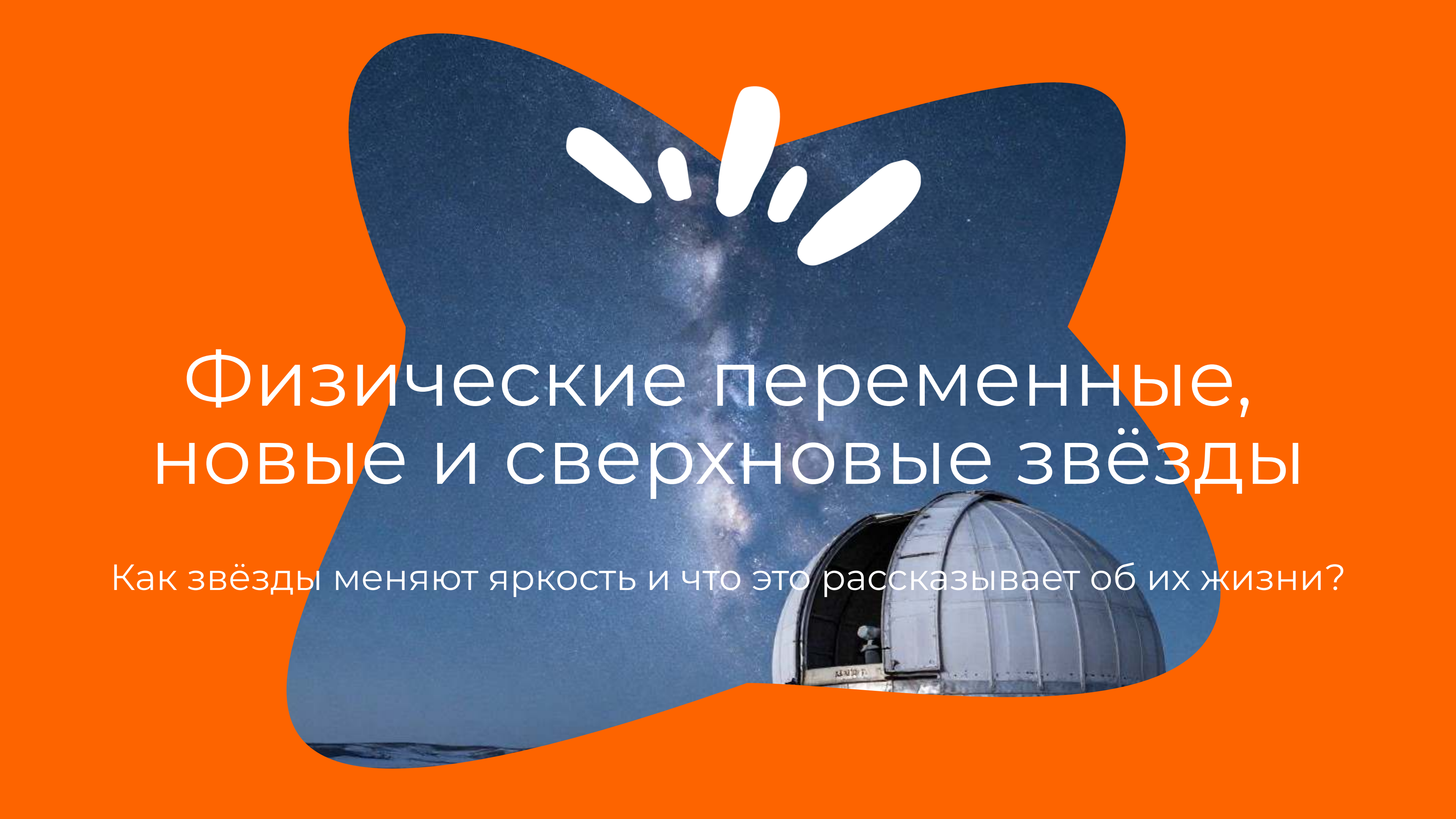


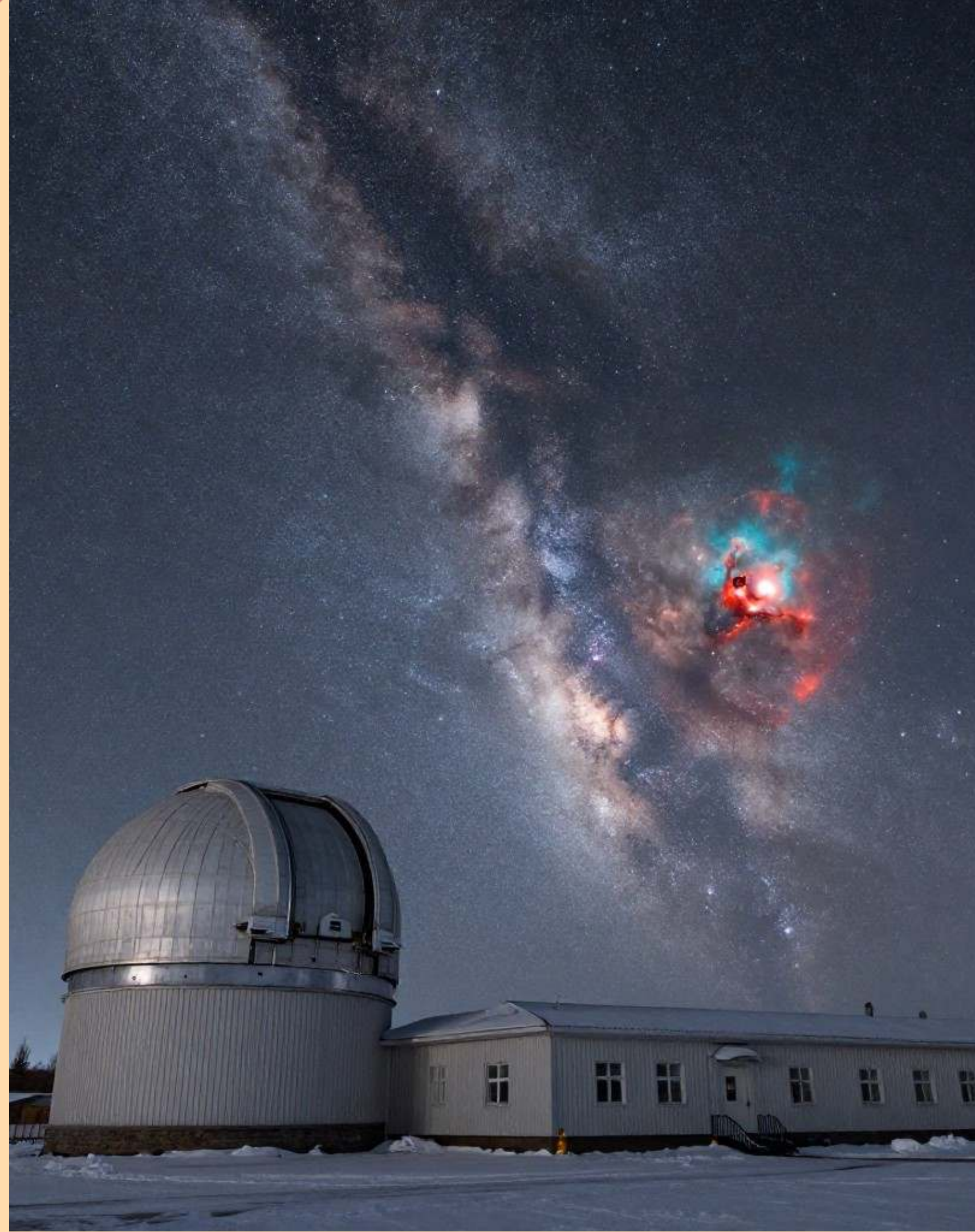


Физические переменные, новые и сверхновые звёзды

Как звёзды меняют яркость и что это рассказывает об их жизни?

Зачем астрономы изучают переменные и взрывные звёзды

По изменению блеска можно судить о размерах, температуре и строении звезды, а цефеиды и сверхновые Ia помогают измерять огромные космические расстояния.



Что называют физически переменными звёздами

Источник изменений

Физически переменные звёзды меняют блеск из-за процессов в самой звезде или рядом с ней, а не только из-за взаимного затмения компонентов в двойной системе.

Главные группы

К ним относят пульсирующие, эруптивные, вращающиеся и катаклизмические переменные. У каждой группы свой механизм, поэтому форма кривой блеска может сильно различаться.

Разные масштабы времени

Периоды изменения яркости варьируют от минут и часов до многих лет, что отражает различия в размерах звёзд, их строении и характере энергии, участвующей в процессе.

Амплитуда колебаний

У одних объектов блеск меняется лишь слегка, на доли звёздной величины, а у других — на несколько звёздных величин, что делает их особенно заметными при наблюдениях.

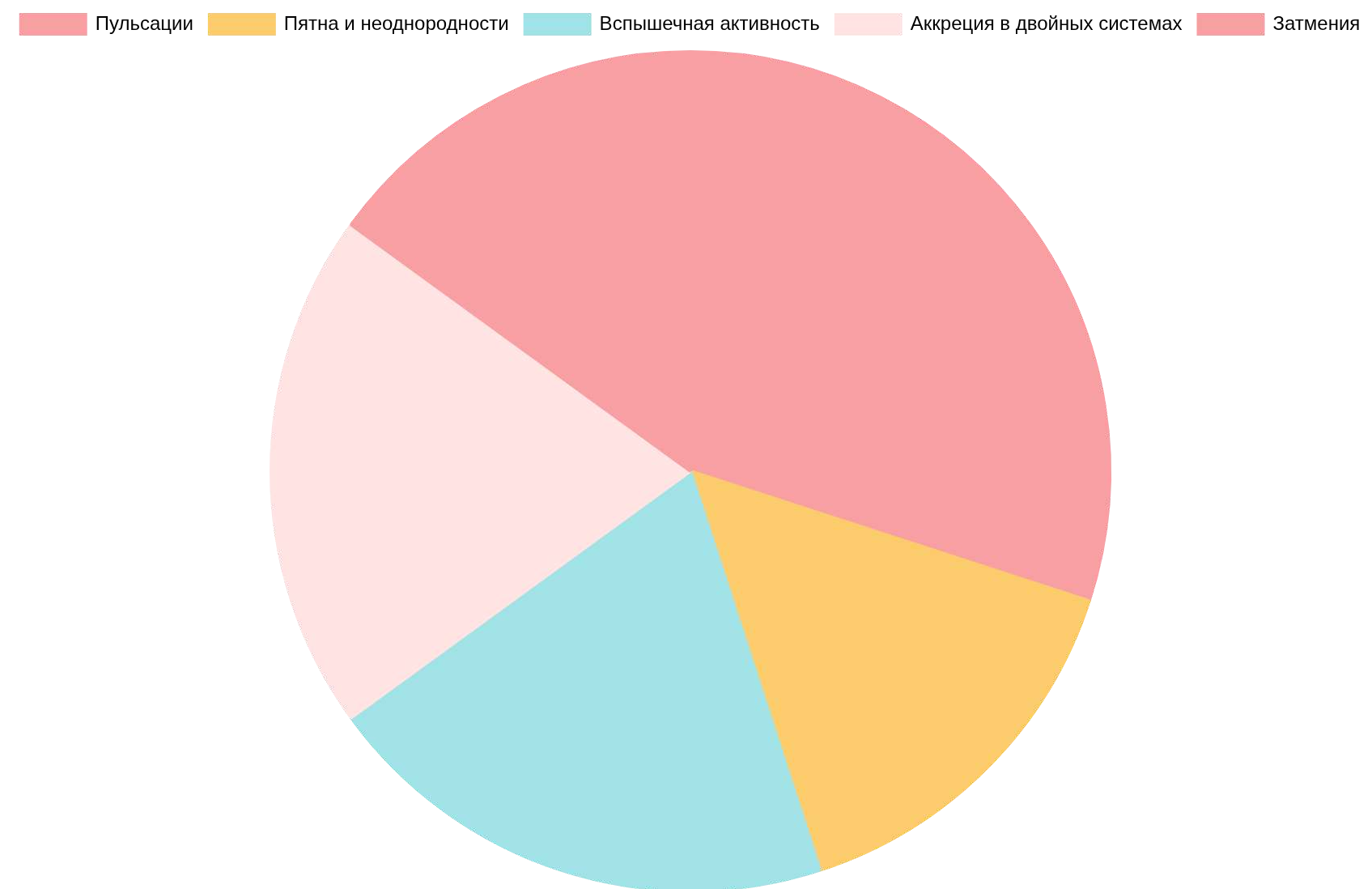
Научная ценность

Изучение таких звёзд позволяет проверять модели звёздной эволюции и понимать, как внутренние процессы, вращение и взаимодействие в двойных системах влияют на наблюдаемую яркость.

Основные причины изменения блеска звёзд

Одна и та же переменность может возникать из разных процессов, поэтому по одной лишь яркости важно не делать поспешных выводов.

Причина изменений яркости важнее самого факта переменности: одинаковый результат может иметь пульсационную, вращательную, вспышечную или двойную природу.



Обобщение по школьной классификации переменных звёзд

Пульсирующие переменные и физика их колебаний

Неустойчивость слоёв

Во внутренних областях звезды возникает неустойчивость, из-за которой оболочка начинает периодически расширяться и сжиматься. Именно это лежит в основе пульсаций.

Сжатие

При сжатии температура поверхности возрастает, и звезда становится ярче. Цикл повторяется, формируя регулярные колебания блеска.

Расширение

Когда звезда расширяется, её поверхность охлаждается, а излучение ослабевает. В этот момент на кривой блеска наблюдается спад яркости.

Связь с параметрами

Период пульсаций зависит от плотности и размера звезды: чем она больше и разреженнее, тем медленнее происходят колебания. Для цефеид это особенно важно.

Тип	Период	Амплитуда
Цефеиды	1–50 суток	до 2 m
RR Лиры	0,2–1 сутки	до 1,5 m
Мириды	100–1000 суток	до 6 m
Алголь	часы–дни	падения

Основные типы переменных звёзд и их характерные параметры

Сравнение показывает, что похожее изменение блеска может иметь совершенно разные физические причины и временные масштабы.

Период и амплитуда помогают различать типы переменных, но для надёжной классификации нужен учёт физического механизма.

Цефеиды как эталон для измерения расстояний

Пульсирующие сверхгиганты

Цефеиды — это жёлтые сверхгиганты, у которых блеск меняется периодически. Их внутренняя физика делает связь между периодом и светимостью особенно устойчивой.

Зависимость период–светимость

Чем длиннее период пульсаций, тем выше абсолютная светимость звезды. Это позволяет сопоставить видимую яркость с истинной и вычислить расстояние до объекта.

Космическая шкала

Цефеиды наблюдали в Млечном Пути и в ближайших галактиках, включая Магеллановы Облака и туманность Андромеды. Они стали важным инструментом внегалактической астрономии.

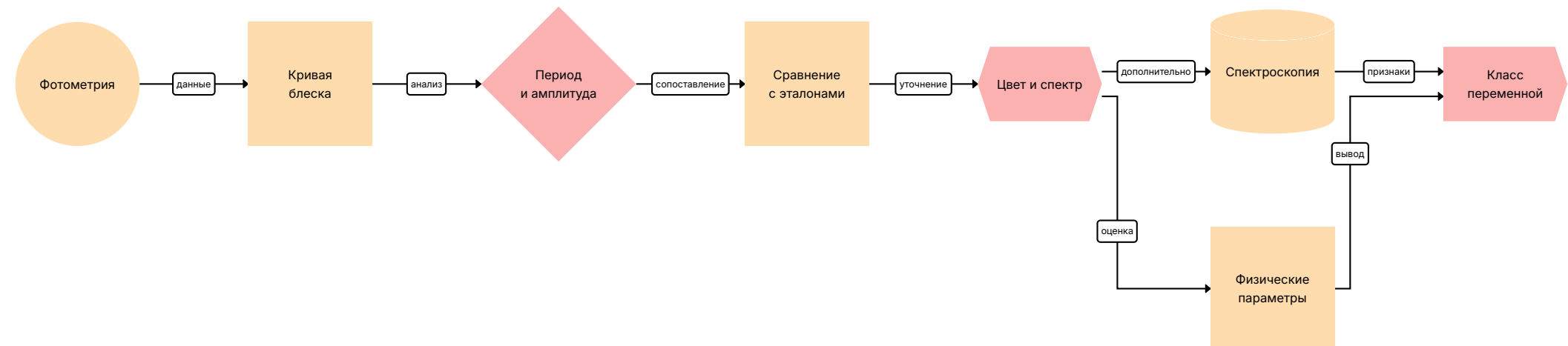
Форма кривой блеска

Для цефеид характерен асимметричный цикл: яркость быстро возрастает и медленнее снижается. Такая форма помогает уверенно отличать их от других переменных.



Путь от наблюдения к классификации переменной звезды

Фотометрия и спектроскопия
позволяют восстановить
физическую природу изменения
блеска.



Затменные и вращающиеся переменные

Затмения в двойной системе

01

У затменных переменных яркость падает, когда один компонент частично или полностью закрывает другой. Такой механизм даёт регулярные провалы блеска и хорошо прослеживается на кривой светимости.

Пример Алголь

02

Алголь — классический и очень наглядный пример затменной переменной. Его периодические ослабления блеска давно помогли астрономам понять роль геометрии двойных систем.

Пятна и неоднородности

03

У вращающихся переменных блеск меняется из-за тёмных пятен, неравномерного распределения вещества или вытянутой формы звезды. При вращении видимая яркость становится неодинаковой.

Что дают наблюдения

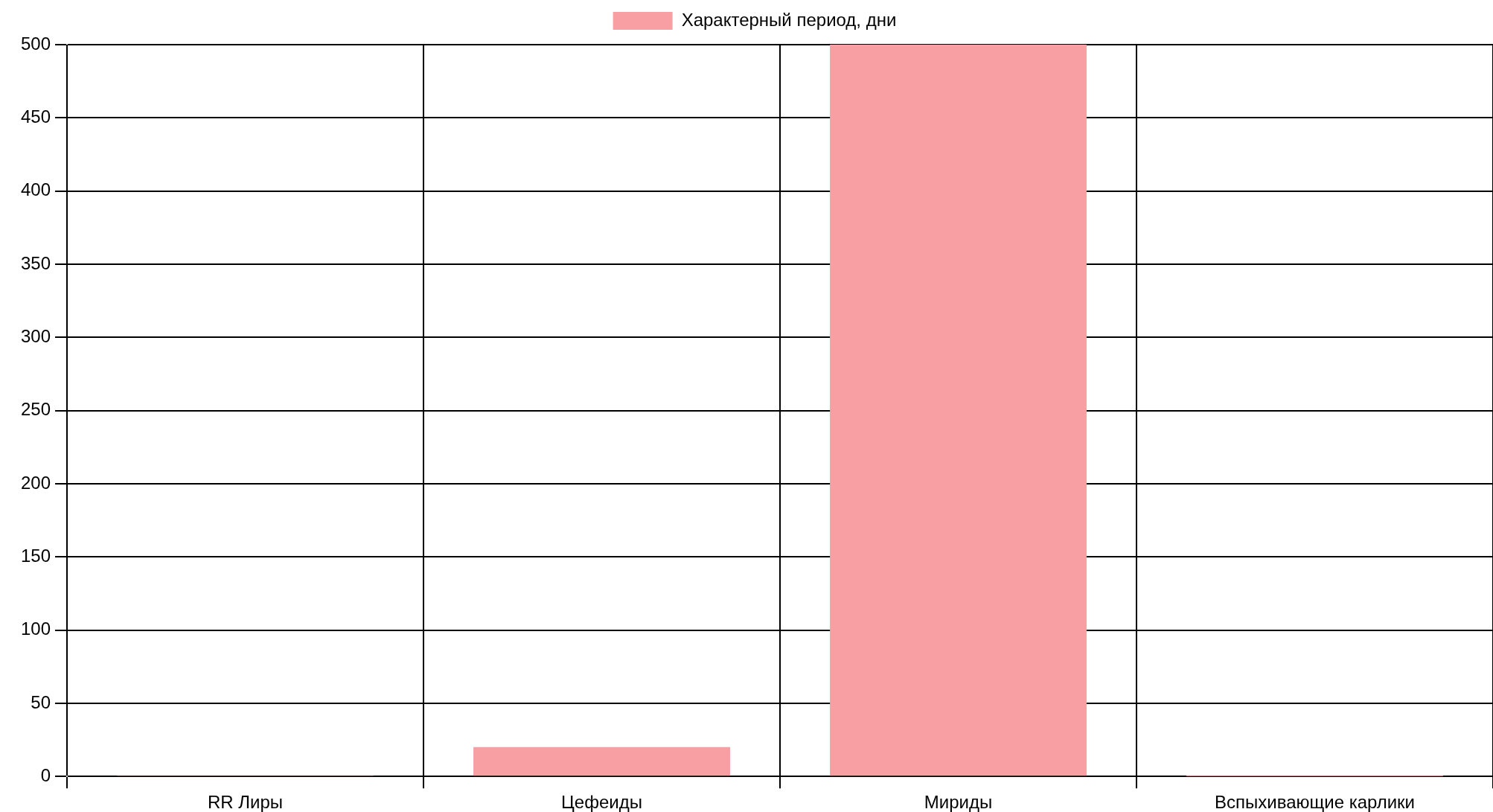
04

Такие периодические изменения позволяют изучать поверхность звезды, магнитное поле и особенности вещества в её внешних слоях, не прибегая к прямому наблюдению поверхности.

Периоды и амплитуды разных переменных звёзд

Разброс по времени показывает, насколько по-разному звёзды могут терять и накапливать энергию в своих слоях и оболочках.

Физический механизм задаёт масштаб изменений: чем сложнее и крупнее система, тем длиннее или резче её переменность.



Обобщённые типичные значения для классических переменных звёзд

6–15 ЗВЁЗДНЫХ ВЕЛИЧИН

на столько может вырасти
яркость системы во время
вспышки новой звезды

Такой скачок делает новую заметной даже на фоне привычной звезды-компаньона и позволяет астрономам отслеживать вспышку на больших расстояниях.

Учебные материалы по классическим новым звёздам; типичный диапазон вспышки новых

Два образа вспышки новой: спектр и оболочка



Газовый кокон вокруг яркого ядра

Сначала новая звезда выглядит как компактный очень яркий источник, окружённый расширяющейся оболочкой газа. Именно эта оболочка формирует характерный образ вспышки и постепенно делает систему менее заметной по мере рассеяния вещества.



Следы вспышки в спектре

В спектре хорошо видны широкие линии водорода, гелия и ионизованных элементов. Их ширина связана с быстрым расширением оболочки, которое превращает вспышку в динамичную космическую картину, а не в краткий одиночный световой импульс.

Новые и сверхновые звёзды: основные различия

Сравнение показывает, что оба явления связаны с резким ростом яркости, но их физическая природа и последствия принципиально различны.

Новая звезда — локальный поверхностный взрыв, а сверхновая — катастрофическое событие, которое может полностью изменить судьбу звезды.

Явление	Источник энергии	После события
Новая	Поверхностная термоядерная вспышка	Белый карлик сохраняется
Сверхновая	Коллапс ядра или Ia-взрыв	Остаётся остаток или разрушение

1,4 массы Солнца

примерно к этой массе
стремится белый карлик
перед термоядерным взрывом
типа Ia

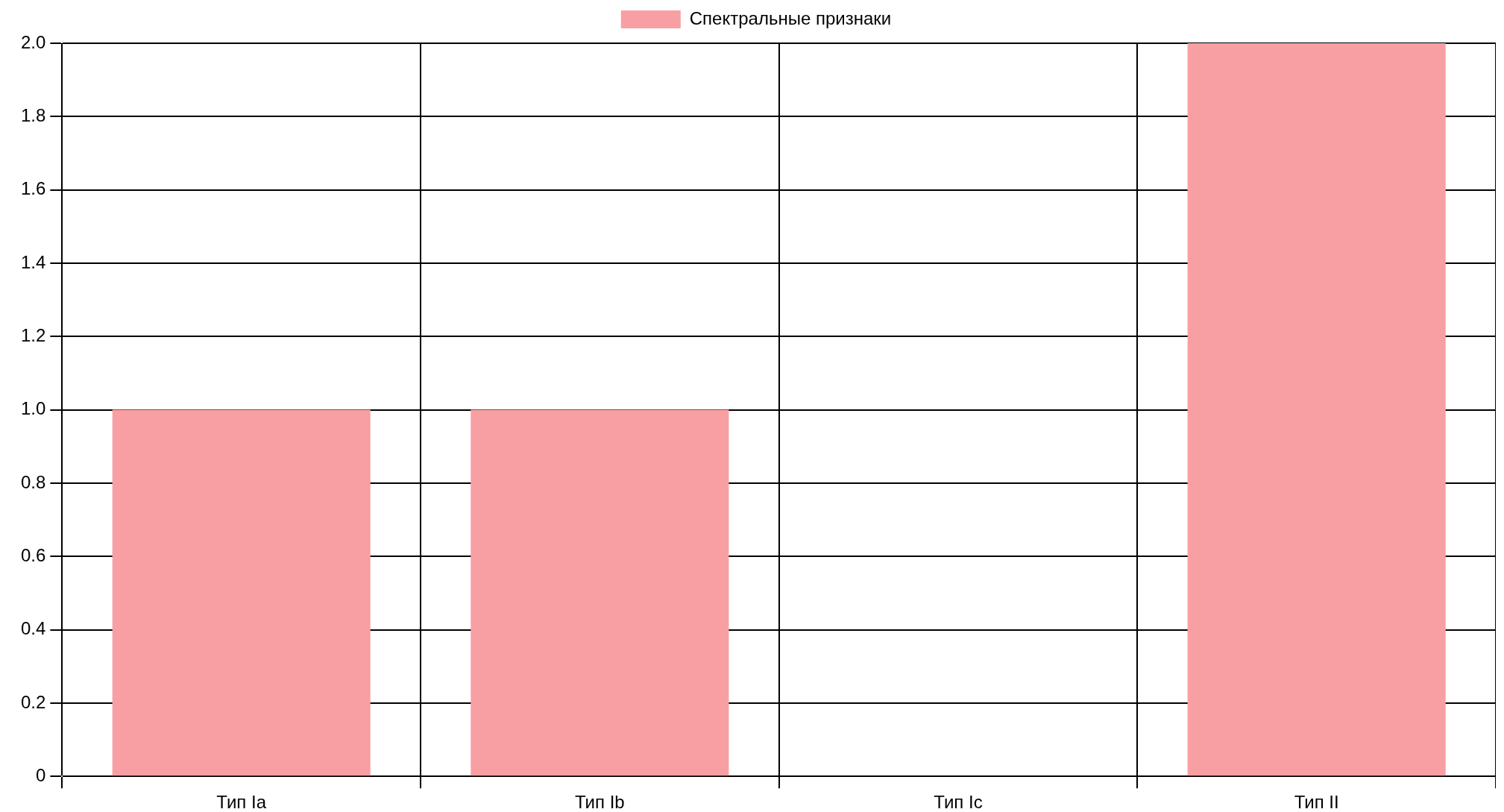
Достижение этого порога делает такие
сверхновые особенно важными:
их яркость оказывается достаточно
однородной, чтобы служить
надёжным ориентиром
для измерения расстояний.

*Учебные материалы по пределу Чандрасекара
и сверхновым типа Ia*

Классификация сверхновых по спектру

Различия в линиях элементов отражают состав оболочки и помогают отделить взрыв белого карлика от коллапса массивной звезды.

Спектр показывает, какие слои звезды были выброшены, поэтому по нему можно восстановить механизм взрыва.



Учебные материалы по спектральной классификации сверхновых

Сверхновые с коллапсом ядра массивной звезды

01

Масса определяет судьбу

Если звезда массивнее примерно восьми солнечных масс, она проходит через последовательные стадии термоядерного горения и в конце образует железное ядро, которое уже не даёт энергии.

Коллапс запускает взрыв

Когда ядро становится нестабильным, гравитация резко сжимает его, а возникающая ударная волна выбрасывает внешние слои звезды в межзвёздное пространство и делает вспышку сверхновой.

02

03

Рождение компактного остатка

После взрыва центральная часть может превратиться в нейтронную звезду или чёрную дыру, в зависимости от массы ядра и условий коллапса.

Источник тяжёлых элементов

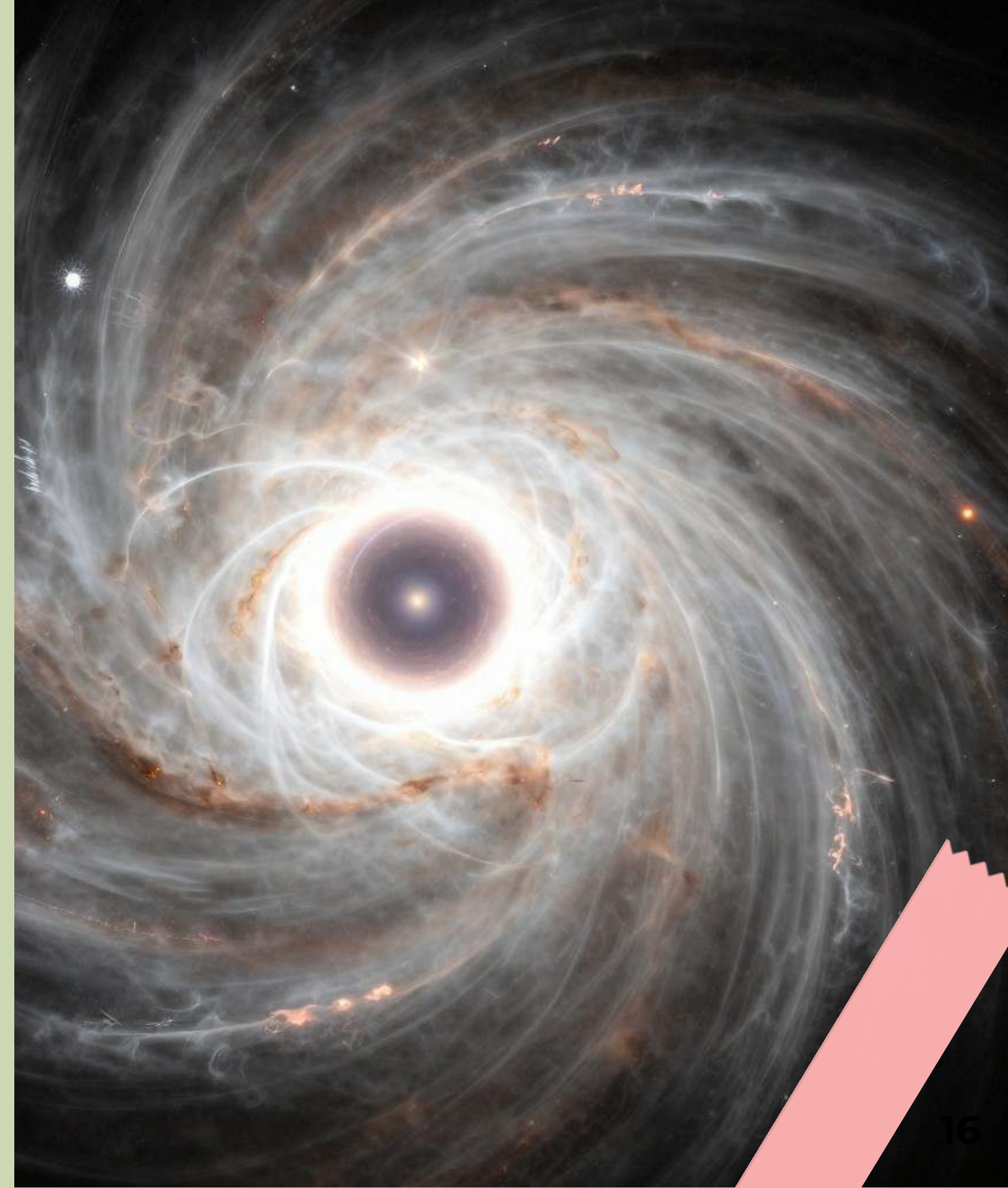
Во время взрыва и в выброшенном веществе образуются и рассеиваются тяжёлые элементы, которые затем становятся частью новых звёзд, планет и межзвёздной среды.

04

05

Космическая роль события

Такие сверхновые завершают эволюцию массивных звёзд не тихо, а катастрофически, одновременно обогащая Галактику веществом, необходимым для будущих поколений звёздных систем.

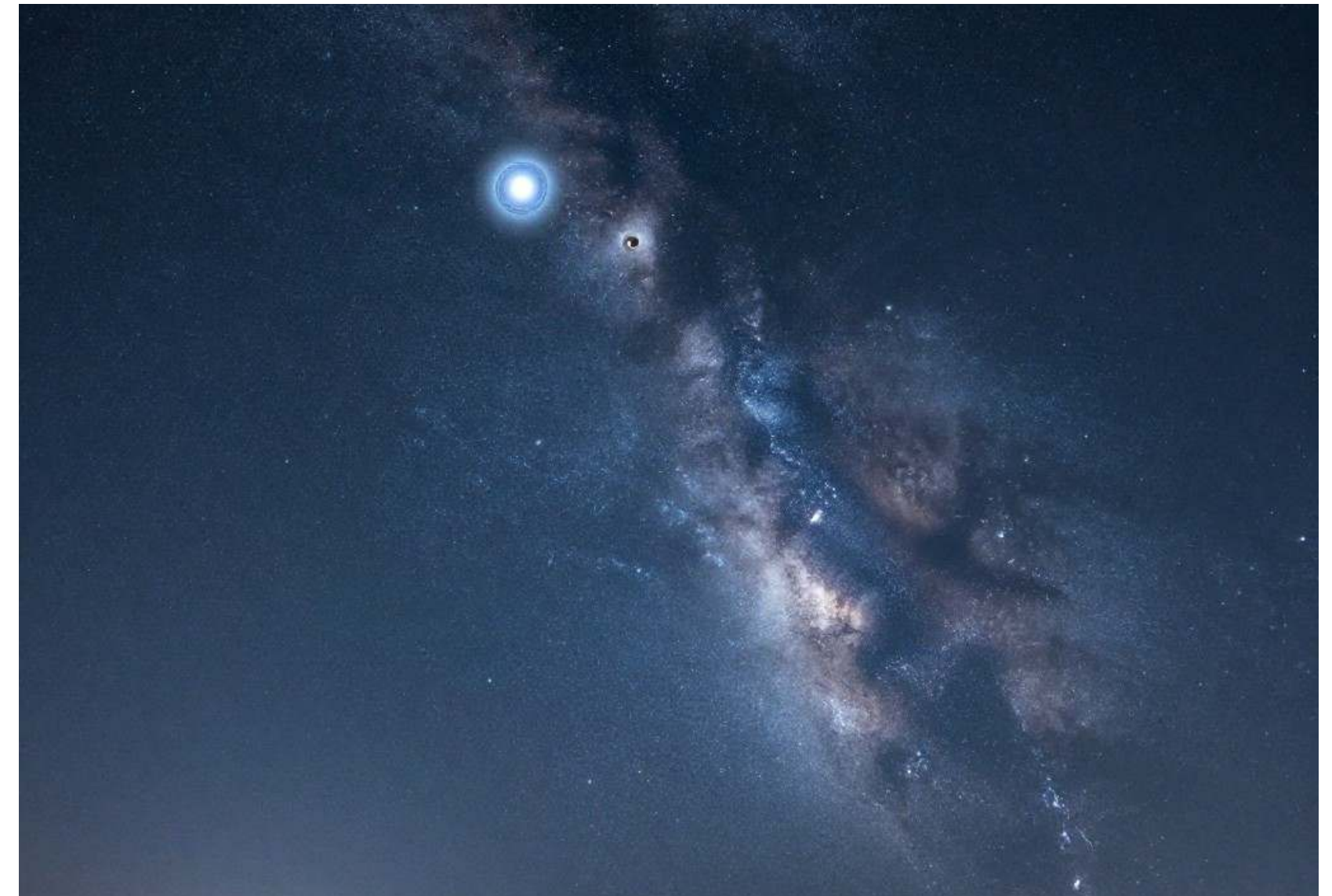


Исторические сверхновые и их следы в небе



Крабовидная туманность как память о 1054 году

SN 1054 была замечена китайскими и арабскими наблюдателями, а её остаток сегодня известен как Крабовидная туманность. Это редкий пример того, как историческое свидетельство и современная астрофизика соединяются в одном объекте.

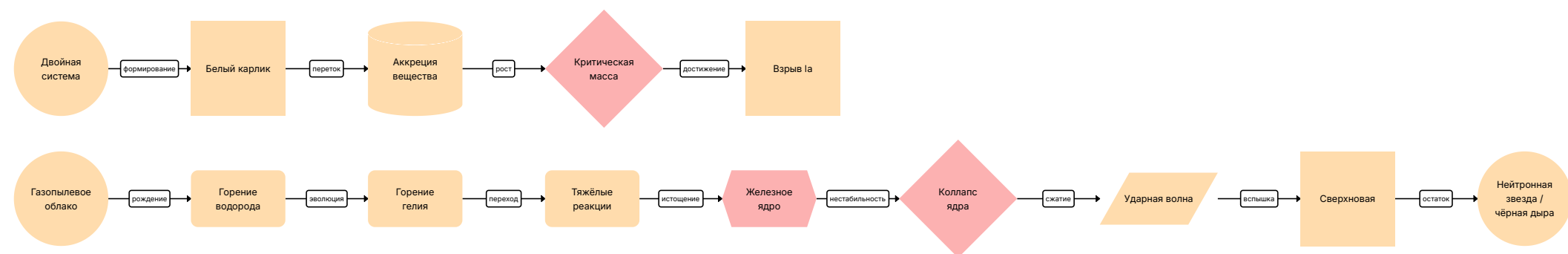


Когда небо перестало казаться неизменным

Сверхновые 1572 и 1604 годов, наблюдавшиеся Тихо Браге и Иоганном Кеплером, показали, что изменения возможны даже среди «неподвижных» звёзд. Их наблюдения стали важным шагом к новому пониманию эволюции светил.

От рождения звезды до сверхновой

Схема основана на двух
эволюционных сценариях:
коллапсе массивной звезды
и взрыве белого карлика типа Ia.



Почему эти звёзды важны для астрономии



Измерение расстояний

Цефеиды и сверхновые типа Ia позволяют сопоставлять видимую и истинную светимость. Благодаря этому астрономы строят шкалу расстояний до далёких галактик и проверяют, как расширяется Вселенная.



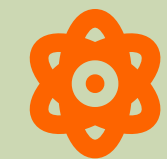
Лаборатория звёздной физики

Переменные звёзды показывают, как ведут себя недра, поверхность и магнитные поля светил. По их кривым блеска можно уточнять размеры, температуру и внутреннее строение звезды.



Возврат вещества в космос

Новые звёзды выбрасывают оболочку, а сверхновые рассеивают тяжёлые элементы в межзвёздной среде. Это вещество затем входит в состав новых звёздных систем, планет и органических соединений.



Проверка теорий эволюции

Наблюдения переменных, новых и сверхновых звёзд помогают проверять модели звёздной эволюции, нуклеосинтеза и конечных стадий жизни светил, а не только описывать отдельные яркие события.

Переменность света — ключ к жизни звёзд

Изменения блеска рассказывают о строении звезды, её взаимодействии с соседями и финале эволюции. По этим сигналам астрономы измеряют расстояния, изучают нуклеосинтез и лучше понимают устройство Галактики.