

параллельны), время от времени происходящие то с одним атомом, то с другим, сопровождаются излучением квантов с длиной волны 21 см. Хотя каждый атом излучает такой квант очень редко, большое число нейтральных атомов водорода, всегда находящихся на луче зрения (особенно большое при наблюдении в направлениях, близких к галактическому экватору), обеспечивает достаточную интенсивность линии, чтобы можно было ее наблюдать с радиотелескопами умеренных размеров.

Вращение Галактики

Так как простирающиеся вдоль луча зрения массы нейтрального водорода находятся в различных местах Галактики и имеют различную лучевую скорость, их излучения вследствие эффекта Доплера различным образом смещены относительно длины волны 21 см. Эмиссионная линия расширяется и для каждого направления принимает особую форму, отражающую все лучевые движения нейтрального водорода, которые происходят в этом направлении.

В настоящее время разработан метод определения закона вращения всей массы нейтрального водорода Галактики по совокупности профилей его эмиссионной линии 21 см для различных направлений. Можно полагать, что нейтральный водород в Галактике вращается так же или почти так же, как вращается сама Галактика. Тогда становится известным и закон вращения Галактики. Этот метод в настоящее время дает наиболее надежные данные о законе вращения нашей звездной системы, т. е. данные о том, как изменяется угловая скорость вращения системы по мере удаления от центра Галактики к ее окраинным областям.

Результаты такого определения, выполненного И. В. Петровской, Б. И. Фесенко и автором этой книги по профилям линий, полученным голландскими и австралийскими астрономами, приведены на рис. 9. Для центральных областей Галактики угловую скорость вращения пока определить не удастся. Как видно, угловая скорость вращения Галактики убывает по мере удаления от ее центра сначала быстро, затем медленнее. На расстоянии 8 кпс от центра угловая скорость равна $0",0061$ в год. Это соответствует периоду обращения 212 млн. лет. В районе Солнца (10 кпс от центра Галак-

тики) угловая скорость равна $0''{,}0047$ в год, период обращения 275 млн. лет. Обычно именно эту величину — период обращения Солнца вместе с окрестными звездами около центра нашей звездной системы — считают периодом вращения Галактики и называют галактическим годом. Но нужно понимать, что общего периода вращения для Галактики, нет, она вращается не как твердое тело.

Закон изменения линейной скорости вращения, равной произведению угловой скорости на расстояние от

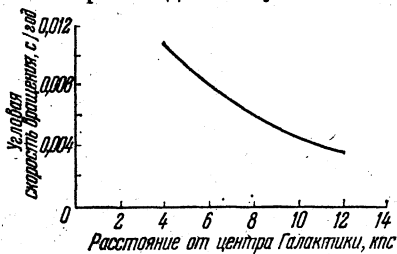


Рис. 9. Закон изменения угловой скорости вращения в Галактике.

центра, становится ясным из рис. 10. В районе Солнца скорость равна 220 км/с. Это значит, что в своем движении вокруг центра Галактики Солнце и окрестные звезды пролетают в секунду 220 км.

Явление вращения Галактики было обнаружено и до применения

радиометодов. Первые исследования, посвященные этому вопросу, принадлежали астроному Казанской обсерватории М. А. Ковальскому, который в 1860 г. дал математическое обоснование метода и получил необходимые рабочие формулы. Однако ввиду отсутствия в то время необходимых наблюдательных данных Ковальский не использовал выведенные им формулы. В 1927 г. голландский астроном Оорт вывел аналогичные формулы и, используя накопившийся к тому времени наблюдательный материал, получил уверенные данные о вращении Галактики. Более общий метод исследования вращения нашей звездной системы разработал в 1932 г. советский астроном К. Ф. Огородников.

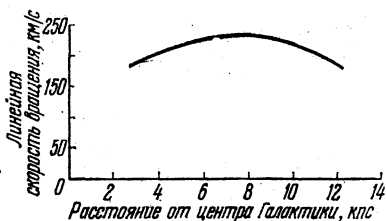


Рис. 10. Закон изменения линейной скорости вращения в Галактике.

Основная идея метода состоит в том, что звездная система должна вращаться не так, как твердое тело: не подобно патефонной пластинке, все точки которой опи-

сывают круг за один и тот же промежуток времени, а подобно вращающейся жидкости в тазу — угловая скорость вращения уменьшается с удалением от центра.

Примером такого вращения является вращение Солнечной системы. Все тела этой системы — большие и малые планеты, большинство комет и метеорные тела — обращаются вокруг Солнца в одном направлении. Поэтому можно говорить о вращении всей Солнечной системы в целом, но при этом периоды обращений отдельных тел различны. Согласно третьему закону Кеплера они пропорциональны большим полуосям орбит, возведенным в степень $3/2$. Это значит, что угловая скорость вращения Солнечной системы быстро падает с удалением от Солнца.

Предположим, что Галактика вращается и угловая скорость, с которой вращаются звезды, уменьшается с увеличением расстояния от центра Галактики, хотя и не обязательно по закону Кеплера.

Рис. 11 показывает, что в этом случае вращение Галактики должно определенным образом отразиться на лучевых скоростях окрестных звезд, лежащих в плоскости Галактики. На этом рисунке буквой *S* обозначено Солнце, а цифрами — восемь соседних звезд. Согласно нашему предположению звезды 6, 7, 8, будучи ближе расположены к центру Галактики, должны двигаться быстрее, чем звезды 1, 5 и Солнце, а последние в свою очередь быстрее звезд 2, 3, 4. Звезда 1 движется с такой же скоростью, что и Солнце, поэтому эффект галактического вращения не должен сказаться на ее лучевой скорости. Иное дело звезда 2. Она движется медленнее Солнца, Солнце ее нагоняет, расстояние между ними уменьшается, поэтому вследствие вращения Галактики звезда будет иметь лучевую скорость, направленную к нам, т. е. отрицательную лучевую скорость. Звезду 3 Солнце тоже обгоняет, но их взаимное положение таково, что при этом расстояние между ними не изменяется. Это значит, что на лучевой скорости звезды галактическое вращение не скажется. От

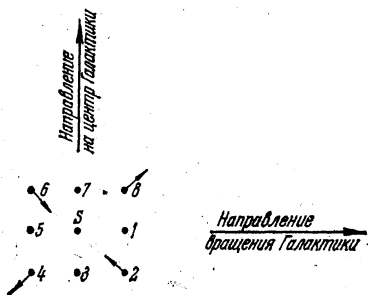


Рис. 11. Влияние вращения Галактики на лучевые скорости звезд.

звезды 4 Солнце уходит, расстояние между ними возрастает, значит, галактическое вращение придает звезде 4 лучевую скорость, направленную от нас, т. е. положительную лучевую скорость. Продолжая рассуждения, мы придем к выводу, что на лучевые скорости звезд 5 и 7 галактическое вращение не повлияет, у звезды 6 оно вызовет отрицательную, а у звезды 8 положительную лучевые скорости. Все направления лучевых скоростей, вызываемых тем, что Галактика вращается не как твердое тело, на рис. 11 обозначены стрелками.

Наблюдения показывают, что именно такой ход лучевых скоростей, как на рис. 11, в действительности наблюдается у звезд. Величины лучевых скоростей и степень их изменчивости в разных направлениях позволили узнать основные данные о вращении Галактики в окрестностях Солнца. Получается, что период вращения Галактики в районе Солнца равен приблизительно 275 млн. лет, а области, расположенные от центра Галактики дальше Солнца, совершают оборот медленнее: период вращения растет на 1 млн. лет при увеличении расстояния от центра Галактики приблизительно на 30 пс. Аналогичные результаты дает исследование собственных движений соседних с Солнцем звезд. Эти данные хорошо согласуются с результатами, полученными при помощи радиометодов.

Такая взаимопроверка различных методов чрезвычайно важна. Она полностью подтверждает правильность разработанных методов и верность наших представлений. Ведь в трех методах используется совершенно разный материал. Лучевые скорости звезд получены по сдвигам линий в их спектрах. Собственные движения получены по смещению их изображений на двух пластинках, снятых с промежутком времени в несколько десятков лет. Наконец, профили линий нейтрального водорода определены при помощи радиотелескопов, настроенных на длину волны 21 см.

Поскольку всеми тремя методами, получаются практически одинаковые характеристики вращения Галактики в районе Солнца, то это означает не только подтверждение реальности этого вращения, но также и доказательство справедливости наших предположений о том, что сдвиг линий в спектрах звезд вызывается лучевой скоростью звезд, а видимое смещение звезд на небе — скоростью, перпендикулярной к лучу зрения, что сложный профиль линии нейтрального водорода вызван раз-

личным периодом вращения вокруг центра Галактики масс водорода, находящихся на пути зрения. Но лучевые скорости и собственные движения звезд позволяют получить характеристики вращения Галактики только для окрестностей Солнца. Угловые скорости обращения других областей нашей звездной системы, более близких к центру, или более далеких, чем Солнце, по лучевым скоростям или собственным движениям определяются очень неуверенно. Это связано с тем, что свет далеких звезд, лежащих в плоскости Галактики, сильно поглощается темной пылевой материей.

Сравним скорости всех изученных космических движений, в которых участвует человек:

скорость вращения Земли вокруг оси — на экваторе около 0,5 км/с, на других широтах меньше 0,5 км/с;

скорость движения Земли вокруг совместного с Лунной центра инерции — около 0,013 км/с;

скорость движения Земли вокруг Солнца — около 30 км/с;

скорость движения Солнечной системы по отношению к окрестным звездам — около 20 км/с;

скорость движения Солнечной системы и окрестных звезд вокруг центра Галактики — около 220 км/с.

Как видно, скорость обращения около центра Галактики значительно превосходит скорости остальных космических движений. Она, конечно, намного больше и скоростей всех остальных движений, какие может совершать человек. Поэтому можно сказать, что основное наше движение — это участие во вращении около центра Галактики со скоростью 220 км/с.

Пылевая материя в Галактике

Кроме газа, в пространстве между звездами имеются пылинки. Размеры их очень малы (радиусы порядка 10^{-4} — 10^{-5} см) и располагаются пылинки на значительных расстояниях друг от друга; среднее расстояние между пылинками-соседями, даже около плоскости Галактики, где они располагаются теснее всего, составляет около ста метров. Поэтому средняя плотность пылевой материи еще ниже, чем средняя плотность межзвездного газа. Общая масса пылевой материи Галактики примерно в 100 раз меньше общей массы газа и, следовательно, в 5000—10 000 раз меньше общей массы всех звезд.