

М. С. ЭЙГЕНСОН

О СРЕДНЕЙ ПЛОТНОСТИ МАТЕРИИ В МЕТАГАЛАКТИКЕ

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 23 IX 1948)

§ 1. Вопрос о величине средней плотности материи в Метагалактике очень важен для внегалактической астрономии и космологии. Раньше для этой величины принята была оценка Джинса, равная 10^{-30} г·см⁻³. Джинс пришел к ней, считая: а) пространство между галактиками практически пустым и б) среднюю массу одной галактики $\sim 10^{42}$ г. Сейчас можно считать установленным, что ни а), ни б) не имеют места.

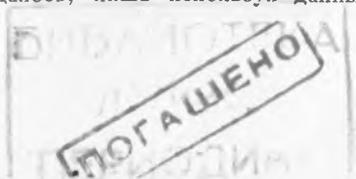
§ 2. Непосредственным доказательством заполненности материей всего метагалактического пространства является метагалактическое поглощение света, впервые обнаруженное нами ⁽¹⁾ и недавно подтвержденное Стеббинсом и Уитфордом. Наши подсчеты показывают, что плотность пыли, обуславливающей это поглощение, $\sim 10^{-30}$ г·см⁻³*, т. е. совпадает с плотностью светлой Метагалактики по Джинсу. Уже это свидетельствует о серьезном значении темной метагалактической материи. Однако абсорбционными методами можно обнаружить только ту составляющую рассеянной темной материи, которая состоит из пылинок с поперечником $\sim 10^{-5}$ см (так как более мелкие и более крупные объекты практически не поглощают). Поэтому действительно плотность всей метагалактической невидимой (сейчас!) материи может быть во много раз выше плотности одной этой пылевой ее составляющей.

§ 3. Сейчас накопился ряд фактов, показывающих, что пространство между видимыми (центральными) частями галактик заполнено невидимой (пока еще) материей, в общем того же характера, что и материя, входящая в эти центральные части.

По сравнению с галактическими звездами галактики аномально близки друг к другу. По Габблу, линейные размеры галактик $\sim 10^3$ — 10^4 св. лет, а среднее расстояние соседних галактик $\sim 10^6$ св. лет. Отсюда коэффициент заполненности Метагалактики (т. е. отношение двух последних величин) $\sim 10^{-2}$ — 10^{-3} . Для Галактики же этот коэффициент $\sim 10^{-9}$ — 10^{-10} , т. е. в 10^6 — 10^8 раз меньше.

Однако и это, весьма высокое, значение коэффициента заполненности Метагалактики в действительности есть только нижний предел. Применение больших экспозиций или более чувствительных способов регистрации слабых интенсивностей света приводит к весьма суще-

* Таким образом, метагалактическое поглощение \sim в 10^6 раз слабее галактического. Слабость метагалактического поглощения и обусловила длительную безуспешность его поисков. Обнаружить его удалось, лишь используя данные о наиболее далеких галактиках.



ственному возрастанию наблюдаемых размеров галактик (интенсивность света на изображении галактики непрерывно убывает от центра к краям). Вызванная этим обстоятельством переоценка размеров, например, М31, этой наилучше изученной спирали, привела к их увеличению до 10^5 св. лет, т. е. до размеров, принятых и для нашей Галактики. Весьма вероятно, что сравнимые размеры других галактик такие же. Если бы это было действительно так, это увеличило бы оценку коэффициента заполненности Метагалактики до 10^{-1} .

Вероятнее же всего, что, вообще, нельзя говорить о реальных границах галактик. Повидимому, они непрерывно переходят одна в другую. В этом и состоит причина высоких оценок коэффициента заполненности Метагалактики. В действительности же его, видимо, надо считать ~ 1 .

Необходимо отметить, что низкая светимость окраинной части галактики не означает, что ее масса невелика по сравнению с массой ее видимой части. Дело в том, что окраины галактик должны состоять из абсолютно очень слабых и очень красных звезд (даже ярчайшие из них, которые лишь в 1944 г. удалось обнаружить в ядрах спиралей и эллиптических галактик, находятся на крайнем пороге видимости).

§ 4. После появления работы Бэбкока (1939 г.) оказалось, что джинсовские оценки масс галактик относятся лишь к центральным ядрам спиралей. Например, масса М31 в сфере радиуса $100' \sim 10^{44}$ г, т. е. в 10^2 больше массы ее ядра. Как известно, масса нашей Галактики также $\sim 10^{44}$ г.

Однако и эти новые значения необходимо все же рассматривать как дающие лишь нижний предел массы Галактики.

Так, автор недавно показал*, что указанное выше значение массы Галактики означает лишь массу в сфере радиуса R_{\odot} (R_{\odot} — расстояние Солнца от галактического центра). Так как радиус Галактики вдвое больше, чем R_{\odot} , то во всем известном ныне ее объеме заключена масса \sim на 1 порядок большая, чем в сфере радиуса R_{\odot} (так как, как мы нашли, радиальный градиент плотности на этих расстояниях сравнительно невелик). Поэтому масса Галактики должна быть не менее 10^{45} г.

Но автор показал (²) типичность Галактики в физическом отношении. Поэтому возможно, что и ее масса достаточно репрезентативна для масс галактик вообще.

Во всяком случае, теперь за нижний предел средней плотности Метагалактики следует считать $10^{-23} - 10^{-27}$ г·см⁻³.

§ 5. Пока мы говорили о массах светлых частей изолированных галактик. Исходя из наблюдаемого распределения пекулиарных лучевых скоростей сочленов скопления галактик Девы и применяя теорему вириала, Смит (³) нашел, что на одну галактику приходится 10^{45} г. Очевидно, что в эту оценку включена вся масса, т. е. и та, которая сейчас невидима и находится между видимыми теперь частями галактик. Но галактики в скоплениях сильно скучены. На одну галактику в скоплениях приходится объем, в среднем в несколько сот раз меньший, чем на одну изолированную галактику. Поэтому на одну изолированную галактику (и, так как они преобладают, то и на одну среднюю галактику вообще) приходится большая масса, чем на одну галактику в скоплении.

Учитывая падение плотности, можно приближенно оценить последнюю цифрой \sim на 1—2 порядка выше полученной Смитом, т. е. $\sim 10^{46} - 10^{47}$ г.

* Доклад на 3-м Всесоюзном совещании по изучению строения вселенной, 1947 г.

Поэтому средняя плотность (светлой и темной) Метагалактики должна быть $\sim 10^{-26} - 10^{-25} \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$.

§ 6. В точности к таким же цифрам можно прийти и из совершенно иных соображений.

Но сперва оценим верхний предел средней плотности Метагалактики. Очевидно, последняя должна быть ниже околосолнечной плотности. Последняя же, как показал автор*, $\sim 10^{-24} \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$. Эта цифра и является верхним пределом этой плотности.

Средняя плотность центральных ядер галактик $\sim 10^{-21} - 10^{-22} \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$. Ввиду ее типичности весьма вероятно, что такова же и плотность центрального ядра нашей Галактики. Размеры этого ядра $\sim 1,6 \cdot 10^3$ св. лет, а $R_{\odot} \sim 2,4 \cdot 10^4$ св. лет. Следовательно, при изменении расстояния \sim в 30 раз (от середины центрального ядра, к которой мы относим его среднюю плотность, до Солнца) плотность убывает на 2—3 порядка. Половина расстояния между соседними галактиками больше $R_{\odot} \sim$ в 20 раз. Если закон изменения плотности, что естественно предположить в первом приближении, существенно не изменяется, тогда и там она должна упасть не более, чем на 2—3 порядка, т. е. \sim до $10^{-26} - 10^{-25} \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$.

Эти цифры действительно совпадают с найденными в конце § 5.

§ 7. Известно, что интенсивность света, излучаемого данной точкой на изображении эллиптической галактики, изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния этой точки от центра изображения. Тен Брупенкате нашел, что также изменяется интенсивность света, излученного единицей объема галактики. Так как эллиптические галактики состоят из звезд, то вышеуказанный закон есть закон звездной плотности. Естественно проэкстраполировать его до середины расстояния между соседними галактиками.

Сделать это можно двояко, исходя: 1) из ядерной плотности галактик и 2) из околосолнечной звездной плотности. Обе эти оценки будут совершенно независимы, так как получены принципиально различными и не зависящими друг от друга методами.

Тем отраднее констатировать, что обе оценки в точности совпадают. Плотность материи между галактиками оказывается $\sim 10^{-26} \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$. Так как объем пространства между видимыми частями галактик на несколько порядков больше объема, занятого последними, то удельный вес массы, сосредоточенной в первом объеме (даже учитывая градиент плотности), будет преобладающим. Поэтому только что полученная цифра должна быть репрезентативна для средней плотности Метагалактики вообще.

§ 8. Итак, хотя по самому характеру объекта, относящегося к области астрономии невидимого, мы никак не можем претендовать на строгость наших рассуждений, можно, нам кажется, прийти к предварительному выводу о том, что оценка Джинса была сильно занижена. Значение средней плотности Метагалактики следует поэтому радикально пересмотреть. В первом приближении мы находим для этой фундаментальной величины цифру примерно на 4 порядка больше джинсовской, т. е. $\sim 10^{-26} \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$.

Пулковская обсерватория

Поступило
21 IX 1948

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ М. С. Эйгенсон, Докторская диссертация. 1938; Природа, № 11—12 (1938).
² М. Эйгенсон, *Z. f. Ap.*, 12, 213 (1936). ³ S. Smith, *Publ. Astr. Soc. Pacific.*, 47, 220 (1935).

* Доклад на 3-м Всесоюзном совещании по изучению строения вселенной, 1947 г.