

## УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

523.164

## ИЗ ТЕКУЩЕЙ ЛИТЕРАТУРЫ

## РАДИОИЗЛУЧЕНИЕ МЕЖЗВЕЗДНОГО РАДИКАЛА ОН

Исследование межзвездной среды, используя спектральную линию  $1420 \text{ Мгц}$ , дало ценные сведения о распределении и движении нейтрального водорода в нашей Галактике. Эти успехи позволили надеяться на получение дополнительной информации о составе и свойствах межзвездной среды по наблюдениям других спектральных линий в радиодиапазоне. В частности, значительное количество радикала ОН в межзвездной среде открывало возможность наблюдения спектральных линий ОН в диапазоне  $18 \text{ см}$ , рассчитанных Шкловским. Основное состояние радикала ОН из-за  $\Lambda$ -удвоения с учетом сверхтонкой структуры расщепляется на подуровни, допускающие четыре разрешенных перехода, что приводит к возникновению мультиплета с частотами  $1612, 1665, 1667, 1720 \text{ Мгц}$ . Расчетное отношение интенсивностей отдельных компонент мультиплета  $1 : 5 : 9 : 1$ . Схема энергетических уровней и переходов, приводящие к излучению линий, и возникающий спектр изображены на рис. 1. В отличие от линии  $21 \text{ см}$ , наблюдение излучения радикала ОН требовало больших антенн и высокочувствительной аппаратуры; только к 1963 г. состояние радиоастрономической аппаратуры сделало возможным успешную постановку эксперимента по обнаружению наиболее ярких компонент. Первое наблюдение их было проведено в Линкольнской лаборатории Массачусетского технологического института в конце 1963 г.: в спектре радиоисточника Кассиопея А были найдены две линии поглощения, соответствующие частотам  $1667$  и  $1665 \text{ Мгц}$ , с отношением интенсивностей, близким к расчетному. Найденные по доплеровскому смещению скорости оказались в хорошем согласии со скоростями, полученными по измерениям линии поглощения нейтрального водорода в этом же источнике. Поэтому вначале казалось, что исследование межзвездного радикала ОН в лучшем случае даст информацию о количестве радикала в газовой компоненте межзвездной среды. Однако структура линий поглощения, обнаруженных в источнике Стрелец А (источник расположен вблизи центра Галактики), оказалась существенно отличной от линий поглощения нейтрального водорода. Так, австралийские радиоастрономы на радиотелескопе  $60 \text{ м}$  обнаружили очень широкую линию поглощения ОН (ширина порядка  $50 \text{ км/сек}$ ) с центром, смещенным на  $+40 \text{ км/сек}$  в направлении, где линия поглощения нейтрального водорода очень узкая и практически не смещена. При аналогичных наблюдениях, проведенных в Гарвардском университете, обнаружили широкую линию поглощения ОН со смещением, соответствующим скорости  $120 \text{ км/сек}$ . Наблюдения линий поглощения в диапазоне  $18 \text{ см}$  для источника Стрелец А дало все четыре компонента мультиплета радикала ОН, но отношение их интенсивностей существенно отличалось от расчетного и составляло  $1 : 2 : 2,7 : 1$ . Все это свидетельствовало о наличии областей со свойствами, резко отличными от получаемых по исследованию межзвездного водорода, поскольку из наблюдений

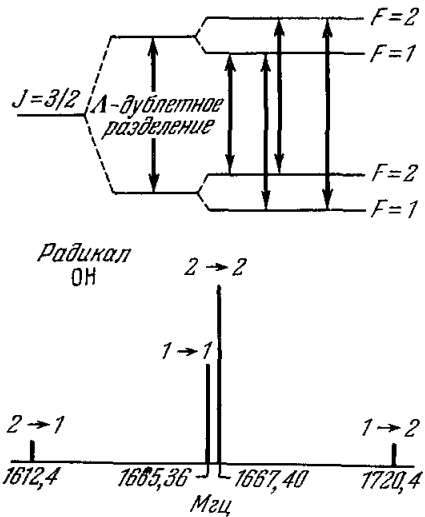


Рис. 1. Схема энергетических уровней основного состояния радикала ОН с учетом сверхтонкой структуры. В нижней части рисунка приведен спектр радиоизлучения для разрешенных переходов (вертикальные отрезки пропорциональны интенсивности).

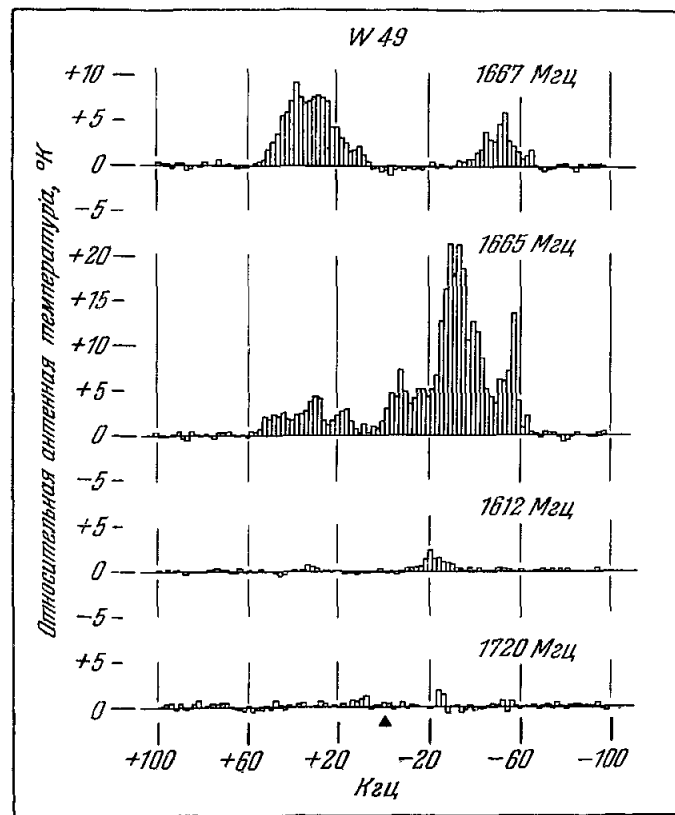


Рис. 2. Профили компонент мультиплета ОН для W49. Каждая ступенька гистограммы, приведенная на этом рисунке, соответствует каналу с полосой 2 кгц.

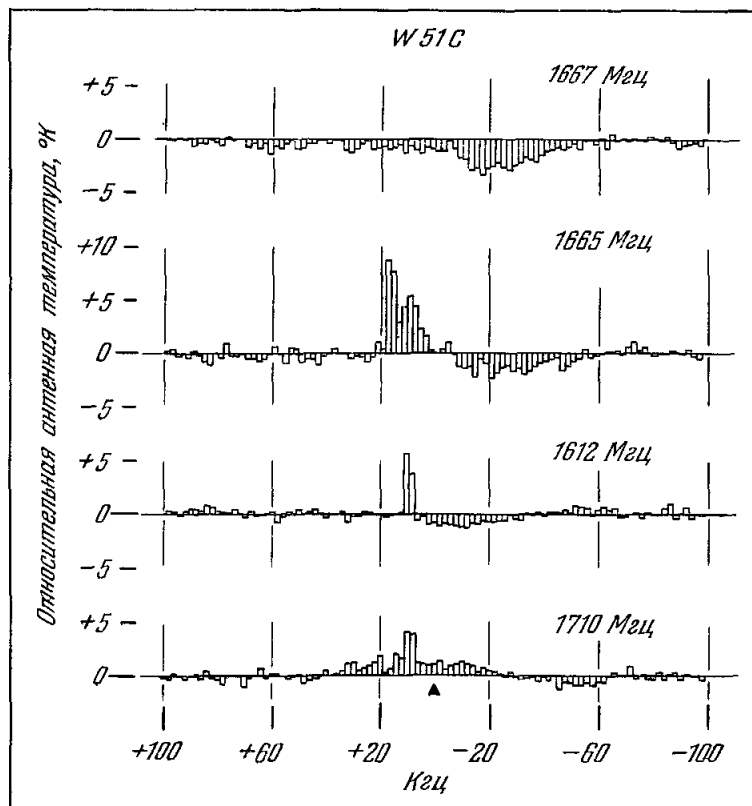


Рис. 3. Профили компонент мультиплета ОН для W51C (положение источника W51 в непрерывном спектре не совпадает с положением источника в линии ОН).

в линии OH следовало существование областей повышенной концентрации OH, участвующих в интенсивном движении.

Первые успешные наблюдения линии поглощения OH вызвали значительный интерес к этому вопросу со стороны радиоастрономов, и ряд радиообсерваторий предпринял поиск линий поглощения в наиболее мощных источниках радиоизлучения. Однако даже для таких, как Крабовидная туманность, Лебедь А, туманность Ориона, эти поиски не дали положительного результата. Поиски линий поглощения радикала OH были предприняты и для источников каталога Вестерхаута, представляющих собой протяженные области ионизованного водорода (H—II области) с электронными

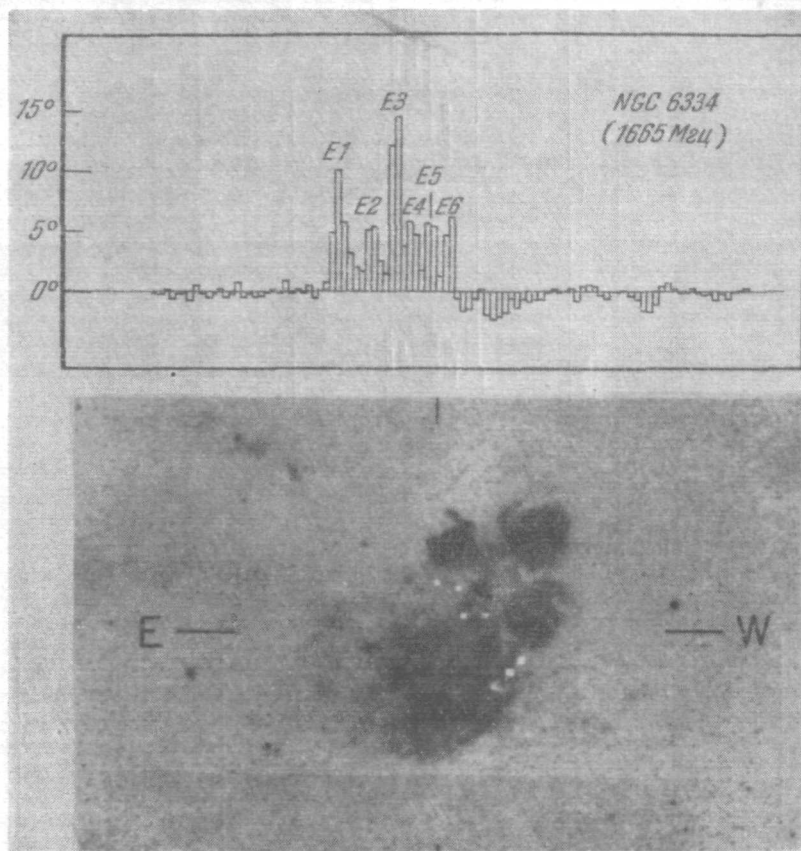


Рис. 4. Белые квадраты на негативе фотографии туманности NGC6334 указывают положение пучков излучения на частоте 1665 Мгц. Площадь квадрата пропорциональна интенсивности пучка.

температурами порядка  $10^4$  ° К. На обсерватории Хэт Крик Калифорнийского университета в январе 1965 г. для двух источников этого каталога (W3 и W51) было обнаружено слабое, но измеримое поглощение на частоте 1667 Мгц.

Но наиболее неожиданные и загадочные результаты были получены при исследовании излучения межзвездного радикала OH. После безуспешных попыток обнаружить излучение линии OH из наиболее вероятных мест Млечного Пути на обсерватории Хэт Крик было предпринято детальное исследование излучения OH для источников каталога Вестерхаута. Используя 26-метровое зеркало и специально созданный стоканальный радиометр, радиоастрономы Калифорнийского университета обнаружили в источнике W49 необычайно интенсивное излучение радикала OH на частотах 1667 и 1665 Мгц с настолько необычными свойствами, что возникло сомнение в правильности интерпретации наблюдаемого излучения. Однако при последующих наблюдениях, проведенных в Австралии, Гарвардском университете и обсерватории Хэт Крик, были обнаружены остальные линии мультиплета на частотах 1612 и 1720 Мгц.

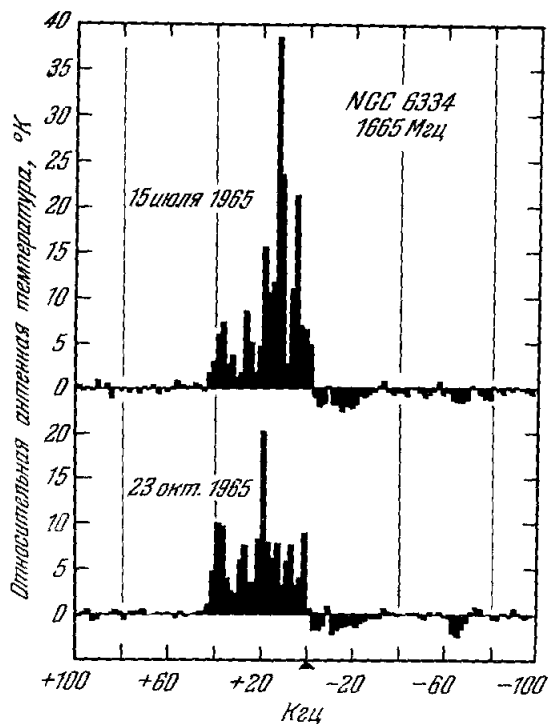


Рис. 5. Профили линии на частоте 1665 Мгц для NGC 6334 на 15 июля и 23 октября 1965 г.

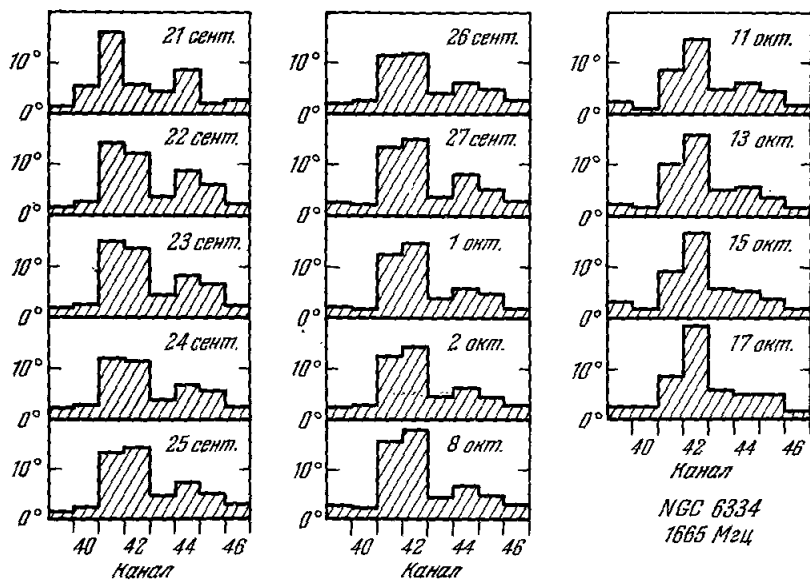


Рис. 6. Детали профиля линии 1665 Мгц для NGC 6334 для ряда дней между 21 сентября и 17 октября 1965 г.

Сомнения в правильности интерпретации отпали, а необычные свойства наблюдаемого излучения были приписаны peculiarному механизму возбуждения, существующему в излучающих областях.

Это открытие побудило к интенсивному исследованию линий излучения ОН, и в течение 1965 г. был установлен ряд необычных свойств этого излучения.

1. Отдельные компоненты излучения радикала ОН от данного источника имеют резко отличающиеся профили, даже в том случае, когда они возникают при переходе с одного энергетического уровня. На рис. 2 видно различие профилей линий излучения ОН для источника W49. Более отчетливо эта особенность видна на рис. 3. Линия  $1667 \text{ Mгц}$  оказывается в основном линией поглощения, тогда как линия  $1720 \text{ Mгц}$ , возникающая с того же верхнего уровня, представляет собой линию излучения с незначительным поглощением. Отношение интенсивностей отдельных компонент сильно отличается от расчетного.

2. Профили отдельных компонент мультиплета содержат узкие пики с существенно отличающимися свойствами при незначительном различии по частоте. Экспериментально найденная ширина пиков имеет порядок одного килогерца. Если



Рис. 7. Радиотелескоп.

считать наблюдаемую ширину обязанной эффекту Доплера, то температура в месте возникновения пика должна быть не выше  $13^\circ \text{ K}$  при отсутствии сколько-нибудь заметных турбулентных движений.

3. Было установлено соответствие отдельных пиков профилей с излучающими их областями источников. На рис. 4 приведены результаты подобных наблюдений, проведенных на обсерватории Хэт Крик для источника NGC 6334. Излучающие области сосредоточены в основном в периферийных частях туманности и имеют угловые размеры, не превышающие нескольких угловых минут.

4. Поляризационные измерения, проведенные на Хэт Крик и Гарвардском университете, обнаружили сильную линейную поляризацию излучения радикала ОН. Так, для источника NGC 6334 обнаружена степень поляризации до 80% для линии  $1667 \text{ Mгц}$  и до 90% для линии  $1665 \text{ Mгц}$ . Совсем недавно в Массачусетском технологическом институте и радиоастрономической обсерватории Джодрелл Бэнк для источников W3 и W49 установлена сильная круговая поляризация излучения радикала ОН.

5. Исследование излучения ОН в течение длительного времени привело к установлению *переменности* излучения ОН туманности NGC 6334. Было установлено два характерных периода. На рис. 5 приведена запись профиля линии  $1665 \text{ M}\mu$  на 15 июля и 23 октября 1965 г., на которой отчетливо видны значительные изменения с характерным временем в несколько месяцев. Изменение в близких каналах указывает на существование более быстрых изменений во времени. Рис. 6 показывает существование этих изменений для источника NGC 6334. Характерное время изменений составляет несколько дней.

Особенности излучения радикала ОН позволяют сделать вывод о существовании *пекулярного* механизма возбуждения молекул ОН в излучающих областях. К настоящему времени нет теории, способной объяснить наблюдаемые свойства излучения радикала, но предполагают, что в ее основе должен быть механизм возбуждения мазерного типа, связанный с резонансным рассеянием.

*М. В. Конюков*