

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ

(ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК)

4

МОСКВА • 1968

НЕСТАЦИОНАРНЫЕ ОБЪЕКТЫ ВО ВСЕЛЕННОЙ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ КОСМОГОНИИ

В. А. АМБАРЦУМЯН
академик

В 1969 г. в издательстве «Наука» (Главная редакция физико-математической литературы) выйдет книга «Проблемы современной космогонии», написанная коллективом авторов: В. А. Амбарцумяном, Л. В. Мирзояном, Г. С. Саакяном, С. К. Всехсвятским, И. Д. Караченцевым и В. В. Казютинским.

Ниже мы публикуем одну из глав этой книги.

В развитии современной астрономии есть одна характерная особенность, привлекающая все большее внимание. Если до конца XIX в. астрономия имела дело, главным образом, с объектами, изменения которых во времени столь незначительны, что не обнаруживались тогдашними наблюдательными средствами, то современная астрономия открыла много типов космических тел, в которых происходят относительно быстрые изменения, иногда носящие катастрофический характер.

ПЕРВЫЕ ОТКРЫТИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ОБЪЕКТОВ ВО ВСЕЛЕННОЙ

Какие типы космических объектов изучались астрономами в конце XIX в.?

Прежде всего, планеты солнечной системы. Наблюдения указывали на происходящие в их атмосферах изменения. Но эти временные, преходящие изменения в отдельных местах не рассматривались как необратимые, так как они, как правило, не меняли состояния атмосферы в целом.

Далее объектом тщательных исследований был мир «неподвижных» звезд, само название которых связано с тем, что изменения их положений в течение времени наблюдений являются небольшими.

В конце XIX столетия уже обращали внимание на физические изменения в состоянии звезд. Производились многочисленные наблюдения блеска звезд, в том числе переменных, начались исследования изменений в их спектрах. Однако главное внимание уделялось периодическим переменным, таким, как цефеиды и звезды типа Миры Кита, у которых каждый период заканчивается возвращением приблизительно к первоначальному состоянию. Но из периодического характера изменений еще нельзя судить о направлении процесса развития. Тогда считалось, что даже неправильная переменная звезда с течением времени должна сколь угодно близко вернуться к любому уже наблюдавшемуся ее состоянию. Значение происходящих у звезд изменений оставалось совершенно не ясным для общей эволюции звезд.

Единственно известными тогда объектами, нестационарными в современном

смысле слова (т. е. подверженными таким изменениям, которые сильно преобразуют состояние объекта, исключая возможность его возврата к прежним состояниям) были коротко-периодические кометы в солнечной системе и новые звезды в Галактике. Что касается еще более глубоких изменений крупного масштаба, то, пожалуй, единственным, но имеющим фундаментальное значение открытием, было обнаружение дерптским астрономом Гартвигом в 1885 г. вспышки Сверхновой вблизи ядра туманности Андромеды. Конечно, в то время еще никто не думал, что сверхновые звезды — особая категория мощных взрывных явлений, происходящих в звездных системах. (С тех пор в Местной системе галактик, т. е. на относительно близких расстояниях от нас, не было обнаружено ни одной другой сверхновой, поэтому наблюдения Гартвига продолжают сохранять и сейчас огромное значение.)

«Спокойная» картина медленно меняющегося мира, в котором состояния всех объектов почти стационарны, полностью гармонировала со стройными механистическими представлениями о Вселенной, развитыми на основе небесной механики и только что зародившейся астрофизики, изучавшей, главным образом, равновесное тепловое излучение звезд.

НЕСТАЦИОНАРНЫЕ ОБЪЕКТЫ В ГАЛАКТИКЕ

В XX в. накопление наблюдательных данных о звездах и звездных системах происходило все возрастающими темпами. Уже в первой четверти столетия успехи астрономии значительно превзошли достижения предыдущего века. Последующие десятилетия привели к дальнейшему быстрому росту темпов получаемой информации. Это обстоятельство, наряду с развитием теоретической астрофизики, послужило толчком для развертывания более систематических и глубоких исследований по выявлению нестационарных состояний и процессов, в частности, и среди тех, которые на первый взгляд кажутся совершенно стационарными.

Начало XX в. ознаменовалось открытием вспышки новой звезды в Персее. Наблюдения последствий этой вспышки в значительной мере содействовали правильному пони-

манию явления новых звезд. Было установлено, что как при этой вспышке, так и при вспышках других звезд возникали небольшие расширяющиеся газовые туманности: их вещество было выброшено из звезд в результате взрывов.

Развитие теоретической астрофизики позволило количественно оценить масштаб не только звездных взрывов, но и многих других явлений, прежде считавшихся стационарными, которые, как оказалось, ведут к глубоким необратимым изменениям в состоянии звезд. В качестве примера рассмотрим звезды типа Вольфа — Райе. Спектральный анализ показал, что из атмосфер этих звезд происходит непрерывное истечение вещества. Изменение интенсивности линий позволило рассчитать количество вещества, выбрасываемого одной звездой Вольфа — Райе за год, 10^{-5} — 10^{-6} масс Солнца. Это означает, что уже за несколько десятков тысяч лет, т. е. за короткий в космическом масштабе промежуток времени, может произойти существенная убыль массы звезды Вольфа — Райе, что ведет к изменению ее физического состояния, т. е. к переходу звезды из одного состояния в другое, резко отличающееся от первоначального. С другой стороны, наблюдения показали, что в течение десятилетий не происходит заметных изменений в характере спектра звезд. Таким образом, сам факт относительного постоянства спектра этих звезд, а следовательно, и процесса истечения вещества из их атмосфер приводит к выводу, что за короткое (в космических масштабах) время происходит резкое изменение состояния звезды. Любопытный случай, когда за эмпирической констатацией неизменности наблюдаемых характеристик объекта скрываются грандиозные и довольно быстрые изменения в его состоянии!

Следует отметить, что в первой трети XX в. вопросы происхождения и развития небесных тел в большинстве случаев рассматривались на основе умозрительных рассуждений, причем огромное количество появившихся тогда наблюдательных данных почти не использовалось или прямо игнорировалось. В соответствии с традицией, восходящей к космогоническим гипотезам XVIII — XIX столетий, считалось, что все небесные тела возникли из некогда существовавшей протяженной туманности. В нашей Галактике мы сейчас не наблюдаем очень



ПЛАНЕТАРНАЯ ТУМАННОСТЬ в созвездии Лиры. Планетарные туманности — нестационарные объекты: наблюдения свидетельствуют об их расширении

больших масс диффузной материи, и подавляющая часть ее вещества сосредоточена в звездах. Этот факт пытались объяснить тем, что процесс образования звезд Галактики завершился в какую-то отдаленную эпоху в прошлом, а сейчас Галактика не переживает сколько-нибудь быстрого, доступного наблюдениям, развития.

Очевидно, однако, что, высказывая те или иные суждения об изучаемом объекте и его эволюции, мы должны исходить не из априорных допущений, а из анализа свойств данного объекта, выведенных на основе обобщения наблюдательных данных. Такой подход опирается на известный диалектико-материалистический принцип: каждому уровню материального мира соответствуют свои собственные, отличные от других структурные и эволюционные закономерности. Исходя из этого, в 30-е годы в Ленинградском университете впервые начались иссле-

дования, которые привели к формулировке новых представлений о темпах и путях развития многих типов звезд и звездных систем.

Методами теоретической астрофизики было показано, что планетарные туманности не могут быть стационарными объектами. Почти одновременно было открыто их расширение. В этом случае, так же как и в случае новых звезд, мы имеем дело с выбросом звездой газовых масс, превратившихся в туманность. Анализ наблюдательных данных о стационарности или нестационарности звезд и звездных групп, входящих в Галактику, привел к выводу, что наша Галактика (в противоположность общепринятым ранее представлениям) — система, в которой происходят бурные и подчас весьма быстрые изменения.

Применение принципов звездной динамики к открытым звездным скоплениям позволило установить, что если даже такие

скопления и находятся в «стационарном» состоянии, то вследствие взаимодействия звезд они должны как бы «испаряться». Отдельные звезды, подобно молекулам на поверхности жидкости, с течением времени уходят из скопления. В результате многие скопления должны будут исчезнуть всего лишь через несколько сотен миллионов лет, а некоторые из них — даже через немногие десятки миллионов лет.

Такому же анализу была подвергнута совокупность визуально-двойных звезд Галактики. Выяснилось, что процессы распада звездных пар, происходящие вследствие их встреч со звездами окружающего поля, доминируют над процессами возникновения новых пар при случайных сближениях звезд.

Количество одиночных звезд в общем звездном поле Галактики постоянно растет за счет распада скоплений и визуально-двойных звезд, причем этот процесс идет только в одном направлении. Таким образом, **распад и рассеяние** (в полном соответствии со вторым началом термодинамики) характеризуют **общую направленность** процессов в нашей Галактике и, как оказалось впоследствии, также в других галактиках.

Было сформулировано понятие «короткой шкалы» возраста Галактики и образующих ее звезд. Согласно «долгой шкале», принятой в начале 30-х годов, предполагалось, что возраст звезд Галактики составляет 10^{12} — 10^{13} лет. Но открытие неизбежного распада звездных групп и скоплений за сравнительно короткие сроки свидетельствовало, что Галактика в ее современном состоянии не может иметь возраст, превосходящий (по порядку величины) 10^9 — 10^{10} лет.

В 30—40-е годы были получены новые важные данные о направленности процессов в звездных системах и о возрасте звезд в Галактике. Например, оказалось, что сверхновые — особый класс звезд, вспышки которых по своей мощности значительно превосходят вспышки обыкновенных новых. Энергия, освобождаемая при взрыве сверхновой, составляет 10^{50} эрг, что сравнимо с тепловой энергией, содержащейся в газовой звезде. Совершенно очевидно, что взрыв сверхновой представляет собой процесс перехода звезды из одного состояния в другое, качественно от него отличное. Вместе с тем, «редкость» сверхновых свидетельствует, что вспыхивать, как сверхновые, могут не все звезды, а только некоторые их типы.

Как теперь известно, в результате взрыва сверхновой возникают гигантские туманности, излучающие в оптическом, а иногда и в радиодиапазонах.

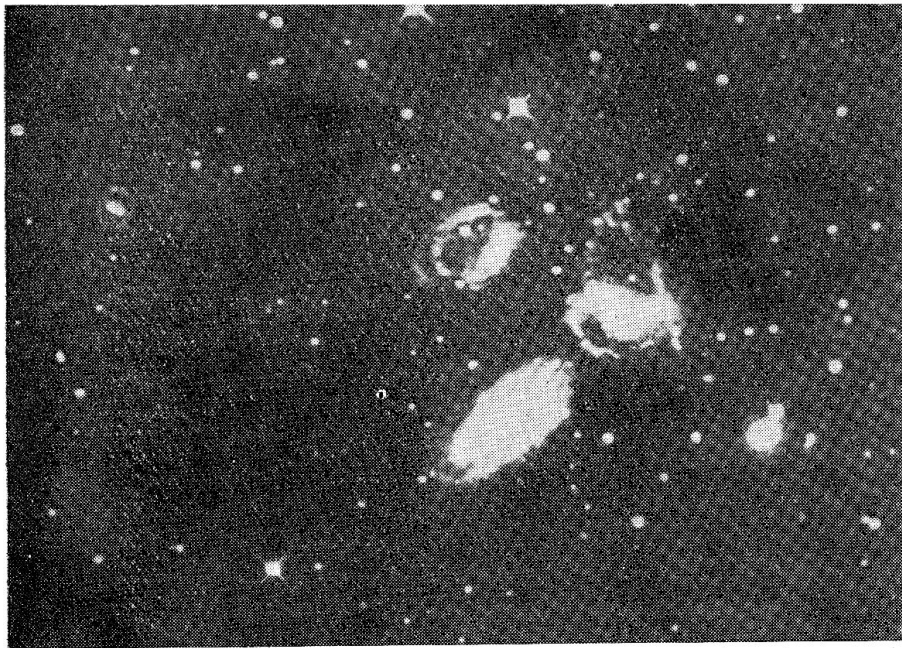
Факты доказывают, следовательно, что возникновение туманностей из звезд — довольно распространенное явление. Но мы не знаем пока ни одного случая, когда из диффузной материи возникал бы плотный объект, хотя это и допускалось в старых космогонических гипотезах, а также во многих распространенных до сих пор космогонических теориях.

Бюраканские астрономы в конце 40-х годов открыли новый тип звездных систем — звездные ассоциации: недавно возникшие группы, распадающиеся вскоре после своего рождения. Эти системы в большинстве своем оказались нестационарными в полном смысле слова, поскольку входящие в них звезды быстро удаляются друг от друга. Следовательно, нестационарной оказалась и наша Галактика, так как процесс возникновения новых звезд (в виде звездных ассоциаций) продолжается в ней и в современную эпоху.

Открытие звездных ассоциаций пролило новый свет и на давно известные данные о кратных звездах типа Трапеции Ориона. Внешне как будто ничто не указывало на неустойчивость систем типа Трапеции. На самом деле они распадаются в ничтожно короткие с космогонической точки зрения сроки (порядка 10^6 лет и меньше). Это открытие явилось сильным аргументом в пользу представления о важнейшей части процесса космической эволюции — рассеянии вещества из первоначальных малых объемов. В противоположность этому, наблюдения по-прежнему не давали никаких указаний на возможность перехода из диффузного состояния в более плотное.

НЕСТАЦИОНАРНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ДРУГИХ ГАЛАКТИКАХ. КОСМОГОНИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЯДЕР ГАЛАКТИК

В 30-е годы еще не было достаточного количества данных о галактиках, а классификация галактик Хаббла фиксировала только существование некоторых правильных форм галактик, которые свидетельствовали об известной степени их стационарно-



ТЕСНАЯ ГРУППА ГАЛАКТИК — Квинтет Стефана. Большинство галактик, как показали наблюдения, входят в группы и скопления

сти. Однако в послевоенный период введение в строй крупных телескопов системы Шмидта позволило значительно расширить наши знания о звездных системах. Было опровергнуто представление Хаббла о равномерном распределении галактик в пространстве. Оказалось, что большинство их входит в группы и скопления, существование же общего поля галактик, заполняющих пространство между скоплениями и группами, вообще подвергнуто сомнению.

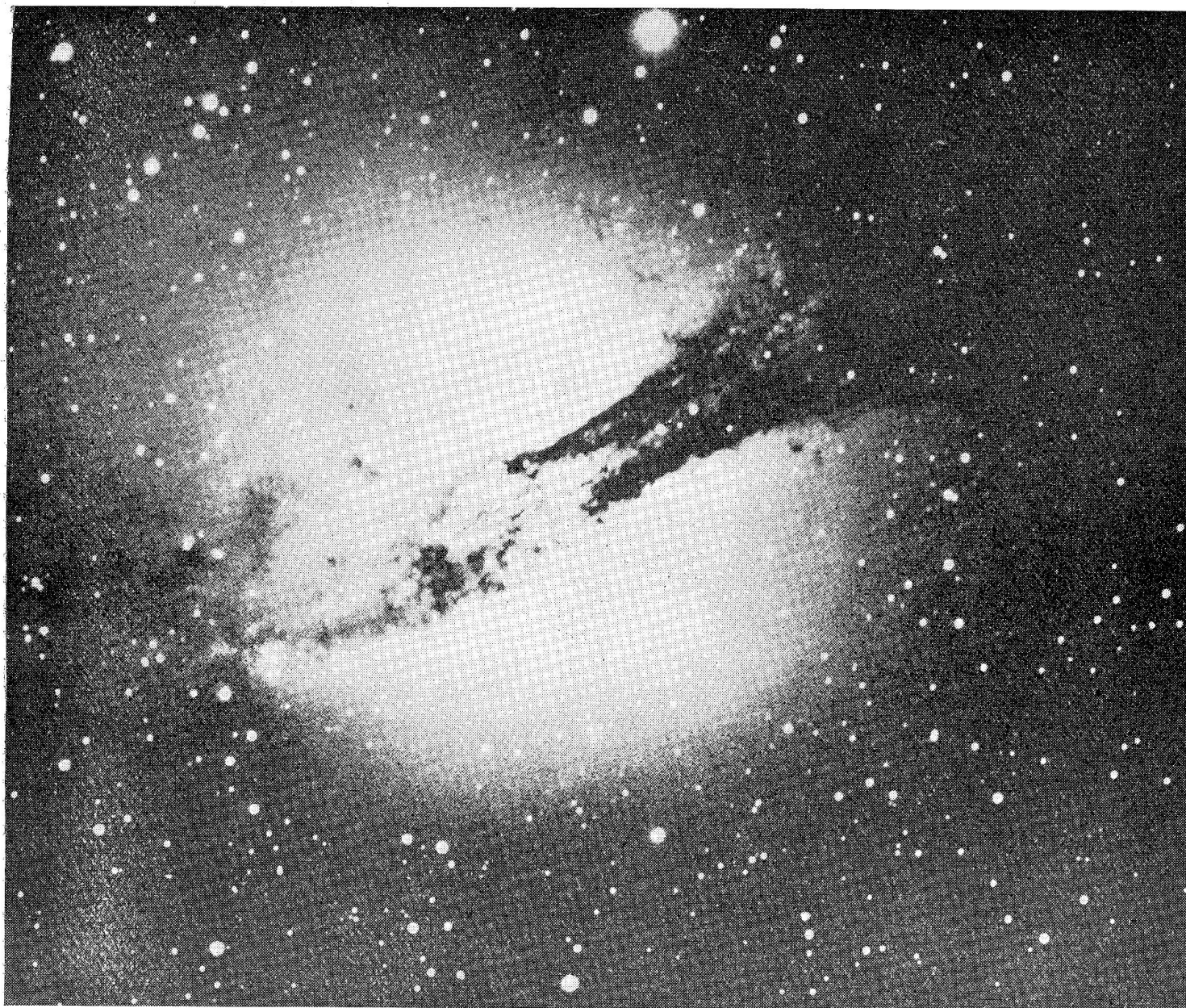
В 50-е годы среди галактик, их групп и скоплений было открыто значительное количество явно нестационарных систем. У многих групп и скоплений галактик обнаружили большую дисперсию скоростей, что свидетельствует о неустойчивости соответствующих групп. Это явление объяснялось следующим образом: при возникновении скоплений входящие в них галактики получают столь большие скорости, что силы взаимного притяжения недостаточны, чтобы сохранить эти скопления как системы. Более того, оказалось, что среди кратных галактик процент неустойчивых систем типа Трапеции во много раз выше, чем среди кратных звезд. Иными словами, вместо отдельных проявлений нестационарности мы наблюдаем повсеместные процессы распада скоплений и групп галактик.

В чем причина этого различия между

звездными группами и группами и скоплениями галактик?

Звездные ассоциации распадаются за время всего лишь порядка 10^7 лет, тогда как жизнь звезды обычно продолжается миллиарды лет. Поэтому, если даже звездообразование идет очень интенсивно, звезды, которые вышли из групп в общее звездное поле, составляют подавляющее большинство. Иное положение в мире галактик. Время распада скоплений и кратных систем измеряется здесь сотнями миллионов и миллиардами лет. Но так как и возраст галактик измеряется ненамного большими сроками, то значительная часть галактик еще не успела уйти из неустойчивых скоплений и групп.

Новые возможности изучения нестационарности в галактиках открыла радиоастрономия. Многие объекты, открытые радиоастрономическими методами, — радиотуманности и радиогалактики — являются, по существу, нестационарными и могут излучать в радиодиапазоне лишь в течение коротких промежутков времени. Рассмотрим, например, два таких интенсивных радиоисточника, как Кассиопея А и Крабовидная туманность, которые возникли в результате вспышек сверхновых. Возраст каждого из этих объектов не превосходит 1000 лет. Что касается радиогалактик, то хотя длительность их радиоизлучения измеряется миллионами



ЭЛЛИПТИЧЕСКАЯ РАДИОГАЛАКТИКА в созвездии Центавра. Радиогалактики, по существу, — нестационарные объекты. Они могут излучать в радиодиапазоне лишь в течение коротких промежутков времени. Правда, эти промежутки времени измеряются миллионами лет, но этот срок мал по сравнению с возрастом галактик

лет, все же этот срок мал по сравнению с возрастом галактик. Иными словами, радиогалактики — краткая, переходящая фаза эволюции галактик.

Изучение радиогалактик привело к обоснованию идеи о гигантских взрывных процессах, происходящих в ядрах галактик. Дело в том, что обычная галактика становится радиогалактикой, когда в ней возни-

кают большие массы радиоизлучающего рассеянного вещества. Откуда могли взяться эти массы? Во внешних частях галактик, как показал анализ проблемы, соответствующих механизмов нет. С другой стороны, природа внутренних областей галактик, в частности их ядер, была неизвестна. Естественно допустить, что именно из ядра могут выбрасываться массы, которые затем превращают-

ся в радиоизлучающие облака. Эти облака довольно быстро удаляются от ядер; отсюда следовало, что весь процесс носит взрывной характер. Если тот период жизни галактики, когда она испускает интенсивное радиоизлучение, назвать **радиовспышкой** галактики, то можно утверждать, что радиовспышка галактики — результат гигантского взрыва в ее ядре. Сначала представление о взрывах в ядрах галактик решительно отвергали те астрономы, которые продолжали считать, что космическая эволюция связана с концентрацией диффузного вещества. Ими была предложена и приобрела широкую популярность ни на чем не основанная гипотеза о том, что причиной радиовспышек являются столкновения галактик. Понадобилось почти десять лет, прежде чем была оставлена эта необоснованная и неплодотворная гипотеза. Однако даже для сторонников представления о взрывах в ядрах галактик оказались неожиданными такие открытия, как взрыв, происшедший всего 1,5 миллиона лет назад в ядре галактики M 82, а также движения вещества в околоядерных областях сейфертовских галактик. Тем самым уже в начале 60-х годов было обосновано введенное несколько ранее понятие **космогонической активности ядер галактик**.

При исследовании галактик особенно резко проявились два различных подхода к изучению мощных нестационарных процессов во Вселенной.

Сторонники одного подхода стремятся построить модель явления, исходя лишь из уже известных законов механики и физики. При этом они почему-то считают, что явления в мире галактик ничем качественно не отличаются от явлений в системах меньшего масштаба, забывая, что природа гораздо богаче имеющихся в данный момент представлений о ней. Сторонники противоположного подхода строят модели и теории астрофизических явлений на основе фактических данных, не только не закрывая глаза на трудности, которые возникают при попытке объяснить это явление на основе старых представлений, а, наоборот, сосредоточивая внимание на этих трудностях. Оценивая эти трудности, они приходят к выводу о возможности существования качественно новых явлений и о необходимости изменить привычные взгляды.

20 лет назад все астрономы считали, что ядра галактик состоят из обычных звезд.

Поверхностное исследование оптического излучения ядер, действительно, может легко привести к такому заключению. Однако на основе наблюдений в оптическом и радиодиапазонах постепенно накопились фактические данные, заставившие принять гипотезу о наличии в ядрах также тел незвездной природы, в которых иногда происходят взрывы. Эта гипотеза получила сейчас настолько веские подтверждения, что стала общепринятой. Тем самым была наглядно продемонстрирована плодотворность второго подхода.

Конечно, сторонникам первого из указанных подходов трудно было сразу понять, почему именно второй подход, основанный на последовательном обобщении наблюдательных данных, оказался таким плодотворным. Согласившись с существованием взрывов в ядрах галактик, они стали объяснять их не как результат освобождения энергии, заключенной в ядре (с точки зрения нового, не известного до сих пор свойства вещества), а как следствие гравитационного коллапса диффузного вещества. Таким образом, для объяснения взрыва и рассеяния вещества была выдвинута основанная на традиционных идеях гипотеза о катастрофически быстрой его конденсации!

Гипотеза коллапса оказалась, конечно, совершенно бесполезной, не говоря уже о многих логических трудностях и противоречиях, возникающих при попытке построить модель такого явления. Между тем наблюдательные данные прямо указывают на такое свойство вещества ядра, находящегося в плотном или сверхплотном состоянии, как способность нести в себе большие запасы энергии, сохраняя их до очередного взрыва. Но можно ли это свойство ядра объяснить, исходя из известных законов теоретической физики? Хотя мы не знаем, как именно это сделать, возможность построения модели ядра галактики с наблюдаемыми свойствами на основе известных нам законов теоретической физики полностью не исключается. Если же окажется, что этого сделать нельзя, будет неизбежен вывод, что законы теоретической физики здесь не применимы. Такое предположение кажется не только очень вероятным, но вместе с тем и неувидительным, так как принятая сейчас форма основных законов физики базируется на изучении свойства вещества, хотя и в широком, но ограниченном диапазоне физиче-

ских условий. Но в ядрах галактик или в центре квазизвездных радиоисточников эти законы могут оказаться неприменимыми и должны будут подвергнуться дальнейшим уточнениям и обобщению, что лишь усилит их значение и расширит область их применимости.

Остановимся на этом вопросе подробнее.

Законы физики представляют собой, по существу, **обобщение** определенной совокупности фактических данных, выраженное в возможно более простой и краткой форме. Однако нельзя думать, что система законов теоретической физики, полученная на каком-то определенном этапе развития науки, является абсолютно точной, законченной и не подлежащей дальнейшему обобщению. Эти законы лишь неполно, приближенно отражают объективную реальность и не только могут, но и должны подвергаться уточнениям и обобщению. (Уточнение и обобщение законов природы — это обычно единый процесс. Например, переход от классической механики к специальной теории относительности привел и к уточнению классической механики и к обобщению ее на случай больших скоростей.)

Такой взгляд исходит из анализа развития современного естествознания, которое открывает с течением времени все большее многообразие новых явлений, качественно отличающихся от ранее известных. Для объяснения фактических данных, не укладывающихся в рамки старых представлений, мы уже не раз оказывались вынужденными обобщать физические законы и теории.

Именно такая потребность возникает и при изучении нестационарных процессов в ядрах галактик и квазизвездных объектах. Никогда в прошлом физика и астрономия не изучали концентрации столь больших масс вещества в относительно малых объемах, например, порядка 10^{10} солнечных масс (а иногда и более), сосредоточенных в объемах, во много раз меньших, чем объем какого-либо звездного скопления. Здесь уже речь идет о превращениях вещества, при которых плотность меняется в миллиарды раз, а напряженность гравитационного поля может достигать неслыханных величин. Нет и не может быть никакой гарантии, что известные нам законы физики соблюдаются и в этих условиях. Поэтому, совсем не удивительно, если окажется, что имеющиеся уже сейчас большие трудности теоретического

толкования ряда нестационарных процессов могут перерасти с течением времени в прямое противоречие с известными нам законами теоретической физики.

НЕСТАЦИОНАРНОСТЬ — ЗАКОНОМЕРНАЯ ФАЗА КОСМОГОНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Длительность космогонических процессов в большинстве случаев настолько велика по сравнению с периодом астрономических наблюдений, что непосредственно заметить изменения, вызванные этими процессами, как правило, невозможно. В жизни космических тел и их систем есть и такие этапы, когда в процессе развития возникают новые силы, коренным образом меняющие их состояние. Именно в таких случаях мы говорим, что объект находится в нестационарном состоянии. Быстрота происходящих при этом изменений создает возможность либо наблюдать эти изменения непосредственно (вспышки новых, сверхновых и т. д.), либо делать выводы о них на основе очень ясных косвенных данных (распад открытых звездных скоплений и звездных ассоциаций, взрывы в ядрах галактик).

Стоит отметить любопытный с точки зрения истории науки курьез: астрономы, которые не понимают роли нестационарных объектов в космической эволюции, обычно склонны закрывать глаза на трудности, связанные с их толкованием, считая эти объекты какими-то «уродами», выходящими за рамки общих закономерностей развития.

Известно, например, что в конце прошлого века была распространена гипотеза, согласно которой новые звезды рассматривались как результат исключительно редкого столкновения двух звезд, а вовсе не следствие, как мы знаем теперь, закономерного внутреннего развития звезды. Та же самая история повторилась с радиогалактиками, только, пожалуй, в еще более жалкой форме. Какое-то время радиогалактики считались столкнувшимися галактиками, хотя с самого начала было ясно, что статистические данные совершенно противоречат такому представлению. (Вопрос о приоритете этой ошибочной гипотезы вызвал даже споры: некоторые советские астрономы утверждали, что первенство в выдвижении гипо-

тезы столкновений принадлежит именно им, а не американским астрономам.)

Однако правильной оказалась противоположная точка зрения, исходящая из того, что нестационарные процессы представляют собой **закономерные фазы** космической эволюции. В каждый данный момент процент космических объектов, переживающих поворотную эпоху развития, обычно мал и, во всяком случае, гораздо меньше, чем процент объектов, находящихся в стационарном состоянии (например, число звезд в ассоциациях малó по сравнению с числом звезд в общем звездном поле Галактики). Нестационарные состояния обычно являются поворотным этапом в развитии объекта, связанным с рождением новых тел (например, звездные ассоциации) или с переходом объекта из одного класса в другой (например,

вспышки сверхновых, приводящие к превращению звезды в туманность).

Следовательно, подробное изучение нестационарных или переходных явлений открывает путь для более полного понимания эволюции космических объектов. До середины 30-х годов, когда были получены первые важные данные о нестационарных объектах, эволюционные идеи не играли в астрофизике существенной роли, хотя большинство астрофизиков прекрасно понимали, что они имеют дело с изменяющимися и развивающимися объектами. Сегодня вся астрофизика оказалась буквально пронизана идеей эволюции звезд, звездных скоплений и галактик. Это, несомненно, явилось результатом большого внимания к изучению нестационарных объектов во Вселенной.