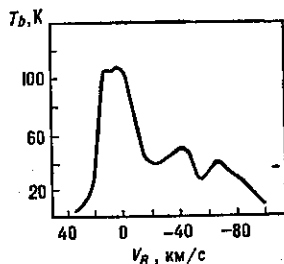


ядра и электрона. Энергия атома при параллельном расположении спинов несколько больше, чем при антипараллельном. При изменении ориентации спина электрона на противоположную происходит испускание (или поглощение) кванта излучения с $\lambda \approx 21,1$ см (частота $\nu \approx 1420$ МГц). Принципиальная возможность излучения межзвёздным водородом Р. в. 21 см указана в 1945 Х. К. ван де Хюлстом (H. Ch. van de Hulst). В 1948 И. С. Шкловский рассчитал ожидаемую интенсивность радиолинии и показал, что она достаточна для того, чтобы Р. в. 21 см можно было обнаружить методами радиоастрономии. В каждом отд. атоме переход, рождающий квант радиоизлучения, происходит в ср. 1 раз за 11 млн. лет, но благодаря высокой распространённости атомарного водорода в межзвёздной среде радиолиния оказывается достаточно интенсивной. Р. в. 21 см обнаружена в 1951 почти одновременно Х. Юэном (H. Ewen), Э. Пёрселлом (E. Purcell), К. Мюллером (C. Muller), Я. Оортом (J. Oort).

Р. в. 21 см оказалась эфф. средством исследования Вселенной. Ок. половины массы галактич. межзвёздного вещества составляет атомарный водород, находящийся в осн. состоянии. Его можно исследовать только по излучению Р. в. 21 см; никаким др. образом эта важнейшая составная часть космич. вещества себя не проявляет. Поэтому Р. в. 21 см даёт ценные, часто уникальные сведения о строении и распределении материи в космич. пространстве.

Интенсивность Р. в. 21 см содержит непосредств. информацию о числе атомов нейтрального водорода на луче зрения (за исключением направлений на некие плотные облака, центр и антицентр Галактики, в к-рых межзвёздный газ непрозрачен в этой линии), а частота и профиль линии позволяют определить по эффекту Доплера *лучевые скорости* v_R водорода. В соответствии с моделью дифференц. вращения Галактики эти дан-

Профиль радиолинии $\lambda = 21$ см в направлении области Лебедь X. По оси абсцисс отложена лучевая скорость (v_R), по оси ординат — яркостная температура линии (T_b).



ные дают возможность определить расстояние до излучающих объектов, т. е. найти распределение нейтрального водорода. Исследования Р. в. 21 см позволили установить, что нейтральный водород в Галактике в осн. заключён в очень тонком (≈ 220 пк) и ровном слое около её плоскости. Лишь на периферии на расстояниях, превышающих 10–12 кпк от центра Галактики, слой водорода размывается до 1000 пк по толщине и отклоняется от галактич. плоскости. В распределении водорода довольно отчётливо выделяются спиральные рукава, к-рые прослеживаются до больших расстояний. На рис. приведён профиль Р. в. 21 см в направлении области Лебедь X ($\alpha = 20^h 28^m$, $\delta = 42^\circ$). Отчётливо видны максимумы излучения, соответствующие отд. спиральным рукавам. Наиб. интенсивный максимум при $v_R = 3$ км/с соответствует ближайшему к Солнцу т. н. Орionoву рукаву, максимум при $v_R = 40$ км/с — Персееву рукаву. Внутри рукавов нейтральный водород распределён неравномерно, в них выделяются вытянутые вдоль плоскости Галактики комплексы облаков с характерными размерами $\approx 200 \times 50$ пк. Получены данные о зависимости ср. концентрации нейтрального водорода от галактоцентрич. расстояния и о детальном распределении водорода в отд. галактич. областях, в т. ч. в галактическом центре.

Излучение Р. в. 21 см наблюдалось также от большого числа др. галактик, что позволило установить отношение массы нейтрального водорода к общей массе галактики в зависимости от её типа. Доля нейтрального водорода увеличивается при переходе от галактик типа Sa к неправильным, достигая для последних десятков процентов. Мин. кол-во нейтрального водорода найдено у эллиптич. галактик; для подавляющего большинства из них доля нейтрального водорода по массе составляет $\sim 0,1\%$. Для ряда ближайших галактик по Р. в. 21 см получены распределения нейтрального водорода в них и кривые вращения (см. *Вращение галактик*). Ценные данные получены также по красному смещению Р. в. 21 см. Линия зарегистрирована более чем от 100 галактик, изменение частоты линии соответствует удалению галактик с разл. скоростями (до $\sim 10^4$ км/с) при хорошей корреляции с красным смещением оптич. линий. Линия водорода, обнаруженная в спектре удалённого внегалактич. источника — квазара 3С 286, оказалась смещённой с частоты 1420,4 МГц до 839,4 МГц, что соответствует красному смещению $z = 0,692$. Полученные данные существенно способствовали развитию теории расширения Вселенной.

Обнаруженная в межзвёздной среде и ставшая эфф. средством исследования космич. пространства Р. в. 21 см нашла также важное земное применение. На её основе разработаны т. н. активные *квантовые стандарты частоты*. Для создания достаточной интенсивности Р. в. 21 см в земных условиях используют вынужденное испускание фотонов атомами водорода. Из источника, в к-ром под влиянием электрич. разряда при низком давлении происходит диссоциация молекулярного водорода, вылетает пучок атомов водорода. В сортирующем устройстве с помощью магн. поля происходит сортировка атомов: возбуждённые атомы поступают в кварцевую камеру, находящуюся в объёмном резонаторе, настроенном на частоту линии 21 см, а невозбуждённые — отклоняются в сторону. При достаточной плотности потока атомов, поступающих в камеру, в резонаторе возникает самовозбуждающаяся генерация на частоте Р. в. 21 см (подробнее см. *Водородный генератор*). Ширна Р. в. 21 см в таком водородном генераторе всего 1 Гц. По этой причине квантовый стандарт частоты, работающий на Р. в. 21 см, имеет высокую точность. В радиоастрономии этот стандарт как наиб. стабильный используется в качестве гетеродина в системах радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами.

Лит.: Шкловский И. С., *Космическое радиоизлучение*, М., 1956; Каплан С. А., Пикельнер С. Б., *Физика межзвёздной среды*, М., 1979. Р. Л. Сороченко.

РАДИОЛОКАЦИОННАЯ АСТРОНОМИЯ — раздел астрономии, исследующий тела Солнечной системы с помощью отражённых ими радиоволн, посланных передатчиком с Земли или космич. аппарата (КА). Объектами исследования Р. а. являются *планеты и спутники, кометы, солнечная корона*.

Радиолокация Луны, теоретически обоснованная в СССР в работах Л. И. Мандельштама и Н. Д. Паналекси, впервые осуществлена в 1946 (Венгрия, США). Спустя 15 лет в Великобритании, СССР и США были получены эхо-сигналы от Венеры, к-рая ближе др. больших планет подходит к Земле. Чувствительность радиолокац. установок позволяет исследовать также Меркурий, Марс, Юпитер, Сатурн, их спутники, малые планеты (напр., Икар, Эрос) и кометы в периоды их сближения с Землёй. Радиолокац. исследования солнечной короны были начаты в 1959 (США).

В радиолокац. исследованиях небесных тел используются те же физ. принципы, к-рые лежат в основе обычной наземной радиолокации. Интенсивность радиоволн при радиолокации ослабляется обратно пропорционально четвёртой степени расстояния до исследуемого объекта. Из-за огромной величины межпланетных расстояний радиолокаторы, используемые для