

беседы по актуальным проблемам науки

ЗВЕЗДЫ И ВСЕЛЕННАЯ

СЕРИЯ IX-1966

10



ФИЗИКА
МАТЕМАТИКА
АСТРОНОМИЯ

Ученые выступают
в центральной лектории
Всесоюзного общества
«Знание»

ЗВЕЗДЫ И ВСЕЛЕННАЯ

В беседе участвуют

академик

В. А. Амбарцумян,

доктор физико-математических наук

Б. А. Воронцов-Вельяминов,

член-корреспондент АН СССР

В. Л. Гинзбург,

академик АН Эстонской ССР

Г. И. Наан,

кандидат физико-математических наук

И. Д. Новиков,

доктор физико-математических наук

Я. А. Смородинский

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ»

Москва 1966

52
3-43

2-6-2

ЗВЕЗДЫ, ГАЛАКТИКИ, ВСЕЛЕННАЯ

Мы являемся свидетелями чрезвычайно больших изменений, которые происходят в этой древней науке — астрономии, науке о Вселенной.

Где, в какой части этой науки происходят эти большие, революционные изменения?

Астрономия может быть разделена на три части. Первая часть — это та, которая занимается нашей солнечной системой, т. е. планетами и Солнцем. Солнечная система — это тот дом, в котором мы живем, куда входит Земля в качестве одной из планет. Во время великой научной революции, которая произошла благодаря трудам Коперника, Галилея, Кеплера, Ньютона, выяснились основные закономерности устройства солнечной системы. Но в наше время эта часть науки получила особенно большое развитие благодаря тому, что, с одной стороны, чрезвычайно расширились исследования Солнца, с другой стороны, современные средства ракетной техники, ракеты и спутники позволяют проникнуть ближе к этим телам и даже достичь некоторых этих тел и изучить их гораздо подробнее, чем это можно делать с Земли.

Эта часть астрономии, которая в предшествующий период, в период до развития ракетной астрономии, развивалась довольно медленно, не вызывала большого интереса потому, что старыми методами было сделано почти все, что возможно. Сейчас благодаря ракетной технике, благодаря спутникам в этой области наступило возрождение и эта область двигается вперед семимильными шагами. Речь идет об изучении планет солнечной системы, но в связи с этим оживились и исследования Солнца.

Вторая часть астрономии особенно бурно развивалась во второй половине XIX века и первой половине XX столетия благодаря постройке больших телескопов и применению физических методов, особенно спектральных, и она продолжает развиваться столь же интенсивными темпами.

Предметы исследования этой второй части — звезды, наша

Галактика, т. е. окружающая нас звездная система. Насколько обширен здесь предмет исследования, видно из того, что в Галактику входит свыше 100 млрд. звезд.

Прогресс звездной астрономии за последние десятилетия ускорился благодаря применению новых методов и новых инструментов, не только оптических телескопов, но и радиотелескопов. Этот прогресс происходит настолько быстро, что иногда бывает даже трудно за ним следить.

Наряду со звездами этот раздел астрономии изучает межзвездную материю, ее природу и распределение.

Уже давно обсуждались факты, относящиеся к третьей части астрономии, которая занимается изучением наиболее отдаленных небесных тел, отдаленных галактик. Эта часть нашей науки называется внегалактической астрономией. Для нее наша Галактика — один лишь частный случай, в то время как она изучает грандиозную систему галактик, в которую входит наша Галактика.

Этот раздел переживает бурный период развития, и он интересен тем, что охватывает огромный объем мирового пространства.

Должен сказать, что изучаемый внегалактической астрономией объем пространства действительно чрезвычайно велик.

В той части Вселенной, которая доступна изучению с помощью наших оптических телескопов и радиотелескопов, чем дальше мы удаляемся, тем более галактик мы наблюдаем и никакой границы для этой грандиозной системы галактик не наблюдается.

Попытаемся все пространство, в котором распределены наблюдаемые галактики, изобразить на карте. Для того чтобы эта карта была достаточно подробной, выберем размер этой карты, равный территории Советского Союза. На такой карте наша солнечная система изобразится настолько малой, что «утонет» в 1 квадратном микроне.

В нашу солнечную систему входят планеты—Нептун, Плутон и др. И все они вместе со своими орбитами поместятся в одном квадратном микроне этой гигантской карты.

И все-таки оказывается, что, несмотря на столь большое пространство, которое изучается нашими телескопами, мы замечаем существование некоторых общих особенностей строения мира и тех объектов, которые в нем находятся. Вместе с тем, удаляясь от нашей Галактики, мы встречаем и много принципиально нового, все более разнообразные типы галактик.

Я думаю, что профессор Б. А. Воронцов-Вельяминов, который очень много сделал в области изучения новых форм галактик, скажет, насколько они разнообразны. Но в этом разнообразии имеются и определенные закономерности. Мы можем сказать, что встречаются галактики таких-то и таких-то

видов. Параллельно с этим встречается очень много отклонений, которые хорошо им изучены.

Известно, что Вселенная состоит из галактик и что большая часть вещества галактик сосредоточена в звездах. В нашей Галактике имеются звезды и межзвездное вещество. По имеющейся оценке, которую нельзя считать очень точной, межзвездная материя, оказывается, составляет только 2% вещества нашей Галактики. По-видимому, все остальное практически составляют звезды.

Таким образом, звезды — как бы излюбленное состояние вещества галактик. И если посмотреть, то мы увидим, что во многих других галактиках положение еще более определенное. Там диффузное вещество и туманности составляют еще меньшее количество, хотя и есть такие определенные классы галактик, которые содержат большой процент материи в виде диффузного вещества.

Но все же в общем можно сказать, что, как правило, подавляющая часть вещества галактик собрана в звезды.

Такое заключение стало возможным благодаря тому, что в самое последнее время удалось довольно уверенно определить массу диффузного (межзвездного) вещества во многих галактиках.

На данном этапе еще трудно категорически отрицать существование галактик, которые в большинстве своем состоят из газа и т. д. Но мы таких систем не наблюдали.

Вместе с тем встает и такой вопрос, а нет ли во Вселенной других объектов, не имеющих звездной природы и не составляющих межзвездное вещество или газовые облака?

Ответ на этот вопрос пришел неожиданно в результате больших открытий, вторгшихся во внегалактическую астрономию. Этим большим открытиям предшествовало открытие радиогалактик.

О радиоастрономических наблюдениях вам расскажет В. Л. Гинзбург, который является автором очень интересной и общепринятой в настоящее время теории, объясняющей механизм радиоизлучения как галактик, так и туманностей, входящих в состав нашей Галактики.

Когда были открыты радиогалактики, возник вопрос, что это такое? В отличие от большинства галактик, которые мы называем нормальными, радиогалактики испускают огромные потоки радиоизлучения. Некоторые галактики, как одна галактика в созвездии Лебедя, в радиодиапазоне испускают столько энергии, сколько эти же галактики испускают в оптических лучах. Это совершенно исключительное явление.

Сперва было неправильное представление, что радиогалактика представляет собой столкновение двух галактик. Потом выяснилось, что это неправильно, что на самом деле радиогалактика — это галактика, находящаяся на таком этапе свое-

го развития, который связан с большими внезапными бурными изменениями. Это вспышка, но радиовспышка, когда галактика начинает давать большие радиоизлучения.

В течение жизни галактики, которая протекает миллиарды лет и, может быть, даже десятки миллиардов лет, на некоторых этапах ее развития наступают такие вспышки, радиовспышки, которые называются радиоизлучением энергии. Такая радиовспышка продолжается около одного миллиона лет или нескольких миллионов лет. В сравнении с продолжительностью жизни человека, это эквивалентно одной неделе. Бывает, что человек болен одну неделю и не выходит из дому, и с галактиками бывает так, что примерно на один миллион лет они выбывают из числа нормальных галактик и превращаются в радиогалактики. Иногда эта стадия длится несколько миллионов лет.

Когда стали изучать подробнее, как это может произойти, пришли к выводу, что, по-видимому, радиогалактика — это есть результат взрыва в ядре галактики. В результате такого взрыва из ядра было выброшено облако частиц очень высокой энергии, которое распространилось потом в окружающем магнитном поле и стало излучать радиоволны согласно механизму, подробно изученному В. Л. Гинзбургом. Частицы, имеющие высокие энергии, испускают интенсивное радиоизлучение благодаря наличию магнитного поля. Облако состоит из большого числа очень энергичных частиц, с энергиями порядка одного миллиарда и даже многих миллиардов электронвольт. Можно здесь указать на то, что в электронном ускорителе электроны высокой энергии испускают подобные излучения. И спектр излучения там доходит до видимой части. Таким образом, это то же излучение, что в синхротроне, но исходит из галактики. Отсюда название «синхронное излучение».

Происходит взрыв. Почему происходит взрыв? Здесь были предложены разные гипотезы, но в настоящее время совершенно ясно, что какие-то массы, находящиеся в ядре галактики, переходят из одного состояния в другое и выделяют при этом большие количества энергии. Но что это за массы, об этом имеются расхождения во взглядах. Моя точка зрения такова, что в ядре галактики находится какое-то тело очень большой массы, с которым и происходит это изменение.

Привыкли к тому, что небесные тела дают о себе знать путем светонизлучения. Мы тут встречаемся с качественно новым явлением. Тело, находящееся в ядре галактики, дает о себе знать в результате такого взрыва, который может продолжаться сравнительно короткое время, но следствия которого могут наблюдаться в течение миллионов лет.

Затем произошло открытие интересных образований, голубых выбросов, которые выбрасываются из центральных ядер галактики.

У нас в обсерватории, в коллективе, с которым я работаю, постепенно сложилось представление о том, что ядро галактики является чрезвычайно активным образованием, которое не только способно выбрасывать гигантские облака частиц высокой энергии, но может выбрасывать из себя также огромные массы обычного газового вещества.

Иногда выбрасываются вещества порядка нескольких миллионов солнечной массы и с большими скоростями.

Выбрасывание такого огромного количества вещества или частиц высокой энергии и другие процессы приводят к сильному изменению в окружающей галактике.

Что касается нашей собственной точки зрения, то мы стоим в этом вопросе на крайней позиции. Мы считаем, что, по видимому, эволюция галактики связана в основном с деятельностью ядра, что не только газы, которые выбрасываются во время взрыва, не только облака, частицы высокой энергии, но и спиральные ветви и звездные скопления образовались из вещества, которое было выброшено из ядра галактики на том или на другом этапе.

Я хочу прибавить следующее: наряду с процессами светового излучения и радиоизлучения мы наблюдаем процессы очень быстрого, почти моментального выделения больших порций энергии, которые, может быть, являются результатом самых различных естественных процессов, происходящих как в ядрах галактик, так и в звездах. Иными словами, наряду с непрерывным излучением мы наблюдаем и такие катастрофические процессы выделения энергии.

Я приведу две-три цифры, которые очень интересны.

Возьмем такое явление на Земле, как тайфун, который производит большие разрушения на протяжении нескольких тысяч квадратных километров. Тайфуны несут в себе большую энергию, потому что огромные массы ветра, воздуха перемещаются с большими скоростями. Оказывается, энергия одного тайфуна порядка 10^{24} эргов.

Астрономы наблюдают катастрофические явления в жизни звезд и галактик. Я скажу, какое количество энергии выделяется в этих случаях. У некоторых маленьких, карликовых звезд мы наблюдаем вспышки. Во время вспышки, которая длится только минуты, после чего звезда быстро приходит в нормальное состояние, выделяется энергия порядка примерно 10^{32} или 10^{33} эргов. С другой стороны, мы наблюдаем вспышки новых звезд, т. е. взрывы, при которых звезда выбрасывает в пространство вещество своих внешних слоев. При этих взрывах выделяется энергия порядка 10^{46} эргов. Но есть и другие взрывы, при которых взорвавшаяся звезда становится ярче Солнца в 100 миллионов, даже в миллиарды раз. Это сверхновые звезды. Это были самые большие взрывы, которые

наблюдались до сих пор в природе. Энергия их порядка 10^{51} эргов и даже больше.

Но взрывы в ядрах галактик приводят к выделению энергии порядка 10^{59} — 10^{60} эргов, в 100 миллионов или в миллиарды раз больше, чем во время вспышек сверхновых.

Эти грандиозные катастрофы, которые в подробностях трудно себе представить. Вначале только на основании косвенных данных приходилось соглашаться, что такие взрывы существуют. У многих астрономов не хватало духа согласиться и поверить в эти косвенные данные. Но потом пришлось согласиться. Оказалось, что такие грандиозные процессы выделения энергии все же происходят. Для нас, астрофизиков, и для физиков это представляет огромный интерес, поскольку возникает глубокая проблема источников этой энергии.

Наряду с этими взрывами ядер галактик мы видим новые типы небесных тел, так называемые квазары, которые обладают следующими свойствами.

В течение довольно долгого времени этот объект светится с такой силой, что свет его приблизительно равен тысяче миллиардов солнц. По своим масштабам это явление типа галактик, но это, по-видимому, не обычная звездная система, а какой-то иной по характеру агрегат вещества, новый тип небесных тел. И здесь открылось совершенно новое поприще для астрономов, оказалось, что наряду со звездами существует ранее неизвестный тип небесных тел—квазаров, имеющих довольно небольшие размеры и испускающих такое количество вещества, которое превосходит излучение света сверхгигантских галактик в десятки и даже сотни раз.

Как мы говорили, галактики иногда содержат сотни миллиардов звезд, а квазары по своему блеску и энергии превосходят такие сверхгигантские галактики в десятки и даже сотни раз и это, конечно, говорит о существовании каких-то источников энергии, которые надо изучить и понять.

Я лично считаю, что мы только начинаем понимать, в чем заключается это явление, хотя еще не поняли его окончательно. Поэтому пока весьма трудно даже пытаться объяснить, что представляют собой эти квазары. Естественно, что я немного скептически отношусь к таким явлениям, как доклад американского физика Теллера «Происхождение квазаров». Как можно заниматься происхождением какого-нибудь небесного тела, когда не знаешь, что оно такое, не знаешь как следует его признаков, как оно выглядело бы, если бы наблюдалось вблизи.

Поэтому я принадлежу к числу сторонников осторожного подхода. В этом отношении, должен сказать, роли переменились. Когда никто не соглашался с тем, что существуют такие необычайные вещи, как взрывы в галактиках, я считал, что они происходят. Многие американские ученые их отрицали.

Но сейчас я думаю, что пока мы знаем о них очень мало и поэтому должны воздержаться от очень больших экстраполяций. Конечно, человеческая мысль очень беспокойная вещь, и не все соглашаются с таким призывом к терпению. Строятся разные теории у нас и за рубежом. Я привел пример Теллера. Но мы должны сначала понять, что происходит, в чем заключается само явление, чтобы потом искать объяснение.

У меня такое впечатление — я думаю, что всякий, занимающийся подробно негалактической астрономией, согласится с тем, что новые явления, обнаруженные в негалактической астрономии, чрезвычайно сложны и нам многое нужно сделать для объяснения этих явлений. Природа не создана так, чтобы ее можно было легко понять. Нужно многое сделать, чтобы понять. Тем более трудно понять и объяснить происхождение квазаров, когда мы еще по-настоящему не знаем, что представляют собой эти квазары.

Я приведу простой пример. Есть такие переменные звезды цефеиды, которые хорошо изучены. Академик Белопольский, учеником которого я себя считаю, открыл, что лучевая скорость у этих звезд меняется периодически, он считал, что это двойные звезды.

Этот большой ученый весьма наивно с точки зрения сегодняшнего дня вычислял орбиты, считая, что одна звезда движется вокруг другой и определял элементы этих орбит.

Но оказалось, что это неправильно, и была предложена другая точка зрения о сущности явления цефеиды, которая с течением времени получила всеобщее признание. Было показано, что это не двойные звезды, а изменение скорости происходит потому, что звезда пульсирует, происходит расширение и сжатие, периодическая пульсация звезды.

Когда люди поняли, что мы имеем перед собой пульсацию, т. е. поняли сущность явления, стало возможным искать объяснение этого явления, т. е. заняться вопросом о происхождении цефеид.

Эдингтон и советский астроном Жевакин дали объяснение этой пульсации. Но это было уже гораздо позже.

Таким образом, познание астрономических явлений происходит более медленно, чем познание лабораторных явлений. Здесь мы должны пройти через несколько этапов, прежде чем поймем весь механизм явлений.

Доктор физико-математических наук
Б. А. Воронцов-Вельяминов

НОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГАЛАКТИК

Существуют представления о медленном, спокойном развитии — об эволюции, существуют представления и о революционных изменениях, о катастрофах.

Даже в мире таких гигантских образований, какими являются звезды, тоже с давних пор наблюдаются такие явления, когда продолжительные накопления каких-то внутренних противоречий заканчиваются качественными изменениями в виде взрывов, вспышек новых или сверхновых звезд.

Но еще совсем недавно существовало представление, что в таких гигантских звездных системах, как галактики, которые представляют собой совокупность множества отдельных солнц и звезд, не может происходить столь внезапное качественное изменение, подобное взрыву. Академику В. А. Амбарцумяну принадлежала идея, что в галактиках, особенно во внутренних их частях, такие изменения могут происходить.

И вот развитие науки за последнее время во многих отношениях подтвердило правильность этих воззрений.

Некоторые ученые занимаются самыми маленькими системами — атомными ядрами, элементарными частицами. Эти элементарные частицы, для примера ядра атомов, имеют размер 10^{-13} см, в то время как размер человека можно считать порядка 10^2 см. А мы, астрономы, изучаем системы самые грандиозные. Это системы, которые имеют размер порядка 10^{24} см.

Таким образом, люди, изучающие Вселенную и те предметы, которые нас окружают непосредственно, по своему размеру стоят гораздо ближе к миру атомных ядер, чем к миру галактик.

Мы привыкли к тому, что когда мы переходим к миру молекул, то подходим к явлениям с новыми закономерностями. Вот явление молекулярное, — например, поверхностное натяжение — мы встречаем уже за столом, за чашкой чая. Далее в мире атомов мы встречаем квантовые законы и другие, совершенно чуждые макромиру. А в мире галактик до недав-

него времени, как считалось, действует только один всемирный закон тяготения. Мы полагали, что этим одним законом можно объяснить все то, что наблюдается в формах и в движениях галактик и их скоплений.

Последние открытия позволяют думать, что мы все же не представляем себе еще те закономерности, которые существуют в грандиозном мире галактик и их скоплений, и что мы приближаемся к открытию совершенно новых свойств и закономерностей, когда изучаемые системы имеют такие колоссальные массы и протяженности, какие имеют галактики.

Вот те «чудеса», которые стали открываться в мире галактик, я и хочу коротко их описать. Началось с того, что у галактик, которые называются галактиками Сейферта, ядро состоит не просто из звезд, как ядра других галактик, а из газа. Из их ядер происходит истечение газа, причем истечение со скоростью, достигающей нескольких тысяч километров в секунду. Газы растекаются наружу (разные газы с разной скоростью).

Эта загадка все еще не вполне ясна. Происходит какой-то процесс, который вызывает это мощное истечение газов. Но оно не может продолжаться неограниченно. Почему это происходит и как долго оно будет продолжаться, сказать трудно, хотя в нашем Московском университете это явление упорно изучается.

В. А. Амбарцумян предсказал, а потом и показал (это было подтверждено целым рядом работ за рубежом), что в тесных группах галактик, где несколько звездных систем находятся друг возле друга, существует их разбегание, они удаляются друг от друга и снова уже не могут соединиться. Это разбегание не надо смешивать с общим расширением Метагалактики, которое проявляется в существовании так называемого красного смещения, когда вообще все галактики удаляются от любой точки пространства, с тем большей скоростью, чем дальше они находятся. Речь идет о развале групп и скоплений галактик.

Далее были открыты радиогалактики, о которых говорил В. А. Амбарцумян. Я не буду на этом останавливаться, но хочу подчеркнуть два момента: во-первых, что в ядре одной из радиогалактик был обнаружен так называемый «выброс» какого-то вещества, как будто бы оно было выброшено из ядра при взрыве. Спектр этого выброса как будто говорит о том, что выброс состоит не из звезд и не из обычного, а из электронного газа, который обладает синхронным свечением, обусловленным торможением очень быстрых электронов в магнитном поле.

В последнее время обнаружены еще некоторые галактики, у которых можно заподозрить существование таких выбросов, свечение которых связано с синхротронным излучением. Под-

тверждением того, что это свечение именно такого рода, было измерение поляризации этого излучения.

Удивительно, что во многих случаях, можно сказать, в большинстве случаев, когда мы наблюдаем радиогалактику, оказывается, что она двойная, что радиоизлучающие области находятся по разным сторонам от той галактики, которая видна непосредственно, — оптически.

Местами галактики образуют скопления. Одно из них — в созвездии Геркулеса. Такого рода скопления, как показали работы академика В. А. Амбарцумяна и других ученых за рубежом, разваливаются. Причина этого явления до сих пор нам не известна.

Но это как раз является одним из примеров того, как много новых загадок мы встречаем на пороге к бесконечности.

Еще ряд явлений был обнаружен астрономами Московского университета. Мы показали, что никак нельзя существующие формы этих звездных систем объяснять единственно на базе законов механики, как это делали до сих пор. Оказалось, что спиральные ветви далеко не так правильны, как считали, что они переплетаются, иногда образуется какое-то кружево, что они часто бывают не в одной плоскости. Мы обнаружили ряд галактик, у которых ветви направлены навстречу друг другу, что тоже препятствует объяснению их происхождения вращением вокруг оси, как думали до сих пор. Существуют близкие друг к другу галактики, обладающие хвостами и другими придатками, которые делают невозможным объяснить их при помощи приливов, т. е. тем же тяготением.

Имеется объяснение, говорящее в пользу того, что мы, повидимому, имеем дело с явлением магнитоподобным, но утверждать, что это явление магнитное, еще трудно.

Сейчас развилась область науки, которая называется магнитогидродинамикой. В ней трактуется движение ионизованного газа в магнитном поле. То, что магнитное поле действительно существует в нашей Галактике, — это доказано недавно прямыми наблюдениями. Это перестало быть гипотезой, которая объясняла многие факты.

Но все-таки галактики состоят в основном из звезд, причем иногда из очень старых звезд, и газов не содержат. Звездами магнитное поле управлять не может и поэтому не может определять формы галактик. Поэтому силами магнитной природы трудно объяснить ряд явлений, наблюдающихся у этих и у взаимодействующих галактик.

Мы обнаружили еще галактики, у которых одни ветви закручиваются влево, другие — вправо. Таких галактик мы обнаруживаем много. Старый спор, как вращается галактика, закручивается или раскручивается, сейчас потерял свой смысл. Если одни ветви у какой галактики закручиваются, то другие будут раскручиваться.

Вот две галактики — спиральная и эллиптическая. Их соединяет перемычка, которая тянется на огромное расстояние. Это расстояние составляет несколько сот тысяч световых лет. Хвостик у галактики состоит из звезд. Судя по спектру, газа в этой галактике нет. Такое явление гораздо более легко и приятно было бы объяснить движением ионизованного газа в магнитном поле, но газа-то тут совсем и нет.

Возьмем галактики, которые я позволил себе назвать «Мышками», потому что они похожи на играющих мышек (в астрономии, рядом с различными интегралами и сложным математическим аппаратом, упоминаются всякие названия, данные для того, чтобы легче было вспомнить замечательные туманности, галактики. Например, существует название одной туманности «Рыбачья сеть», другую называли «Сова». Эти же галактики мы называли «Мышками»).

Мы издали атлас нескольких сот подобных искаженных галактик, названных нами взаимодействующими.

Какие удивительно длинные и яркие хвосты, какие перемычки между ними! Как они могли возникнуть и почему?

В некоторых местах три или более галактик слились одна с другой. Это «гнезда галактик», как я их назвал. Иногда галактики слитны и все они окружены общей туманностью. Иногда слой газо-пылевой материи в галактике с одной стороны опущен, а с другой стороны приподнят. Это результат взаимодействия с другими галактиками, находящимися в стороне.

Бывает, что две галактики соединены двумя перемычками, очень тонкими перемычками.

Все это говорит о весьма интересных явлениях. Они не могли возникнуть вследствие приливов.

Очень интересна галактика, которая напоминает известное из физики сегнерово колесо. Главные тела двух галактик слились, а их хвосты загнулись как две струи воды в сегнеровом колесе. Небольшая галактика, M82, раньше не привлекала особого внимания, пока не выяснилось, что она является источником повышенного радиоизлучения. Специальные снимки ее показали, что из этой галактики вверх и вниз вырываются потоки раскаленного водорода. Взрыв, породивший их, произошел в центре галактики около полутора миллионов лет назад.

Здесь произошел взрыв, который по своей мощности превосходит всякие взрывы, наблюдавшиеся у сверхновых звезд. Открытие этого взрыва изменило многое в наших взглядах, в частности, на образование радиогалактик с двойными центрами радиоизлучения. Их тоже хотят объяснить взрывами.

Отвечаю на вопросы.

1. «Как далеко расположены сфотографированные галактики?»

Самые далекие известные нам объекты — это квазары, расстояние до которых можно определить. Мы видим и другие слабые галактики на пределе видимости, но расстояние до них не знаем. Самый далекий известный нам объект находится на расстоянии около 8 млрд. световых лет, что примерно равно возрасту нашей Земли или даже превышает его.

2. «Разбегаются ли взаимодействующие галактики или нет?»

В каком смысле? Они имеют красное смещение, как и все остальные. Или речь идет о том, что они находятся в паре, когда взаимодействуют, и убегают ли друг от друга? На это ответить трудно. Их взаимная скорость относительно небольшая. Здесь возможно и орбитальное движение и, может быть, разлет, тем более, что мы из наблюдений определяем только одну составляющую скорости — по лучу зрения, а тангенциальную составляющую не знаем.

Член-корреспондент АН СССР
В. Л. Гинзбург

НОВЫЕ ПУТИ В АСТРОНОМИИ

Что происходит сейчас в астрономии? Обычный ли это период или необычный и если необычный, то в чем эта необычность? Не было ли чего-нибудь подобного в прошлом? Чем объяснить развитие новых методов в астрономии, именно сейчас? И, наконец, каковы последние астрономические новости?

Начну с первого вопроса. Я лично думаю, что мы сейчас переживаем очень необычный период в развитии астрономии, период второй астрономической революции.

Бросим ретроспективный взгляд на историю астрономии. Она зародилась вместе с цивилизацией и до начала XVII века все наблюдения велись глазом. Это, в частности, приводило к тому, что развитие астрономии происходило медленно. Галилей в 1610 году (7 января) произвел первую революцию в астрономии. Он впервые посмотрел на небо вооруженным глазом в свой телескоп. После этого развитие пошло быстро.

Начиная с 1945 года, мы вступили условно, конечно, в новый замечательный период (произошла вторая революция), который характеризуется тем, что астрономия из оптической стала универсальной. Я физик по образованию, а не астроном и не все астрономы вообще-то считают меня астрономом — это зависит от точек зрения, но я во всяком случае считаю, что произошло совершенно радикальное изменение: вместо узенького оптического окна астрономы используют теперь все диапазоны электромагнитных волн и получают, кроме того, информацию путем приема космических лучей. Это изменило и еще изменит в ближайшем будущем лицо астрономии.

Несколько замечаний о содержании этих двух астрономических революций. Углубляться в историю нет времени, но я сам для себя открыл кое-что интересное в истории первой революции и хочу об этом сказать.

Что же сделал Галилей? Галилей обнаружил четыре ярких спутника Юпитера. Важность этого открытия исключительна и очевидна, потому что тогда еще окончательно не утвердилось система Коперника. Галилей обнаружил пятна на Солнце,

горы на Луне, разрешил Млечный Путь на звезды. Между тем еще даже Коперник считал, что все звезды находятся на какой-то «небесной сфере». Другими словами, тогда не понимали, что звезды, которые мы видим, образуют галактику и Галилей, когда разрешил Млечный Путь на звезды, положил начало пониманию этой картины. Существенными были также усовершенствования, внесенные Галилеем в телескоп.

В судопроизводстве многих стран есть такие слова присяги: «Говорить правду, только правду и всю правду». Если мы скажем, что Галилей внес усовершенствования в телескопы и сделал разные астрономические открытия — это правда, только правда, но не вся правда.

Очень существенным было также другое, и чтобы понять это, нужно задуматься над таким вопросом.

Телескоп Галилея состоял из трубки и двух очковых линз; диаметр около 5 см, длина 120 см. Галилей действовал методом отбора: он построил около 100 телескопов, а использовал только 7 лучших. Первый телескоп, который он направил на небо, давал 30-кратное увеличение. Но вообще-то телескоп был построен лет за 25 до Галилея, а очки применялись за 200—300 лет до него. Так почему же за 300 лет не нашлось изобретателя, который создал бы телескоп и посмотрел в него на небо?

Ответ на этот вопрос ясен из следующей цитаты: «Основная цель зрения знать правду. Линзы дают возможность человеку видеть предметы большими или меньшими, через линзу можно видеть предмет искаженным и деформированным. Таким образом, линзы не дают возможность видеть действительность и если не хотите впасть в заблуждение — не пользуйтесь линзами».

Приведу также отрывок из письма Галилея Кеплеру: «Посмеемся, мой Кеплер, великой глупости людей. Что сказать о философах, которые, несмотря на многократные приглашения, не пожелали даже взглянуть ни на планеты, ни на Луну, ни на телескоп».

Величие Галилея состоит не только в том, что он усовершенствовал телескоп, его величие в том, что он был передовым человеком, понимающим значение телескопа и верящим в него.

После Галилея началось бурное развитие астрономии. Невверно думать, что в прошедшие два-три столетия астрономия развивалась медленно. Она развивалась все время быстро и сейчас вместо труб с диаметром 5 см, с которых начинал Галилей, имеются телескопы с диаметром 5 м. Это в 10 тысяч раз больше по площади, которая определяет светосилу прибора.

Но одно оставалось неизменным с древних времен до середины нашего века — все астрономические наблюдения про-

водились в оптическом диапазоне или даже только в видимом свете.

Ликвидация «оптической монополии» — в этом и можно видеть смысл второй астрономической революции. Сейчас, через двадцать лет после ее начала, мы имеем ряд новых ветвей астрономии и я хочу их перечислить:

1. Радиоастрономия — прием волн длиной от миллиметров, десятков метров до сотен и тысяч метров (если использовать искусственные спутники).

2. Оптическая астрономия на спутниках в видимых инфракрасных и ультрафиолетовых лучах.

3. Рентгеновская и гамма-астрономия.

4. Изучение первичных космических лучей.

5. «Прямые» методы изучения космоса с помощью спутников (например, фотографирование Луны и Марса с близких расстояний).

6. Прием космических нейтрино. Нейтрино проходят свободно через Солнце и через Землю, но в ничтожных количествах; их и можно уловить.

Я не слежу за фантастической литературой (это характерно, что люди, занимающиеся наукой, не интересуются такой литературой потому, что у них и так достаточно «пищи» и без литературы). Но насколько я знаю, даже писатели не выдвигали такую фантастическую гипотезу, что можно заглянуть внутрь Солнца. Сейчас же такая установка строится, в будущем году, вероятно, она будет готова.

Существует, таким образом, большое количество новых методов, не все эти новые методы уже дали плоды. По существу только радиоастрономия развернулась во всю ширь, но несомненно и другие новые методы будут быстро развиваться.

Это замечание нельзя понимать как возражение против оптического метода. Ясно, что без оптики обойтись нельзя.

Почему же раньше не произошло этой второй астрономической революции? В конце XIX века существовали только еще самые примитивные радиоприборы, невозможен был прием космического радиоизлучения, потому что техника не достигла нужного уровня.

Это прекрасная иллюстрация известного факта, что развитие науки и техники тесно переплетается. Иногда техника питает науку, иногда наука питает технику.

Во время второй мировой войны развилась радиолокация, что дало возможность развиваться радиоастрономии.

Я приведу один пример, свидетелем или, если хотите, жертвой которого я был.

Этим летом, к сожалению, очень ненадолго я смог поехать на радиоастрономическую обсерваторию Кембриджского университета. Там был пущен новый телескоп и была небольшая, если выражаться нашим языком, передвижная выставка.

И вот на этой выставке лежала груда бумажек на столе и посетителям предлагалось взять бумажку, листик бумаги. Я взял этот лист бумаги и прочел следующее: «Взяв эту бумажку, вы затратили больше энергии, чем радиотелескопы всего мира приняли за всю историю радиоастрономии». И это правильно! Это легко подсчитать. Такова чувствительность радиоаппаратуры.

Но поток космического радионизлучения так слаб, что приходится строить гигантские телескопы с площадью в тысячи квадратных метров и больше. Сейчас развитие идет в сторону увеличения приборов, но они улавливают ничтожные по мощности сигналы, а современные усилители позволяют эти сигналы принимать. Раньше это было невозможно.

Вблизи Москвы, в Серпухове, находится крупный радиотелескоп. Его диаметр 22 м. Он хорош тем, что принимает волны миллиметрового диапазона. Зеркало стоит на башне. Телескоп очень точно сделан, с точностью до миллиметра.

Один из самых больших в мире телескопов находится в Австралии. Он имеет 65 м в диаметре, работает на нескольких сантиметровых волнах. Этот прибор дал очень много интересных данных.

Хочется сказать несколько слов о развитии радиоастрономии и о последних открытиях, сделанных в этой области.

Возьмем телескоп. В каком бы диапазоне он ни работал, одна из важнейших его характеристик — угловая разрешающая сила.

Угловое разрешение — угол между двумя предметами, которые еще можно различить. Угловое разрешение определяется отношением длины волны λ к размеру телескопа D .

Для лучшего существующего оптического телескопа (5-метрового) это отношение составляет примерно одну сотую угловой секунды. Чему равна угловая секунда? Это примерно тот угол, под которым спичечная коробка видна на расстоянии 3 км.

Фактически 5-метровый телескоп дает в 100 раз худшее разрешение. Примерно в одну угловую секунду. Это связано с тем, что атмосфера оказывает влияние на оптическое изображение. Изображение не идеально, оно мерцает. Поэтому преимущества будут иметь телескопы с диаметром около 1 м, но установленные на спутниках.

Перейдем к радиодиапазону. Радиоволны длиннее оптических волн в сотни тысяч раз. Казалось бы, в радиоастрономии трудно добиться таких угловых разрешающих сил, какие есть в оптике.

Действительно, вначале угловое разрешение было буквально ахиллесовой пятой радиоастрономии. Разрешение было в градус, а в градусе 3600 секунд.

Развитие техники привело, однако, к тому, что на сегодня в радиоастрономии достигнуто большее угловое разрешение, чем в оптике. Это достигнуто тремя методами.

Во-первых, с помощью радиоинтерферометра. Это система из двух или нескольких радиотелескопов, находящихся на большом расстоянии. Радиотехника позволяет создать очень большие, колоссальные радиоинтерферометры.

Радиоастрономы — англичане страдают от того, что Британские острова малы и поэтому радиотелескопы, входящие в состав радиоинтерферометров, расположены на двух концах Британских островов.

Второй метод, приведший к успехам радиоастрономии, — это использование покрытия радиоисточников Луной. Когда источник покрывается Луной, на краю Лунного диска имеет место дифракция. Один из важнейших квазаров 3С 273-13 был открыт таким образом.

Наконец, в прошлом году заработал, а в этом году дал важные результаты последний, очень интересный метод повышения угловой разрешающей силы. Об этом методе я скажу.

Наше Солнце является источником так называемого солнечного ветра. Солнце все время испускает газ. Этот газ на орбите Земли движется со скоростью 300 км в секунду. Он состоит из облаков.

Если мы находимся здесь, на нашей Земле, и принимаем излучение какого-то далекого радиоисточника, то, оказывается, на этих неоднородностях солнечного ветра происходит мерцание источников. Это значит, что когда вы принимаете источник, то видите, как меняется на выходе прибора интенсивность, она скачет. В данном случае геометрия такова, что только очень маленькие источники мерцают. Если источник больше размером, чем угловая секунда, он мерцать на облаках солнечного ветра не будет, мерцают только маленькие источники. Таким образом, оказывается, можно выяснить, есть ли маленький источник или нет.

В этом году было сделано замечательное открытие в Англии и подтверждено в СССР. В известной Крабовидной туманности открыт маленький источник, особенно мощный на длинных волнах. Крабовидная туманность — это замечательный объект, первый объект, для которого удалось идентифицировать радиоисточник с оптическим источником. Этот объект излучает радиоволны, свет, рентгеновские лучи. Это одна из рентгеновских звезд. Размеры Крабовидной туманности около 5 угловых минут. Крабовидная туманность — остаток сверхновой звезды, оболочка которой расширяется со скоростью 1000 км в секунду. За 900 лет оболочка достигла размеров в 3 световых года.

В этом большом источнике обнаружен, таким образом, маленький источник, который на волне 10—12 м дает половину всего излучения и который имеет размер в $1/10$ угловой секунды.

Естественно, возникает гипотеза, что, может быть, этот маленький источник представляет собой как раз остаток сверхновой звезды. Это объяснило бы многие загадки Крабовидной туманности.

Таким образом, я подошел к ответу на последний вопрос: каковы астрономические новости 1965 года?

Одна из существенных новостей — это открытие компактного-источника в Крабовидной туманности. Перечислю еще некоторые новости.

Одним из открытий является обнаружение квазизвездных галактик, которые отличаются от квазаров тем, что не дают заметного радиоизлучения. Далее обнаружена переменность радиоизлучения квазаров в диапазоне сантиметровых и дециметровых волн.

Следующее открытие — это обнаружение квазара 3С-9, который удаляется от нас со скоростью, равной 80% скорости света, и находится на расстоянии примерно в 8 млрд. световых лет. И что существенно, это обнаружение в спектре квазара 3С-9 спектральной линии Лейман-альфа.

Вселенная состоит на 90% из водорода, дальше идет гелий и только 1% приходится на все более тяжелые элементы. Водород во Вселенной — это как вода для человека. Самая главная, так сказать, спектральная линия водорода — это переход со второго уровня на первый, но эта линия лежит в далеком ультрафиолете, обычно ее принять на Земле нельзя. Для того чтобы изучать эту линию, нужно подняться над атмосферой, т. е. использовать искусственные спутники.

Что же получилось с квазаром 3С-9? Поскольку этот квазар движется со скоростью, равной 80% скорости света, его линии очень сильно смещены в красную сторону и линия Лейман-альфа перехода со 2-го уровня атома водорода на 1-й попала уже в прозрачную область спектра, ее длина увеличилась в 3 раза и равна 3700 Å. Это и позволило принять линию на самом большом телескопе.

Наконец, последнее открытие в моем списке, пожалуй, самое замечательное — это открытие излучения, которое испущено 10 млрд. лет назад. Может быть, в будущем 1965 год будут называть годом великих астрономических открытий.

Впрочем, все последние годы приносят много интересного. Вообще астрономия переживает замечательный период и в этой области очень интересно работать.

РЕВОЛЮЦИЯ В АСТРОНОМИИ

Нарастающий поток открытий, свидетелями которых мы сейчас являемся, производит впечатление подлинной революции, начавшейся в астрономии. Разумеется, невозможно предсказать, во что это все в конечном счете выльется, но похоже, что по своим последствиям новая научная революция может оказаться равнозначной революции в физике, начавшейся на рубеже веков, т. е. она может повести к столь же радикальной ломке наших основных представлений о пространстве, времени, веществе, движении, причинности и т. п.

Попытаюсь охарактеризовать некоторые направления, по которым намечается эта ломка.

С незапамятных времен в астрономии господствовало представление об изначальном характере бесструктурного вещества. Это, например, «хаос» древних, «эфирное вещество» у Кеплера, диффузная материя (газ и пыль) в современной астрофизике. Все или почти все космогонические гипотезы были направлены на решение вопроса о том, каким образом космические объекты (звезды, планеты) возникают из «хаоса» (туманности, пыли, газа). До совсем недавнего времени идея В. А. Амбарцумяна о том, что первичным (дозвездным) должно быть плотное или сверхплотное состояние вещества, встречало общее недоверие. Сейчас, в связи с открытием космогонической активности ядер галактик, обнаружением взрывающихся галактик, сверхзвезд (квазаров), квазизвездных галактик, радиоизлучения на волне 7,3 см — свидетельства сверхплотного состояния Метагалактики в прошлом, — освященные тысячелетней традицией взгляды сменяются противоположными. По мнению такого выдающегося исследователя, как Сандейдж, сверхплотные объекты могут быть даже важнейшим компонентом Метагалактики.

Такова первая линия революционных изменений наших представлений. С ней тесно связана и другая — почти неизбежный пересмотр наших представлений о свойствах и структуре пространства — времени. Действительно, все сверхплот-

ные объекты, или старки¹, отличает совершенно чудовищный выход энергии, раз в сто больше, чем могут обеспечить даже термоядерные реакции. Единственный известный современной физике механизм, который может объяснить такое явление (если исключить столкновение вещества и антивещества), — это механизм гравитационных взрывов (коллапс, антиколлапс). При гравитационных взрывах определяющими являются эффекты общей теории относительности; их рассмотрение и ведет к выводу о возможности и даже неизбежности различных «патологических» особенностей пространственно-временной структуры, связанной со старками.

Чтобы лучше понять характер и историческое место возникающих из этой ситуации новых представлений, остановимся на этой стороне проблемы несколько подробнее.

Как известно, устойчивость звезды есть результат действия противоборствующих сил: силы тяготения стремятся сжать звезду, а газовое и лучистое давление, поддерживаемое высвобождением энергии в термоядерных реакциях, распирает звезду. Картина существенно изменяется после исчерпания источников термоядерной энергии: под влиянием сил тяготения звезда неудержимо сжимается. Это катастрофическое сжатие, взрыв, направленный внутрь, называется гравитационным коллапсом. Математическое изучение проблемы привело к выводу, что должен существовать и обратный процесс — катастрофическое расширение вещества из очень малого или даже точечного объема (собственно взрыв, антиколлапс).

В этих катастрофических процессах скорости вещества близки к скорости света, а гравитационные поля в принципе сколь угодно сильны. Поэтому здесь становятся существенными и даже определяющими эффекты, предсказываемые общей теорией относительности, в первую очередь — искривление пространства — времени. Несчастье состоит в том, что кривизна не просто велика, а сколь угодно велика (бесконечна). Что такое бесконечная кривизна и что при этом происходит, этого мы совершенно не знаем. Физик вообще избегает бесконечностей везде, где это только возможно. Обращение чего-то в бесконечность он склонен рассматривать как неприятную особенность (расходимость, сингулярность) в ре-

¹ Термин «сверхплотные объекты» может вести к недоразумениям. Для очень массивных объектов плотность может быть сравнимой, например, с плотностью воды. Важно не абсолютное значение плотности, а то обстоятельство, что геометрический радиус сравним с гравитационным. Термин «старк» — астрономический аналог «кварка» в теории элементарных частиц — был предложен на Втором техасском симпозиуме (декабрь 1964 года) вместо «кварара», но это предложение не нашло там поддержки. Я использую здесь этот термин условно, в качестве объединяющего названия для всех новых «экзотических» объектов (суперисточников).

шениях уравнений, в которой повинна не природа, а он сам, поскольку он, например, использовал неподходящую систему координат, которая не может быть реализована в какой-либо реальной системе отсчета. Во многих случаях это так и есть. Но существуют неустранимые сингулярности, и рассматриваемый случай, судя по всему, имеет дело именно с такими сингулярностями.

С точки зрения общей теории относительности гравитационный взрыв есть тип или этап эволюции определенного (центрально-симметрического) гравитационного поля. Решение уравнений тяготения, описывающих такое поле, давно и хорошо известно — это решение Шварцшильда (1916 г.), исторически первое точное решение уравнений Эйнштейна. Оно имеет две хорошо известные особенности: при радиусе, равном гравитационному, или радиусу сферы Шварцшильда ($r = r_0 = 2\gamma M/c^2$, где M — масса тела, создающего поле, γ — ньютонова постоянная тяготения, c — скорость света в вакууме), и при $r = 0$.

Начиная с 1933 года, были предприняты попытки устранить эти особенности путем нахождения системы координат, наиболее соответствующей характеру задачи.

Итог этих усилий, видимо, может быть сформулирован так: вся суть ситуации заключается именно в этих особенностях. В разных системах отсчета, т. е. при различном расщеплении пространства—времени на пространство и время, они выглядят по-разному, но избавиться от них нельзя. Сингулярности здесь — не результат нашей неизобретательности, а проявление изощренности природы, которая на этот раз, кажется, граничит со злонамеренностью¹. Лучшая система координат — не та, в которой устраняются сингулярности (таких систем нет), а та, которая дает возможность лучше понять их характер и видеть все стороны явления. Такой системой является система Крускала (1960 г.). Но она обрушивает на нас сразу слишком много неожиданного, непривычного. Поэтому лучше предварительно вспомнить более невинные проявления изощренности природы.

В течение тысячелетий человечество было уверено в том, что пространство, в котором мы находимся, — это неограниченное «плоское» (неискривленное) пространство — пространство Евклида — и что существует единое, текущее повсюду одинаково время, независимое от пространства и вообще чего бы то ни было (мировое время). Двумерной моделью части такой Вселенной может служить просто кусок

¹ Знаменитые слова Эйнштейна, выбитые на каминной доске в Институте фундаментальных исследований в Принстоне, где он работал с 1933 года: «Господь бог изощрен, но не злонамерен» (у Эйнштейна бог — шуточный синоним природы).

плоскости, изображенный на рис. 1 (стрелками обозначено направление времени от прошлого к будущему). Но шестьдесят лет назад благодаря специальной теории относительности стало ясно, что мир устроен сложнее. То, «в» чем мы находимся, есть пространство — время, которое для разных наблюдателей (движущихся по-разному регистрирующих

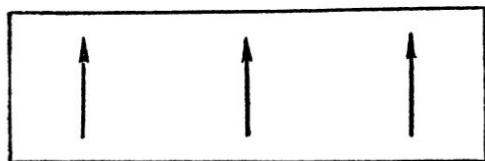


Рис. 1.

приборов) по-разному расщепляется на пространство и время, так что времени, во всяком случае, очень много.

Десять лет спустя положение стало еще сложнее. Благодаря общей теории относительности мы

осознали, что только там, где плотность масс мала, пространство может считаться «плоским», вообще же оно искривлено. Если кривизна постоянна и положительна, то безграничное пространство является конечным, замкнутым. Модель части такой Вселенной (цилиндрического мира Эйнштейна) изображена на рис. 2. Здесь радиус кривизны со временем не изменяется.

После работ Фридмана и открытия Хабблом закона красного смещения стало ясно, что положение еще сложнее: Метагалактика расширяется, кривизна пространства, какова бы она ни была, со временем изменяется.

Общая теория относительности знает и еще более сложные космологические модели, в частности, такие, в которых не существует единого мирового времени, где время искривлено или даже замкнуто. Возможно такое положение, когда пространство конечно, но это все же не все пространство (полузамкнутые модели).

Короче говоря, за последние полвека мы постепенно свыклись с мыслью, что метрические (измеряемые) свойства пространства или пространства — времени могут быть достаточно запутанными.

Но были основания полагать, что хотя бы топологические свойства являются сравнительно простыми. Ни из чего, конечно, не следует, что природа обязана наделять пространство — время лишь простейшими топологическими свойствами, удобными для нас, — просто до сих пор мы не знали ничего такого, что заставило бы нас отказаться от такой надежды. Но старки, по-видимому, и ее разрушают.

К наиболее устойчивым, наиболее внутренним и, в этом смысле, наиболее важным свойствам пространства — топо-

логическим свойствам — принадлежат такие, как размерность (число измерений), связность (т. е., грубо говоря, свойство пространства состоять из одного или нескольких кусков), ориентируемость. Согласно традиционным физическим воззрениям реальное пространство трехмерно, односвязно и ориентируемо. Пространство — время

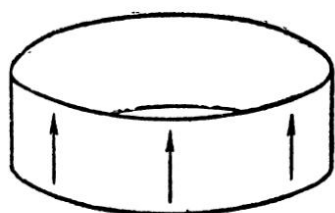


Рис. 2.

столкнемся с этой проблемой). Еще несколько легче понять, какие сюрпризы могут таиться в неориентируемом пространстве.

Воспользуемся опять нашей двумерной моделью (см. рис. 2), но теперь до склеивания краев полоски закрутим ее на пол-оборота (рис. 3). Полученная поверхность называется листом Мебиуса и служит простейшим примером неориентируемого пространства (односторонней поверхности). Закрученность (твист) резко изменяет топологические свойства поверхности. У обычного кольца (см. рис. 2) имеются две стороны; для наглядности внутреннюю и внешнюю стороны можно, например, выкрасить в разные цвета. Легко убедиться, что у листа Мебиуса нет внешней и внутренней стороны, это односторонняя поверхность. Не пересекая нигде краев, мы можем всю ее выкрасить в один цвет непрерывным движением кисточки.

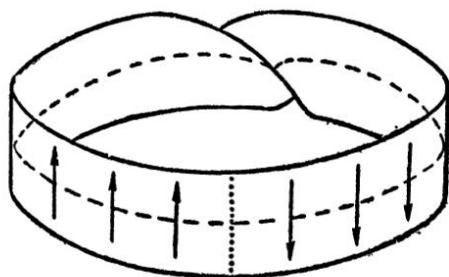


Рис. 3.

«Хорошую» (двустороннюю) поверхность замкнутой контур делит на две части. Если поверхность разрезать по контуру, то она распадется. Если контур — это канал, то для того чтобы с одного участка суши попасть на другой, необходимо пересечь канал. В неориентируемом пространстве (на односторонней поверхности) можно попасть на противоположный

берег замкнутого канала, идя вдоль берега. Здесь каналы и реки, так сказать, однобережные. Замкнутый канал не делит сушу на две части. Пусть, например, канал прорыт по «экватору» (прерывистая линия на рис. 3). Разрежем лист Мебиуса по этой линии. Против ожидания он не распадется на две части, как обычное цилиндрическое кольцо, а превратится в дважды закрученное кольцо вдвое больших размеров. Теперь это двусторонняя поверхность.

В мире, пространство — время которого по своим свойствам сходно с листом Мебиуса, должны случаться удивительные вещи. Например, путешественник, совершивший кругосветное путешествие, при возвращении в исходную точку обнаружил бы, что время потекло вспять (рис. 3, стрелки !) и происходит что-то аномальное с причинностью. Такую ситуацию трудно представить наглядно. Ведь в пространственно-временном каркасе самом по себе нет никаких стрелок, направленных в будущее. О том, какое из двух совершенно равноправных направлений на «линии» времени считать направлением к будущему, мы судим по локальным физическим процессам, например по возрастанию энтропии (и по нашей собственной отчаянной борьбе с возрастающей энтропией).

После кругосветного путешествия в неориентируемом пространстве наблюдатель должен был бы сказать, что либо время потекло вспять, либо энтропия имеет тенденцию уменьшаться. Поэтому вопрос, который так озадачивает исследователей — каким образом в старках можно повысить энергию электронов от нескольких электроновольт до нескольких миллиардов электроновольт, не нарушая второго закона термодинамики? — может иметь очень простой, хотя и совершенно неожиданный, с точки зрения привычных представлений, ответ: гравитационное поле здесь столь сильно, что возникает пространственно-временной твист (или, менее строго: локальное, собственное время течет вспять).

Но как быть с причинностью? Вопрос о том, что такое причинность в многосвязном или неориентируемом пространстве времени, очень непрост, пока мы не только не знаем ответа в общем виде, но не можем по-настоящему сформулировать проблему. Но частные подходы или решения известны. Аномалии в причинно-следственных связях явлений могут быть исключены неким «правилом одностороннего уличного движения». Например, как раз при гравитационном взрыве такое правило действует: вещество может двигаться только радиально, притом только либо к центру, либо от центра. Исключено встречное движение и исключено обращение движения. В катастрофической области нельзя передумать и повернуть обратно. Вся судьба участников движения в такой области предопределена заранее. В этом смысле здесь причинно-следственные связи даже жестче, чем в некатастрофи-

ческой (обычной) области пространства — времени. Глобальные движения типа «кругосветного путешествия» исключены тем, что всякое движение начинается или кончается катастрофой (взрывным расширением из точки, взрывным сжатием в точку).

На диаграмме Крускала (рис. 4) эти обстоятельства могут быть прослежены наглядно.

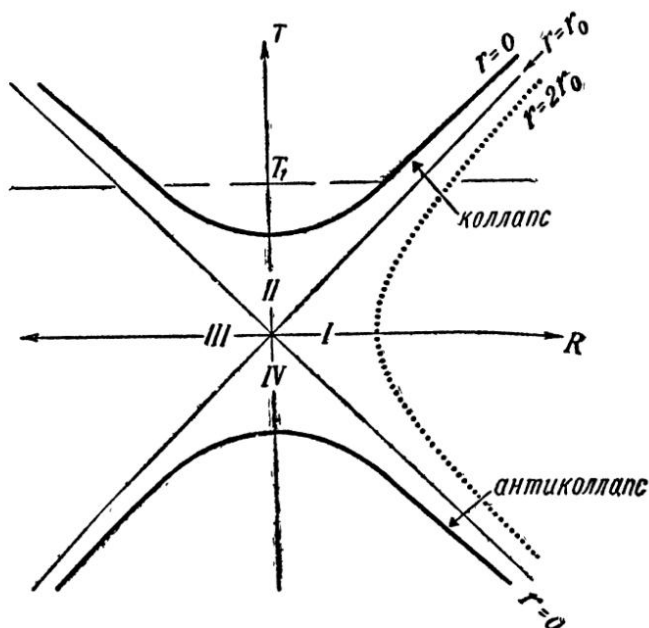


Рис. 4.

Диаграмма Крускала очень напоминает известную диаграмму Минковского в специальной теории относительности, т. е. двумерное сечение плоского пространства—времени. Далеко вправо от начала отсчета обе диаграммы совпадают в том смысле, что метрика Крускала также является плоской. Как и на диаграмме Минковского, окружности диаграммы Крускала — это гиперболы.

Различным значениям шварцшильдовой радиальной координаты соответствуют различные гиперболы; гравитационному радиусу соответствует вырожденная гипербола — пара изотропных прямых, играющих роль световых линий (образующих светового конуса) диаграммы Минковского. Две ветви гиперболы — окружность мнимого радиуса — это предельное значение $r=0$. Движение фотонов и частиц в шварцшильдовом поле изображается геодезическими (мировыми ли-

ниями). Как и на диаграмме Минковского, мировые линии фотонов (и нейтрино) всегда параллельны изотропным линиям, наклон линий частиц к оси ординат всегда меньше 45° (поскольку скорость их меньше скорости света).

Световые линии являются границами областей пространства — времени, которые могут быть названы «обычными» и «катастрофическими». Квадрант I изображает область первого типа, т. е. то, что происходит вне сферы Шварцшильда, квадранты II и IV — второго типа, т. е. то, что происходит внутри сферы Шварцшильда.

Рассмотрим падение вещества с точки зрения внешнего (удаленного) наблюдателя. По мере приближения к сфере Шварцшильда (линия $r=r_0$ на диаграмме) гравитационное поле возрастает и, как показывает общая теория относительности, течение времени замедляется. На самой сфере время течет бесконечно медленно: сколько бы мы ни ждали, ничего больше не произойдет. Поэтому с точки зрения внешнего наблюдателя сфера Шварцшильда никогда не достигается (или, что то же, достигается лишь в бесконечно далеком будущем).

Точно так же расширение (антиколлапс) начинается в бесконечно далеком прошлом. Для нашего наблюдателя, таким образом, линии $r=r_0$ являются вместе с тем временными границами его мира: одна из них соответствует бесконечно далекому прошлому ($t=-\infty$), другая — бесконечно далекому будущему ($t=+\infty$). Всего этого вполне бесконечного времени не хватает для охвата процесса коллапса: движение внутри сферы Шварцшильда происходит до начала или после окончания вечности!

Совсем иначе происходит этот процесс в собственном времени падающего вещества — во времени, которое отсчитывается часами, связанными с падающей частицей. Здесь весь процесс, включая движение внутри сферы Шварцшильда (на диаграмме — от линии $r=r_0$ до гиперболы $r=0$), завершается за конечное время, скажем за сутки. Сфера Шварцшильда пересекается с предельной скоростью — скоростью света.

Не следует думать, что какое-то из этих двух времен есть «настоящее», а другое — «ненастоящее», и что поэтому можно спросить, что же происходит «на самом деле», попадает вещество внутрь сферы Шварцшильда или нет? Оба времени одинаково объективны, но и одинаково относительны. Абсолютно пространство — время, но его расщепление на пространство и время относительно, в разных системах отсчета (для разных «наблюдателей», движущихся по-разному регистрирующих устройств) это расщепление происходит по-разному.

«Правильным» можно было бы считать описание того, что происходит в пространстве — времени. Язык такого описания

существует, но это язык математических уравнений, уравнений мировых линий, мы же устроены так, что всегда воспринимаем пространство — время разделенным на пространством и время, притом разделенным определенным образом. Наша система отсчета — планета номер три определенной звезды (Солнца) в определенном уголке определенной галактики. Этим и диктуется «наше» расщепление пространства — времени.

Если мы задаемся вопросом о том, что происходит в этом времени с коллапсирующим объектом, то ответ вполне определен: он сжимается так, что его радиус асимптотически стремится к гравитационному; это состояние достигается лишь в бесконечно далеком будущем.

Если мы задаемся вопросом о том, может ли радиус объекта стать меньше гравитационного, то ответ таков: да, может, и это требует лишь конечного промежутка времени.

Надо только учесть, что слово «время» в двух этих предложениях — это вовсе не одно и то же, оно обозначает совсем разные вещи. Время во втором предложении — это вовсе не то время, которым мы пользуемся, назначая свидания, спеша на поезд или определяя возраст нашей планеты по содержанию продуктов радиоактивного распада в горных породах. Психологическая трудность именно в этом, в глубоко укоренившейся привычке принимать «наше время» за «время вообще».

На диаграмме Минковского световые линии являются совершенно непреодолимым барьером, подлинным железным занавесом, разделяющим разные области пространства — времени. В условиях применимости этой диаграммы, т. е. в слабых стационарных гравитационных полях, никакие события не могут развиваться так, чтобы этот барьер преодолевался чем бы то ни было. Изотропные линии диаграммы Крускала (сфера Шварцшильда) таким барьером не является — коллапсирующее вещество его свободно проходит. Из этого часто делают вывод, что сингулярность при $r=r_0$, в отличие от «истинной» сингулярности при $r=0$, есть псевдосингулярность. Такой вывод вряд ли может быть $r=0$ признан вполне корректным. Процесс коллапса, рассматриваемый в собственном времени τ , действительно включает, как мы видели, преодоление шварцшильдового барьера, но этот процесс не является непрерывным в пространстве — времени. На барьере имеет место некий сверхрадикальный взрыв, превращение, для описания которого у нас «не хватает слов», т. е. привычные понятия, которыми мы оперируем, очень плохо приспособлены для описания и понимания того, что здесь происходит. При пересечении барьера временная и одна из пространственных координат (радикальная координата r) меняются ролями. На языке привычных понятий пришлось бы

сказать, что здесь происходит превращение времени в расстояние и расстояния — во время.

Расщепление пространства — времени на пространство и время, таким образом, является весьма необычным. На самом барьере оно, по-видимому, вообще нерасщепимо, здесь нет отдельно пространства и отдельно времени. Это видно хотя бы из того, что для наблюдателя, который мог бы находиться («двигаться») на барьере, вся вечность — от бесконечно далекого прошлого до бесконечно далекого будущего — промелькнула бы мгновенно, вообще не существовало бы ни прошлого, ни настоящего, ни будущего, т. е. не существовало бы времени. Аналогично для наблюдателя на особенной гиперболе $r=0$ нет пространства: его пространство (описанное на языке привычных понятий) находится «внутри математической точки» (!).

Во всем этом нет никакой мистики. Просто наш прежний опыт и выработанные на основе этого опыта пространственно-временные и иные понятия здесь отказывают, а отвечающие новой ситуации понятия еще не выработались. Но и после того как они будут выработаны, нам, вероятно, вначале будет так же трудно свыкнуться с ними, как нашим предкам было трудно свыкнуться с тем, что хотя Земля круглая, антиподы с нее не сваливаются.

В условиях применимости диаграммы Минковского пространство является «хорошим», односвязным пространством. Когда приходится иметь дело со сколь угодно сильными гравитационными полями, то поручиться за это уже нельзя. В рассматриваемом случае, как и можно было опасаться, пространство оказывается многосвязным. Это означает, что оно, грубо говоря, состоит не из одного куска или, несколько точнее, что не всякий замкнутый контур в таком пространстве может быть стянут непрерывной деформацией в точку внутри контура.

Возьмем плоскость, перпендикулярную плоскости чертежа (см. рис. 4) и оси времени T . Это будет изображение пространства в данный момент времени (пространственное сечение пространства — времени в момент времени T_1 , так сказать, моментальная фотография того, что происходит в мире, сделанная в момент T_1). Для малых значений T_1 (T_1 близко к нулю) пространство не обладает никакими особенностями, наше сечение представляет собой плоскость.

Но, начиная с некоторого момента времени, гиперболоид $r=0$ вырезает в этой плоскости отверстие; например, при $T=T_i$ мы получаем картину, изображенную на рис. 5. Пространство не является более односвязным, контур вокруг отсутствующего куска плоскости не может быть стянут в точку, он может быть стянут только до границы этого куска (заштрихованного на чертеже). Все траектории (пространственные

проекции мировых линий частиц) кончаются на этой границе. Если бы мы взяли сечение в нижней половине чертежа, то все траектории, наоборот, начинались бы на этом роковом рубеже.

Эту же самую ситуацию можно интерпретировать в виде двух областей евклидового пространства, соединенных «мостом» или «горловиной» (рис. 6). Надо только представить, что, несмотря на это, соединяющая их горловина является короткой (это не поддается передаче на чертеже). Проскакивая через горловину, можно было бы определить световой сигнал, идущий вне горловины. Всякая причинность при этом, как известно из специальной теории относительности, была бы нарушена. Однако оказывается, что это невозможно: горловина всегда своевременно захлопывается.

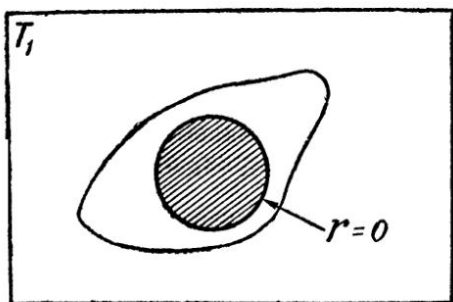


Рис. 5.

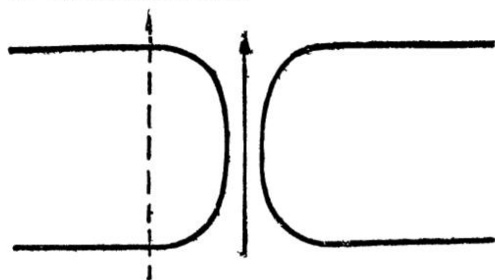


Рис. 6.

Это же самое обстоятельство может быть изложено и так: любая система, любой объект, который из «обычной» области попадает в «катастрофическую» область пространства — времени (квадрант II на рис. 4), никогда не сможет вернуться в эту или какую-

либо другую «обычную» область, но обязательно закончит свое путешествие катастрофическим сжатием в точку (падением на гиперболу $r=0$).

Теперь мы приближаемся к самому непонятному разделу всей истории. Мы видели, как выглядит коллапс в «обычном» (шварцшильдовом) времени t , как он выглядит в собственном (сопутствующем) времени τ и, наконец, в «глобальном» (крускадовом) времени T . Но даже это — глобальное — время не охватывает области выше и ниже ветвей сингулярной гиперболы $r=0$ (косая штриховка на рис. 4). С точки зрения современных представлений эти области — подлинное ничто: здесь нет пространства, времени, вещества, движения, нет вообще ничего. Можно было бы сказать: очень хорошо, сле-

довательно, такие области вообще не существуют, и никакой проблемы нет. Но именно на границе этой области начинается и кончается история любого объекта, претерпевающего гравитационный взрыв (начинается — в случае антиколлапса, кончается — в случае коллапса). Или, говоря геометрическим языком, мировые линии вещества упираются в эту область. Все происходит так, как если бы антиколлапсирующий объект возникал из ничего и коллапсирующий превращался бы в ничто.

Разумнее, очевидно, сказать, что здесь мы сталкиваемся (возможно, сталкиваемся!) с совершенно неизвестной формой реальности (материи, пространства, времени, причинности и т. д.).

Превращение известных форм реальности в неизвестные и обратно, конечно, не будет подчиняться известным законам физики. Иначе неизвестная форма реальности не была бы неизвестной. Казалось бы, положение совершенно безнадежное: «там» может происходить все что угодно. Но это не совсем так. Значительная или даже большая часть возможностей исключается важнейшей руководящей идеей, которая называется принципом соответствия. Если существует какая-то связь между известным и неизвестным и даже происходит превращение одного в другое, то существуют общие законы, управляющие тем и другим. Законы, управляющие известным, являются частной формой этих более общих законов. Следовательно, кое-что, возможно, очень многое об этих общих законах мы знаем.

Пытаясь по частному понять общее, мы можем опереться на наш предшествующий опыт. Мы не можем просто перенести старый опыт на новую ситуацию. Но мы можем попытаться принять некие характерные тенденции, общие закономерности прошлого опыта и использовать их для анализа новой ситуации.

Возьмем, например, законы сохранения. Они, с одной стороны, относятся к числу важнейших законов физики. С другой стороны, если какой-то процесс выглядит как возникновение из ничего или превращение в ничто, то должно иметь место нарушение законов сохранения — кажущееся или действительное.

Более тридцати лет назад обнаружилось нарушение законов сохранения в радиоактивном бета-распаде. Бор тогда предположил, что в явлениях ядерного масштаба закон сохранения энергии неприменим. Другое объяснение предложил Паули. Бал в Цюрихе помешал ему поехать на семинар в Тюбингене (Паули было тогда тридцать лет). Но в письме участникам семинара он предложил «дорогим радиоактивным дамам и господам» взвесить возможность спасти законы сохранения с помощью гипотезы об особой неуловимой части-

це, уносящей недостающую часть энергии, импульса и момента количества движения. Это было в конце 1930 года.

Неуловимая частица, названная «нейтрино», была поймана только 29 лет спустя, за год до смерти Паули. Все эти годы до поимки нейтрино (строго говоря, антинейтрино) надо было что-то принимать на веру — либо универсальность законов сохранения (их применимость в ядерных явлениях), либо существование неуловимой частицы. Этим путем можно идти и дальше: при новых нарушениях можно придумать новые неуловимые частицы, миры (например, антимиры), поля, взаимодействия и т. д., призванные спасти законы. Если со временем неуловимые будут пойманы, то гипотеза превратится в теорию.

Есть другой путь. До создания специальной теории относительности существовали два строгих и никак между собой не связанных закона сохранения — закон сохранения энергии и закон сохранения массы. Теперь, вот уже шесть десятилетий, мы знаем, что ни один из этих законов в отдельности не является строгим, но их объединение в единый закон действительно выполняется строго для всех известных явлений (за исключением разве гравитационных взрывов). Факты заставили нас смириться с такой несурaziцей (с точки зрения до-релятивистской физики), как измерение массы в электроновольтах и энергии в граммах.

То же самое произошло с законом сохранения пространственной четности, в абсолютном характере которого до 1956 года не возникло ни малейших сомнений. После крушения четности была выдвинута идея, что абсолютно сохраняется не четность, а некая комбинация — комбинированная четность. В 1964 году пришлось отказаться и от этой надежды. Теперь мы полагаем, что абсолютно сохраняющейся «сущностью» является лишь еще более сложная комбинация — сочетание пространственной четности с временной и с зарядовым сопряжением.

Эти две катастрофы на протяжении одного десятилетия, надо полагать, нас кое-чему научили. Если сейчас кто-нибудь скажет, что нельзя сомневаться в столь хорошо проверенных и абсолютных законах сохранения, как закон сохранения энергии или закон сохранения барионов, то такое утверждение вполне естественно может восприниматься как известный довод чеховского героя в его письме ученому соседу: этого не может быть потому, что этого не может быть никогда. Нарушения закона сохранения массы, закона сохранения четности, закона сохранения комбинированной четности тоже «не могло быть никогда» и все же оказалось, что это может быть.

В свете нашего прошлого опыта мы должны быть готовы примириться с тем, что все вообще «абсолютные» законы

сохранения в известной нам форме не являются абсолютными, что могут существовать процессы, в которых они нарушаются. Принцип соответствия требует, чтобы они были некоторой предельной формой более общих, более универсальных, более абсолютных законов.

Чтобы открыть эти законы, нужно, судя по прошлому опыту, либо искать некое неучтенное неуловимое нечто, либо допускать парадоксальные сочетания, либо, наконец, делать то и другое. Крушение наших прежних представлений всегда означает открытие каких-то новых связей, нового, более глубокого единства природы.

В связи с этим уместно поставить вопрос, который, вероятно, покажется совсем уж еретическим. В нас глубоко укоренилось представление, что реальность делится на некий каркас (пространство и время) и субстанциональную начинку (вещество, частицы, поля или как бы они еще ни назывались).

Очень медленно и с большим трудом мы свыклись с мыслью, что каркасов не два, а один (единое пространство—время), а затем и с тем, что некоторые (метрические) свойства каркаса связаны с начинкой, порождаются начинкой. Теперь мы понемногу свыкаемся с мыслью, что связь гораздо теснее. Возможно, что общая теория относительности находится на пути превращения из теории метрических свойств пространства — времени в теорию его топологических свойств (включая метрические). Тогда можно было бы сказать, что первые полвека этой теории — лишь полуклассический этап ее истории, а по-настоящему неклассический этап сейчас только начинается.

Одно из проявлений этого этапа — интересная попытка вывернуть связь наизнанку (Уилер и др.): не начинка определяет свойства каркаса, а, наоборот, то, что мы считаем начинкой, есть лишь проявление некоторых необычных (топологических) свойств каркаса. С этой точки зрения, сверхзвезду, например, можно рассматривать просто как некий выверт пространства — времени, некую аномалию в «обычной» топологии.

Такая постановка вопроса, вероятно, не совсем безнадежна, хотя, может быть, и столь же односторонняя, как и та, с которой мы свыклись. Наше разделение единой природы, единой реальности на некий каркас и некую начинку в конечном счете может оказаться имеющим не больше (но и не меньше, разумеется) смысла, чем бывшее разделение на электричество, свет и магнетизм.

Для определенной области явлений реальность может делиться на вещество и пространство — время, для других — даже на вещество, пространство и время, но нельзя в принципе исключать возможность того, что такое разделение происходит не всегда или должно происходить как-то совсем по-

иному. Не является ли область выше и ниже гипербол $r=0$ на диаграмме Крускала (см. рис. 4). намеком на такую возможность?!

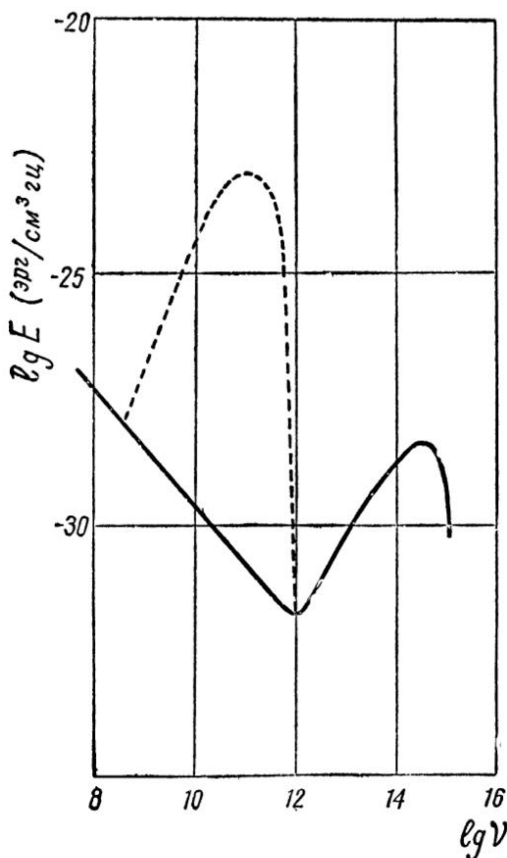
Следует ли, однако, исключить такую возможность, что старки (суперисточники) удастся объяснить на основе существующих представлений, без сколько-нибудь серьезной их ломки? Ничуть. Если это удастся — тем лучше. Все сказанное выше ни в коем случае не следует воспринимать как утверждение об установленных фактах или даже как претензию на прогноз развития. Это всего лишь попытка проиллюстрировать то, насколько радикальной может оказаться начавшаяся в астрономии революция (добавлю по секрету: я подозреваю, что развитые здесь представления не могут служить прогнозом не потому, что они слишком противоречат существующему здравому смыслу, а потому, что недостаточно ему противоречат, «недостаточно безумны», пользуясь крылатым выражением Бора).

Нельзя не согласиться с известным физиком-теоретиком Чу, что «в настоящее время мы еще не понимаем ни физического механизма выделения энергии в сверхзвездах, ни их внутреннего строения». Надо, наверно, также согласиться с теми исследователями, которые полагают, что мы находимся еще в самом начале понимания подлинного смысла и богатств общей теории относительности.

Применение далеко не до конца понятой теории к совсем еще непонятым катастрофическим объектам, во всяком случае, должно таить в себе захватывающе интересные перспективы для науки — чем бы все это ни кончилось.

РАДИОИЗЛУЧЕНИЕ НА ВОЛНЕ 7,5 см

Я останавлиюсь на одном из интереснейших открытий истекшего года, открытии общего радиоизлучения космоса на волне 7,5 см.



Чтобы понять, почему такое большое значение имеет это открытие, надо сказать несколько слов, касающихся вообще вопроса об излучении в Метагалактике.

Многочисленные физические процессы, которые протекают в межгалактическом пространстве, зависят от того, сколько имеется там световых квантов и какой частоты.

Это излучение создается совокуп-

Рис. 1. Спектр излучения в Метагалактике.

По вертикали отложена плотность энергии излучения (в логарифмической шкале).

По горизонтали — частота (в логарифмической шкале).

Сплошная линия — излучение звезд и радиогалактик.

Пунктир — общее космическое излучение с $T = 3,5^\circ \text{ К}$.

ностью звезд всех галактик, которые имеются в космическом пространстве.

Можно рассчитать теоретически, какова средняя плотность этого излучения.

Для этого надо учесть, сколько звезд с определенной температурой на поверхности есть в нашей Галактике и в других галактиках, сколько испускается ими квантов, затем надо учесть, что кванты распространяются на большие расстояния от звезд, вследствие чего плотность их падает.

Таким способом можно получить кривую количества световых квантов (интенсивности излучения) в зависимости от частоты, т. е. спектр (рис. 1).

В галактиках много звезд типа нашего Солнца с температурой поверхности около 6000° , много также и более горячих звезд с поверхностной температурой около $10\,000^{\circ}$. Следовательно, больше всего в пространстве будет квантов, которые рождаются на звездах типа нашего Солнца и горячих звездах. Эти звезды излучают главным образом свет с частотой квантов около 10^{15} герц.

Следовательно, таких квантов в космосе будет особенно много. На кривой рис. 1 здесь имеется максимум. Однако это еще не все. В любое место пространства приходит свет не только от близлежащих галактик, но и от галактик очень далеких. Причем от далеких галактик света приходит в среднем больше, чем от близких¹. На первый взгляд это кажется парадоксальным, ведь свет далеких галактик ослабляется из-за огромного расстояния. Однако надо учесть, что далеких галактик гораздо больше, чем близких, и увеличение их общего числа с расстоянием пересиливает ослабление света от этих далеких систем. Если бы галактики не удалялись от нас, то общее излучение определялось бы самыми далекими звездными системами, какие только существуют.

Но, как известно, галактики удаляются друг от друга и чем они дальше, тем больше скорость удаления.

При удалении галактик, благодаря эффекту Доплера, уменьшается частота световых квантов, их энергия и поток. Это все необходимо учесть при подсчетах. Кроме того, надо учесть, что в далеком прошлом галактики светили иначе, чем сейчас. Такие расчеты были проведены в лаборатории теоретической астрофизики АН СССР А. Г. Дорошкевичем и автором два года тому назад и получился спектр, изображенный на рисунке.

В области низких частот (радиоволны с частотой $< 10^{12}$ герц) основное излучение создается не звездами, а нетепловыми процессами и в нашей Галактике, и в других галакти-

¹ Здесь надо оговориться, что если точка наблюдения расположена внутри какой-нибудь галактики (например, на Земле), а не между галактиками, то больше всех света дают звезды этой галактики.

как, и в так называемых радиогалактиках, дающих особенно много радиоволн.

Оказывается, что радиогалактики, имеющие нетепловое излучение, дают тем большую интенсивность радиоволн, чем меньше частота. Спектр здесь снова поднимается вверх.

Минимум излучения приходится на частоту 10^{12} герц. Таков спектр плотности излучения в межгалактическом пространстве. Это то, что создается звездами и современными радиогалактиками. Но оказывается, возможно, что в межгалактическом пространстве имеются кванты, возникшие не в галактиках, а 10 миллиардов лет назад, когда галактик еще не было и плотность вещества Метагалактики была гораздо больше, чем сейчас. Десять миллиардов лет назад плотность материи была порядка ядерной плотности и даже больше. Согласно теории Альфера и Гамова, в то время температура была очень велика, и плотность излучения была больше, чем плотность вещества. Спустя много времени, когда вещество расширилось до современного состояния и образовались галактики и звезды, первичное излучение осталось. Правда, с расширением температура падает, плотность излучения убывает, причем быстрее, чем плотность вещества. Сейчас плотность первичного излучения, согласно расчетам по теории Гамова, гораздо меньше плотности вещества и температура излучения всего 1° — 10° абсолютной шкалы Кельвина (в зависимости от первоначальных условий).

Спектр этого излучения изображен на рис. 1 пунктиром. Такое излучение на средних частотах гораздо больше, чем излучение, создаваемое и радиогалактиками и звездами всех современных источников. Это излучение, которое должно остаться от тех времен, когда возникла расширяющаяся Метагалактика.

Итак, на средних частотах мы должны сейчас наблюдать сравнительно большее излучение. Правда, такой вывод получается не при всех предположениях о начальном состоянии вещества Метагалактики. Это следует только из теории Гамова, согласно которой первоначальная температура вещества была весьма большой.

Однако возможны и другие предположения. Согласно гипотезе академика Я. Б. Зельдовича, в начале расширения Вселенная была холодной, температура вещества составляла 0° и излучения совсем не было. В этом случае сейчас не должно быть остатков первичного излучения. В зависимости от того, будет наблюдаться сейчас такое излучение или нет (на радиоволнах сантиметрового диапазона), можно сделать вывод о состоянии вещества в начале расширения. На важность таких наблюдений было указано в работе советских астрофизиков, упомянутой в начале статьи. Летом 1965 г. на это же обратил внимание американский астрофизик Лике. Этот

вывод чрезвычайно важен и интересен. Выяснить, какая гипотеза верна, очень важно, так как от начального состояния зависит множество процессов, протекавших в те времена и определяющих во многом распространенность легких химических элементов во Вселенной.

Летом 1965 г. было сообщено, что американские радиоастрономы наблюдали на длине волны $7,5\text{ см}$ излучение, которое было предсказано.

Оно соответствует современной температуре первичного излучения $3,5^\circ$. Напомним, что по теории Гамова предсказывалась современная температура первичного излучения в пределах $1\text{—}10^\circ$. Таким образом, подтверждается вывод о том, что вещество в далеком прошлом (10 миллиардов лет назад) находилось в плотном состоянии и кроме того обладало высокой температурой. Если дальнейшие радионаблюдения подтвердят сделанное открытие, то это будет окончательное подтверждение теории Гамова, и мы получим интереснейшие сведения о далекой эпохе, определившей современное состояние Вселенной.

*Доктор физико-математических наук
Я. А. Смородинский*

О РАЗБЕГАНИИ ГАЛАКТИК И О НЕЙТРИНО В КОСМОСЕ

Явление, о котором пойдет речь, состоит в том, что далекие галактики и их скопления обладают спектром, не совпадающим со спектрами элементов, известных на Земле, или зарегистрированных у космических объектов, расположенных не очень далеко от нас.

Спектры далеких объектов отличаются тем, что линии в них сдвинуты в красную сторону. Это явление называют красным смещением. Было показано, что величина красного смещения, т. е. относительное изменение длины волны, пропорционально расстоянию от светящихся объектов до наблюдателя на земле. Очень важно, что относительное изменение длины волны (отношение смещения к самой длине волны) оказалось одинаковым в разных частях спектра (например, в его оптической части и в спектре радиоизлучения) в полном согласии с предсказаниями теории.

Со времени окончания второй мировой войны оценки расстояний изменялись в сторону возрастания и достигли вдвое больших величин по сравнению с первоначальными. Поэтому астрономическая шкала достаточно неопределенная и, может быть, будут найдены еще ошибки, но так или иначе астрономы научились измерять большие расстояния. Из данных наблюдений был установлен закон Хаббла, который устанавливает пропорциональность между изменением длины волны в красную сторону и расстоянием до светящегося объекта.

Теоретическая сторона этого вопроса ведет начало от работ русского математика Фридмана. Сейчас всем ясно, что вопрос о геометрии нашего мира, т. е. вопрос о том, является

ли она евклидовой или неевклидовой или попросту вопрос о том, чему равна сумма углов треугольника, не есть вопрос только теории и он не может быть решен умозрительно. Это вопрос эксперимента.

Нужно исследовать геометрию экспериментальным путем, как и любое другое свойство нашего мира. Но если принять за возможное, что геометрия Евклида не есть геометрия Вселенной и что сумма углов очень большого треугольника не будет равна 180° , то ниоткуда не следует, что сумма углов треугольника, равная чему-то другому, должна быть постоянной во времени, а не могла, скажем в давние времена, быть меньше, чем сейчас.

Ведь может быть, что сама геометрия, если она уже неевклидова, эволюционирует со временем. Это и было открыто Фридманом теоретически на основе уравнений общей теории относительности. После долгих споров с такой нестационарной геометрией, или, как теперь говорят, «расширяющейся Вселенной», согласилось большинство людей.

Только через семь лет после работы Фридмана был открыт экспериментально закон Хаббла; о нем можно рассказать так: когда мы смотрим в небо и видим очень далекие объекты, то мы видим их не такими, какими они есть сейчас, а такими, какими они были много лет назад. Мы их видим моложе на величину, равную расстоянию до этого объекта, деленному на скорость света. А значит мы видим не ту геометрию, которая есть сейчас на нашей Земле, а ту, которая была много лет назад. Из теории следует, что все кванты должны «стареть» и их частота или, что то же, энергия должна уменьшаться. Это значит, что кванты от далеких миров, долго блуждавшие в пространстве, должны быть более «красные», чем те, которые излучились недавно.

Поскольку во Вселенной все расстояния увеличиваются, то соответственно будет расти и длина волны. Это значит, что энергия будет уменьшаться, а длина волны увеличиваться. Куда же девается энергия? Она идет на изменение энергии гравитационного поля.

Однако теория показывает, что закон Хаббла не есть точный закон, а он верен до тех пор, пока мы можем ограничиваться линейным приближением, пока расстояния не очень велики (скажем, не больше 1 млрд. световых лет). Как и всякий линейный закон, он подобен закону Ома, верному лишь для малых величин. Очень важно знать, что происходит на очень больших расстояниях, в какую сторону отклоняется закон Хаббла, ускоряется ли светящийся объект — скопление галактик или замедляется с увеличением расстояния. Это еще никому не известно.

Теория расширяющейся Вселенной вызвала много дискуссий. Надо признаться, что сама теория достаточно грубая и

в ней многое еще нуждается в уточнении. Главная проблема, конечно, в наблюдениях, которые должны ответить на вопрос о том, будет ли Вселенная неограниченно расширяться или когда-нибудь расширение сменится сжатием.

Последнее открытие, о котором говорит И. Г. Новиков, дает важный аргумент в пользу того, что расширяющаяся Вселенная представляет собой не просто математическую формулу, модель которой можно проверить лишь косвенно по закону Хаббла. Сейчас обнаруживаются более тонкие детали этого процесса, и, если радиоизлучение, о котором рассказывалось, окажется действительно тепловым (а по последним данным похоже, что это так), то мы должны будем относиться значительно серьезнее, чем до сих пор, к выводам релятивистской космологии и космогонии.

В связи с судьбой расширяющегося мира возникает еще один вопрос, который сейчас, вероятно, следует отнести к ряду спекулятивных, так как слишком мало мы о нем знаем. Это вопрос о судьбе нейтрино. В нашем мире, кроме квантов света, которые мы видим в лаборатории, о которых мы знаем, зачем они нужны и которые переносят на огромные галактические расстояния практически всю информацию о галактиках, существует второй сорт частиц также с массой, равной нулю. Это нейтрино. С нейтрино, идущими из космоса, связано несколько проблем, которые заставляют нас с нетерпением ожидать, когда появятся регистрирующие их телескопы.

Прежде всего, само по себе интересно, сколько нейтрино есть во Вселенной.

Нейтрино подобно свету также имеет красное смещение. Поэтому даже если в начале расширения Вселенной было очень много нейтрино с большой энергией, то в процессе эволюции их частота упала, их энергия опустилась ниже пределов, которые мы можем детектировать, и они, по-видимому, на очень долгое время исчезли из той сферы, которую могут регистрировать наши приборы.

Чудесное свойство физики состоит в том, что даже объекты, которые исчезают от прямого наблюдения, тем не менее оказывают существенное влияние на какие-либо другие свойства; так нейтрино, если их много, будут обладать в сумме большой энергией, и потому будут создавать заметные поля тяготения, увеличивая тем самым кривизну Вселенной.

Интересно, что, с одной стороны, нейтрино чудовищно слабо взаимодействует, оно пронизывает всю Вселенную насквозь, практически не столкнувшись ни с одним атомом, но тем не менее оно создает гравитационное поле, взаимодействие с гравитационными силами Вселенной и, быть может, играет существенную роль в организации геометрии нашего мира.

Вторая загадка, которую дает нейтрино, вызвала много споров.

Известно, что нейтрино встречается в лабораториях в процессах двух сортов. Прежде всего это нейтрино, рождающееся при бета-распадах ядер. В электронных распадах вылетает частица, которую по историческим причинам называли анти-нейтрино и которая летит в пространстве подобно нормальному ввинчивающемуся винту; в позитронных распадах возникает другое нейтрино, подобное левому винту: оно летит в пространстве, ввинчиваясь как редко встречаемый в лаборатории винт с левой нарезкой. Эти два нейтрино относятся друг к другу как частица и античастица и в том, что их две, ничего неожиданного нет. Однако существует еще одно нейтрино, которое рождается в распадах, связанных с излучением мю-мезона.

Напомним немного о мезонах. Нам известен пи-мезон, который примерно через 0,02 микросекунды распадается на более легкий мю-мезон и нейтрино. Никто не сомневается в том, что свет, который излучается, скажем, Крабовидной туманностью, и свет, который излучается лампой на нашем столе, отличается друг от друга только спектральным составом, одинаковые же кванты одной и той же энергии (и поляризации) нельзя отличить друг от друга; никто не сомневался, что излучение всегда одно и то же: что если задать частоту и поляризацию, это будет полная характеристика γ -кванта.

По аналогии с этим, почти все были уверены, что где бы ни возникало нейтрино — оно будет одинаковым.

И тем не менее, нейтрино оказались различными. Это было выявлено многими способами и хотя этому трудно было поверить, но факт есть факт и сейчас уже никто не сомневается, что есть два разных нейтрино.

Представьте положение физика, который знает, что есть частица, у которой нет заряда, нет магнитного момента и, тем не менее, она несет с собой информацию о своем рождении.

Нейтрино характеризовали направлением вращения, которое разное у нейтрино и антинейтрино. Далее у нейтрино есть энергия и казалось бы все. Нейтрино с одинаковым направлением вращения и той же энергией должны быть казались бы неотличимы. Что еще может быть у частицы, чтобы она «запомнила», когда она родилась? Каким образом эта информация «записана» на частице?

Если немного подумать, делается страшно, до какой степени мы не понимаем, что происходит в мире.

Винт можно покрасить краской, чтобы выяснить, откуда мы его взяли. Но как это сделать с элементарной частицей, у которой нет ни размеров, ни массы?

Интересно узнать, а может быть, все же нейтрино не всегда помнит, когда родилось? Может быть, в лаборатории, проходя всего несколько сантиметров со скоростью света, оно помнит об этом? А нейтрино, приходящее из космического пространства, может быть, забудет о своем происхождении?

Интересно, какие реакции дадут нейтрино, родившиеся на Земле, и нейтрино, которые пришли из недр Солнца, или нейтрино, пришедшие из космического пространства.

Нейтрино задавало загадки с самого своего открытия, в начале 30-х годов. Оно опять оказывается в центре событий. Здесь говорили, что под землей в двух лабораториях уже научились регистрировать нейтрино. Может быть, мы скоро узнаем, как ведет себя нейтрино, пришедшее от Солнца, и, может быть, мы поймем, каким образом эта частица, не обладающая почти никакими свойствами, хранит у себя историю своего рождения.

В заключение я хотел бы ответить на три вопроса и развеять три заблуждения.

По вопросу об антимирах, вероятно, можно говорить много, но нужно иметь в виду, что никаких наблюдательных данных о существовании какого-либо космического объекта, которому можно приписать свойства антимира, пока не открыто. Но можно все же добавить, что на земле уже известны антипротон, антинейтрон и антидейтрон и, по-видимому, антипритий.

Второе заблуждение по поводу антивещества. Существует странное утверждение, которое, как «сорняк», нельзя вывести из литературы. Говорят, что будто бы есть возможность, что вещество и антивещество должно отталкиваться, а не притягиваться. Это основано на ошибке. Мы знаем, что, кроме положительно заряженного электричества и отрицательно заряженного электричества, есть еще нейтральные тела. И мы знаем, что два нейтральных тела не притягиваются и не отталкиваются. Аналогично существует протон и антипротон, но существует фотон и не существует антифотона. Значит, существуют вещества, которые совпадают сами с собой в смысле «анти». Продолжая рассуждение по аналогии с электроном, мы придем к выводу, что фотон не должен взаимодействовать с гравитационным полем другой системы; однако мы знаем, что фотон отклоняется в поле Солнца. Поэтому как антивещество, так и вещество должно падать на Солнце («сделанное» из вещества).

Поэтому для того чтобы допустить гравитационное отталкивание частицы от античастицы, нужно отказаться от теории тяготения. Цена явно слишком высокая.

Наконец, еще один вопрос (он ехиден). Спрашивают, не подтверждает ли открытие нейтрино теорию Маха и Авенариуса о дроблении материи. Нужно иметь в виду, что боль-

шей частью философы формулируют свою теорию в таких терминах, которые нельзя ни доказать и ни опровергнуть на опыте. В частности, такие высказывания Маха и Авенариуса ничего не означают. Физики предпочитают вопросы, на которые можно ответить «да» или «нет» определенным экспериментом. Таких экспериментов у Маха и Авенариуса не предложено и о их приоритете вопрос стоять не может.

СОДЕРЖАНИЕ

	<i>Стр.</i>
В. А. Амбарцумян. Звезды, галактики, вселенная	3
Б. А. Воронцов-Вельяминов. Новые исследования галактик	10
В. Л. Гинзбург. Новые пути в астрономии . . .	15
Г. И. Наан. Революция в астрономии	21
И. Д. Новиков. Радиоизлучение на волне 7,5 см	36
Я. А. Смородинский. О разбегании галактик и о нейтрино в космосе	40

Составитель *А. Г. Чернов*
Редактор *И. Б. Файнбойм*
Техн. редактор *М. Т. Перегудова*
Худож. редактор *Е. Е. Соколов*
Корректор *Г. П. Ефименко*
Обложка *Л. П. Ромасенко*

Сдано в набор 19.III 1966 г. Подписано к печати 22.IV 1966 г. Изд. № 136.
Формат бум. 60×90¹/₁₆ Бум. л. 1,5 Печ. л. 3,0 Уч.-изд. л. 2,53
A12359. Цена 9 коп. Тираж 81 600 экз. Заказ 964.

Опубликовано тем. план 1966 г. № 216.
Издательство «Знание». Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4.

Типография изд-ва «Знание». Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4.

НОВЫЕ РАБОТЫ издательства «ЗНАНИЕ»

В III квартале этого года в издательстве «Знание» по серии «Радиоэлектроника и связь» выйдут следующие брошюры:

Палатов К. И. Приборы сверхвысокой частоты. 48 стр., 9 коп. III кв. Принять сигнал большой частоты, соответствующей длинам волн в десятки сантиметров, обычный приемник не в состоянии. Однако в технике уже много лет используются приборы, действие которых основано на физических законах сверхвысоких частот. Важность диапазона СВЧ является следствием огромной информационной емкости этого диапазона. Читатель узнает об увлекательной технике СВЧ, о ее возможностях и перспективах.

Тем. план 1966 г., № 260.

Голованов Л. В. Третий путь электроники. 48 стр., 9 коп., III кв. Представьте, что нужно отправить на одну из планет солнечной системы автоматическую станцию, которая выполнила бы цикл работ по изучению поверхности планеты. Сколько нужно приборов для такого комплексного исследования? Наверное несколько сотен, если не больше. Но возможности ракеты-носителя весьма ограничены, особенно в том случае, когда цель далека.

Значит, аппаратуру нужно сделать «микроминиатюрной», совсем маленькой по размерам. Большие перспективы в этом направлении открываются с внедрением газонаполненных ламп с холодным катодом.

Последние достижения в этой области освещены в данной работе.

Тем. план 1966 г., № 261.

Григорьянц В. В., Золин В. Ф. Лазеры сегодня и завтра. 48 стр., 9 коп., III кв.

Кто не слышал о величайшем открытии последних лет — лазерах! Это поразительные приборы, вызвавшие революцию в технике генерации излучения. Но лазерная техника не стоит на месте, и каждый год знаменуется или важным усовершенствованием квантовых генераторов или отысканием нового их применения.

О перспективах новой техники генерации расскажет эта брошюра.

Тем. план 1966 г., № 257.

Указанные работы вы можете заказать в магазинах книготорга и потребкооперации до выхода их в свет.

Предварительный заказ на брошюры оформляется на обычной почтовой открытке следующим образом: в графах «Куда» и «Кому» укажите свой адрес и фамилию, на обороте — фамилию автора, название брошюры, издательство и порядковый номер по тематическому плану, указанный в конце аннотации.

При поступлении в продажу этой брошюры магазин сразу же поставит вас в известность.

На брошюры серии «Радиоэлектроника и связь» можно оформить подписку. В год выходит 12 брошюр.

Подписная цена:

На 3 месяца — 27 коп.

На 6 месяцев — 54 коп.

Серия «Радиоэлектроника и связь» помещена в дополнении к каталогу «Сюзепечать» под индексом 70091.

9 КОП.

Индекс
70072

Издательство «Знание»
Москва 1966