звёзд основана на периоде их звёздной пульсации.

Инверсиды, от слова «инверсия», как основной характеристики их пульсации, связанной с инверсией (переполусовкой) их магнитного диполя, условно с периодами больше одного года. Это водородные звёзды, у которых уже проходит активный процесс формирования тяжёлых элементов, что отражается на утери ими наблюдаемой плотности электронного тумана вокруг них, вырожденного, как у нашего Солнца, в солнечный ветер.

Цефеиды, общепринятое название для переменных звёзд. Это уже практически полностью сформировавшиеся водородные звёзды на этапе синтеза элементов от гелия и выше, условно с периодами звёздной пульсации $0,8 \div 450$ суток.

Дейтериды, от слова «дейтерий» (двухатомный водород). Этот эволюционный период характеризует состояние звёзд, у которых объем атомов водорода превышает объём протонов, то есть ещё находящиеся в состоянии водородно-протоновой дисперсии, условно с периодами звёздной пульсации $0,04 \div 0,8$ суток ($1 \div 19$ часов). То есть, к этому этапу относятся звёзды, завершающие свой переход от нейтронной (протонной) звезды к водородной.

Ателиды, от греческого слова «ателий» (несовершенный). Этот период характеризует состояние звёзд, у которых объем атомов водорода значительно меньше объёма протонов, условно с периодами звёздной пульсации $0,0002 \div 0,04$ суток ($0,3 \div 58$ мин). К этому этапу относятся звёзды, находящиеся еще в начале пути перехода от нейтронной (протонной) звезды к водородной.

Пульсары, общепринятое название, характеризующее нейтронные (протонные) звёзды

до начала формирования в них водорода, условно с периодами звёздной пульсации меньше 20 секунд.

/3/ Этот поправочный коэффициент для «дейтеридов» и «ателидов» выводится из условия преобладания у звезды атомов водорода над протонами.

При этом «дейтериды» находятся в финальной стадии формирования водородных звёзд, до начала синтеза гелия и по сравнению с предыдущей промежуточной стадией характеризуются большим диаметром.

«Ателиды», это промежуточная стадия формирования водородных звёзд, их радиусы находятся между «пульсарами» и «дейтеридами».

Для пульсаров поправочный коэффициент выводится из условия пренебрежимо малого числа атомов водорода по отношению к протонам, это начальная стадия формирования водородных звёзд.

/4/ В данном случае, мы наблюдаем две формы пульсации: инверсионную (2008 ± 548) и вращательную (300 ± 150).

Ангармоничность инверсионной пульсации определяется факторами термодинамического состояния электронного тумана, окружающего звезду и внешними случайными потоками заряженных частиц от активных источников в окружении звезды.

Ангармоничность вращательной пульсации определяется прецессией и нутацией оси вращения звезды. При этом нельзя исключать возможность прецессии и нутации магнитного диполя, что в целом создаёт сложную ангармоничную картину звёздной пульсации.

Особенность этой звезды ещё и в том, что для неё практически совпал расчётный радиус с предполагаемым, несмотря на то, что она, как и большинство других «красных гигантов», окружена электронным туманом в соотношении 69 :1, что сближает её с «Хоман» 104:1 ($0,04R_c$), и позволяет выделить эти звёзды в особый подкласс цефеид, с показателем гигантского радиуса электронного тумана по отношению к радиусу самой звезды.

/5/ NML Cygn имеет аномально большой диаметр, но он совпадает с наблюдаемым радиусом её гало, поэтому, всё же, несмотря на аномально большой период, следует признать его всё-таки вращательным, а не инверсивным, и согласиться с расчётным диаметром $40,7R_c$.

/6/ Возможно, что уменьшение электронного гало (тумана) у этой звезды связано с

формированием атомов тяжелее гелия, что проявляется в поглощении ею электронов гало, которые на этом эволюционном этапе фиксируются в тяжелых атомах. В связи с этим можно предположить, что она вышла на эволюционный этап старения, связанный с превращением гало в «солнечный ветер», и находится в своём развитии между Бетельгейзе (α Ориона) и Солнцем.

/7/ В отличие от «Чи Лебедь» «R Льва» (также, как и «Мира А») имеет гармоничный период, что позволяет отнести её к классу «цефеид». Ангармоничная пульсация амплитуды блеска, очевидно, связана с особенностью её магнитного диполя, который, возможно, не имеет инверсии, но при этом обладает ангармоничной магнитной мощностью, которая и определяет характер амплитуды блеска.

/8/ Параметр ΔZV (изменение амплитуды яркости излучения в звездных величинах) позволят сравнить мощность джетов разных звезд относительно их фонового излучения.

Так, например, мощность джета Каппы Павонис (0,81) в 1653 раза больше мощности Хоман Дзета Пегаса (0,00049), в то время как её площадь, с которой собираются электроны для дипольного туннеля, больше всего в 90 раз, а длина самого дипольного туннеля, где происходит торможение электронов, в 9,52 раза, т.е. геометрические параметры превышают в 856,8 раз. Избыток мощности в 1,93 раза можно объяснить большей магнитной мощностью Каппы Павонис по сравнению с Хоман Дзета Пегаса, что возможно связано как с магнитной мощностью диполя, так и с диаметром его туннеля. У Каппы Павонис он очевидно уже, что, например, наблюдается у Меркурия и Венеры, которая вероятно обладает более узким дипольным каналом.

Кроме этого, следует предположить, что примерно столько же мощности, сколько расходуется на излучение джета, расходуется и на разогрев дипольного туннеля, следовательно, ядро Каппы Павонис должно быть, как минимум, в два раза горячее ядра Хоман Дзета Пегаса и формировать электроны с большей скоростью их выхода с поверхности звезды.

/9/ Особенность этой звезды в том, что она имеет около 40 независимых друг от друга ритмов с разными периодами, что даёт основание предположить вариант многоканальности магнитного диполя с наложением на прецессию и нутацию оси вращения. Можно предположить,

что многоканальность диполя связана с эволюционным этапом развития пульсара в водородную звезду, но не исключены и иные варианты.

Особо следует отметить периоды с максимально низкой амплитудой блеска на пике максимума. Вероятно, в это время происходит инверсия магнитного диполя при переполюсовке.

Рост максимума на пике максимума, вероятно связано, с дополнительным притоком электронов из межзвёздного пространства. То же, очевидно, относится и к росту минимума в отдельные периоды. Таким источником, например могут быть взрывы сверхновых в непосредственной близости от звезды и иные космические аномалии, например слияние галактик и прочие факторы, связанные с мощными выбросами заряженных частиц.

/10/ В настоящее время точного понимания радиуса магнитосферы звёзд не существует, но предполагается, что её эффективный радиус распространяется до семи радиусов магнитного сфероида (7R) [2].

/11/ На волновые процессы в солнечной короне, в частности, указывал шведский физик Хайнес Альвен (1908–1995), объясняя их колебанием магнитных линий звёздного диполя. К этому надо добавить кольцевые магнитные поля протуберанцев, которые на половину находятся в теле звезды, а на половину выбрасывают звёздную массу в область электронного тумана, где происходит сложный процесс переkreщивания магнитных линий звёздного диполя с магнитными полями протуберанцев, что в целом формирует нестабильные области электронного тумана, который в основном и определяет интенсивность джета.

/12/ Вообще вопрос пульсации диаметра дипольного туннеля требует отдельного исследования, так как именно этот феномен, может оказаться основной причиной амплитудной переменности вращательной пульсации.

Литература

1. Захваткин А.Ю. О торовой модели элементарных частиц и природе электрического заряда // Актуальные исследования. 2024. № 6 (188). Ч. I. С. 14-21. URL: <https://apni.ru/article/8429-o-torovoj-modeli-elementarnikh-chastits>.
2. Акасофу С., Чепмен С. Солнечно-земная физика, тт. 1, 2. М.: Мир, 1974, 1975.

ZAKHVATKIN Alexander Yurievich

Russia, Balashikha

ABOUT THE NATURE OF STELLAR PULSATION

Abstract. *The issues of the nature of the variable luminosity of stars in a wide range of periods from microseconds to several years in the context of electromagnetic inversion and "electron fog" are considered.*

Keywords: *pulsars, cepheids, inverses, magnetic dipole, dipole tunnel, electron fog, solar wind.*