Т А Й Н Ы К В А З А Р О В

ВВЕДЕНИЕ

Мерцай, мерцай, квазизвезда!

 Ты далека иль ты близка?

 В истории астрономии, древнейшей из наук, не было времени, столь богатого самыми выдающимися открытиями, как наши дни. Особенно счастливыми оказались последние десятилетия, считая открытия **квазаров** в 1963 г. Было обнаружено реликтовое излучение, стали известны пульсары, последовало открытие нейтронных звезд в тесных двойных системах, невидимых корон галактик, черных дыр, видимых сверхсветовых движений в квазарах.

 *Астрофизика* – отрасль астрономии, изучающая самые большие объекты окружающего нас мира, считая Вселенную как целое, а также физическую природу небесных тел. Изучая Вселенную, астрономы постепенно вышли далеко за границы видимого участка электромагнитного спектра. Постепенно сложилась астрономия невидимого. В зависимости от участка электромагнитного спектра в настоящее время различают радиоастрономию, инфракрасную астрономию, ультрафиолетовую и рентгеновскую астрономию и, наконец, наиболее коротковолновую гамма-астрономию. Эти разделы входят главным образом в астрофизику. Несмотря на многие свои отрасли, астрономия, конечно, остается единой **наукой о КОСМОСЕ.**

КВАЗИЗВЕЗДНЫЕ РАДИОИСТОЧНИКИ

 Когда радиоастрономия делала еще первые шаги, широкое распространение получил термин *“радиозвезды”.* Так называли некоторые “точечные” источники космического радиоизлучения. Постепенно многие из них были отождествлены с уже открытыми до того астрономами туманностями и галактиками. Почти все, но все-таки не все.

 К 1963 г. загадочными остались пять звездообразных объектов, получивших впоследствии наименование **квазизвездных радиоисточников**, или **квазаров.**

 Судя по мощности радиоизлучения, квазары никак не могут быть звездами в обычном, общепринятом понимании этого слова. Пять объектов, значащихся в звездных каталогах 1963 г. (включенные в 3-й Кембриджский каталог (3С) космических радиоисточников) под условными обозначениями **3С48** (отождествленный со звездой 16-й величины в созвездии Треугольника), **3С147, 3С196, 3С273** (отождествленный со звездой 13-й величины в созвездии Девы) и **3С286.**

 Квазары могут быть либо наиболее удаленными из известных нам объектов и наиболее мощными источниками излучения, либо спутниками довольно обычных галактик и тогда их излучение не удается объяснить с помощью известных механизмов.

Не все квазары - радиоисточники

 Хотя именно радиоастрономии мы обязаны открытием квазаров, вскоре стало ясно, что далеко не все они являются радиоисточниками. Было открыто большое число не излучающих в радиодиапазоне объектов, которые во всех остальных отношениях были похожи на первые квазары 3С273 и 3С48. Из известных более 1300 квазаров лишь несколько процентов относятся к радиоисточникам. Таким образом, большинство квазаров “спокойны” в радиодиапазоне.

**КВАЗАРЫ – САМАЯ ПОРАЗИТЕЛЬНАЯ ЗАГАДКА АСТРОФИЗИКИ**

 Название “квазары” есть сокращение от термина “квазизвездные радиоисточники”. Но поскольку многие квазары, как оказалось, не имеют заметного радиоизлучения, их стали называть *“квазизвездными объектами”*. Однако сейчас широко употребляется короткое название “квазары”.

 Сначала казалось, что эти небесные тела ни на что не похожи и сочетают в себе несовместимые свойства. Потребовалось немало усилий, прежде чем было понято, что квазары родственны радиогалактикам и другим галактикам, в ядрах которых происходят мощные процессы энерговыделения. В квазарах эти процессы достигают максимального масштаба и интенсивности. По мощности излучения квазар в сотни раз превосходит Галактику, а рождается это излучение в объеме, сравнимом по размеру с объемом Солнечной системы. Квазар – очень компактный объект.

 Открытие квазаров и два первых десятилетия их изучения – это, как видно, только начало длительных исследований, целью которых является объяснение физического механизма активности галактических ядер и квазаров. Они все еще остаются самой поразительной загадкой современной астрофизики.

*Расстояние до квазаров*

 По мере накопления данных наблюдений большинство астрономов пришли к выводу, что квазары дальше от нас, чем любые другие объекты, доступные наблюдениям. Но небольшая часть астрономов утверждала, что наиболее убедительные данные наблюдений говорят о пространственной близости квазаров и не очень далеких галактик.

**КРАСНОЕ СМЕЩЕНИЕ**

 Большинство квазаров интенсивно излучают *радиоволны*. Когда астрономы точно определили положения этих радиоисточников на фотографиях, полученных в видимом свете, они обнаружили звездообразные объекты.

 Чтобы установить природу странных небесных тел, сфотографировали их спектр. И увидели совсем неожиданное! Эти “звезды” имели спектр, резко отличающийся от всех других звезд. Спектры были совершенно незнакомыми. У большинства квазаров они не содержали не только хорошо известных и характерных для обычных звезд линий водорода, в них вообще с первого взгляда нельзя было обнаружить ни одной линии даже какого-либо другого химического элемента. Работавший в США молодой голландский астрофизик М.Шмидт выяснил, что линии в спектрах странных источников неузнаваемы лишь потому, что они сильно смещены в красную область спектра, а на самом деле это линии хорошо известных химических элементов (прежде всего водорода).

 Причина смещения спектральных линий квазаров была предметом больших научных дискуссий, в итоге которых подавляющее большинство астрофизиков пришли к выводу, что красное смещение спектральных линий связано с общим расширением Метагалактики.

 В спектре объектов 3С273 и 3С48 красное смещение достигает небывалой величины. Смещение линий к красному концу спектра может быть признаком удаления источника от наблюдателя. Чем быстрее удаляется источник света, тем больше красное смещение в его спектре.

 Характерно, что в спектре практически всех галактик (а для далеких галактик это правило не имеет ни одного исключения) линии в спектре всегда смещены к его красному концу. Грубо говоря, красное смещение пропорционально расстоянию до галактики. Именно в этом выражается **ЗАКОН КРАСНОГО СМЕЩЕНИЯ**, объясняемый ныне как результат стремительного расширения всей наблюдаемой совокупности галактик.

Скорость удаления

 У наиболее далеких из известных до сих галактик красное смещение весьма велико. Соответствующие ему скорости удаления измеряются десятками тысяч километров в секунду. Но у объекта 3С48 красное смещение превзошло все рекорды. Получилось, что он уносится от Земли со скоростью только примерно вдвое меньше скорости света! Если считать, что этот объект подчиняется общему закону красного смещения, легко вычислить, что расстояние от Земли до объекта 3С48 равно 3,78 млрд. световых лет! К примеру, за 8 1/3 минут луч света долетит до Солнца, за 4 года – до ближайшей звезды. А здесь почти 4 млрд.лет непрерывного сверхстремительного полета – время, сравнимое с продолжительностью жизни нашей планеты.

 Для объекта 3С196 расстояние, также найденное по красному смещению, получилось равным 12 млрд. световых лет, т.е. мы уловили луч света, который был послан к нам еще тогда, когда ни Земли, ни Солнца не существовало! Объект 3С196 очень быстрый – его скорость удаления по лучу зрения достигает 200 тысяч километров в секунду.

Возраст квазаров

 По современным оценкам, возрасты квазаров измеряются миллиардами лет. За это время каждый квазар излучает огромную энергию. Нам неизвестны процессы, которые могли бы служить причиной такого энерговыделения. Если предположить, что перед нами сверхзвезда, в которой “сгорает” водород, то ее масса должна в миллиард раз превышать массу Солнца. Между тем современная теоретическая астрофизика доказывает, что при массе более чем в 100 раз превышающей солнечную, звезда неизбежно теряет устойчивость и распадается на ряд фрагментов.

 Из известных ныне квазаров, общее число которых более 10 000, самый близкий удален на 260 000 000 световых лет, самый далекий – на 15 млрд. световых лет. Квазары, пожалуй, наиболее старые из объектов, наблюдаемых нами, т.к. с расстояния в миллиарды световых лет обычные галактики не видны ни в один телескоп. Однако это “живое прошлое” пока что совершенно непонятно нам. Природа квазаров до сих пор полностью не выяснена.

**НЕОБЫЧАЙНАЯ СВЕТИМОСТЬ**

 Подчиняясь тому же закону космологического удаления, что и галактики, источники 3С273 и 3С48 сами по себе сильно отличаются от обычных галактик, подобных нашей Галактике. Прежде всего поражает их необычайная светимость, в сотни раз превышающая светимость нашей Галактики.

 Казалось бы, объекты, столь далекие от Земли, должны быть доступными лишь наблюдателю, вооруженному самыми мощными современными телескопами. В действительности, например, объект 3С273 можно найти в созвездии Волосы Вероники как звездочку 12,6 звездной величины. Такие звезды доступны даже любительским телескопам.

 Таинственным является и тот факт, что по своим размерам квазары явно меньше галактик: ведь они выглядят как точечные источники света, в то время как даже самые далекие галактики похожи на размытые светящиеся кляксы.

Источник энергии

 Какими же чудовищными по мощности излучения должны быть эти источники света, если с расстояния в миллиарды световых лет они кажутся такими яркими!

 Самый трудный вопрос, связанный с квазарами, - это объяснение гигантского выделения энергии. Если квазары и в самом деле находятся на космологически больших расстояниях от нас (т.е. красное смещение действительно связано с расширением Вселенной), то нужно объяснить, как возникает эта сильнейшая светимость. Остается загадкой, какой же источник энергии поддерживает свечение квазара. Ясно одно, что каков бы ни был этот источник, сосредоточен он в относительно небольшой области пространства, т.е достаточно компактен. А это само по себе уже говорит о том, что механизм выделения энергии в квазаре весьма необычен.

 Многие астрофизики считают, что квазары связаны с ядрами галактик, находящимися на определенной ступени эволюции. Например, ядро галактики М87 гораздо ярче ее внешних частей. Но есть галактики и других типов, так называемые сейфертовские галактики, у которых контраст яркого ядра со слабосветящейся остальной частью выражен еще более резко. Возможно, квазары – следующая ступень этой последовательности. Если они расположены очень далеко, то мы видим только их яркое ядро, слабая же оболочка (если она вообще есть) просто совсем не видна.

 Высказывается также предположение, что, как и в галактике М87, выделение энергии в квазарах, возможно, связано с наличием сверхмассивных черных дыр. Начиная с середины 70-х годов идея о том, что гигантское выделение энергии в квазарах объясняется черными дырами, приобрела большую популярность.

 Процесс выделения энергии тоже связывают с работой сил тяготения, а радиоизлучение квазара – это синхротронное излучение заряженных частиц в магнитном поле.

 Некоторые астрономы считают, что потоки энергии от квазаров значительно ниже, поскольку расстояния до них сильно преувеличены. Если квазары, скажем, в 100 раз ближе к нам, чем мы думаем, то мы завышаем в 10 000 раз их светимость при расчетах мощности излучения по их наблюдаемой яркости. Астрономы, которые придерживаются этой точки зрения, исходят из того факта, что квазары часто видны на небе рядом с пекулярными (необычными) галактиками. Эти галактики, хотя и несколько необычны по своей структуре, имеют обычные красные смещения, которым соответствуют скорости удаления, равные нескольким процентам от скорости света. А квазары, расположенные на небе поблизости от них, имеют красные смещения в 10 – 20 раз больше!

 Если квазары находятся по соседству с довольно близкими галактиками, чем объяснить их огромные красные смещения? Единственное разумное объяснение – эффект Доплера, но почему мы всегда наблюдаем лишь красное смещение (удаление) и никогда – фиолетовое (приближение)? И как вещество могло быть выброшено (всегда в направлении от нас!) с такими огромными скоростями и сохранить при этом форму единого объекта?

 Ответ гласит: это никому неизвестно. За 15 лет не удалось определить ни расстояния до квазаров, ни их природу и источники их колоссальной энергии. Может быть, загадка квазаров таит в себе ключ к какой-то новой области астрофизики, какие-то новые возможности возникновения больших красных смещений в неизвестных нам ситуациях или новые способы генерации гигантских энергий, если квазары находятся очень далеко. Будем надеяться, что в последующие годы нам удастся преодолеть эти трудности в объяснении природы удаленных областей Вселенной, в которых расположены квазизвездные объекты. А сейчас мы можем только сказать: по-видимому, это естественные, а не искусственные астрономические объекты, поскольку пока не понятно, как цивилизация могла бы “сделать” квазар.

**ПЕРЕМЕННОСТЬ И РАЗМЕР**

 Еще одна загадка квазаров заключается в том , что некоторые из них меняют свою яркость с периодом в несколько суток, недель или лет, тогда как обычные галактики не обнаруживают таких вариаций.

 Московские астрономы А.С.Шаров и Ю.Н.Ефремов решили выяснить, как вели себя в прошлом “странные звезды”. Они внимательно просмотрели 73 негатива, на которых с 1896 по 1963 г. был запечатлен объект 3С273. Вывод, к которому пришли советские ученые, можно считать вполне достоверным. А он поразителен. Оказалось, что 3С273 менял свою яркость! И не чуть-чуть, а очень заметно – от 12,0 до 12,7 звездной величины, т.е. почти в два раза. Бывали случаи (например, в период с 1927 по 1929 г.), когда за непродолжительное время поток излучения от 3С273 возрастал в 3 – 4 раза! Иногда за несколько суток объект менялся на 0,2 – 0,3 звездной величины. При этом внешне, оптически, не происходило никаких других существенных изменений – “странная звезда” неизменно казалась звездой, хотя и переменной. Подобное явление позже было обнаружено и у объекта 3С48.

 Известны тысячи переменных звезд, по разным причинам изменяющихся. Но среди обычных галактик не было зарегистрировано ни одной переменной. Хотя многие из них содержат тысячи и миллионы переменных звезд, колебания их светимости происходят в разнобой и столь несущественны для галактики в целом, что общее излучение галактик всегда остается практически неизменным. Ни один оптический инструмент мира не может уловить хотя бы малейшие колебания светимости какой-нибудь из галактик.

 Остаются три возможности. Первая из них нелепа: звезды галактики изменяются сразу и одинаково, как по команде, в одном ритме. С физической стороны такое объяснение настолько абсурдно, так противоречит всем нашим знаниям о космосе, что не заслуживает серьезного рассмотрения. Вторая возможность - странные объекты, сходные с галактиками по характеру красного смещения, имеют физическую природу, совершенно отличную от галактик. Однако, большинство астрономов предполагают, что квазары – активные ядра сверхдалеких галактик.

 Бесспорно, что квазары – это не протяженные, разбросанные на десятки тысяч световых лет звездные системы, а какие-то весьма компактные тела небольших сравнительно размеров и колоссальной массы (миллиарды солнечных масс). Относительно малые размеры могут объяснить быстроту колебаний светимости всего объекта в целом, а огромная масса – единственно возможная причина исключительной яркости, или, точнее светимости небесного тела. Чем массивнее звезда, тем ярче она светит. Эта закономерность следует как из наблюдений, так и из теоретических соображений.

 Не только по массе, но и по мощности излучения квазары резко отличаются от всех известных небесных тел. Даже сверхновые звезды “бледнеют” в сравнении с ними. Сверхновые звезды излучают света в несколько миллиардов раз больше, чем Солнце только в момент своего мощного взрыва. Рядовой же квазар всегда в десятки тысяч раз излучает больше

.

*Инфракрасное и рентгеновское излучение квазаров*

 В последние годы астрономам удалось зарегистрировать **инфракрасное и рентгеновское излучение** квазаров; они обнаружили, что мощность излучения некоторых объектов в этих областях спектра даже больше, чем в видимой области и радиодиапазоне. Если просуммировать энергии излучения во всех областях спектра, то оказывается, что некоторые квазары генерируют в 100 000 раз больше энергии в секунду, чем гигантские галактики при условии, что наши оценки расстояний до квазаров верны.

 Развитие рентгеновской астрономии помогло установить, что большинство квазаров оказались мощными рентгеновскими источниками. Некоторый намек на это можно было заметить еще в результате самых первых рентгеновских наблюдений квазара 3С273, а в последних исследованиях обсерватории “Эйнштейн” (“НЕАО-В”) было обнаружено уже более 100 квазаров с сильным рентгеновским излучением.

 Исходя из этих наблюдений, полагают, что в отличие от радиоизлучения рентгеновское излучение – характерное свойство квазаров.

**ГАЛАКТИКИ И КВАЗАРЫ**

 За последнее время накопилось множество свидетельств того, что квазары родственны галактикам и представляют собой обширные звездные системы с компактными центральными областями – ядрами, откуда исходит основная доля их излучения. Размеры ядер малы, их яркость намного выше яркости звезд, поэтому квазары выглядят на астрономических фотографиях точечными источниками.

 Пожалуй, первым из фактов, позволивших найти место квазаров в общей семье астрономических систем, был химический состав их излучающих областей: они испускают линии тех же химических элементов, что и Солнце или облака газа в диске нашей Галактики. “Нормальный” химический состав квазаров прямо указывает на их родство с “обычными” звездными системами.

 Очень важно, что параллельно с изучением квазаров продолжалось углубленное изучение галактик. Это позволило установить, что большая величина красного смещения – не исключительная привилегия квазаров. Оно было также обнаружено у галактики 3С295, проявляющей себя также повышенным радиоизлучением и занесенной в 3-й Кембриджский каталог. Это красное смещение даже больше, чем у двух первых квазаров 3С273 и 3С48. Наибольшее красное смещение, зарегистрированное у галактик, принадлежит галактике 3С324 из того же каталога. Методы наблюдения галактик со столь большими красными смещениями, примененные к квазарам, позволили непосредственно обнаружить вокруг самых близких из них протяженные светящиеся образования, которые оказались звездными системами, подобными обычным галактикам. В 1982 г. удалось наблюдать звездную систему вокруг ядра квазара 3С273.

 Глубокое родство имеется и в проявлениях активности ядер галактик и квазаров. Значительное сходство выявляется между радиоизлучающими квазарами и радиогалактиками, т.е. галактиками с повышенным радиоизлучением.

Ядра квазаров и ядра галактик

 Активные процессы в галактических ядрах стали предметом всестороннего изучения незадолго до открытия квазаров, с 1955 г., когда И.С.Шкловский дал объяснение явлению выброса из ядра галактики Дева А. В.А.Амбарцумян выдвинул общую концепцию активности ядер галактик и привлек к этому явлению широкое внимание астрономов. Различные проявления активности ядер – переменность, истечения и выбросы вещества, радиоизлучающие компоненты – достигают в квазарах максимальных масштабов по энергетике и пространственным размерам. Резервуаром и генератором энергии для этих явлений служит ядро квазара, которое должно быть массивнее и гораздо компактнее, чем самые мощные ядра галактик.

 Еще в 60-х годах советский астрофизик Б.В.Комберг высказал гипотезу о том, что квазары (как и ядра активных галактик) представляют собой сверхмассивные двойные системы. Эта гипотеза, получившая в последние годы ряд подтверждений, нуждается в новых наблюдениях. Скорее всего, ядра квазаров - это и не звезды, и не простые их скопления, а компактные и очень массивные объекты, представляющие собой ядра чрезвычайно активных галактик, удаленных от нас на миллиарды световых лет и поэтому невидимых с больших расстояний. Подтверждением этому является, например, открытие светящегося гало вокруг квазара 3С273, что принято рассматривать как доказательство того, что данный квазар – далекая галактика.

 Сходство выбросов у квазара 3С273 и у галактики Дева А – важное указание на общую природу явлений активности в квазарах и ядрах галактик. Не менее важно и то, что многие массивные эллиптические галактики являются источниками интенсивного радиоизлучения. Такова, например, галактика Лебедь А. Ее радиоизлучение было обнаружено случайно в 1946 г. По мощности излучения радиогалактика Лебедь А сравнима с квазарами 3С273 и 3С48, хотя и уступает самым мощным квазарам, светимость которых еще в 100 – 1000 раз больше.

Квазары и сейфертовские галактики

 Значительное сходство с квазарами имеют и сейфертовские галактики, названные так в честь открывшего их в 40-е годы американского астронома К.Сейферта. Они принадлежат к классу спиральных галактик и составляют примерно одну сотую их общей численности. Сейфертовские галактики обладают компактными яркими ядрами, из которых исходит излучение в сильно расширенных линиях водорода и гелия. Ядра являются иногда мощным источником радиоволн и рентгеновских лучей. Их излучение переменно, что, как и в случае квазаров, указывает на происходящие в ядрах этих галактик бурные процессы.

Квазары и лацертиды

 Родственны квазарам и так называемые лацертиды (от Лацерта – латинского названия созвездия Ящерицы, где был найден первый объект этого типа – галактика BL Ящерицы). Это сильные источники оптического , инфракрасного и радиоизлучения. Как и ядра квазаров, они выглядят на фотографиях точечными источниками, окруженными иногда слабо светящимися ореолами, которые в действительности являются звездными системами. Лацертиды обнаруживают также сильную переменность. Расстояния до них сравнимы с расстояниями до далеких квазаров.

*От нормальных галактик – к квазарам*

 Итак, прослеживается вполне очевидная непрерывность свойств от нормальных галактик – через радиогалактики, эллиптические галактики с активными ядрами, сейфертовские галактики и лацертиды – к квазарам. Выяснение этого факта было решающим шагом к пониманию природы квазаров.

*Квазары и наша Галактика*

 Ядро нашей Галактики не принадлежит к числу активных. Центральную ее область невозможно наблюдать оптическими методами из-за поглощения света газопылевыми облаками, лежащими на луче зрения. Данные о ней получены из наблюдений в инфракрасном и радиодиапазонах электромагнитных волн, для которых облака прозрачны. В центре вращения Галактики находится довольно яркий радиоисточник Стрелец А; его радиосветимость сильно уступает светимости квазаров и активных ядер.

**КРАТНЫЕ КВАЗАРЫ**

 Особое внимание астрофизиков и физиков привлекли *кратные* (двойные, тройные) квазары: двойной квазар в созвездии Большой Медведицы (1978), тройной квазар в созвездии Льва (1980) и такой же квазар в созвездии Рыб (1981). Каждый из объектов представлял собой квазаров-близнецов, расположенных друг от друга на расстоянии нескольких угловых секунд, имеющих очень похожие спектры и красные смещения. Однако, по всей вероятности, перечисленные квазары не есть “истинные” кратные квазары, а лишь изображения соответствующего источника. Расщепление одного изображения на несколько происходит под действием гравитационного поля массивной галактики, оказавшейся на пути между квазаром и нами. Лучи света от квазаров могут искривляться под действием гравитации галактик, играющих роль источников гравитационной фокусировки. Такие гравитационные линзы могут искажать формы далеких галактик, что, по мнению некоторых ученых, открывает новые возможности исследования крупномасштабных неоднородностей в распределении вещества во Вселенной.

 Не исключено, что эффект гравитационной линзы в некоторых случаях создают не далекие галактики, а массивные черные дыры. Индийские астрофизики Г.Падманабхан и С.Читре обратили внимание на случаи, когда видно удвоенное изображение квазара, а галактики, вызвавшей это явление, поблизости не обнаружено. Вот и появилась гипотеза о том, что эффект создают практически точечные черные дыры с массой, в миллион раз превосходящей массу Солнца. Так как до сих пор нигде ни одна черная дыра не обнаружена, то пока трудно сказать, насколько близка к истине такая гипотеза.

 Вопрос о том, существуют ли в природе “истинные” двойные квазары, остается предметом исследований и дискуссий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из всего выше изложенного можно сделать вывод:

1. квазизвездные радиоисточники, или квазары, на фотоснимках имеют вид светящихся

 точек в отличие от размытых клякс, изображающих галактики;

1. кроме радиоизлучения, они испускают мощные потоки инфракрасного, видимого и рентгеновского излучения;
2. спектры видимого излучения квазаров характеризуются самым большим красным смещением из всех известных источников. Если это красное смещение обусловлено расширением Вселенной, то квазары должны быть самыми удаленными из известных объектов и наиболее мощными источниками фотонов;
3. однако, многие квазары наблюдаются на небе по соседству с пекулярными галактиками. Если квазары действительно как-то связаны с этими галактиками, то они примерно в сто раз ближе, чем мы думали, и их необычное красное смещение представляет собой тайну, еще не разгаданную астрофизиками.

 Главная задача современной звездной астрономии состоит в выяснении деталей строения Метагалактики, т.е. всего доступного нашему изучению звездного мира. Открытие квазаров и уменьшение их численности по мере дальнейшего проникновения в глубины Вселенной, возможно, показывает, что “границы” Метагалактики близки к наблюдению самых старых объектов мироздания.

**Список использованной литературы:**

1. Е.Левитан “Эволюционирующая Вселенная”, М. Просвещение, 1993
2. А.Чернин “Звезды и физика”, М. Наука, 1984
3. Дж. Нарликар “Неистовая Вселенная”, М. Мир, 1985
4. Ф.Зигель “Астрономия в ее развитии”, М. Просвещение, 1988
5. Д.Голдсмит, Т.Оуэн “Поиски жизни во Вселенной”, М. Мир, 1983