

ростью 540 км/с. Нужно полагать, что за время существования галактик их скорости не претерпели существенных изменений. Тогда можно определить время, необходимое галактикам, чтобы после того как произошел взрывной процесс, разойтись на то расстояние, на котором они находятся сейчас:

$$\frac{1 \text{ Мпс}}{540 \text{ км/с}} = \frac{3,81 \cdot 10^{19} \text{ км}}{540 \text{ км/с}} = 7 \cdot 10^{16} \text{ с} = 2,5 \cdot 10^9 \text{ лет.}$$

Два с половиной миллиарда лет назад, согласно расчетам Хаббла, произошел взрывной процесс, сделавший наблюдаемую Вселенную такой, какой мы ее видим сейчас.

Пересмотр шкалы внегалактических расстояний

Около двух десятков лет астрономия использовала шкалу внегалактических расстояний Хаббла, определяемую значением мировой константы $H = 540 \text{ км/с} \cdot \text{Мпс}$. Определение расстояний до далеких галактик и их скоплений, изучение структуры метагалактического пространства, оценка радиуса обозреваемой Вселенной производились на основе этой принятой всеми шкалы расстояний. Она указывала и на верхний предел — 2,5 млрд. лет — возраста галактик, звезд, планет, всех тел обозреваемого мира (но не возраста самого мира).

Однако к концу пятидесятых годов стало выясняться, что принятая система расстояний во внегалактической астрономии приводит к мало правдоподобному выводу, что наша Галактика является самой большой звездной системой из всех наблюдаемых звездных систем. Более того, получалось так, что не только сама Галактика, но и все объекты, входящие в нее, звезды-сверхгиганты, шаровые скопления, планетарные туманности, почему-то превосходят по светимости аналогичные объекты в других галактиках.

В 1954 г. Бааде предпринял попытку обнаружения короткопериодических цефеид в туманности Андромеды при помощи вступившего в строй 5-метрового телескопа. Согласно принятому до туманности Андромеды расстоянию в 230 кпс, короткопериодические цефеиды (их абсолютная звездная величина приблизительно равна $0^m,0$) должны были иметь с учетом поглощения света видимую звездную величину $22^m,4$. Столь слабые объекты недоступ-

ны 2,5-метровому телескопу, который до этого был крупнейшим в мире: он мог получать изображения звезд только до 21,5 видимой звездной величины. Для 5-метрового телескопа предельная видимая звездная величина объектов $23^m,0$, поэтому Бааде рассчитывал на успех. Однако, приняв меры к получению изображений объектов до $23,0$ видимой звездной величины, Бааде не обнаружил среди них короткопериодических цефеид. Зато были получены изображения долгопериодических переменных звезд типа Миры Кита. Видимая звездная величина их оказалась равной $22^m,4$ — как раз той, которая ожидалась для короткопериодических цефеид.

Средняя абсолютная звездная величина звезд типа Миры Кита надежно установлена путем сравнения их в шаровых скоплениях нашей Галактики с короткопериодическими цефеидами и оценивается в $-1^m,5$. Значит, переменные звезды типа Миры Кита должны были иметь в туманности Андромеды видимую звездную величину $20^m,9$, а оказались видимой звездной величины $22^m,4$. Короткопериодические цефеиды там же ожидалось с видимой звездной величиной $22^m,4$, но не наблюдаются вовсе, хотя предельная видимая звездная величина для 5-метрового телескопа $23^m,0$.

Все это можно объяснить лишь тем, что туманность Андромеды находится на самом деле дальше, чем предполагали. Оказывается, если считать, что туманность Андромеды находится в два раза дальше, т. е. на расстоянии 460 кпс, то звезды типа Миры Кита будут иметь видимую звездную величину $22^m,4$, что и наблюдается, а короткопериодические цефеиды окажутся за пределом видимости 5-метрового телескопа, как и есть на самом деле. Более того, шаровые скопления и звезды-сверхгиганты туманности Андромеды, ранее почему-то уступавшие по светимости аналогичным объектам нашей Галактики, после принятия нового, вдвое большего расстояния сравняются с объектами Галактики. Сама туманность Андромеды при этом окажется и светимостью и размерами равной нашей Галактике, даже чуть превзойдет ее.

В чем же была причина ошибки, приведшей к вдвое меньшему значению расстояния? Как выяснилось, ошибка состояла в неправильной зависимости период — абсолютная звездная величина, которую использовали для долгопериодических цефеид при определении расстояний. Мы уже говорили в гл. 1, что и у короткопериодических,

и у долгопериодических цефеид выполняется закон — чем больше период, тем больше светимость. На рис. 105 сплошной линией показана зависимость между логарифмом периода и абсолютной звездной величиной, какой она предполагалась при выработке первой шкалы внегалактических расстояний. У этой кривой достаточно надежно определяется наклон, так как в Магеллановых Обла-

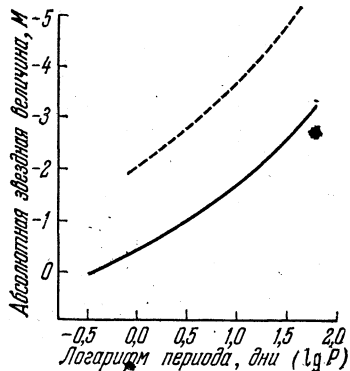


Рис. 105. Зависимость период — светимость у цефеид и ее пересмотр.

ках хорошо сравниваются между собой долгопериодические цефеиды, а в шаровых скоплениях нашей Галактики — короткопериодические цефеиды. Но для того чтобы выяснить, в каком месте чертежа проходит кривая, нужно хотя бы для одной цефеиды суметь определить расстояние тригонометрическим или каким-нибудь другим способом — положение, аналогичное тому, которое создается при определении константы Хабла H .

Для короткопериодических

цефеид это сделать удалось, нашлись близкие цефеиды, а для долгопериодических цефеид старания не увенчались успехом, все они очень далеки от нас. Тогда решили, что зависимость период — абсолютная звездная величина у короткопериодических и долгопериодических цефеид общая и выражается одной кривой. У кривой на рис. 105 область значений $\lg P$ от $-0,3$ до $+0,2$ (P измеряется в днях) относится к короткопериодическим цефеидам, а от $+0,8$ до $+1,3$ к долгопериодическим цефеидам. Хотя в характере кривой блеска у короткопериодических и долгопериодических цефеид есть общие черты, но, как известно, они относятся к разным типам звездного населения, поэтому трудно было бы предполагать, что зависимость период — абсолютная звездная величина у них общая. Из-за отсутствия данных о расстояниях долгопериодических цефеид пришлось примириться с этим предположением.

Исследование Бааде показало, что кривая период — абсолютная звездная величина для долгопериодических цефеид должна быть смещена на $1^m,5$ в сторону больших

светимостей. Правильная кривая для долгопериодических цефеид на рис. 105 показана прерывистой линией. Кривые для короткопериодических и долгопериодических цефеид оказались разными. Светимость долгопериодических цефеид, как выяснилось, в четыре раза больше, чем предполагали. Поэтому расстояния до галактик, определяемые при помощи долгопериодических цефеид, вдвое больше тех, которые получали первоначально.

Метод определения расстояний по ярчайшим звездам основан на сравнении их с цефеидами, а метод использования красного смещения спектров галактик — на сравнении с методом ярчайших звезд. Поэтому ошибка в два раза, вызванная неправильными данными о светимости цефеид, автоматически была перенесена на все внегалактические расстояния. После исследования Бааде Метагалактика как бы расширилась сразу вдвое, постоянная Хабла H вдвое уменьшилась, время, прошедшее с момента взрывного процесса, вдвое увеличилось.

Но пересмотр шкалы внегалактических расстояний на этом не закончился. В 1958 г. Сендидж, используя 5-метровый телескоп, исследовал галактику NGC 4321, которую Хабл использовал для привязки метода определения расстояний по лучевым скоростям к методу ярчайших звезд. Оказалось, что в этой галактике телескоп обнаруживает в виде ярких точек и звезды и сгустки, включающие ионизованные газовые туманности. Применяя фотографирование через различные фильтры, Сендидж надежно отделил звезды от сгустков туманностей. Видимая звездная величина первых оказалась $20^m,8$, а вторых $19^m,0$. Ясно, что Хабл, используя менее мощный телескоп и не применяя фильтры, принимал за ярчайшие звезды более яркие объекты — сгустки ионизованного газа. Это дало дополнительную ошибку в $1^m,8$. Чтобы исправить ее, нужно считать галактику NGC 4321 расположенной еще в 2,3 раза дальше, чем предполагали, а всего в 4,6 раза дальше, чем считал Хабл.

Кроме того, исследуя снова вопрос о расстоянии до ближайших галактик и используя для этой цели не только цефеиды, но и новые звезды, Сендидж пришел к выводу, что старые расстояния до ближайших галактик должны быть увеличены не в два раза, как считал Бааде, а в 2,75 раза. Эта дополнительная поправка распространяется на все внегалактические расстояния. Поэтому окончательный результат таков: старые расстояния до

далеких галактик должны быть увеличены в 6—7 раз. Таким образом, пересмотр шкалы внегалактических расстояний привел к тому, что расстояния до ближайших галактик, для определения которых использовался только метод цефеид и метод новых звезд, увеличились в 2,75 раза, а расстояния до остальных галактик и до скоплений галактик, для определения которых используется метод красного смещения спектров, увеличились в 6—7 раз. Соответственно постоянная Хаббла — мировая константа H — оказалась в 6—7 раз меньше, чем считал Хаббл.

Уточнению значения постоянной Хаббла и в настоящее время продолжает посвящаться много исследований. Однако, как, должно быть, уже ясно читателю из описания методов нахождения значения H , возможная точность определения этой фундаментальной величины пока невысока. Она не может идти в сравнение с точностью, с которой определяются значения таких, например, фундаментальных констант, как гравитационная постоянная, скорость света или заряд электрона. Результаты, получаемые различными исследователями, пока еще расходятся между собой, и можно лишь утверждать, что истинное значение H заключено в промежутке от 50 до 80 км/с · Мпс.

Следовательно, переход на новую шкалу внегалактических расстояний уменьшил значение постоянной Хаббла в 7—10 раз. Соответственно в 7—10 раз возросли все расстояния до далеких галактик и их скоплений. Радиус Метагалактики в наших представлениях также увеличился в 7—10 раз, а ее объем в 350—1000 раз. В 350—1000 раз уменьшилась плотность материи в Метагалактике. В семь — десять раз возросло в наших представлениях время, прошедшее с момента общего взрыва, давшего начало материи, из которой сформировались галактики и составляющие их звезды. Оно теперь должно оцениваться в 13—20 миллиардов лет. Оценка средней светимости одного кубического мегапарсека Метагалактики составляет теперь $1,2 \cdot 10^8$ — $3,5 \cdot 10^8$ светимости Солнца; это соответствует светимости $1 \cdot 10^{-39}$ — $3 \cdot 10^{-39}$ джоулей на 1 см^3 .

Сверхсистема галактик

В 1953 г. французский астроном Вокулер, исследуя распределение по небу галактик до 12-й видимой звездной величины, т. е. ярких галактик, установил, что они