

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,

в этом случае, т. е. в случаях малых скоростей и малых расстояний, точность закона Хаббла (22) очень низка.

Если же полученная из наблюдений лучевая скорость велика, равна, например, +30 000 км/с, то роль индивидуальной скорости галактики в ее образовании незначительна, она составит около 1% измеренной скорости. Следовательно, для больших скоростей, а значит, и для больших расстояний закон Хаббла выполняется с большой степенью точности. Такова любопытная особенность закона Хаббла: он тем точнее, чем больше расстояния.

Мы приходим к важному выводу. Стоит только один раз каким-нибудь способом надежно определить значение мировой константы — коэффициента H , и станут известны расстояния до всех далеких галактик и их скоплений, если для них измерено красное смещение спектра. Будет уверенно промериваться практически все доступное наблюдением пространство, потому что введение в строй все более крупных телескопов и использование чувствительных фотопластинок позволяет при больших выдержках получать спектры очень слабых, отдаленных объектов и измерять в них красное смещение линий. Таким образом, коэффициент H фактически определяет шкалу внегалактических расстояний.

Но надежное определение значения мировой константы H оказалось очень сложным делом.

Построенные Хабблом, а впоследствии Хьюмасоном, Мейаллом и Сендиджем диаграммы (рис. 102 и 103) позволяют только удостовериться в правильности закона Хаббла (22), но не могут быть использованы для определения значения коэффициента H .

Единственный способ определения H состоит в следующем. Нужно у какой-нибудь галактики, которая достаточно далека и поэтому для нее достаточно точно выполняется закон (22), измерить красное смещение спектра и по формуле (19) вычислить v . Кроме того, и в этом вся трудность задачи, нужно как-то независимо измерить расстояние до этой галактики. Тогда в равенстве (22) величины v и r станут известны, значение коэффициента H определится.

Закон (22) выполняется тем точнее, чем дальше рассматриваемая галактика. Задача поэтому сводится к определению каким-нибудь способом расстояния до возможно более далекой галактики. Для решения ее Хаббл применил метод, который можно назвать двухступенчатым.

Сначала он определил расстояние до туманности Андромеды при помощи цефеид. Короткопериодические цефеиды в этой галактике наблюдаться не могли даже в 2,5-метровый телескоп, которым пользовался Хабл. Но долгопериодические цефеиды, имеющие значительно более высокую светимость, наблюдались уверенно. Измеряя периоды этих переменных звезд, Хабл по известному тогда соотношению период — абсолютная звездная величина находил значения M у цефеид. А сравнение абсолютной звездной величины звезды с ее наблюдаемой видимой звездной величиной по формуле (16) определяет расстояние.

Знания расстояния до туманности Андромеды еще недостаточно для определения константы H . Слишком близка эта галактика и, как мы знаем, лучевая скорость у нее даже отрицательна. У более же далеких галактик долгопериодические цефеиды становятся недоступными наблюдениям, нужно найти какие-то более яркие объекты для определения расстояния. Хабл использовал ярчайшие звезды галактик. Так как расстояние до туманности Андромеды было уже определено, он по видимым звездным величинам ярчайших звезд этой галактики, используя формулу (15), определил их абсолютные звездные величины. Ярчайшие звезды на несколько звездных величин ярче долгопериодических цефеид и могут наблюдаться у более далеких галактик. Затем Хабл выбрал несколько спиральных галактик в скоплении Девы, достаточно далеких, но у которых еще была возможность различить несколько точечных объектов — ярчайших звезд. Он предположил, что средняя абсолютная звездная величина нескольких ярчайших звезд во всех спиральных галактиках одна и та же. Следовательно, у спиральных галактик в Деве она такая же, как у туманности в Андромеде. Тогда сравнение этих абсолютных звездных величин с наблюдаемыми видимыми звездными величинами определяет расстояние. У галактик, расстояния которых были таким образом определены, лучевые скорости несколько превосходят 1100 км/с — это все-таки в несколько раз больше средней индивидуальной скорости галактик и равенство (22) можно считать приблизительно верным. Конечно, желательно было бы использовать более далекие галактики, имеющие большие лучевые скорости, но в них уже и ярчайшие звезды становятся невидимыми.

Из использованных Хаблом галактик основную роль сыграла самая яркая галактика скопления Девы NGC 4321 (рис. 104).

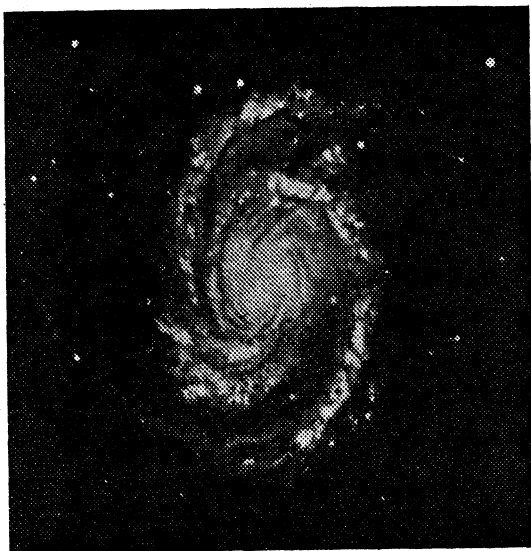


Рис. 104. Галактика NGC 4321. Она сыграла важную роль при определении константы H .

В итоге всех исследований Хабл пришел к следующему значению всемирной константы H :

$$H = 540 \text{ км/с на мегапарсек.}$$

Следовательно, темп расширения пространства таков, что точка, находящаяся на расстоянии в 1 Мпс, удаляется со скоростью 540 км/с, точка на расстоянии 2 Мпс удаляется со скоростью 1080 км/с и т. д. Если измеренная лучевая скорость галактики составляет 10 000 км/с, то расстояние ее равно

$$\frac{10\,000 \text{ км/с}}{540 \text{ км/с} \cdot \text{Мпс}} = 18,5 \text{ Мпс.}$$

Мы отмечали выше, что пространство расширяется изотропно и закон Хабла верен при наблюдении из любой точки Вселенной, а не только с Земли. Любые две галактики, разделенные расстоянием в 1 Мпс, вследствие расширения пространства удаляются друг от друга со ско-

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-