**ФИЗИЧЕСКАЯ ПРИРОДА СОЛНЦА**

Солнце представляет собой центральное тело нашей планетной системы и ближайшую к нам звезду.

Среднее расстояние Солнца от Земли равно 149,6\*106 *км,* его диаметр в 109 раз больше земного, а объем в 1300 000 раз больше объема Земли. Так как масса Солнца составляет 1,98\*1033 *г* (333000 масс Земли), то в соответствии с его объе­мом находим, что средняя плотность солнечного вещества равна 1,41 *г/см3* (0,26 средней плотности Земли). По известным значе­ниям радиуса и массы Солнца можно определить, что ускорение силы тяжести на его поверхности достигает 274 *м/сек2,* или в 28 раз больше, чем ускорение силы тяжести на поверхность Земли.

Солнце вращается вокруг оси против хода часовой стрелки при наблюдении с северного полюса эклиптики, т. е. в том же направлении, в каком обращаются вокруг него все планеты. Если смотреть, на диск Солнца, то его вращение совершается от восточного края диска к западному. Ось вращения Солнца наклонена к плоскости эклиптики под углом 83°. Но Солнце вращается не как твердое тело. Сидерический период враще­ния его экваториальной зоны равен 25 *сут,* близ 60° гелиографической (отсчитанной от солнечного экватора) широты он составляет 30 *сут,* а у полюсов достигает 35 *сут.*

При наблюдении Солнца в телескоп заметно ослабление его яркости к краям диска, так как через центр диска проходят лучи, идущие из более глубинных и горячих частей Солнца.

Слой, лежащий на границе прозрачности вещества Солнца и испускающий видимое излучение, называется фотосферой. Фотосфера не является равномерно яркой, а обнаруживает зернистое строение. Светлые зерна, покрывающие фотосферу, называются гранулами. Гранулы — неустойчивые образо­вания, продолжительность их существования — около 2—3 *мин,* а размеры колеблются в пределах от 700 до 1400 *км*. На поверхности фотосферы выделяются темные пятна и светлые области, называемые факелами. Наблюдения за пятнами и факелами позволили установить характер вращения Солнца и определить его период.

Над поверхностью фотосферы расположена солнечная атмосфера. Ее нижний слой имеет толщину около 600 *км.* Вещество этого слоя избирательно поглощает световые волны таких, длин, которые оно само способно излучать. При переиз­лучении происходит рассеяние энергии, что и является непосред­ственной причиной появления основных темных фраунгофероных линий в спектре Солнца.

Следующий слой солнечной атмосферы — хромосфера имеет ярко-красный цвет и наблюдается при полных солнечных затмениях в виде алого кольца, охватывающего темный диск Луны. Верхняя граница хромосферы постоянно волнуется, и поэтому толщина ее колеблется от 15000 до 20000 *км.*

Из хромосферы выбрасываются протуберанцы — фон­таны раскаленных газов, видимые невооруженным глазом во время полных солнечных затмений. Со скоростью 250—500 *км/сек* они поднимаются от поверхности Солнца на расстояния, равные в среднем 200000 *км, а* некоторые из них достигают высо­ты до 1500 000 *км.*

Над хромосферой располо­жена солнечная корона, видимая при полных солнеч­ных затмениях в виде окру­жающего Солнце серебристо-жемчужного ореола.

Солнечную корону разде­ляют на внутреннюю и внеш­нюю. Внутренняя корона про­стирается до высоты около 500 000 *км* и состоит из разреженной плазмы – смеси ионов и свободных электронов. Цвет внутренней короны подобен солнечному, а излучение ее представляет собой свет фотосферы, рассеянныйна сво­бодных электронах. Спектр внутренней короны отличается от солнечного спектра тем, что в нем не наблюдаются темные ли­нии поглощения, но зато наблюдаются на фоне непрерывного спектра линии излучения, наиболее яркие из которых принадле­жат многократно ионизованному железу, никелю и некотооым другим элементам. Так как плазма весьма разрежена, то ско­рость движения свободных электронов (а соответственно и их кинетическая энергия) столь велика, что температура внутрен­ней короны оценивается примерно в 1 млн. градусов.

Внешняя корона простирается до высоты более чем в 2 млн. *км.* В ее состав входят мельчайшие твердые частицы, которые отражают солнечный свет и придают ей светло-желтый оттенок.

В последние годы было установлено, что солнечная корона распространяется значительно дальше, чем предполагалось ра­нее. Наиболее удаленные от Солнца части солнечной короны — сверхкорона — простираются за пределы земной орбиты. По ме­ре удаления от Солнца температура сверхкороны постепенно понижается, а на расстоянии Земли составляет приблизительно 200 000°

Сверхкорона состоит из отдельных разреженных электрон­ных облаков, “вмороженных” в магнитное поле Солнца, кото­рые с большими скоростями движутся от него и, достигая верх­них слоев земной атмосферы, ионизируют и нагревают ее, оказывая тем самым влияние на климатические процессы.

Межпланетное пространство в плоскости эклиптики содержит мелкую пыль, производящую явление зодиакального света. Это явление состоит в том, что весной после захода Солнца на западе или осенью перед восходом Солнца на востоке иногда наблюдается слабое сияние, выступающее из-под горизонта в виде конуса.

Спектр Солнца является спектром поглощения. На фоне не­прерывного яркого спектра располагаются многочисленные тем­ные (фраунгоферовы) линии. Они возникают при прохождении луча света, испускаемого раскаленным газом через более холод­ную среду, образованную тем же газом. При этом на месте яр­кой линии излучения газа наблюдается темная линия его погло­щения.

Каждый химический элемент имеет присущий только ему ли­нейчатый спектр, поэтому по виду спектра можно определить химический состав светящегося тела. Если же излучающее свет вещество является химическим соединением, то в его спектре видны полосы молекул и их соединений. Определив длины волн всех линий спектра, можно установить химические элементы, образующие излучающее вещество. По интенсивности спект­ральных линий отдельных элементов судят о количестве принад­лежащих им атомов. Поэтому спектральный анализ позволяет изучать не только качественный, но и количественный состав небесных светил (точнее, их атмосфер) и является важнейшим методом астрофизических исследований.

На Солнце найдено около 70 известных на Земле химических элементов. Но в основном Солнце состоитиз двух элементов:

водорода (около 70% по массе) и гелия (около 30%). Из про­чих химических элементов (всего 3%) наибольшее распростра­нение имеют азот, углерод, кислород, железо, магний, кремний, кальций и натрий. Некоторые химические элементы, например хлор и бром, на Солнце еще не обнаружены. В спектре солнеч­ных пятен найдены также полосы поглощения химических сое­динений: циана (СN), окиси титана, гидроксила (ОН), углеводорода (СН) и др.

Солнце представляет собой грандиозный источник энергии, непрерывно рассеивающий свет и тепло по всем направлениям. На Землю поступает около 1:2000000000 всей излучаемой Солнцем энергии. Количество энергии, получаемое Землей от Солнца, определяется по значению солнечной постоянной. Сол­нечной постоянной называется количество энергии, получаемой в минуту 1 *см2* поверхности, расположенной на границе земной атмосферы перпендикулярно к солнечным лучам. В мерах теп­ловой энергии солнечная постоянная равна 2 *кал/см2 \*мин,* а в системе механических единиц она выражается числом 1,4-10 6*эрг/сек • см2.*

Температура фотосферы близка к 6000°С.Она излучает энер­гию почти как абсолютно черное тело, поэтому эффективную температуру солнечной поверхности можно определить с помо­щью закона Стефана—Больцмана:

где *Е —* количество энергии в эргах, излучаемое в 1 *сек.* 1 *см2* солнечной поверхности; σ=5,73•10-5 *эрг/сек\* град^4 • см2 —* по­стоянная, установленная из опыта, и *Т —* абсолютная темпера­тура в градусах Кельвина.

Количество энергии, проходящей через поверхность шара, описанного радиусом в 1 *а. е.* (150 • 10" *см),* равно *е*=4\*1033 *эрг/сек\*см2.* Эта энергия из­лучается всей поверхностью Солнца, поэтому, разделив ее величину на площадь солнечной поверхности, можно определить значение *Е* и вычислить температуру поверхности Солнца. Полу­чается E=5800°К.

Существуют и другие методы определения температуры по­верхности Солнца, но все они разнятся по результатам их при­менения, так как Солнце излучает не совсем как абсолютно чер­ное тело.

Непосредственное определение температуры внутренних частей Солнца невозможно, но по мере приближения к его центру она должна быстро возрастать. Температура в центре Солнца вычисляется теоретически из условия равновесия давлении и равенства прихода и расхода энергии в каждой точке объема Солнца. По современным данным, она достигает 13 млн. градусов.

При температурных условиях, имеющих место на Солнце, все его вещество находится в газообразном состоянии. Так как Солнце пребывает в тепловом равновесии, то в каждой его точке должны компенсироваться сила тяжести, направленная к центру, и силы газового и светового давлений, направленные из центра.

Высокая температура и большое давление в недрах Солнца обусловливают многократную ионизацию атомов вещества и значительную его плотность, вероятно превышающую 100 *г/см3,* хотя и в этих условиях вещество Солнца сохраняет свойства газа. Многочисленные данные приводят к выводу о том, что в течение многих миллионов лет температура Солнца остается неизменной, несмотря на большой расход энергии, вызываемый излучением Солнца.

Основным источником солнечной энергии являются ядернье реакции. Одна из наиболее вероятных ядерных реакций, называемая протон-протонной, заключается в превращении четырех ядер водорода (протонов) в ядро гелия. При ядерных превращениях выделяется большое количество энергии, которая проникает к солнечной поверхности и излучается в мировое прост­ранство.

Энергию излучения можно подсчитать по известной формуле Эйнштейна: *Е* = *тс2,* где *Е —* энергия; *т —* масса и с — ско­рость света в пустоте. Масса ядра водорода составляет 1,008 (атомных единиц массы), поэтому масса 4 протонов равна 4 • 1,008 = 4,032 *а. е. м.* Масса образовавшегося ядра гелия сос­тавляет 4,004 *а. е. м.* Уменьшение массы водорода на величину 0,028 *а. е. м.* (это составляет 5\*10-26 г) приводит к выделению энергии, равной:

Общая мощность излучения Солнца составляет 5\*1023 л. с. Вследствие излучения Солнце теряет 4 млн. *т* вещества в секунду.

Солнце является также источником излучения радиоволн. Общая мощность радиоизлучения Солнца в диапазонах волн от 8 *мм* до 15 *м* невелика. Такое радиоизлучение “спокойного” Солнца исходит от хромосферы и короны и является тепловым излучением. Когда же на Солнце появляются в большом коли­честве пятна, факелы и протуберанцы, мощность радиоизлуче­ния увеличивается в тысячи раз. Особенно большие всплески радиоизлучения “возмущенного” Солнца возникают в периоды сильных вспышек в его хромосфере.

**СПЕКТРАЛЬНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ И ФИЗИЧЕСКАЯ ПРИРОДА ЗВЕЗД**

Разнообразные и важные сведения о физической природе звезд, которыми располагает современная астрономия, были по­лучены по результатам изучения излучаемого ими света. Изу­чение природы света производится методами фотометрии и спектрального анализа.

В середине XIX столетия французский философ-идеалист Огюст Конт утверждал, что химический состав небесных светил останется навсегда неизвестным для науки. Однако вскоре ме­тодами спектрального анализа на Солнце и звездах были от­крыты химические элементы, известные на Земле.

В наше время изучение спектров позволило не только уста­новить химический состав звезд, но также измерить их темпера­туры, светимости, диаметры, массы, плотности, скорости враще­нии и поступательных движений, а также определить расстоя­ния до тех далеких звезд, тригонометрические параллаксы которых являются по малости их недоступными для измерений.

Физическая природа звезд весьма различна, а поэтому и их спектры отличаются большим разнообразием. Звезды, как и Солнце, имеют непрерывные спектры, пересеченные темными линиями поглощения, а это и доказывает, что каждая звезда есть раскаленное газовое тело, дающее непрерывный спектр и окруженное более холодной атмосферой.

Линии звездных спектров отождествлены с линиями извест­ных на Земле химических элементов, что служит доказатель­ством материального единства Вселенной. Все звезды состоят из одних и тех же химических элементов, преимущественно из водорода и гелия.

Причина большого различия звездных спектров определяет­ся не столько различием химического состава звезд, сколько различной степенью ионизации вещества звездных атмосфер, оп­ределяемой в основном температурой. Современная классифика­ция звездных спектров, созданная на Гарвардской обсерватории (США) по результатам изучения более чем 200 000 звезд, ос­нована на отождествлении принадлежности линий поглощения известным химическим элементам и оценке их относительной интенсивности.

При всем разнообразии звездных спектров их можно объеди­нить в небольшое число классов, содержащих сходные между собой признаки и постепенно переходящих один в другой с об­разованием непрерывного ряда. Основные классы гарвардской классификации обозначены буквами латинского алфавита О, *В, А, F, G, К, М,* образующими ряд, соответствующий уменьше­нию температур звезд. Для детализации спектральных показа­телей в каждом классе введены десятичные подразделения, обозначаемые цифрами. Обозначению А0 соответствует типич­ный спектр класса *А;* А5 обозначает спектр, средний между классами *А* и F*;* A9 — спектр, гораздо более близкий к F0*,* чем к А0.

В таблице приведены характеристики спектров, соответствующие им температуры и типичные звезды по каждому из спектральных классов.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Спектральный класс | Характеристика спектра поглощения | Температура поверхности | Типищые звезхы |
| 0 | Линии ионизованных гелия, | 35 000° | *К* Орпона |
| (голубые звезды) | азота, кислорода и кремния |  |  |
| *В* | Линии гелия и водорода | 25000° | Спика |
| (юлубовато-бслые |  |  |  |
| звезды) |  |  |  |
| *А* | Линии водорода имеют мак­ | 10000° | Сиричс |
| (белые звезды) | симальную интенсивность. За­ |  |  |
|  | метны линии ионизованного |  |  |
|  | кальция. Появляются слабые |  |  |
|  | линии поглощения металлов |  |  |
| *Р* | Линии водорода ослабевают. | 7500° | Проц: он |
| (желтоватые звезды) | Интенсивны линии нейтрально­ |  |  |
|  | го и ионизованного кальция. |  |  |
|  | Линии металлов постепенно |  |  |
|  | усиливаются |  |  |
| *0* | Линии водорода еще более | 6000° | Солные |
| (желтые звезды) | ослабевают. Многочисленные |  |  |
|  | линии поглощения металлов |  |  |
| *К* | Линии металлов очень интен­ | 4500° | Аркт-у-р |
| (оранжевые звезды) | сивны. Интенсивна полоса угле­ |  |  |
|  | водорода СН. Слабые линии |  |  |
|  | поглощения окиси титана ТЮг |  |  |
| *М* | Линии нейтральных металлов | 3500° | Бетел.- |
| (красные звезды) | очень сильны. Интенсивны по­ |  | гейзе |
|  | лосы поглощения молекулярных |  |  |
|  | соединений |  |  |

Кроме основных спектральных классов, существуют допол­нительные классы R*, N, S* немногочисленных звезд, температура которых ниже 3000°.

Приведенные в таблице температуры относятся к поверхностным слоям звезд, в недрах их господствуют температуры порядка 10—30 млн. градусов. Высокая температура обеспечи­вает протекание самопроизвольных ядерных реакций, т. е. про­цессов, рассмотренных ранее.

Цвет звезды зависит от ее температуры. Холодные звезды излучают преимущественно в длинных волнах, соответствующих красной части спектра, а горячие — в коротких волнах, пред­ставляемых фиолетовой частью спектра.

Человеческий глаз наиболее восприимчив к желто-зеленым лучам, *и* обычная фотографическая пластинка — к синим и фиолетовым лучам спектра. Вследствие этого при наблюдении звезд визуальным и фотографическим методами для одной и той же звезды получают различные звездные величины.

В астрономии цвет измеряют, сравнивая величины звезды, определенные визуально и по фотографиям, и оценивают его показателем цвета, который представляет собой разность фотографической и визуальной величин звезды:

Условно считают, что для звезд спектрального класса *А*0 по­казатель цвета равен пулю. Показатель цвета более холодных звезд — величина положительная, так как они интенсивно из­лучают в длинных волнах, к которым наиболее чувствителен глаз. Показатель цвета горячих звезд — величина отрицатель­ная, поскольку их излучение по преимуществу коротковолновое, а фотопластинка наиболее восприимчива к синим и фиолетовым лучам.

Зависимости между показателями цвета и спектрами звезд устанавливаются эмпирически. Составляют таблицу, из которой по показателю цвета звезды приближенно определяют ее спек­тральный класс.

Основными факторами, определяющими количество излуча­емой энергии, являются температура и площадь излучающей поверхности звезды. Исследование спетимостей звезд привело к разделению их на две характерные группы: звезды-гиганты и звезды-карлики. Звезды-гиганты обладают высокой свети­мостью и большой площадью излучения (большим объемом), но имеют малую плотность вещества. Звезды-карлики характе­ризуются низкой светимостью, малым объемом и значительной плотностью вещества.

Различие между гигантами и карликами наиболее резко проявляется у звезд спектральных классов *М* и *К,* у которых разница в светимости достигает 9m\_10m, т. е. красные гиганты в 5—10 тыс. раз ярче красных карликов. У желтоватых и желтых звезд классов F и G наряду с гигантами и карликами многочисленны также и звезды промежуточных светимостей.

Для характеристики светимостей звезд впереди прописной буквы их спектрального класса дополнительно пишутся малые буквы: g — для звезд-гигантов и d — для звезд-карликов. Ка­пелла gG0 — гигант класса G0, Солнце dG*3 —* карлик клас­са G*3* и т. д.

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ВОЗНИКНОВЕНИИ И ЭВОЛЮЦИИ ЗВЕЗД**

Раздел астрономии, в котором изучаются вопросы происхождения и развития небесных тел, называется космогонией. Космогония исследует процессы изменения форм космической материи, приводящие к образованию отдельных небесных тел и их систем, и направление их последующей эволюции. Космого­нические исследования приводят и к решению таких проблем, как возникновение химических элементов и космических лучей, появление магнитных полей и источников радиоизлучения.

Решение космогонических проблем связано с большими трудностями, так как возникновение и развитие небесных тел про­исходит столь медленно, что проследить эти процессы путем непосредственных наблюдений невозможно; сроки протекания космических событий так велики, что вся история астрономии в сравнении с их длительностью представляется мгновением. По­этому космогония из сопоставления одновременно наблюдаемых физических свойств небесных тел устанавливает характерные черты последовательных стадий их развития.

Недостаточность фактических данных приводит к необходи­мости оформлять результаты космогонических исследований в виде гипотез, т.е. научных предположений, основанных на на­блюдениях, теоретических расчетах и основных законах природы. Дальнейшее развитие гипотезы показывает, в какой мере она соответствует законам природы и количественной оценке предсказанных ею фактов.

Выводы космогонии, приводящие к утверждению материального единства Вселенной, закономерности совершающихся в ней процессов и причинной связи всех наблюдаемых явлений имеют глубокий философский смысл и служат обоснованием научного материалистического мировоззрения.

*Возникновение и эволюция звезд являются центральной проблемой космогонии.*

В наблюдаемой картине строения Галактики осуществляет­ся распределение звезд по их возрастам. Помимо шаровых и рассеянных звездных скоплений, в Галактике имеются особые группы звезд, однородных по своим физическим характеристи­кам. Они открыты акад. В.А. Амбарцумяном и названы звез­дными ассоциациями. Звездные ассоциации являются неустой­чивыми образованиями, так как составляющие их звезды с большими скоростями разбега­ются в различных направлениях. Этим определяется быстрый темп их распада и непродолжитель­ность времени существования, не превышающего нескольких мил­лионов лет. Поэтому наличие звезд в ассоциации свидетель­ствует об их недавнем возникно­вении, поскольку они еще не успели выйти из ассоциации и смешаться с окружающими звез­дами.

Исследование звездных ассоциаций привело акад. В.А. Амбарцумяна к выводу о том, что звезды Галактики возникли неодновременно, что образование звезд представляет собой не­законченный процесс, продолжающийся и в настоящее время, и что звездные ассоциации являются теми местами Галактики, в которых произошло групповое формирование звезд.

В современной космогонии по вопросу о возникновении звезд существуют две точки зрения: 1) звезды возникают в процессе распада сверхплотных тел, ведущего к уменьшению плотности вещества, и 2) звезды образуются в результате гра­витационной конденсации рассеяного вещества, сопровождаю­щейся увеличением его плотности. Однако результаты наблюде­ний не позволяют в настоящее время отдать предпочтение ка­кой-либо из них.

 Согласно гипотезе, предложенной акад. В. А. Амбарцумяном звезды образуются из сверхплотной дозвездной материи, выбрасываемой при взрывах, происходящих в ядрах галактик. Ядра галактик содержат небольшие по размерам тела, на много порядков превосходящие по массе звезды, отличные по своей физической природе от звезд и диффузной материи. Эти сверхплотные тела, по-видимому, представляют собой новую форму материи, неизвестную современной науке. Распад сверхплотных тел — протозвезд приводит в дальнейшем к одновременному образованию звездных групп — ассоциации. Однако В.А. Амбарцумян не рассматривает механизма превращения протозвезд в звездные группы и скопления.

Гипотеза происхождения звезд из диффузной материи была разработана некоторыми американскими учеными и другими астрономамии Сжатие разреженной газово-пылевой среды под действием сил тяготения и магнитного поля Галактики приводит к образованию отдельных сгустков, представляющих собой протозвезды — глобулы. Продолжающееся сжатие протозвезды ведет к повышению давления и температуры веенедрах. Когда температура в центре протозвезды достигает нескольких миллионов градусов, там начинаются термоядерные реакции превращения водорода в гелий, сопровождающееся выделением большого количества энергии.

С этого времени сжатие протозвезды прекращается, посколь­ку гравитационные силы уравновешиваются газовым и свето­вым давлением, сравнительно скоро протозвезда становится звездой главной последовательности диаграммы спектр-светимость. Период формирования звезды из диффузной материи зависит от массы первоначального сгущения и продолжается не более 100 млн. лет.

На главной последовательности звезда проводит большую часть времени своего существования, до тех пор пока не “вы­горит” водород в ее центральной части. Для звезды с массой, равной массе Солнца, это время составляет около 10 млрд. лет. Массивные горячие звезды излучают так много энергии, что их водорода хватает только на несколько миллионов лет. В период пребывания на главной последовательности звезда сохраняет почти неизменными радиус, температуру поверхности и светимость.

 Когда выгорание водорода в ядре звезды заканчивается, давление изнутри уже не может уравновесить тяготения и ядро звезды начинает сжиматься. Сжатие ядра сопровождается по­вышением температуры. Возрастающее излучение расширяет оболочку звезды, увеличивает ее светимость. Дальнейшая эволюция звезды зависит от ее массы. Большинство ученых счи­тает, что звезды небольшой массы, сравнимой с солнечной, превращаются в белых карликов.

Эволюция звезды в случае ее возникновения в результате распада сверхплотной протозвезды должна иметь иной харак­тер, поскольку после образования звезды в ее недрах еще сох­раняется часть сверхплотного дозвездного вещества. О его на­личии может свидетельствовать, например, резкое изменение блеска вспыхивающих неправильных переменных звезд. Процесс вспышки напоминает взрыв и может быть объяснен выносом дозвездного вещества из недр звезды на ее поверхность, сопровождающимся освобождением больших количеств эгергии.

При любом характере эволюции происходит изменение хими­ческого состава звезды в результате образования в ее недрах более тяжелых химических элементов.

В процессе своей эволюции звезда непрерывно теряет массу не только за счет излучения, но и путем рассеяния вещества своей атмосферы, что является одним из источников пополне­ния межзвездной диффузной материи.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЙ И РАЗМЕРОВ ГАЛАКТИК**

Во второй половине XVIII века помимо звезд было заме­чено на небе немало неподвижных туманных пятен — ту­манностей. Природа большинства их долгое время оставалась спорной. Только в середине 20-х годов нашего столетия выяснилось, что большинство их представляет собой грандиозные звездные системы, по своим размерам сравнимые с нашей Галактикой. Поэтому они получили название галактик.

Совокупность всех галактик составляет наибольшую известную нам систему, называемую Метагалактикой. До ее границ мы не добрались еще, и имеет ли она центр — неизвестно.

Эта проблема была кардинальной для выяснения вопроса о природе таких туманных пятен и об их месте во Вселенной, центр которой человек перенес с Земли сна­чала к Солнцу, затем к центру нашей Галактики,

До середины **XX** века галактики многими считались небольшими объектами, находящимися внутри нашей Га­лактики наряду со звездными скоплениями и газовыми туманностями. Считали даже в 20-х годах, что это линзы, состоящие из пыли и освещенные изнутри одной яркой звездой в их центре. Путь к определению расстоянии открыли сотрудники Гарвардской обсерватории, а затем Лундмарк и Хаббл. Первые из них установили, что в Магеллановых Облаках, выглядящих как обрывки Млечного Пути, видно много цефеид — периодических переменных звезд, у которых период изменения блеска растет с их видимым блеском. Вокруг Магеллановых Облаков цефеид практически не было видно, и было ясно, чтоих видимая концентрация в Облаках есть результат пространствен­ной концентрации в них цефеид, а различия их видимого блеска соответствуют различиям в их истинной силе света — в светимости. Так было открыто важнейшее свойство цефеид, оказавшееся справедливым везде, а именно существование соотношения период — светимость. Установив (с трудом из-за их дальности от нас) светимости бли­жайших к нам цефеид разного периода, можно было из сравнения их видимого блеска в нашей Галактике и в Магеллановых Облаках установить, во сколько раз последние от нас дальше, чем ближайшие к нам цефеиды. Ока­залось, что Магеллановы Облака находятся за пределами нашей Галактики. Линейный размер их, определяемый по видимому угловому размеру и уже известному теперь расстоянию, оказался в несколько раз меньше нашей Галактики, но все же они представляют собой гигантские звездные *системы.* Они содержат миллионы звезд, газовые туманности и сотни звездных скоплений, сходных с нашими. Магеллановы Облака были первыми системами, открытыми за границей нашей Галактики. Но они имеют неправильную клочковатую форму, и это еще ни­чего пока не говорило о природе самых интересных ту­манностей спирального вида.

Только в ближайших к нам галактиках можно среди ярчайших звезд распознать цефеиды и, определив их пе­риоды, найти их расстояние более точно, чем по новым звгздам.

В 1924 г. Лундмарк и Виртц обнаружили по неболь­шому числу измеренных уже спектрально (по принципу Доплера — Физо) лучевых скоростей, что галактики уда­ляются от нас по всем направлениям и тем скорее, чем они дальше от нас. Скорость этого удаления Хаббл определил около 1930 г. в 550 км/с на каждый мегапарсек расстояния, и поэтому открытие красного смещения при­писывается обычно ему. Непрерывные проверки эффекта, глав­ным образом за счет увеличения шкалы расстояний до ближайших галактик, к настоящему времени довели по­стоянную Хаббла до значений около 50 км/(с • Мпс), но большинство астрофизиков все еще предпочитает пользоваться более ранним определением Но = 75 км/(с • Мпс), быть может, выжидая, когда уляжется волна новых ре­зультатов, колеблющихся между 100 и 50 км/(с • Мпс).

**Строение и свойства галактик**

Эти параметры являются важнейшими характери­стиками звездных систем.

Массы индивидуальных галактик устанавливают, опре­деляя кривую их вращения, которая в центральной обла­сти близка к твердотельной; затем происходит постепен­ный переход к вращению по закону Кеплера, когда расстояния от центральной массы уже велики, окружаю­щая точку плотность мала и сравнительно мала масса внешней области. Кривые вращения получают оптиче­ским методом, располагая щель спектрографа вдоль видимой большой оси изображения галактики, причем успех тем больше, чем ближе плоскость ее вращения к лучу зрения. Измерения ограничиваются центральной, яркой частью галактики и дают лишь нижний предел ее массы.

Детальная интерпретация кривой вращения п нахож­дение па нее распределения плотностей р внутри галак­тики требуют дальнейшего уточнения. Для этого необхо­димо принять модель галактики: плоскую или модель в виде неоднородного сфероида, в котором поверхности постоянной плотности — подобные сфероиды, или еще более сложную форму.

Массы плоских систем начинаются при­мерно с 10^11 (в степени 11) ℜ и уменьшаются до масс звездных ско­плении.

где V – круговая скорость в кеплеровской кривой;

R – радиус; G – гравитационная сила.

Массы эллиптических и массы спиральных галактик можно оцепить в случае пар — двойных галактик, у ко­торых разность глобальных скоростей можно предпола­гать равной скорости обращения, как у спектрально-двойных звезд. Однако здесь остается неизвестным угол наклона орбиты, и кривую скоростей определить нельзя. Мы получаем лишь нижний предел суммы масс двух га­лактик, как в случае спектрально-двойных звезд.

Выше было освещен ряд относящихся сюда вопросов, но надо добавить еще многое.

Форма спиральных ветвей, как оказалось, хорошо со­ответствует логарифмической спирали

*r = r(0)* ехр (χα),

где α = πϕ:180 и χ = сtgμ, или

lg r = lg r(0)+cχϕ,

где *с* =(π/180)\*lg e=0,00758.

Здесь μ — характеристический угол между радиусом-вектором точки спирали и касательной к ней. Конечно, тут имеется ввиду истинная форма ветвей в их плоско­сти, а не форма, искаженная проекцией. В среднем μ = 73° и варьирует в пределах 54—86°. Первое значе­ние соответствует широко раскрытым ветвям, второе от­носится к спиралям, приближающимся к окружности.

Бывает, что ветви имеют несколько различные формы. Встречаются галактики с тремя-четырьмя ветвями и та­кие, у которых есть ветви внутренние и внешние, или “многорукавные”. Вернее сказать, у последних ветви не сплошные, а состоят из дуг, не связанных друг с другом. Двух- и даже трехъярусные спиральные галактики свидетельствуют о сложности этих явлений природы. Еще ранее Хаббл обнаружил, что есть галактики с “перекладиной” — по-английски “бар”,— в центре которой находится их ядро, а спиральные ветви отходят от концов бара, но есть и такие, в которых ветви отходят от середины бара; пос­ледние представляют трудность для теории, считающей ветви “истечением” из бара. Обнаружено течение газа от ядра вдоль бара со скоростями до 100 км/с. В области спиральных ветвей в большинстве случаев вращение близко к твердотельному, и точка пе­региба на кривой вращения находится там, где ветви уже не прослеживаются, хотя свечение системы тянется еще далеко. Нередко ветви отходят не от бара, а от перифе­рии кольца, для которого бар является диаметром.

Много дебатов вызывал вопрос о направлении враще­ния галактик — идет ли оно так, что ветви при этом “волочатся” или, наоборот, “разматываются”. Это важно для теории их происхождения. Острота вопроса сглади­лась, когда обнаружили галактики, имеющие одновременно ветви противоположных направ­лений, т.е. одни “волочащиеся”, другие “разматываю­щиеся”. Если вращение почти твердотельно, то нет по­мех для возникновения ветвей любой формы.

Хаббл ввел обозначения для простых спиралей — S, для “пересеченных спиралей” (с баром) — SВ. Для про­межуточных форм (очень короткий бар) вводились обо­значения SАВ или другие. Неправильные галактики он обозначал через I или Ir, но су­ществует две их разновидности. Эллиптические галактики по Хабблу обозначаются буквой Е с прибавлением цифры от 1 до 7, которая указывает степень сжатия, определяе­мую отношением

10(a-b) : а,

где *а* и b *—* видимые диаметры (обычно искаженные для нас проекцией). Потом он нашел “линзовидные” галак­тики с “балджем” (большим ядром), окруженным диском, в котором спиралей нет. Он их обозначил S0. Дальней­шие наблюдения показали, что классификация Хаббла не отражает всего многообразия существующих форм и свойств галактик, и было предложено несколько других классификаций, еще быстрее “отстававших от жизни”, и мы на них останавливаться не будем.

Хаббл ввел еще следующие важные дополнения. Сей­час им приходится придавать другой, более глубокий смысл, чем предполагал Хаббл. Аморфные, бесструктур­ные спиральные ветви, не содержащие сверхгигантов и бедные газом, отмечаются приставкой а(Sа). Очень клочковатые ветви с множеством горячих звезд-гигантов и бо­гатые газовыми туманностями — приставкой с(Sс), а спирали промежуточного вида отмечаются приставкой b(Sb). Такова М 31 (Sb), а М 33 есть Sс. Наша Галактика может относиться к типу Sbс — промежуточная спираль. У Sс ядра значительно меньше, чем у Sb. Но у Sа, вопреки мнению Хаббла, они бывают разными.

После многих попыток теоретически объяснить суще­ствование спиральных галактик при наличии не строго твердотельного вращения очень популярной стала тео­рия, основы которой заложили Лин и Шу в 60-е годы.

Большой интерес представляет знание того, как галактики распределяются по светимостям, что в некоторой степени отражает их распределение и по массе, так как при одинаковом составе входящих в них звезд масса пропорциональна светимости. Это положение более оправдано для однотипных галактик, в особенности дтя эллиптических, у которых нет большого различия ни в структуре, ни в цвете. Но сперва пытались получить об­щую картину для всех типов галактик вместе, и тогда казалось, что карликовых галактик с абсолютной величиной *М = —* 16 (в степени m) и меньше мало. Но потом открыли довольно много очень слабых и мелких галактик в окрест­ностях нашей Галактики.

Пространственную структуру галактик типов Е и S0 можно узнать, вычисляя пространственные плотности в функции радиуса из результатов точной фотометрии их поверхностной яркости. Яркость, измеренная в точках вдоль видимого радиуса, создается излучением всех звезд, лежащих на луче нашего зрения — на хордах сфероида. От яркости в проекции можно перейти при условии наличия центральной симметрии к объемной яркости.

**Строение Метагалактики, скопления.**

Отдельные галактики часто объединены в пары сравни­мых друг с другом систем или состоят из одной большой галактики и одного или даже нескольких спутников с меньшими светимостью, размерами и массами.

Можно заметить и немногочисленные группы галак­тик. Некоторые из них, чаще часть их членов,— лишь случайные проекции галактик, расположенных ближе или дальше. Наиболее тесными парами и группами с члена­ми, безусловно связанными друг с другом физически, яв­ляются взаимодействующие системы — гнезда и цепочки систем.

Наконец, существуют скопления галактик как бедные и рассеянные, так и богатые, концентрирующиеся к цен­тру скопления сотен и многих тысяч галактик.

Много усилий прилагается к попыткам обнаружить скопления галактик — системы, которые стали бы едини­цами высшего порядка в качестве “кирпичей” Метагалак­тики. Реальное существование их пока не доказано

В скоплениях сильно преобладают эллиптические Е и линзовидные галактики S0, а в общем поле между ни­ми многочисленны спирали.

**Двойные галактики.** Хольмберг в Швеции составил каталог двойных и кратных галактик в количестве около 8007, но, к сожалению, современным требованиям он не удовлетворяет. Во всяком случае, гипотезу Хольмберга, что двойные галактики возникают в результате грави­тационного захвата, надо оставить. По современным представлениям пары, группы и скопления галактик, как та­ковые, возникали на ранних стадиях их образования.

И. Д. Караченцев ввел понятие об изолированных галактиках, видимое расстояние между которыми в пять или более раз меньше расстоя­ния до другой ближайшей галактики, и составил каталог 603 пар.

Надо заметить, что в любом каталоге таких галактик нет сведений о расстоянии от нас до каждой компоненты, и потому нет уверенности в реальной близости их компо­нент друг к другу. Поэтому И. Д. Караченцев и другие астрономы упорно работаюли над определением красного смещения компонент. Из них они находят и разности скоростей компонент, помогающие оценить мас­су систем и отношение у них массы к светимости.

Масса пары галактик пропорциональна квадрату раз­ности их скоростей (предполагается, что их движение орбитально) и расстоянию между компонентами. Но мы не знаем наклона к лучу зрения орбиты и длины линии, соединяющей компоненты, и поэтому пользуемся средни­ми, вероятнейшими их величинами. Пейдж в США, полу­чивший скорости многих пар, показал, что массы, опре­деленные этим методом, на порядок больше масс, которые могли бы быть найдены из изучения вращения галактик или дисперсии скоростей в них. Более точные измерения скоростей в САО на 6-метровом телескопе это различие в определении масс устраняют. Половина “изолированных пар” состоит из взаимодействующих галактик. По Уайту типичный орбитальный период в парах составляет 200 • 106 лет, а типичное расстояние между ними около 40 кпс. До 15% всех галактик входит в пары, но пока еще трудно уточнить процент оптических пар вследствие случайной проекции. Эксперименты И.Д. Караченцева и А. Л. Щербановского с использованием ЭВМ показали, что оптических пар только около 10%, но число это за­висит от условий определения понятия двойственности.

**Группы.** Хольмберг выделял из поля тройные и крат­ные галактики. Как ни определять их, число объектов быстро убывает с переходом ко все большей кратности. С другой стороны, выделяют группы галактик; например, Вокулер дал список 54 групп и их членов. Но эти весьма обширные группы содержат до десятков членов, перехо­дя, вероятно, в бедные скопления, бедные скопления пе­реходят в богатые, состоящие из сотен, а может быть, десятков тысяч членов. Почти ни для одной группы, даже малочисленной, нет сведений о лучевой скорости каждо­го члена. Из нескольких данных часто можно сделать заключение, что, применив теорему о вириале, мы полу­чим положительную энергию, указывающую на неустой­чивость группы. В. А. Амбарцумян трактует это как признак молодости таких групп и считает их мо­лодыми.

Другие астрономы не согласны с ним и полагают, что все группы должны быть устойчивы, а это требует при данных скоростях членов большей массы; поэтому и го­ворят о “скрытой массе”. Группы Вокулера содержат в некоторой неизвестной мере галактики, лишь проектирующиеся на группу. Я. Э. Эйнасто считает, что у гигант­ских галактик есть громадное гало (как у М 87) и они-то и представляют “скрытую массу”. Однако, чем больше членов в системе, тем больше должна быть “скрытая масса”, так что вклад корон был бы совершенно недоста­точным, но в распространенность корон астрономы не верят, и в общем проблемы устойчивости групп и суще­ствования “скрытых масс” еще не решены.

Самыми бесспорными и наиболее интересными груп­пами являются гнезда взаимодействующих галактик; сре­ди последних к наименее тесным относится Квинтет Сте­фана из пяти галактик. Но и в нем, как в цепочке VV 172 и некоторых других, есть член с аномальным красным смещением. Арп предполагает, что такие группы выбро­шены из больших галактик.

**Скопления галактик.** Ближайшее к нам скопление галактик, скорее, облако их, включающее много больших и ярких спиралей, содержащих газ и пыль, отстоит на нас на 12 Мпс и находится в скоплении Девы. Подобное же близкое облако находится в Большой Медведице. Каждое из них содержит сотни галактик. Но больший интерес представляют богатые шаровые скопления галактик, кон­центрирующиеся к своему центру. Ближайшее из них — в Волосах Вероники, отстоящее от нас на 70 Мпс, содер­жит за единичными исключениями эллиптические Е и линзовидные галактики S0, в которых газа или совсем нет или мало. Число галактик в скоплениях такого “пра­вильного” типа устанавливается лишь до какой-либо предельной видимой звездной величины. Ярчайшие члены правильных скоплений являются гигантскими галактика­ми и неизменность этих величин использу­ется для оценки расстояния до очень далеких скоплений, определение красного смещения которых невозможно по техническим причинам. Цвикки регистрировал скопления с числом видимых членов не менее 50. В больших, кон­центрированных скоплениях, ближайших к нам, насчи­тывается более 10000 членов. Установление принадлеж­ности к скоплению отдельных членов по красному смеще­нию при большом числе членов представляет чрезвычайные трудности. Подсчеты членов скопления в функции расстояния от центра делают, вычитая из плотности га­лактик скопления плотность галактик фона неба побли­зости. Так, установлено, что в богатых правильных скоп­лениях ход числовой плотности на площади сходен с хо­дом числа частиц в изотермическом газовом шаре в функции расстояния от центра.

Беря же более широкие окрестности, Л. С. Шаров показал наличие в скоплениях галактик плотного ядра и обширной короны; кроме того, наблюдается сегрегация некоторых типов галактик, например сильнее концентри­рующихся к центру. Наибольшее число красных смеще­ний (около 50) измерено в скоплении Кома. В таких случаях по дисперсии скоростей членов можно оценить массу; ее можно оценить также по функции светимости галактик в скоплении, нормализуя ее и зная связь све­тимости с массой для эллиптических галактик. Массы богатых скоплений составляют 1014 масс Солнца (и больше).

Неожиданное компактное скопление открыла Р. К. Шахбазян. Оно оказалось состоящим из дюжины компактных галактик. Расстояние до него равно 700 Мне, а размер — всего 350Х180 кпс. Дисперсия лучевых скоростей в нем необъяснимо мала: 62 км/с. Шахбазян и Петросян от­крыли затем в Бюракане еще десятки подобных по виду скоплений, но они еще не исследованы.

Очень трудно выделить в скоплениях карликовые чле­ны, в частности, рассеянные бедные сфероидальные га­лактики типа Печи и Скульптора, так как последние плохо видны из-за малой поверхностной яркости, а другие трудно отличить от галактик далекого фона. Каталог таких галактик типа Скульптора составила и исследовала В*.*Е. Караченцова.

Длительные поиски привели к заключению, что лишь в немногих скоплениях имеется крайне слабое общее свечение, создаваемое, вероятно, карликовыми галакти­ками. С другой стороны, в них рассеяно небольшое коли­чество пыли, заметно поглощающей свет.

Нейтральный водород в скоплениях не обнаружен, но есть радиоизлучение, идущее от существующего по гипо­тезе Б.В. Комберга горячего газа в коронах гигантских членов скопления. Было найдено в скоплениях и рент­геновское излучение, особенно сильное от радиогалактики NGC 1275 в скоплении Персея. Эйбелл на Паломарском атласе неба нашел 2712 очень богатых скоплений, а Цвикки по тому же материалу выявил и оконтурил десятки тысяч скоплений с числом членов не менее 50 и кратко классифицировал их.

Эти данные служат материалом для огромного числа попыток обнаружить скопления скоплений, иначе сверх­скопления. Некоторые авторы их не усматривают, другие считают, что нашли, третьи полагают, что сами определе­ния этого понятия различны. Те, кто считает, что сверх­скопления найдены, находят в их составе всего три — четыре скопления, что следовало бы называть лишь кратной галактикой, в ранг же скоплений зачисляют си­стемы, содержащие хотя бы десятки звезд. Поэтому автор считает, что пока еще скопления скоплений не обнару­жены, хоть могут существовать. Его мнение разделяет, по-видимому, и Эйбелл, ранее выделявший такие сверх-скоплеиия. Статистические методы, применяемые в этих поисках, вынуждены опираться на каталог Цвикки, даю­щий контур скопления. Границы даже простых скоплении определены очень ненадежно. Б. И. Фесенко считает, что при таких работах сильное искажение вносит неучиты­ваемое влияние клочковатости межгалактического погло­щения света в пашей Галактике. Ему также кажется сомнительным утверждение Вокулера, что ближайшие к нам облака и группы скоплений (ближе 5 Мпс) образуют уплощенное сверхскоплепие с центром в скоплении Девы.

**Некоторые частные случаи поздней эволюции галактик**

За последние годы многократно пытались создать модели звездного состава галактик, которые бы отвечали наблю­даемым интегральным спектрам ярких (центральных) областей спиральных и эллиптических галактик. (Получить хорошие спектрограммы слабо светящихся, но об­ширных частей галактик, диска и спиральных ветвей по­ка не удается.) В модели должна быть подобрана такая смесь звезд разных спектров и светимостей, чтобы она при взятых пропорциях их числа давала спектр, сходный с наблюдаемым. Получается, что эти области галактик должны содержать больше красных карликов, чем звезды вблизи Солнца. Модели эти пока еще не вполне совер­шенны. Поэтому, даже если числовые данные теории для разных стадий эволюции различных звезд верны, расчеты эволюции суммарного звездного состава галактик нельзя еще апробировать с уверенностью. В. А. Амбарцумян, сопоставляя видимую неустойчивость мелких групп и скоплений галактик с существованием активности ядер, пришел к мысли о вероятности ранней фрагментации дозвездного вещества, превращения его в разлетающиеся системы звезд в ассоциациях и галактик в группах. Та­кую дисперсию вещества вместо его конденсации он считает происходящей и в современную эпоху.

Более распространена идея конденсации диффузного вещества в звезды, восходящая к гипотезе Гершеля. За последние годы эта гипотеза развилась в теорию звездо­образования при движении в газе ударной волны сжатия. Звездообразование в нашу эпоху связывается с наличием молодых горячих звезд в области движения и сжатия холодных газов с пылью. Но системы самих галактик от­носятся к очень давней эпохе эволюции Метагалактики, и все группы галактик и их спутники считаются возник­шими лишь давным-давно.

В противоположность этому изучение взаимодействия галактик привело автора данного обзора к убеждению, что иногда на периферии плоских галактик, в частности на конце спиральной ветви, возникают сгущения массы и свечения, которые отделяются несколько от спиральной ветви и из части спиральной галактики превращаются тем самым в ее спутника. Массы их варьируют от массы небольшой области Н I I до массы, сравнимой с массой галактики-родительницы, как, например, в общеизвестной системе М51. Приливная теория готова приписать приливам от уже существовавшего спутника само возникновение спиральных ветвей, но большинство подобных спутников так малы по массе, что не в состоянии создать требуемых мощных приливных сил. Повидимому, фраг­ментация происходит и в гнездах и в цепочках галактик, которые должны быть неустойчивы уже из-эа *своей* формы. В исследованных к 1980 г. случаях внутренние скорости компонент оказались удивительно малыми.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Мартынов Д. Я.,* 1979 — Курс общей астрофизики: 3-е изд.— М.:

Наука.

1. *Воронцов-Вельяминов Б. А.,* 1978 — Внегалактическая астрономия,

*2-е* изд.— М.: Наука.

1. Происхождение и эволюция галактик и звезд/ Под ред. С.Б. Пикельнера.— М.: Наука, 1976.
2. Проблемы современной космогонии/Под ред. В. А. Аябарцумяна.—М.: Наука, 1969.
3. *Бербидж Дж., Бербидж М.,* 1969 — Квазары.— М.: Мир.
4. Строение звездных систем/Под ред. П. Н. Холоиова.—М.: ИЛ, 1962.
5. *Зельдович Л. Б., Новиков И. Д.,* 1967 — Релятивистская астрофизи­ка.— М.: Наука.
6. Звезды и звездные системы./Под. ред. Д.Я. Мартынова.-М.: 1981 г.
7. *Волынский Б.А.*, Астрономия.-М.: 1971 г.