

начиная от сингулярности и до конца анизотропной стадии, когда  $Q$  все еще велико. В период изотропизации модели, когда вступает в игру самогравитация обычной материи, свет, возможно, и успеет один раз обойти мир, но этого явно недостаточно для осуществления идеи Мизнера о перемешивании.

### § 6. Квантовые ограничения для модели «перемешанного» мира

Мы уже неоднократно отмечали, что ОТО заведомо неприменима в масштабах меньших, чем  $l_g \sim 10^{-33}$  см, ибо при этом существенны квантовые флуктуации метрики (подробнее см. §§ 4—7 гл. 23). В частности, если какой-либо масштаб замкнутой однородной модели мира меньше  $l_g$ , то описывать поведение модели в этом масштабе уравнениями ОТО некорректно. Однако в работе Мизнера (1969б) высказано утверждение, что в случае модели перемешанного мира этого ограничения нет и ОТО применима для сколь угодно малых масштабов, вплоть до истинной сингулярности. Этот вывод получен Мизнером из анализа квантования расширения мира в целом (подробно см. следующий раздел). Здесь мы отметим только, что им показано, что если при больших масштабах мира, много больших  $l_g$ , состояние расширения соответствует большому квантовому числу  $n$ , т. е. описывается классическими неквантовыми уравнениями, то по мере продвижения к сингулярности (в прошлое) число  $n$  является адиабатическим инвариантом и, следовательно, с уменьшением масштабов роль квантовых эффектов не возрастает и никакого предела применимости ОТО нет.

Мы считаем, что несмотря на это замечание Мизнера,  $l_g$  является все же пределом применимости неквантовых уравнений ОТО.

Дело в том, что в масштабах  $l < l_g \approx 10^{-33}$  см существуют квантовые флуктуации метрики безотносительно к состоянию расширения всего мира в целом. Например, сегодня такие флуктуации есть в мире в масштабах  $l < 10^{-33}$  см или  $t < 10^{-43}$  сек независимо от масштабов всего мира и состояния его расширения и в этих малых масштабах сегодня неприменима неквантовая ОТО. Это же утверждение можно повторить для любого момента в прошлом. Поэтому, когда какой-либо масштаб во Вселенной в прошлом был меньше  $l_g \approx 10^{-33}$  см или время, протекшее от сингулярности, меньше  $10^{-43}$  сек, то уравнения ОТО для описания эволюции этого масштаба уже неприменимы.

Рассмотрим вопрос о применимости модели перемешанного мира к ранним стадиям расширения реальной Вселенной. В общем случае, когда свет не успевает обойти Вселенную, ограничения, связанные с продолжительностью эволюции во времени, более жесткие, чем ограничения на пространственные масштабы, но и ограничения на пространственные масштабы очень сильные.

Рассмотрим их. Характерный масштаб во Вселенной сегодня есть  $L \sim c/H \approx 10^{28}$  см. По крайней мере, начиная со времени в прошлом, когда этот масштаб был  $\sim 10^{26}$  см, наблюдаемая часть Вселенной расширялась изотропно. Наименьший масштаб применимости некантовой теории, как говорилось выше,  $\sim 10^{-33}$  см или во времени  $10^{-43}$  сек. Таким образом, в течение интервала времени, когда Вселенная, может быть, описывалась моделью перемешанного мира, ее масштаб изменился не более чем в  $10^{26} : 10^{-33} = 10^{59}$  раз. Посмотрим, сколько при этом возможно было циклов осцилляций и сколько раз свет мог бы обойти мир по разным направлениям. Для оценки возможного числа осцилляций мы должны воспользоваться формулой (21.4.6). Как указано в § 4, эта формула дает квадрат изменения масштаба наименьшего размера мира. Для того чтобы получить в левой части величину  $P^{1/2}$ , меньше  $10^{59}$  при любом  $Q_0$ , заметно большем 1, необходимо, чтобы было заведомо не более двух-трех циклов с двумя-тремя осцилляциями в каждом цикле. Если же число осцилляций в цикле 8—10, то не могло быть больше одного цикла.

Таким образом, квантовые эффекты в ОТО должны сильно ограничить возможное число колебаний в окрестности сингулярности в космологической модели Мизнера.

В заключение мы еще раз подчеркнем (см. § 5 этой главы), что многократный обход светом и звуком мира невероятен в модели перемешанного мира даже без всяких ограничений на применимость ОТО, т. е. при формальном продолжении решения вплоть до сингулярности.

## § 7. Изотропизация однородных космологических моделей в ходе расширения

В данном разделе мы рассматриваем однородные анизотропные модели с целью их возможного применения для описания ранних стадий космологического расширения. Естественно, что на эту роль могут претендовать модели, которые с течением времени «изотропизируются», приближаются к модели Фридмана. Что следует понимать под терминами «изотропизация», приближение к решению Фридмана?

Наиболее «естественный» ответ заключается в следующем. Изотропизацией в момент  $t_0$  считается близость (с заданной точностью) всех параметров модели (геометрических, динамических, распределения и движения вещества и излучения) к соответствующим величинам во фридмановской модели. Такой подход вполне удовлетворил бы закоренелого теоретика-космолога, но он, по-видимому, слишком строг, когда мы хотим применять наши понятия к реальной Вселенной. Наблюдения, во всяком случае наблюдения сегодняшнего дня, еще очень далеки от возможности проверки *всех* свойств