

# ПЕРВЫЕ ГАЛАКТИКИ

Ихлов Б. Л.

*Пермский государственный национальный исследовательский университет*

## Аннотация

Показано, что изменения постоянной Хаббла объясняются в рамках СТО. Показано, что наличие вращающихся галактик в ранней Вселенной согласуются с теорией Большого взрыва, основанной на модели Фридмана. Галактики приобретают момент импульса благодаря расширению Вселенной при наличии кривизны пространства, которая достигалась при достаточно высокой плотности вещества.

**Ключевые слова:** постоянная Хаббла, гелий, реликтовое излучение, инфляция, метод Фока

## Введение

Телескоп «Уэбб» установил, что разница значений постоянной Хаббла (напряжение Хаббла) не может быть обусловлена различием в методах измерения, Вселенная расширяется с разной скоростью в разных направлениях [1]. Для разрешения проблемы используют альтернативные теории гравитации, в которых напряжение Хаббла исчезает. Но у этих альтернативных теорий есть свои неразрешимые проблемы.

Также было сделано наблюдение, согласно которому Земля расположена в области космоса, где материи относительно мало — что сравнимо с воздушным пузырем в торте. Плотность вещества выше вокруг пузыря. Гравитационные силы исходят из окружающей материи, которая притягивает галактики в пузыре к краям полости, поэтому они удаляются от Земли быстрее, отклонения можно объяснить малой локальной плотностью. По существующим космологическим моделям такие пузыри не должны существовать, материя должна быть равномерно распределена в пространстве.

По другой версии предполагается, что наблюдаемые отклонения от изотропии можно объяснить существованием гигантских космических возмущений, длина волны которых превышает размер космологического горизонта — максимального расстояния, которое мог пройти свет с момента возникновения Вселенной. Эти возмущения называли модами супергоризонта, которые ориентированы в одном направлении и не подчиняются стандартной космологии [2]. «Уэбб» открыл ранние вращающиеся галактики и галактики, возникшие раньше, чем предсказывают космологические модели

## Постоянная Хаббла

Для объяснения напряжения Хаббла не требуется ни альтернативной теории гравитации, ни версии пузыря, ни модели крупномасштабных возмущений. Закон Хаббла соответствует космологическому принципу лишь для не релятивистских скоростей. Пусть  $v_1$  и  $r_1$  - векторы скорости удаления и расстояния от Земли некоторой произвольно выбранной галактики Эти же величины, измеренные в

системе отсчета, связанной с галактикой 2, обозначим  $v_1'$  и  $r_1'$ . Обозначим  $v_2$  - вектор скорости галактики 2,  $r_2$  - ее радиус-вектор относительно нашей галактики. Векторы скоростей и расстояний

связаны между собой преобразованиями Галилея:  $v_1 = v_1' + v_2; r_1 = r_1' + r_2$ . Согласно закону Хаббла

$v_1 = Hr_1; v_2 = Hr_2; v_1 - v_2 = H(r_1 - r_2)$ , тогда  $v_1' = Hr_1'$ . Отсюда следует, что при релятивистских скоростях последнее равенство не выполняется, таким образом, релятивистский закон Хаббла противоречит

однородности и изотропии Вселенной. Следовательно, его классическая форма должна быть изменен таким образом, чтобы в релятивистском виде соответствовать космологическому принципу.

В модели Фридмана постоянная Хаббла  $H = \dot{a} / a$  зависит от времени ( $a(t)$  – масштабный фактор). Для не слишком удаленных объектов красное смещение  $z = Hr$  [1], соответственно, закон Хаббла  $v = Hr$ . То есть, для удаленных объектов связь должна иметь иной вид.

Закон Хаббла не зависит и от размерности пространства. То же, что в одномерном случае, будет справедливо для поверхностной плотности вещества, двумерного круга и для объемной плотности.

Выделим во Вселенной точку и две сферы вокруг нее, радиуса  $R$  и  $2R$ . Поскольку вселенная однородна, поверхностная плотность, допустим, звезд на этих сфера одинакова:  $\rho_1 = m_1 / S_1$ ,  $\rho_2 = m_2 / S_2$  и  $\rho_1 = \rho_2$ .

Через время  $t$  звезды на первой сфере в виду расширения Вселенной достигнут второй сферы. Их поверхностная плотность уменьшится в 4 раза. Поскольку линейная плотность остается одинаковой, за это же время звезды второй сферы достигнут сферы радиуса  $4R$ . Т.е. их плотность уменьшится тоже в 4 раза. То же можно проделать с объемной плотностью, допустим, тонкого слоя на поверхности сферы, объем которого равен разности объемов двух конусов с близкими радиусами:

$$V = \frac{2}{3} \pi R_2^2 h - \frac{2}{3} \pi R_1^2 h = \frac{2}{3} \pi (1 - \cos \alpha) (R_2^3 - R_1^3) = f (R_2^3 - R_1^3) \quad (1)$$

где  $f = \frac{2}{3} \pi (1 - \cos \alpha)$ ,  $h$  – разность между радиусом сферы и высотой конуса,  $\alpha$  – плоский угол конуса.

Объем слоя вблизи сферы меньшего радиуса, соответственно  $V_0 = f (r_2^3 - r_1^3)$ . Как мы условились,

$R_2 = 2r_2$ , с точностью до пренебрежимо малых величин ввиду нашего приближения  $R_2 - R_1 \approx R_2, R_1$  и

$r_2 - r_1 \approx r_2, r_1$  можем принять  $R_1 \approx 2r_1$ , следовательно,  $V = 8V_0$ . Через время  $t$  звезды из первого объема

займут второй объем, их плотность уменьшится в 8 раз, плотность звезд второго объема уменьшится

тоже в 8 раз. Для более точного вычисления можно привлечь еще раз закон Хаббла и разложить

экспоненту в ряд, оставив первые два члена  $R \approx 1 + Ht$ , но вычисления останутся теми же. То есть, закон Хаббла для объемов соответствует однородности Вселенной.

Однако т.к. в (1) фигурирует угол, который в неевклидовой геометрии меняется с радиусом, кривизна пространства должна нарушать однородность Вселенной, т.е. чтобы сохранить однородность,

необходимо изменить закон Хаббла. Кроме того, в СТО для выражения радиуса существует

дополнительный множитель, который будет увеличивать радиус по мере удаления от точки отсчета:

$$R' = (R - vt) / \sqrt{1 - v^2 / c^2}, \quad t' = [t - (v / c^2) R] / \sqrt{1 - v^2 / c^2}$$

Таким образом, по мере удаления наблюдаемая плотность должна уменьшаться. Поскольку этого не наблюдается, нужно принять, что в виду СТО постоянная Хаббла должна зависеть от расстояния.

### Возраст Вселенной и химические элементы

«Уэбб» показывает более высокое красное смещение, чем измеренные ранее, оно показывает, что некоторые из звездных скоплений образовались примерно на 250 миллионов лет раньше Большого взрыва. Однако не существует даты Большого взрыва. Возраст Вселенной, определяемый через постоянную Хаббла, весьма приближенный, т.к. постоянная Хаббла – величина переменная.

Согласно ТБВ взрыв не мог произвести ничего, кроме  $H_2$ , He, Li и следов Be. Чтобы более тяжелые элементы типа кислорода существовали сегодня, они должны были бы образоваться в звездах в процессе ядерного синтеза. «Уэбб» обнаружил линии  $O_2$  в далекой галактике GHZ2/GLASS-z12, и это открытие подтверждено другими экспериментами. Но эта галактика старше, чем тот период, когда образовывались водород, гелий и литий, она возникла через 367 млн лет после Большого взрыва.

### **Скорость образования галактик**

Согласно одной из моделей образования галактик тепло внутри газовых облаков замедляет скорость, с которой гравитация конденсировала бы вещество в звезды, в результате чего звездообразование занимает примерно в 100 раз больше времени. Когда первые звезды в протогалактике начинают светить, они выделяют больше тепла в газ, что тоже тормозит дальнейшее звездообразование. Это недолговечные гиганты; когда они взрываются как сверхновые, они еще больше нагревают газовые облака или полностью выбрасывают их из формирующейся галактики. Т.е. по существующим моделям газовые облака должны объединяться в звезды и галактики гораздо медленнее, чем предполагают богатые галактиками снимки «Уэбба» ранней Вселенной.

Результаты телескопа «Уэбб» доказывают, что в более ранние времена темп звездообразования был гораздо быстрее, как если бы газовые облака коллапсировали без торможения из-за высокой температуры или вспышек сверхновых.

В 2022 г. «Уэбб» обнаружил галактику, которая была яркой, когда Вселенной было всего 230 миллионов лет, что опровергает «медленную», т.е. тепловую версию. Дальнейшие исследования показали, что таких галактик в сотни и тысячи раз больше ожидаемого количества.

Другая теория заключается в том, что первые звезды могли образоваться быстрее, потому что они сформировались только из первичной материи, оставшейся после Большого взрыва - водорода и гелия, без более тяжелых элементов, образовавшихся в более поздних поколениях звезд. Таким образом, указанные данные телескопа «Уэбб» отдадут предпочтение быстрой модели эволюции галактик.

Считается, что в отсутствие темной материи флуктуации плотности барионного вещества нарастали бы очень медленно из-за расширения Вселенной, галактики не успели бы образоваться к настоящему времени. Lambda-CDM теория, включающая холодную темную материю, описывает, как вскоре после Большого взрыва темная материя под действием собственной гравитации собралась в «ореолы», которые втянули в себя обычную материю и создали условия для ее конденсации в галактики. lambda-CDM предсказывает количество и размер ореолов, которые должны были существовать в ранней Вселенной, и, следовательно, количество галактик. Возможно, удастся подстроить lambda-CDM, чтобы создать что-то более близкое к тому, что видит телескоп «Уэбб», возможны коррективы в модели эволюции галактик, а также пересмотр модели инфляции.

Тепловое давление в ранней Вселенной может играть меньшую роль, поскольку при высокой плотности мощное гравитационное поле снижает температуру [3].

Данные источников о первых галактиках значительно расходятся. Утверждается, что возраст открытых JWST первых галактик – 400 – 600 млн лет. Ранее сообщалось, что «Уэбб» обнаружил, что через 250 - 300 лет от Большого взрыва в ней уже были по крайней мере, две яркие галактики.

В [4, 5] указывается, что галактики возникли в первый миллиард лет.

В 2015 году с помощью телескопа ALMA была обнаружена галактика, возникшая через 800 лет после Большого взрыва, утверждалось, что это самая старая галактика из обнаруженных.

11.7.2007 Ричард Эллис (Калифорнийский технологический институт) на 10-метровом телескопе Кекс II обнаружил 6 звёздных скоплений, которые образовались 13,2 миллиардов лет назад, когда Вселенной было 600 миллионов лет.

Наконец, в 2011 году группа Йохана Ричарда обнаружила галактику, звезды в которой начали свое формирование 200 млн лет после Большого Взрыва. Правда, это не означает что сама галактика возникла через 200 млн лет. Например, возраст самой старой звезды BD+17°3248 – 13,8 млрд. лет, т.е. она возникла почти сразу после Большого взрыва [6]. Возраст 2MASS J18082002–5104378 – 13,53 млрд. лет.

В 2015 г. вблизи центра Млечного Пути было выявлено 9 звезд, сформировавшихся через 300 млн лет после Большого Взрыва. Обнаружена звезда старше Вселенной: возраст Мафусаила – 14,46 лет. Правда, погрешность – 800 млн лет, но в лучшем случае этот возраст – 13,66 млрд. лет.

Считается, что через 10 сек после Большого взрыва вещество Вселенной материя охладилась достаточно для образования стабильных нуклонов, начался первичный нуклеосинтез. В течение 20 мин образовался первичный состав звёздного вещества: около 25 % гелия-4, 1 % дейтерия, немного тяжелых элементов до бора и более 75% водорода. Эпоха рекомбинации, когда ядра водорода начинают захватывать электроны, когда возникают альфа-частицы и более крупные атомы, начинается примерно через 18 000 лет. Примерно через 47 – 70 тыс. лет по мере остывания Вселенной, вещество начинает доминировать над излучением [7]. Через 379 000 лет от рождения Вселенной при температуре 3000 К эпоха первичной рекомбинации завершается. Далее температура Вселенная падает настолько, что гравитация становится доминирующей силой. Таким образом, ничто не запрещает галактикам образовываться через 230 млн лет после Большого взрыва.

В основу (медленной) модели, описывающей возникновение галактик, положен расчет, сделанный Шкловским [8] (см. также [9]).

Исследуется облако межзвездного газа с постоянной плотностью  $\rho$  и с радиусом  $r$  - а точнее газовый континуум, когда масса выделенного шара растет с радиусом.

Условием того, что облако под действием собственной гравитации начнет сжиматься, является отрицательный знак полной энергии облака. Последняя состоит из отрицательной гравитационной энергии  $W_g$  взаимодействия всех частиц, образующих облако, и положительной тепловой энергии этих частиц  $W_T$ . Отрицательный знак полной энергии означает, что силы гравитации, стремящиеся сжать облако, превосходят силы газового давления, стремящиеся рассеять это облако во всем окружающем пространстве.

$$W_T = \frac{A}{\mu} \rho T \frac{4}{3} \pi r^3 \quad (1)$$

где  $A = 8,3 \cdot 10^7$  эрг/моль · кельвин,  $\mu$  — молекулярный вес газа. Гравитационная энергия

$$W_g \approx \frac{GM}{r} \approx G\rho^2 16r^5 \quad (2)$$

$W_T$  при постоянной плотности растёт с ростом радиуса как  $r^3$ , в то время как  $W_g \sim r^5$ , т.е. с ростом  $R$  растёт гораздо быстрее. Следовательно, при данных  $\rho$  и  $T$  существует такой радиус  $r_1$ , что при  $r > r_1$  облако под действием собственной гравитации будет сжиматься, из (1) и (2) получаем:

$$r_{sh} > a_0 T^{1/2}$$

Однако данный расчет некорректен. Дело в том, что сила, действующая на пробную массу в газе, не зависит от радиуса:

$$pV = \frac{m}{\mu} RT = \frac{\rho V}{\mu} RT$$

Тогда сила расталкивания, действующая на пробную массу, будет равна

$$F_T = a_1 \rho T$$

Примем, что звезды, образование которых должно элиминировать давление, образуются одновременно с галактиками, т.е. процесс конденсации газа – один и тот же.

Внутри облака закон Гука- Ньютона превращается в закон Гука, сила, действующая на пробную массу:

$$F = -m \frac{4}{3} \pi \rho G r$$

Отсюда

$$r > a_2 T, \quad a_0, a_1, a_2 - \text{const.}$$

То есть, равновесный радиус падает с температурой быстрее, чем радиус Шкловского. Следовательно, уменьшается время конденсации. Таким образом, галактики могли образовываться даже по «медленной модели» раньше, чем время, рассчитанное в соответствии с моделью Шкловского.

### **Доказательство ТБВ данными «Уэбба»**

Согласно последней классификации Хаббла 30-х годов галактики эволюционируют из неправильных в дисковые, эллиптические и далее в спиральные, поэтому далекие галактики имеют более неправильную форму, чем близлежащие, т.к. самые далекие галактики мы видим еще в стадии формирования.

По данным «Уэбба» далекие галактики имеют более мощную и сформированную структуру, одно из исследований первого снимка глубокого поля «Уэбба» обнаружило неожиданно большое количество далеких галактик с формой диска и эллипса, т.е. форму – по Хабблу - уже сформированной галактики. Эволюция галактик связана с изменением структуры галактики, именно динамика подсистем галактики и определяет её форму – эллиптическую или дисковую, симметричную или неправильную. Тем не менее, в современной терминологии остаётся след старой интерпретации Хаббла: эллиптические галактики называют галактиками ранних типов, а спиральные — поздних типов. В 1970-х годах распространилась идея, что галактики не могут менять тип и формируются при разных начальных условиях. От неё в дальнейшем отказались, ибо в неправильных галактиках были обнаружены неяркие старые звезды. В 90-х стали считать, что галактики всё же последовательно эволюционируют, но в обратную сторону относительно той, что была предложена Хабблом: сначала у спиральных галактик нарастают балджи (сфероидальные уплотнения из звезд в центре галактики) и они становятся галактиками всё более ранних типов, затем они в результате слияний превращаются в эллиптические.

Так или иначе, данные телескопа «Уэбб» окончательно отвергают последнюю классификацию Хаббла и основанные на ней классификации ван ден Берга, классификация Вокулера.

Существует также классификация Ходжа и ван ден Берга, но все классификации не охватывают всё многообразие галактик, среди которых можно выделить, помимо чисто дисковых, «неправильных» или трехъярусных спиральных, например, галактики Е, галактики Сейферта, дискообразные и кольцевые галактики без спиральной структуры, голубые галактики Аро и Маркаряна, компактные галактики, асимметричные галактики, галактики Np, наконец, квазары и квазаги.

«Уэбб» открыл спиральные галактики с перемычкой на расстоянии 11 млрд. световых лет, которые по Хабблу формируются только в поздней Вселенной. Спиральные галактики, обладающие моментом импульса  $J$  – оказываются, наоборот, молодыми. Это является подтверждением ТБВ, т.к.  $J$  появляется у звездных систем и галактик в результате расширения при наличии кривизны пространства, которая была максимальной на начальных стадиях Вселенной и затем снизилась почти до нуля.

Исследование моментов импульсов, например, планет Солнечной системы изложено, в частности, в [10]. В [11] отмечается, что наиболее широко принятая модель формирования Солнечной системы, известная как гипотеза туманностей, не решает проблему углового момента, в частности, почему орбитальный импульс Юпитера больше вращательного момента Солнца. В [11] нет ответа, за счет чего возникло вращение Солнечной системы и галактик. Ссылка на асимметрию первичного газопылевого облака некорректна в виду закона сохранения момента импульса.

В [12] с помощью приближенного метода Фока показано, что релятивистская теория гравитации в сравнении с теорией Ньютона приводит к выводу, что если в системе тел не было вращения, оно возникает из их поступательного движения. К сожалению, в статье допущена неточность, утверждается, что имеет место закон сохранения полного момента – суммы орбитального и собственного моментов. Элементарный подсчет моментов импульсов для Солнечной системы показывает, что это не так. Уже то, что почти все планеты вращаются вокруг себя в ту же сторону, в какую вращаются вокруг Солнца, говорит о том, что полный момент импульса Солнечной системы не равен нулю. То есть, при формировании системы из газопылевого облака, не имевшего момента импульса, закон сохранения момента импульса был нарушен. В ОТО собственный момент импульса имеет вид:

$$L_d = \varepsilon_{abcd} (J^{ab} - Y^a p^b + Y^b p^a) p^c / m,$$

где  $\varepsilon_{abcd}$  - 4-символ Леви-Чивита,  $m$  - масса,  $p^a$  - 4-импульс,  $Y^a = J^{ab} p_b / m^2$ ,  $J^{ab}$  - момент импульса относительно начала координат:  $J^{ab} = \int (x^a T^{b0} - x^b T^{a0}) d^3x$ , где интегрирование проводится по области, занятой системой. Закон изменения 4-момента импульса формулируется сложным образом, через эффективный тензор энергии-импульса, получаемый добавкой к обычному тензору псевдотензора Ландау-Лившица. 4-импульс и 4-момент импульса сохраняются лишь в линеаризованной теории и при введении калибровки. Запишем уравнение движения для частицы в постньютоновском приближении:

$$a = 3v\dot{\varphi} + 4v(v \cdot \nabla)\varphi - v^2 \nabla \varphi + v \times (\nabla \times \zeta) - \nabla(\varphi + 2\varphi^2 + \psi) - \dot{\zeta}$$

где  $\varphi, \psi, \zeta$  - потенциалы постньютоновского разложения. Вычисление на больших  $r$  при произвольном распределении энергии–импульса показывает, что вектор углового момента  $(G/r^3)(x \times J) \square \zeta \neq 0$ . Т.е. вывод в [12] справедлив: в искривленном пространстве поступательное движение порождает вращение. Т.е. расширение ранней Вселенной создало моменты импульса и галактик, и планетных систем.

### **Заключение**

Таким образом, данные телескопа «Уэбб» согласуются со СТО. Во-вторых, данные «Уэбба», показывая наличие в ранней вселенной вращающихся галактик, подтверждают ТВБ, поскольку именно в ранней Вселенной с большей плотностью кривизна пространства была существенно выше.

### **Литература**

1. Adam G. Riess, etc. JWST Observations Reject Unrecognized Crowding of Cepheid Photometry as an Explanation for the Hubble Tension at 8 sigma Confidence. arXiv:2401.04773 [astro-ph.CO]
2. Prabhakar Tiwari, Rahul Kothari, and Pankaj Jain. Superhorizon Perturbations: A Possible Explanation of the Hubble–Lemaître Tension and the Large-scale Anisotropy of the Universe. *The Astrophysical Journal Letters*, 924:L36 (5pp), 2022 January. DOI 10.3847/2041-8213/ac447a/
3. Ихлов Б.Л. Возможна ли термодинамика Вселенной? XVIII Международной конференции «Финслеровы обобщения теории относительности». РУДН. 25 – 26 ноября 2022 года. С. 123-132.
4. Сурдин В. Г. 2017, стр. 306—307.
5. Paul W. Hodge. Galaxy - Evolution of galaxies and quasars. *Encyclopedia Britannica*. 2020.
6. Шлауфман, Кевин К.; Томпсон, Иэн Б.; Кейси, Эндрю Р. (2018). "Звезда с крайне низким содержанием металлов вблизи предела сжигания водорода". *Астрофизический журнал*. **867** (2): 98. doi:10.3847/1538-4357/aadd97. S2CID 54511945.
7. Рейден Барбара Сью (2003). Введение в космологию. Сан-Франциско, Аддисон-Уэсли. ISBN 978-0-8053-8912-8. LCCN 2002013176. OCLC 1087978842 .
8. Шкловский И. С. Звезды: их рождение, жизнь и смерть. М.: Наука, 1984. 384 с.
9. Кононович Э. В., Мороз В. И. Общий курс астрономии. М.: УПСС, 2004. 544 с. С. 387.
10. Feissel M. Rotation of Solar System Bodies // *Highlights of Astronomy*. Published online by Cambridge University Press. 2016. V. 9. P. 507–536
11. Netchitailo V. S. Solar System. Angular Momentum. *New Physics. Journal of High Energy Physics, Gravitation and Cosmology* Vol.5. No.1, January 2019. P. 112-139.
12. Сандина И. В. Система вращающихся тел и законы сохранения в общей теории относительности. *Ярославский пед. вестник. Сер. «Физико-математические и естественные науки*. 2010. Вып. 1. С. 81-85.