

История фотометрического парадокса

1.1. Ночное небо

Когда я гляжу на небосклон, кишасий звездами, у меня из головы вылетают даже те скупые сведения по астрономии, которые были.

Станислав Ежи Лец

Вид ясного ночного неба — одно из очень немногих зрелищ, на которые можно смотреть бесконечно. Имеется в виду не городское небо, на котором из-за мощной подсветки, кроме Луны и ярчайших звезд, ничего не видно. На небо надо смотреть вдали от городов, а еще лучше — в горах.

Созерцание темного небосвода, усыпанного мерцающими звездами, его величественное вращение — все это доставляет колоссальное эстетическое удовольствие. Во все времена вид звездного неба служил источником вдохновения для поэтов, писателей и художников.

Иногда авторы используют вид неба и его восприятие литературным героем в «корыстных» целях — чтобы лучше охарактеризовать состояние персонажа. Например,

Манфред, герой поэмы Джорджа Байрона, разочаровавшись в жизни и в человечестве, смотрит на небо:

Сверкают звезды, — снежные вершины
Сияют в лунном свете. — Дивный вид!
Люблю я ночь, — мне образ ночи ближе,
Чем образ человека; в созерцанье
Ее спокойной, грустной красоты
Я постигаю речь иного мира.

(пер. И. Бунина)

А вот как это сделал Александр Куприн:

«Я лег на спину и долго глядел на темное, спокойное, безоблачное небо, — до того долго, что минутами мне казалось, будто я гляжу в глубокую пропасть, и тогда у меня начинала слабо, но приятно кружиться голова. А в душу мою сходил какой-то томный, согревающий мир. Кто-то стирал с нее властной рукою всю горечь прошедших неудач, мелкую и озлобленную суету городских интересов, мучительный позор обиженного самолюбия, никогда не засыпающую заботу о насущном хлебе».

Со словами Куприна перекликаются строчки Афанасия Фета:

На стоге сена ночью южной
Лицом ко тверди я лежал,
И хор светил, живой и дружный,
Кругом, раскинувшись, дрожал.
Земля, как смутный сон немая,
Безвестно уносила прочь,
И я, как первый житель рая,
Один в лицо увидел ночь.
Я ль нёсся к бездне полуночной,
Иль сонмы звёзд ко мне неслись?
Казалось, будто в длани мощной
Над этой бездной я повис.

Иногда поэты просто любят звездным небом:

...Взгляни, как небосвод
Весь выложен кружками золотыми;
И самый малый, если посмотреть,

Поет в своем движенье, словно ангел,
И вторит юнооооооим херувимам.
(В. Шекспир)

или

Небесный свод, горящий славой звездной,
Таинственно глядит из глубины —
И мы летим, пылающею бездной
Со всех сторон окружены.
(Ф. Тютчев)

Древнеримский писатель и философ Сенека в I веке н.э. выразил свое восхищение красотой неба так: «Если бы на Земле было только одно место, откуда видно звездное небо, то к нему со всех концов стекались бы толпы людей, жаждущих увидеть это чудо». Почти через два тысячелетия Сенеке вторит другой философ — Иммануил Кант: «Мироздание с его неизмеримым величием, с его сияющими отовсюду бесконечными разнообразием и красотой приводит нас в безмолвное изумление», или, одно из его самых известных высказываний, — «Две вещи наполняют душу всегда новым и все более сильным удивлением и благоговением, чем чаще и продолжительнее мы размышляем о них, — это звездное небо надо мной и моральный закон во мне».

Изменилось бы что-нибудь в нашей жизни, если бы звездное небо не было бы видно с поверхности Земли? Вопрос звучит странно, поскольку большинство людей никак не связывают воспринимаемые чисто эстетически пятнышки на темном небе с чем-либо практическим и полезным. Пострадали бы, конечно, литература и поэзия, лишившись важного источника вдохновения, но были бы и гораздо более существенные последствия, заключающиеся в том, что, вполне вероятно, развитие науки и человеческой цивилизации в целом было бы сильно заторможено. Чуть утрируя, можно сказать, что без звезд на небе, возможно, сейчас не было бы ни телевидения, ни интернета, ни мобильных телефонов, а также многого

другого, без чего невозможно представить современную жизнь. Все это, скорее всего, было бы создано, но *позднее*.

Очень важной особенностью небесных явлений, резко отличающей их от полной случайностей обыденной жизни человека, является их периодичность и предсказуемость. Наблюдения за этими явлениями – за движением Луны и ее фазами, перемещением Солнца, суточным вращением небесной сферы, систематическим изменением звездного узора в течение года – дали древнему человеку практическую возможность ориентации во времени и пространстве. Изучение небесных закономерностей позволило впервые сформулировать представление о существовании непреложных законов, управляющих окружающим миром. Развитие этих идей привело к возникновению науки в современном понимании. Хрестоматийным примером является открытие Исааком Ньютоном закона всемирного тяготения на основе астрономических данных о движении Луны. Величайшие математики прошлого – Эйлер, Лагранж, Лаплас, Гаусс, Пуанкаре – создавали новые математические методы и оттачивали уже существующие при решении чисто астрономических задач, связанных с описанием видимых перемещений небесных объектов. Именно это имел в виду Альберт Эйнштейн, когда писал, что «интеллектуальные орудия, без которых было бы невозможно развитие современной техники, пришли в основном от наблюдения звезд».

Вот как об этом же писал Анри Пуанкаре: «Сколько раз физики могли пасть духом от множества испытываемых неудач, если бы в них не поддерживал веры блестящий пример успеха астрономов! Этот успех показывал им, что природа подчинена законам... Мало того. Астрономия не только открыла нам существование законов; она научила нас, что эти законы непреложны, что идти против них невозможно. Сколько времени понадобилось бы нам для усвоения этой мысли, если бы мы знали только земной мир?..»

Мир, в котором не видно звезд, описан братьями Стругацкими в романе «Обитаемый остров»: «Небо здесь было низкое и какое-то твердое, без этой легкомысленной прозрачности, намекающей на бездонность космоса и множественность обитаемых миров, — настоящая библейская твердь, гладкая и непроницаемая». Уникальные свойства атмосферы этой планеты — большое поглощение и сильная рефракция — привели ее обитателей к такой картине вселенной: «Обитаемый остров был Миром, единственным миром во вселенной. Под ногами аборигенов была твердая поверхность Сферы Мира. Над головами аборигенов имел место гигантский, но конечного объема газовый шар неизвестного пока состава и обладающий не вполне ясными пока физическими свойствами... Короче говоря, обитаемый остров существовал на внутренней поверхности огромного пузыря в бесконечной тверди, заполняющей остальную вселенную». Понятно, что наука на этой планете находилась на довольно низком уровне.

В 1941 году главный редактор журнала «Astounding Science Fiction» Джон Кэмпбелл показал Айзеку Азимову высказывание Ральфа Улдо Эмерсона: «Если бы звезды появлялись на небе лишь в одну ночь за тысячу лет, как бы истово веровали люди! На многие поколения сохранили бы они память о Граде Божьем...»

— Как ты думаешь, — спросил Кэмпбелл Азимова, — если бы и в самом деле люди видели звезды раз в тысячу лет, что бы происходило?

Азимов пожал плечами.

— Да они бы с ума сошли! — заявил Кэмпбелл. — Иди домой и пиши рассказ.

Через две недели Азимов принес рассказ «Приход ночи». Его действие происходит на планете, входящей в систему из шести звезд, и лишь раз в примерно две тысячи лет складываются условия, когда на несколько часов планета погружается во тьму — пять ее солнц находятся под горизонтом, а шестое затмевается спутником.

Обитатели планеты, никогда не видевшие звезд — о них существуют лишь легенды — и никогда подолгу не бывавшие в темноте, с ужасом ждут прихода ночи. И она приходит... Цивилизация гибнет в огне пожарищ, зажженных обезумевшими от страха людьми. А затем начнется новый двухтысячелетний цикл развития, к исходу которого обитатели планеты только-только успеют открыть закон всемирного тяготения и осознать, что их ждет новый Апокалипсис, который снова откинет их цивилизацию в почти первобытное состояние. Рассказ Азимова, конечно, преувеличение, однако он очень рельефно подчеркивает значение созерцания и исследования ночного неба для формирования мировоззрения человека и развития науки.

А теперь, после описаний красот ночного неба и обсуждения его важности, я вынужден разочаровать читателя — речь в этой книге пойдет не о том, что мы видим на небе, а о том, что мы на нем *не видим*. Это звучит, конечно, странно, поскольку мы чаще задумываемся о том, что видим, чем о том, что не видим.

В XIX веке известный французский физик и астроном Жак Бабине назвал кометы «видимым ничто». Основанием для такого заключения послужила очень низкая плотность вещества кометы по сравнению с ее колоссальными размерами и яркостью. Перефразируя высказывание Бабины, можно сказать, что фон неба — это «невидимое нечто». Это «нечто», и почему оно «невидимое», составляют основное содержание книги.

1.2. Главная загадка ночного неба

Погасите эту тьму!
Станислав Ежи Лец

Представим себе простейший, интуитивно принимаемый почти всеми, вариант мироустройства — вечная бесконечная Вселенная, равномерно заполненная звезда-

ми¹. Именно так представлял себе Вселенную, например, Джордано Бруно: «Это пространство мы называем бесконечным, потому что нет основания, расчета, возможности, смысла или природы, которые должны были бы его ограничить; в нем находится бесконечное множество миров, подобных нашему...», а задолго до него Эпикур: «Беспредельна Вселенная как по множеству тел, так и по обширности пустоты». А вот поэтический взгляд на бесконечную Вселенную:

Ночью я открываю мой люк и смотрю, как далеко
разбрызганы
в небе миры,
И все, что я вижу, умноженное на сколько хотите, есть
только
граница новых и новых вселенных.
Дальше и дальше уходят они, расширяясь, всегда
расширяясь,
За грани, за грани, вечно за грани миров.

.....

Как далеко ни смотри, за твоею далью есть дали.
Считай, сколько хочешь, неисчислимы года.

(Уолт Уитмен)

Представление о бесконечности окружающего мира кажется очень естественным. Ведь, действительно,

...коль признать, что пространство вселенной конечно,
То если б кто-нибудь вдруг, разбежавшись в стремительном
беге,
Крайних пределов достиг и оттуда, напрягши все силы,
Бросил с размаху копьё, то, – как ты считаешь? – оно бы
Вдаль полетело, стремясь неуклонно к намеченной цели,
Или же что-нибудь там на пути ему помешало?

(Тит Лукреций Кар)

¹ Когда впервые была осознана эта загадка, мир считался состоящим из звезд. Сейчас мы знаем, что основными «кирпичиками» Вселенной являются не звезды, а галактики. Однако для формулировки парадокса это не важно, поскольку галактики состоят из звезд.

В I веке до н.э. Лукреций сформулировал и другой аргумент в пользу бесконечности Вселенной:

...если все необъятной вселенной пространство
Замкнуто было б кругом и, имея предельные грани,
Было б конечным, давно уж материя вся под давлением
Плотных начал основных отовсюду осела бы в кучу,
И не могло бы ничто под покровом небес созидаться;
Не было б самых небес, да и солнца лучи не светили б,
Так как материя вся, оседающая все ниже и ниже
От бесконечных времен, лежала бы сбившейся в кучу.

Заменяем у Лукреция слово «давление» на «гравитация» и получаем описание гравитационной неустойчивости. Вот, к примеру, как об этом же писал Ньютон: «Мне представляется, что если бы вещество нашего Солнца и планет, да и все вещество Вселенной было бы равномерно рассеяно по всему небу, и каждая частица обладала бы внутренне присущим ей тяготением ко всем остальным, а все пространство, по которому было бы рассеяно это вещество, было бы конечным, то вне этого пространства вещество под действием своего тяготения стремилось бы ко всему веществу внутри него и, следовательно, падало бы к центру пространства и образовало бы там одну гигантскую сферическую массу».

Итак, пусть бесконечная стационарная Вселенная равномерно заполнена звездами, причем n – среднее число звезд в единице объема, а L – средняя светимость одной звезды, то есть полная энергия, излучаемая ею в единицу времени во всех направлениях. Рассмотрим звезду на расстоянии r от Земли. Освещенность, то есть поток энергии, приходящийся на единицу площади, от этой звезды на поверхности Земли равна

$$E(r) = L/4\pi r^2 \quad (1)$$

Смысл этой формулы очень прост – излучаемая звездой энергия распределяется по поверхности сферы радиуса r , площадь которой равна $4\pi r^2$.

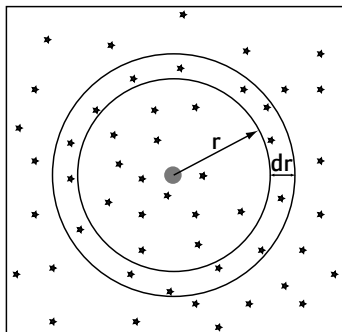


Рис. 1. Сферический слой, вырезанный в бесконечной Вселенной

Теперь рассмотрим окружающий Землю concentрический слой радиусом r и толщиной dr – см. рис. 1. Объем этого слоя равен $4\pi r^2 dr$ (это просто произведение площади сферы радиуса r на толщину слоя) и, следовательно, в нем находятся $n \cdot 4\pi r^2 dr$ звезд. В итоге получаем, что полная освещенность от звезд этого слоя

$$dE(r) = n \cdot 4\pi r^2 dr \cdot L \cdot \frac{1}{4\pi r^2} = nLdr \quad (2)$$

Любопытный факт – мы обнаружили, что суммарная освещенность от звезд, расположенных в каком-либо сферическом слое, зависит только от толщины этого слоя (dr), и не зависит от расстояния до него. Причиной является то, что, по мере удаления слоя, уменьшение освещенности от составляющих его звезд в точности компенсируется ростом числа звезд в слое (формула 2).

Таким образом, если мы разбили Вселенную на слои одинаковой толщины, то каждый такой слой дает одинаковый вклад в освещенность на Земле. Вселенная бесконечна, а, значит, и число таких слоев бесконечно. Отсюда простой вывод – освещенность, создаваемая всеми объектами бесконечной Вселенной, бесконечна. Результат обескураживающий. Бесконечная яркость ночного неба очевидным образом противоречит повседневному опыту. Парадокс?

Попробуем сделать нашу модельную Вселенную более реалистичной. Учтем, что звезды не являются математическими точками, а имеют хотя и очень малый, но конечный угловой размер. Например, угловой размер нашего Солнца с расстояния 1 парсек (примерно 3.3 светового

года) равен 0.01 (одна сотая угловой секунды) – величина, безусловно, очень маленькая, но не нулевая. Это означает, что ближайшие к нам звезды загораживают более далекие и экранируют их излучение. Для иллюстрации этого утверждения обычно используют сравнение заполненного звездами пространства с густым лесом. Находясь в глубине леса, вы со всех сторон окружены деревьями. Если лес небольшой, то между стволами деревьев будут видны просветы. Если же лес очень большой и густой, то стволы ближайших деревьев сплошной стеной прикроют от вас все, что находится вдали.

Следовательно, в бесконечной Вселенной любой луч зрения рано или поздно упрется в диск какой-нибудь звезды и поэтому ночное небо должно равномерно сверкать как диск типичной звезды. Это уже лучше, чем бесконечная яркость, однако совсем не похоже на реальное ночное небо. Действительно, предположим, что Солнце – обычная средняя звезда (это и в самом деле близко к действительности). Тогда небосвод, точнее, полусфера, доступная наблюдениям, должен сиять примерно в 100 000 раз ярче, чем Солнце. Столь мощное излучение сделало бы невозможным не только обсуждение яркости ночного неба, но и вообще исключило бы появление жизни на нашей планете.

Описанный парадокс был осознан уже несколько столетий назад. Он носит название *фотометрического парадокса* или *парадокса Ольберса*. Как будет ясно из дальнейшего, Ольберс был далеко не первым исследователем, обратившим внимание на эту загадку, но, к сожалению, очень часто законы, формулы и вообще любые открытия носят имена не своих первооткрывателей – вспомним, к примеру, открытие Америки. Английский физик Майкл Берри в шутку сформулировал *принцип Арнольда* (в честь знаменитого русского математика В.И. Арнольда): если какой-нибудь предмет или понятие имеет персональное имя, то это – не имя первооткрывателя.

В свою очередь, *принцип Берри* гласит, что принцип Арнольда применим и к самому себе.²

Очевидно, что существование фотометрического парадокса означает, что с нашей модельной Вселенной что-то не в порядке и надо отказаться от одного из исходных предположений. Значит, Вселенная может быть ограниченной во времени и в пространстве, звезды могут быть распределены не равномерно, а каким-то специальным образом, Вселенная может быть не стационарной, а находиться в процессе расширения или сжатия. Все эти и другие соображения неоднократно высказывались при анализе фотометрического парадокса.

Именно об этом – о том, когда была осознана загадка ночного неба, и как на протяжении нескольких столетий пытались ее решать, – и пойдет речь в первой части этой книги. Фотометрический парадокс никогда не был модным направлением исследований и на протяжении многих лет находился, по сути, на периферии интересов астрономов и физиков. Тем более любопытно, что решать этот парадокс пытались многие известные ученые.

1.3. Рождение загадки: Коперник и Диггес

Бедные гении, они вынуждены были открывать то, что мы проходим в школе.

Неизвестная школьница

Коперниканская революция, которую зачастую считают своего рода эталоном научных революций, на самом деле свершилась очень буднично и прошла для современ-

²Наглядным подтверждением справедливости принципа Берри является то, что принцип Арнольда по сути дублирует сформулированный в 1980 году так называемый *закон эпонимии Стиглера* – ни одно открытие не носит имя того ученого, который его сделал. Сам Стиглер при этом ссылается на то, что формулировка этого закона принадлежит великому социологу Роберту Мертону.