

ных, т. е. неионизованных металлов. Начиная с класса К5 в спектрах звезд обнаруживаются полосы химических соединений — окиси титана, окиси циркония и др. Единственный элемент, линии которого наблюдаются в спектрах всех звезд, — это водород. Наибольшей интенсивности его линии достигают в спектрах В7 — А3. Спектральные классы ближайших и ярчайших звезд приведены в табл. 1 и 2.

Почему спектры звезд различны?

Самый простой ответ на поставленный вопрос состоит, казалось бы, в том, что различие спектров объясняется различием химических составов звезд и преобладание линий какого-нибудь элемента в спектре звезды является следствием преобладания этого элемента в атмосфере звезды. Однако основное свойство совокупности спектров звезд — ее линейная последовательность — указывает, что такой ответ является ошибочным. Действительно, если предположить, что звезды спектрального класса А0 состоят главным образом из водорода, а звезды класса М2 — из окиси титана, то должно было бы существовать несколько последовательностей спектров, соединяющих эти спектральные классы. Например, можно было бы перейти от подкласса А0 к подклассу М2 и через спектры, в которых преобладают линии металлов, и минуя такие спектры.

Если бы звезды сильно отличались одна от другой химическим составом и это определяло бы их спектры, то вследствие возможности самых различных комбинаций в пропорциях различных элементов ни о какой линейной последовательности спектров не могло бы быть и речи. Спектры звезд зависели бы от множества факторов — от процентного содержания каждого элемента. Явление линейной последовательности спектров указывает на то, что спектры звезд зависят главным образом от какого-то одного фактора. Как удалось выяснить, этим фактором является температура звезды.

Чтобы объяснить столь важную роль температуры, необходимо познакомиться с механизмом образования линий в спектрах звезд.

Известно, что атом всякого элемента может поглощать свет. При этом он поглощает свет в совершенно опреде-

ленных частотах. В каких частотах — зависит от устройства этого атома, т. е. от того, из каких и в каком количестве элементарных частиц он состоит.

Когда атом поглотит необходимую порцию световой энергии или, как говорят, световой квант данной частоты, он переходит в возбужденное состояние, определяемое тем, что его внешний электрон из того положения, которое он занимает в атоме в обычном состоянии, переходит в другое положение, более удаленное от ядра атома. В возбужденном состоянии атом находится ничтожную долю секунды, после чего электрон возвращается на свое обычное место, а атом при этом излучает ту же самую порцию световой энергии: либо излучается тот же самый квант той же частоты, который поглотил атом, либо же (что случается реже) атом излучает два или несколько квантов меньших частот, но так, что сумма их энергий равна энергии поглощенного кванта (энергия кванта пропорциональна его частоте).

Направление, в котором будет вновь излучен квант, не будет тем же самым, по которому квант двигался до его поглощения. Он может быть излучен в любом направлении, причем каждый раз это направление является случайным.

Когда свет от раскаленной поверхности звезды проходит через ее более холодную атмосферу, находящиеся там атомы различных элементов поглощают свет в определенных, свойственных этим атомам частотах. Эта световая энергия тут же снова излучается атомами, но уже в различных направлениях. Часть ее возвращается обратно, часть отсылается в сторону и лишь у незначительной части направление будет совпадать с первоначальным. Поэтому в соответствующих местах спектров звезд мы наблюдаем резкое ослабление света — темные линии.

Если атом поглотит квант достаточно высокой частоты, обладающий высокой энергией, то внешний электрон будет не просто перемещен несколько дальше, а будет оторван от ядра; атом станет ионизованным. Ионизованные атомы поглощают свет в иных частотах, чем неионизованные, у них внешним становится другой электрон, поэтому в спектрах звезд ионизованные атомы обнаруживают себя иначе, чем неионизованные, обычные атомы.

Чем выше температура звезды, тем больше световой энергии излучает в секунду квадратный сантиметр ее поверхности. Но от температуры зависит и состав квантов

в ее излучении. Чем выше температура, тем больше доля высокочастотных квантов и меньше доля низкочастотных.

Различие температур светящихся поверхностей звезд, вследствие которого излучение не одинаково по мощности и по распределению в нем квантов высоких и низких частот, влечет за собой различное состояние атомов химических элементов в атмосферах, а это определяет разнообразие спектров звезд.

Поясним, как это происходит. Предположим, что в атмосферах звезд имеются все элементы, которые вообще дают о себе знать в звездных спектрах, и притом для всех звезд пропорция элементов примерно одна и та же. Начнем рассмотрение условий в атмосферах звезд со спектрального класса М. Звезды, принадлежащие к этому спектральному классу, имеют температуру на поверхности около 3000° и являются сравнительно холодными звездами.

При температурах около 3000° еще могут существовать некоторые химические соединения, например, окись титана, и хотя окиси титана в атмосферах звезд ничтожное количество, его молекулы весьма интенсивно поглощают свет во множестве частот, создавая, таким образом, в спектрах звезд класса М целые полосы поглощения.

При более высоких температурах ускоряются движения атомов и молекул. Усиливаются столкновения молекул между собой и молекул с атомами. В результате этих столкновений молекулы распадаются и потому в спектрах звезд класса К полос поглощения молекул почти нет.

В спектрах звезд К и G сильны линии неионизованных металлов, линии же ионизованных металлов и линии водорода еще слабы. Это объясняется тем, что для ионизации атомов металлов и для возбуждения атомов водорода требуются высокочастотные кванты, которых в излучении звезд К и G, имеющих температуру $4000-6000\text{ K}$, еще сравнительно мало. Но в излучении этих звезд достаточно квантов менее высокой частоты для возбуждения атомов металлов.

В звездах класса F с температурой до 7500 K доля высокочастотного излучения заметно возрастает, большая часть атомов металлов ионизируется, и поэтому мы наблюдаем линии поглощения ионизованных металлов. Соответственно в атмосферах F-звезд уменьшается число неионизованных металлов, что влечет ослабление в спектре линий их поглощения. Усиление высокочастотного излу-

чения вызывает и усиление линий поглощения водорода. В спектральном классе А температура поверхности 8000—10 500 К. Здесь атомы металлов ионизованы дважды и большее число раз, т. е. от них оторваны два или больше электронов. Такие многократно ионизованные атомы металлов для возбуждения должны поглощать очень высокочастотные кванты из ультрафиолетовой части спектра. Эта часть спектра звезд нам почти неизвестна, так как ультрафиолетовая область излучения звезд поглощается земной атмосферой и до телескопов наблюдателей не доходит. Только теперь, в последние годы, в связи с космическими полетами появилась возможность выноса астрономических инструментов за пределы атмосферы Земли и изучения ультрафиолетовых областей спектров звезд. Линии водорода в спектрах звезд класса А становятся наиболее интенсивными.

У звезд спектрального класса В температура поверхности еще более высока: 11 000—15 000 К. Мощность высокочастотного излучения здесь так велика, что ионизируются кислород и азот, вследствие чего в спектрах появляются линии ионизованных кислорода и азота. В звездах класса В ионизируется и водород. Но атом водорода имеет только один электрон, поэтому после ионизации он не содержит электронов, уже не может поглощать свет и не дает о себе знать в спектре звезды. Число же неионизованных атомов водорода в В-звездах становится меньше и линии водорода в их спектрах ослабевают.

Наконец, в самых горячих звездах класса О, с температурами от 15 000 до 50 000 К и более, ионизируется уже и гелий, появляются линии ионизованного гелия. Кислород ионизируется дважды, о чем свидетельствуют соответствующие линии. Линии водорода резко ослабевают, так как подавляющая часть водорода переходит в ионизованное состояние.

В спектрах звезд класса О интенсивность линий водорода примерно такая же, как и в классе М. То обстоятельство, что водородные линии видны в спектрах звезд всех классов, хотя условия для их появления в некоторых из них, например, в крайних классах О и М, весьма неблагоприятны, указывает на обилие атомов водорода в атмосферах звезд. Исследования показывают, что атмосферы звезд не менее чем на 80% состоят из водорода.

Мы дали объяснение различию спектров различных классов качественно. Количественная теория была разра-

ботана индийским астрономом и физиком Саха. Наблюдения отлично согласуются с теорией Саха и показывают, что химический состав звезд действительно почти (но не совсем) одинаков. Характер спектров зависит главным образом от температуры. Некоторый отпечаток на спектры накладывает и величина ускорения силы тяжести на поверхности звезды, но влияние этого фактора гораздо слабее, чем влияние температуры звезды.

Цвет звезд

Как слиток раскаленного металла по мере повышения температуры от тускло-красного цвета переходит к желтому и затем ослепительно белому, так и звезды разных температур имеют различные цвета. У наиболее холодных звезд класса М цвет красноватый. Звезды класса К оранжевые. Наше Солнце и другие звезды класса G — желтые. У звезд класса F светло-желтый цвет, звезды класса А кажутся совершенно белыми. Еще более высокая температура звезд классов В и О делает их цвет голубоватым. Такая зависимость температуры от цвета понятна. Ведь в излучении звезд невысокой температуры преобладают кванты света сравнительно низких частот, соответствующие красной части спектра, а в излучении звезд О и В, имеющих очень высокие температуры, преобладают высокочастотные кванты из синей и фиолетовой областей спектра. Поэтому самые холодные звезды класса М красные, самые горячие звезды В и О — голубые, а звезды остальных классов, имеющие промежуточные температуры, имеют и промежуточные цвета — оранжевый, желтый, белый.

Астрономия — точная наука. В ней все понятия стремятся выразить количественно. Поэтому и цвет в астрономии не только качество, но и величина. Цвет в астрономии измеряют. Делается это так. Звезду фотографируют на две фотопластинки. Одна из них обыкновенная, обычно используемая в фотографии. Такая фотопластинка более чувствительна к синим и фиолетовым лучам и менее чувствительна к желтым и красным лучам. Вторая пластинка покрыта особым светочувствительным слоем, более чувствительным к желтым и красным лучам и менее чувствительным к синим и фиолетовым лучам. Эта пластинка по способности «воспринимать» свет различ-