

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ВЕСТНИК
АКАДЕМИИ НАУК
СССР

(ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК)

3

МОСКВА · 1985

НЕСТАЦИОНАРНЫЕ ЯВЛЕНИЯ ВО ВСЕЛЕННОЙ: РЕЗУЛЬТАТЫ И КООРДИНАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ В АКАДЕМИЯХ НАУК СОЮЗНЫХ РЕСПУБЛИК

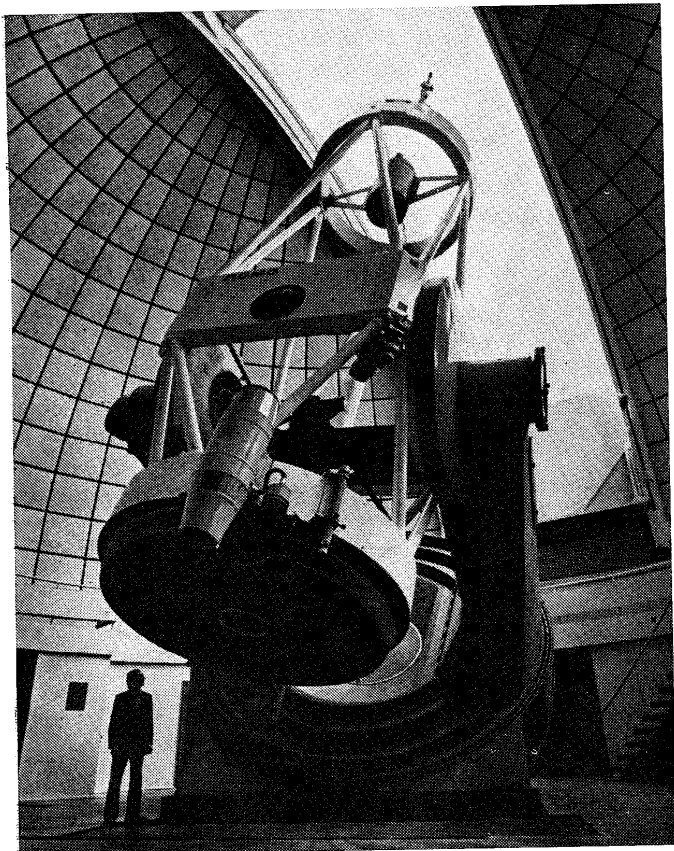
Доклад
президента Академии наук Армянской ССР
академика В. А. АМБАРЦУМЯНА

Хорошо известно, что астрономические явления, изучавшиеся с глубокой древности, поражали наших предков простотой и правильностью своих закономерностей. Разве можно представить себе что-нибудь более правильное и закономерное, чем видимое суточное движение небесного свода со всеми находящимися на нем звездами, которые, как казалось, строго сохраняли свое относительное расположение? Или перемещение Солнца по эклиптике в течение года, или последовательность фаз Луны? В древности в эту стройную картину строго периодичных явлений вносили некоторое нарушение лишь наблюдаемые перемещения планет. Но благодаря Птолемею и его последователям сложные видимые перемещения планет удалось свести к сумме периодических и круговых движений. Правда, с накоплением и уточнением астрономических данных число эпициклов, необходимых для представлений видимых движений только одной планеты, возрастало, и это все более усложняло систему Птолемея. Пришедшая ей на смену система Коперника исправила положение, а законы Кеплера позволили заменить систему эпициклов каждой планеты одним регулярным периодическим движением. Порядок, можно сказать, был восстановлен.

Только вспышки новых звезд (которые свидетельствовали о каких-то гигантских космических взрывах), да еще крайне нерегулярное, хотя и неизменное с точки зрения тогдашних наблюдателей, распределение видимых глазом звезд на небе настойчиво указывало на гораздо более сложные закономерности, царящие в далеких частях Вселенной — в мире «неподвижных» звезд.

Триумфальное шествие системы Коперника—Кеплера—Галилея—Ньютона в течение XVIII—XIX вв. действовало все же успокаивающе и заставляло думать, что и дальше перед нами будут раскрываться сравнительно простые и удобопонимаемые закономерности. Отражением этих настроений среди астрономов-теоретиков явилось название труда П. Лапласа «Изложение системы мира», именно *системы*, а не беспорядка, а среди философов-натуралистов — «Пролог на небесах» к «Фаусту» И.-В. Гете.

И поскольку во Вселенной царит почти идеальный порядок, то необходима была гипотеза, так или иначе связывающая «порядок», то есть систему с закономерными и периодическими движениями, со всем ходом предыдущего развития. Отсюда стремление доказать, что даже из крайнего беспорядка тоже должна в конце концов получаться добропорядочная, а говоря на несколько более научном языке, упорядоченная Вселенная. Идеальным было бы доказать, что порядок *должен* родиться даже из хаоса. Такова была логика идейных стремлений, приведшая к созданию



Большой рефлектор Бюраканской астрофизической обсерватории АН АрмССР. Диаметр зеркала 2,6 м. Изготовлен предприятием Ленинградского оптико-механического объединения

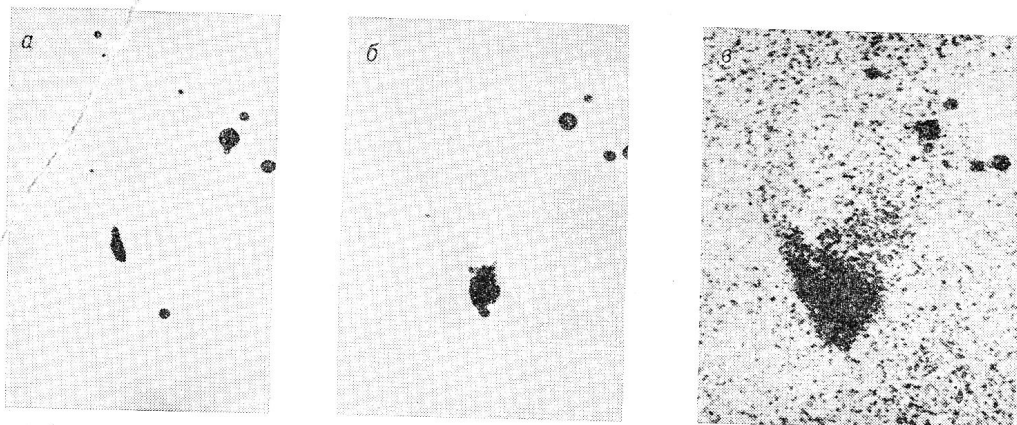
вали такие периодические переменные, как звезды типов δ Цефея и α Кита, изучали спектрально-двойные звезды. Одним из великих астрономических открытий конца XIX столетия было обнаружение академиком А. А. Белопольским *периодических* изменений в лучевых скоростях цефеид, которое в дальнейшем нашло правильное истолкование как проявление сферически-симметрических пульсаций внешних слоев этих переменных звезд.

Начало XX в. ознаменовалось вспышкой новой звезды в созвездии Персея, наблюдения которой показали, что в результате вспышки из звезды была выброшена туманность, которая стала расширяться с огромной скоростью. Мы теперь хорошо знаем, что сущность процесса вспышки новой звезды заключается в выбросе внешних слоев звезды, которые, разлетаясь, образуют вокруг нее расширяющуюся туманную оболочку, навсегда покидающую звезду. Прекрасный пример необратимого и непериодического процесса! Я думаю, что именно вспышка Новой Персея 1901 г. и дала повод для ставшей теперь знаменитой фразы А. Пуанкаре: «Таким образом, никогда еще не наблюдали туманности, превращающейся в звезду, как это утверждал Лаплас, и, наоборот, нередко видели, как звезды превращаются в туманность». Правильное истолкование спектральных наблюдений позволило установить, что выброс внешних слоев происходит со скоростью около 1000 км/с и даже выше.

К первой четверти XX столетия относятся также два замечательных

космогонической гипотезы И. Канта. Неоценимая заслуга Лапласа заключалась в том, что он понял значение *первоначального* вращательного момента для возникновения такой упорядоченной системы, как наша планетная система. Только теперь мы начинаем понимать все значение этого положения Лапласа для всей Вселенной, и в частности для всех галактик. Однако в своей космогонической гипотезе Лаплас сочетал эту идею с процессом постепенного сжатия газа в плотные тела.

И хотя в XIX в. были открыты многочисленные явления изменчивости в мире звезд, все же основное внимание астрономов сосредоточивалось на изучении *регулярных периодических процессов*. Астрономы определяли орбиты двойных звезд, исследо-



Переменная кометарная туманность ГМ 1-29

Снимки показывают вид объекта в 1952 г. (а), в 1968 г. (б), в 1980 г. (в). Изменчивость объекта была обнаружена при испытаниях 2,6-метрового рефлектора Бюранканской астрофизической обсерватории АН АрмССР

открытия. Во-первых, было установлено, что Крабовидная туманность в созвездии Тельца расширяется со скоростью 1000 км/с. Это подготовило почву для истолкования в последующие годы этой туманности как остатка взрыва сверхновой звезды. Во-вторых, была обнаружена переменность во времени форм кометарных туманностей.

На грани первой и второй трети XX столетия спектрофотометрические исследования позволили установить, что из звезд типа Вольфа-Райе (горячие звезды с температурой поверхности около 100 000 К) непрерывно истекает газ в течение десятков и сотен тысяч лет. Полная масса, выбрасываемая каждой такой звездой за указанное время, должна достигать одной массы Солнца или больше. Истолкование спектра несколько менее горячей звезды Р Лебеда, возгоревшейся в 1600 г., выявило еще более мощное истечение вещества. Поскольку эта звезда до 1600 г. не наблюдалась (правда, до начала XVII столетия наблюдения велись только невооруженным глазом), истечение вещества должно быть как-то связано с перестройкой в звезде, приведшей к повышению ее яркости.

Несколько раньше, благодаря развитию теории переноса излучения и теории флуоресценции в газовых туманностях, были интерпретированы наблюдения планетарных туманностей — весьма симметричных газовых туманностей, свечение которых обусловлено излучением центральной горячей звезды. Эти туманности являются расширяющимися объектами, возраст которых порядка 10^5 лет. Они образовались в результате выброса внешних слоев из центральных звезд. Только этот выброс — более грандиозный, хотя и более медленный, процесс, чем вспышка новой звезды.

В 30-х годах было установлено существование класса сверхновых звезд, которые, вспыхивая, достигают в максимуме блеска в сотни миллионов раз более высокой светимости, чем светимость Солнца. Такие сверхновые возгораются в нашей Галактике, по-видимому, не чаще, чем раз в столетие. Одна из вспышек, наблюдавшаяся примерно 930 лет назад китайскими астрономами, и дала начало знаменитой Крабовидной туманности. Позднее было обнаружено, что Крабовидная туманность — мощный источник радиоизлучения. Еще более мощный поток радиоизлучения приходит от другого остатка вспышки сверхновой в нашей Галактике, происшедшей около 300 лет назад в созвездии Кассиопеи.

В 30-х годах нашего века возникло и новое направление исследований — статистическая механика систем гравитирующих частиц. Советские астрономы, занимающиеся ею, установили, что:

возраст нашей Галактики не превосходит по порядку величины 10^{10} лет;

так называемые открытые, или рассеянные, звездные скопления «испаряются» в течение всего лишь сотен миллионов лет и составляющие их частицы — звезды входят в общее звездное поле Галактики;

широкие звездные пары весьма часто разрушаются при встречах со звездами поля, а обратные процессы возникновения пар из звезд поля практически не происходят.

Таким образом, уже в конце 30-х годов прежняя картина спокойной Вселенной сменилась картиной беспокойной, изменчивой и, как теперь стали говорить, «взрывающейся» Вселенной. Удаление от нас отдаленных галактик, истолкованное как универсальный феномен расширяющейся системы галактик, увенчивало эту картину повсеместных взрывов, извергающихся из звезд газовых потоков, выбрасываемых из звезд туманностей и распадающихся звездных пар и скоплений.

Развитие радиоастрономии позволило начать тщательное изучение явлений, малодоступных для оптических методов. Радиоастрономические методы, как камертон, «настроены» на нестационарные явления. В оптическом диапазоне мы вынуждены долго и внимательно отыскивать нестационарные объекты среди преобладающего большинства спокойных стационарных. В радиодиапазоне, наоборот, стационарные объекты почти немые, или, как говорят, радиоспокойны, а нестационарные являются наиболее интенсивными источниками. Это прежде всего радиогалактики и радиотуманности.

В 50-х годах широкое распространение получила гипотеза двух американских исследователей галактик В. Бааде и Р. Минковского о том, что каждая радиогалактика — результат столкновения двух обыкновенных галактик. Здесь, в Армении, была выдвинута противоположная концепция о том, что радиогалактика есть результат гигантского взрыва, происшедшего в ядре галактики, то есть радиогалактика — результат внутреннего развития галактики. Понадобилось шесть лет, чтобы западные авторы признали справедливость этой концепции.

Потребовалось еще некоторое время, чтобы получила всеобщее признание разработанная в Советском Союзе общая концепция активности ядер галактик. Эта идея коренным образом изменила лицо внегалактической астрономии. В настоящее время более половины всех работ в области внегалактической астрономии посвящается различным проявлениям, а также самой природе этой активности.

Толчком к более глубокому пониманию нестационарных объектов явилось представление о звездных ассоциациях как о группах совместно и притом недавно возникших звезд. Особенно следует отметить важность изучения Т-ассоциаций, куда входят очень молодые переменные звезды типа Т Тельца, возраст которых около 1 млн. лет. Крайне нестационарная природа атмосфер этих звезд приводит к быстрым изменениям интенсивности и состава их излучения. Очень часто полная энергия излучения звезд типа Т Тельца испытывает существенные изменения за время порядка нескольких суток, а некоторые детали в спектре, то есть монохроматическая светимость, меняются, как показали сотрудники Шемахинской астрофизической обсерватории АН АзССР, за время порядка 10 мин. Наряду с непрерывным истечением вещества из атмосфер этих звезд выбрасываются дискретные газовые облака, которые были названы нами объектами Херbiga—Аро. Эти образования, наблюдаемые в окрест-

ностях звезд типа Т Тельца, имеют возраст, измеряемый всего лишь тысячами лет, и, возможно, содержат не только разреженный газ, но и более плотные компоненты. Это еще один пример процессов возникновения туманностей из звезд.

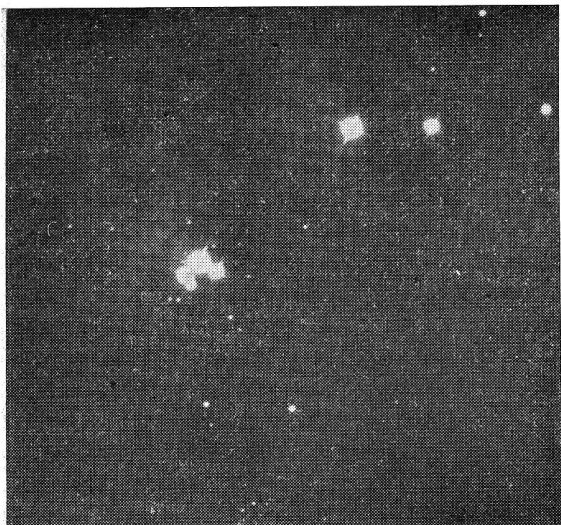
Родственны со звездами Т Тельца вспыхивающие звезды типа UV Кита. Эти объекты, обычно спокойные, время от времени повышают свой блеск в десятки раз за несколько секунд. Переменные типа UV Кита несколько старше, чем звезды типа Т Тельца, и встречаются не только в звездных ассоциациях и в относительно молодых звездных скоплениях, но и в окружающем нас общем звездном поле. Чем старше скопление, тем меньше в нем процент вспыхивающих звезд. Существенный вклад в изучение вспыхивающих звезд типа UV Кита внесли советские астрономы. Сотрудники Бюраканской астрофизической обсерватории АН АрмССР обнаружили много новых вспыхивающих звезд в рассеянных звездных скоплениях. Эти открытия позволили установить, что *каждая звезда-карлик проходит в молодости через стадию вспыхивающей звезды* — факт, не предусмотренный ни одной из распространенных теорий звездной эволюции. Он и до сих пор не нашел объяснения.

Возвращаясь к радиоастрономическим данным, следует указать на особую плодотворность наблюдений эмиссионных радиолиний, соответствующих разным частотам молекулярных спектров. Проводя наблюдения в молекулярных радиолиниях, можно изучать распределение холодных газов, часто находящихся вместе с пылью в окрестностях холодных звезд. Эти холодные, несветящиеся молекулярные облака, как выяснилось, имеют массу до 10^5 масс Солнца.

Наблюдения в линии водяного пара на волне 1,35 см привели к открытию космических источников мазерного излучения. Они возникают в областях, где сейчас происходит формирование молодых звезд, движутся с большими скоростями и быстро меняют свою интенсивность. Система разлетающихся из одного центра мазеров обнаружена в знаменитой туманности Ориона.

Астрофизики из Института космических исследований АН СССР и Специальной астрофизической обсерватории АН СССР, а также сотрудники Бюраканской астрофизической обсерватории АН АрмССР приняли участие в исследованиях систем мазеров в линиях водяного пара и гидроксила, проследив за изменениями мазерного излучения во времени. Однако участие советских астрономов могло бы быть большим, особенно если учесть, что многие из мазеров оказались связанными как раз с теми объектами Хербига—Аро, которые были впервые обнаружены в Бюраканской обсерватории. Для дальнейших исследований мазеров мы нуждаемся в более совершенной аппаратуре.

До недавнего времени мы изучали звездные ассоциации и находящиеся в них гигантские молекулярные облака — системы, в которых молодые звезды не старше 10^7 лет сосредоточены в области диаметром порядка 60 пк. Теперь мы имеем возможность выделить иногда в ассоциациях гораздо меньшие области, где возраст звезд уже не превосходит одного или двух миллионов лет (например, система типа Трапеции Ориона), то есть области *сравнительно недавнего звездообразования*. Наконец, у нас появилась возможность выделить в ассоциациях еще меньшие по объему области, где звезды моложе, процессы идут более интенсивно, а ситуация, определяемая интенсивным истечением вещества из звезды, меняется за время меньше 10^5 лет. Это — области *современного звездообразования* со всеми присущими им признаками — космическими мазерами, интенсивным истечением вещества из молодых звезд и выбросами объектов Хербига—Аро. Сейчас изучение этих областей в звездных ассоциа-



Трапеция Ориона, входящая в звездную ассоциацию Ориона

Четыре наиболее яркие составляющие этой кратной звезды образуют тесную группу, устройство которой характерно для молодых кратных звезд

циях стало одной из увлекательнейших ветвей астрофизики, поскольку оно ведет к раскрытию глубокой тайны, окружающей процесс рождения звезд.

Итак, мы уже знаем, *как* возникают различные туманности, известно нам, *где* возникают звезды и каковы наиболее ранние стадии их развития. На этих стадиях звездам свойственна высокая степень нестационарности и способность энергичного испускания потоков вещества. И хотя еще неизвестно, как и из чего рождаются звезды, мы существенно приблизились к решению и этой задачи.

Не меньший интерес представляет исследование нестационарных явлений, сопровождающих этапы умирания звезд. Это — процессы сгущения вещества в сверхплотные тела (белые карлики и нейтронные звезды), аккреция вещества на сверхплотные тела (релятивистские звезды). Мощный метод, избирательно чувствительный к нестационарным процессам, проявляющимся во время окончания, так сказать, нормального периода жизни звезды, нам предоставила рентгеновская астрономия.

Типичными дискретными источниками рентгеновского излучения являются рентгеновские пульсары, которые возникают в результате вспышек сверхновых звезд. По современным представлениям, пульсары — это сверхплотные конфигурации звездных масс или, как говорит, нейтронные звезды. Радиусы нейтронных звезд порядка 10 км при массе порядка солнечной. Нейтронные звезды обладают гравитационными полями огромного напряжения, колоссальными ускорениями свободного падения на поверхности и магнитными полями огромной интенсивности.

Надо учитывать, что гравитационные поля классической астрономии были всегда слабыми полями, для которых достаточно точен закон Ньютона. В случае же сверхплотных конфигураций мы имеем дело с противоположной крайностью, когда разности потенциалов приближаются к квадрату скорости света. Появляется возможность проверить справедливость закона гравитации Эйнштейна—Гильберта в весьма сильных полях, возможность или невозможность существования черных дыр и др.

Мощные нестационарные явления обнаружены и в гамма-диапазоне. Особый интерес представляют кратковременные вспышки гамма-излучения, длящиеся десятки доли секунды. Их природа пока неизвестна. Несомненно, однако, что они возникают в результате процессов весьма мощного выделения энергии в весьма малых объемах.

Перейдем теперь к оценке роли и задач советских ученых в происхо-

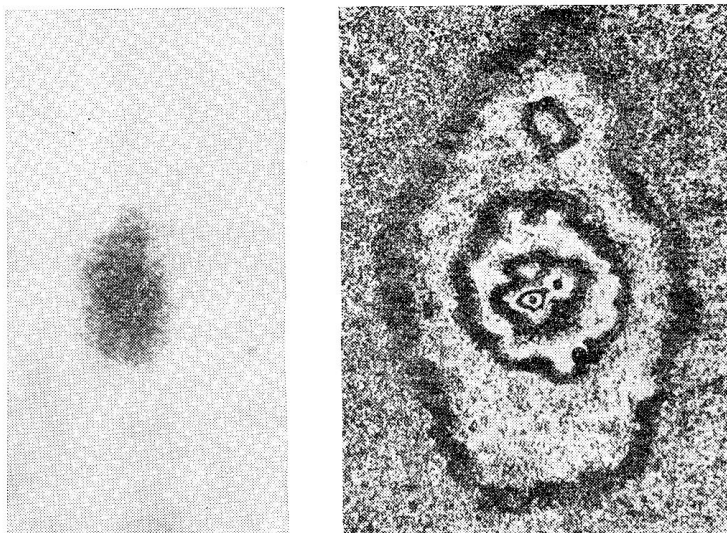
дующем революционном преобразовании астрофизики, благодаря которому главным объектом ее изучения стали нестационарные процессы. Даже по самым скромным оценкам эта роль была до сих пор очень большой, а на отдельных этапах — ведущей. Это прежде всего относится к развитию теоретических методов, начиная со статистической механики звездных систем и кончая математическими моделями, основанными на теории переноса излучения. Нам следует продолжать традиции новаторства и глубоких разработок, стремясь воспитывать достаточно широко образованных и инициативных теоретиков, которые способны охватить бескрайнюю совокупность новейших наблюдательных данных о нестационарных явлениях, владеют современными могучими аналитическими математическими методами и умеют сочетать их применение с широким использованием вычислительной техники. Таких теоретиков традиционно воспитывает Ленинградский университет.

В отличие от экспериментальных разделов физики в астрофизике очень важно, прежде чем приступить к теоретическим объяснениям, дать правильное истолкование результатов наблюдений. Физики почти всегда имеют возможность так поставить эксперимент, чтобы получить прямой ответ на интересующий их вопрос. В астрофизике же приходится довольствоваться той информацией, какую дает сама природа, то есть наблюдениями, предоставляющими лишь косвенные и обычно отрывочные данные об интересующих исследователей явлениях. Прежде чем строить гипотезу или теорию о сути астрономического явления, следует составить правильное представление о его внешней стороне, а затем от внешней картины явления перейти к его сущности — к теории явления.

Я не хочу сказать, что в физической науке вовсе нет этого промежуточного этапа, но в астрофизике этап построения внешней картины явления — той картины, которая, не касаясь внутреннего механизма явления, описывает его внешнюю сторону так, как если бы наблюдения давали полную информацию о нем, — отнимает особенно много времени и силы, требует проницательности со стороны исследователя. Я уже упоминал, что понадобилось много лет, прежде чем астрофизики, отвергнув гипотетическую картину столкновения двух галактик, пришли к правильной интерпретации наблюдений радиогалактик — картине выброса облаков релятивистских электронов из ядра. Мы теперь понимаем, что причина возникновения радиогалактики скрыта в ее ядре, но о механизме, действующем в ядре, высказываем пока лишь довольно произвольные предположения.

В интерпретации наблюдательных данных советская астрофизика занимает одно из ведущих мест. Тем не менее следует подчеркнуть, что огромный наблюдательный материал, накопленный современной астрофизикой, требует намного более детального и тонкого анализа, чем тот, который применялся до сих пор, а зачастую новых подходов. Не надо забывать, что в отличие от простых периодических процессов исследование нестационарных явлений должно основываться на гораздо более широком изучении фактов и данных.

Нам кажется, что для решения проблем, связанных с работой по истолкованию нестационарных процессов, не требуется крупных расходов, кроме тех, которые связаны с использованием уже имеющихся ЭВМ. Нужно только систематически пополнять банки данных. Надо поддерживать инициативу Астрономического совета АН СССР, который занялся всерьез банками данных. Вместе с тем в астрономических обсерваториях следует поощрять создание специализированных банков данных по тематике, связанной с направлением наблюдательной работы данного учреждения. В этом деле показывает пример Абастуманская астрофизическая



Фотография (слева) и изоденситометрическое изображение активной галактики Казарян-49

Снимок получен на 2,6-метровом телескопе Бюраканской астрофизической обсерватории АН АрмССР

обсерватория АН ГССР. Надо больше заботиться о доступности для исследователей собранных в банке данных.

Я уделил большое внимание теории и интерпретации наблюдений. Но, конечно, основой всего в астрофизике являются *наблюдательная работа* и компетентная обработка полученных наблюдательных данных. Примером такой обработки являются денситометрические или позиционные измерения на астрономических фотоснимках. По сути речь идет о представлении результатов наблюдений в цифровой форме. Именно таким путем делаются открытия новых, в том числе и наиболее интересных, а иногда и неожиданных объектов и явлений, и получаются количественные их характеристики.

Что касается астрономических открытий, в частности открытий нестационарных объектов, то наша страна занимает в этом отношении выдающееся место. Именно в нашей стране обнаружено подавляющее большинство галактик с наиболее активными ядрами — галактик типа Сейферта. На счету советских астрономов около трети всех известных к настоящему времени вспыхивающих звезд, около половины внесенных в списки кометарных туманностей, многие из известных нам объектов Хербига—Аро. В открытии же новых интересных радио- и рентгеновских источников советские астрономы значительно уступают зарубежным.

Но открытия астрономических объектов составляют лишь часть дела. За такими открытиями, особенно за обнаружением наиболее интересных объектов, должно следовать их более точное исследование. К сожалению, и здесь роль наших обсерваторий далеко недостаточна. Даже объекты, открытые в Советском Союзе, часто более подробно исследуются за рубежом. Я уже не говорю о других объектах. Причиной такого отставания является недостаточное использование современных светоприемников, спектральных аппаратов и тонких методик. Настоятельно требуется, чтобы все астрономические учреждения союзных республик (а большие телескопы имеются в Армении, Грузии, Азербайджане, на Украине, в Эстонии, в Казахстане и Таджикистане) в кратчайшие сроки улучшили светоприемное оснащение своих больших телескопов. При этом особая ответственность ложится на Специальную астрофизическую обсерваторию АН СССР, которая должна возглавить дело освоения и внедрения новых типов светоприемников и помочь в этом всем астрофизическим обсерваториям страны.

Я позволю себе некоторое отступление, чтобы сделать ясным, на-

сколько можно продвинуться в область изучения более слабых звезд и галактик, если повысить чувствительность светоприемников.

В конце 30-х годов советские астрономы фотографировали с помощью телескопов звезды примерно до 16-й величины, могли вести массовое изучение спектров (с малой дисперсией) объектов до 9-й величины, а при подробном изучении спектров Г. А. Шайну и В. А. Альбицкому удавалось продвинуться до звезд лишь 7-й величины.

В 60-х годах у нас уже получали прямые снимки звезд до 21-й величины (в сто раз более слабых, чем раньше), вели массовое изучение спектров звезд до 16,5 величины (в тысячу раз более слабых, чем раньше) и подробно исследовали спектры индивидуальных объектов до 15-й величины (примерно в тысячу раз более слабых, чем раньше).

Чувствительность повысилась в такой степени благодаря новым телескопам и более чувствительным светоприемникам. Если мы имеем возможность изучать, скажем, в тысячу раз более слабые объекты, то нам становятся доступными примерно в десять тысяч раз больше объектов, так как слабых объектов во Вселенной во много раз больше, чем ярких. (Речь, конечно, идет о видимой яркости, а не об абсолютной светимости.)

К 80-м годам благодаря применению шестиметрового телескопа удалось проникнуть в область еще более слабых звезд. Если к 1990 г. нам удастся продвинуться еще на две звездные величины (а для этого имеются все возможности), то перед нами откроются широчайшие перспективы. И в то же время назрела необходимость сооружения ряда новых крупных инструментов.

Хорошие перспективы получения богатых наблюдательных данных у телескопов, установленных на спутниках и работающих продолжительное время (несколько лет). В этой связи с удовлетворением следует отметить, что созданный по инициативе и по программе Крымской астрофизической обсерватории АН СССР в сотрудничестве с Бюраканской астрофизической обсерваторией АН АрмССР, Институтом космических исследований АН СССР и рядом научно-технических объединений астрономический спутник «Астрон» для исследования ультрафиолетовых спектров звезд и галактик успешно продолжает свою работу на орбите второй год. Уже предварительная обработка данных, полученных спутником, привела к интересным результатам¹. В частности, установлено, что своеобразие симбиотических звезд, в спектре которых одновременно наблюдаются детали, характерные для различных степеней возбуждения атомов, объясняется присутствием мощного источника дополнительного коротковолнового излучения. Выявлены особенности распределения энергии в ультрафиолетовой части спектра эллиптических и спиральных галактик.

Совершенно очевидно, что дальнейшее развитие внеатмосферных исследований обещает раскрыть новые, далекие перспективы во всех разделах изучения нестационарных процессов во Вселенной.

Эффективность наземных и внеатмосферных исследований во многом зависит от организованности и согласованности работы наших астрономических обсерваторий.

УДК 523

¹ См.: Орбитальная астрономическая обсерватория «Астрон». — Вестник АН СССР, 1984, № 8, с. 16—26.