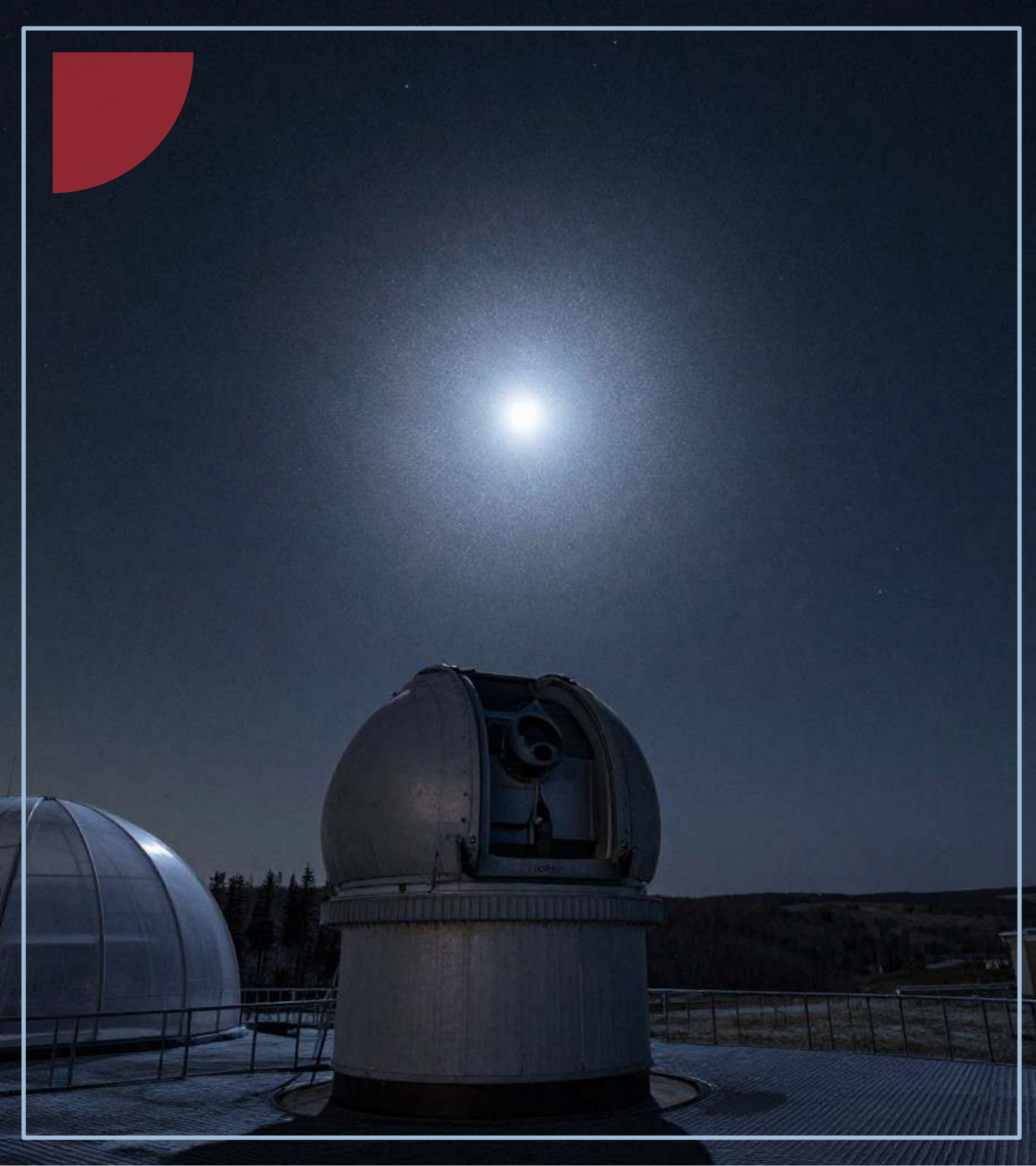


Спектры, цвет и температура звёзд

Свет звезды раскрывает её состав, температуру
и движение.





От светящейся точки к физическому объекту

Когда-то звёзды казались одинаковыми огоньками, но спектроскопия показала: их свет хранит следы температуры, химического состава и строения атмосферы.

Электромагнитное излучение звезды

Почти как чёрное тело

Звезда излучает энергию в широком диапазоне длин волн, поэтому её спектр в целом непрерывен и напоминает излучение нагретого физического тела.

Распределение энергии

Форма спектра показывает, на каких длинах волн звезда излучает сильнее всего, а значит, позволяет судить о температуре её поверхности.

Физический смысл

Один спектр соединяет наблюдение с физикой: по нему можно восстановить свойства звезды, которые напрямую измерить невозможно.

Линии в спектре

На непрерывный фон накладываются тёмные линии поглощения, возникающие, когда атомы и молекулы в атмосфере звезды избирательно поглощают часть света.

Цвет и максимум

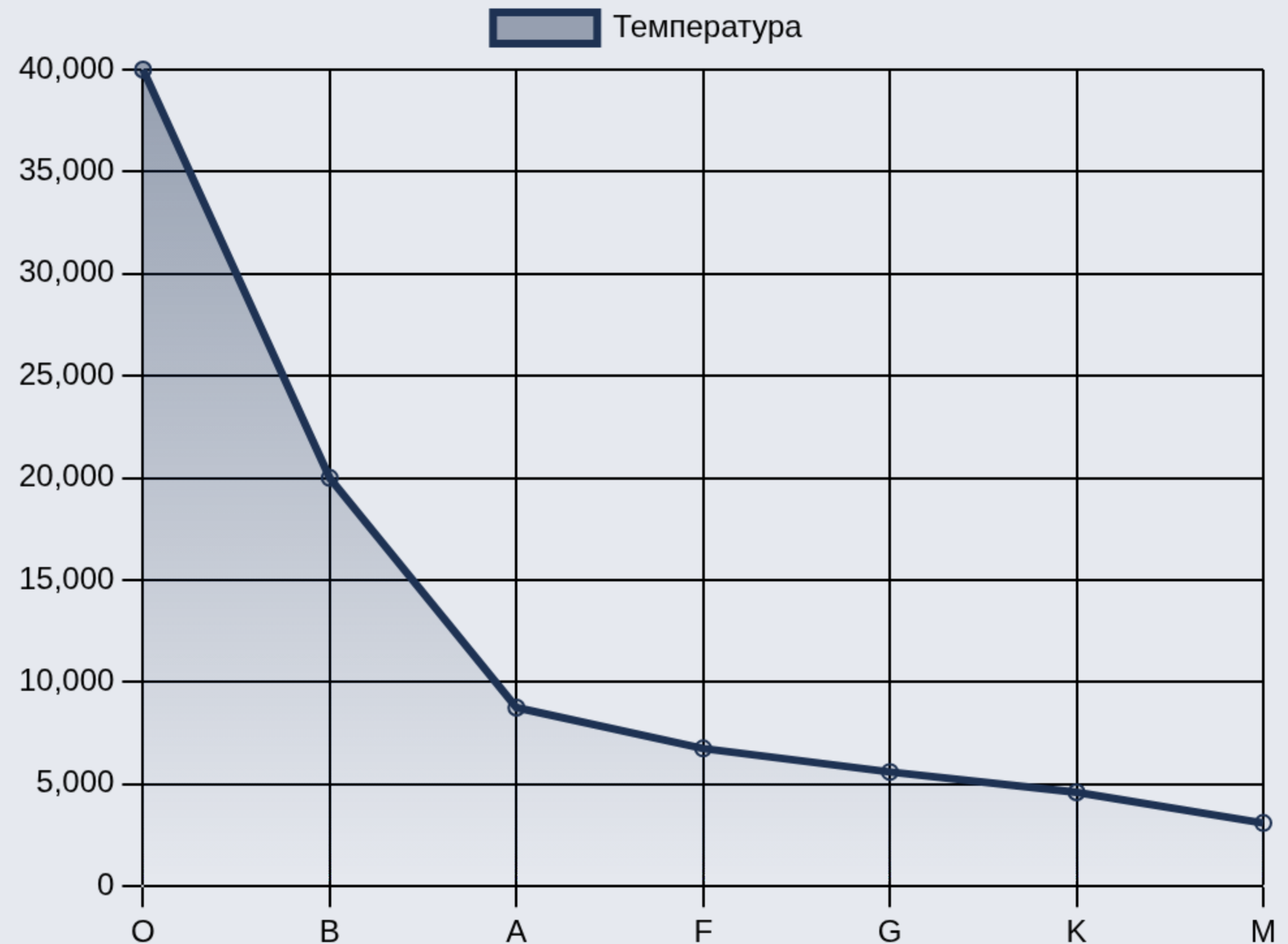
Положение максимума излучения связано с воспринимаемым цветом: чем короче волна максимума, тем более голубым кажется объект наблюдателю.



Температура и цвет звёзд по спектральным классам

Последовательность классов показывает плавный переход от самых горячих голубых звёзд к холодным красным.

С ростом температуры максимум излучения смещается к более коротким волнам, поэтому цвет меняется от красного к голубому.



Обобщение принятых диапазонов температур спектральных классов OBAFGKM в учебной астрономии

Спектр как отпечаток звезды



Химические следы

Каждый элемент оставляет в спектре собственный набор линий, поэтому по свету звезды можно определить присутствие водорода, гелия, кальция, натрия, железа и других веществ.



Ширина и глубина линий

Форма линий меняется не случайно: на неё влияют температура, давление в атмосфере звезды и её вращение, что помогает уточнять физические условия на поверхности.



Линии Фраунгофера

Тёмные линии поглощения, заметные на фоне непрерывного спектра, служат ключевыми ориентирами для анализа звёздного света и сравнения разных объектов между собой.



Свет и вещество

Спектр показывает, что свет звезды несёт информацию о веществе: по нему можно изучать не только излучение, но и состав её атмосферы.



$$2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$$

— такова постоянная в законе смещения Вина, связывающем температуру звезды с положением максимума её излучения.

Закон смещения Вина

Формула позволяет быстро понять, куда смещается пик спектра: у горячих звёзд он уходит в короткие волны, у холодных — в длинные.

Спектральная классификация OBAFGKM

01

Порядок классов

Классы расположены по убыванию температуры: O, B, A, F, G, K, M. Это не просто буквенный ряд, а физическая шкала свойств звезды.

02

Самые горячие звёзды

Класс O соответствует голубым звёздам с очень высокой температурой поверхности. В их спектрах особенно заметны линии ионизованного гелия.

03

Промежуточные классы

По мере перехода к классам B, A, F и G температура снижается, а в спектре меняется набор заметных линий, прежде всего водорода и металлов.

04

Холодные звёзды

Классы K и M включают более холодные оранжевые и красные звёзды. У них усиливаются молекулярные полосы, например полосы TiO.

05

Физический смысл классификации

Система OBAFGKM описывает не только внешний вид звезды, но и её реальные физические параметры, поэтому широко используется в астрономии.



Сравнение основных спектральных классов звёзд

Таблица показывает, как меняются цвет, температура и характерные линии для нескольких типичных классов.

Чем выше температура, тем светлее и голубее звезда, а её спектр содержит иные, более специфические линии поглощения.

Класс	Цвет	T	Линии
O	голубой	≥ 30000	He II
A	бело-голубой	≈ 9000	H
G	жёлтый	≈ 5800	Ca II, металлы
M	красный	≈ 3000	TiO

Почему горячие звёзды кажутся голубыми

Короткие волны усиливаются

При высокой температуре возрастает доля излучения в синей и ультрафиолетовой области, поэтому суммарный свет звезды смещается в сторону голубого оттенка.

Не цвет вещества

Голубой оттенок не связан с особой краской или химическим веществом; он возникает из-за распределения энергии по длинам волн.

Глаз видит сумму света

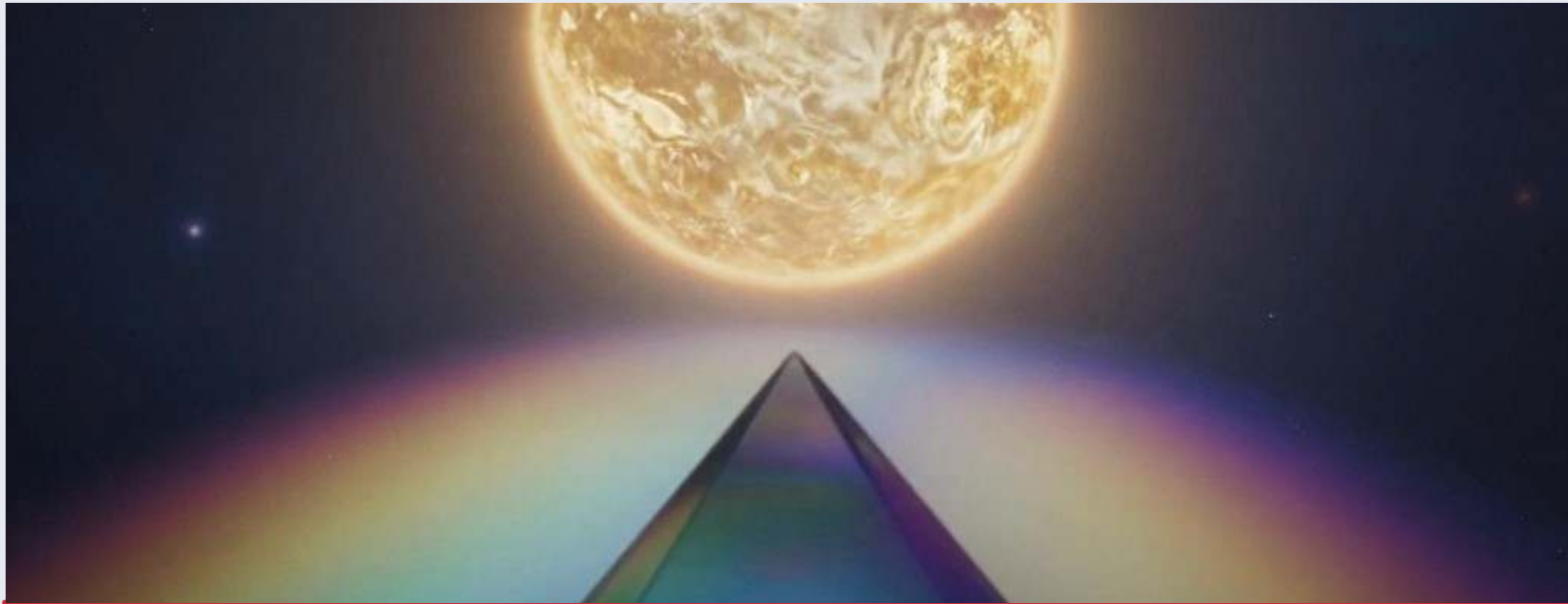
Человеческий глаз воспринимает не отдельную длину волны, а весь поток излучения целиком, поэтому горячая звезда кажется бело-голубой.

Связь с температурой

Чем выше температура поверхности, тем короче длина волны максимума излучения, а значит, тем заметнее холодным по сравнению с ней выглядят звёзды.



Солнце как звезда класса G



Наш эталонный пример

Солнце относится к классу G2V и имеет эффективную температуру около 5 780 K. Его спектр помогает понять, как выглядит звезда средней температуры и почему её свет воспринимается как бело-жёлтый, а не как чисто жёлтый.

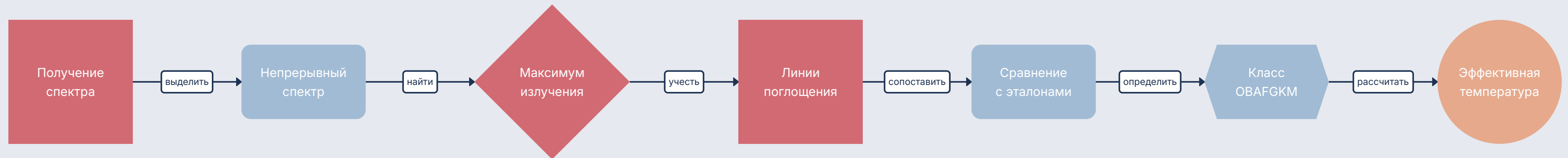


Почему оттенок меняется

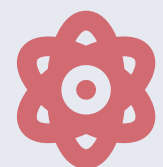
В космосе солнечный свет близок к белому, но на Земле его оттенок усиливается атмосферным рассеянием и особенностями зрения человека. Поэтому привычный цвет Солнца на небе отличается от его физического спектра.

Определение температуры звезды по её спектру

Наблюдение спектра, сравнение с эталонами и физическая интерпретация позволяют перейти от света звезды к её температуре.



Что говорят линии поглощения



Химический состав

Каждый элемент оставляет в спектре собственный набор линий, поэтому по ним можно определить, какие вещества присутствуют в атмосфере звезды и какие элементы дают наиболее заметный вклад.



Давление и вращение

Ширина спектральных линий меняется из-за давления в атмосфере и быстрого вращения звезды, поэтому одна и та же линия может выглядеть по-разному у разных объектов.



Температурные условия

Сила и вид линий зависят от температуры: в горячих звёздах ярче проявляются ионизованные линии, а в более холодных — нейтральные атомы и молекулярные полосы.



Диагностика атмосферы

Сравнивая спектр со стандартными образцами, астрономы восстанавливают условия в звёздной атмосфере и уточняют её физические свойства без прямого контакта с объектом.

Диаграмма Герцшпрунга—Рассела

По горизонтали температура уменьшается вправо, поэтому правый край соответствует более холодным звёздам и более поздним спектральным классам.

Диаграмма связывает температуру, светимость и эволюцию: главная последовательность, гиганты и белые карлики занимают разные области.



Обобщение стандартной школьной модели диаграммы Герцшпрунга—Рассела

Почему светимость зависит не только от температуры

1 Температура

Поверхностная температура определяет, сколько энергии излучает каждый квадратный метр поверхности звезды. При росте температуры излучение усиливается особенно быстро, потому что в формуле светимости показатель температуры четвертый.

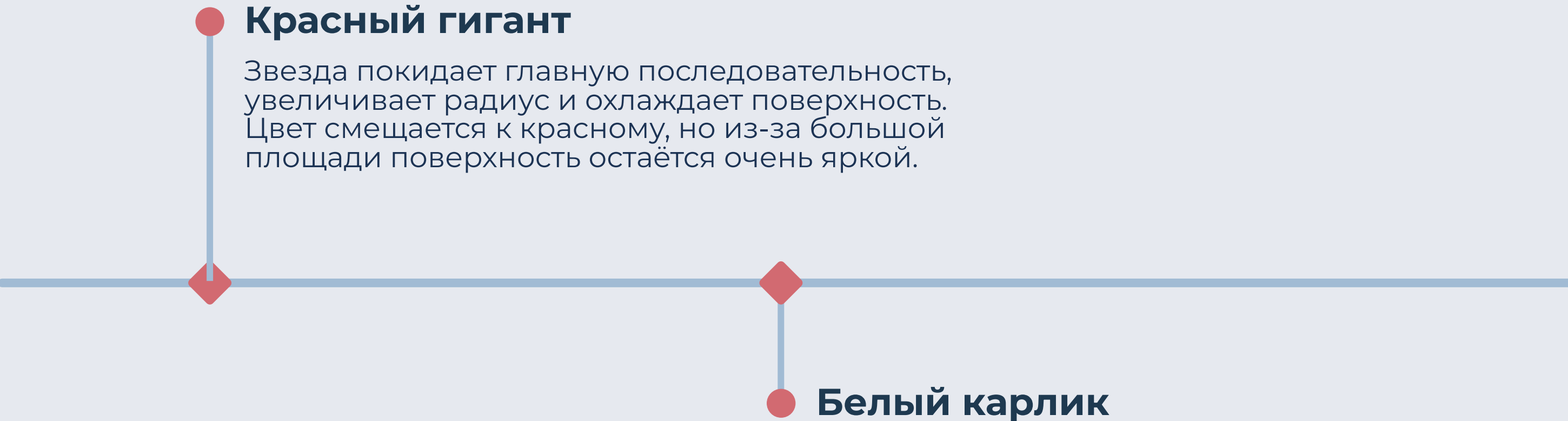
2 Радиус

Даже сравнительно холодная звезда может быть очень яркой, если её радиус велик. У гигантов и сверхгигантов огромная площадь поверхности компенсирует невысокую температуру и даёт высокую суммарную светимость.

3 Сравнение объектов

Белые карлики демонстрируют противоположную ситуацию: температура у них очень высокая, но размеры малы. Поэтому их поверхность излучает интенсивно, а общая светимость остаётся сравнительно небольшой.

Два разных типа звёзд



Красный гигант

Звезда покидает главную последовательность, увеличивает радиус и охлаждает поверхность. Цвет смещается к красному, но из-за большой площади поверхность остаётся очень яркой.

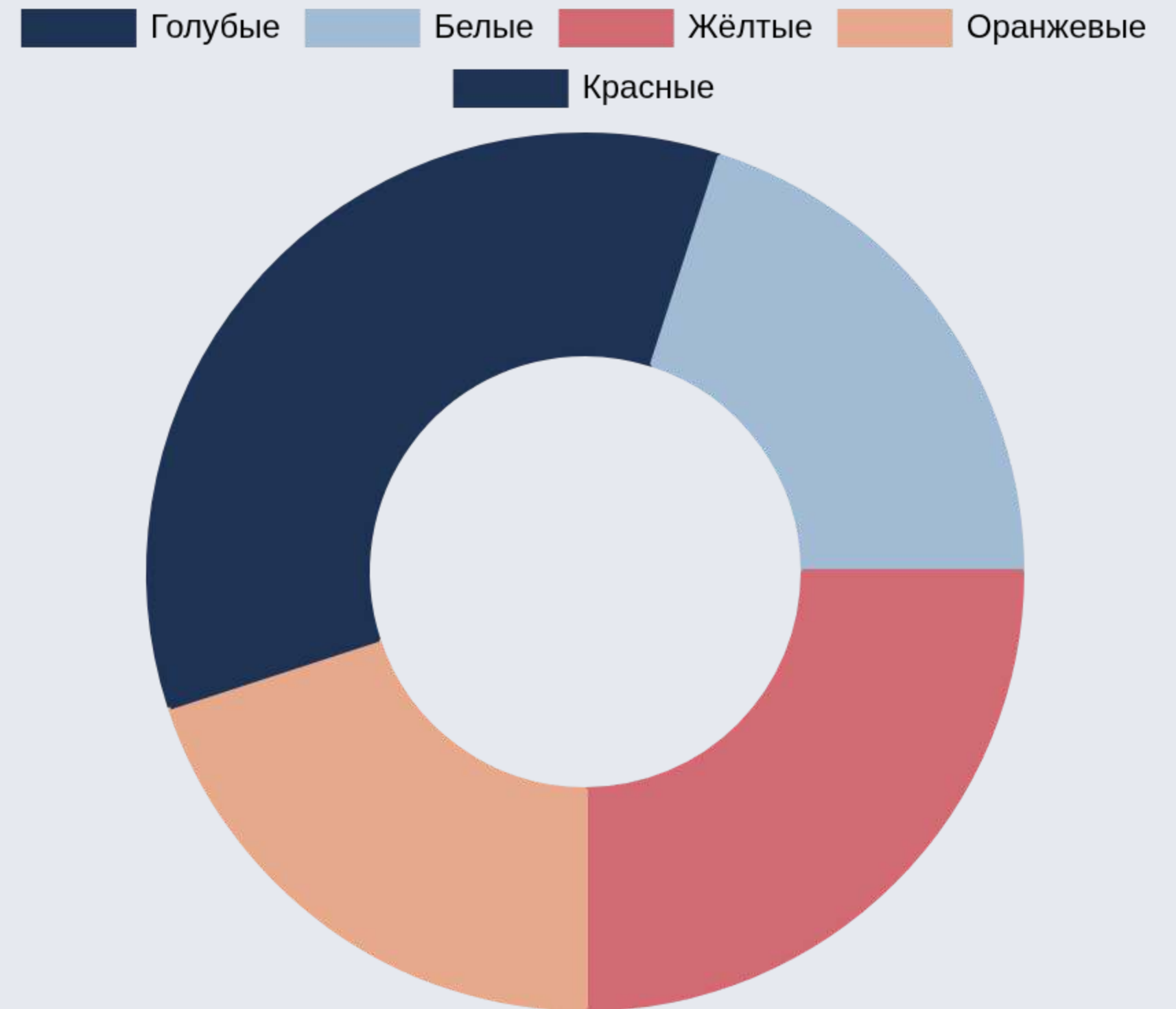
Белый карлик

После завершения эволюции звезда сжимается до компактного остатка. Температура может быть очень высокой, однако малый радиус ограничивает светимость и делает объект тусклым.

Цвет звёзд и их распределение на небе

Цвет, который мы замечаем, зависит не только от физики излучения, но и от яркости объекта, расстояния до него и чувствительности человеческого зрения.

Самые горячие звёзды встречаются реже, а заметная часть ярких звёзд имеет умеренную температуру, а не экстремально высокую.



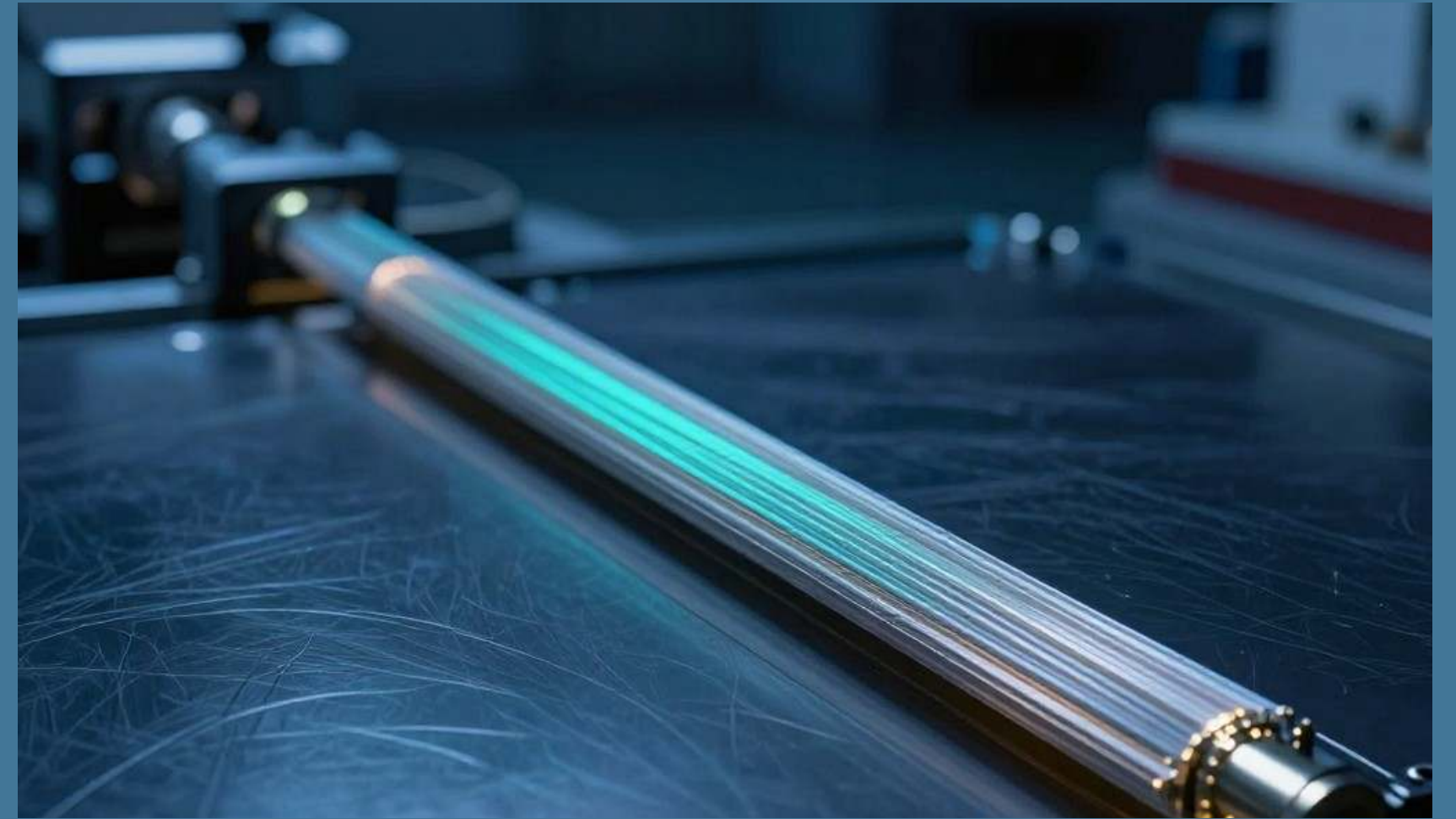
Качественная школьная схема распределения цветовых групп звёзд

Как современная спектроскопия работает со звёздами



Телескоп ловит свет, спектрограф разделяет его

Сначала телескоп собирает слабый свет далёкой звезды, а затем спектрограф раскладывает его по длинам волн. На экране появляется тонкая «подпись» объекта, по которой можно судить о его температуре, составе и состоянии атмосферы.



По линиям видно движение звезды

Если спектральные линии смещены, это значит, что звезда движется относительно наблюдателя. В астрономии такой сдвиг используют как точный способ измерить радиальную скорость и обнаружить движение вдоль луча зрения.

Что показывает звёздный спектр

Признак	Вывод
Максимум излучения	Температура
Набор линий	Состав
Ширина линий	Давление и вращение
Смещение линий	Скорость движения
Форма спектра	Светимость и класс

Один спектр несёт сразу несколько независимых признаков, поэтому его анализ позволяет получить целостное представление о звезде.

Спектр объединяет физические характеристики звезды в одном наблюдении: по нему можно одновременно судить о температуре, химии, движении и светимости.

Частые ошибки в представлениях о цвете звёзд

01 Красный не значит холодный

Красные звёзды действительно холоднее голубых и белых, но это не бытовая «холодность». Их поверхность всё равно может иметь тысячи кельвинов и оставаться очень горячей по земным меркам.

02 Цвет не равен химическому составу

Водород и гелий встречаются почти во всех звёздах, однако видимость линий зависит от температуры, плотности и состояния газа. Цвет же определяется распределением энергии по длинам волн.

03 Яркость и цвет — не одно и то же

Две звезды могут иметь похожий цвет, но сильно различаться по светимости. На итоговый вид влияет не только температура, но и размер звезды, а также расстояние до наблюдателя.



Спектр превращает свет в знания

Звёздный спектр позволяет увидеть то, что скрыто от глаза: температуру, состав, движение и стадию эволюции. Именно поэтому спектры остаются одним из главных инструментов современной астрономии.

