

РАЗДЕЛ IV

АНИЗОТРОПНАЯ КОСМОЛОГИЯ



ГЛАВА 17

ВВЕДЕНИЕ

Есть все основания полагать, что в настоящее время и в недалеком прошлом Метагалактика удовлетворяла наиболее простым, «естественным» предположениям об изотропии и однородности распределения вещества и его движения. При этом мы отвлекаемся от той мелкомасштабной (по сравнению со всей наблюдаемой Метагалактикой) неоднородности, которая проявляется в существовании галактик и их скоплений. Как уже отмечалось, решающим аргументом в пользу изотропии и однородности является изотропия реликтового излучения горячей Вселенной, наблюдаемого на Земле в настоящее время (верхний предел возможной анизотропии излучения $\frac{\Delta T}{T} \leq 0,003$.)

Изотропия излучения свидетельствует об одинаковости условий в различных направлениях от нас. Фоновое реликтовое излучение в хорошо изученной области спектра $\lambda = 20 - 0,25$ см слабо взаимодействует с пылью, нейтральными атомами и плазмой. Это позволяет сделать заключение об изотропии, относящейся к гораздо большему расстоянию, чем это можно сделать по статистике далеких дискретных объектов. Приходящие к нам сегодня кванты испытали рассеяние (в среднем) на таком расстоянии, которое соответствует красному смещению не менее чем $z = 6$ или 8, а может быть, $z = 1400$. Как будет показано ниже, из наблюдений вытекает, что, начиная с периода $t \approx 0,01 t_0$ (t_0 — сегодняшний момент), расширение заведомо происходит изотропно, а вероятнее всего, расширение происходит изотропно, начиная, по крайней мере, с $t \approx 10^{-4} t_0$.

Таким образом, изотропия и однородность Вселенной в наше время являются наблюдательным фактом. Но, с другой стороны, сам факт изотропии и однородности является загадочным, что особенно подчеркивается в работе Мизнера (1969а).

Действительно, если Вселенная прозрачна, начиная с $z = 7$, то фотоны, приходящие к нам сегодня по направлениям, разделенным на небе более чем на 30° , исходят из точек, которые в момент выхода квантов (соответствующий $z \approx 7$) находятся на расстоянии большем,

чем оптический горизонт, т. е. не связаны причинной зависимостью. Таким образом, в одной из этих точек не может быть известно, какая температура в другой точке, не может быть никакого механизма выравнивания температуры и вообще любых неоднородностей, и надо предполагать, что строгая изотропия и однородность заложены в сингулярном состоянии.

С другой стороны, предположение о строгой однородности и изотропии сингулярного состояния отнюдь не может считаться доказанным из каких-либо общих принципов. Наблюдательные данные не дают однозначного ответа о сингулярности.

Возникают следующие два вопроса:

1. Действительно ли Вселенная с самого начала расширялась однородно и изотропно [по крайней мере с момента, когда применимы известные в настоящее время наиболее общие законы физики, т. е. когда кривизна пространства-времени $\sim 1/(10^{-83} \text{ см})^2$] и каковы тогда причины строгой однородности и изотропии сингулярного состояния?

2. Если начальные стадии расширения были отличными от фридмановской теории, то какими именно они были и почему в конце концов Вселенная стала однородной и изотропной?

Для выяснения этого необходимо рассмотреть модели, начальные стадии которых нефридмановские, определить, по каким наблюдаемым сегодня свойствам можно судить о ранних стадиях расширения. Кроме того, если в начале расширения действительно было нефридмановским, то надо выяснить те причины, те процессы, которые привели к сегодняшней фридмановской картине.

Если бы удалось показать, что при широком произволе начальных условий космологическое решение должно выходить, в ходе расширения, на фридмановское, то мы могли бы считать, что объяснили свойство однородности и изотропии. Вот почему в последнее время вслед за выяснением всех свойств простейшей фридмановской модели последовало исследование более общих решений.

Мы должны оговориться здесь же, что совокупность всех наблюдательных и теоретических данных заставляет нас склоняться к первой из отмеченных выше возможностей, а именно что с того момента времени, когда применима классическая (не квантовая) ОТО для описания Вселенной, т. е. с $t_g \approx 10^{-48} \text{ сек}$, космологическое расширение было однородным и изотропным. Возможные причины однородности и изотропии сингулярного состояния будут рассмотрены в следующем разделе.

В этом разделе рассмотрим возможность ситуации, когда ранние стадии расширения существенно нефридмановские, так как такую возможность, как отмечено выше, пока исключить нельзя. Мы рассмотрим частный случай строго однородных, но анизотропных решений уравнений ОТО. Этот класс решений выделяется не только своей относительной математической простотой, позволяю-

щей во многих случаях исследовать решение до конца. Есть надежда, что АО (анизотропные однородные) космологические решения отражают по крайней мере некоторые существенные особенности общего случая, в котором нет уже и однородности [Халатников, Лифшиц (1970), Белинский, Халатников (1969а, б), Белинский, Лифшиц, Халатников (1972), Зельдович (1970а), Мизнер (1969а, б)].

Как показал Мизнер (1969а), в определенном классе АО моделей с замкнутым трехмерным пространством свет успевает на ранней стадии многократно обойти весь мир, и, следовательно, нет отмеченной выше трудности с наличием оптического горизонта и принципиальной невозможностью выравнивания неоднородностей в большом масштабе, как во фридмановской модели. Правда, как выяснили позднее Дорошкевич, Лукаш, Новиков (1971), класс таких моделей очень узок.

АО модели интересны еще и потому, что в них отсутствие изотропии дает возможность рассматривать первичное магнитное поле, направленные потоки вещества и свободных частиц, ведущих, в частности, к неравновесным процессам, увеличению энтропии и т. д.

Высказывались предположения, что общий неоднородный случай можно будет получить наложением своего рода «возмущений» на однородную модель [Зельдович (1970а), Халатников (1965)]. В следующем разделе будет показано [Белинский, Лифшиц, Халатников (1972)], что вблизи сингулярности в общем неоднородном случае характер деформации подобен деформации в модели «перемешанного мира» (см. гл. 21), которая однородна.

Все это, наряду с возможностью обобщения математического анализа решения, делает рассмотрение АО моделей весьма важным. Вместе с тем уместно сразу предупредить об ограниченной применимости АО моделей к общему неоднородному случаю. Ведь в АО модели однородность уже предполагается. Общий же неоднородный случай должен быть гораздо сложнее. Отдельные аспекты этой проблемы см. в разделе V.

Мы начнем с рассмотрения кинематики расширения АО моделей.

Как и в случае фридмановского решения, начнем с аналогичной ньютоновской задачи [Линден-Белл (1962, 1964), Зельдович (1964б)] и потом перейдем к рассмотрению в ОТО [Шюкинг, Гекман (1958), а затем и многие другие авторы]. Сразу же подчеркнем, что ньютоновская и релятивистская задачи дают здесь во многих отношениях непохожие результаты, в отличие от изотропного и однородного случая.

После рассмотрения основных свойств кинематики АО-моделей и роста возмущений в них рассмотрим особенности физических процессов в этих моделях и наблюдательные предсказания. Последние параграфы этого раздела будут посвящены общему анализу однородных моделей и сравнению с наблюдениями.

Все рассмотрение в этом разделе проводится в рамках классической ОТО, квантовые эффекты не рассматриваются. Теоретические оценки, проведенные в последние годы, показали, что вблизи сингулярности при анизотропной деформации должно происходить интенсивное спонтанное рождение частиц из вакуума благодаря квантовым эффектам. Мы подробно разберем эти эффекты в V разделе книги. Но уже здесь мы должны указать, что спонтанное рождение частиц вблизи сингулярности должно сильно влиять на динамику расширения и на многие физические процессы в анизотропных моделях. Весьма вероятно, что именно этот процесс играет решающую роль в изотропизации АО моделей, а может быть, и в прохождении через сингулярность. Однако, не разобравшись в классических процессах в АО моделях без квантового рождения частиц, нельзя понять те ограничения и те явления, которые связаны с квантовыми процессами. Вот почему мы откладываем рассмотрение квантовых явлений до следующего раздела.