

Урок 6. Свет и спектры

Астрономия · ~35 минут

Астроном никогда не держал в руках кусочек звезды. Всё, что до нас долетает, — это **свет**. И оказалось, что света достаточно: по нему узнают, из чего звезда состоит, как она движется, и даже что вся Вселенная расширяется. А ещё свет — настоящая машина времени: глядя вдаль, мы всегда смотрим в прошлое. Разберёмся, как читать это космическое письмо.

Что ты узнаешь


- Почему, глядя далеко в космос, мы видим прошлое.
- Что такое спектр и как он выдаёт состав звезды.
- Как эффект Доплера превращает свет в спидометр.
- Что такое красное смещение и почему оно означает расширение Вселенной.

Разбираемся в теме


Свет как машина времени

Свет быстр, но не мгновенен: $c \approx 3 \cdot 10^8$ м/с. Любой свет, дошедший до нас, **вышел из источника раньше** — значит, мы видим источник таким, каким он был в прошлом.

- Луна: свет идёт $\approx 1,3$ секунды — видим её на секунду в прошлом.
- Солнце: ≈ 8 минут — видим восьмиминутной давности.
- Ближайшая звезда: 4,2 года.
- Соседняя галактика Андромеды: $\approx 2,5$ млн лет — мы видим её такой, какой она была до появления человека.

 **А знаешь ли ты?** Если какая-то звезда в 4000 световых лет от нас взорвалась сегодня, мы узнаем об этом только через 4000 лет. А некоторые


звёзды, которые мы сейчас видим на небе, возможно, уже давно погасли — их «последнее письмо» ещё в пути.

 **Запомни:** «смотреть далеко» в астрономии = «смотреть в прошлое». Самый далёкий свет во Вселенной — реликтовое излучение — путешествует к нам почти 13,8 млрд лет, с эпохи молодой Вселенной.


Спектр: разложить свет по цветам

Пропусти солнечный свет через призму или дифракционную решётку — он растянется в **радугу** (спектр), от красного к фиолетовому. Цвет соответствует **длине волны** света: у красного она длиннее (около 700 нм), у фиолетового короче (около 400 нм).

Но в спектре звезды есть тонкость: на радуге видны **тёмные линии** (линии поглощения) — узкие «провалы» на определённых длинах волн. Причина: каждый химический элемент поглощает свет строго на **своих** длинах волн — как штрихкод. Водород даёт один набор линий, гелий — другой, натрий — третий.

 Именно так открыли гелий: сначала его линии нашли в спектре **Солнца** (отсюда и имя — от греческого «гелиос», Солнце), и только потом обнаружили гелий на Земле.

Читая эти линии, астроном узнаёт: из чего звезда состоит, какая у неё температура, и (сейчас увидим) как она движется.

 **Запомни:** спектральные линии — это «отпечатки пальцев» элементов. Один взгляд на спектр — и ясен химический состав объекта за миллионы световых лет.

Эффект Доплера: свет как спидометр

Ты слышал, как меняется звук сирены: при приближении — выше, при удалении — ниже. Это **эффект Доплера**: у приближающегося источника волны

«поджимаются» (длина волны короче), у удаляющегося «растягиваются» (длиннее).

Со светом то же самое:

- источник **приближается** → длины волн короче → линии сдвигаются к **синему** краю (**голубое смещение**);
- источник **удаляется** → длины волн длиннее → линии сдвигаются к **красному** краю (**красное смещение**).

Величина сдвига говорит о **скорости** вдоль луча зрения. Для скоростей много меньше c : $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} \approx \frac{v}{c}$, где λ — длина волны линии, $\Delta\lambda$ — её сдвиг.




Красное смещение и расширение Вселенной

В начале XX века Весто Слайфер и затем Эдвин Хаббл измерили спектры далёких галактик. Открылось поразительное:

1. почти **все** галактики показывают **красное** смещение — то есть удаляются от нас;
2. чем галактика **дальше**, тем **быстрее** она убегает.

Это **закон Хаббла**: $v \approx H_0 \cdot D$, где $H_0 \approx 70 \text{ км/с на мегапарсек}$. То есть галактика на расстоянии 1 Мпк удаляется со скоростью ≈ 70 км/с, на 10 Мпк — ≈ 700 км/с, и так далее.

Значит ли это, что мы в центре, а все от нас бегут? Нет!

 **Запомни:** расширяется **само пространство** между галактиками, а не галактики летят сквозь неподвижную пустоту. Представь надувающийся

воздушный шарик с нарисованными точками: с любой точки кажется, что все остальные удаляются, и дальние — быстрее. Центра «разбегания» нет ни у кого.

⚠️ Внутри галактик и звёздных систем расширение не действует: там тяготение держит всё вместе. Расширяются только огромные пустоты **между** галактиками. Кстати, Андромеда даже приближается к нам — её тянет гравитация.

Если прокрутить расширение назад во времени, всё было сжато в одну точку — это и есть идея **Большого взрыва**, начала Вселенной около 13,8 млрд лет назад.

Разбор примера

Задача. Известная линия водорода в лаборатории имеет длину волны $\lambda = 656$ нм. В спектре галактики та же линия смещена к красному на $\Delta\lambda = 2,2$ нм. С какой скоростью галактика удаляется?

Решение. По формуле Доплера:
$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c}$$
$$\Rightarrow v = c \cdot \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$$
 Считаем:
$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{2,2}{656} \approx 0,00335$$
 Тогда
$$v = 3 \cdot 10^5 \text{ км/с} \cdot 0,00335 \approx 1000 \text{ км/с}$$
 Галактика убегает со скоростью около 1000 км/с. (По закону Хаббла это соответствует расстоянию $\approx 1000/70 \approx 14$ Мпк.)

Задачи

1. Свет от галактики шёл к нам 2,5 млн лет. На каком она расстоянии в световых годах? В километрах (порядок величины)?
2. Расположи по длине волны от короткой к длинной: красный, зелёный, фиолетовый, оранжевый свет. У какого цвета волна самая длинная?

3. Линия в спектре звезды сдвинута к **синему** краю. Звезда приближается или удаляется? Что это значит физически?
4. Линия $\lambda = 500$ нм сдвинута на $\Delta\lambda = 0,05$ нм к красному. Найди скорость источника вдоль луча зрения.
5. Галактика удаляется со скоростью 3000 км/с. Оцени расстояние до неё по закону Хаббла ($H_0 \approx 70$ км/с/Мпк). Ответ — в мегапарсеках.
6. Почему по спектру можно узнать состав звезды, до которой невозможно долететь? Что играет роль «штрихкода»?
7. Возраст Вселенной $\approx 13,8$ млрд лет. Свет реликтового излучения летит к нам почти всё это время. Оцени порядок этого пути в световых годах и в километрах.
8. На поверхности воздушного шарика нарисованы три точки в ряд: А, В, С на равных расстояниях. Шарик надувают, все расстояния растут вдвое. Во сколько раз выросло расстояние А–В и А–С? Наблюдатель в точке А: какая точка «убежала» быстрее? Как это иллюстрирует закон Хаббла?