

## § 7. О возможности определения космологической модели по наблюдениям далеких объектов

В формулы, связывающие абсолютную мощность источника и принимаемый на Земле поток, входят величины  $H$  и  $\Omega$ , определяющие космологическую модель. Эти же величины входят в выражение для числа далеких источников с данным красным смещением и (или) с данным принимаемым потоком; в это выражение входит также, очевидно, множителем плотность источников в единице объема сопутствующего пространства. При больших  $z$  существенно сказывается неевклидовость пространства, следовательно, влияние  $\Omega$  на результаты велико. Если значительная часть вещества представляет собой полностью ионизованный газ, велико также влияние рассеяния электромагнитных волн на свободных электронах. Все это надо учитывать при обработке наблюдений.

Можно ли на основе наблюдений получить сведения о космологических величинах?

Очевидно, это возможно, если известна абсолютная мощность источника или если известна плотность источников. В ряде работ рассчитаны зависимости, на основе которых это можно сделать; такие зависимости приведены в предыдущих параграфах этой главы. Однако наиболее трудная часть вопроса заключается как раз в том, чтобы получить необходимые исходные данные об источниках. Звезды главной последовательности представляют собой тот единственный тип источников, для которых физическая теория дает вполне определенные выводы о связи спектра с абсолютной мощностью. Примером звезд, для которых эмпирически и теоретически установлена определенная связь между периодом и мощностью, являются цефеиды. Но цефеиды не видны в далеких галактиках, а для получения надежных данных, естественно, нужны далекие объекты с большим  $z$ . С больших расстояний мы видим только галактики как целое (или квазары) и не в состоянии различать отдельные объекты или структурные образования в них. Но относительно квазаров или радиогалактик — объектов, наблюдаемых на наибольших расстояниях, — надежных методов определения абсолютной мощности нет.

В § 9 мы коротко остановимся на способах определения абсолютной мощности излучения обычных галактик и — с их помощью — параметров космологической модели. В данном параграфе мы рассмотрим принципиальный вопрос о влиянии эволюции источников на способы определения параметров космологической модели. Речь будет идти главным образом о способах определения параметров модели по подсчетам радиоисточников. Длительное время с этими способами космологи связывали большие надежды.

Можно ли определить космологическую модель при наличии эволюции источников? Ниже мы покажем, что если не известна эволюция источников из независимых соображений, то это принципно

ально невозможно. Любая модель, т. е. любые значения  $H_0$  и  $\Omega$ , совместима с любыми наблюдательными данными по статистике источников, если никак не ограничивать закон эволюции источников. Следовательно, никакие данные по статистике сами по себе (без знания эволюции) не позволяют определить  $H_0$  и  $\Omega$ . Поскольку  $H_0$  можно считать известным с точностью порядка  $\pm 50\%$ , практически речь идет об определении  $\Omega$ . В оценке  $\Omega$  неопределенность достигает более сотни ( $5 \cdot 10^{-31} \text{ г/см}^3 < \rho_0 < 5 \cdot 10^{-29} \text{ г/см}^3$ , т. е.  $0,01 < \Omega < 5$ ). Различия в точности определения  $H_0$  и  $\Omega$  объясняются ниже. Учет рассеяния света электронами ничего не меняет. Всякое утверждение, относящееся к величине  $\Omega$ , полученное обработкой статистических данных и сопоставлением их с формулами релятивистской космологии, в действительности, явно или неявно, основано на тех или иных предположениях, касающихся эволюции; достоверность получаемых значений не больше достоверности эволюционных предположений.

Рассмотрим вопрос в самом общем виде. Обозначим через  $P$  абсолютную мощность излучения источника. Пусть  $\rho(P, t)$  есть функция плотности источников; число источников с мощностью между  $P$  и  $P+dP$  в единице сопутствующего объема дается выражением  $dn = \rho(P, t)dP$ . Мы используем здесь букву  $P$  для характеристики светимости источников, чтобы подчеркнуть, что речь идет не обязательно об интегральной светимости  $L$ ; так, например, можно говорить о радиосветимости, которая обычно и обозначается через  $P$ . Релятивистская космология дает нам, во-первых, связь между  $t$  и  $z$ , т. е.  $t = t(z, \Omega)$ , и, во-вторых, связь между принимаемым потоком  $S$  и мощностью:

$$S = P\varphi_*(z, \Omega), \quad \text{или} \quad P = S\varphi_*^{-1} = S\psi_*(z, \Omega). \quad (3.7.1)$$

Влияние электронного рассеяния заключено в функциях  $\varphi_*$  и  $\psi_*$ : если без рассеяния  $\varphi_* = \varphi_{*0}(z, \Omega)$ , то с учетом рассеяния  $\varphi_* = \varphi_{*0}e^{-\tau}$ , где  $\tau$  — оптическая толщина. В-третьих, известен сопутствующий объем, приходящийся на слой, в котором красное смещение меняется от  $z$  до  $z+dz$ , и на один стерадиан телесного угла:

$$dV = \chi(z, \Omega) dz. \quad (3.7.2)$$

Рассмотрим теперь число наблюдаемых объектов в одном стерадиане, для которых поток лежит между  $S$  и  $S+dS$ , а красное смещение между  $z+dz$  и  $z$ . Их мощность, очевидно, лежит в пределах между  $P = S\psi_*$  и  $P+dP = (S+dS)\psi_*$ . Следовательно,

$$\begin{aligned} d^2N &= N''(S, z) dS dz = \rho(S\psi_*, t) \psi_* dS \chi dz = \\ &= \rho[S\psi_*(z, \Omega), t(z, \Omega)] \psi_*(z, \Omega) \chi(\Omega, z) dS dz. \end{aligned} \quad (3.7.3)$$

Итак, для любой функции  $N''(S, z)$ , полученной из наблюдений при любом значении  $\Omega$ , можно построить соответствующую

эволюционную функцию

$$\rho(P, t) = \frac{N'' [P\varphi_*(z, \Omega), t(z, \Omega)]}{\psi_* [z(t), \Omega] \chi [z(t), \Omega]}, \quad (3.7.4)$$

и это показывает, что знание  $N''(S, z)$  не позволяет определить  $\Omega$  без фиксирования функции  $\rho$ , т. е. без знания эволюции источников. Наблюдения неидентифицированных оптических радиосточников (для них  $z$  неизвестно) дают распределение их по величине потока, т. е. функцию  $N'(S)$ :

$$dN = N'(S) dS = dS \int_0^{\infty} N''(S, z) dz. \quad (3.7.5)$$

Очевидно, что такие менее полные наблюдения тем более не дают оснований для определения  $\Omega$ . Статистические наблюдения дают сведения об эволюции радиосточников (см. § 8), но не о космологии в узком смысле этого слова.

Мы говорили в начале параграфа, что из наблюдений  $H_0$  вычисляется достаточно надежно, а  $\Omega$ , как показано выше, без знания эволюции вообще не определяется. Здесь мы покажем конкретно на формулах различие в вычислении  $H_0$  и  $\Omega$  (подробнее см. § 9). Предположим, что измерения для некоторых типов объектов в нашей окрестности дают определенное значение их мощности  $P$ . Мы можем допустить также, что величина  $P$  подвергается эволюционным изменениям,  $P = P(t)$ , причем представляется невероятным, что на сегодняшний день  $t = t_0$  в эволюции имеется сингулярная точка. Поэтому функция  $P(t)$  дается рядом

$$P = P_0 + (t - t_0) P'_0 + \frac{1}{2} (t - t_0)^2 P''_0 + \dots, \quad (3.7.6)$$

не содержащим отрицательных и дробных степеней:  $P_0$  предполагается известной в противоположность  $P'_0$ ,  $P''_0$  и т. д. Космологическая модель дает нам связь между  $t - t_0$  и  $z$  (ср. § 5):

$$t - t_0 = -\frac{z}{H_0} + \left( \frac{3}{2} - \frac{\Omega}{4} \right) z^2 + \dots, \quad (3.7.7)$$

так что

$$P = P_0 - \frac{z}{H_0} P'_0 + z^2 (P''_0 + \Omega P'_0) + \dots \quad (3.7.8)$$

Теперь для вычисления наблюдаемого потока  $S$  мы должны вспомнить [см., например, (3.6.14а)], что

$$\varphi_*(z, \Omega) = \frac{H_0^2}{4\pi c^2 z^2} \left[ 1 - \left( 1 - \frac{\Omega}{2} \right) z \right], \quad (3.7.9)$$

так что

$$S = \frac{P_0 H_0^2}{4\pi c^2 z^2} \left[ 1 - \left( 1 - \frac{\Omega}{2} + \frac{1}{H_0} \frac{P'_0}{P_0} \right) z + \dots \right]. \quad (3.7.10)$$

Из (3.7.10) видно, что для определения  $H_0$  нужен только первый член разложения, плотность  $\Omega$  переплетается с плохо известной величиной  $P'_0$  (подробнее см. § 9).

Если принять, что эволюционного эффекта нет, т. е. положить  $\rho = \rho(P)$  (не зависит от  $t$ ), то получаются определенные функции  $N''(S, z, \Omega)$  и  $N'(S, \Omega)$ , зависящие только от  $\Omega$ . Вид функции  $\rho(P)$  можно получить исследованием близких объектов. Была надежда, что таким способом можно найти, хотя бы приближенно, величину  $\Omega$ . Очевидно, для этого необходимы объекты с достаточно большой мощностью излучения, поэтому одно время упомянутая надежда возлагалась на подсчеты радиоисточников. В действительности наблюдаемая функция  $N'(S)$  для радиоисточников оказалась несовместимой с функцией  $\rho(P)$ , не зависящей от времени, ни при каких предположениях об  $\Omega$  ( $0 < \Omega < \infty$ ).

Делались попытки задать форму эволюционной зависимости в каком-либо особо простом виде, например:  $\rho(P, t) = \rho_0(P)(t/t_0)^{-\beta}$  или

$$\rho[P, t(z)] = \rho_0(P)(1+z)^\beta. \quad (3.7.11)$$

Общая плотность материи в единице физического (не сопутствующего!) объема  $\rho_m \sim (1+z)^3$ . Значит, указанное предположение о радиогалактиках означает, что их плотность в единице физического объема равна

$$\rho_{\text{физ}} = \rho(1+z)^3 \sim (1+z)^{3+\beta} \sim \rho_m^{1+\frac{\beta}{3}}. \quad (3.7.12)$$

При этом предполагается, что вид распределения их по мощности [функция  $\rho_0(P)$ ] остается неизменным.

Делались также попытки представить простейшими зависимостями и  $\rho(P)$  на сегодняшний момент по наблюдениям ближайших источников. По наблюдаемой интегральной кривой  $N(S)$  определялись параметры, характеризующие эволюцию, а резкий завал этой кривой для малых  $S$  (см. следующий параграф) объяснялся рассеянием света на электронах межгалактической плазмы. Таким образом определялась концентрация электронов, а следовательно, и  $\Omega$ . Однако надо подчеркнуть иллюзорность такого подхода: форма кривой  $N(S)$  и, в частности, ее завал при малых  $S$  могут быть обусловлены не влиянием  $\Omega$  (через электронное рассеяние), а отклонением эволюционной кривой от простого степенного хода  $(1+z)^\beta$ , изменением распределения источников по мощности с течением времени \*) и другими причинами. При отсутствии полной теории, из которой следовала бы степенная зависимость  $(1+z)^\beta$ , нет никаких оснований считать, эту зависимость универсальной. Таким образом, следует подчерк-

\*) При этом  $\rho(P, t)$  нельзя уже представить как произведение двух функций  $\rho(P)f(t)$  или  $\rho(P)f(z)$ .

нуть, что только создание надежной теории эволюции источников, например эволюции тех или иных типов галактик, позволит по наблюдаемым зависимостям определить  $q_0$  и, следовательно, тип модели. Еще раз отметим, что значение  $q_0$  может быть найдено (в предположении  $\Lambda=0$ ) не из зависимостей  $m-z$  или  $N-z$ , а непосредственно — выявлением всех видов материи в ближайших окрестностях нашей Галактики (см. об этом далее).

Есть одно важное исключение из общего утверждения, что любую космологическую модель можно согласовать с любой наблюдаемой функцией  $N(S)$  за счет произвола в предположениях об эволюции.

Этим исключением является космологическая модель стационарной Вселенной (steady state theory на языке ее авторов). Эта теория подробно охарактеризована в § 10 гл. 23. Здесь достаточно сказать, что в теории предполагается неизменность всех свойств Вселенной и заполняющего ее вещества на всем бесконечном времени ее эволюции,  $-\infty < t < 0$ . В теории стационарной Вселенной исключена возможность эволюции (в среднем, за исключением неизбежных статистических флуктуаций) и предсказывается одна, вполне определенная функция  $N(S)$ . Вид ее зависит (впрочем, слабо) только от функции  $W(P)$  распределения источников по мощности, которую можно определить в нашей окрестности.

Наблюдения радиоисточников не согласуются с теорией стационарной Вселенной. Ниже будут указаны и другие трудности этой теории.

Именно острая дискуссия по поводу теории стационарной Вселенной вызвала особое внимание к подсчету радиоисточников, особенно в Англии (где эта теория создавалась и обсуждалась) в последние два десятилетия.

## § 8. Эволюция радиоисточников

Прежде чем обращаться к способам определения  $H_0$  и  $\Omega$  по наблюдению обычных галактик, закончим вопрос о том, что же дали подсчеты радиоисточников.

Систематические наблюдения, проведенные кембриджскими радиоастрономами, возглавляемыми Райлом, явились основой для теоретических исследований.

Как показано в предыдущем параграфе, данные наблюдений дают сведения о законе эволюции радиоисточников. Эти сведения неполны, поскольку интерпретация данных зависит от предположений, относящихся к космологии (значения  $H_0$ ,  $\Omega$ ). Приведем результаты работы Лонгейра (1966) — одной из работ этого направления.

Лонгейр принимает для расчетов модель плоского мира, т. е. случай критической плотности  $\Omega=1$ . При этом  $(1+z) \sim t^{-2/3}$ . Он задается различными вариантами закона эволюции. Удовлетворительное согласие с наблюдениями вплоть до достаточно малых