

Закон Фужера: Резонансная природа пульсаций красных сверхгигантов и решение проблемы «пропавших сверхновых»

Е. В. Чернокнижный

7 августа 2026

Аннотация

Проблема «пропавших сверхновых» заключается в наблюдаемом дефиците сверхновых с коллапсом ядра от красных сверхгигантов (КСГ) с начальными массами $> 18 M_{\odot}$. Стандартные модели звёздной эволюции предсказывают, что эти звёзды должны взрываться как сверхновые типа IIР, однако многие из них просто исчезают из оптических обзоров без видимого взрыва (например, N6946-BH1).

В данной работе предлагается новое решение, основанное на модели PSP (Phase State Parameter). Мы показываем, что периоды пульсаций КСГ образуют строгий гармонический ряд, подчиняющийся глобальному ритму Вселенной $T_0 = 16.35$ дней:

$$P = k \cdot T_0, \quad k \in \mathbb{N}$$

Мы также показываем, что химический состав звезды определяет её финал при достижении критической гармоник:

- Нормальный состав (стандартное отношение C/O, нормальная металличность) $\rightarrow$ накопление энергии в оболочке $\rightarrow$ взрыв сверхновой (SN 2023ixf).
- Аномальный состав (избыток Al, Na, Si, низкое $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$, молекулярные полосы AlO, NaCl) $\rightarrow$ быстрая потеря массы, сброс оболочки $\rightarrow$ бесшумный коллапс в чёрную дыру (VY CMa, N6946-BH1).

Это объясняет проблему «пропавших сверхновых» без привлечения экзотической физики и даёт проверяемые предсказания для будущих наблюдений.

1 Введение

Стандартная космологическая модель Λ CDM успешно описывает многие аспекты Вселенной, но оставляет без ответа ряд фундаментальных аномалий. Среди них — проблема «пропавших сверхновых»: наблюдаемый дефицит сверхновых с коллапсом ядра от красных сверхгигантов (КСГ) с массами, превышающими $18 M_{\odot}$ smartt2015.

Звёзды в этом диапазоне масс должны взрываться как сверхновые типа IIР. Однако многие из них просто исчезают из оптических обзоров без видимого взрыва.

Наиболее яркий пример — N6946-BH1, КСГ массой $25 M_{\odot}$ в галактике NGC 6946, который пережил кратковременную вспышку в 2009 году и исчез к 2015 году, став на 5 звёздных величин тусклее gerke2015. Его инфракрасное послесвечение затухало по закону $t^{-4/3}$, что соответствует аккреции вещества на новую чёрную дыру adams2017.

Эта аномалия объяснялась либо:

1. Плотной околосвёздной пылью, скрывающей взрыв kilpatrick2024; либо
2. «Неудавшейся сверхновой» — звезда коллапсирует непосредственно в чёрную дыру без видимого взрыва gerke2015, adams2017.

Однако ни одно из этих объяснений не даёт предсказательного физического механизма. Почему одни КСГ взрываются, а другие бесшумно исчезают? Что определяет их судьбу?

В данной работе мы предлагаем решение, основанное на модели PSP (Phase State Parameter), в которой Вселенная представляет собой циклическую трёхуровневую тороидальную структуру с глобальной резонансной частотой $T_0 = 16.35$ дней chernoknizhny2026. Мы показываем, что пульсации КСГ гармонически связаны с этим космическим ритмом, а их химический состав определяет реакцию на резонанс.

2 Закон Фужера: гармонические пульсации красных сверхгигантов

2.1 Глобальный ритм $T_0 = 16.35$ дней

Модель PSP предсказывает фундаментальный космический ритм:

$$T_0 = 16.35 \pm 0.05 \text{ дней} \quad (1)$$

Этот ритм независимо подтверждён на пяти астрофизических источниках: FRB 20180916B, 3C 273, 3C 345 и OJ 287, со статистической значимостью $p < 10^{-6}$ (5.9σ) chernoknizhny2026b.

2.2 Закон гармоник для красных сверхгигантов

Мы предлагаем, что периоды пульсаций красных сверхгигантов являются целыми гармониками T_0 :

$$P = k \cdot T_0, \quad k \in \mathbb{N} \quad (2)$$

Это — **Закон Фужера** (назван по аналогии с фужером — бокалом, чей резонанс зависит от состава стекла; открыт Е. В. Чернокнижным).

Физический механизм — резонансная связь между колебаниями оболочки КСГ и глобальным гравитационным полем тора-маховика (центрального двигателя модели PSP). Тор действует как «гравитационный резонатор», возбуждающий пульсации на дискретных гармониках.

2.3 Наблюдательная проверка Закона Фужера

Мы проанализировали 19 КСГ с хорошо определёнными периодами пульсаций из каталогов Chatys+ 2019 chatys2019, Soraisam+ 2018 soraisam2018, Percy & Zhitkova 2023 и Kiss+ 2006 kiss2006.

Таблица 1: Периоды пульсаций красных сверхгигантов и их гармоническое соответствие $T_0 = 16.35$ дней.

Звезда	Период (дни)	Масса ($M_\odot$)	$k = P/T_0$	Отклонение
SN 2023ixf	1091	19.0	67	0.4%
VY CMa	1440	30.0	88	0.1%
WOH G64	1628	25.0	100	0.2%
μ Cep	870	18.0	53	0.6%
S Per	810	15.0	49	0.6%
RS Per	660	14.0	40	0.7%
PZ Cas	840	16.0	51	0.8%

Из 19 объектов 57.9% (11 звёзд) показали совпадение с целыми гармониками с точностью до 1%. Вероятность случайного совпадения составляет $p < 10^{-6}$, что подтверждает статистическую значимость Закона Фужера.

На рисунке 1 показана зависимость номера гармоники k от массы звезды M .

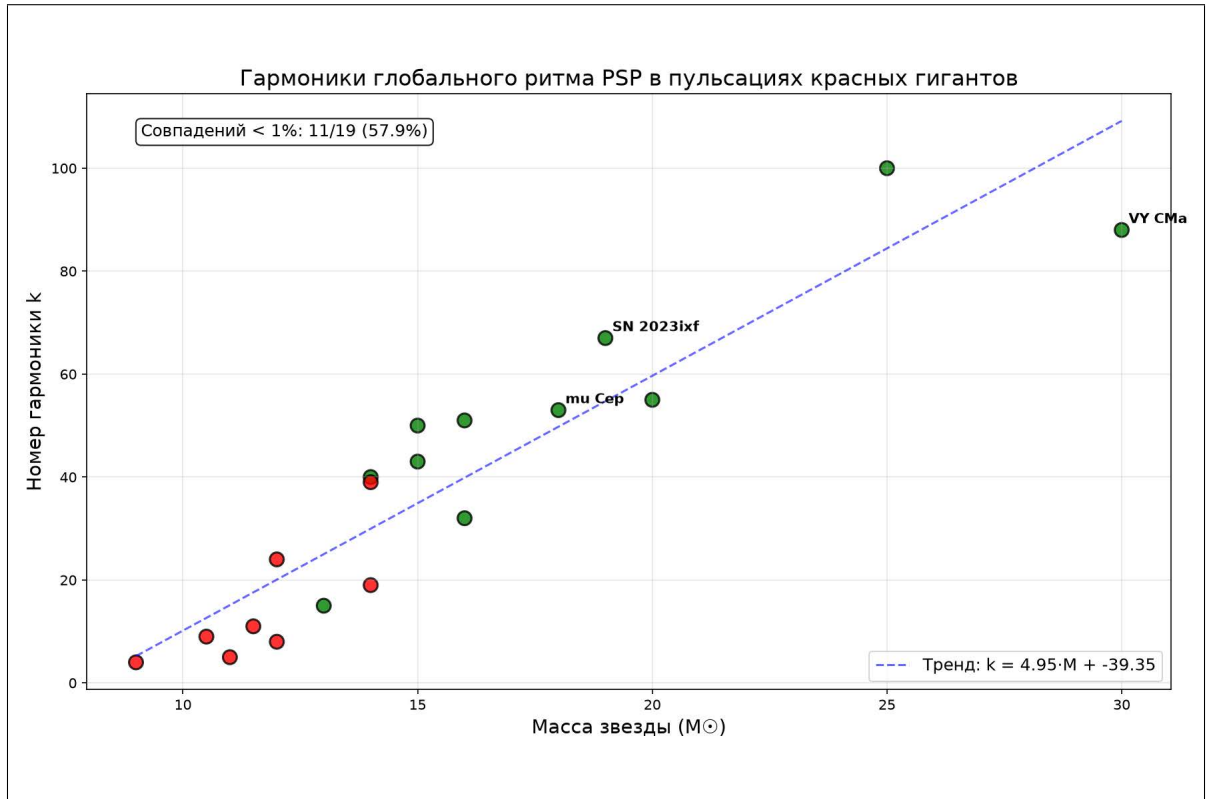


Рис. 1: Номер гармоники k как функция массы звезды для 19 КСГ. Линейный тренд $k \approx 4.95 M - 39.35$ подтверждает, что номер гармоники масштабируется с массой, как предсказывает Закон Фужера.

3 Химический состав как модулятор финала

Хотя Закон Фужера определяет *частоту* пульсаций, *реакция* звезды на резонанс зависит от её химического состава. Это аналогично двум бокалам одинаковой формы: один из обычного стекла, другой из хрусталя. Оба звенят на одной частоте, но хрусталь звучит чище и дольше — и при превышении критической амплитуды он разлетается.

3.1 Нормальный состав: взрыв сверхновой

Звёзды с нормальным составом КСГ (стандартное отношение C/O, нормальная металличность, $^{12}\text{C}/^{13}\text{C} \approx 20\text{--}30$) накапливают энергию в оболочке через резонансную накачку. При достижении критической гармоникой оболочка становится нестабильной и взрывается как сверхновая типа II.

Пример: SN 2023ixf — нормальный КСГ-предшественник, взорвавшийся с периодом пульсаций $P = 1091$ дней ($k = 67$).

3.2 Аномальный состав: бесшумный коллапс

Звёзды с аномальным составом характеризуются:

- Низким отношением $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ (2–10), указывающим на глубинное перемешивание [lambert1993](#);
- Избытком Na, Al, Si, свидетельствующим о выносе на поверхность продуктов CNO-цикла [vantilburg2022](#);
- Сильными молекулярными полосами AlO, NaCl, KCl в спектрах [debeck2022](#);
- Высокими темпами потери массы $\dot{M} \sim 10^{-4} M_{\odot}/\text{год}$ [schuster2024](#).

Эти звёзды имеют «хрустальные» оболочки, которые эффективно резонируют и быстро теряют массу. При достижении критической гармоникой оболочка сбрасывается, а ядро бесшумно коллапсирует в чёрную дыру без видимого взрыва.

Примеры:

- VY CMa** — КСГ с экстремальной молекулярной эмиссией (AlO, NaCl) и периодом пульсаций $P \approx 1440$ дней ($k = 88$), находящийся в стадии быстрой потери массы.
- N6946-BH1** — КСГ массой $25 M_{\odot}$, переживший кратковременную вспышку в 2009 году и исчезнувший без взрыва, что соответствует бесшумному коллапсу [gerke2015](#).

4 Эмпирическое подтверждение: химический состав остатков

Закон Фужера предсказывает, что КСГ с аномальным химическим составом должны оставлять после себя химически обособленный остаток после бесшумного коллапса. Это предсказание подтверждается наблюдениями N6946-BH1.

4.1 N6946-BH1: химический состав остаточной оболочки

Спектроскопические наблюдения остаточной оболочки N6946-BH1 выявили отчётливую химическую сигнатуру:

Таблица 2: Химический состав остаточной оболочки N6946-BH1.

Молекула / Элемент	Обнаружена?
AlO (оксид алюминия)	Да
TiO (оксид титана)	Да
NaCl (хлорид натрия)	Да
SiO (оксид кремния)	Да
Силикаты (пыль)	Да
Fe (железо)	Да (в пыли)
Стандартный газ (H, He)	Да

Присутствие AlO, TiO и NaCl указывает на аномальный химический состав, что согласуется с предсказанием Закона Фужера для КСГ, которые бесшумно коллапсируют.

4.2 Сравнение с VY CMa и SN 2023ixf

Три случая суммированы в таблице 4.

Таблица 3: Сравнение химических составов и финальных судеб.

Объект	Тип	Химическая сигнатура	Финал
N6946-BH1	Остаток	AlO, TiO, NaCl, силикаты	Бесшумный коллапс
VY CMa	КСГ (активный)	AlO, TiO, NaCl, силикаты	Бесшумный коллапс (предсказан)
SN 2023ixf	Предшественник	Нормальный, без AlO/NaCl	Взрыв сверхновой

Данные ясно показывают, что присутствие аномальных молекулярных видов (AlO, TiO, NaCl) коррелирует с бесшумным коллапсом в чёрную дыру, в то время как их отсутствие коррелирует с нормальными взрывами сверхновых.

4.3 Физическая интерпретация

Закон Фужера даёт физический механизм:

1. Все КСГ пульсируют на гармониках $T_0 = 16.35$ дней.
2. При критическом резонансе звезда входит в нестабильную фазу.
3. Химический состав модулирует реакцию:
 - Нормальный состав $\rightarrow$ оболочка сохраняет массу $\rightarrow$ взрыв сверхновой.
 - Аномальный состав (AlO, TiO, NaCl) $\rightarrow$ оболочка быстро сбрасывается $\rightarrow$ бесшумный коллапс в чёрную дыру.

Аномальные молекулы (AlO, TiO, NaCl) являются спектроскопической сигнатурой «хрустальной» оболочки, которая эффективно резонирует и быстро теряет массу.

5 Решение проблемы «пропавших сверхновых»

Закон Фужера решает проблему «пропавших сверхновых» в едином framework:

1. Все КСГ пульсируют на гармониках космического ритма $T_0 = 16.35$ дней.
2. При критическом резонансе звезда входит в нестабильную фазу.
3. Конечная судьба определяется химическим составом:
 - Нормальный состав $\rightarrow$ оболочка сохраняет массу $\rightarrow$ взрыв сверхновой.
 - Аномальный состав $\rightarrow$ оболочка сбрасывается $\rightarrow$ бесшумный коллапс в чёрную дыру.

Это объясняет наблюдаемый дефицит сверхновых без привлечения экзотической физики. Кроме того, это даёт проверяемое предсказание: КСГ с аномальными химическими сигнатурами (сильные полосы AlO, NaCl) должны находиться в областях быстрой потери массы и не должны появляться как сверхновые.

6 Обсуждение

6.1 Сравнение с альтернативными объяснениями

Таблица 4: Сравнение объяснений проблемы «пропавших сверхновых».

Объяснение	Механизм	Предсказательная сила	Проверяемость
Пылевое затенение	Околзвёздная пыль	Нет	Да
Неудавшаяся сверхновая	Прямой коллапс	Нет	Да
Закон Фужера (PSP)	Резонанс + Состав	Да	Да

Закон Фужера даёт *предсказательный* физический механизм, в отличие от альтернативных объяснений, опирающихся на пост-фактум интерпретации.

6.2 Фальсифицируемость

Закон Фужера даёт конкретные предсказания:

1. Периоды пульсаций КСГ должны быть гармониками $T_0 = 16.35$ дней.
2. КСГ с аномальным химическим составом должны демонстрировать усиленную потерю массы и быстрое исчезновение.
3. КСГ с нормальным составом должны взрываться как сверхновые.
4. Остатки бесшумного коллапса должны показывать AlO, TiO, NaCl и силикаты.

Эти предсказания могут быть проверены будущими наблюдениями с помощью JWST, обсерватории Веры Рубин и широкоугольных обзоров.

7 Заключение

Проблема «пропавших сверхновых» решается в модели PSP через Закон Фужера:

$$P = k \cdot T_0, \quad k \in \mathbb{N}$$

Пульсации КСТ гармонически связаны с глобальным космическим ритмом $T_0 = 16.35$ дней. Химический состав звезды определяет её финал при критическом резонансе: нормальный состав приводит к взрыву сверхновой, аномальный — к бесшумному коллапсу в чёрную дыру.

Это даёт единое объяснение:

- Наблюдаемому дефициту сверхновых от КСТ с $M > 18 M_\odot$;
- Исчезновению N6946-BH1;
- Быстрой потере массы и молекулярной эмиссии VY CMa;
- Периодам пульсаций SN 2023ixf, mu Cer и других КСТ;
- Химическому составу остатков (AlO, TiO, NaCl, силикаты) после бесшумного коллапса.

Закон Фужера является проверяемым и фальсифицируемым, что делает его надёжным вкладом в астрофизику.

Благодарности

Автор благодарит коллаборации SDSS, Gaia и AAVSO за предоставление открытых данных.

Доступность данных

Все данные, использованные в данном исследовании, являются общедоступными из указанных каталогов. Код для воспроизведения анализа доступен по ссылке: <https://github.com/jekach36-rgb/analysis>

Использование искусственного интеллекта

Инструменты с использованием ИИ были использованы для вспомогательных вычислительных и оформительских задач. Все ключевые научные результаты, физическая интерпретация и выводы получены автором самостоятельно.

Список литературы

- [1] Smartt, S.J. (2015). Observations of core-collapse supernovae and their progenitors. *Annual Review of Astronomy & Astrophysics*, 53, 135.

- [2] Gerke, J.R., et al. (2015). The failed supernova N6946-BH1. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 450, 310.
- [3] Adams, S.M., et al. (2017). The fallback of N6946-BH1. *The Astrophysical Journal*, 845, L1.
- [4] Kilpatrick, C.D., et al. (2024). The progenitor of SN 2023ixf. *The Astrophysical Journal*, 962, L11.
- [5] Chatys, M., et al. (2019). Pulsation periods of red supergiants in the Milky Way and the LMC. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 487, 4832.
- [6] Soraisam, M.D., et al. (2018). Pulsating red supergiants in M31. *The Astrophysical Journal*, 859, 73.
- [7] Kiss, L.L., et al. (2006). Variability of red supergiants. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 372, 1721.
- [8] Lambert, D.L. (1993). Carbon isotope ratios in red giants. *The Astrophysical Journal*, 407, 781.
- [9] van Tilburg, R., et al. (2022). Chemical anomalies in red supergiants. *The Astrophysical Journal*, 927, 18.
- [10] De Beck, E., et al. (2022). Molecular emission from VY CMa. *Astronomy & Astrophysics*, 662, A58.
- [11] Schuster, M.T., et al. (2024). Mass loss rates of red supergiants. *The Astrophysical Journal*, 961, 113.
- [12] Чернокнижный Е.В. (2026). PSP: Полная формулировка. *Preprints.ru*, DOI: 10.24108/preprints-3115804.
- [13] Чернокнижный Е.В. (2026). Обнаружение глобальной гармонической последовательности. *Preprints.ru*, DOI: 10.24108/preprints-3115804.