

**ДЕЛИЯ ПЕРЛОВ**

**АЛЕКСАНДР ВИЛЕНКИН**

# **КОСМО ЛОГИЯ**

**для  
ЛЮБОПЫТНЫХ**

**ПОЛНЫЙ КУРС**

**НАУКИ О КОСМОСЕ**



ОГИЗ

Издательство АСТ  
Москва

*Памяти Аллена Эверетта и Леонарда Шварца*



# Благодарности

Хотелось бы выразить искреннюю благодарность издательской команде «Springer» и в особенности Анджеле Лахи, которая была чрезвычайно предупредительна, любезна и терпелива на всех этапах нашего сотрудничества. Мы хотели бы поблагодарить следующих людей за чтение всей рукописи или ее частей, а также за полезные отзывы: Хосе Бланко-Пилладо, Питера Джексона, Джима Кернохана, Левона Погосяна, Майкла Шнайдера и Брайана Синске. Отдельное спасибо Кену Олуму за его обширные комментарии. Выражаем благодарность также Натали Перлов за рисунки в книге и Гейл Грант и Кэролайн Мериги из Университета Тафтса за их административную помощь.

*Делия Перлов:* «Хочу поблагодарить моего мужа Ларри, моих детей Натали, Алекса и Хлою, мою мать Гленду, сестру Хайди и моего покойного отца Леонарда за постоянную поддержку и интерес к этому проекту».

*Александр Виленкин:* «Было бы трудно дойти до конца этого проекта без поддержки моей жены Инны. Я благодарю ее за терпение, советы и за кулинарные шедевры, которые поддерживали мои душевные силы».



*Часть I*

БОЛЬШОЙ ВЗРЫВ  
И НАБЛЮДАЕМАЯ ВСЕЛЕННАЯ



## 1. ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР

### 1.1. ВЕЛИКИЕ ВОПРОСЫ О КОСМОСЕ

**К**осмология — это наука о происхождении, природе и эволюции нашей вселенной. Ученые-космологи стремятся дать количественное описание истории космоса, используя язык современной физики и абстрактной математики. Однако по сути наше знание в этой области — это ответы на несколько фундаментальных вопросов. Доводилось ли вам когда-нибудь задаваться глубинным вопросом о том, конечна или бесконечна наша вселенная? Существует ли она вечно? Если нет, то как и когда зародился наш мир? Закончится ли все когда-нибудь? Как мы, люди, вписываемся в грандиозный порядок мироздания? Все древние и современные культуры разработали свои истории создания мира, в которых нашли отражение, по крайней мере, некоторые из указанных вопросов.

В одном из китайских мифов о творении вселенная родилась из черного яйца, в котором спал гигант по имени Пань-гу. Он спал 18 тысяч лет и не прекращал расти во время сна. А потом Пань-гу проснулся и разбил яйцо топором. Более легкая часть яйца устремилась



## ЧАСТЬ I. *Большой взрыв и наблюдаемая Вселенная*

вверх и образовала небо, а тяжелая часть осталась внизу и сформировала землю. Пань-гу остался посередине и продолжал расти, раздвигая небо и землю еще дальше друг от друга. Когда же Пань-гу умер, его дыхание стало ветром, его глаза — Солнцем и Луной, его пот превратился в дождь, а блохи в его волосах превратились в людей.

Перспектива оказаться потомком блох не может быть полностью удовлетворительной. Однако еще более неприятный аспект этой истории заключается в том, что она не затрагивает очевидный вопрос: откуда изначально взялось само черное яйцо? Подобные вопросы возникают и в контексте научной космологии. Даже если мы утверждаем, что знаем, что произошло в начале вселенной, вы всегда можете спросить, что произошло до того.

А еще, существует ли предел того, как далеко мы можем видеть в космосе? Другими словами, если такой предел существует, то как мы можем узнать, что находится дальше?

Долгое время казалось, что на великие вопросы о космосе никогда не удастся получить ответы. И поэтому космологи в основном сосредоточились на той части вселенной, которую можно наблюдать непосредственно, оставив рассуждения о великих тайнах философам и богословам. Однако мы увидим, что благодаря замечательным достижениям в космологии за последние несколько десятилетий у нас теперь есть ответы, по крайней мере, на некоторые великие вопросы. И такое утверждение небезосновательно.

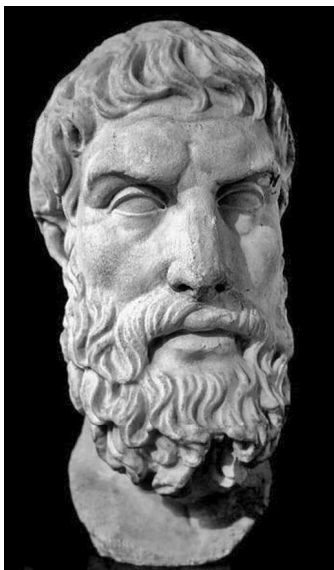
### 1.2. Истоки космологии как науки

В основе всех научных знаний лежит идея о том, что вселенную можно понять рационально. Такое положение сейчас обыденно, но более 20 веков назад в Древней Греции это была очень смелая гипо-

## 1. Исторический обзор

теза. Греческий философ Фалес (VI век до н. э.) предположил, что все многообразие природы может быть понято с помощью нескольких основных принципов, без вмешательства богов. Он считал, что первичный элемент вещества — это вода. Два века спустя Демокрит утверждал, что вся материя состоит из крошечных, вечных, неделимых частиц, называемых атомами, которые перемещаются и сталкиваются друг с другом в пустом пространстве. Он заявил, что «не существует ничего, кроме атомов и пустого пространства». Направление мысли Демокрита получило дальнейшее развитие у Эпикура (III век до н. э.), согласно представлениям которого, все сложные структуры, включая и живые организмы, эволюционируют естественным образом, путем случайных столкновений и перестановок атомов, без какой-либо цели или разумного замысла. Эпикур утверждал, что атомы иногда испытывают небольшие случайные «отклонения» от прямолинейного движения. Он считал, что эти отклонения от строгого детерминизма необходимы для объяснения существования свободы воли. Эпикур учил, что вселенная бесконечна и что наша Земля — это всего лишь один из бесчисленных миров, которые постоянно формируются и распадаются в бесконечном пространстве (рис. 1.1).

Родоначальником еще одного важнейшего направления мысли стал Пифагор (VI век до н. э.). Он считал, что в основе всех физических явлений лежат математические соотношения. Пифагор первым назвал небеса *космосом*, что означает *порядок*. Он предположил, что Земля, Солнце и другие небесные тела представляют собой идеальные сферы, которые движутся по идеальным окружностям вокруг центрального огня, невидимого человеческому глазу. Подумайте, насколько сильно такая строгая модель мира отличается от предположения Эпикура о случайных композициях из атомов!



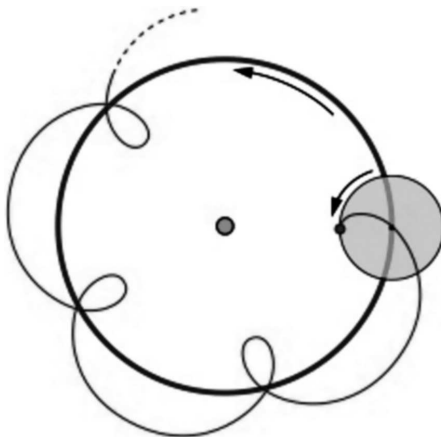
**Рис. 1.1.** Эпикур (341–270 годы до н. э.) преподавал философию в саду своего дома в Афинах, где регулярно встречался с небольшой группой последователей за простой трапезой. В группу входили женщины и одна из его рабынь. Эпикур был плодовитым писателем, но почти все его труды исчезли. Эпикурейская философия процветала в Древней Греции и Риме в течение нескольких столетий, но была изгнана из христианского мира из-за своего бескомпромиссного материализма. Наиболее полное изложение эпикурейской философии дошло до нас в великолепной поэме «О природе вещей», написанной в I веке н. э. римским поэтом Лукрецием. Поэма была утеряна более тысячи лет назад и вновь открыта в немецком монастыре в 1417 году, как раз вовремя, чтобы повлиять на развитие идей в эпоху Возрождения

В IV веке до н. э. Платон, а затем Аристотель предложили более сложные версии картины Пифагора, помещая Землю в центр вселенной. Планеты, Солнце и звезды в их моделях оказывались

## 1. Исторический обзор

прикрепленными к полупрозрачным сферам, вращающимся вокруг центра. Такая вселенная была определено конечной, и звезды размещались на самой внешней, последней сфере.

Греки проводили очень точные наблюдения планет. Так, уже в III веке до н. э. стало очевидно, что простая модель концентрических сфер не может адекватно объяснить наблюдаемое движение планет. В дальнейшем модели уточнялись и, тем самым, усложнялись. В начале центры концентрических сфер были смещены на некоторое расстояние от Земли. Затем пришла идея эпициклов: каждая планета закружалась по небольшой окружности, центр которой, в свою



**Рис. 1.2.** Планета движется вокруг *малого круга* (эпицикл), центр которого движется вокруг *большого круга* (деферент) с центром в Земле. Результирующая траектория планеты показана петлями; большую часть времени планета движется в «прямом» направлении относительно фоновых звезд, но на короткие промежутки времени, когда планета близка к Земле и, следовательно, более ярка, направление ее движения обращено в другую сторону относительно фоновых звезд («попятное движение»). Иллюстрация предоставлена Даниэлем В. Шредером

## ЧАСТЬ I. *Большой взрыв и наблюдаемая Вселенная*

очередь, обращался вокруг большого круга (рис. 1.2). Модель эпициклов объясняла, почему планеты движутся по небу то назад, то вперед\*, и почему они кажутся ярче в периоды попятного движения.

В некоторых случаях поверх одних эпициклов приходилось добавлять другие эпициклы. Окончательно модель эпициклов была закреплена Клавдием Птолемеем в его книге «Альмагест», во II веке н. э. Математическая модель вселенной Птолемея просуществовала 14 столетий. В ней были учтены все известные астрономические данные, и с ее помощью можно было делать довольно точные по тем временам прогнозы движения небесных тел.

Разрушение птолемеевского мировоззрения началось в XVI веке с работы Николая Коперника. Он хотел восстановить идеал совершенного кругового движения, поместив Солнце в центр вселенной и позволив Земле двигаться вокруг него по круговой орбите (эта идея фактически восходит еще к Аристарху в III веке до н. э.). По мере того, как Земля вращается вокруг Солнца, планеты совершают видимые прямые и попятные движения по небу, таким образом устраняя «потребность» в эпициклах. Коперник посвятил жизнь вычислению гелиоцентрических орбит и опубликовал результаты работы в книге «О вращении небесных сфер», вышедшей в 1543 году, незадолго до его смерти.

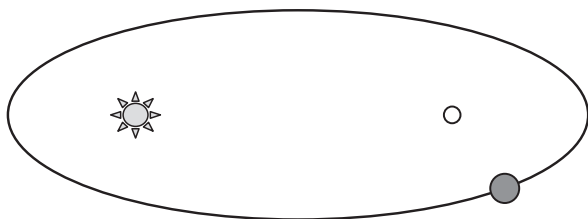
Несмотря на огромное влияние идей Коперника, превосходство его системы по сравнению с системой Птолемея стало очевидно не сразу. Коперник обнаружил, что простая модель круговых орбит недостаточно хорошо подходит для объяснения наблюдательных данных. В конечном счете он также принужден был ввести эпи-

---

\* То есть обладают прямым и попятным движением. — *Прим. перев.*

## 1. Исторический обзор

циклы, и даже тогда не смог сравниться по точности с «Альмагестом» Птолемея. Невзирая на неудачи, Коперник заслуживает быть увековеченным за свое величайшее достижение — идею удаления Земли из центра вселенной. Именно с этого началось нисхождение Земли\*, но об этом пойдет речь позже.



**Рис. 1.3.** Кеплер обнаружил, что орбиты планет имеют форму эллипсов. (Что такое эллипс? Рассмотрим две точки, называемые фокусами. Эллипс — это геометрическое место точек (ГМТ), для которых сумма расстояний до каждого фокуса постоянна.) Солнце находится в одном из фокусов эллипса, а в другом фокусе ничего не находится, он пустой фокус. Для планет Солнечной системы два фокуса эллипса очень близки друг к другу, поэтому орбиты почти круговые. На рисунке эллипс для наглядности преувеличен, сильно отличен от окружности

Следующий большой астрономический прорыв осуществил Иоганн Кеплер в начале 1600-х годов. После почти трех десятилетий изучения наблюдательных данных, накопленных его эксцентричным наставником Тихо Браге, Кеплер обнаружил, что планеты в действительности движутся по эллиптическим орбитам. Он осознал важность своей работы, но все равно был очень разочарован,

---

\* В действительности удаление Земли из центра вселенной не стоит рассматривать как понижение. В те времена считали, что чем дальше человек удалялся от центра, тем ближе он становится к божественному небосводу.