

Мироздание в свете новых исследований¹⁾.

В. Нерист.

Введение. Постановка вопроса. — Мироздание в свете новых исследований. — Дополнения. — Температура мирового пространства. — Обратимость радиоактивных процессов. — Энергия тяготения и теплота. — Продолжительность жизни неподвижных звезд. — Уран, как взрывчатое вещество. — Энергия излучения солнца. — Химический состав метеоритов. — Пулевая энергия светового эфира. — Так называемое излучение Гесса. — Образование планет и двойных звезд. —

Введение. Постановка вопроса.

В 1886 году, когда я был студентом в Граце, профессор Больцман произнес в Венской Академии Наук свою вступительную речь о втором законе тепла. (Boltzmann Populäre Schriften, p. 25, Leipzig. 1905) Он заметил, между прочим, что все попытки спасти вселенную от тепловой смерти не увенчались успехом, и что он не собирается делать подобной же попытки.

¹⁾ Помещаемая ниже лекция Нериста в настоящее время вышла в Германии отдельной книжкой (J. Springer Verlag, Berlin. 1922). В предисловии к ней автор пишет, между прочим:

«Содержание этой маленькой книжки составляет, в существенных чертах, повторение лекции, которую я прочитал 19 февраля текущего года в цикле устроенных Прусскою Академией Наук популярных речей, и вскоре затем повторил с некоторыми дополнениями уже в кругу специалистов, в Венском Обществе Инженеров и в Прусской Урании. Эти лекции доставили мне чрезвычайно благоприятный случай побеседовать о предлагаемых здесь идеях с различными астрономами и уменьшить таким образом опасность грубых заблуждений, всегда имеющуюся, когда исследователь вдается в область, лежащую вне его собственной специальности. Впрочем, можно было бы сказать, что именно физико-химик в праве считать себя подготовленным, во всяком случае не хуже других, ибо дело касается космических вопросов, затрагивающих как область физики, так и химии.

Мне кажется полезным предпослать содержанию моей лекции некоторые общие замечания в форме введения и пополнить ее кое-какими примечаниями. Как введение, так и примечания в большей степени рассчитаны на специалистов, в то время как основной главно этой книжки я старался придать более популярную форму. Конечно при таком расположении материала нельзя было избежать повторений, однако, может быть, для более легкого усвоения полезно, если некоторые вопросы повторяются с различных точек зрения».

Ред.

Эти слова, прочитанные мною в студенческие годы, произвели на меня огромное впечатление, и с тех пор я постоянно следил, не появится ли какой-нибудь исход. Ибо едва ли может быть серьезное сомнение в том, что указанное следствие второго закона в высшей степени невероятно. Более того, всякая естественно-научная теория Космоса должна исходить, в противоположность упомянутому выводу термодинамики, из допущения, что вселенная находится в стационарном состоянии, что в среднем в мире угасает столько звезд, сколько их возгорается вновь¹⁾.

В настоящее время может считаться несомненным, что рассеяние работоспособности энергии вселенной происходит практически почти исключительно благодаря излучению, вследствие которого, как известно, энергия переходит от более нагретой материи к эфирному морю; гипотеза, долженствующая покрыть потерю работоспособности, которую второй закон тепла постулирует для необратимых процессов, не может, следовательно, обойтись без того, чтобы не привлечь на помощь энергию мирового эфира (или, если угодно, «пустого пространства»).

В речи «К новому развитию термодинамики»²⁾, произнесенной мною на съезде естествоиспытателей в Мюнстере в 1912 году, я, правда, мимоходом, развил подобную гипотезу в следующих выражениях.

«Открытие радиоактивного распада элементов познакомило нас с источниками энергии такого могущества, о котором мы ранее не имели никакого представления. Предположим, — а всякое иное допущение было бы, очевидно, вполне произвольно, — что все элементы способны к радиоактивному распаду, но что только большая часть элементов расщепляется на простые составные части слишком медленно, чтобы можно было проследить этот распад; в таком случае мы приходим к заключению, что внутри атомов всех элементов скоплены запасы энергии, в сравнении с которыми тепловые запасы, т. е. кинетическая энергия атомов и стоящая в связи с нею потенциальная энергия их, равно как и всякая химическая энергия, представляются исчезающе малыми.

Однако в радиоактивных процессах термодинамик отметит еще и другой, чрезвычайно важный момент, именно явление необратимости. В то время как всякий, сколь угодно сложный, например, химический процесс, который протекает в одном направлении, мы, без сомнения, можем, соответствующими изменениями условий опыта заставить идти в противоположном направлении, при радиоактивных превращениях, на оборот, нет ни малейших указаний на то, что возможны условия опыта которые позволили бы образоваться урану или другому радиоактивному элементу из его продуктов распада. Мы не в состоянии даже изменить

¹⁾ Это утверждение, как известно, решительно высказывает проф. Аррениус (Arrhenius) в своем «Образовании миров». *Перев.*

²⁾ Verhandl. d. Ges. deutsch. Naturforsch. u. Ärzte, 1912, I.

скорость радиоактивного распада никакими внешними воздействиями, например, температурой или какими-нибудь иными факторами. Это обстоятельство обозначает, что второй закон термодинамики, который приложим только к обратимым процессам, бессилен перед явлениями радиоактивности, по крайней мере, поскольку дело касается количественной обработки этих процессов.

Однако, возможно, что явления радиоактивности могут быть в другом отношении поставлены в связь со следствиями второго закона. Как известно, второй закон в приложении к миру, как целому, ведет к роковому заключению, и все попытки спасти вселенную от этого следствия до сих пор оканчивались неудачей. Дело заключается в том, что всякий переход тепла в работу или, что то же, в живую силу движущихся масс, невозможен совсем или возможен лишь отчасти и, наоборот, все процессы в природе протекают так, что, большая или меньшая часть работы переходит в тепло, превращается, можно сказать, в деградированную энергию. Таким образом все события мира неминуемо ведут к увеличению этой деградации, и отсюда следует, что все напряжения, которые могли бы еще совершать работу, постепенно исчезают и вместе с ними должны, в конце-концов, прекратиться все видимые движения во вселенной.

Справедливость этого заключения неоспорима, и можно наперед утверждать, что никакая комбинация диффузии, теплопроводности, притяжения масс (явлений, которые должны постоянно сопровождаться переходом видимой живой силы в теплоту), электрических явлений, вообще процессов, которые все в отдельности подчинены второму закону термодинамики,—никакая комбинация подобных процессов не может при правильном вычислении привести к результату, который стоял бы в противоречии с вышеприведенным общим следствием второго закона.

Совершенно также явления радиоактивного распада суть процессы связанные с деградацией энергии. Поэтому они принципиально ничего не могут изменить в приведенном выше результате, хотя скрытые в атомах запасы энергии и обозначают непредвиденное ранее увеличение работоспособности мира; вследствие этого так называемая тепловая смерть вселенной лишь отодвигается, но, в конце-концов, ее наступление остается неизбежным. Можно сказать даже, что теория радиоактивного распада элементов ставит на-ряду с упомянутой выше деградацией энергии столь же непрерывно происходящую деградацию материи и лишь удваивает таким образом перспективу надвигающихся на вселенную сумерок богов.

Тем не менее, кажется, возможно спасение, если мы допустим процесс, противоположный радиоактивному распаду; именно, предположим, что атомы всех элементов вселенной разлагаются с течением времени в первичную субстанцию, которую мы могли бы отождествить с мировым эфиром, этой гипотетической междупланетной средой; в эфире

могут осуществляться всевозможные группировки даже самые невероятные, подобно тому как это допускает кинетическая теория для газов, и таким путем время от времени могли бы вновь образовываться атомы каких-нибудь элементов (вероятнее всего даже, элементов с высоким атомным весом).

Достаточно, чтобы указанный процесс происходил в действительности лишь исключительно редко; это следует, во-первых, из огромной продолжительности жизни обычных химических элементов и, во-вторых, из чрезвычайной скупости, с которой материя распределена по мировому пространству (в среднем на каждую сотню километров приходится крупица материи величиной с булавочную головку!). К сожалению, именно поэтому нет никакой надежды обнаружить на опыте это предполагаемое явление обращения радиоактивного распада и таким образом сообщить намеченному здесь ходу мыслей эмпирическое обоснование. Тем не менее мне кажется не лишенным интереса указание, что в настоящее время возможно не вполне невероятное представление, согласно которому имеющаяся во вселенной материя вместе со своим запасом энергии находится до известной степени в стационарном состоянии и что поэтому прекращение всего происходящего не должно считаться, по крайней мере, безусловным следствием наших современных воззрений на природу».

Следует прибавить, что предположение, которое, насколько мне известно, впервые было высказано в вышеизложенном отрывке и согласно которому световой эфир нужно считать наполненным огромными количествами энергии, кажется неизбежным для наших современных воззрений на природу. Главное содержание дальнейшего изложения состоит поэтому в более глубоком обосновании и дальнейшем применении моей очерченной выше космической гипотезы.

Мироздание в свете новых исследований.

Созерцание небесного свода в ясную ночь относится к числу зрелищ, производящих сильнейшее впечатление на человека; часть диких народов смотрела на звезды как на простые огоньки, другая же предавалась культу звезд; еще католическая инквизиция верила, что планеты находятся во власти демонов; даже такой выдающийся астроном, как стоящий уже на пороге новейших исследований, Тихо Браге (Tycho de Brahe) считал приемлемым обосновывать предсказания расположением небесных светил; современный культурный человек убежден, что большая часть неподвижных звезд представляют образования, подобные нашему солнцу, и что ни звезды, ни планеты не могут иметь никакого касательства к человеческой судьбе. К результатам астрономических исследований последнего столетия принадлежит далее вывод, что наше солнце является сочленом огромного-

звездного скопления, приблизительно чечевицеобразной формы, причем наружные границы этого скопления мы различаем в виде Млечного Пути.

Действие произведений искусства на человеческую душу углубляется рефlekсами, всегда происходящими за порогом ясного сознания, благодаря чему всякое великое произведение искусства побуждает к вдумчивому анализу. Появляется сильный импульс выявить ощущение, дремлющее на глубине души.

В чем же причина могучего эстетического воздействия созерцания небесного свода? Прежде всего, в сознании совершенной незначительности всего происходящего на нашей земле по отношению к бесконечному пространству, в котором «мириады миров растут, как ночные травы»; мысль о двойной бесконечности пространства и времени, словно темное предчувствие, потрясает зрителя.

Свет от солнц, находящихся в Млечном Пути, употребляет по новейшим измерениям десятки тысяч лет, прежде чем достигнет нас, хотя скорость света (300.000 километров в секунду) далеко превосходит все иные известные нам скорости; расстояние крайних звезд Млечного Пути может быть оценено даже в тридцать тысяч световых годов. Однако нашим наблюдениям при помощи телескопов вероятно доступны мировые системы, расстояние до которых неизмеримо больше указанного, и которые образуют звездные кучи, подобные нашему Млечному Пути. Это утверждение еще нельзя считать безусловно правильным, ибо возможно, что наблюдаемые образования принадлежат также к нашему Млечному Пути. Однако несомненно, что на большом расстоянии от солнца, т. е. на границе системы нашего Млечного Пути число звезд, приходящихся на определенный объем пространства, так называемая плотность звезд, заметно убывает, так что наш Млечный Путь действительно следует рассматривать, как звездную кучу в мировом пространстве.

Совершенно так же как наши представления о пространстве при созерцании небесного свода должны оперировать с иными размерами, чем наши земные расстояния,—так точно и для мировых событий имеют значения промежутки времени совсем иного порядка величины, чем те, которые играют роль в истории человеческого рода,—в так называемой «всемирной истории». Определение применимых там промежутков времени еще труднее, чем определение пространственных расстояний; обсуждение и рассмотрение того, что говорят по этому поводу новейшие исследования, и явится важнейшей главой предстоящего изложения.

Возникает вопрос, сохраняют ли свое первоначальное значение при столь громадном изменении размеров наши понятия пространства и времени, полученные из опыта. Поскольку до сих пор исследование природы было доступно контролю опыта, это имеет место. Однако могут ли быть переносимы на все мироздание законы

физики и химии, выведенные на основании эмпирических данных, которые были получены нами из измерений в очень ограниченных размерах? Это допускалось при всех рассуждениях относительно строения неба неподвижных звезд и, поскольку можно было проконтролировать, допускалось с полным правом. Но все же, конечно, в этом нельзя быть совершенно уверенным. Допустимо, что перенесение наших законов природы, проверенных лишь в очень ограниченном масштабе пространства и времени, на проблемы, которые ставит перед нами созерцание небесного свода, может повести к неправильным или по крайней мере неточным заключениям.

С этим следует примириться при всех подобных рассуждениях. Сюда присоединяется еще одно большое затруднение. Всякая теория мироздания базируется на том комплексе знаний, который существует ко времени ее возникновения. Так Гельмгольц (Helmholtz), развивая далее гипотезу Канта (Kant) и Лапласа (Laplace), которую он, впрочем, считал счастливейшим достижением естествознания, не обладал еще теми глубокими сведениями по этому вопросу, какие появились благодаря позднему открытию радиоактивности. И ныне никто не решился бы утверждать, что подобные же существеннейшие открытия не дремлют еще в глубине будущего.

Поэтому мы можем лишь с большими оговорками приступить к нашей сегодняшней задаче, создать на естественно-научной основе картину образования и исчезновения небесных тел. Гельмгольц, который чрезвычайно много занимался космическими вопросами, выражается по этому поводу следующими словами (*Vorträge und Reden*, Bd. II, p. 58): «Быть может покажется дерзким, что мы, ограниченные в круге наших наблюдений, в отношении пространства—нашим пребыванием на маленькой земле, пылинке в системе Млечного Пути, в отношении времени—короткой человеческой историей,—решаемся ко всей беспредельности неизмеримого пространства и времени применять законы, установленные в тесной доступной нам области фактов». Однако он далее справедливо прибавляет, что именно подобные рассуждения могут содействовать тому, чтобы ясно установить границы естественно-научных методов и приложимости установленных к настоящему времени законов.

Сущность Канта-Лапласовской теории, в той ее части, которая выдержала испытание времени, состоит, как мы можем изложить ее ныне, в следующем. В каком-нибудь месте мирового пространства скапливается материя, газ или пыль, в состоянии крайнего разрежения. Благодаря ньютоновскому притяжению между массами возникает сжатие, вследствие чего действием этих сил совершается огромная работа. При этом, как показал Гельмгольц, пользуясь законом сохранения энергии, массы претерпевают сильное разогревание и образуют огромную туманность, называемую также гигантской звездой, какие мы можем наблюдать на небе, хотя и не в очень большом

числе. При дальнейшем сжатии плотность и температура возрастают, возникает звезда, светящая белым светом, так называемая «карликовая звезда». Затем наступает охлаждение. Белый свет становится желтоватым, затем красноватым, пока наконец не прекращается всякое свечение; так возникают темные звезды, недоступные, конечно, непосредственному восприятию; однако, благодаря проявляемому ими действию притяжения, мы можем не только доказать их существование, например в двойных звездах, в качестве невидимого спутника светлой звезды,—но даже сделать заключение об их массе. Красные звезды могут быть или очень яркими,—в таком случае они являются весьма обширными слабо нагретыми туманностями, или очень темными, и представляют тогда плотные, уже сильно остывшие солнца.

Все последовательные ступени описанного здесь развития мы можем изучать на небе на многочисленных примерах. Однако, как кажется, встречаются и некоторые исключения, которые не вполне укладываются в описанную схему. Поэтому мы не можем утверждать, что все звезды в точности проделывают упомянутый здесь путь развития, и должны допустить, что некоторые из них имеют свою особую судьбу. Однако это не причиняет ущерба гипотезе Канта-Лапласа, ибо она представляет, так сказать, нормальное развитие звезды. Наше солнце со своим желтоватым светом находится таким образом на нисходящей ветви; в качестве неподвижной звезды оно перешло уже свою высшую точку.

Когда при дальнейшем сжатии массы газа от него отделяется кольцо, которое впоследствии стягивается в шар, то возникают планеты с их лунами. Этим вопросом впервые особенно занимался Лаплас; однако, такое представление, как показали позднейшие ученые, при последовательном развитии встречает, в настоящее время, большие затруднения, если оперировать исключительно с ньютоновым законом силы. Мы увидим позже, что в процессе образования планет принимают вероятно участие большие электростатические силы так что будущие вычисления должны быть основаны на несколько измененном базисе. Но как бы то ни было, многие бросающиеся в глаза правильности планетных орбит могут быть объяснены лишь при допущении, что массы планет были когда-то соединены в туманности. Главнейшая заслуга работы Канта и состояла в выяснении и обосновании этого пункта, и такое воззрение никогда серьезно не подвергалось сомнению. Предвосхищая здесь главный результат наших дальнейших исследований, мы укажем, что в общем и целом гипотез Канта-Лапласа сохраняет свою силу, но что по отдельным существенным пунктам она нуждается в дополнениях, согласных с требованиями новых исследований, главным образом, последних пятнадцати лет.

Чрезвычайное уточнение экспериментального искусства за последнее десятилетие, являющееся по своим последствиям несомненно важнейшим успехом естественно-научной эпохи нашего времени, ска-

залось самым блестящим образом также и на исследовании звездного неба. Система Млечного Пути исследована в такой мере, что число светлых звезд ее может с известной уверенностью оцениваться приблизительно в полмиллиарда. Для большого числа звезд мы знаем их расстояние от солнца, собственное движение, температуру и поперечные размеры. Это звучит просто, однако едва ли можно себе представить, ценой скольких тончайших наблюдений и теоретического остроумия удалось собрать большое число этих данных в звездных каталогах. Мы не должны забывать, что, в противоположность планетам, неподвижные звезды в телескоп кажутся лишь светлыми точками, не имеющими, так сказать, размеров, и что поэтому определение их действительных поперечных размеров, например, возможно только обходным путем. Время не позволяет, конечно, даже приблизительно очертить эти методы, но для того чтобы показать, как успешно ведется в настоящее время их дальнейшая разработка, я должен коротко упомянуть, что профессору Майкельсону (Michelson) в Америке удалось недавно, применяя явление интерференции света, даже прямо измерить с удивительной точностью диаметр звезд.

Из многих замечательных результатов, полученных при новых исследованиях звездного неба, особенно поразительно следующее. Масса громаднейшего числа звезд колеблется в весьма тесных границах. Различия в массах звезд, конечно, встречаются; в частности оказывается, как показал профессор Людендорф (Ludendorff) в Поттсдаме, что очень горячие белые звезды в среднем обладают большей массой, что и понятно: чем больше масса, тем большим разогреванием сопровождается ее сжатие. Однако эти различия невелики; в числах они выражаются: от 10^{33} гр. до 10^{34} гр. Чем это объясняется, мы увидим позже. С точки зрения первоначальной теории Канта-Лапласа это, конечно, непонятно, ибо она совершенно ничего не может сказать относительно количества, которое, случайно скопившись где-нибудь в мировом пространстве, уплотняется в пылающее солнце. Однако, конечно, в этом нельзя видеть и противоречия с упомянутой теорией.

Иначе обстоит дело с тремя дальнейшими следствиями господствующей теории, которые, если и не опровергают ее совершенно, все же должны заставить нас серьезно призадуматься. Именно, я имею в виду так называемую термодинамическую мировую проблему, затем вторую мировую проблему, которую я назвал бы «радиоактивной проблемой», и, наконец, так называемую «космическую мировую проблему». Дело идет здесь о простом, в сущности, но имеющем фундаментальное значение соображении.

Мы исходим при этом из следующих представлений. Естествоиспытатель не может допустить, что к определенному времени весь мир находился в хаотическом состоянии, из которого стали уплотняться раскаленные солнца, чтобы в конце концов прийти в состояние,

в котором дальнейшее образование солнц становится более невозможным. Другими словами: представление, что все происходящее на свете началось, так сказать, в один определенный день и к определенному же дню окончательно прекратится, является до такой степени невероятным, что всякую теорию, которая с необходимостью ведет к этому следствию, мы должны считать в высшей степени невероятной и поэтому несовершенной.

Ни Кант, ни Лаплас не могли иметь ясного представления о том, что их теория образования миров необходимо предполагает ограниченную продолжительность жизни всего существующего; в противном случае они наверное сами бы не признали свои воззрения имеющими всеобщую приложимость. Лишь развитие учения о тепле заставило вывести вышеупомянутое в высшей степени неотрадное заключение, с тою уверенностью, с которой вообще можно переносить заключения из лаборатории на вселенную. Знаменитый английский физик лорд Кельвин (Lord Kelvin) первый обратил внимание на то, что на основании учения о тепле, обоснованного Карно (Carnot) и Клаузиусом (Clausius), общий запас энергии мира хотя и медленно, но неуклонно превращается в тепло, и что также неуклонно все имеющееся налицо тепло стремится к температурному равновесию. Но вместе с тем мир осуждается на вечный покой; таким образом приложение к идеям Канта и Лапласа закона учения о тепле, другими словами, самого общего и самого надежного закона, которым мы вообще обладаем, влечет за собой появление ужасной мысли, что мир стремится превратиться в вечное кладбище. Это обычно выражают, говоря, что вселенной грозит неизбежная тепловая смерть.

Мы попытаемся представить изложенную здесь термодинамическую мировую проблему в несколько более ограниченном и наглядном виде. Вследствие излучения раскаленные солнца нашего звездного неба непрерывно отдают тепло мировому пространству; а так как и всякая израсходованная каким либо иным образом энергия должна в ходе событий также превратиться в тепло, то мы можем сказать, что энергетические запасы материи безвозвратно переходят в форму теплового излучения, блуждающего в бесконечном пространстве. По существующим воззрениям эта энергия неизбежно попадает для всякого дальнейшего превращения в работу, т.-е. для всякого события. Таким образом мы убеждаемся, что только допущение обратного, действующего и обратном направлении, могло бы здесь оказать помощь.

Мы можем сделать еще дальнейший шаг. За последние годы работами Эйнштейна (Einstein) установлено, что, когда материя отдает энергию, ее масса также уменьшается; в большинстве случаев дело идет о таких ничтожных количествах, что это уменьшение массы оказывается неизмеримо малым, так что для практических целей вполне точно можно считать массу неизменной. Однако принципиально мы можем сказать, что масса непрерывно улетучивается в мировое

пространство, но мы до сих пор не в состоянии указать процесса, который возмещал бы эту потерю.

Вышеизложенная термодинамическая проблема есть наиболее общая проблема этого рода; обе следующие представляют собственно лишь специальные случаи и некоторое развитие ее. Прошло около двадцати лет с тех пор, как вслед за открытием Рёнтгена (Röntgen) был установлен замечательный атомный распад некоторых элементов, другими словами—радиоактивное превращение. В существенных чертах это явление состоит в том, что элементы большого атомного веса непрерывно и самопроизвольно расщепляются на элементы с меньшим атомным весом. В качестве продуктов распада при радиоактивном превращении на-ряду с электронами всегда появляются атомы гелия. При помощи так называемого правила сдвига Рёсселя (Russel), Фаянса (Fajans) и Содди (Soddy) мы в состоянии даже точно указать химический характер вновь образующихся на-ряду с гелием элементов; мы можем пожалуй сказать, особенно благодаря исследованиям Рёзерфорда (Rutherford), что мы лучше осведомлены о радиоактивных процессах, чем об обыкновенных химических реакциях, которые из всех известных нам явлений, ближе всего стоят к радиоактивным превращениям. Обращение радиоактивного процесса, т.-е. построение сложного атома из простых атомов, до сих пор не наблюдалось; но с помощью методов новой термодинамики мы можем с большой уверенностью вычислить, что подобное построение может происходить только при совершенно исключительных условиях, именно при температуре более чем в десять тысяч миллионов градусов. Согласно новым хорошо обоснованным воззрениям, такие температуры, которые мы конечно не можем и приблизительно реализовать в лабораториях, не существуют даже и внутри наиболее горячих неподвижных звезд. Но даже, если бы в отдельных случаях и были возможны такие температуры, этим в дальнейших рассуждениях в принципе ничего не было бы изменено.

Радиоактивность до сих пор была наблюдаема экспериментально лишь у малого числа элементов. Но многие обстоятельства, особенно удивительные соотношения между атомными весами элементов, привели однако к убеждению, что мы имеем здесь дело не с особым свойством, а с совершенно общим явлением, как, впрочем, едва ли можно было и сомневаться с самого начала.

Итак, поскольку мы, как это указывалось выше, не предполагаем начала существования мира, мы приходим к следующему заключению: если, благодаря радиоактивным процессам непрерывно, хотя и чрезвычайно медленно, но с неуклонной правильностью происходит развитие гелия (и вероятно также водорода), то остальные химические элементы должны были бы давно уже исчезнуть, и мир представлял бы совсем иную картину, чем это мы наблюдаем в настоящее время. Вместо полноты явлений вселенной—полноты, которая в конечном счете

покоится на разнообразии ее составных элементов, давно уже на все мироздание должен был бы налечь мрачный покров однообразия и бесконечной пустыни. Или если мы предпочитаем исходить из некоторого определенного момента времени, когда нам была дана вся изменяющаяся материя с ее многочисленными элементами и их бесчисленными соединениями, то надо признать, что ее должен постигнуть—и не в очень отдаленный срок—указанный выше конец, когда будут почти совершенно изглажены все материальные различия. Очевидно, что эта специальная перспектива смерти материи немногим отраднее, чем уже описанная общая перспектива тепловой смерти вселенной.

Наконец, я должен вкратце коснуться так называемой космической проблемы, трактуемой в ряде статей главным образом известным мюнхенским астрономом Зеелигером (Seeliger). Мировое пространство, наполненное массами, даже в предположении, что средняя объемная плотность их чрезвычайно мала, должно воздействовать на всякую материальную частицу, вообще говоря, с бесконечно большой силой, чего, конечно, нельзя допустить. Это следствие, как показал Зеелигер, исчезает, если допустить абсорбцию тяготения на очень больших расстояниях. Однако при непрерывном действии, тяготение все же с необходимостью должно привести к скоплению рассеянных в мировом пространстве масс, в частности звезд системы Млечного Пути. Для последующего мы должны поэтому принять, что, коротко выражаясь, для обеспечения нормального состояния мироздания должна существовать также какая-нибудь причина, которая вызвала бы рассеяние скапливающихся масс. Такую роль, как мы видели выше, выполняет тепловое излучение, однако в совершенно недостаточной количественно степени и притом за счет огромной траты работоспособности энергии. Сопоставляя все изложенное, мы можем сказать: гипотеза Канта и Лапласа получила в течении времени так много подтверждений, что в ней несомненно заключается здоровое зерно; однако одной ее недостаточно, ибо она оставляет нас бессильными перед в высшей степени важными вопросами. Логическая необходимость вынуждает естествоиспытателя подумать об исправлении ее, даже при наличии риска, что, по недостатку наших знаний, эти вопросы в настоящее время еще не вполне подготовлены для разрешения.

В выяснении вопроса о строении мира принимали живейшее участие наиболее выдающиеся умы. Из прежних исследователей, кроме Канта и Лапласа, я называю лишь имена лорда Кельвина Гельмгольца и Больцмана. Дальнейших успехов в этой области можно ждать лишь на основе новых сведений и вытекающих из них представлений. Вообще можно сказать, что в естественно-научных вопросах довольно безнадежно приниматься за проблемы над которыми внимательно трудились величайшие исследователи

прошлого, если только с тех пор не появились в нашем распоряжении опытные факты или средства анализа, которые не были известны нашим выдающимся предшественникам. Но как раз это и имеет место в настоящем случае, и потому не будет слишком самонадеянным ожидать некоторых последствий от нового рассмотрения проблемы. Поэтому мне надлежит теперь перейти к краткому изложению тех успехов естествознания новейшего времени, которые, по моему мнению, являются особенно многообещающими для рассмотрения космических вопросов.

В результате исследования радиоактивных явлений нам удалось, особенно благодаря работам Резерфорда и Бора (Bohr), глубоко проникнуть в строение атомов химических элементов. Согласно этим представлениям, каждый атом состоит из положительно заряженного тяжелого ядра, вокруг которого обращаются значительно более легкие отрицательные электроны, элементарные атомы отрицательного электричества. Благодаря достопамятному открытию профессора Лауэ (v. Laue) мы в состоянии даже расположить все элементы в порядке чисел, показывающих величину заряда ядра или, что то же, число обращающихся около него электронов, другими словами, надежно перенумеровать элементы. Порядковое число последнего из известных нам элементов, урана, есть 92. Мы знаем все члены этого ряда, за исключением пяти, и даже по отношению к этим отсутствующим членам мы в состоянии очень подробно перечислить их химические и физические свойства. Очевидно эти отсутствующие элементы чрезвычайно редки, а некоторые, может быть, столь сильно радиоактивны, что уже давно вымерли. Во всяком случае нельзя отказать в высокой похвале работе химиков, охватывающей круглым счетом столетие, ибо они открыли в группе редких земель, несмотря на большие трудности, почти все, что можно было открыть; это является поистине поразительным примером той огромной уверенности, с которой в состоянии работать точное естествознание.

Существуют ли элементы с атомным номером выше урана,—об этом мы не знаем; однако вряд ли можно сомневаться, что именно эти элементы должны быть сильно радиоактивными, чем, пожалуй, объясняется, что они, как большей частью вымершие элементы, не встречаются, может быть, на нашей земле, по крайней мере, в доступных нам местах.

Вместе с тем становится понятным также замечательное обстоятельство, которое издавна уже привлекало к себе внимание исследователей. К интереснейшим явлениям принадлежат метеориты, которые в большом количестве падают на нашу землю и имеют весьма разнообразную величину. Эти вестники отдаленных небесных тел происходят по всей вероятности, по крайней мере отчасти, из других солнечных систем. Естественно, что химики тщательно анализируют метеоритные камни; однако в них никогда не находили новых элементов. Это

уже давно давало основание предполагать, что все небесные тела в существенных чертах состоят из тех же элементов, как и земля или наше солнце, из недр которого она произошла.

Спектральный анализ превратил это предположение в уверенность, и если известные спектральные линии солнца и других неподвижных звезд не вполне совпадают с линиями земных элементов, то по новейшим исследованиям это объясняется тем, что мы имеем здесь дело с хорошо нам известными земными элементами, от которых действием чрезвычайно высокой температуры, господствующей на звездах, отщеплены несколько электронов, вследствие чего они неминуемо должны обнаружить несколько иной спектр. Различные основания повели к предположению, что главной составной частью земли и солнца является железо; в согласии с этим имеется много метеоритов, которые состоят почти исключительно из этого элемента.

Насколько хорошо подтверждается допущение единообразия химического состава всех небесных тел ясно из следующего, особенно поразительного примера. В 1879 году Нильсон (Nilson) и Клеве (Cleve) открыли элемент скандий, аналог алюминия; однако он находился лишь в исключительно малых количествах, так что казалось, что он принадлежит к числу наиредчайших спутников так называемых редких земель. Но спектральный анализ обнаруживал во многих неподвижных звездах линии, свойственные этому элементу. На этом основании профессор Эбергард (Eberhardt) из Потсдамской астрофизической обсерватории пришел к мысли, что скандий должен быть также довольно распространенным на земле. После того, как проф. Эбергард выработал надежную спектроаналитическую методику определения скандия, удалось, главным образом, благодаря усилиям профессора Майера (R. J. Meyer) в Берлине, получить столь редкий ранее скандий из многочисленных руд (вольфрамыды, оловянные руды, циркон), так что теперь в нашем распоряжении находятся почти неограниченные количества этого элемента. Вот интересный пример того, что наблюдения отдаленных звезд могут повести к осязаемым, практическим результатам на нашей земле.

Тождество химического состава различных небесных тел могло считаться поразительным раньше, когда казалась мыслимой возможность неисчислимых химических элементов; но с тех пор, как за последние годы было установлено, как показано выше, конечное, вполне ограниченное число элементов, вышеупомянутое обстоятельство сделалось легко понятным. Кант и Лаплас могли еще допускать, что при образовании неподвижных звезд начальная туманная материя могла в различных случаях иметь совершенно различный состав; теория, которая заранее исключает эту возможность, выигрывает очевидно в своей внутренней правдоподобности.

Познакомимся теперь коротко с условиями образования организованной материи, т.-е. возникновения жизни по нашим современным

воззрениям, хотя этот вопрос и лежит вне сферы нашего непосредственного рассмотрения, ибо такое миниатюрное небесное тело, как наша ничтожная земля, не может, конечно, представлять особого интереса. Одушевленная материя несомненно связана с существованием в высшей степени сложных молекул, т.-е. с возможностью весьма разнообразного сцепления атомов.

Из всех химических элементов, — а мы можем считать, что мы достаточно знаем свойства всех идущих в рассмотрение элементов, речь может идти только об углероде, да еще, пожалуй, об азоте, и действительно, оба эти элемента в соединении с кислородом и водородом представляют главнейшие составные части всех земных живых существ. Очень сложные молекулы, которые здесь фигурируют, оказываются достаточно способными к реакциям только внутри узкого интервала температуры. Мы видим, таким образом, что условия для образования живых существ достаточно тесны и что только на немногих планетах, да и то лишь в известное время, эти условия оказываются выполненными в необходимой степени. Но так как мы можем предполагать, что как солнце, так и другие неподвижные звезды обладают многочисленными планетами, то вряд ли можно сомневаться, что имеется огромное число планет внутри и вне системы нашего Млечного Пути, условия которых весьма близки к условиям нашей земли. Таким образом, в вопросе о развитии жизни не ставится никаких пределов полету фантазии, но, конечно, мы абсолютно не можем высказать ничего определенного. Правда, имеется еще один элемент, во многих отношениях химически сходный с углеродом, именно кремний, и можно было бы предполагать образование на отдаленных планетах живых существ, в которых углерод заменен кремнием. Однако новейшие исследования профессора Штока (Stock) в Химическом Институте императора Вильгельма в Далеке показали, что кремний даже приблизительно не обладает такой большой способностью к образованию соединений, как углерод, и, прежде всего, что под действием воды он легко переходит в неактивную кремневую кислоту. Развитие кремневых существ должно считаться грёзой, хотя и химической грёзой. Впрочем в настоящее время у нас нет больше оснований сомневаться, что на рассматриваемых планетах мирового пространства имеются, так же как и на земле, элементы, необходимые для построения организованной материи.

Обратимся теперь к обоснованному Эйнштейновскому соотношению между материей и энергией, которым мы уже, впрочем пользовались. Смысл этого соотношения состоит в том, что тело, отдавая энергию, одновременно теряет и массу. Потеря массы равна отданной энергии, разделенной на квадрат скорости света. Эта формула настолько надежна, что мы будем ее рассматривать, как данное. Насколько она важна именно для космических вопросов, видно из следующего наглядного рассуждения. Наше солнце, с того момента, как из тумана оно

сгустилось до некоторой большей плотности, непрерывно излучает огромные количества энергии, величину которой мы можем точно оценить при помощи непосредственного измерения солнечного излучения; таким путем мы можем с уверенностью вычислить, что солнце ежегодно теряет 10^{20} грамм, т.е. гигантскую массу в сотни миллиардов тонн. Но выше мы видели, что неподвижные звезды имеют приблизительно одинаковую массу, т.е. звезды, стоящие у конца своей звездной жизни, уже сильно охлажденные красные звезды в среднем немногим легче, чем ярко-белые звезды, что доказывает, что потеря массы через излучение в течение жизни звезды не может во всяком случае достигать значительной части ее общей массы. Если бы солнце в течение 10^{13} , т.е. десяти миллиардов лет ¹⁾, излучало так же, как оно излучает теперь, то от него ныне уже ничего бы более не осталось.

Итак, продолжительность его жизни должна быть гораздо меньше, особенно если принять во внимание, что в прежнее время, когда солнце было более яркой звездой, оно излучало гораздо больше тепла. Мы получаем, таким образом, надежную верхнюю границу для продолжительности жизни светлых неподвижных звезд. На основании соображений, в которые я не могу здесь вдаваться детально, можно считать невероятным, чтобы солнце потеряло через излучение более, чем одну сотую величину своей массы, так что продолжительность его жизни и вместе с тем продолжительность жизни горячих звезд вообще, можно оценивать самое большее в 100.000 миллионов ($= 10^{11}$) лет.

Однако соотношение Эйнштейна даст нам основание к другому, несравненно более важному заключению. Раз мы принимаем, что часть песочной массы следует отнести за счет запаса энергии, то естественным кажется вывод, что существование массы обуславливается исключительно скоплением энергии. За последние несколько лет мы узнали, что в атоме скоплены большие количества энергии в форме так называемой нулевой энергии; некоторая часть этой энергии, во всяком случае лишь малая, освобождается, например при радиоактивном распаде. Таким образом, атомы различных элементов представляются исключительно скоплениями энергии и, притом скоплениями чрезвычайных размеров. С этой точки зрения радиоактивный распад представляется лишь одной из возможностей получить из материи громадные количества энергии. Техническое использование этой энергии принципиально не представляется невозможным. Кажется, даже Резерфорду удалось получить недавно, правда в ничтожно малом масштабе, такую энергию при расщеплении азота лучами радиоактивных веществ. Впрочем, следует остерегаться иллюзий, что техническое использование этих запасов энергии сделалось сколько-нибудь осязательно близким, так чтобы можно было говорить об обесценении каменного угля;

¹⁾ Биллион — миллион миллионов.

но, во всяком случае, нельзя отрицать, что здесь лежит одна из величайших технических проблем.

Чтобы сделать возможно наглядной реальность этих вопросов, останемся на экспериментально-достоверной почве. Вообразим себе жилу урановой обманки, относительно которой нам достоверно известно, что заключающийся в ней уран через различные промежуточные стадии может превращаться в свинец, при чем освобождаются огромные количества энергии, по сравнению с которыми энергия, развиваемая нашими наиболее могучими взрывчатыми веществами, представляется сущою малостью; допустим далее, что это превращение вместо того, чтобы длиться, как при обыкновенной температуре в течение тысячи миллионов лет, происходит мгновенно. Непосредственным следствием этого был бы взрыв, мощность которого превосходит всякое воображение; при этом, вероятно, вследствие такого начального толчка остальная материя планеты в значительной своей части также начала бы превращаться.

Я думаю, что можно довольно точно рассчитать, что удалось бы достигнуть такого превращения, если бы поджечь урановую обманку, подобно тому, как зажигают спичкой ружейный порох, но, конечно, не обычной спичкой, температуру пламени которой можно оценить в 1500 градусов, но спичкой, температура которой должна достигать примерно десяти тысяч миллионов градусов. Такой температуры мы не можем реализовать, и, по всей вероятности, она не осуществляется нигде в природе. Подобно урану, однако, ведут себя все или почти все элементы. И чтобы с полной ясностью иллюстрировать упомянутое в высшей степени замечательное свойство материи, мы могли бы сравнить существование человечества с существованием дикарей, которые обитают на острове, состоящем, главным образом, из пироксилина, и не имеют огня. Колония погибла бы в то же мгновение, как только Прометей вручил бы кому-нибудь из ее жителей горящую головню.

Изложенное выше показывает, что в настоящее время при рассмотрении космической проблемы мы располагаем иными вспомогательными средствами, чем это было возможно, например для Гельмгольца. Рассмотрим теперь значение новых достижений для исследования звездного неба.

В первую очередь, здесь следует назвать остроумную теорию, предложенную в 1916 году английским астрономом Эддингтоном (Eddington), которая, как кажется, очень удачно объясняет упомянутое уже замечательное обстоятельство, что неподвижные звезды обладают примерно одинаковыми массами. Горячая звезда может рассматриваться, как газовый шар; давление газа противодействует, конечно, постепенному сжатию, обусловленному притяжением. Другим фактором, противодействующим сжатию, является — и в этом-то и состоит сущность новой теории — световое давление, которое исходит из внутренних значительно более нагретых слоев и отталкивает по определенному

закону слоев, более удаленные от центра. Вычисление показывает, что для очень больших звезд это последнее отталкивающее действие в соединении с газовым давлением превосходит притяжение, так что существование звезд таких размеров становится невозможным. Поражающий результат теории Эддингтона состоит в том, что не могут существовать звезды с массой, превышающей 10^{34} грамм, что согласуется с астрономическими данными.

Среди допущений, которые пришлось сделать Эддингтону, играет известную роль величина газового давления, то-есть средний молекулярный вес вещества звезды. Эддингтон принимает, в качестве главной массы, пары железа, т.-е. средний молекулярный вес 56; однако вследствие высокой температуры, господствующей внутри звезды, от паров железа отделяется много свободных электронов, благодаря чему молекулярный вес сильно уменьшается. Эддингтон вычисляет неудачу со средним молекулярным весом в 2,8. Однако мы можем ныне с помощью новой термодинамики довольно точно учесть влияние отщепления электронов от паров железа. Доктор Эггерт (Eggert)¹⁾ произвел по моему предложению соответствующее вычисление и, на основании тщательного обсуждения встречающихся соотношений, пришел к среднему молекулярному весу в 3,2, что служит очень хорошим подтверждением допущения Эддингтона. Таким образом, его теория значительно выигрывает в достоверности. Очень важно, что Эддингтон может вычислить также давление и температуру внутри звезды, относительно которых мы до сих пор ничего не знали; исследуя световое излучение звезды мы находим, конечно, лишь ее наружную температуру, которая достигает для солнца, [например, 6000 градусов, а у белых звезд может значительно превосходить 12000 градусов.

Внутри, т.-е. вблизи центра, температура и давление оказываются приблизительно постоянными, именно несколько миллионов градусов и соответственно несколько миллионов атмосфер.

Звезды меньших размеров, конечно, устойчивы сами по себе; но, если мы примем, что при образовании звезд не бывает недостатка в массе, то выйдет, что образуются, главным образом, звезды максимальной возможной величины, какие мы и находим большею частью на небе.

Сопосом к иной области относится успех, состоящий, можно сказать, в неожиданно точной методе определения возраста земли, — результат, имеющий также большое значение и при оценке возраста неподвижных звезд. Под возрастом земли мы будем при этом понимать то время, которое протекло с тех пор, как наша планета из раскаленного осколка солнца превратилась в небесное тело с твердой корой. Применяемая здесь метода, которая покоится на сведениях, отно-

¹⁾ Phys. Zeitschr. 1919, p. 570.

сящихся к области радиоактивности, не оставляет по своей оригинальности желать ничего лучшего.

Радиоактивный элемент распадается с постоянной скоростью, независимо от температуры, независимо от того, находится ли данный элемент в свободном состоянии или входит в состав какого-нибудь химического соединения. Это не только доказано многочисленными опытами, но также прекрасно обосновано и теоретически. Действительно, радиоактивный распад происходит внутри атомного ядра, на состояние которого, согласно принципам современной теории квантов упомянутые побочные обстоятельства никоим образом не могут иметь никакого влияния.

Лишь при крайне высоких температурах, которые, согласно предыдущему, как кажется, не встречаются во вселенной, можно было бы ждать влияния на скорость распада атома; в пределах фигурирующих в нашем вопросе температур можно с полной уверенностью считать эту скорость в точности постоянной.

Итак, уран, этот важнейший исходный продукт радиоактивного ряда, распадается со вполне постоянной скоростью; непрерывно совершающееся расщепление его на другие элементы есть как бы стрелка хронометра, идущего с максимальной точностью. И, конечно, эти часы имеют то преимущество, что они никогда не нуждаются в заводе; радиоактивный элемент несет в себе так много энергии, что часы идут до полного уничтожения элемента. А для того, чтобы описанный измеритель времени сделать идеально совершенным, он снабжен регистрирующим приспособлением. Ибо продукты радиоактивного распада накапливаются, конечно, в той же самой мере, в какой элемент разлагается. Прежде всего образуется гелий, летучий газ; но если мы имеем дело с прекрасным твердым кристаллом урановой руды, то гелий, по крайней мере, в значительной части остается заключенным внутри кристалла. Так как при помощи электрических измерений скорость образования гелия, которая идентична с интенсивностью радиоактивного излучения, измеряется крайне точно, то можно вычислить, сколько гелия образуется в течение года из килограмма урана; таким образом, количество гелия, заключенного в куске урановой руды, дает непосредственно время, в течение которого кристалл, как таковой, оставался неизменным.

Так как приходится считаться с неизбежной потерей гелия в течение миллионов лет, то определение по гелию дает минимальное значение возраста твердых руд. Еще надежнее результаты «метода свинца». Конечным продуктом радиоактивного распада урана является свинец, который, отлагаясь в твердых кристаллах, наверняка не может улетучиться.

Здесь можно было бы возразить, что свинец, находимый в урановых рудах, может быть, лишь частично происходит вследствие радиоактивного распада, а частью может примешиваться к руде вслед-

ствие каких-нибудь геологических процессов (гелий, наоборот, не может быть включен в застывающую урановую руду). Но и это затруднение легко преодолеть, словно природа позаботилась о том, чтобы обеспечить нам полнейшую достоверность этого несравненно-важного приема определения. Урановый свинец радиоактивного происхождения, являясь химически наиболее чистым свинцом, обладает эквивалентным весом, заметно отличным от обыкновенного свинца; он является изотопом свинца. Другими словами, случайные первоначальные примеси к руде обыкновенного свинца могут быть точно отличены от свинца радиоактивного происхождения. Урановые часы дают надежные показания.

В виду большого интереса, связанного с определением свинца в урановых рудах, анализом этим занимались различные исследователи. Были найдены урановые руды с относительно малым содержанием уранового свинца, которые, как показывает вычисление, не очень стары; именно, возраст их можно оценить в несколько сот миллионов лет, то-есть такое время прошло с момента, когда они выделились из огненно-жидкого плавня, может быть при каком-нибудь вулканическом извержении. Однако имеются также урановые руды из различных местонахождений, которые показывают определенное максимальное содержание свинца, именно приблизительно 20%, что соответствует возрасту в 1500 миллионов лет, и эта цифра должна очень точно указывать момент образования твердой земной коры; возможно, что это образование произошло еще ранее.

Как ни интересны эти определения для истории нашей земли, еще большую важность для нас представляют заключения, которые можно сделать относительно возраста солнца. К моменту возникновения земли солнце очевидно должно уже было пережить длинный период сжатия, в течение которого оно превратилось из туманности гигантских размеров в относительно плотную звезду. Возраст солнца в стадии такой более плотной звезды, должен, следовательно, достигать, по крайней мере, 1500 миллионов лет, вероятно же, он значительно больше. Принимая во внимание, что, согласно сделанному выше замечанию, возраст неподвижной звезды едва ли может быть больше ста тысяч миллионов лет, и что, с другой стороны, по только что найденному, он должен значительно превосходить тысячу миллионов лет, мы видим, что возраст звезд оказывается наизусть определенным в довольно тесных границах. В дальнейшем мы можем оценивать продолжительность жизни светящихся солнц приблизительно десятком тысяч миллионов лет.

Привычайно важный результат, согласно которому продолжительность жизни светящихся солнц исчисляется, по меньшей мере, тысячами или даже десятками тысяч миллионов лет, приводит, однако, космологические исследования к новым затруднениям, на которые как раз в последние годы указывали различные астрономы. Дело заключается в том, что, зная точно действие сил притяжения, можно вы-

числить количество тепла, развивающегося при образовании неподвижной звезды из туманности, каковое тепло должно покрыть потери на лучеиспускание. Однако получающееся количество тепла оказывается гораздо меньше, необходимого; вместо многих тысяч миллионов лет излучение звезды с той интенсивностью, как оно происходит теперь, могло бы поддерживаться, как показал еще Гельмгольц, самое больше несколько дюжин миллионов лет. Теория Канта-Лапласа здесь совершенно бессильна. Помимо взаимного притяжения масс должен существовать еще другой, несравненно более мощный источник энергии, чтобы сделалась возможной значительная продолжительность жизни светящихся солнц. Естественно возникает предположение, что радиоактивные процессы доставляют необходимую энергию.

Однако, даже допуская для наших целей наиболее выгодный случай, именно предполагая, что для образования звезды в Канта-Лапласовской схеме послужила чистая урановая пыль, мы найдем, при помощи вычисления, что и тогда может быть покрыта лишь умеренная часть теплоты, излученной за время жизни звезды. Правда, указанное предположение отчасти исправляет невязку между вычислениями и наблюдениями. Однако допущение, что первичный туман Канта-Лапласа должен состоять исключительно из радиоактивных элементов, кажется настолько фантастическим, что вряд ли стоит дольше останавливаться на нем.

В предыдущем изложении я пытался нарисовать картину современных воззрений на строение мира. В общем и целом мы приходим к настоятельной необходимости дальнейшей разработки теории Канта-Лапласа, и измерительная астрономия нового времени доставила нам для этой цели внушительный материал относительно природы и свойств большого числа неподвижных звезд, как гигантских туманностей, так и их позднейших продуктов, карликовых звезд или собственно солнц. Однако здесь еще имеются значительные пробелы, которые не позволяют нам говорить о гармонической картине мира. Тепловая смерть со всеми ее последствиями в высшей степени неудовлетворительна логически и в то же время чрезвычайно невероятна; точно так же признание, что нам неизвестно, откуда собственно происходит энергия солнца, является весьма чувствительным несовершенством.

Те несколько минут, которые еще предоставлены мне вашим любезным вниманием, я хотел бы посвятить краткому описанию попытки, основанной на допущении, правда пока еще гипотетическом, которое, как мне кажется, просто и радикально устраняет вышеупомянутые трудности. Я развивал эту попытку объяснения, правда лишь мимоходом, в речи на съезде естествоиспытателей в Мюнстере (см. стр. 152); теперь мы остановимся на этом подробнее.

Мы видели выше, что так называемая тепловая смерть материи может быть сведена в конечном счете к рассеянию материи в миро-

вом пространстве, при чем излучение затеривается в мировом эфире вселенной. Может быть, вам известно, что в настоящее время существование мирового эфира неоднократно подвергалось сомнению; но если нужно согласиться, что большой комплекс явлений может трактоваться без употребления гипотезы светового эфира, то с другой стороны несомненно, что для многих процессов, например для объяснения постоянства скорости света, нельзя обойтись без гипотезы невесомой промежуточной среды. Во всяком случае, когда я условно высказываюсь за существование светового эфира, я имею на своей стороне многих выдающихся физиков. Далее, новые атомные теории учат нас, что даже при абсолютном нуле внутри атома сохраняются оживленные движения, что следовательно часть его массы надо отнести на счет запаса энергии, так называемой нулевой энергии. При таких обстоятельствах, конечно, простейшим допущением будет признать, что вся материя состоит из нулевой энергии. Если мы присоединим сюда дальнейшее следствие, что эта энергия находится в равновесии с энергией светового эфира, то можно показать, что световой эфир должен обладать огромнейшими запасами энергии. Мы можем теперь выставить гипотезу, что атомы химических элементов могут возникать в мировом пространстве вследствие случайных колебаний запасов энергии светового эфира; в таком случае, мы, конечно, должны также допускать и обратное, т.-е., что в процессе так называемого радиоактивного разложения атомы химических элементов, главным образом конечные продукты радиоактивного распада — атомы гелия и водорода — вновь могут превращаться в нулевую энергию эфира. Таким образом мы допускаем непрерывное появление и исчезновение материи во вселенной.

Спросим себя теперь, не должны ли мы в таком случае непосредственно наблюдать образование атомов химических элементов? Продолжительность жизни большей части элементов должна быть гораздо больше, чем время распада урана, превращение которого, вплоть до сиюминутности, мы можем проследить экспериментально, то-есть гораздо больше, чем тысяча миллионов лет.

Средняя плотность материи в нашей системе Млечного Пути такова, как если бы в каждой сотне литров находился один атом урана. Чтобы поддерживать массу мира в среднем постоянной, необходимо, чтобы в названном пространстве возникал один атом урана за период несравненно более громадный, чем 1000 миллионов лет¹⁾. Мы видим таким образом, что наше предположение не может стоять ни в каком противоречии с опытом.

¹⁾ Появление атомов должно происходить несравненно реже, чем один атом в 1000 миллионов лет, во-первых, потому, что средняя объемная плотность во вселенной, очевидно, гораздо меньше, чем плотность системы Млечного Пути, а во-вторых, потому, что продолжительность жизни материи в среднем гораздо больше, чем выбранного периода урана.

Что касается обратного перехода материи в море эфира, то мы наблюдаем его, принципиально, при всяком излучении, конечно в этом случае лишь в неощутимых количествах. Заметнее исчезновение материи при радиоактивных процессах. Но, конечно, главной потери материи — исчезновения атомов гелия и водорода — мы не можем еще наблюдать экспериментально, по тем же основаниям, по которым и образование атомов недоступно прямому наблюдению, ибо в обоих случаях дело касается процессов исключительных по своей редкости. Что эти процессы редки, следует, хотя бы, из большой продолжительности жизни материи, по крайней мере ее главных составных частей; а эта долгожизненность подтверждается двумя, совершенно различными опытными фактами: во-первых, чрезвычайной медленностью радиоактивного распада большей части элементов и, во-вторых, чрезвычайно большой продолжительностью жизни неподвижных звезд.

Что касается вида атомов, образующихся непосредственно из нулевой энергии светового эфира, то мы специализируем нашу гипотезу, предполагая, что образуются главным образом или даже исключительно элементы с очень большим порядковым числом, то-есть стоящие в ряду элементов выше урана; это суть очень сильно радиоактивные элементы, которые претерпевают длинный ряд превращений, развивая, следовательно, гораздо больше тепла, чем измерено для урана.

Теперь нетрудно показать, что при помощи нашего, во всяком случае гипотетического, — что я, может быть, недостаточно подчеркнул, — допущения, можно простым и наглядным образом объяснить образование неподвижных звезд, их чрезвычайно продолжительное свечение и наконец их непрерывное новообразование. Применим с этой целью нашу гипотезу к теории образования миров Канта-Лапласа.

Чрезвычайно рассеянные в мировом пространстве новообразованные атомы элементов очень высокого порядкового числа соединяются понемногу в холодную туманность гигантского размера, слабое свечение которой вызывается радиоактивным излучением. Благодаря возрастающему уплотнению возникает высокая температура, которая ведет к обыкновенному световому излучению. Затем, вследствие дальнейшего сжатия, образуется горячая, так называемая карликовая звезда, то-есть мировое тело подобное солнцу. Однако такое солнце вначале обладает еще мощным запасом радиоактивного вещества, которое именно и поддерживает его высокую температуру и длительное излучение. Затем этот запас понемногу истощается, температура, оставшаяся приблизительно постоянной в течение долгого времени, начинает понижаться, белая звезда относительно быстро переходит в желтую и затем в красноватую звезду, чтобы наконец охладеть окончательно. В дальнейшем остывшая звезда распадается радиоактивно, с чрезвычайной медленностью и, как было разъяснено выше, через огромный период времени исчезает таким образом совершенно с лица

мира. В то же время в среднем приблизительно в таком же самом числе из вновь возникших радиоактивных атомов образуются новые звезды. Когда радиоактивный распад в существенных чертах закончился, как например в случае солнца, налицо должны остаться обыкновенные химические элементы, всегда примерно в одном и том же количественном соотношении, то-есть звезды, находящиеся в позднейшей стадии, должны обладать приблизительно одинаковым химическим составом, что, согласно предыдущему, весьма правдоподобно.

Изложенные соображения могут быть в известном отношении подтверждены наблюдениями; действительно, наше воззрение приводит к чрезвычайно простому следствию, что на небе должны чаще всего встречаться те состояния звезд, которые обладают наибольшей продолжительностью жизни. Согласно нашим соображениям это, во-первых, наиболее яркие звезды, которые находятся вблизи максимума своего развития, а во-вторых, совершенно или почти совершенно угасшие звезды. Наблюдение удивительным образом подтверждает это заключение для первой категории; для второй же — оно не может быть надежно проверено, так как мы не можем видеть этих звезд: однако в настоящее время на основании не прямых указаний, идущих с разных сторон, в астрономии укрепляется мнение, что общая масса угасших, то-есть слабо светящихся звезд (включая сюда метеориты и темную мировую пыль) не может быть незначительной по сравнению с массой светящихся звезд.

Если метеориты (по крайней мере отчасти) происходят из осколков угаснувших звезд, то они должны представлять позднейшую стадию разложения химических элементов, какую мы можем наблюдать и на земле, где материя, согласно вышеизложенному, должна находиться примерно в том же состоянии, как и на солнце (белые звезды и особенно туманности должны находиться на более ранней стадии, то-есть содержать элементы с более высоким атомным весом, чем известные нам). Весьма замечательно и заслуживает основательного исследования, что в метеоритах как будто бы отсутствуют элементы с высоким атомным весом (см. приложение).

Кант и Лаплас считались исключительно с тяготением, как силой имеющей значение при образовании солнечной системы. Мы должны теперь признать, что, особенно при начале образования неподвижных звезд, временно играют выдающуюся роль также и силы электрического происхождения, появляющиеся вследствие радиоактивных действий, связанных с сильной электризацией. Так как в действительности оказалось, что для объяснения образования планет по Лапласу недостаточно одного ньютоновского притяжения, то этим даются новые точки зрения для дальнейшего развития теории. С этим, может быть, в особенности связаны странные возникновения и исчезновения новых звезд, которые происходят, как показал Гутник (Guthnick) в своей недавно вышедшей: „Физике неподвижных звезд“,

настолько регулярно, что соответствующие процессы как будто следует отнести к нормальному развитию звезд.

Наконец, я должен упомянуть еще один пункт, на который недавно обратил мое внимание физик, профессор Зеелигер, сын ранее упоминавшегося астронома.

Именно, может быть, можно видеть подкрепление выше развитых воззрений на возникновение радиоактивных атомов в мировом пространстве в том, что это пространство кажется наполненным радиоактивными лучами и при том так называемыми гамма-лучами (γ -лучи) чрезвычайной жесткости, каких мы не знаем ни у одного известного элемента. Исследования Гесса (Hess), Зеелигера и Свинне (Swinne) показывают, что эти замечательные лучи не посылаются во всяком случае ни землею, ни солнцем, ни луной; однако еще не ясно, не могут ли местом их происхождения служить верхние слои нашей атмосферы, а не мировое пространство. Решение вопроса, какая часть измеренного излучения имеет космическое происхождение, могло бы послужить важным базисом для дальнейших астрофизических расчетов.

Наши соображения, во всяком случае, устраняют тепловую смерть так же, как и рассеяние материи. Наш взор уже не выпущен более рассматривать мир в отдаленном будущем, как мрачное кладбище; он видит вселенную непрерывно наполненной появлением и исчезновением ярких светящихся звезд. Пусть, то здесь, то там угасает священный огонь солнца; он вспыхивает опять во многих местах с обновленной, юной силой. Материя мира не может более превратиться целиком в гелий. Наконец, материя не может с течением времени нигде собраться в гигантский клубок, — я напоминаю выше приведенную космическую проблему, — ибо она непрерывно вновь образуется в мировом пространстве, примерно с постоянной плотностью.

Космическая физика не есть обыкновенная физика. То что в этой последней вызывает порицание, как недоказуемая спекуляция, здесь может стать логической необходимостью, с неодолимой силой занимающей место среди изысканий. Мы видим себя вынужденными привлекать к нашим рассуждениям еще недоказанные, но не неправдоподобные допущения. Еще Кант¹⁾ говорил во введении к своей „Теории неба“: „В работах подобного рода никогда нельзя требовать геометрической точности и математической непогрешимости. Если система основывается на аналогиях и совпадениях, устанавливаемых по правилам вероятности и логики, то она достаточно удовлетворяет всем требованиям предмета“.

Кант говорил далее: „Дайте мне материю, я построю вам из нее мир“. Возможно, но этот мир не будет нашим миром. Может быть, мы подойдем ближе к истине, если скажем: „Дайте мне материю радио-

¹⁾ Ср. особенно новое издание: „Theorie des Himmels“, выпущенное под редакцией Эберта (H. Ebert). Klassik. d. Naturw., Leipzig, b. Engelmann.

активных элементов высокого атомного веса"; в этом случае мы получим также огромные запасы энергии, разлитые по вселенной, объяснение которых составляет еще невыплаченный долг Канта и Лапласа. Прибавим еще к этому: „Дайте нам нулевую энергию светового эфира“, — и мы сможем считать историю вселенной обеспеченной на веки-веков.

Д о п о л н е н и я.

Температура мирового пространства. Температура мирового пространства (светового эфира) может быть определена следующим образом. Вообразим себе в произвольной точке какую-нибудь пылинку черного тела, то-есть такого тела, которое поглощает все падающие на него лучи. Эта пылинка, под действием имеющегося повсюду излучения, примет определенную температуру, именно температуру мирового пространства в данном месте, так как она будет при температурном равновесии поглощать столько же тепла, сколько она излучает вследствие собственной температуры. Нет никакого сомнения, что на достаточном расстоянии от любого теплого небесного тела эта температура лежит чрезвычайно низко, практически едва ли заметно отличается от абсолютного нуля.

Результат этот, очевидно, в высокой мере удивителен; ибо, если мы придерживаемся воззрения, что Космос находится в стационарном состоянии, то, согласно всем нашим прежним сведениям, температура мирового пространства должна быть, наоборот, довольно высока. Действительно, температура скоплений материи в пространстве, в первую очередь температура неподвижных звезд, очень высока; точно так же все так называемые „темные звезды“ нагреты гораздо выше красного-калийного жара. В течение безграничного времени, — а мы должны его считать таковым в силу „стационарного состояния“ Космоса, — в мировом пространстве должна была установиться некоторая средняя температура (во всяком случае в несколько тысяч градусов), чего несомненно нет на самом деле.

Конечно, мы могли бы искать выхода в предположении, что в мировом пространстве распределены огромные массы очень низкой температуры, например в форме космической пыли, которые во всяком случае могли бы сколько угодно сильно понизить эту среднюю температуру. Я не думаю, однако, чтобы на основании наших теперешних астрономических сведений можно было бы предлагать этот выход.

Гораздо более приемлемым кажется мне следующее предположение. Световой эфир обладает некоторой, хотя и чрезвычайно малой

абсорбционной способностью для теплового излучения¹⁾). Согласно моим воззрениям следует представлять эту абсорбцию так, что за очень длинный промежуток времени обычная энергия излучения превращается в нулевую энергию светового эфира. При чрезвычайной малости предполагаемого здесь феномена мы, конечно, не вступаем в конфликт ни с какими лабораторными опытами или астрономическими измерениями. Но вместе с тем мы убеждаемся, что температура мирового пространства и при стационарном состоянии может быть чрезвычайно низка.

Еще важнее следующее заключение. Абсорбция лучистой энергии в мировом пространстве означает исчезновение материи; в таком случае, существование стационарного состояния требует обратной отдачи материи со стороны светового эфира. А этим самым моя гипотеза, выставленная на стр. 154 и проводимая повсюду в этой статье, становится почти логическим постулатом; конечно, только „почти“, ибо всегда следует считаться с возможностью иного объяснения. Впрочем, кажется, существует лишь две возможности иного выхода, именно, во первых, вышеупомянутое допущение огромных масс весьма низкой температуры, во-вторых, отказ от признания „стационарного состояния“ в космосе; оба — в высокой степени невероятны.

Иногда говорят о том, что во вселенной существуют области, в которых, как в нашем Млечном Пути, энтропия увеличивается, и такие, где она уменьшается. Этим просто отрицаются наши законы природы. Этой книжке нечего делать с таким направлением вкусов.

Обратимость радиоактивных процессов. На стр. 160 указано, что радиоактивные процессы могут быть обращены лишь при крайне высоких температурах, которые, согласно новым воззрениям, особенно на основании соображений Эддингтона, кажется нигде во вселенной не могут осуществляться. Это заключение следует надежнее всего из прямого применения моей тепловой теоремы²⁾, правда на основании соображений теории квантов. Совершенно так же можно заключить, что даже температуры в миллион градусов и больше не могут еще значительно повлиять на скорость радиоактивных превращений. Этот результат представляет большую важность для всех наших рассуждений; без него, как кажется, очень надежные основания совершенно повисли бы в воздухе.

Чрезвычайно удивительно, что в астрофизике до сих пор так мало использована новая термодинамика, основанная на моем тепловом

¹⁾ С этим была бы также связана тоже чрезвычайно малая дисперсия светового эфира, которая в области очень коротких, до сих пор нам недоступных волн могла бы быть даже значительной. Если принять, как это сделано мною повсюду в последнем издании моей „Теоретической химии“, что эфир имеет атомистическую структуру, то последнее заключение становится самоочевидным.

²⁾ Сравни мою „Grundlagen des neuen Wärmesatzes“ (1918, издание Knapp, в Галле), стр. 183.

законе. Кроме упомянутого на стр. 167 исследования Эггерта, исключение представляет лишь новая работа доктора Сага (Saha) о температуре неподвижных звезд (ср. обзор в Zeitschrift für Physik, 6, p. 40, 1921), который, применяя мою тепловую теорему, пришел к ряду прекрасных результатов.

Энергия тяготения и теплота. Можно было бы думать, что энергия тяготения не превращается necessarily в теплоту, т.-е. даже в сколь угодно длинный промежуток времени сжатие материи не должно вполне закончиться. Однако даже в наиболее благоприятном из всех мыслимых случаев, именно, в случае центрального тела, вокруг которого вращается одна планета, обращенная, подобно луне, всегда одной и той же стороной к центральному телу, следует принять во внимание, что во время обращения само центральное тело своими различными частями попадает в поле тяготения разной силы. А это необходимо обуславливает сжатие и расширение внутри его, т.-е. возникновение необратимых температурных различий и вместе с тем затухание системы, что идентично с переходом энергии тяготения в теплоту. Лишь при абсолютном нуле эти затухания, согласно новому тепловому закону, исчезают; в действительности же они всегда имеются налицо. Если же планета обращается не точно по кругу, что практически только и возможно, то она, конечно, также проходит через различные поля тяготения, и величина затухания возрастает.

Далее следует еще заметить, что если мы предполагаем, что оба мировых тела имеют одну и ту же температуру, то, по новому тепловому закону, удельная теплота материи necessarily изменяется вместе с интенсивностью поля тяготения (сравни „Grundlagen“, стр. 182; но это также обуславливает изменение температуры с необратимым выравниванием ее, — вызывающим следовательно затухание. Если же температуры двух мировых тел различны, то можно утверждать, что и тогда должно проявляться аналогичное действие, при том еще усиленное, ибо с постепенным выравниванием температуры уменьшается отталкивающая сила светового давления и, следовательно, мировые тела будут приближаться друг к другу.

В случае многих небесных тел очевидно указанное затухание системы увеличится.

Таким образом стремление материи стягиваться во все возрастающий клубок не может подвергаться сомнению. Космическая теория, которая желает быть общей и исходит в то же время из гипотезы „стационарного состояния“, т.-е. не допускает полного превращения материи в течение произвольно большого, но конечного промежутка времени, — в этом, пожалуй, и состоит наиболее наглядное определение „стационарного состояния“, — должна уметь указать причины, обуславливающие непрерывное рассеяние материи. Этому требованию, насколько мне известно, удовлетворяет до сих пор лишь теория, обоснованная в этой книжке.

Продолжительность жизни неподвижных звезд. Короткие замечания, сделанные в указанной лекции я позже несколько дополнил. Принимая во внимание большой общий интерес, который представляет вопрос о возрасте солнца во многих отношениях, мы займемся здесь этим предметом несколько подробнее.

Прежде всего, что касается нижней границы, которая дается возрастом земли, то, следуя сводке профессора Стефана Мейера (Stefan Meyer)¹⁾, мы положим ее в $1,5 \cdot 10^9$ лет; это возраст чистых урановых минералов, получаемый на основании содержания *RaG* (радио-свинца) в этих минералах. Определения количества гелия, заключенного в этих минералах ведут к значительно меньшей величине, ибо, как предполагают, заметное количество этого газа улетучивается вследствие диффузии из кристаллизовавшейся руды. Однако мыслимо, что этот недостаток гелия имеет и другую причину, именно превращение атомов гелия в нулевую энергию светового эфира, что мы должны, согласно нашей гипотезе, считать возможным для таких огромных промежутков времени. Конечно, дальнейшее доказательство этого явления (что объяснило бы нам также поразительно малое содержание гелия на земле) представляется в высшей степени важным. Но как бы то ни было, метод *RaG* дает, по нашим современным сведениям, вполне надежные результаты, так что мы можем считать вышеприведенную цифру достоверной нижней границей для возраста земли и вместе с тем и солнца.

Что касается верхней границы, то солнце испускает в год в форме излучения $1,20 \cdot 10^{41}$ эргов, что, согласно формуле Эйнштейна, дает потерю массы в

$$\frac{1,20 \cdot 10^{41}}{9 \cdot 10^{20}} = 1,33 \cdot 10^{20} \text{ грамм в год (ибо } c^2 = 9 \cdot 10^{20}).$$

Так как масса солнца достигает $1,9 \cdot 10^{33}$ грамм, то в течение

$$\frac{1,9 \cdot 10^{33}}{1,33 \cdot 10^{20}} = 1,4 \cdot 10^{13} \text{ лет}$$

масса солнца исчезла бы совершенно, если бы излучение в течение этого времени оставалось постоянным. Но прежде солнце излучало гораздо больше энергии, частью вследствие его более высокой температуры, частью вследствие гораздо меньшей плотности, которой оно обладало на прежней стадии развития; в среднем излучение, как легко можно оценить из сравнения с белыми звездами и туманностями, было по крайней мере в десять раз интенсивнее; поэтому вышеуказанный промежуток времени понижается примерно до 10^{12} лет.

¹⁾ Neuere Ergebnisse der radioaktiven Forschung, Vorträge des Vereins zur Verbreitung naturw. Kenntnisse 58 (H. 7).

Конечно, вполне мыслимо, что солнце прежде было неподвижной звездой с массой в два раза большей, так что половина его массы улетучилась. Однако звездная статистика, которая до сих пор не могла констатировать никакой закономерной убыли массы звезд в зависимости от стадии развития, делает такое значительное уменьшение массы невероятным. Мы получаем для возраста солнца, можно сказать благодаря чрезвычайно счастливому совпадению, две довольно тесные границы от 10^9 до 10^{12} лет.

Столь благоприятный вывод ободряет нас к попытке дальнейшего сужения этих границ. По отношению к нижней границе, — анализ радио-свинца дает нам время, которое протекло с момента кристаллизации рассматриваемого минерала. Спрашивается, как долго земля могла существовать в виде огненно-жидкого шара, чтобы можно было оценить полный возраст земли. По сравнению с вышеприведенными цифрами этот срок оказывается исчезающе малым, если принять во внимание только охлаждение вследствие лучеиспускания и производить вычисления с каким-нибудь приемлемым значением для удельной теплоты земной массы; согласно такому вычислению, даже солнце гораздо больших размеров несомненно охладилось бы в 10—20 миллионов лет. Однако теперь, когда выяснилось большое влияние тепла, развиваемого вследствие радиоактивности, подобное вычисление нельзя более считать правильным.

Влияние радиоактивного развития тепла мы можем оценить при помощи следующего рассуждения. Допустим, что это тепло в состоянии поддерживать настоящую температуру земли, если пренебречь потоком энергии со стороны солнца и принять во внимание, что, как будет показано далее, радиоактивность в прежние эпохи была значительно больше, примерно в 30—50 раз больше современной; в соответствии с этим абсолютная температура поверхности земли могла бы поддерживаться на величине лишь в 2,3—2,7 раза больше настоящей, т. е. всего около 700° абс., ибо, согласно закону излучения Стефана и Больцмана, количество излучаемого тепла пропорционально четвертой степени температуры. Таким образом, когда земля была раскаленной, радиоактивность играла лишь второстепенную роль в вопросе отдачи тепла. Этот примерный расчет показывает, что тот срок, в течение которого поверхность земли оставалась огненно-жидкой, должен быть во всяком случае значительно короче периода, протекшего с момента образования твердой коры. С другой стороны следует заметить, что число $1,5 \cdot 10^9$ лет, данное выше для этого последнего периода, хотя и представляет лишь нижнюю границу, но во всяком случае граница эта довольно близко подходит к действительности.

Таким образом мы можем без большого произвола оценить возраст земли в $3 \cdot 10^9$ лет; далее, принимая во внимание, что планеты (и соответственно двойные звезды) образовались по всей вероятности, когда соответствующая неподвижная звезда была еще туманностью (гигант-

ской звездой) и что период развития гигантской звезды, как решительно можно заключить на основании различных соображений, протекает относительно быстро, мы приходим к окончательному заключению, что возраст солнца следует считать немногим больше, чем $3 \cdot 10^9$ лет.

Столь малое число — малое, потому что оно гораздо ближе лежит к нижней из указанных ранее границ, чем к верхней — может быть, очевидно, подкреплено следующими соображениями. Возраст солнца определяет уменьшение его массы вследствие излучения; при всех известных нам радиоактивных процессах это уменьшение измеряется, как известно, лишь малыми долями промилле.

Мы можем с уверенностью предполагать, что при радиоактивном распаде элементов, высших урана (т. е. с порядковым числом большим 92), дело идет о несравненно более мощных радиоактивных процессах, которые несомненно обуславливают большую потерю массы. Однако следует признать наиболее вероятным то предположение, которое меньше всего удаляет нас от известных фактов; если бы мы совершали наш выбор, основываясь исключительно на вероятности, то мы должны были бы попытаться исходить из допущения минимума развиваемой энергии, для того чтобы не удалиться, так сказать без нужды, от известных эмпирических фактов. Таким образом и на основании этих соображений при выборе значения, лежащего между обеими выше найденными границами, преимущество представляет число вблизи нижней границы.

Попытаемся теперь детальнее рассмотреть развитие неподвижной звезды, приписывая, в согласии с нашей руководящей гипотезой, радиоактивное происхождение развивающейся в ней энергии.

Мы видели, что энергия сжатия, развиваемая вследствие работы притяжения, которая со времени Гельмгольца рассматривалась, как главнейший фактор, могла бы покрывать излучение солнца (особенно в прежние периоды) лишь в течение меньше чем миллиона лет¹⁾; припомним, далее, что охлаждение массы солнца должно было бы наступить в очень короткий срок²⁾, даже если приписать ему невероятно высокую удельную теплоту; таким образом, мы приходим к чрезвычайно простому балансу энергии: в каждый момент излученная неподвижной звездой теплота должна равняться теплоте, развиваемой вследствие радиоактивных процессов (или, может быть, каким-нибудь другим образом).

Этот закон есть не что иное, как закон сохранения энергии в применении к звездам, при чем принимается во внимание, что как

¹⁾ Ср., например, Pringsheim, Physik der Sonne, p. 425 (Leipzig, 1910, Teubner).

²⁾ Там же, p. 423. Повышение удельной теплоты вследствие диссоциации, например расщепление атома на ядро и свободные электроны, ничего существенно не изменяет.

запасы энергии, так и энергия притяжения в энергетическом балансе неподвижной звезды исчезающе, даже вполне исчезающе, малы сравнительно с количеством энергии, излученной звездой в течение ее, как было выше показано, чрезвычайно долгой жизни.

Удивительно, что в новой астрофизике еще не был формулирован этот закон, такой простой и, как мне кажется, совершенно безупречный, при сделанных уже и, насколько я знаю, нигде более не оспариваемых предположениях; тем более, что он даст нам, как это скоро будет показано, совершенно новые и чрезвычайно значительные основания для теории развития неподвижных звезд.

Обозначим через U количество тепла, развиваемое внутри звезды за одну секунду, через r радиус звезды, через T — абсолютную температуру на ее поверхности (обычно называемую „эффективной температурой“). В таком случае имеем:

$$U = 4\pi r^2 \sigma T^4, \dots \dots \dots (1)$$

где σ — константа излучения закона Стефан-Больцмана, которая равняется $1,40 \cdot 10^{-12}$, если мы производим вычисление с сантиметрами в качестве единицы длины и грамм-калориями в качестве единиц теплоты ($1 \text{ гр.кал.} = 4,18 \cdot 10^7 \text{ эрг.}$)

Средняя плотность δ звезды с массой M есть:

$$\delta = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi r^3} \dots \dots \dots (2)$$

В правой части уравнения (1) имеются две переменные, именно r и T ; так как массу можно считать известной и, по смыслу предыдущего, постоянной, то можно вместо r и T ввести переменные δ и T , что, вообще говоря, будет нагляднее. Полная теория развития звезды должна, конечно, указать, в каком соотношении друг к другу стоят δ и T при данной массе. Как известно, Эддингтон¹⁾ попытался дать такую теорию. Однако в этом вопросе мы не можем считать ее удовлетворительной²⁾, так как в расчетах Эддингтона не выполняется уравнение (1), которое мы здесь предполагаем абсолютно достоверным. Впрочем, по моему мнению, важнейшие успехи теории Эддингтона, а именно заключение, что вследствие светового давления, которое противодействует тяготению, во-первых, не могут существовать звезды, обладающие массой во много раз большей, чем масса солнца, и, во-вторых, что температура внутри звезды никогда не может подняться значительно выше нескольких миллионов градусов, — обстоятельство, имеющее особенно важное значение для наших рассуждений — эти успехи теории не затрагиваются приведенным выше возражением,

¹⁾ См. особенно *Astrophys. Journ.*, 48, S. 205, 1918.

²⁾ Я не могу не подчеркнуть здесь, что за это время профессор Вестфаль (Westphal) в одном устном реферате о работе Эддингтона также высказал подобное суждение.

так что теорию Эддингтона следует признать важнейшим шагом вперед в области астрофизических исследований.

Итак, теоретически соотношение между δ и T еще не установлено. Если наши воззрения справедливы, то оно и не может быть установлено ранее, чем мы сумеем образовать специальные представления о природе радиоактивных превращений, происходящих внутри звезды, при чем следует принять во внимание, кроме светового давления, также и теплопроводность, которая вероятно достигает внутри звезды очень больших значений, и, особенно, считаться с электростатическими силами, вызываемыми разделением положительного ядра и многочисленных свободных отрицательных электронов; таким образом мы вынуждены пока изыскать чисто эмпирически, т.-е. при помощи звездной статистики, соотношение между δ и T .

Более точное решение этой чрезвычайно важной задачи я должен конечно, предоставить специалистам-астрономам. При помощи данной Эддингтоном¹⁾ частью эмпирической частью теоретической таблицы, и благодаря дружественной поддержке Гутника и Берневица (Bernewitz), которым я обязан глубокой благодарностью за снабжение меня экспериментальным материалом, я пришел к следующей совершенно провизорной таблице, которая относится к звездам с массой нашего солнца (δ — отнесено к воде, принимаемой за 1, следовательно, δ для солнца = 1,38,

δ	T	$U \cdot 10^{-41}$
0,001	5000	57,6
0,035	8000	35,6
0,23	9500	29,3
0,33	9500	15,7
0,65	8500	6,42
1,00	7500	2,92
1,38	6300	1,20
1,50	6000	0,91
2,00	4000	0,15

Подставив для солнца непосредственно найденное значение:

$$U_0 = 1,20 \cdot 10^{41} \text{ эргов,}$$

легко найдем из формул (1) и (2) ($T_0 = 6300$ $\delta_0 = 1,38$):

$$U = U_0 \frac{T^4}{T_0^4} \left(\frac{\delta_0}{\delta} \right)^{\frac{2}{3}}$$

соотношение, при помощи которого получены значения, помещенные в последней колонне вышеприведенной таблицы.

¹⁾ Monthly Notices of R. A. S., Juni, 1917, s. 59f.

По Рёсселю¹⁾ звездная статистика показывает, что гигантские звезды обладают яркостью и, следовательно, тепловым излучением U , приблизительно независимым от стадии развития; поэтому небольшая экстраполяция приводит нас к начальному значению

$$U_1 = 64 \cdot 10^{41} \text{ эргов.}$$

Значительное убывание U , которое, согласно опыту, отмечено в вышеприведенной таблице, мы объясняем, в духе наших предыдущих рассуждений, радиоактивной тратой действующего вещества; за отсутствием более точных сведений, касающихся этого процесса, мы воспользуемся обычным законом радиоактивного распада, примененного, строго говоря, лишь к однородному веществу, но дающему, по крайней мере в общих чертах, представление о характере явлений и в случае радиоактивных смесей.

Положим период распада (то-есть то время, за которое испытывает превращение половина имеющегося налицо радиоактивного вещества) равным $0,6 \cdot 10^9$ лет; в таком случае потребуется $3 \cdot 10^9$ лет, чтобы излучение от начального значения

$$U_1 = 64 \cdot 10^{41} \text{ erg}$$

понижилось до величины, соответствующей настоящему положению солнца,

$$U_0 = 1,20 \cdot 10^{41} \text{ erg,}$$

как и должно быть согласно нашему определению возраста земли.

Изобразим графически значение U в функции времени; на основании нашей таблицы мы можем температуры поверхности, соответствующие значениям U , также представить в функции времени и получить таким образом вторую кривую. На рисунке страницы 184 соответствующие значения плотности не соединены третьей кривой, но написаны сбоку около различных точек кривой T .

Таким образом мы получаем простую и чрезвычайно наглядную диаграмму развития неподвижной звезды с массой солнца. Само собою понятно, что совершенно так же можно поступать и для звезд иной массы, лишь определения времени будут менее надежны. При этом естественнее всего, конечно, допущение, что U_1 пропорционально массе, т.-е. что звезды образованы из одинаковых смесей элементов, хотя впрочем возможны и иные предположения. Во всяком случае, одна ли подлежит сомнению, что, вообще говоря, развитие звезды протекает тем медленнее, чем больше ее масса, и что максимальная температура звезды также возрастает с ее массой, что впрочем, как известно, стоит в согласии с наблюдениями.

Наша диаграмма допускает простую проверку. Число звезд в различных стадиях развития — для простоты мы будем различать лишь

¹⁾ Cp. Eddington, Monthly Notices of. K. A. S., Nov. 1916, s. 29.

гигантские звезды, белые, более плотные звезды, желтые карликовые и красные карликовые звезды — должно быть пропорционально продолжительности соответствующей стадии. Из нашей диаграммы можно непосредственно извлечь следующие заключения (по порядку):

Очень мало гигантских звезд, очень много более плотных белых звезд, довольно много желтых карликовых, очень много красных карликовых звезд.

Если не обращать внимания на последнее заключение, которое едва ли можно проверить, так как красные карликовые звезды вследствие своего крайне уменьшенного излучения скоро становятся неви-



Из пунктирной кривой энергии, течение которой определяется однозначно при помощи закона радиоактивного распада, получается, на основании чисел страницы 182, также однозначно температурная кривая; конечно, вследствие неисточности имеющихся данных кривая справедлива лишь в общих чертах, так что обнаруживаемому ею небольшому изгибу не следует придавать значение. Кривая плотности не нанесена, но около соответствующих температур оставлены значения δ .

димыми, то наша диаграмма воспроизводит важнейший результат звездной статистики. Если вместо того, чтобы проводить U кривую в согласии с законом распада радиоактивных веществ, мы начертим прямую от начального значения к настоящему значению солнца, то получится совершенно невозможная температурная кривая; в этом заключается, несомненно, признак экспериментального подтверждения вышеприведенного закона.

Зная полную энергию излучения, мы можем легко вывести потерю массы, которую испытало солнце с момента своего образования вследствие излучения; получается $6,0 \cdot 10^{30}$ грамма, т.-е. $0,31\%$ массы солнца. Более высокое значение было бы, как уже указывалось, трудно объяснить с физической точки зрения при настоящем уровне знаний. Понимается, с этим вполне совместимо, что в действительности кроме того постоянно имеется некоторый прирост массы, вследствие поглощения метеоритов. Таким образом едва ли можно рассчитывать обна-

ружить какое-нибудь изменение времени обращения земли в качестве контроля к предыдущим результатам.

Что касается надежности определения времени, то вряд ли можно говорить, что вычисленные сроки могли бы быть значительно меньшими: большие значения не исключены, но едва ли очень вероятны. Конечно было бы в высшей степени важно, если бы можно было еще каким-нибудь иным способом подтвердить рассматриваемую диаграмму. До известной степени это можно сделать следующим образом.

1. Мы можем из нашей диаграммы легко оценить, как давно температурные соотношения на земле допускают органическую жизнь. Солнечное излучение $0,6 \cdot 10^9$ лет тому назад было в два раза интенсивнее, чем теперь; то же следует сказать и о радиоактивном запасе, который распределен как на солнце, так и в земле. Удвоение количества тепла, доставляемого земле, повышает абсолютную температуру ее поверхности, согласно формуле (1) (см. стр. 181) в $\sqrt[4]{2}$ раз, т.-е. на 19% или 53° Цельсия. Такое повышение температуры, например, вблизи полюса еще можно считать сносным. Геологические методы определения говорят о 400 миллионах лет (вместо 600 миллионов). Таким образом здесь наблюдается удовлетворительное совпадение. Обратно, мы можем предсказать, что органическая жизнь на земле сможет существовать примерно еще 400 миллионов лет, по крайней мере, вблизи экватора.

2. Туманности, как обычно полагают, образуются вблизи Млечного Пути. Они обладают малым собственным движением и их существование протекает почти в непосредственном соседстве с Млечным Путем. То обстоятельство, что они не имеют времени перемешаться с другими звездами, показывает, что стадия развития гигантских звезд оканчивается относительно быстро. Наша диаграмма действительно отводит ей лишь около 400 миллионов лет¹⁾. Может быть из этого более качественного совпадения можно притти к количественному определению времени продолжительности стадии гигантских звезд.

В заключение коротко коснемся важного вопроса о том, можно ли утверждать, как это неоднократно делалось в последнее время, что в отношении распределения мест и собственных скоростей отдельных звезд систему Млечного Пути следует рассматривать, как находящуюся в статистическом равновесии (подобно массе газа). Положим, что путь, который могут пробегать звезды, равняется 40000 световым годам — в действительности мы должны принимать его еще большим, так как очевидно по смыслу подобного представления звезды могут по своим движениям непоподобие комет далеко отходить от системы Млечного Пути; при этом притом собственное движение звезды в 10 километров в секунду, если бы оно и было в действительности иногда даже в не-

¹⁾ Само собой разумеется, это число может дать лишь порядок величины. Начальные значения таблицы на стр. 182 особенно ненадежны.

сколько раз больше, то зато в точках поворота звезда в течение долгого времени обладала бы гораздо меньшими собственными скоростями; таким образом для прохождения всего „свободного пути“ звезда употребила бы время, равное

$$\frac{40000 \cdot 3 \cdot 10^{10}}{10^8} = 1,2 \cdot 10^9 \text{ лет.}$$

Предположим далее, что для того, чтобы установилось упомянутое кинетическо-статистическое равновесие, звезда должна оставить за собой, по крайней мере, десятикратный свободный путь — требование безусловно умеренное; в таком случае для этого потребуется $12 \cdot 10^9$ лет, т.-е. промежуток времени, в течение которого звезда, согласно предыдущему, успеет сделаться невидимой для нас.

В полном согласии с этим вычислением не только туманности, но также и более плотные белые звезды далеко отклоняются от распределения, соответствующего вероятности¹⁾. Таким образом следует признать, что если в этой области оперировать с законами статистической механики, то мы оказываемся на очень неверной почве.

Уран, как взрывчатое вещество. О мощности действия, которое было бы произведено мгновенным превращением урана, можно легко составить себе представление из следующих соображений. Сила взрывчатого вещества тем больше, чем плотнее оно заложено и чем интенсивнее связанное с превращением развитие тепла. Отсюда легко можно заключить, что уран при своем мгновенном превращении в урановый свинец и гелий произвел бы действие в миллионы раз большее, чем лучшее из наших взрывчатых веществ. А что такое превращение при чрезвычайно высокой температуре произойдет мгновенно и также мгновенно распространится, мы можем с полным правом ждать по аналогии с обычными взрывчатыми веществами, тем более, что уран не занимает никакого принципиально-исключительного места среди элементов.

Энергия излучения солнца. Если бы солнце нацело состояло из урана, то половина излучаемой им энергии покрывалась бы за счет теплоты, развиваемой ураном. Один грамм урана в стационарном состоянии (то-есть в „радиоактивном равновесии“ со всеми его продуктами распада) дает $2,5 \cdot 10^8$ cal в секунду²⁾. Урановая масса, равная солнцу, даст в секунду $1,9 \cdot 10^{33}$ раз; по $2,5 \cdot 10^8$ калорий, то-есть $0,48 \cdot 10^{26}$ калорий в секунду; в действительности солнце теперь излучает приблизительно 10^{26} калорий в секунду, а в прежние периоды обладало более чем пятикратным излучением.

¹⁾ По этому вопросу, равно как и по многим другим, связанным с ним, смотри соображения и числовые данные у Аррениуса (S. Arrhenius, Lebenslauf der Planeten, Leipzig, 1921).

²⁾ Ср. упоминаемую на стр. 178 работу Ст. Мейера и Е. Швейдлера.

Таким образом с известными нам радиоактивными элементами мы не выйдем из затруднения; но во всяком случае весьма существенно, что, по крайней мере, в отношении порядка величины открывается возможность покрытия энергии. Это подкрепляет убеждение, что хотя теплота звезд и имеет радиоактивное происхождение, но во всяком случае она обуславливается присутствием радиоактивных элементов высшего порядкового числа, которые нам еще неизвестны, или может быть радиоактивными изотопами известных элементов.

Химический состав метеоритов. Приват-доцент доктор Эггерт любезно взял на себя труд просмотреть литературу по указанному вопросу; он сообщил мне следующее:

„В своем очень подробном критическом разборе литературы о метеоритах Коген (Cohen) (Meteoritenkunde, Stuttgart, 1894, 1903, 1905) устанавливает несомненное присутствие следующих элементов:

Fe	Ni	Co	Cu	C	P	S	Cr	Cl	Gi	
60-95	5-10	1	10^{-2}	10^{-2}	0,25	10^{-2}	10^{-2}	10^{-2}	10^{-1} - 10^{-2}	%.

„Кроме того, в каменных метеоритах, за счет указанных веществ, встречаются вкрапленные осколки горных пород (например, оливин с составом: SiO_2 : 46; FeO : 2; CaO : 3; MgO : 49%; а по Муассану (Moissan) также крупинки алмаза), так что в этих метеоритах имеются еще элементы:

Ca	Mg	Al	K	Na	Si
1	2	2	10^{-1}	10^{-1}	3

а также смолистые органические вещества (1—70%).

„При этой статистике бросается в глаза сильный перевес элементов с низким атомным весом; верхнюю границу представляет железо, выше которого Маллэ (Mallet), лишь в виде отдельного исключения, установил в метеорите из Стаунтона присутствие 0,02% олова, на что им было обращено особое внимание; кроме того, этот металл был найден также Раммельсбергом (Rammelsberg) в метеорите из Клейн-Вендена, 3,49%, однако все авторы (Смизс (Smith), Коген) подчеркивают его исключительную редкость. Совсем сомнительным Коген считает присутствие As, Sb и Zn, которые были случайно установлены, но его собственным анализом, однако, не подтвердились. Во всяком случае мыслимо, что высокоатомные элементы находятся в метеоритах в слишком малых количествах, чтобы быть открытыми обычным аналитическим путем“.

Было бы очевидно в высшей степени интересно обратить особое внимание на малые следы элементов с высоким порядковым числом. Можно было бы думать, что если радиоактивные процессы должны были совершаться в течение огромного промежутка времени, то они могли бы отразиться на строении метеоритов. Однако против того можно возразить, что метеориты на своих путях в мировом про-

странстве, подобно кометам, могут не раз огигать очень горячие звезды; связанные с этим процессы плавления, конечно, уничтожили бы такое строение. Само собою понятно, что все подобные заключения отпадают, если метеориты просто представляют обломки нашей солнечной системы; было бы крайне важно решить этот вопрос. То обстоятельство, что на солнце так же, как и на земле и в метеоритах железо представляет, как кажется, главную составную часть, означало бы с нашей точки зрения, что этот элемент обладает особенно большой продолжительностью жизни и представляет, следовательно, как бы точку покоя в радиоактивном превращении элементов.

Нулевая энергия эфира. Опубликованное мною в 1916 г. исследование ¹⁾ делает вероятным, что световой эфир содержит огромное количество энергии в виде нулевой энергии, организованной неизвестным нам образом, может быть в форме колебательной энергии. К подобному же заключению пришел недавно совершенно независимо Вихерт ²⁾ (E. Wiechert). В то время как я дал для нижней границы этой нулевой энергии $0,36 \cdot 10^{16}$ грамм калорий на кубический сантиметр, Вихерт оценивает ее, по крайней мере, в $7 \cdot 10^{30}$ эргов на куб. сант., то-есть $0,9 \cdot 10^{22}$ грамм кал. на куб. сант. Каким образом объясняется, что эта огромная энергия вполне ускользает от непосредственного наблюдения, подробно мотивировано мною в упомянутом исследовании.

Так называемое излучение Гесса. Если, как в настоящее время вероятнее всего, это излучение действительно представляет собою очень жесткое космическое излучение Рентгена, наполняющее мировое пространство или, по крайней мере, систему Млечного Пути, то оно, конечно, представляет собою чрезвычайно большой интерес для астрофизики. (Смотри о нем прекрасный учебник радиоактивности Ст. Мейера и Е. Швейдлера (1916) и особенно новые исследования Р. Зеелигера (Münch. Ber. I, 1918.) Конечно, прежде, чем достигнуть земли, это излучение сильно ослабляется большой массой атмосферы, через которую оно должно проникнуть; поэтому более точные исследования лучше всего производить на высоких горах. В этих условиях можно также решить и основной вопрос, равномерно ли оно распределено в пространстве или сильнее испускается Млечным Путем. То обстоятельство, что солнце, которое, согласно нашим расчетам, должно содержать еще значительные количества чрезвычайно сильных радиоактивных веществ, не посылает к земле заметного γ -излучения, объясняется, конечно, просто тем, что рассматриваемые высокоатомные элементы находятся, главным образом, внутри солнца, что впрочем стоит в полном согласии с фактами, о

¹⁾ Verhandl. d. D. Physik. Ges. 18, 83 (1916). Кое-что там следует изменить, после открытий Бора (Bohr); но основные мысли в большей части я считаю правильными.

²⁾ Der Aether im Weltbild der Physik; Berlin Weibmannsche Buchhandlung, 1921.

которых пойдет речь в следующем примечании. Поэтому также нельзя ждать, что более молодые и соответственно более богатые радиоактивными веществами звезды могут посылать к нам значительные количества γ -лучей.

Если бы значительное количество „первичной материи“ было сосредоточено, как мы неоднократно предполагали, в Млечном Пути, то этот последний мог бы быть во всяком случае местом более сильного излучения, и представляло бы большой интерес доказать это экспериментально. Однако важнее всего в настоящее время, конечно, решить вопрос, имеет ли излучение Гесса действительно космическое происхождение; если бы было доказано, что Млечный Путь (или может быть туманные скопления) является местом преимущественного происхождения его, то этим, конечно, вопрос был бы решен утвердительно. Но если весь световой эфир в целом является источником этого излучения, что было бы в духе соображений страницы 36, то излучение могло бы иметь космическое происхождение, хотя бы при этом Млечный Путь, например, и не занимал особого положения. В этом пункте мы могли бы только пожелать точных измерений.

Образование планет и двойных звезд. Так как в настоящее время определение звездных масс возможно лишь для двойных звезд, то только двойные звезды доставляют материал, необходимый для составления таблиц, подобных таблице страницы 182, касающейся звезд с массами, близкими к массе солнца. Как мне сообщил устно проф. Гутник, здесь возникает естественный вопрос, можно ли рассматривать двойные звезды, как типичные звезды, не является ли путь развития их существенно отличным от пути развития других звезд, например, солнца.

Из нового, весьма ценного критического обзора Берневича ¹⁾ следует, однако, что (за исключением 85 Пегаса) более яркой является всегда звезда с большой массой. Это обстоятельство делает почти достоверным (за весьма редкими исключениями), что двойные звезды произошли вследствие расщепления центральной массы.

Если мы далее допустим, что средний химический состав обеих систем остается неизменным при расщеплении, то мы могли бы положить для излучаемых количеств энергии U' и U'' :

$$U' : U'' = m' : m'',$$

где m' и m'' означают массы обеих систем, и отсюда можно было бы также заключить (с известным приближением), что отношение яркостей должно быть равным отношению масс.

Это, однако, ни в коем случае не подтверждается; меньшая звезда почти без исключений обладает гораздо меньшей яркостью, чем тре-

¹⁾ E. Bernewitz, Astr. Nachrichten, Nr 5089, Bd. 213, März 1921.

бует предыдущая пропорция; так, например, меньший спутник Сириуса (в 2,4 раза более легкий) в круглых числах на 10 звездных величин темнее главной звезды. Таким образом применительно к нашим представлениям звездная статистика показывает, что при расщеплении меньший спутник оказывается значительно менее богатым в отношении радиоактивных примесей, чем главная звезда.

Это обстоятельство, впрочем, с физической точки зрения почти самоочевидно. Действительно, элементы с весьма большим атомным весом, среди которых, согласно нашим прежним рассуждениям, следует исключительно искать радиоактивные элементы, будут, по барометрической формуле, которая, по крайней мере, качественно приложима к газовому шару, сосредоточены, главным образом, внутри звезды. Когда спутник отделяется от центральной массы, как это мы себе представляем со времен Лапласа, то масса его составит, главным образом из поверхностных слоев и поэтому будет значительно беднее радиоактивными веществами, чем центральное тело.

Очевидно эти соображения открывают новую точку зрения для статистики двойных звезд. Отметим здесь лишь важнейшие выводы из нашего способа рассмотрения:

1. Для двойных звезд с приблизительно равными массами, если только температура их не очень различна в качестве типичной звезды, может служить звезда с массой, имеющей среднее значение.

2. У двойных звезд с значительно разнящимися массами для той же цели может служить лишь главная звезда (при соблюдении некоторых малых поправок, легко вытекающих из наших рассуждений).

3. Для отклоняющихся от нормы двойных звезд, какова 85 Пегаса, для которых предполагается, что они возникли независимо одна от другой, приходится использовать того и другого спутника.

Между прочим, из сравнения солнца и земли можно легко вычислить, что, в полном согласии с предыдущими соображениями, земля содержит относительно гораздо меньше радиоактивных веществ, чем солнце; так как солнце излучает $1,20 \cdot 10^{41}$ эргов в год, то земля, с ее в 329000 раз меньшей массой, должна излучать $3,64 \cdot 10^{35}$ эргов. Если принять среднюю температуру ее поверхности в 280° (по абсолютной шкале), то, согласно закону излучения (применение которого в употребляющейся здесь простейшей форме должно, конечно, рассматриваться лишь, как приближительное), земля испускает около

$$5,74 \cdot 10^5 \cdot 280^4 \cdot 5,09 \cdot 10^8 = 18,0 \cdot 10^{23}$$

эргов в секунду или

$$5,40 \cdot 10^{31} \text{ эргов в год,}$$

то-есть в действительности гораздо менее, чем следует по вышеприведенному закону. Если обратить внимание на то, что земля, кроме того, получает большее количество энергии от солнца, гораздо больше, чем

то количество тепла, которое вследствие радиоактивных процессов звездами притекает из внутренних слоев земли к ее поверхности, то окажется, что разница должна еще увеличиться. Таким образом мы должны, совершенно так же, как и в аналогичном случае двойных звезд, приписать массе земли гораздо меньшую радиоактивность, чем массе солнца.

Итак, наблюдение, производится ли оно над землей или над двойными звездами, показывает, даже количественно, что, как и следует ожидать с физической точки зрения, доля радиоактивности, которую центральное тело отдает отщепляющимся от него спутникам, возрастает с массой спутника; при этом те части, которые происходят из более глубоких слоев центрального тела, отнимают от него всегда большую долю радиоактивности.

Перевел Г. Ландеберг.