

шаровые звездные скопления составлены из звездного населения II типа.

Тип населения, слагающийся из спиральных галактик и галактик II, уместно назвать I типом населения. Он доминирует в неправильных скоплениях галактик.

### **Закон всеобщего разбегания галактик**

В 1929 г. Хабл сообщил об открытии им фундаментальной закономерности. Он обнаружил, что линии спектров всех галактик, за исключением нескольких галактик из числа самых близких, смещены в красную сторону. Как и в случае смещения спектров звезд, объясняемых явлением Доплера, отношение изменения длины волны  $\Delta\lambda$  к самой длине волны  $\lambda$  одинаково для всех линий спектра данной галактики. Если объяснять это явление, как обычно, эффектом Доплера, то нужно сделать вывод, что все галактики, за исключением нескольких из числа самых близких, удаляются от нас, и скорость удаления  $v$  каждой галактики определяется из пропорции

$$\frac{v}{c} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda}, \quad (19)$$

где  $c$  — скорость света.

Но этим еще не исчерпывалось открытие. Выяснилось, что чем в среднем слабее галактика, тем сильнее смещены в красную сторону линии ее спектра; а так как слабый блеск галактики, вообще говоря, свидетельствует в пользу ее большей удаленности, то можно сделать вывод, что чем дальше находится галактика, тем сильнее смещен ее спектр в красную сторону.

Исследовав вопрос подробно, Хабл установил, что отношение  $\Delta\lambda/\lambda$ , определяемое по спектру галактики, пропорционально расстоянию до галактики, т. е. красное смещение в спектрах галактик пропорционально расстоянию до галактик.

Сначала эта закономерность была установлена для ярких и, следовательно, сравнительно близких галактик. Но затем в 1936 и 1953 гг. Хабл показал, что она справедлива для всех галактик, включая самые слабые, в результате чего обнаруженная закономерность приобрела характер всеобщего закона. Этот закон, названный законом красного смещения спектров галактик, а иногда называемый законом Хаббла, является одним из фунда-

ментальнейших законов Вселенной, одним из основных законов природы.

Ввиду чрезвычайной важности закона красного смещения спектров галактик, покажем, каким способом Хабл пришел к его установлению, но воспользуемся при этом более обширным материалом лучевых скоростей 806 галактик, который получили в 1956 г. Хьюмасон, Мейалл и Сендидж.

Предположим, что закон красного смещения спектров галактик справедлив и, следовательно, выполняется равенство

$$c \cdot \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = H \cdot r, \quad (20)$$

где  $c$  — скорость света, а  $H$  — некоторый коэффициент пропорциональности, который в честь Хаббла принято обозначать первой буквой его фамилии (Hubble).

Тогда, подставляя в известное нам равенство

$$m = M + 5 \lg r - 5$$

вместо  $r$  его выражение из (20), получим

$$m = 5 \lg \left( c \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \right) + M - 5 - 5 \lg H. \quad (21)$$

Последние два члена в равенстве (21) — постоянные величины. Если бы была еще одинаковой для всех галактик абсолютная звездная величина  $M$ , то, откладывая на оси абсцисс  $\lg \left( c \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \right)$ , а на оси ординат  $m$ , находимые из наблюдений галактик, мы, если закон Хаббла выполняется, согласно (21) должны были бы получить точки, располагающиеся строго вдоль некоторой прямой. На самом деле абсолютные звездные величины галактик различаются между собой, и притом, как мы знаем, довольно сильно. Вследствие этого (если закон Хаббла выполняется), точки будут располагаться не строго вдоль прямой, а сгруппируются около нее с некоторым разбросом.

График на рис. 102, построенный Хьюмасоном, Мейаллом и Сендиджем, убеждает в справедливости закона Хаббла. Важно здесь также то, что наклон прямой, около которой разбросаны точки, получается как раз таким, каким он должен быть согласно коэффициенту 5, стоящему перед логарифмом в уравнении (21).

Чтобы добиться еще более убедительного результата, уменьшить разброс точек около прямой, Хьюмасон, Мей-

алл и Сендидж воспользовались следующим приемом. В 18 скоплениях галактик они измерили красное смещение спектров у первой, третьей, пятой и десятой по яркости галактики и определили средние значения  $\lg\left(c \frac{\Delta\lambda}{\lambda}\right)$  и  $m$  для них. Можно полагать, что ярчайшие члены

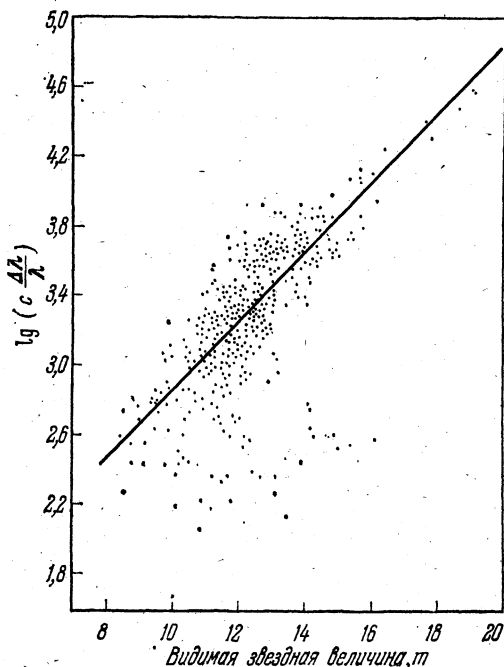


Рис. 102. Диаграмма, иллюстрирующая закон Хаббла для галактик.

скоплений не очень сильно отличаются от скопления к скоплению по абсолютной звездной величине. Кроме того, здесь взяты средние величины. Поэтому, если закон Хаббла верен, разброс точек должен сильно уменьшиться. Как показывает рис. 103, это в действительности и произошло. Полученные точки с очень малым разбросом ложатся около прямой. Закон Хаббла выражается отчетливо.

Итак, закон подтвержден: для галактик выполняется условие (20).

Но можно ли утверждать, что красное смещение спектров галактик есть следствие эффекта Доплера, т. е. что

оно вызывается удалением галактик? Если допустить, что это именно так, то из равенств (19) и (20) следует, что

$$v = H \cdot r, \quad (22)$$

и мы приходим к выводу, к которому астрономы за прошедшие 45 лет уже привыкли, но который поражает воображение каждого, кто впервые его узнаёт: галактики удаляются со скоростями, пропорциональными их расстояниям! Если одна из них расположена в сто раз дальше, чем другая, то она и удаляется от нас в сто раз быстрее.

Хабл объяснял красное смещение спектров галактик эффектом Доплера, поэтому закон (22) также называют законом Хабла. Нужно, однако, понимать, что закон (20) является безусловно правильным, он проверен наблюдениями, а закон (22) верен

только при допущении, что смещение спектров вызывается эффектом Доплера, чего наблюдениями доказать нельзя. Можно лишь судить о большей или меньшей степени правдоподобности этого утверждения.

Если бы весь наблюдаемый мир образовался в результате грандиозного взрыва и галактики формировались из материи, разбросанной взрывом, то те из них, которые зародились в частях материи, получивших в момент взрыва большую скорость, должны были бы к настоящему моменту улететь дальше, в полном согласии с законом Хабла.

Принятие закона Хабла в виде (22), утверждающем, что галактики имеют положительные скорости, пропорциональные их расстояниям, должно неизбежно приводить к выводу, что некогда в прошлом (как давно, это зависит от значения коэффициента  $H$ ) все галактики, или куски материи, из которых они сформировались, вылетели одновременно, но с разными скоростями из некоторого сравнительно малого объема.

Этот вывод имеет настолько большое значение для всех наших представлений о происхождении и строении

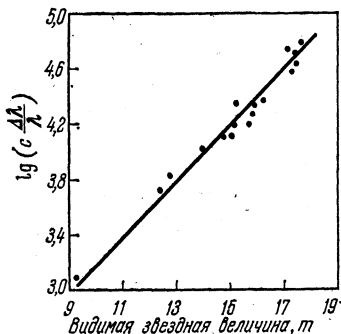


Рис. 103. Диаграмма, иллюстрирующая закон Хабла для ярких галактик скоплений.

Вселенной, что прежде чем с ним согласиться, необходимо проверить, нет ли других возможностей для объяснения красного смещения, кроме эффекта Доплера.

Было предложено несколько иных объяснений. Одно из них, получившее название гипотезы «старения кванта», состоит в том, что фотоны, т. е. частицы света, при своем движении в пространстве теряют часть энергии, которая в них заключена. Утверждается, что таков закон движения фотона в пространстве. Энергия фотона пропорциональна частоте, т. е. обратно пропорциональна длине волны излучения. Поэтому, по мере того как фотон путешествует в пространстве, длина волны излучения становится все больше и весь спектр далекого объекта оказывается смещенным в красную сторону, причём величина смещения будет пропорциональна расстоянию. На малых расстояниях и даже на расстояниях больших (но не очень) эффект старения кванта еще настолько незначителен, что его нельзя обнаружить из наблюдений, поэтому он сказывается только в спектрах весьма отдаленных тел — других галактик.

Еще одно объяснение, предложенное вместо эффекта Доплера, состояло в конкретизации причины «старения кванта». Потеря энергии фотоном не есть просто закон его движения, а вызывается взаимодействием с другими фотонами излучения, заполняющими пространство Метагалактики и движущимися по всевозможным направлениям. Чем больший путь проходит фотон, тем в среднем больше взаимодействий он испытывает, тем больше будет красное смещение спектра галактики.

Слабость всех гипотез, сводящихся к «старению кванта» при движении света в пространстве, состоит в том, что они требуют отказа от закона сохранения энергии. Если «старение кванта» есть просто закон его движения, то энергия теряется, не передаваясь ничему, т. е. закон сохранения энергии нарушается. Если же фотон теряет часть энергии, передавая ее какой-то среде, другим фотонам, вообще каким-то частицам, то всякая такая передача энергии должна быть связана с возможностью изменения направления полета фотона. Фотоны, прошедшие очень большой путь, должны заметно изменить направление своего движения в пространстве. Вследствие этого изображения далеких галактик должны быть размытыми, и чем дальше галактика, тем степень размытости ее изображения должна быть больше.

Но наблюдения показывают, что очертания далеких и очень далеких галактик столь же ясны и отчетливы, как и ближайших к нам звездных систем.

Поэтому гипотезы «старения кванта», серьезно обсуждавшиеся еще лет тридцать назад, в настоящее время почти не находят сторонников.

Только эффект Доплера может приводить к сильному красному смещению спектров галактик и сохранять при этом отчетливые изображения галактик на фотографических пластинках, такие, какие в действительности наблюдаются. Таким образом, хотя это нельзя считать строго доказанным, а просто ввиду отсутствия других удовлетворительных объяснений, разумно считать, что красное смещение спектров галактик действительно вызывается их удалением.

Значит, нужно принять и следствие из этого вывода, а именно, что в некоторый момент в прошлом все галактики, или куски материи, из которых образовались галактики, были одновременно выброшены по разным направлениям и с разными скоростями из маленького объема пространства. Этот фундаментальный космогонический вывод в тридцатые годы нашего века породил гипотезы, рассматривающие взрыв, давший начало галактикам, как сотворение мира в результате божественного акта.

С другой стороны, вывод об имевшем место, казалось бы, начальном моменте существования всей наблюдаемой Вселенной настораживал многих астрономов и вызывал у них недоверие к закону Хаббла. Но попытки игнорировать закон, основанный на точных наблюдениях, никогда не приводят к научному прогрессу. В наши дни стало совершенно ясным, что предположение о некотором грандиозном процессе взрывного характера, давшем начало галактикам и сообщившим им различные скорости, является наблюдательным фактом, вполне согласующимся с материалистическими представлениями о Вселенной.

Взрывные процессы различного масштаба оказались весьма распространенными во Вселенной. Вспышки новых звезд, вспышки сверхновых звезд, грандиозный взрыв в ядре галактики NGC 3034 и другие явления, о которых мы будем писать ниже, свидетельствуют о существовании процессов взрывного характера, показывают, что процессы такого рода — закономерность в эволюции Вселенной. Взрывной процесс, давший начало всем

наблюдаемым галактикам, следует рассматривать в цепи этих явлений как самое грандиозное из них.

Предположим, что в результате взрыва, происшедшего 1,5 млн. лет назад, в ядре галактики NGC 3034, сформировались звезды. Около одной из них образовалась планетная система и развилась разумная жизнь. Точные научные исследования, которые выполнят разумные существа, приведут их к выводу, что планетная система, в которой они живут, и окружающие их звезды образовались одновременно в результате взрыва и выбросов из маленькой области внутри ядра галактики 1,5 млн. лет назад. Будет ли такой вывод научным? Разумеется. Требуется ли он признания сверхъестественной божественной силы? Нет, конечно. Разумным существам в галактике NGC 3034, как и нам, необходимо будет признать, что наблюдательные данные свидетельствуют о существовании и важной роли в космогонии еще неизученных процессов взрывного характера. Они, как и мы, должны считать первостепенной задачей изучение этих процессов, связанных с бурным переходом вещества из одного состояния в другое. То, что взрывные процессы проявляются в различной форме и имеют различные масштабы, должно способствовать изучению сути этих явлений.

Так как все обозреваемое пространство Вселенной заполнено галактиками и никаких иных тел, отклоняющихся от закона Хаббла, не наблюдается, то этот закон можно трактовать как общее расширение наблюдаемой области Вселенной, расширение Метагалактики. Можно даже считать, что происходит равномерное и изотропное, т. е. одинаковое во всех точках и во всех направлениях, расширение пространства, влекущее удаление друг от друга тел, в нем находящихся.

Удаление галактик по всем направлениям от земного наблюдателя вовсе не означает, что Земля или, лучше сказать, наша Галактика занимает центральное положение во Вселенной, в Метагалактике. Представьте себе сплошной резиновый шар, который мы каким-нибудь способом равномерно растягиваем по всем направлениям. В какой бы точке этого шара ни находился наблюдатель, в центральной или любой иной, ему будет казаться, что все остальные точки шара от него удаляются, причем удаляются со скоростями, пропорциональными их расстояниям. Интересно, что если скорость удаления галактик не зависит от направления, то только закон пропор-

циональности скорости расстояниям не ведет к антропоцентризму — выводу о центральном положении человека во Вселенной. Если бы, например, все галактики, независимо от их расстояний, удалялись от Земли с одинаковой скоростью, то, как легко себе это представить, положение нашей Галактики во Вселенной было бы исключительным. Только при взгляде из этой точки происходило бы расширение по всем направлениям, и во всех направлениях скорость расширения была бы одинаковой. Для каждой из других точек пространства имелось бы направление, в котором расширение отсутствует, а в остальных направлениях скорость расширения была бы различной.

Рассматривать удаление галактик как расширение пространства удобно еще вот почему. Галактики, являющиеся членами одного и того же скопления галактик, находятся почти на одинаковом расстоянии от нас, так как обычно размеры скопления малы в сравнении с такими расстояниями. Между тем лучевые скорости этих галактик обычно заметно отличаются друг от друга. Отличие намного больше того, которое следует из закона Хаббла, если бы одни галактики находились на ближней к нам, а другие на дальней от нас границах скопления. Это явление объясняется тем, что все скопление галактик удаляется от нас со скоростью, которая у него должна быть согласно закону Хаббла, но внутри скопления каждая галактика еще как-то движется по отношению к центру инерции скопления. Поэтому общая скорость галактики складывается из двух скоростей — общей согласно закону Хаббла для данного расстояния, т. е. для места данного скопления, и индивидуальной скорости по отношению к скоплению, в котором галактика находится.

Индивидуальным движением обладает каждая галактика, а не только член скопления. Поэтому общую картину движений галактик лучше всего представлять себе так: все пространство Метагалактики изотропно расширяется и увлекает с собой находящиеся в нем галактики. В то же время каждая галактика имеет еще индивидуальное движение, направление которого может быть любое — и от нас, и к нам, и в любую другую сторону.

Именно благодаря индивидуальным движениям спектры некоторых из самых близких галактик смещены не в красную, а в фиолетовую сторону, т. е. эти галактики к нам приближаются. У близких галактик удаление, вызванное расширением пространства, мало вследствие сра



нительной малости расстояния, и эта скорость вполне может быть перекрыта индивидуальной скоростью, если последняя направлена к нам. У далеких же галактик скорость удаления, вызываемая расширением пространства, настолько велика, что влияние индивидуальной скорости становится незаметным.

В списке Местной системы галактик (см. табл. 12) 7 галактик имеют отрицательную лучевую скорость, т. е. приближаются к нам. Однако необходимо учесть, что лучевые скорости мы определяем из Солнечной системы, которая сама движется со скоростью около 220 км/с в нашей Галактике. Поэтому чтобы получить скорость других галактик по отношению к нашей Галактике, а именно это и представляет интерес в рассматриваемом вопросе, необходимо в полученные лучевые скорости внести поправки за скорость Солнца в Галактике.

Если это сделать, то окажется, что лучевая скорость у всех членов Местной системы сохранит знак. В частности, у шести членов Местной системы лучевая скорость останется отрицательной, хотя и уменьшится по абсолютной величине. Так, туманность Андромеды (NGC 224) действительно приближается к нашей Галактике со скоростью 143 км/с, а NGC 185 со скоростью 180 км/с.

Исследование лучевых скоростей близких галактик показало, что индивидуальные скорости галактик, расположенных вне скоплений, составляют в среднем 200—300 км/с, а у галактик — членов некоторых плотных скоплений они больше и равны 400—600 км/с.

Величины красных смещений спектров указывают на очень большие скорости слабых далеких галактик. Например, для одной слабой галактики измеренное Минковским на Паломарской обсерватории значение  $\Delta\lambda/\lambda$  оказалось равным 0,46. Следовательно, если применить формулу (19), то скорость удаления галактики будет равна 0,46  $c$  или 138 000 км/с. Однако для таких больших скоростей формула (19) неверна. Она приближенно выражает закон Доплера лишь в том случае, когда  $v$  очень мала в сравнении с  $c$ . Точная формула закона Доплера дается теорией относительности и имеет вид

$$\frac{v}{c} = \frac{\left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda} + 1\right)^2 - 1}{\left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda} + 1\right)^2 + 1} \quad (23)$$

В случае очень малых  $\Delta\lambda/\lambda$  эта формула сводится к равенству (19), а при не очень малых  $\Delta\lambda/\lambda$  различие между формулами (19) и (23) существенно. Если, например, смещение длины волны окажется равным самой длине волны (что не невозможно), то по формуле (19) получится предельная в природе скорость  $v = c$ , а по верной формуле (23)  $v = \frac{3}{5}c$ . Согласно формуле (23) какие бы большие смещения спектров ни наблюдались, скорость удаления меньше скорости света. Для упомянутой выше галактики, имеющей красное смещение спектра  $\Delta\lambda/\lambda = 0,46$ , по формуле (23) находим правильное значение  $v = 0,36c$  или 108 000 км/с.

Теперь нам осталось сделать последний и важнейший шаг в познании закона Хаббла. Нужно определить значение коэффициента пропорциональности  $H$ , связывающего в формуле (22) скорость удаления галактик с расстояниями до них. Коэффициент  $H$  является одной из основных мировых констант — он характеризует скорость расширения мирового пространства. Историю определения этого коэффициента мы изложим в следующих двух разделах.

### Построение шкалы внегалактических расстояний

Если бы закон Хаббла

$$v = H \cdot r$$

выполнялся точно и коэффициент  $H$  был известен, то, определив из наблюдений  $\Delta\lambda/\lambda$ , а затем по формуле (19) лучевую скорость  $v$ , можно было бы найти расстояние до галактики.

Но закон (22) выполняется неточно. Он был бы точным, если бы у галактик отсутствовали индивидуальные скорости и они удалялись от нас в строгом соответствии с общим расширением пространства. Как было указано выше, индивидуальные лучевые скорости в метagalактическом поле составляют 200—300 км/с, а в некоторых плотных скоплениях достигают 400—600 км/с. Они могут быть как положительными, так и отрицательными. Поэтому если, например, полученная из наблюдений лучевая скорость равна +500 км/с, то очевидно, что в ее образовании индивидуальная лучевая скорость галактики могла играть значительную роль, составляя многие десятки процентов от измеренной величины. Следовательно,