Содержание

Введение

1. Галактические радиоисточники

1.1 Квазары

1.2 Пульсары

1.3 Излучение водорода. мистериум. мазеры

1.4 Туманности

1.5 Радиогалактики

1.5.1 Наиболее известные радиогалактики

1.5.2 Сейфертовские галактики

1.5.3 Морфологические особенности радиогалактик

1.6 Радиоизлучение Солнца

2. Излучения

2.1 Фоновое излучение

2.2 Реликтовое излучение

2.2.1 Природа излучения

2.2.2 История исследования

2.2.3 Свойства

Литература

## Введение

Радиоастрономия - раздел астрономии, изучающий космические объекты путем анализа приходящего от них радиоизлучения[[1]](#footnote-1). Многие космические тела излучают радиоволны, достигающие Земли: это, в частности, внешние слои Солнца и атмосфер планет, облака межзвездного газа. Радиоизлучением сопровождаются такие явления, как взаимодействие турбулентных потоков газа и ударные волны в межзвездной среде, быстрое вращение нейтронных звезд с сильным магнитным полем, "взрывные" процессы в ядрах галактик и квазаров[[2]](#footnote-2), солнечные вспышки и др. Приходящие к Земле радиосигналы естественных объектов имеют характер шумов. Эти сигналы принимаются и усиливаются с помощью специальной электронной техники, а затем регистрируются в аналоговом или цифровом виде. Часто радиоастрономическая техника оказывается более чувствительной и дальнодействующей, чем оптическая.

Радиоастрономия как наука началась в 1931, когда К. Янский из компании "Белл телефон" стал изучать помехи радиосвязи и обнаружил, что они приходят из центральной части Млечного Пути. Первый радиотелескоп построил в 1937-1938 радиоинженер Г. Ребер, самостоятельно сделавший у себя в саду из листов железа 9-метровый рефлектор, в принципе такой же, как нынешние гигантские параболические антенны. Ребер составил первую радиокарту неба и обнаружил, что на волне 1,5 м излучает весь Млечный Путь, но наиболее сильно - его центральная часть. В феврале 1942 Дж. Хей заметил, что в метровом диапазоне Солнце создает помехи радиолокаторам, когда на нем происходят вспышки; радиоизлучение Солнца в сантиметровом диапазоне в 1942-1943 открыл Дж. Саутворт.

Планомерное развитие радиоастрономии началось после Второй мировой войны. В Великобритании были созданы крупная обсерватория Джодрелл-Бэнк (Манчестерский университет) и станция Кавендишской лаборатории (Кембридж). Радиофизическая лаборатория (Сидней) организовала несколько станций в Австралии. Нидерландские радиоастрономы стали изучать облака межзвездного водорода. В СССР были построены радиотелескопы под Серпуховом, в Пулкове, в Крыму.

Сравнение с оптической астрономией. Из всех видов космического электромагнитного излучения к поверхности Земли сквозь ее атмосферу проходят, практически не ослабевая, только видимый свет, близкое (коротковолновое) инфракрасное излучение и часть спектра радиоволн. С одной стороны, радиоволны, имеющие значительно большую длину волны, чем оптическое излучение, легко проходят сквозь облачные атмосферы планет и облака межзвездной пыли, непрозрачные для света. С другой стороны, только самые короткие радиоволны проходят сквозь прозрачные для света области ионизованного газа вокруг звезд и в межзвездном пространстве.

Слабые космические сигналы радиоастрономы улавливают с помощью радиотелескопов, основными элементами которых служат антенны. Обычно это металлические рефлекторы в форме параболоида. В фокусе рефлектора, там, где концентрируется излучение, помещают собирающее устройство в виде рупора или диполя, которое отводит собранную энергию радиоизлучения к приемной аппаратуре. Рефлекторы диаметром до 100 м делают подвижными и полноповоротными; они могут наводиться на объект в любой части неба и следить за ним. Более крупные рефлекторы (до 300 м в диаметре) - неподвижные, в виде огромной сферической чаши, а наведение на объект происходит за счет вращения Земли и перемещения облучателя в фокусе антенны. Рефлекторы еще большего размера обычно имеют вид части параболоида. Чем больше размер рефлектора, тем детальнее наблюдаемая радиокартина. Часто для ее улучшения один объект наблюдают синхронно двумя радиотелескопами или целой их системой, содержащей несколько десятков антенн, разнесенных иногда на тысячи километров.

Сквозь земную атмосферу проходят радиоволны длиной от нескольких миллиметров до 30 м, т.е. в диапазоне частот от 10 МГц до 200 ГГц. Таким образом, радиоастрономы имеют дело с частотами, заметно более высокими, чем, например, широковещательный радиодиапазон средних или коротких волн. Однако с появлением УКВ и телевизионного вещания в диапазоне частот 50-1000 МГц, а также радиолокаторов (радаров) в диапазоне 3-30 ГГц у радиоастрономов возникли проблемы: мощные сигналы земных передатчиков в этих диапазонах мешают приему слабых космических сигналов. Поэтому путем международных соглашений радиоастрономам выделено для наблюдения космоса несколько диапазонов частот, в которых запрещена передача сигналов.

Зарегистрировано радиоизлучение Солнца с длиной волны от нескольких миллиметров до 30 м. Особенно сильно излучение в метровом диапазоне; оно рождается в верхних слоях атмосферы Солнца, в его короне, где температура порядка 1 млн.К. Коротковолновое излучение Солнца относительно слабо; оно выходит из хромосферы, расположенной над видимой поверхностью Солнца - фотосферой.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Классификация по международному регламенту радиосвязи | | | | |
| Длины волн | Название диапазона | Полоса частот | Название полосы | Применение |
| 100 - 10 Мм | Декамегаметровые | 3 - 30 Гц | Крайне низкие (КНЧ; ELF) | Связь с подводными лодками |
| 10 - 1 Мм | Мегаметровые | 30 - 300 Гц | Сверхнизкие (СНЧ; SLF) | Связь с подводными лодками |
| 1 000 - 100 км | Гектокилометровые | 0,3 - 3 кГц | Инфранизкие (ИНЧ; ULF) |  |
| 100 - 10 км | Мириаметровые | 3 - 30 кГц | Очень низкие (ОНЧ; VLF) | Связь с подводными лодками |
| 10 - 1 км | Длинные волны, Километровые | 30 - 300 кГц | Низкие (НЧ; LF) | Радиовещание, радиосвязь |
| 1 000-100 м | Средние волны, Гектометровые | 300 - 3 000 кГц | Средние (СЧ; MF) | Радиовещание, радиосвязь |
| 100 - 10 м | Короткие волны, Декаметровые | 3 - 30 МГц | Высокие (ВЧ; HF) | Радиовещание, радиосвязь, рации |
| 10 - 1 м | Ультракороткие волны, Метровые | 30 - 300 МГц | Очень высокие (ОВЧ; VHF) | Телевидение, радиовещание, радиосвязь, рации |
| 10 - 1 дм | Дециметровые | 300 - 3 000 МГц | Ультравысокие (УВЧ; UHF) | Телевидение, радиосвязь, Мобильные телефоны, рации, микроволновые печи |
| 10 - 1 см | Сантиметровые | 3 - 30 ГГц | Сверхвысокие (СВЧ; SHF) | радиолокация, спутниковое телевидение, радиосвязь, Беспроводные компьютерные сети, спутниковая навигация |
| 10 - 1 мм | Миллиметровые | 30 - 300 ГГц | Крайне высокие (КВЧ; EHF) | Радиоастрономия, высокоскоростная радиорелейная связь, метеорологические радиолокаторы |
| 1 - 0,1 мм | Децимиллиметровые | 300 - 3 000 ГГц | Гипервысокие частоты, длинноволновая область инфракрасного излучения |  |

## **1. Галактические радиоисточники**

Уже первые наблюдения Г. Ребера показали, что радиоизлучение Млечного Пути неоднородно - оно сильнее в направлении центра Галактики. Дальнейшие исследования подтвердили, что основные источники радиоволн относительно компактны; их называют точечными или дискретными. Зарегистрированы уже десятки тысяч таких источников.

Излучение космических радиоисточников бывает двух типов: тепловое и нетепловое (обычно синхротронное). Тепловое излучение рождается в горячем газе от случайного (теплового) движения заряженных частиц - электронов и протонов. Его интенсивность в широком диапазоне спектра почти постоянна, но на длинных волнах она быстро уменьшается. Такое излучение характерно для эмиссионных туманностей. Остальные источники имеют нетепловое излучение, интенсивность которого растет с увеличением длины волны. В этих источниках излучение возникает при движении очень быстрых электронов в магнитном поле. Скорости электронов близки к скорости света, и это не может быть следствием простого теплового движения. Для разгона электронов до таких скоростей в лаборатории используют специальные ускорители - синхротроны. Как это происходит в естественных условиях, не совсем ясно. Синхротронное излучение сильно поляризовано. Это позволяет обнаруживать его в космических источниках и по направлению поляризации определять ориентацию их магнитного поля. Таким методом исследованы межзвездные магнитные поля в нашей и соседних галактиках.

Одним из важнейших достижений радиоастрономии стало открытие активных процессов в ядрах галактик. Радионаблюдения указывали на это еще в 1950-е годы, но окончательное подтверждение появилось в 1962, когда с помощью 5-метрового оптического телескопа обсерватории Маунт-Паломар (США) были независимо обнаружены бурные процессы в ядре галактики М 82.

В 1967 Э. Хьюиш, Дж. Белл и их коллеги из Кембриджа (Англия) открыли необычные переменные радиоисточники - пульсары[[3]](#footnote-3). Излучение каждого пульсара представляет строго периодическую последовательность импульсов; у открытых пульсаров периоды лежат в интервале от 0,0016 с до 5,1 с. Через 2 года У. Кокки, М. Дисней и Д. Тейлор обнаружили, что радиопульсар в Крабовидной туманности совпадает со слабой оптической звездой, которая, как и пульсар, изменяет свою яркость с периодом 1/30 с. Среди более 700 известных сейчас пульсаров еще только один - в созвездии Парусов (Vela) - демонстрирует оптические вспышки. Выяснилось, что феномен пульсара связан c нейтронными звездами, образовавшимися в результате гравитационного коллапса ядер массивных звезд. Имея диаметр около 15 км и массу как у Солнца, нейтронная звезда быстро вращается и как маяк периодически "освещает" Землю. Постепенно скорость вращения пульсара замедляется, период между импульсами возрастает, а их мощность падает. Иногда наблюдаются резкие сбои периода, когда у нейтронной звезды происходит перестройка структуры, называемая "звездотрясением".

Другим важнейшим открытием радиоастрономии считаются квазары - очень далекие и активные внегалактические объекты. Вначале они казались рядовыми точечными источниками. Затем некоторые из них были отождествлены со слабыми звездами (отсюда название "квазар" - квазизвездный радиоисточник). Доплеровское смещение линий в их оптических спектрах указывает на то, что квазары удаляются от нас со скоростью, близкой к скорости света и, в соответствии с законом Хаббла, расстояния до них составляют миллиарды световых лет. Находясь на таких гигантских расстояниях, они заметны лишь потому, что излучают с огромной мощностью - порядка 1041 Вт. Это значительно больше мощности излучения целой галактики, хотя размер области генерации энергии у квазаров существенно меньше размера галактик и порой не превосходит размера Солнечной системы. Загадка квазаров до сих пор не раскрыта.

Отождествление источников.

Звезды - слабые источники радиоволн. Долгое время единственной звездой на "радионебе" было Солнце, и то лишь благодаря его близости. Но в 1970-х годах Р. Хелминг и К. Уэйд из Национальной радиоастрономической обсерватории США открыли радиоизлучение от газовых оболочек, сброшенных Новой Дельфина 1967 и Новой Змеи 1970. Затем они обнаружили радиоизлучение красного сверхгиганта Антареса и рентгеновского источника в Скорпионе.

В. Бааде и Р. Минковский из обсерваторий Маунт-Вилсон и Маунт-Паломар (США) отождествили многие яркие радиоисточники с оптическими объектами. Например, ярчайший источник в Лебеде оказался связан с очень далекой и слабой галактикой необычной формы, ставшей прототипом радиогалактик[[4]](#footnote-4). Мощный радиоисточник в Тельце они отождествили с остатком взрыва сверхновой звезды, отмеченной в китайской летописи 1054. Мощный источник в Кассиопее также оказался остатком сверхновой, вспыхнувшей всего лет 300 назад, но не замеченной никем.

## 1.1 Квазары

Квазар (англ. quasar - сокращение от QUASi stellAR radio source - "квазизвёздный радиоисточник") - класс внегалактических объектов, отличающихся очень высокой светимостью и настолько малым угловым размером, что в течение нескольких лет после открытия их не удавалось отличить от "точечных источников" - звёзд.

В 1963 г. были обнаружены метагалактические (т.е. расположенные за пределами нашей Галактики) объекты нового типа. Это открытие было сделано голландским астрономом Маартеном Шмидтом, работающим в Калифорнии. Указанные объекты имеют звездообразный вид и некоторые из них еще раньше были отождествлены с радиоисточниками весьма малых угловых размеров. Спектр этих "квазизвездных объектов", или, как их сейчас повсеместно называют, "квазаров" состоит из ярких линий излучения на "непрерывном" фоне.

Квазары - квазизвёздные объекты, квазизвёзды, сверхзвёзды, небесные объекты, имеющие сходство со звёздами по оптическому виду и с газовыми туманностями по характеру спектров, обнаруживающие, кроме того, значительные красные смещения (См. Красное смещение) (до 6 раз превышающие наибольшие из известных у галактик). Последнее свойство определяет важную роль К в астрофизике и космологии. Открытие К. явилось результатом повышения точности определения координат внегалактических источников радиоизлучения, позволившего значительно увеличить число радиоисточников, отождествленных с небесными объектами, видимыми в оптических лучах. Первое совпадение радиоисточника с звёздоподобным объектом было обнаружено в 1960, а в 1963, когда американский астроном М. Шмидт отождествил сдвинутые вследствие эффекта красного смещения линии в спектрах таких объектов, они были выделены в особый класс космических объектов - квазары. Т.о., первоначально были обнаружены К., являющиеся сильными радиоисточниками, но впоследствии были найдены К. также и со слабым радиоизлучением (около 98,8% всех К., доступных обнаружению). Эта многочисленная разновидность К. называлась радиоспокойными К., квазигалактиками (квазагами), интерлоперами, а иногда - голубыми звёздоподобными объектами. Полное число доступных наблюдениям К. составляет около 105, из них уже отождествлено с оптическими объектами около 1000, но достоверная принадлежность к К. по спектрам установлена лишь примерно для 200.

В спектрах К. обнаруживаются мощное ультрафиолетовое излучение и широкие яркие линии, характерные для горячих газовых туманностей (температура около 30 000 °C), но значительно сдвинутые в красную область спектра. При красных смещениях, превышающих 1,7, на снимках спектров К. становится видна даже резонансная линия водорода Lα 1216 Å. Изредка в спектрах К. наблюдаются узкие тёмные линии, обусловленные поглощением света в окружающем К. межгалактическом газе. На фотографиях К. имеют вид звёзд, Т.о. их угловые диаметры менее 1", только ближайшие К. обнаруживают оптические особенности: эллиптическую форму звездообразного изображения, газовые выбросы. По сильному ультрафиолетовому излучению, характеризуемому голубыми показателями цвета (См. Показатель цвета), К. удаётся отличать на фотографиях от нормальных звёзд, а по избыточному инфракрасному излучению - от белых карликов, даже если К. не имеют радиоизлучения.

Вариации блеска многих К. являются, по-видимому, одним из фундаментальных свойств К. (кратчайшая вариация с периодом τ ≈ 1 ч, максимальные изменения блеска - в 25 раз). Поскольку размеры переменного по блеску объекта не могут превышать сτ (с - скорость света), размеры К. не могут быть более 4․1012 м (менее диаметра орбиты Урана), и только при движении вещества со скоростью, близкой к скорости света, эти размеры могут быть больше. В отличие от непрерывного излучения, вариации интенсивности в спектральных линиях редки.

Как радиоисточники, К. сходны с радиогалактиками: у К. часто наблюдаются два, не обязательно одинаковых по интенсивности, протяжённых радиоисточника, находящихся на значительном расстоянии по разные стороны от оптического объекта. Механизм радиоизлучения и тех и других синхротронный. Но в К., кроме того, обнаружены компактные радиоисточники, порождающие вариации радиоизлучения на сантиметровых волнах; они представляют собой расширяющиеся облака релятивистских частиц, существующие несколько лет. Механизм их радиоизлучения связан, по-видимому, с плазменными колебаниями.

Природа К изучена ещё мало. В зависимости от толкований природы красного смещения в их спектрах обсуждаются три гипотезы (начало 70-х гг.20 в). Наиболее правдоподобна космологическаягипотеза, согласно которой большие красные смещения свидетельствуют о том,что К. находятся на огромных расстояниях (до 10 гигапарсек) и принимают участие в расширении Метагалактики. На этом предположении основаны определения расстояний до К. (по красным смещениям) и оценки их масс и светимостей, В космологической гипотезе К. по абсолютным звёздным величинам (-27) и массам (около 1038 кг, т.е.108 масс Солнца) являются действительно сверхзвёздами. Физическая природа К. в этом случае связывается с гравитационным коллапсом массы газа, который остановлен вследствие магнитной турбуленции или вращения К.

Большой расход энергии на все виды электромагнитного излучения при этой гипотезе ограничивает активную стадию К.104 годами. По мощности радиоизлучения (Квазары1012 вт) К. сравнимы с радиогалактиками. Предполагается, что К. являются сверхмассивными звёздами радиусом порядка 1012 м, плазма которых непрерывно, а также сильными взрывами выбрасывает потоки частиц различных энергий. В радиусе порядка 1016 м К. окружены облаками ионизованного газа, создающими яркие линии в спектрах К., а на расстояниях порядка 1019 м находятся облака релятивистских частиц, запертых в слабых магнитных полях, - радиоизлучающие области К.

Ближайшие К. находятся далее 200 мегапарсек. Относительные редкость и кратковременность их существования подтверждают предположение, что К. - это стадия эволюции крупных космическихмасс, например ядер галактик. Т.о., оказывается неслучайным сходство К. с N-галактиками, галактиками Сейферта и голубыми компактными галактиками по характеру спектров, вариациям блеска и радиоизлучения. Ближайшие К., у которых удалось рассмотреть на фотографиях структуру, оказались N-галактиками, на основании чего их объединили в один класс компактных сверхярких объектов. Загадочна природа объекта BL Ящерицы (и ещё нескольких), который по колебаниям блеска, радиоизлучению, показателям цвета и оптической структуре выглядит как типичный К., но в то же время не имеет в спектре никаких линий.

Согласно другой гипотезе, К. со скоростями, близкими к скорости света, разлетаются в результате взрыва в центре Галактики и выброса вещества массой около 1040 кг, происшедших несколько млн. лет назад. По этой гипотезе массы К. составляют 1031 кг (5 масс Солнца), а расстояния до них 60-600 килопарсек. Однако неизвестны физические процессы, которые могли бы дать необходимую для взрыва энергию (1058 дж).

В третьей гипотезе предполагается, что К. - компактные газовые объекты размерами 1016-1017 м и массами 1042-1043 кг, в спектрах которых линии имеют большие красные смещения гравитационного характера.

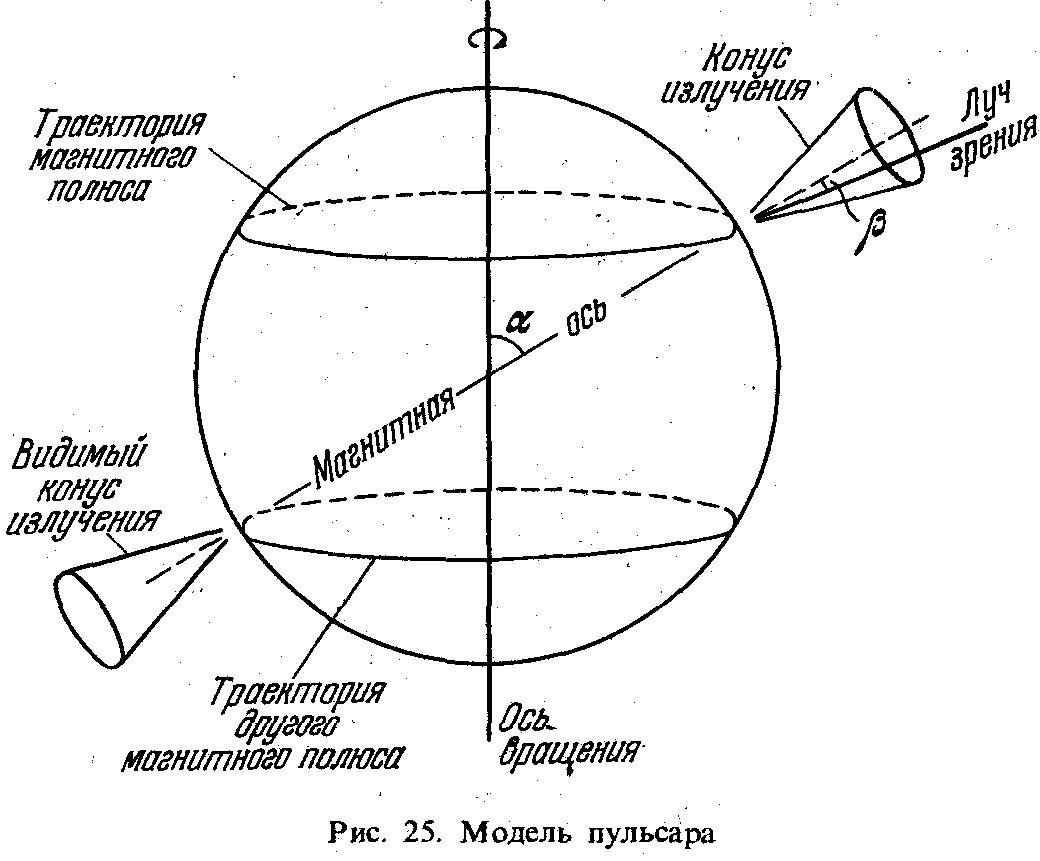
## 1.2 Пульсары

Даже по самым строжайшим критериям обнаружение пульсаров действительно является подлинным открытием. Это открытие, как это всегда бывает, с настоящим открытием, произошло случайно. Летом 1967 г. аспирантка известного английского радиоастронома Хьюиша мисс Бэлл неожиданно обнаружила на небе совершенно необычный радиоисточник. Этот источник излучал кратковременные радиоимпульсы, которые строго периодически, через каждые 1,33 секунды, повторялись. Вскоре были обнаружены еще три таких же источника с другими также "почти секундными" периодами.

Это открытие настолько ошеломило исследователей, что они, заподозрив, что эти сигналы имеют искусственное происхождение и посылаются некими "сверхцивилизациями", засекретили эти наблюдения и в течение почти полугода никто об этом не знал - случай беспрецедентный в истории астрономии... Только после того, как они убедились, что эти сигналы - не результат активности внеземных разумных цивилизаций, результаты наблюдений были опубликованы.

Не сразу было понято, что причиной строгой периодичности радиоимпульсов от этих новых источников (получивших название "пульсары") является быстрое вращение звездообразных объектов. Только вращение массивного тела может объяснить удивительное постоянство (с точностью до стомиллионной доли) периодов пульсаров. Более тщательные наблюдения показали, что на самом деле периоды не строго постоянны, а медленно растут. Представим себе, что излучение радиоволн не равномерно по всем направлениям, а сосредоточено внутри некоторого конуса, ось которого образует определенный угол с осью вращения. Теперь вообразим себе наблюдателя, который в какой-то момент времени находится на продолжении оси конуса. Ясно, что он сможет наблюдать радиоизлучение. Это будет возможно в течение некоторого времени до тех пор, пока из-за вращения звезды ось конуса уйдет, достаточно далеко. Однако через промежуток времени, равный периоду вращения звезды, радиоизлучение снова можно будет наблюдать. Эта простая модель пульсара изображена на рис.25.

Что же это за звезды, быстрое вращение которых есть причина наблюдаемого явления пульсаров? В 1967 г. был открыт пульсар с рекордно коротким периодом в 0,033 сек. (об этом замечательном пульсаре речь пойдет дальше). Так быстро вращаться может только очень маленькое тело. Ведь линейная скорость вращения на экваторе определяется школьной формулой: v = 2πR/T, где R - радиус вращающегося тела, T - период его вращения. Из этой формулы следует, что при T = 1/30 сек., учитывая, что скорость вращения никак не может превышать скорость света, радиус тела не превышает 1500 км, что в 4 раза меньше Земли. Но это является очень грубой оценкой верхней границы размеров вращающегося тела. Так как линейная экваториальная скорость вращения по простым причинам должна быть в десятки раз меньше скорости света, непосредственно ясно, что линейные размеры пульсаров не могут превышать несколько десятков километров. Но если это так, то пульсары - это не что иное, как нейтронные звезды!



Имеется и другое доказательство этого важнейшего вывода. Упомянутый выше рекордно-короткопериодический пульсар (получивший название NP 0532) расположен... в центре Крабовидной туманности! Другой пульсар, период которого всего лишь в три раза длиннее (0,089 с), также находится внутри туманности, являющейся более старым остатком вспышки сверхновой. Итак, пульсары находятся там, где положено находиться нейтронным звездам, которые должны образоваться при вспышках сверхновых! То обстоятельство, что не во всех остатках вспышек сверхновых наблюдаются пульсары и только малая часть пульсаров (их сейчас известно свыше трехсот) находится в остатках сверхновых, не должно нас смущать. Дело в том, что пульсар может быть обнаружен только при "благоприятной" по отношению к нам ориентации его оси вращения. Это ясно из рис.25. Если учесть это, оказывается, что едва ли 5% всех пульсаров можно хотя бы в принципе наблюдать. Поразительно, что Крабовидная туманность, помимо тех замечательных особенностей, о которых говорилось выше, еще имеет и пульсар, "удачно" ориентированный по отношению к Земле...

Пульсары - слабые источники космического излучения, всплески которого следуют друг за другом с очень медленно изменяющимся периодом. Первый П. был открыт в 1967 в Великобритании; к 1975 известно уже около 100 объектов этого вида. По типу радиоизлучения П. отличаются от всех известных ранее источников космического радиоизлучения, характеризующихся либо постоянной интенсивностью (галактики или радиогалактики), либо нерегулярными всплесками радиоизлучения (Солнце, некоторые вспыхивающие звёзды).

Для известных П. значения периода (т.е. интервала времени между двумя последовательными всплесками излучения) заключены в интервале между 0,033 сек и 3,75 сек. Первые наблюдения П. свидетельствовали о чрезвычайно высоком постоянстве их периодов. Однако при последующих наблюдениях было установлено, что периоды П. очень медленно возрастают.д.ля большинства П. время, в течение которого период возрастает вдвое, совпадает по порядку величины с их возрастом и составляет миллионы и десятки миллионов лет. Однако имеются два П., у которых время удвоения периода существенно меньше, а именно: у П., находящегося внутри Крабовидной туманности, являющейся остатком взрыва Сверхновой 1054, период удваивается за 2400 лет, а у П. внутри сверхновой в созвездии Паруса - за 24 тыс. лет. Эти П. - самые молодые и имеют наиболее короткие периоды. Существование у них оболочек, характерных для сверхновых звёзд, свидетельствует в пользу того, что П. образуются в результате взрыва сверхновых. Отсутствие же таких оболочек у других, более старых П. объясняется, по-видимому, тем, что они уже успели рассеяться в пространстве. Интересная особенность молодых П. - внезапные скачкообразные уменьшения периода в результате бурных процессов, происходящих в них. Практически все П. наблюдаются только в радиодиапазоне электромагнитного излучения. Исключение составляет только П. в Крабовидной туманности, который можно наблюдать также в оптическом, рентгеновском и гамма-диапазонах.

Исследования радиоизлучения П. в диапазоне радиоволн с длиной от 10 см до 10 м позволили установить, что максимум излучения приходится, как правило, на метровые волны. Было также обнаружено, что один и тот же импульс на разных длинах волн регистрируется при наблюдениях не одновременно: сначала Земли достигает излучение с более короткой длиной волны, а затем - с более длинной. Это разделение всплеска радиоизлучения объясняется тем, что при распространении радиоволн в плазме, заполняющей межзвёздное пространство, скорость коротковолнового излучения близка к скорости света в вакууме, а для длинноволнового - заметно меньше. Т.о., время запаздывания импульса, наблюдаемого в двух несовпадающих длинах волн, пропорционально расстоянию до П. и средней концентрации электронов на луче зрения. Поскольку концентрация электронов на луче зрения известна, то, измерив поток радиоизлучения на Земле и установив время запаздывания, можно определить расстояние до П. и оценить мощность радиоизлучения. Оказалось, что расстояния до известных сейчас П. заключены в интервале от десятков пс до нескольких кпс, а мощность радиоизлучения каждого из них в миллионы раз больше радиоизлучения Солнца даже в периоды его бурной активности.

Наиболее вероятное объяснение П. даёт теория вращающегося "маяка". Согласно данной теории, П. представляет собой вращающуюся звезду, излучающую узкий пучок радиоволн. Наблюдатель, попадающий в этот пучок, видит периодически повторяющиеся импульсы радиоизлучения. В теории "маяка" период П. равен периоду вращения звезды; это объясняет высокое постоянство периодов П. Модель "маяка" объясняет и многие др. данные наблюдений, в частности медленное увеличение периода является следствием замедления вращения звезды. Однако возникли серьёзные затруднения с выбором класса звёзд, который мог бы обеспечить наблюдаемые явления. Для того чтобы обеспечить очень высокую угловую скорость вращения, характерную для П., звезда должна быть весьма компактной, иметь малые размеры. Белые и красные карлики (компактные звёзды) не могут иметь таких угловых скоростей вращения: они были бы немедленно разорваны центробежными силами. Единственным приемлемым классом звёзд оказался известный только на основании теоретических исследований класс нейтронных звёзд (См. Нейтронные звёзды). Наблюдения П. явились, Т.о., подтверждением существования нейтронных звёзд. Нейтронные звёзды характеризуются очень малыми размерами: диаметр нейтронной звезды с массой, равной примерно массе Солнца, составляет всего несколько десятков км. Плотность вещества внутри таких звёзд достигает 1014 - 1015 г/см3, т.е. имеет порядок плотности вещества внутри атомных ядер. Нейтронная звезда - это как бы колоссальное атомное ядро, состоящее в основном из нейтронов. Источник энергии, излучаемой П., - кинетическая энергия вращения нейтронной звезды. Механизм излучения П. связан с существованием на их поверхности сильных магнитных полей с напряжённостью, достигающей тысяч млрд. э. Трансформация кинетической энергии вращения звезды в излучение происходит, по-видимому, вследствие того, что вращающаяся магнитная звезда индуцирует вокруг себя электрическое поле, ускоряющее частицы окружающей П. плазмы до высоких энергий. Эти ускоренные частицы и дают наблюдаемое излучение.

В 70-х гг. открыты П., излучающие главным образом в рентгеновском диапазоне. Эти П. оказались нейтронными звёздами, входящими в состав двойных звёздных систем. Второй компонент в этих системах - нормальная звезда. Газ из оболочки нормальной звезды течёт к нейтронной звезде, закручивается вокруг неё и в конце концов вдоль магнитных силовых линий поля нейтронной звезды падает на её поверхность. В результате возникает направленное рентгеновское излучение, которое и создаёт эффект пульсаций для наблюдателя, попадающего в пучок направленного излучения.

## 1.3 Излучение водорода. мистериум. мазеры

Значительное количество сведений о природе межзвездного газа было получено за последние три десятилетия благодаря весьма эффективному применению радиоастрономических методов. Особенно плодотворными были исследования межзвездного газа на волне 21 см. Что это за волна? Еще в сороковых годах теоретически было предсказано, что нейтральные атомы водорода в условиях межзвездного пространства должны излучать спектральную линию с длиной волны 21 см. Дело в том, что основное, самое "глубокое" квантовое состояние атома водорода состоит из двух очень близких уровней. Эти уровни различаются ориентациями магнитных моментов ядра атома водорода (протона) и вращающегося вокруг него электрона. Если моменты ориентированы параллельно, получается один уровень, если антипараллельно - другой. Энергия одного из этих уровней несколько больше другого (на величину, равную удвоенному значению энергии взаимодействия магнитных моментов электрона и протона). Согласно законам квантовой физики, время от времени должны самопроизвольно происходить переходы с уровня большей энергии на уровень меньшей энергии. При этом будет излучаться квант с частотой, пропорциональной разности энергий уровней. Так как последняя в нашем случае очень мала, то и частота излучения будет низкой. Соответствующая длина волны будет равна 21 см.

Расчеты показывают, что такие переходы между уровнями атома водорода происходят чрезвычайно редко: в среднем для одного атома имеет место один переход в 11 млн. лет! Чтобы почувствовать ничтожную величину вероятности таких процессов, достаточно сказать, что при излучении спектральных линий в оптическом диапазоне переходы происходят каждую стомиллионную долю секунды. И все же оказывается, что эта линия, излучаемая межзвездными атомами, имеет вполне наблюдаемую интенсивность.

Так как межзвездные атомы имеют различные скорости по лучу зрения, то из-за эффекта Доплера излучение в линии 21 см будет "размазано" в некоторой полосе частот около 1420 МГц (эта частота соответствует длине волны 21 см). По распределению интенсивности в этой полосе (так называемому "профилю линии") можно изучить все движения, в которых участвуют межзвездные атомы водорода. Таким путем удалось исследовать особенности галактического вращения межзвездного газа, беспорядочные движения отдельных его облаков, а также его температуру. Кроме того, из этих наблюдений определяется количество атомов водорода в межзвездном пространстве. Мы видим, таким образом, что радиоастрономические исследования на волне 21 см являются мощнейшим методом изучения межзвездной среды и динамики Галактики. В последние годы этим методом изучаются другие галактики, например туманность Андромеды. По мере увеличения размеров радиотелескопов будут открываться все новые возможности изучения более удаленных галактик при помощи радиолинии[[5]](#footnote-5) водорода.

В конце 1963 г. была обнаружена еще одна межзвездная радиолиния, принадлежащая молекулам гидроксила OH, с длиной волны 18 см. Существование этой линии было теоретически предсказано автором этой книги еще в 1949 г. В направлении на галактический центр интенсивность этой линии (которая наблюдается в поглощении) оказалась очень высокой. (Линия OH состоит из четырех близких по частотам компонент 1612, 1665, 1667 и 1720 МГц). Это подтверждает сделанный выше вывод, что в отдельных областях межзвездного пространства газ находится преимущественно в молекулярном состоянии.

В 1967 г. была открыта радиолиния воды H2O с длиной волны 1,35 см. Исследования газовых туманностей в линиях OH и H2O привели к открытию космических мазеров

За последние 20 лет, протекшие после открытия межзвездной радиолинии OH, было открыто много других радиолиний межзвездного происхождения, принадлежащих различным молекулам. Полное число обнаруженных таким образом молекул уже превышает 50. Среди них особенно большое значение имеет молекула CO, радиолиния которой с длиной волны 2,64 мм наблюдается почти во всех областях межзвездной среды. Есть молекулы, радиолинии от которых наблюдаются исключительно в плотных, холодных облаках межзвездной среды. Довольно неожиданным было обнаружение в таких облаках радиолиний весьма сложных многоатомных молекул, например, CH3HCO, CH3CN и др. Это открытие, возможно, имеет отношение к волнующей нас проблеме происхождения жизни во Вселенной. Если открытия будут и дальше делаться в таком темпе, кто знает, не будут ли обнаружены нашими приборами межзвездные молекулы ДНК и РНК?

Весьма полезным является то обстоятельство, что соответствующие радиолинии, принадлежащие различным изотопам одной и той же молекулы, имеют довольно заметно различающиеся длины волн. Это позволяет исследовать изотопный состав межзвездной среды, что имеет большое значение для изучения проблемы эволюции вещества во Вселенной. В частности, раздельно наблюдаются такие изотопные комбинации окиси углерода: 12C16O, 13C16O и 12C18O.

Области межзвездной среды, окружающей горячие звезды, где водород полностью ионизован ("зоны HII"), весьма успешно исследуются при помощи так называемых "рекомбинационных" радиолиний, существование которых было теоретически предсказано еще до их открытия советским астрономом Н.С. Кардашевым, много занимавшимся также проблемой связи с внеземными цивилизациями "Рекомбинационные" линии возникают при переходах между весьма высоко возбужденными атомами (например, между 108 и 107 уровнями атома водорода). Столь "высокие" уровни могут существовать в межзвездной среде только по причине ее чрезвычайно низкой плотности. Заметим, например, что в солнечной атмосфере могут существовать только первые 28 уровней атома водорода; более высокие уровни разрушаются благодаря взаимодействию с частицами окружающей плазмы.

Уже сравнительно давно астрономы получили ряд косвенных доказательств наличия межзвездных магнитных полей. Эти магнитные поля связаны с облаками межзвездного газа и движутся вместе с ними. Напряженность таких полей около 10-5 Э, т.е. в 100 тыс. раз меньше напряженности земного магнитного поля на поверхности нашей планеты. Общее направление магнитных силовых линий совпадает с направлением ветвей спиральной структуры Галактики. Можно сказать, что сами спиральные ветви представляют собой гигантских размеров магнитные силовые трубки.

В конце 1962 г. факт существования межзвездных магнитных полей был установлен английскими радиоастрономами путем прямых наблюдений. С этой целью исследовались весьма тонкие поляризационные эффекты в радиолинии 21 см, наблюдаемой в поглощении в спектре мощного источника радиоизлучения - Крабовидной туманности. (Линия поглощения 21 см, обусловленная межзвездным водородом, образуется в радиоспектре какого-либо источника совершенно таким же образом, как линии межзвездного кальция в спектрах удаленных горячих звезд) Если межзвездный газ находится в магнитном поле, можно ожидать расщепления линии 21 см на несколько компонент, отличающихся поляризацией. Так как величина магнитного поля очень мала, это расщепление будет совершенно ничтожным. Кроме того, ширина линии поглощения 21 см довольно значительна. Единственное, что можно ожидать в такой ситуации, - это небольшие систематические различия поляризации в пределах профиля линий поглощения. Поэтому уверенное обнаружение этого тонкого эффекта - замечательное достижение современной науки. Измеренное значение межзвездного магнитного поля оказалось в полном соответствии с теоретически ожидаемым согласно косвенным данным.

Для исследований межзвездных магнитных полей применяется и радиоастрономический метод, основанный на изучении вращения плоскости поляризации радиоизлучения внегалактических источников (радиоизлучение от метагалактических источников линейно поляризовано, причем степень поляризации обычно порядка нескольких процентов. Поляризация этого радиоизлучения объясняется его синхротронной природой при его прохождении через "намагниченную" межзвездную среду ("явление Фарадея"). Этим методом уже сейчас удалось получить ряд важных данных о структуре межзвездных магнитных полей. В последние годы в качестве источников поляризованного излучения для измерения межзвездного магнитного поля таким методом используются пульсары.

Межзвездные магнитные поля играют решающую роль при образовании плотных холодных газопылевых облаков межзвездной среды, из которых конденсируются звезды.

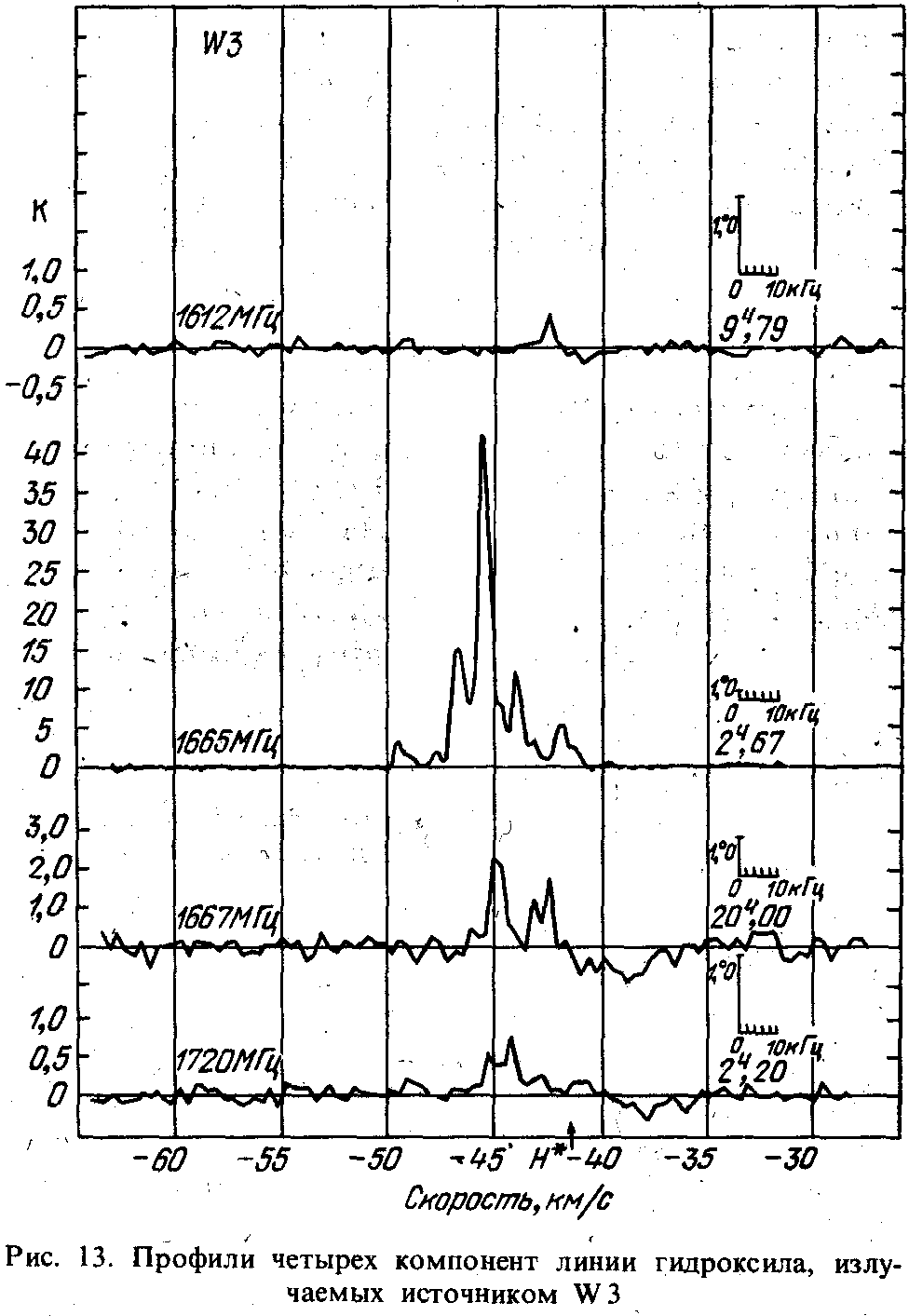
С межзвездными магнитными полями тесно связаны первичные космические лучи, заполняющие межзвездное пространство. Это частицы (протоны, ядра более тяжелых элементов, а также электроны), энергии которых превышают сотни миллионов электрон вольт, доходя до 1020 - 1021 эВ. Они движутся вдоль силовых линий магнитных полей по винтовым траекториям. Электроны первичных космических лучей, двигаясь в межзвездных магнитных полях, излучают радиоволны. Это излучение наблюдается нами как радиоизлучение Галактики (так называемое "синхротронное излучение"). Таким образом, радиоастрономия открыла возможность изучать космические лучи в глубинах Галактики и даже далеко за ее пределами. Она впервые поставила проблему происхождения космических лучей на прочный научный фундамент.

В 1966 г. совершенно неожиданно выявилась возможность наблюдать протозвезды на ранних стадиях их эволюции. Мы уже упоминали в третьей главе этой книги об открытии методом радиоастрономии ряда молекул в межзвездной среде, прежде всего гидроксила OH и паров воды H2O. Велико же было удивление радиоастрономов, когда при обзоре неба на волне 18 см, соответствующей радиолинии OH, были обнаружены яркие, чрезвычайно компактные (т.е. имеющие малые угловые размеры) источники. Это было настолько неожиданно, что первое время отказывались даже верить, что столь яркие радиолинии могут принадлежать молекуле гидроксила. Была высказана гипотеза, что эти линии принадлежат какой-то неизвестной субстанции, которой сразу же дали "подходящее" имя "мистериум". Однако "мистериум" очень скоро разделил судьбу своих оптических "братьев" - "небулия" и "корония". Дело в том, что многие десятилетия яркие линии туманностей и солнечной короны не поддавались отождествлению с какими бы то ни было известными спектральными линиями. Поэтому их приписывали неким, неизвестным на земле, гипотетическим элементам - "небулию" и "коронию". Не будем снисходительно улыбаться над невежеством астрономов начала нашего века: ведь теории атома тогда еще не было! Развитие физики не оставило в периодической системе Менделеева места для экзотических "небожителей": в 1927 г. был развенчан "небулий", линии которого с полной надежностью были отождествлены с "запрещенными" линиями ионизованных кислорода и азота, а в 1939 - 1941 гг. было убедительно показано, что загадочные линии "корония" принадлежат многократно ионизованным атомам железа, никеля и кальция.

Если для "развенчания" "небулия" и "корония" потребовались десятилетия, то уже через несколько недель после открытия стало ясно, что линии "мистериума" принадлежат обыкновенному гидроксилу, но только находящемуся в необыкновенных условиях.

Дальнейшие наблюдения, прежде всего, выявили, что источники "мистериума" имеют исключительно малые угловые размеры. Это было показано с помощью тогда еще нового, весьма эффективного метода исследований, получившего название "радиоинтерферометрия на сверхдлинных базах". Суть метода сводится к одновременным наблюдениям источников на двух радиотелескопах, удаленных друг от друга на расстояния в несколько тысяч км. Как оказывается, угловое разрешение при этом определяется отношением длины волны к расстоянию между радиотелескопами. В нашем случае эта величина может быть ~ 3 • 10-8 рад или несколько тысячных секунды дуги! Заметим, что в оптической астрономии такое угловое разрешение пока совершенно недостижимо.

Такие наблюдения показали, что существуют по крайней мере три класса источников "мистериума". Нас здесь будут интересовать источники 1 класса. Все они находятся внутри газовых ионизованных туманностей, например в знаменитой туманности Ориона. Как уже говорилось, их размеры чрезвычайно малы, во много тысяч раз меньше размеров туманности. Всего интереснее, что они обладают сложной пространственной структурой. Рассмотрим, например, источник, находящийся в туманности, получившей название W3.



На рис.13 приведен профиль линии OH, излучаемый этим источником. Как видим, он состоит из большого количества узких ярких линий. Каждой линии соответствует определенная скорость движения по лучу зрения излучающего эту линию облака. Величина этой скорости определяется эффектом Доплера. Различие скоростей (по лучу зрения) между различными облаками достигает ~ 10 км/с. Упомянутые выше интерферометрические наблюдения показали, что облака, излучающие каждую линию, пространственно не совпадают. Картина получается такая: внутри области размером приблизительно 1,5 секунды дуги движутся с разными скоростями около 10 компактных облаков. Каждое облако излучает одну определенную (по частоте) линию. Угловые размеры облаков очень малы, порядка нескольких тысячных секунды дуги. Так как расстояние до туманности W3 известно (около 2000 пк), то угловые размеры легко могут быть переведены в линейные. Оказывается, что линейные размеры области, в которой движутся облака, порядка 10-2 пк, а размеры каждого облака всего лишь на порядок величины больше расстояния от Земли до Солнца.

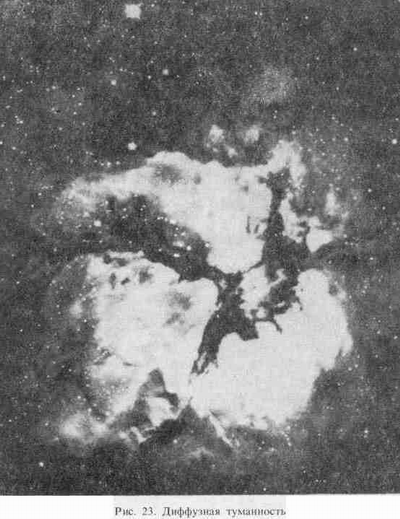
Возникают вопросы: что это за облака и почему они так сильно излучают в радиолиниях гидроксила? На второй вопрос ответ был получен довольно скоро. Оказалось, что механизм излучения вполне подобен тому, который наблюдался в лабораторных мазерах и лазерах.

Итак, источники "мистериума" - это гигантские, природные космические мазеры, работающие на волне линии гидроксила, длина которой 18 см. Именно в мазерах (а на оптических и инфракрасных частотах - в лазерах) достигается огромная яркость в линии, причем спектральная ширина ее мала. Как известно, усиление излучения в линиях благодаря такому эффекту возможно тогда, когда среда, в которой распространяется излучение, каким-либо способом "активирована". Это означает, что некоторый "сторонний" источник энергии (так называемая "накачка") делает концентрацию атомов или молекул на исходном (верхнем) уровне аномально высокой. Без постоянно действующей "накачки" мазер или лазер невозможны. Вопрос о природе механизма "накачки" космических мазеров пока еще окончательно не решен. Однако, скорее всего "накачкой" служит достаточно мощное инфракрасное излучение. Другим возможным механизмом "накачки" могут быть некоторые химические реакции.

Поток радиоизлучения от некоторых космических мазеров настолько велик, что мог бы быть обнаружен даже при техническом уровне радиоастрономии лет 35 тому назад, т.е. еще до изобретения мазеров и лазеров! Для этого надо было "только" знать точную длину волны радиолинии OH и заинтересоваться проблемой. Кстати, это не первый случай, когда в естественных условиях реализуются важнейшие научно-технические проблемы, стоящие перед человечеством. Термоядерные реакции, поддерживающие излучение Солнца и звезд, стимулировали разработку и осуществление проектов получения на Земле ядерного "горючего", которое в будущем должно решить все наши энергетические проблемы. Увы, мы пока еще далеки от решения этой важнейшей задачи, которую природа решила "запросто". Полтора века тому назад основатель волновой теории света Френель заметил (по другому поводу, конечно): "Природа смеется над нашими трудностями". Как видим, замечание Френеля еще более справедливо в наши дни.

## 1.4 Туманности

В 1949 г. было обнаружено, что Крабовидная туманность является мощным источником радиоизлучения. Вскоре удалось объяснить природу этого явления: излучают сверхэнергичные электроны, движущиеся в магнитных полях, находящихся в этой туманности. Раньше мы уже упоминали, что та же причина объясняет общее радиоизлучение Галактики. Таким образом, при вспышке сверхновой звезды каким-то способом (пока еще до конца не понятным) образуется огромное количество частиц сверхвысоких энергий - космических лучей. Применяя теорию "синхротронного" излучения релятивистских электронов, по измеренному потоку радиоизлучения и известным расстояниям и размерам туманности удалось оценить полное количество находящихся в ней космических лучей. По мере расширения и рассеяния туманности заключенные в ней космические лучи выходят в межзвездное пространство. Если учесть, как часто вспыхивают сверхновые звезды в Галактике, то образующихся при этих вспышках космических лучей оказывается достаточно для заполнения ими всей Галактики с наблюдаемой плотностью.



Таким образом, впервые со всей очевидностью удалось доказать, что вспышки сверхновых звезд являются одним из основных источников пополнения Галактики космическими лучами; кроме того, они обогащают межзвездную среду тяжелыми элементами. Это имеет огромное значение для эволюции звезд и всей Галактики в целом.

Крабовидная туманность обладает еще одной удивительной особенностью. Как показал автор этой книги в 1953 г., ее оптическое излучение, по крайней мере на 95%, обусловлено также сверхэнергичными электронами, т.е. имеет "синхротронную" природу. Энергия электронов, излучающих в оптическом диапазоне длин волн, в сотни раз больше энергии электронов, излучающих радиоволны, она достигает 1011 - 1012 эВ. На основе новой теории оптического излучения Крабовидной туманности удалось предсказать, что это излучение должно быть поляризованным. Советские и американские наблюдения полностью подтвердили этот вывод теории. Тем самым все теоретические выводы, касающиеся природы радиоизлучения и оценок количества космических частиц, нашли полное подтверждение. В настоящее время синхротронное оптическое излучение обнаружено еще у нескольких объектов, преимущественно радиогалактик. Его исследование имеет очень большое значение для астрономии и физики.

В 1963 г. при помощи ракеты с установленными на ней приборами удалось обнаружить довольно мощное рентгеновское излучение от Крабовидной туманности.

В следующем, 1964 г., во время покрытия этой туманности Луной удалось показать, что этот источник рентгеновского излучения протяженен, хотя его угловые размеры в 5 раз меньше угловых размеров "Краба". Следовательно, рентгеновское излучение испускает не звезда, некогда вспыхнувшая как сверхновая, а сама туманность. Было доказано, что рентгеновское излучение Крабовидной туманности имеет также синхротронную природу и обусловлено сверхэнергичными релятивистскими электронами с энергией порядка 1013 - 1014 эВ. Дальнейшие наблюдения показали, что все без исключения туманности - остатки вспышек сверхновых звезд - оказываются более или менее мощными источниками радиоизлучения, имеющего ту же природу, что и у Крабовидной туманности. Особенно мощным источником радиоизлучения является туманность, находящаяся в созвездии Кассиопеи. На метровых волнах поток радиоизлучения от нее в 10 раз превышает поток от Крабовидной туманности, хотя она дальше последней. В оптических лучах эта быстро расширяющаяся туманность очень слаба. Как сейчас доказано, туманность в Кассиопее - остаток вспышки сверхновой, имевшей место около 300 лет назад. Не совсем ясно, почему вспыхнувшую звезду тогда не заметили. Ведь уровень развития астрономии в Европе был тогда довольно высок. Туманности - остатки вспышек сверхновых звезд, случившихся даже десятки тысяч лет назад, выделяются среди других туманностей своим мощным радиоизлучением.

## 1.5 Радиогалактики

Иногда среди галактик попадаются удивительные объекты, например "радиогалактики"[[6]](#footnote-6). Это такие звездные системы, которые излучают огромное количество энергии в радиодиапазоне. У некоторых радиогалактик поток радиоизлучения в несколько раз превышает поток оптического излучения, хотя в оптическом диапазоне их светимость очень велика - в несколько раз превосходит полную светимость нашей Галактики. Напомним, что последняя складывается из излучения сотен миллиардов звезд, многие из которых в свою очередь излучают значительно сильнее Солнца. Классический пример такой радиогалактики - знаменитый объект Лебедь А. В оптическом диапазоне это два ничтожных световых пятнышка 17-й звездной величины. На самом деле их светимость очень велика, примерно в 10 раз больше, чем у нашей Галактики. Слабой эта система кажется потому, что она удалена от нас на огромное расстояние - 600 млн. световых лет. Однако поток радиоизлучения от Лебедя А на метровых волнах настолько велик, что превышает даже поток радиоизлучения от Солнца (в периоды, когда на Солнце нет пятен). Но ведь Солнце очень близко - расстояние до него "всего лишь" 8 световых минут; 600 млн. лет - и 8 мин! А ведь потоки излучения, как известно, обратно пропорциональны квадратам расстояний!

Термин "Радиогалактики" был введен в результате отождествления в 1949 г. мощных источников космического радиоизлучения с относительно слабыми источниками оптического излучения - далекими галактиками. Таким образом, галактики, отождествленные с сильными радиоисточниками, и стали называть радиогалактиками. В литературе 70-х (Пахольчик, 1977), посвященной радиогалактикам, иногда под этим термином понимаются просто внегалактические радиоисточники. Общую классификацию наблюдаемых характеристик галактик можно найти, например, у Засова (1993), наc же интересуют свойства именно радиогалактик. Следует заметить, что выделение радиогалактик в особый класс условно, так как практически все галактики излучают в радиодиапазоне, но с большим различием в мощности излучения. С другой стороны, многие квазары, являющиеся радиоисточниками, также представляют собой звездные системы и могут называться радиогалактиками. Радиогалактики и квазары очень похожи по многим параметрам. Например, по радиоизображениям практически невозможно сказать, к какому из этих двух классов объектов принадлежит источник. Кроме того, существуют объединяющие модели, объясняющие разницу свойств объектов их ориентацией по отношению к лучу зрения.

## 1.5.1 Наиболее известные радиогалактики

Среди наиболее известных радиогалактик следует упомянуть Лебедь А, Центавр А, Дева А, Печь А, с которых и началось исследование этого класса объектов.

Лебедь А

Лебедь А - самый мощный внегалактический источник радиоизлучения, расположенный в созвездии Лебедя. Отождествлен в 1951 г. с эллиптической галактикой 16-ой звездной величины. Красное смещение галактики z=0.057. Газово-пылевой слой в центре галактики обусловливает характерное раздвоение ее оптического изображения. Оптическими методами обнаружено излучение сильно ионизованной плазмы в области ядра галактики. Галактика вращается вокруг оси, лежащей в картинной плоскости и направленной вдоль прямой, соединяющей два ярких компактных компонента радиоизлучения. Угловое расстояние между яркими областями компонентов двойной структуры около 2' (приблизительно 80 кпк). Верхний предел скорости разлета компонентов равен 0.02 скорости света. В ядре галактики обнаружен компактный радиоисточник с плоским спектром. Полная радиосветимость доминирующей в радиоизлучении двойной структуры - порядка 3x1044эрг/с и сравнима с радиосветимостью двойных структур многих квазаров.

Центавр А

Центавр А (NGC 5128) - радиоисточник в созвездии Центавра, ближайшая к нам радиогалактика (расстояние до нее около 4 Мпк). Галактика имеет сфероидальную форму, разделенную поглощающим свет звезд газово-пылевым диском, наблюдаемым практически с ребра. Радиоизображение галактики показывает, что Центавр А содержит протяженный радиоисточник, который представляет собой старую, сильно расширившуюся структуру. Общая протяженность источника вдоль большой оси около 500кпк. Помимо протяженного источника в центральной области (в пределах оптического изображения галактики), обнаружена сравнительно компактная двойная радиоструктура с расстоянием между компонентами около 12 кпк. В самом центре галактики (в ее ядре) находится очень компактный радиоисточник, интенсивность излучения которого резко растет с уменьшением длины волны в сантиметровом и миллиметровом диапазонах. Радиосветимость протяженного радиоисточника - около 1042эрг/с, а заключенная в нем энергия - около 1059 эрг.

Орбитальный телескоп "Чандра" получил снимок гигантских плазменных струй, выбрасываемых из центра галактики Центавр А, где находится сверхмассивная черная дыра. Такие струи образованы из вещества аккреционного диска вокруг сверхмассивной черной дыры и ориентированы вдоль оси ее вращения.

Дева А

Дева А (NGC 4486, M 87) - радиоисточник сравнительно небольшой радиосветимости (~1042), принадлежащий массивной E-галактике (тип cD), расположенный в созвездии Девы на расстоянии около 15 Мпк. Галактика особенно интересна тем, что с одной стороны от ее ядра наблюдается выброс вещества ("джет"), излучение которого имеет синхротронную природу. Выброс имеет длину около 20 секунд дуги (около 1.5кпк), он разбивается на отдельные сгустки (узлы) и излучает не только в радио, но и в оптическом диапазоне.

Свидетельством несомненной синхротронной природы излучения выброса является сильная (до 20-35%) линейная поляризация оптического излучения. Сильно линейно поляризовано (до 12-17%) и радиоизлучение. Выброс погружен в более широкий (около 40" дуги) "радиококон". Симметрично этому радиоисточнику с противоположной стороны от центра галактики расположен второй компонент радиоизлучения точно такой же конфигурации, однако в нем нет никаких заметных оптических следов контрвыброса. Односторонний вид выброса в радиогалактике Дева А, скорее всего, есть результат направленного на наблюдателя его движения и излучения. При этом либо сгустки струи движутся с релятивистской (близкой к скорости света) скоростью, и поэтому из-за эффекта Доплера их излучение более интенсивно, чем излучение контрвыброса, либо мы имеем дело с анизотропно излучающими потоками релятивистских электронов в сложных петлеобразных элементах структуры биполярного магнитного поля радиогалактики, что также может обусловить односторонний вид выброса. Помимо выброса в двух сравнительно компактных радиоисточниках по обе стороны от центра галактики, Дева А имеет еще и протяженный радиоисточник размером 12’x16' относительно низкой поверхностной яркости. Он обнаруживает сложную структуру, а его наблюдаемая вытянутость с севера на юг, так же как и заметная деформация в этом направлении центрального двойного радиоисточника, обусловлена, вероятно, движением галактики через сравнительно плотную межгалактическую среду скопления галактик в Деве.

Печь А

Радиоисточник Печь А (NGC 1316) состоит из двух больших компонентов, имеющий сложную структуру размеров около 200 кпк каждый. Все энергичные электроны и магнитное поле в компонентах переносятся с помощью эффективного пучка. Эта энергия в центре NGC 1316 выделяется за счет "пленения" маленьких соседних галактик. Ударные волны и остатки поглощенных галактик создают кольцеподобную структуру и другие особенности в окружающем веществе.

## 1.5.2 Сейфертовские галактики

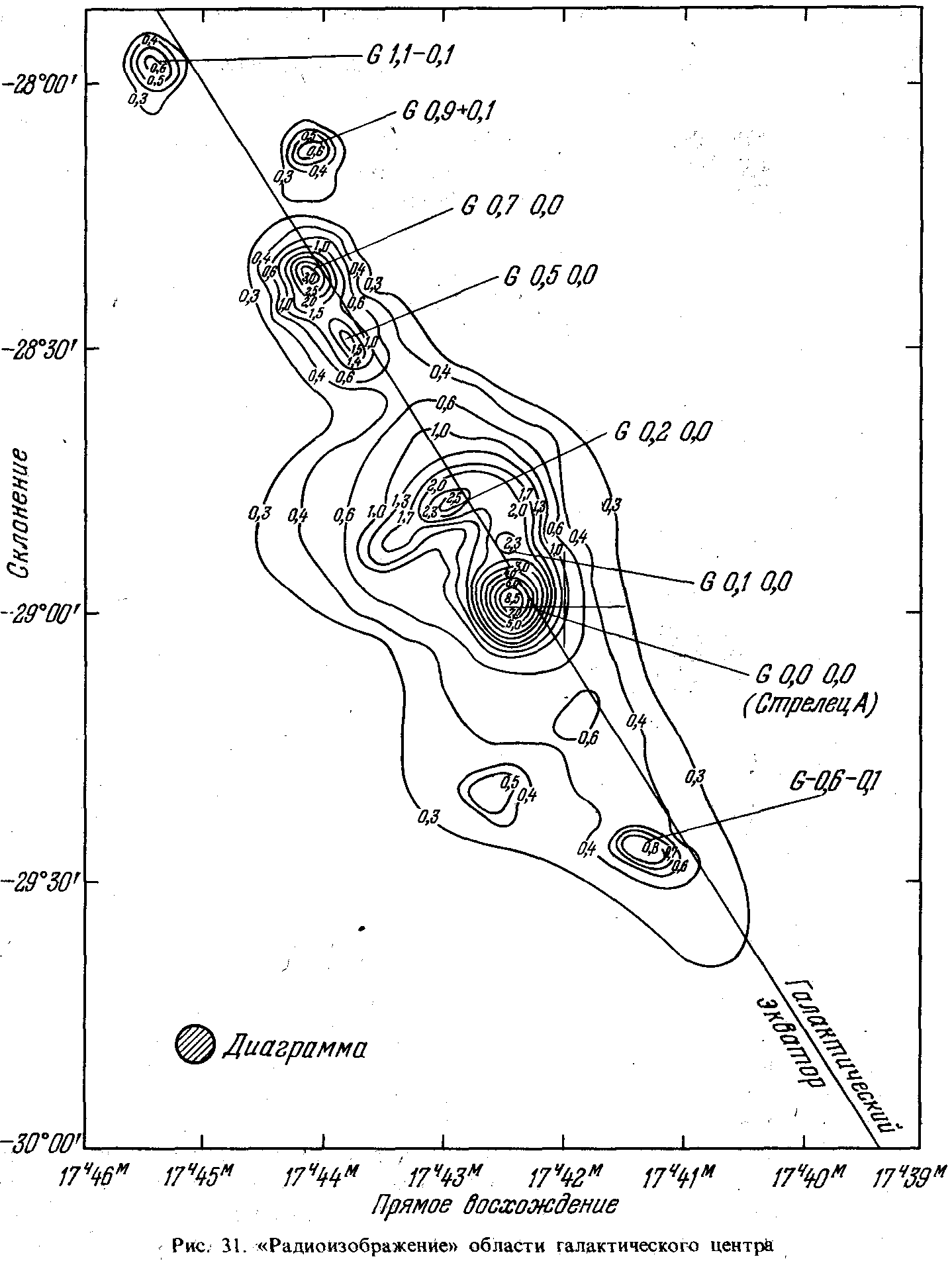
Галактики, для которых характерно радиоизлучение аномально большой мощности по сравнению с нормальными галактиками (такими, например, как наша Галактика или Большая галактика Андромеды). Радиогалактики составляют наиболее многочисленную группу внегалактических радиоисточников и по характеру радиоизлучения примыкают, с одной стороны, к квазарам (См. Квазары), а с другой - к нормальным (спиральным) галактикам. Однако не установлено (1975), составляют ли радиогалактики особую группу объектов или это лишь особая стадия эволюции любой галактики. Подавляющее большинство радиогалактик относится к типу гигантских эллиптических галактик, к их числу принадлежат также галактики с особенностями в ядрах: сейфертовские[[7]](#footnote-7) и N-галактики. Примерно для 100 радиогалактик измерено Красное смещение, и, Т.о., может быть определено и расстояние. Самый удалённый объект из них - радиогалактика ЗС 295 с красным смещением 0,46. Светимость радиогалактики в радиодиапазоне составляет 1040-1045 эрг/сек (для нормальных галактик - 1037-1038 эрг/сек).

Примерно 1% всех спиральных галактик является сейфертовским. Все говорит о том, что сейфертовские галактики - это более или менее часто повторяющийся этап в развитии нормальных спиральных галактик. Мы можем еще сказать, что это нормальные галактики, у которых ядра находятся в активном состоянии.

Вполне возможно и даже весьма вероятно, что много миллионов лет назад ядро нашей Галактики было "сейфертовским", т.е. активным. Так как Солнце и вся наша планетная система находятся очень близко от галактической плоскости, где много космической пыли, мы не можем методами оптической астрономии наблюдать ядро нашей Галактики. Однако в радио - и инфракрасном диапазоне это оказывается возможным. На рис.31 приведено "радиоизображение" области галактического центра. Компактный источник размерами в 10 секунд дуги в центре рис.31 и есть ядро нашей Галактики. Так как оно находится от нас на расстоянии около 30000 световых лет, его линейные размеры оказываются меньше одного парсека. Недавние радиоастрономические наблюдения показали, что в центре ядра имеется еще меньшее образование, размеры которого меньше нескольких тысячных парсека. По всем признакам в настоящее время ядро нашей Галактики "спокойно", хотя следы его довольно высокой активности в прошлом можно и сейчас наблюдать в виде газовых струй, поднимающихся над плоскостью Галактики на расстояние в несколько сотен парсек.

Интересно, что галактическое ядро также является источником инфракрасного излучения. Угловые размеры этого источника 10 секунд дуги, т.е. такие же, как и у совпадающего с ним радиоисточника. Из-за огромной величины поглощения света межзвездной пылью оптическое излучение ядра нашей Галактики наблюдать нельзя. Тем не менее из анализа инфракрасного излучения ядра можно сделать вывод, что там, в области поперечником всего лишь в 1 пк, находится несколько миллионов звезд. Это означает, что звездная плотность ядра нашей Галактики в десятки миллионов раз больше, чем в "галактических" окрестностях Солнца!

В центре туманности Андромеды в оптических лучах наблюдается компактный объект с угловыми размерами 1" x 1,5". Его видимая звездная величина около 12 m. Так как расстояние до этой гигантской звездной системы около 700000 пк, то линейные размеры ее ядра 3 x 5 пк, а светимость соответствует нескольким десяткам миллионов Солнц. Заметим, что оптические наблюдения ядра туманности Андромеды возможны потому, что ее экваториальная плоскость наклонена к лучу зрения под большим углом, так что протяженность поглощающего свет слоя межзвездной пыли сравнительно невелика. Между тем из-за того, что Солнце находится очень близко от галактической плоскости, к которой концентрируется межзвездная пыль, излучение от центра нашей Галактики проходит через огромную толщу поглощающего свет вещества.



Радиоизлучающие области обычно имеют довольно сложную структуру; для них характерно наличие протяжённых (прозрачных) и компактных (непрозрачных) областей. Большинство Р. состоит из 2 источников радиоизлучения, удалённых от оптической компоненты галактики на значительное расстояние. Часто область радиоизлучения содержит несколько компонент меньшего размера. Радиоизлучение Р. обычно линейно поляризовано, что свидетельствует об однородности магнитного поля в большом масштабе. Для многих объектов характерна переменность радиоизлучения, относящаяся в основном к компактным областям. У некоторых Р. наряду с переменностью радиоизлучения наблюдаются изменения их блеска в оптическом диапазоне.

Радиоизлучение Р., по-видимому, имеет синхротронную природу, т.е. возникает при движении ультрарелятивистских (движущихся со скоростями, близкими к скорости света) электронов в слабых магнитных полях. В соответствии с наблюдаемым потоком радиоизлучения энергия, приходящаяся на долю релятивистских частиц, оказывается чрезвычайно большой: около 1052 эрг в компактных источниках и 1057-1061 эрг в протяжённых. Последнее составляет примерно 10-4 от полной энергии галактики. Характер переменности (изменение интенсивности и поляризации с длиной волны и временем) свидетельствует о периодических выбросах плотных облаков релятивистских частиц; эти облака в дальнейшем расширяются и становятся прозрачными. Мощность таких взрывов - около 1052 эрг. Для поддержания протяжённого источника требуется около 1 взрыва в год в течение примерно 108 лет (при взрыве обычной сверхновой звезды выделяется около 1048 эрг).

Самыми трудными являются проблемы эволюции Р., природы источников энергии и перехода её в энергию релятивистских частиц. Гипотезы, предложенные для объяснения явления Р., пока нельзя считать удовлетворительными.

## 1.5.3 Морфологические особенности радиогалактик

Радиогалактики очень разнообразны по морфологическим свойствам. Первичными (наблюдаемыми) особенностями радиогалактик (и квазаров) являются ядро, протяженные структуры (lobes), горячие пятна и джеты (Кембави, Нарликар, 1998). Не все эти особенности наблюдаются во всех источниках, и довольно часто морфология объектов слишком сложна, чтобы уверенно выделить эти части. Тем не менее, удобно рассматривать источник "построенным" из этих "кирпичей", а сложные или плохо определяемые особенности рассматривать как возмущения в самом объекте либо как взаимодействие с окружающей средой.

**Ядро** - это компактный компонент, неразрешимый при наблюдениях на угловых масштабах до 0.1 сек. дуги и совпадающий с ядром оптического объекта. Ядро обычно имеет плоский или сложный радиоспектр, что в последнем случае указывает на синхротронное самопоглощение. С помощью интерферометров со сверхдлинными базами (VLBI) ядро может разрешаться на отдельные субкомпоненты, часто состоящие из неразрешенного ядра, имеющего плоский спектр, и джетоподобную структуру, в которой может быть более чем один узел. Кроме того, встречаются также компактные источники с крутыми радиоспектрами и компактные двойные. Ядра хорошо определяются на гигагерцовых частотах, потому что они часто имеют плоские спектры, в то время как протяженные компоненты имеют крутые спектры. Ядра найдены почти во всех радиоквазарах и в ~80% радиогалактик. Вклад ядра в полную радиосветимость источника меняется от одного процента у некоторых объектов до почти 100% у ряда квазаров.

**Протяженные структуры** ("радиопузыри" или "лобы" от английского слова "lobe" - "доля") являются протяженными областями радиоизлучения. Эти компоненты очень часто располагаются симметрично по противоположным сторонам от галактики или квазара. Иногда они содержат области, называемые горячими пятнами, с усиленным излучением. Размер этих структур от одного различимого края до противоположного может быть от нескольких килопарсек до нескольких мегапарсек. Радиогалактика 3C236 имеет размер ~4 Мпк. Протяженные структуры часто показывают вращательную симметрию и имеют Z - или S-образную структуру. Эти формы наиболее естественно интерпретируются как результат прецессии осей джетов, которые переносят энергию от центрального источника к протяженным областям. Светимости двух "пузырей" в типичном радиоисточнике обычно сравнимы, хотя максимальное различие в светимостях может достигать 2-х раз. Если источник наблюдается с одним компонентом, то это может быть вызвано тем, что двойная структура ориентирована близко к лучу зрения так, что компоненты просто накладываются друг на друга.

**Джеты** (струи) - тонкие вытянутые структуры, которые связывают компактное ядро с внешними областями. Джет может интерпретироваться как радиоизлучение вдоль луча, переносящего энергию от AGN к протяженным областям. Радиоджет существует на масштабах от парсека до килопарсека и может быть гладким или иметь узельную структуру. Джеты называют двусторонними, когда они наблюдаются с обеих сторон от центрального источника.

**Горячие пятна** ("hot spots") - это максимумы интенсивности, расположенные во внешних пределах протяженных структур радиоисточников. Когда эти структуры наблюдаются с недостаточным разрешением, горячие пятна видны на уярченных краях. Горячие пятна обычно имеют линейный размер ~1кпк и крутой спектр, но более плоский, чем интегральный спектр протяженных структур. Горячие пятна интерпретируются как место, где джет, идущий от ядра, разогревает окружающую среду и производит ударную волну, в которой кинетическая энергия струи трансформируется в случайное движение. Энергичные частицы рассеиваются от горячих пятен по протяженной области, обеспечивая непрерывный поток энергии. Горячие пятна не всегда наблюдаются, а в ряде случаев в структуре присутствует даже несколько максимумов интенсивности. Джеты также могут состоять из узлов, которые наблюдаются как уярчения, и при сложной структуре источника трудно сделать различие между узлами и горячими пятнами, несмотря на то, что они имеют различную физическую природу. В литературе есть ссылки на первичные и вторичные горячие пятна, когда существует более одного максимума. Бридл в 1994 предложил следующее определение горячих пятен: если в источнике не обнаружен джет, то горячее пятно должно (a) быть ярчайшей особенностью в протяженной структуре, (b) иметь поверхностную яркость более чем в 4 раза выше по сравнению с окружением, и (c) иметь линейный размер на половине максимума не более пяти процентов от максимального размера источника. Если джет обнаружен, тогда добавляются следующие условия: (d) горячее пятно должно быть дальше от ядра, чем конец джета. Окончание джета определяется по (d1) его исчезновению, (d2) по переломному изменению в направлении или (d3) или деколлимации с фактором более чем 2. Условие (d) показывает, как горячие пятна могут быть отличны от узлов. Кроме приведенных морфологических особенностей, обсуждаемых выше, есть и другие, такие как перья, хвосты, мосты и гало.

## 1.6 Радиоизлучение Солнца[[8]](#footnote-8)

Радиоизлучение Солнца - электромагнитное излучение солнечной атмосферы в диапазоне волн от долей мм до нескольких км.Р.С. было обнаружено в середине 30-х гг.20 в., когда выяснилось существование помех радиоприёму, интенсивности которых согласовывались с изменениями солнечной активности. В 1942 наряду с этим Р.С. - т. н. радиоизлучением активного Солнца - было зарегистрировано также радиоизлучение спокойного Солнца в дециметровом диапазоне волн. Систематические исследования Р.С. начались в 1946-47.

На волнах приблизительно от 1 мм до десятков м Р.С. исследуется с помощью Радиотелескопов, расположенных на земной поверхности, а на более длинных и более коротких волнах - с космических аппаратов.Р.С. на волнах длиннее нескольких км практически полностью поглощается в межпланетном газе и недоступно наблюдениям.

Радиоизлучение спокойного Солнца почти не меняется со временем и связано с тепловым излучением электронов в электрическом поле ионов невозмущённой атмосферы Солнца. Коротковолновое Р.С. (1-3 мм) исходит из фотосферы Солнца, радиоизлучение в сантиметровом диапазоне - от хромосферы, а в дециметровом и метровом диапазонах - из солнечной короны, простирающейся на большие расстояния от видимого диска Солнца и непрерывно переходящей в межпланетный газ. Факт возникновения метрового радиоизлучения спокойного Солнца в солнечной короне был впервые установлен в СССР при наблюдениях полного солнечного затмения в 1947. При этом было обнаружено, что температура солнечной короны составляет около 106 К.

Медленно меняющееся Р.С. связано прежде всего с активными областями в атмосфере Солнца над солнечными пятнами, а также с флоккулами. Излучение также носит тепловой характер, однако, кроме тормозного механизма излучения, здесь, по-видимому, играет роль и магнитотормозной механизм, т.е. излучение частично возникает вследствие искривления траекторий электронов магнитными полями солнечных пятен. Этот вид Р.С. преобладает в диапазоне волн 5-20 см и согласуется по времени с видимой в оптическом диапазоне волн активностью Солнца, в частности с площадью солнечных пятен. Такое Р.С. часто бывает сильно поляризованным по кругу, что свидетельствует о наличии сильных (до нескольких тыс. эрстед) магнитных полей в области возникновения радиоизлучения.

Всплески Р.С. весьма разнообразны, иногда превышают по своей мощности тепловое радиоизлучение спокойного Солнца в миллионы раз. Этот вид Р.С. преобладает в метровом диапазоне волн, хотя т. н. микроволновые всплески зарегистрированы даже в миллиметровом диапазоне волн. При вспышках на Солнце в районах солнечных пятен возникают релятивистские частицы, движение которых сквозь солнечную атмосферу приводит к сильному радиоизлучению. Радиоизлучение связано либо с магнито-тормозным механизмом, либо с возбуждением различных волн в солнечной плазме с последующим преобразованием плазменных волн в электромагнитные. Кроме того, зарегистрированы малые квазипериодические флуктуации Р.С. с периодами в сотни и тысячи секунд весьма малой амплитуды. Природа этих флуктуаций ещё (1975) не выяснена.

Результаты наблюдений Р.С. используются при построении модели атмосферы Солнца, при изучении механизма воздействия Солнца на атмосферу Земли. Исследованием Солнца методами радиолокации занимается Радиолокационная астрономия.

## 2. Излучения

## 2.1 Фоновое излучение

ФОНОВОЕ излучение в астрофизике - диффузное и практически изотропное электромагнитное излучение Вселенной. Спектр фонового излучения простирается от длинных радиоволн до гамма-лучей. Вклад в фоновное излучение могут давать неразличимые в отдельности далекие источники и диффузное вещество (газ, пыль), заполняющее космическое пространство. Важнейший компонент фонового излучения - реликтовое излучение.

ФОНОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ - , радиация, которая присутствует в окружающей среде в нормальных условиях. Ее следует принимать в расчет при измерении радиации, исходящей от какого-либо конкретного источника.

## 2.2 Реликтовое излучение

Рели́ктовое излуче́ние (или космическое микроволновое фоновое излучение от \_en. cosmic microwave background radiation). Термин "реликтовое излучение ", который обычно используется в русскоязычной литературе, ввёл в употребление советский астрофизик И.С. Шкловский - космическое электромагнитное излучение с высокой степенью изотропности и со спектром, характерным для абсолютно чёрного тела с температурой 2,725 К.

Существование реликтового излучения было предсказано теоретически в рамках теории Большого взрыва. Хотя в настоящее время многие аспекты первоначальной теории Большого взрыва пересмотрены, основы, позволившие предсказать температуру реликтового излучения, остались неизменны. Считается, что реликтовое излучение сохранилось с начальных этапов существования Вселенной и равномерно её заполняет. Экспериментально его существование было подтверждено в 1965 году. Наряду с космологическим красным смещением, реликтовое излучение рассматривается как одно из главных подтверждений теории Большого взрыва.

## ****2.2.1 Природа излучения****

Согласно теории Большого Взрыва, ранняя Вселенная представляла собой горячую плазму, состоящую из фотонов, электронов и барионов. Благодаря эффекту Комптона, фотоны постоянно взаимодействовали с остальными частицами плазмы, испытывая с ними упругие столкновения и обмениваясь энергией. Таким образом, излучение находилось в состоянии теплового равновесия с веществом, а его спектр соответствовал спектру абсолютно чёрного тела.

По мере расширения Вселенной, космологическое красное смещение вызывало остывание плазмы и, на определённом этапе, для электронов стало энергетически предпочтительней, соединившись с протонами - ядрами водорода и альфа-частицами - ядрами гелия, сформировать атомы. Этот процесс называется рекомбинацией. Это случилось при температуре плазмы около 3000 К и примерном возрасте Вселенной 400 000 лет. С этого момента фотоны перестали рассеиваться теперь уже нейтральными атомами и смогли свободно перемещаться в пространстве, практически не взаимодействуя с веществом. Наблюдаемая сфера, соответствующая данному моменту, называется поверхностью последнего рассеяния. Это - самый удалённый объект, который можно наблюдать в электромагнитном спектре.

В результате дальнейшего остывания излучения за счёт красного смещения, его температура снизилась и сейчас составляет 2,725 К.

## ****2.2.2 История исследования****

Реликтовое излучение было предсказано Георгием Гамовым, Ральфом Альфером и Робертом Германом в 1948 году на основе созданной ими первой теории горячего Большого взрыва. Более того, Альфер и Герман смогли установить, что температура реликтового излучения должна составлять 5 К, а Гамов дал предсказание в 3 К [Physics Today, 1950, No.8, стр.76]. Хотя некоторые оценки температуры пространства существовали и до этого, они обладали несколькими недостатками. Во-первых, это были измерения лишь "эффективной " температуры пространства, не предполагалось, что спектр излучения подчиняется закону Планка. Во-вторых, они были зависимы от нашего особого расположения на краю галактики Млечный Путь и не предполагали, что излучение изотропно. Более того, они бы дали совершенно другие результаты, если бы Земля находилась где-либо в другом месте Вселенной.

Результаты Гамова широко не обсуждались. Однако они были вновь получены Робертом Дикке и Яковом Зельдовичем в начале 60-х годов. В 1964 году это подтолкнуло Дэвида Тодда Вилкинсона и Питера Ролла, коллег Дикке по Принстонскому университету, к созданию радиометра Дикке для измерения реликтового излучения.

В 1965 году Арно Пензиас и Роберт Вудроу Вильсон из Bell Telephone Laboratories в Холмдейле (штат Нью-Джерси) построили радиометр Дикке, который они намеревались использовать не для поиска реликтового излучения, а для экспериментов в области радиоастрономии и спутниковых коммуникаций. При калибровке прибора выяснилось, что антенна имеет избыточную температуру в 3,5 К, которую они не могли объяснить. Получив звонок из Холдмдейла, Дикке остроумно заметил: "Мы сорвали куш, парни". Встреча между группами из Принстона и Холмдейла определила, что такая температура антенны была вызвана реликтовым излучением. В 1978 году Пензиас и Вилсон получили Нобелевскую премию за их открытие.

В 1983 году был проведён первый эксперимент, РЕЛИКТ-1, по измерению реликтового излучения с борта космического аппарата. В январе 1992 года на основании анализа данных эксперимента РЕЛИКТ-1 российские учёные объявили об открытии анизотропии реликтового излучения. Тем не менее, в 2006 году Нобелевская премия по физике за это была присуждена американцам, объявившим о подобном открытии тремя месяцами позже на основании данных эксперимента COBE. Спектрофотометр дальнего инфракрасного излучения (FIRAS) установленный на спутнике NASA Cosmic Background Explorer (COBE) выполнил точные измерения спектра реликтового излучения. Эти измерения стали наиболее точными на сегодняшний день измерениями спектра абсолютно черного тела.

Наиболее подробную карту реликтового излучения удалось построить в результате работы американского космического аппарата WMAP.

## ****2.2.3 Свойства****

Спектр наполняющего Вселенную реликтового излучения соответствует спектру излучения абсолютно черного тела с температурой 2,725 кельвина. Его максимум приходится на частоту 160,4 ГГц (микроволновое излучение), что соответствует длине волны 1,9 мм. Оно изотропно с точностью до 0,001% - среднеквадратичное отклонение температуры составляет приблизительно 18 мкК. Это значение не учитывает дипольную анизотропию (разница между наиболее холодной и горячей областью составляет 6,706 мК ), вызванную доплеровским смещением частоты излучения из-за нашей собственной скорости относительно системы отсчёта, связанной с реликтовым излучением. Дипольная анизотропия соответствует движению Солнечной системы по направлению к созвездию Девы со скоростью ≈ 370 км/с

## Литература

1. Каплан С.А. Элементарная радиоастрономия. М., 1966
2. Хей Дж. Радиовселенная. М., 1978
3. Ржига О.Н. Радиолокационная астрономия. - В кн. Физика космоса. Маленькая энциклопедия. М., 1986
4. Зельдович Я.Б., Новиков И.Д. Строение и эволюция Вселенной.М., 1975 Космология: теория и наблюдения. М., 1978
5. Вайнберг С. Первые три минуты. Современный взгляд на происхождение Вселенной. М., 1981
6. Силк Дж. Большой взрыв. Рождение и эволюция Вселенной. М., 1982
7. Сюняев Р.А. Микроволновое фоновое излучение. - В кн.: Физика космоса: Маленькая энциклопедия. М., 1986
8. Долгов А.Д., Зельдович Я.Б., Сажин М.В. Космология ранней Вселенной. М., 1988
9. Новиков И.Д. Эволюция Вселенной. М., 1990
10. Железняков В.В., Радиоизлучение Солнца и планет, М., 1964.
11. Бербидж Дж. и Вербидж М., Квазары, пер. с англ., М., 1969.
12. Пахольчик А.Г., Радиоастрофизика, пер. с англ., М., 1973
13. Зельдович Я.Б., Новиков И.Д., Релятивистская астрофизика, М., 1967
14. Дайсон Ф., Тер-Хаар Д., Нейтронные звёзды и пульсары, пер. с англ., М., 1973.

**Ссылки:**

1. http://www.astronet.ru/db/msg/1188450 Микроволновое фоновое излучение (реликтовое излучение).Р.А. Сюняев.
2. http://www.astronet.ru/db/search.html? kw=14143 Астронет.документы с ключевым словом: Реликтовое излучение.
3. [http://www.krugosvet.ru/articles/97/1009704/1009704a1. htm Реликтовое излучение. Энциклопедия "Кругосвет".
4. http://www.nap.edu/readingroom/books/cosmology/2.html#CMBR The Cosmic Microwave Background Radiation.
5. http://background. uchicago.edu/ The Physics of Microwave Background Anisotropies.
6. http://map. gsfc. nasa.gov/m\_mm/pub\_papers/firstyear.html First Year WMAP Technical Papers.
7. http://alt-future. narod.ru/Seti/Vzr/vzr1. htm Шкловский И.С., Вселенная, жизнь, разум. М.: Наука., 1987].

1. Радиоизлуче́ние (радиово́лны, радиочастоты) — электромагнитное излучение с длинами волн 5 Ч 10-5 — 1010 метров и частотами, соответственно, от 6 Ч 1012Гц и до нескольких Гц[1]. Радиоволны используются при передаче данных в радиосетях. [↑](#footnote-ref-1)
2. **Квазар** (англ. *quasar* — сокращение от *QUASi stellAR radio source* — «квазизвёздный радиоисточник») — класс внегалактических объектов, отличающихся очень высокой светимостью и настолько малым угловым размером, что в течение нескольких лет после открытия их не удавалось отличить от «точечных источников» — звёзд. [↑](#footnote-ref-2)
3. ПУЛЬСАРЫ (англ. pulsars - сокр. от Pulsating Sources of Radioemission - пульсирующие источники радиоизлучения), космические источники импульсного электромагнитного излучения, открытые в 1967 группой Э. Хьюиша (Великобритания). Импульсы пульсаров повторяются с периодом от тысячных долей секунды до секунд с высокой точностью. Большинство пульсаров излучает в радиодиапазоне от метровых до сантиметровых волн. Пульсары в Крабовидной туманности и ряд других излучают также в оптическом, рентгеновском и гамма-диапазонах. Радио-пульсары отождествляются с быстровращающимися нейтронными звездами, у которых имеется активная область, генерирующая излучение в узком конусе. Этот конус бывает направлен в сторону наблюдателя через промежутки времени, равные периоду вращения звезды. Энергия излучения черпается из энергии вращения звезды, поэтому ее период вращения (период пульсара) постепенно возрастает. Кроме радио- пульсаров открыты т. н. пульсары, наблюдающиеся только в рентгеновском или гамма-диапазонах; они имеют периоды от нескольких до сотен секунд и входят в тесные двойные звездные системы. Источник энергии их излучения, согласно современным представлениям, - гравитационная энергия, выделяющаяся при аккреции на нейтронную звезду или черную дыру вещества, перетекающего от соседней нормальной звезды. [↑](#footnote-ref-3)
4. **Радиогалактика** — тип галактик, который обладает намного большим радиоизлучением, нежели обычные галактики. Радиоизлучение наиболее «ярких» радиогалактик превышает их оптическую светимость. Источники излучения радиогалактик обычно состоит из нескольких компонент (ядро, гало, радиовыбросы). [↑](#footnote-ref-4)
5. Нейтральный атомарный водород – возможно, самый распространенный элемент в межзвездном пространстве. Он способен излучать радиолинию с длиной волны 21 см, которая была предсказана в 1944 нидерландским теоретиком Х. ван де Хюлстом и обнаружена в 1951 Х.Юэном и Э.Парселом из Гарвардского университета (США). Существование узкой линии в радиодиапазоне оказалось очень полезным: измеряя ее доплеровское смещение, можно очень точно определять лучевую скорость наблюдаемого облака газа. При этом приемная аппаратура радиотелескопа сканирует некоторый диапазон длин волн в районе линии 21 см и отмечает пики излучения. Каждый такой пик – это линия излучения водорода, смещенная по частоте из-за движения одного из облаков, попавших в поле зрения антенны телескопа.

   Около 5% водорода в Галактике вследствие высокой температуры находится в ионизованном состоянии. Когда свободные электроны пролетают вблизи положительно заряженных ядер водорода – протонов, они испытывают притяжение, движутся ускоренно и при этом излучают электромагнитные кванты. Иногда, потеряв энергию, электрон оказывается захваченным на один из верхних уровней атома (т.е. происходит рекомбинация). Спускаясь затем каскадно на устойчивый нижний уровень, электрон также излучает кванты энергии. Такое излучение свободных и рекомбинирующих электронов наблюдается в радиодиапазоне от эмиссионных туманностей и позволяет обнаруживать их даже в тех случаях, когда оптическое излучение не может достичь Земли из-за поглощения в межзвездной пыли. Благодаря этому радиоастрономы смогли обнаружить практически все эмиссионные туманности в Галактике. [↑](#footnote-ref-5)
6. РАДИОГАЛАКТИКИ — по сравнению с нормальными галактиками (типа нашей Галактики) обладают аномально большим радиоизлучением. Светимость радиогалактик в радиодиапазоне составляет 1040 - 1045 эрг/с (для нормальных галактик 1037 - 1038…

   Радиогалактиками называют галактики с мощным радиоизлучением, которое в тысячу и более раз превышает мощность радиоизлучения таких галактик как наша. Причиной мощного радиоизлучения является выброс высокоэнергичных частиц (протонов и электронов) из активного ядра галактики, где они получают большую энергию и разгоняются до околосветовых скоростей. Радиоизлучение возникает при движении быстрых электронов в слабых магнитных полях. Основной поток радиоволн в некоторых случаях исходит из центральной части галактики, а в некоторых – из гигантских по объему областей за пределами галактики, которые обычно расположены симметрично относительно ее ядра. Радиогалактики почти всегда относятся к числу массивных эллиптических галактик. Ближайшая к нам радиогалактика – яркая пекулярная галактика NGC 5128 известная как радиоисточник Центавр А (эллиптическая галактика с протяженным газопылевым диском вдоль ее малой оси, который наблюдается с ребра). Более мощной радиогалактикой является ярчайшая эллиптическая галактика М87 в скоплении Девы. Наиболее мощные из известных радиогалактик излучают (в форме радиоволн) энергию, которая сопоставима с энергией оптического излучения всех звезд галактики вместе взятых. Примером таких объектов является радиогалактика Лебедь А, которая, находясь на расстоянии более миллиарда св. лет от нас, тем не менее, является одним из самых ярких радиоисточников на небе. [↑](#footnote-ref-6)
7. Существует класс галактик, который в последние годы привлекает к себе особое внимание астрономов. Речь идет о так называемых «сейфертовских галактиках». Последние представляют собой более или менее нормальные спиральные галактики, но только с очень яркими и весьма активными ядрами. Спектры последних указывают на наличие там в сравнительно малой пространственной области довольно плотных облаков горячего газа, беспорядочно движущихся с огромными скоростями в несколько тысяч км/с. Это свидетельствует о мощном выбрасывании газовых струй из ядер таких галактик. Излучение с непрерывным спектром часто бывает переменным и имеет ту же природу, что оптическое излучение Крабовидной туманности. Это означает, что там идет мощная генерация космических лучей. [↑](#footnote-ref-7)
8. Радиоизлучение — (радиоволны, радиочастоты) электромагнитное излучение с длинами волн 5 Ч 10-5 1010 метров и частотами, соответственно, от 6 Ч 1012Гц и до нескольких Гц. [↑](#footnote-ref-8)