

может достигать плотности атомного ядра. Установление же природы источников энергии звёзд поставило вопрос о практич. реализации управляемого термоядерного синтеза на Земле.

Основы теоретической астрофизики

При разработке теорий и моделировании явлений, наблюдающихся во Вселенной, теоретич. А. использует законы и методы теоретич. физики, в частности законы теплового излучения, установленные для абс. чёрного тела, теорию атомных спектров, ф-лы Л. Больцмана (L. Boltzmann) и М. Саха (M. Saha) для определения кол-ва атомов, находящихся соответственно в возбуждённом и ионизованном состояниях, ф-лу Дж. К. Максвелла (J. C. Maxwell) для описания распределения атомов по скоростям, а также ф-лу К. Доплера (Ch. Doppler), позволяющую по смещению длины волны в спектре звёзд или галактик найти лучевую скорость их движения относительно наблюдателя или, изучая профили спектральных линий, определить физ. характеристики атмосфер звёзд и планет.

Долгое время при построении моделей звёзд и их атмосфер принимались во внимание лишь два фактора — тяготение и упругость газа. В кон. 40-х гг. 20 в. стала очевидной необходимость учёта эл.-магн. сил. Ими, в частности, определяются состояние внеш. слоёв Солнца, структура его короны, динамика *протуберанцев*, существование солнечных пятен и, главное, такие мощные процессы, как *вспышки на Солнце*. Осн. идеи *магнитной гидродинамики* сформулированы в 1942 Х. Альвеном (H. Alfvén), он же установил существование магнитогидродинамич. волн. Ныне космич. электродинамика — один из важнейших разделов теоретич. А.

В сер. 20 в. было установлено, что существует ещё один фактор, существенно влияющий на динамику межзвёздной среды и её энергетич. баланс, — *космические лучи* (КЛ), т. е. ядра атомов и электроны, ускоренные до субсветовых скоростей. КЛ образуются при вспышках на Солнце, вспышках новых и сверхновых звёзд; по-видимому, мощными ускорителями частиц являются пульсары, квазары и ядра активных галактик.

Исключит. значение для понимания происходящих во Вселенной процессов, для установления природы мн. космич. объектов имел сделанный в сер. 20 в. вывод о том, что регистрируемое наблюдателем излучение может быть нетепловым. Прежде всего, нетепловое эл.-магн. излучение генерируется в результате торможения релятивистских электронов в магн. полях (*синхротронное излучение*). В космич. пространстве и вблизи нек-рых объектов происходит рассеяние фотонов на релятивистских электронах (обратный комптон-эффект), причём процессы рассеяния могут происходить и на породивших эти фотоны электронах. Нетепловое эл.-магн. излучение генерируется также при переходе электронов из одной среды в другую (*переходное излучение*) и при рассеянии плазменных волн, в частности продольных *плазмонов*, на релятивистских электронах. Теория этих процессов уже достаточно разработана, в частности благодаря успехам плазменной А., задачей к-рой является анализ поведения плазмы в разл. астрофиз. объектах.

И, наконец, важная составная часть теоретич. А. — *ядерная астрофизика*, изучающая ядерные реакции и радиоактивный распад неустойчивых ядер в звёздах и др. космич. объектах, в результате к-рых происходит выделение энергии и образование хим. элементов. Одним из продуктов ядерных реакций являются нейтроны и антинейтроны, к-рые практически беспрепятственно уходят из ядра звезды в космич. пространство, унося с собой часть освобожденной энергии. Установлено, что на определен. этапе жизни звезды, если только её масса превышает нек-рый предел, эти потери на высвечивание нейтронов могут быть столь большими, что рав-

новесие звезды нарушается и происходит *гравитационный коллапс*, итогом к-рого является вспышка сверхновой с образованием *нейтронной звезды* или *чёрной дыры*.

Методы практической астрофизики

Астрофиз. наблюдения и исследования проводятся на астр. обсерваториях с помощью оптич. телескопов (как рефлекторов, так и рефлекторов, диаметры зеркал у последних достигают 4—6 м). Планируется создание гигантских мультизеркальных наземных телескопов с эквивалентными диаметрами зеркал до 25 м и проникающей силой до 26^m . С выводом на околоземную орбиту телескопов с диаметром зеркал ок. 2,5 м, для наблюдений станут доступными объекты до 29^m .

С сер. 19 в. в А. используется фотографич. метод наблюдений. Фотоэмульсия способна накапливать энергию излучения, на ней одноврем. могут быть зафиксированы сотни и тысячи светил. Однако теоретич. действующий квантовый выход (ДКВ) совр. фотоэмульсий не превышает 4%, в астрофотометрии он составляет ок. 0,1%, что существенно затрудняло изучение слабых источников света, особенно их спектров.

С сер. 20 в. широко используются в А. фотоэлектрич. приёмники излучения. С 1953 измерение блеска звёзд, звёздных скоплений, галактик и квазаров проводится с помощью широкополосных светофильтров — ультрафиолетового (U), синего (B) и жёлтого (V) (трёхцветная фотометрич. система UVV). В последующем система была расширена в далёкую ИК-часть спектра. Фотоэлектрич. метод с применением светофильтров даёт возможность судить о распределении энергии в отдельных спектральных интервалах и в нек-рой степени заменяет спектральные наблюдения. При этом если перед камерой установлена призма или дифракц. решётка, то регистрация излучения от объекта проводится одноврем. в неск. интервалах длин волн.

В качестве усилителей яркости изображения (в 10^4 — 10^7 раз) используются простые и каскадные электронооптич. преобразователи (ЭОП) и электронные камеры. Активно внедряются для нужд А. волоконная оптика, твердотельные приёмники излучения и др. Широкое применение в А. нашла телевиз. астрофотометрия. ДКВ телевиз. системы в неск. десятков раз больше, чем у обычной фотоэмульсии. При этом, в частности, используются аналого-цифровые системы, в к-рых видеосигнал преобразуется в цифровой код и затем поступает в ЭВМ. Телевиз. приёмники излучения позволяют проводить изучение слабых источников, в т. ч. осуществлять патруль вспышек сверхновых в др. галактиках, причём за одно ночное наблюдение становится возможным получить неск. десятков и даже сотен фотографий этих объектов. По-видимому, использование телевиз. аппаратуры на больших телескопах позволит вскоре измерять блеск слабых звёзд (до 24^m) при экспозиции всего 1—2 ч.

С кон. 40-х гг. 20 в. началось развитие радиофиз. методов, благодаря к-рым стало доступным для изучения космич. эл.-магн. излучение в интервале от дециметровых до субмиллиметровых волн, т. е. в диапазоне длин волн в 2500 раз более широком, чем оптический. Благодаря освоению радиодиапазона открыты многочисл. источники нетеплового радиоизлучения — радиогалактики и квазары, импульсные источники радиоизлучения — пульсары, проведено изучение распределения нейтрального и ионизованного водорода в нашей и др. галактиках. Выведение за пределы атмосферы на ИСЗ и автоматич. межпланетных станциях (АМС) детекторов КВ-излучения сделало возможным изучение космич. объектов в УФ-, рентгено- и гамма-диапазонах. Открыты неск. сотен источников рентг. излучения (в т. ч. импульсные — *барстеры*), зарегистрированы мощные *гамма-всплески*, природа к-рых окончательно не установлена.