УДК 524.7

В.А. КАРПЕНКО

О ВОЗМОЖНОЙ СВЯЗИ ФИЗИЧЕСКИХ ЗАКОНОВ С РАСШИРЕНИЕМ ВСЕЛЕННОЙ

Найдено решение задачи о формулировке физических законов в расширяющейся Вселенной. В качестве примера рассмотрены уравнения нерелятивистской механики. Показано, что энергия и момент импульса системы гравитационно взаимодействующих частиц не сохраняются. Это обстоятельство объясняет природу моментов импульсов галактик и позволяет отказаться от представления о "скрытой массе" Вселенной.

Введение

Рассматриваемый в данной работе вопрос имеет своим истоком принцип Маха. После открытия разбегания галактик он анализировался Дираком [1], Милном [2], Бонди и Голдом [3], Хойлом [4], рядом других исследователей и нашел свое отражение даже в учебнике [5].

Задача современной космологии заключается в описании наблюдаемых свойств Вселенной с помощью известных физических законов. Поэтому она базируется на следующих исходных постулатах: в различных частях Вселенной действуют одинаковые физические законы; эволюция Вселенной и наблюдаемые в ней явления подчиняются известным физическим законам. Первый постулат косвенно подтверждается астрономическими наблюдениями и указывает на то, что Вселенная познаваема. Данное исследование требует замены второго постулата об экстраполяции известных законов и для этого есть определенные основания. Так, известные законы имеют локальный характер в том смысле, что они установлены и подтверждены экспериментально исключительно в одной локальной области Вселенной. Значительно более сильным аргументом в пользу замены второго постулата является тот факт, что в современной теории гравитационной неустойчивости галактики не образуются [6]. К этому следует добавить также существующие на протяжении десятков лет проблемы природы "скрытой массы" и моментов импульсов галактик [6]. Это указывает на актуальность разработки альтернативных космологических теорий.

В настоящей работе в качестве исходных приняты постулат о единстве физических законов во Вселенной и принцип локальности, утверждающий, что в одной локальной области пространства Вселенной независимо от времени справедливы известные физические законы. Совместно с первым постулатом это утверждение эквивалентно следующему: в любой локальной области Вселенной действуют известные физические законы. Как видно, это положение явно не исключает независимость законов природы от эволюции Вселенной, но требует решения вопроса о их возможной связи.

Ниже показано, как наблюдаемые свойства Вселенной и уточненные формулировки принятых постулатов позволяют найти закон космологического расширения, выяснить некоторые свойства физических законов в расширяющейся Вселенной и установить алгоритм их построения. В качестве примера рассмотрены уравнения нерелятивистской механики, позволяющие выяснить природу моментов импульсов галактик, подвергнуть сомнению существование “скрытой массы” во Вселенной и указывающие на возможность образования галактик.

Основная часть

Закон космологического расширения. Наиболее общие наблюдаемые свойства Вселенной выражаются двумя утверждениями: пространство Вселенной плоское, справедлив закон Хаббла. Первое позволяет использовать метризованные координаты $\boldsymbol{r}$ и время t в законе Хаббла

$$\frac{d\boldsymbol{r}}{dt} = H\boldsymbol{r}, \tag{1}$$

который так просто формулируется лишь в определенным образом выбранной (хаббловской) системе отсчета. Рассматривая часть Вселенной, определяемую неравенством $(d\boldsymbol{r}/dt)^2 << c^2$, где c – скорость света в вакууме, совместим начало системы отсчета с центром масс любого тела, движущегося по закону (1). В результате получим хаббловскую систему отсчета, поскольку в ней также справедлив закон Хаббла. Можно представить себе ансамбль хаббловских систем отсчета, поставив в соответствие каждой точке пространства наблюдаемой Вселенной их начала отсчета. Ниже под хаббловской системой отсчета подразумевается любой элемент этого ансамбля.

Задача заключается в отыскании зависимости постоянной Хаббла H от времени t. Для ее решения используем космологический принцип относительности [7], утверждающий единство законов природы во Вселенной: в расширяющейся Вселенной существуют системы отсчета, в которых все физические законы выражаются наиболее просто и одинаковым образом. Возвращаясь теперь к хаббловскому ансамблю систем отсчета, в которых закон расширения выглядит наиболее просто, приходим к выводу об их привилегированности и эквивалентности относительно всех физических законов. С другой стороны, согласно принципу локальности, в окрестности начала любой хаббловской системы отсчета справедливы известные физические законы. Они обладают наиболее общим свойством, выражаемым принципом относительности, в соответствии с которым физически эквивалентными и привилегированными являются инерциальные системы отсчета, не подверженные внешним воздействиям. Таким образом, хаббловские системы отсчета принадлежат классу инерциальных систем, а их относительное движение осуществляется согласно закону Милна:

$$\frac{d\boldsymbol{r}}{dt} = \frac{\boldsymbol{r}}{t}, \tag{2}$$

в котором $H = t^{-1}$. Справедливость закона Милна (2) в любой области, ограниченной условием $r^2 << (ct)^2$, приводит к выводу о его справедливости в наблюдаемой Вселенной. Этот результат согласуется с идеей Маха о том, что инерциальные системы отсчета выделяются усредненным движением небесных тел.

Некоторые свойства глобальных физических законов. Изложенные ниже свойства являются, в основном, следствиями закона Милна и космологического принципа относительности.

1. Физические законы лоренц-ковариантны. Две любые хаббловские системы отсчета вследствие (2) связаны преобразованиями Лоренца и, согласно космологическому принципу относительности, физические законы в расширяющейся Вселенной являются лоренц-ковариантными.

2. Энергия, а также отличные от нуля импульс и момент импульса любой физической системы не сохраняются. Пространственные и временные трансляции не содержатся в преобразованиях Лоренца. Поэтому глобальные лоренц-ковариантные физические законы, как и закон Милна, изменяются при пространственных и временных сдвигах, то есть явно зависят от координат и времени. Следовательно, пространство и время неоднородны, а фундаментальные законы сохранения в расширяющейся Вселенной не выполняются.

3. Справедлив закон сохранения движения центра масс. Закон Милна (2) описывает наблюдаемое разбегание галактик и их скоплений, поэтому его следует интерпретировать как выражение закона сохранения движения центра масс, подверженных гравитационному взаимодействию.

4. Физические законы не имеют лагранжевой формулировки. Как локальные, так и глобальные физические законы ковариантны относительно пространственных вращений, принадлежащих группе преобразований Лоренца [8]. При несохранении момента импульса глобальные законы не имеют лагранжевой формулировки, поскольку в противном случае, вследствие теоремы Нётер, момент импульса − сохраняющаяся величина.

5. Глобальные законы должны подчиняться принципу соответствия. Полагая в (2) $t = t^* + \tau$, где t^* − начало отсчета времени, и переходя к пределу $t^* \to \infty$, вместо (2) получим $dr/d\tau = 0$. Это означает, что расширение отсутствует. Следовательно, глобальные законы в далеком будущем должны совпадать с соответствующими, не учитывающими расширение Вселенной, известными законами.

Замечание. *Фундаментальные физические постоянные, содержащиеся в известных законах, не зависят от времени.* Это утверждение является следствием принципа локальности. Утверждаемая им идентичность физических законов в пространственной окрестности начала любой хаббловской системы отсчета означает идентичность численных значений фундаментальных физических постоянных. Их постоянство следует из того, что каждый элемент хаббловского ансамбля характеризуется собственным временем.

Формулировка физических законов в расширяющейся Вселенной. Представление о хаббловском ансамбле, уточнение принципа локальности, а также требование лоренц-ковариантности являются ключом к формулировке глобальных законов на основе известных законов, которые обычно выражаются дифференциальными уравнениями. В фиксированной хаббловской системе отсчета или в системе наблюдателя K каждой точке пространства-времени $(\boldsymbol{r}, t)$ соответствует начало хаббловской системы отсчета K' или подвижная точка с координатами $(0,t')$. Таким образом, возникает представление о непрерывном множестве точек пространства-времени $(0,t')$, каждая из которых независимо от времени является началом хаббловской системы отсчета. Это открывает возможность считать областью определения функций, подчиненных известным уравнениям, множество подвижных точек. Очевидно, что в этом случае локальные законы, сохраняя свою форму неизменной, будут учитывать расширение Вселенной, поскольку фразу "функция определена в точке $(0,t')$" нужно понимать так: функция определена в системе K' в точке $(0,t')$. Поэтому следует считать, что дифференциальные уравнения, выражающие известные физические законы, связывают функции и их производные, определенные в точках начала хаббловских систем отсчета. Тогда уточненный принцип локальности гласит: в расширяющейся Вселенной известные физические законы справедливы в точке начала любой хаббловской системы отсчета.

Требование лоренц-ковариантности устанавливает взаимно-однозначное соответствие между координатами точек пространства-времени $(\boldsymbol{r},t)$ и $(0,t')$, а также между функциями и их производными, определенными на множествах точек $(0,t')$ и $(\boldsymbol{r},t)$. Уточненный принцип локальности позволяет осуществить переход от локальных уравнений, известных в начале отсчета любого элемента хаббловского ансамбля K', к искомым уравнениям в системе наблюдателя K обычным образом – с помощью преобразований Лоренца и соответствующего представления группы Лоренца с вектор-параметром, равным относительной хаббловской скорости $\boldsymbol{r}/(ct)$. Формулировка уравнений нерелятивистской механики имеет специфику, обусловленную использованием преобразований Галилея. Физические законы в расширяющейся Вселенной формулируются так просто лишь при условии, что координатные оси любого элемента хаббловского ансамбля K' параллельны соответствующим координатным осям системы наблюдателя K.

Уравнения нерелятивистской механики и их следствия. Для формулировки таких уравнений следует выделить в хаббловской системе наблюдателя K пространственную область, ограниченную сферой, радиус которой R растет по закону $R = r_0 t/t_0$, где r_0 значение R в некоторый момент времени $t = t_0$, и считать, что $R^2 << (ct)^2$ или $(r_0/t_0)^2 << c^2$. Тогда движение нерелятивистской частицы, принадлежащей данной области, описывается локальными уравнениями:

$$\Delta'\varphi' = -4\pi G\rho', \quad m'\frac{d}{dt'}\frac{d\mathbf{r}'}{dt'} = m' grad'\varphi', \qquad (3)$$

а дифференциалы координат и времени в системах K и K' связаны преобразованиями Галилея:

$$d\boldsymbol{r}' = d\boldsymbol{r} - \frac{\boldsymbol{r}}{t}dt, \qquad dt' = dt, \tag{4}$$

из которых следует, что скорость

$$\frac{d\boldsymbol{r}'}{dt'} = \frac{d\boldsymbol{r}}{dt} - \frac{\boldsymbol{r}}{t} \tag{5}$$

как функция координат и времени определена на подвижном континууме точек.

В нерелятивистской теории гравитационный потенциал φ', плотность вещества ρ' и масса частицы m', независящие от φ', а также оператор Лапласа Δ' являются скалярами. Учет этого обстоятельства, а также преобразований (4) и выражения (5) позволяет записать уравнения (3) в системе наблюдателя K таким образом:

$$\Delta\varphi = -4\pi G\rho, \qquad m\frac{d}{dt}\left(\frac{d\boldsymbol{r}}{dt} - \frac{\boldsymbol{r}}{t}\right) = m\,grad\varphi, \tag{6}$$

поскольку $\Delta'\varphi' = \Delta\varphi$, $\rho' = \rho$, $m' = m$, $grad'\varphi' = grad\varphi$. Как видно, уравнение относительно гравитационного потенциала φ осталось неизменным, поэтому сила $m\,grad\varphi$ является ньютоновской. В частности, движение частицы в центральном гравитационном поле, создаваемым массой M, сосредоточенной в начале системы наблюдателя K, описывается уравнением

$$m\frac{d}{dt}\left(\frac{d\boldsymbol{r}}{dt} - \frac{\boldsymbol{r}}{t}\right) = -\frac{mMG}{r^3}\boldsymbol{r}, \tag{7}$$

где $\boldsymbol{r}$ – радиус-вектор частицы, $r = |\boldsymbol{r}|$. Уравнения (6) позволяют также записать уравнения:

$$m_i\frac{d}{dt}\left(\frac{d\boldsymbol{r}_i}{dt} - \frac{\boldsymbol{r}_i}{t}\right) = -\sum_{j=1}^{n}{}' \frac{m_i m_j G}{\left|\boldsymbol{r}_i - \boldsymbol{r}_j\right|^3}\left(\boldsymbol{r}_i - \boldsymbol{r}_j\right) + \boldsymbol{F}_i \qquad (i, j = \overline{1, n}), \tag{8}$$

для системы n гравитационно взаимодействующих частиц, где m_i – масса частицы, $\boldsymbol{r}_i$ – ее радиус-вектор, $\boldsymbol{F}_i$ – сила, обусловленная гравитационным влиянием на i-ю частицу частиц, не принадлежащих рассматриваемой системе.

Дальнейшее изложение посвящено выяснению некоторых физических следствий уравнений движения (7) и (8). Явная зависимость уравнений (7), (8) от времени показывает, что они не допускают стационарных решений и, соответственно, известных законов сохранения. Это обстоятельство может быть ключом к пониманию сущности механических явлений в галактиках и их скоплениях.

В уравнениях (8) под гравитационно взаимодействующими частицами можно понимать либо звезды и другие объекты, принадлежащие галактике, либо галактики, образующие скопление. “Скрытая масса” скоплений галактик, которые обычно предполагаются гравитационно связанными системами, является следствием применения теоремы о вириале [6].

К уравнениям (8), явно зависящим от времени, теорема о вириале не применима. Поэтому нет оснований для возникновения представления о “скрытой массе” скоплений галактик.

Умножая обе части уравнения (8) векторно на $\boldsymbol{r}_i$ и суммируя по i, получим уравнение

$$\frac{d\boldsymbol{M}}{dt}-\frac{\boldsymbol{M}}{t}=\boldsymbol{N}(t), \qquad \boldsymbol{M}=\sum_{i=1}^{n}\boldsymbol{r}_i\times m\frac{d\boldsymbol{r}_i}{dt}, \qquad \boldsymbol{N}(t)=\sum_{i=1}^{n}\boldsymbol{r}_i\times\boldsymbol{F}_i \qquad (9)$$

относительно момента импульса системы $\boldsymbol{M}=\boldsymbol{M}(t)$. Пусть после некоторого момента времени t_1 в прошлом момент вращения $\mathbf{N}(t)\approx 0$. Тогда при $t\geq t_1$ направление $\boldsymbol{M}(t)$ сохраняется, а величина $|\mathbf{M}(t)|$ линейно растет со временем:

$$\boldsymbol{M}(t)=\boldsymbol{M}(t_1)t/t_1. \qquad (10)$$

Этот результат не зависит от размера системы и дает представление о природе моментов импульсов галактик.

Теперь умножим обе части уравнения (8) для i-й частицы, полагая $\boldsymbol{F}_i=0$, скалярно на $d\boldsymbol{r}_i/dt-\boldsymbol{r}_i/t$, а уравнение для j-й частицы на $d\mathbf{r}_j/dt-\mathbf{r}_j/t$, затем разделим полученные равенства на два, просуммируем их соответственно по i и j и сложим. В результате получим аналог закона сохранения полной энергии в классической механике:

$$\frac{d}{dt}\left[\sum_{i=1}^{n}\frac{m_i}{2}\left(\frac{d\boldsymbol{r}_i}{dt}-\frac{\boldsymbol{r}_i}{t}\right)^2-\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}{\sum_{j=1}^{n}}'\frac{m_i m_j G}{|\boldsymbol{r}_i-\boldsymbol{r}_j|}\right]=\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}{\sum_{j=1}^{n}}'\frac{m_i m_j G}{|\boldsymbol{r}_i-\boldsymbol{r}_j|t}. \qquad (11)$$

Здесь второй член выражения в квадратных скобках представляет собой потенциальную энергию, поэтому первый член следует интерпретировать как кинетическую энергию. Как видно, полная энергия монотонно растет со временем, поскольку правая часть соотношения (11) больше нуля. Возможно, что этот процесс в течении длительного времени способен изменить отрицательный знак полной энергии системы, например, скопления галактик, на противоположный.

Движение объектов за пределами галактики с массой M описывается уравнением (7), приводящим к формуле (10) для момента импульса. Учитывая явный вид $\boldsymbol{M}(t)$ и ограниченность величины скорости, из (10) получим, что расстояние r до объекта неограниченно растет со временем. Кроме того, из (7) следует уравнение

$$\frac{d}{dt}\left[\frac{m}{2}\left(\frac{d\boldsymbol{r}}{dt}-\frac{\boldsymbol{r}}{t}\right)^2-\frac{mMG}{r}\right]=\frac{mMG}{rt}, \qquad (12)$$

аналогичное (11). Если сила, действующая на частицу, равна скорости изменения импульса, то, согласно (7) и (12), импульс $\boldsymbol{p}$ и кинетическая энергия T частицы определяются равенствами:

$$\boldsymbol{p}=m\left(\frac{d\boldsymbol{r}}{dt}-\frac{\boldsymbol{r}}{t}\right), \qquad \mathrm{T}=\frac{m}{2}\left(\frac{d\boldsymbol{r}}{dt}-\frac{\boldsymbol{r}}{t}\right)^2. \qquad (13)$$

Поэтому импульс и кинетическая энергия любой частицы, движущейся по закону (2), равны нулю. Интегрируя обе части уравнения (12) по времени t в пределах от t_1 до t и пренебрегая хаббловской скоростью, то есть полагая, что $r/t \approx 0$, получим

$$\frac{1}{2}\left(\frac{dr}{dt}\right)^2 - \frac{MG}{r} - MGf = \frac{1}{2}\left(\frac{dr(t_1)}{dt}\right)^2 - \frac{MG}{r(t_1)}. \qquad (14)$$

Это приближенное равенство не позволяет оценить массу галактики M по измеренным в настоящее время значениям скорости и положения объекта, поскольку эволюционный фактор f, равный интегралу по времени от t_1 до t с подынтегральной функцией $(rt)^{-1}$, а также положение объекта и его скорость в момент времени $t = t_1$ в далеком прошлом неизвестны.

Указание на существование "скрытой массы" спиральных галактик дают кривые вращения [9] и их интерпретация. Обычно предполагается, что объекты, наблюдаемые за пределами галактики, являются гравитационно связанными с галактикой, их движение описывается ньютоновской механикой и является круговым. При таких допущениях масса $\tilde{M}$, удерживающая объект на круговой орбите радиуса r, и его скорость υ связаны равенством

$$\upsilon^2 = \tilde{M}G/r. \qquad (15)$$

Пусть приближенное уравнение (14) согласуется с истинным движением объектов. Тогда представление о "скрытой массе" галактики может быть следствием (14) и тех допущений, которые приводят к формуле (15). Принимая их, получим, что правая часть равенства (14) равна $-MG/(2r)$, поскольку круговое движение является стационарным. В результате из (14) следует, что

$$\upsilon^2 = MG/r + 2MGf, \qquad (16)$$

где υ – скорость объекта на круговой орбите. Сравнивая (15) и (16), имеем

$$\tilde{M} = M + 2rMf.$$

Здесь "скрытая масса" $2rMf$ пропорциональна массе галактики и диаметру орбиты, что качественно подтверждается ее наблюдаемыми свойствами [9]. Любые нюансы поведения кривых вращения за пределами галактик можно описать феноменологически, учитывая, что эволюционный фактор f есть индивидуальная характеристика наблюдаемого объекта, то есть $f = f(r)$. Однако такое описание с точки зрения механики, учитывающей расширение Вселенной, является фиктивным.

Известно [6], что главным препятствием для образования галактик из газа, расширяющегося по закону Хаббла, является его кинетическая энергия. Импульс и кинетическая энергия расширяющегося по закону (2) газа равны нулю в соответствии с формулами (13). Это указывает на возможность образования галактик во Вселенной, расширяющейся по закону Милна. Однако, решение этого вопроса требует специального рассмотрения.

Заключение

Таким образом, наблюдаемые плоское пространство Вселенной и закон Хаббла, а также космологический принцип относительности и принцип локальности, принятые в данной работе, позволяют установить зависимость постоянной Хаббла от времени и найти алгоритм формулировки глобальных физических законов в расширяющейся Вселенной. Уравнения нерелятивистской механики, учитывающие космологическое расширение, не допускают сохранения во времени полной энергии и момента импульса системы гравитационно взаимодействующих частиц. Именно это обстоятельство объясняет природу моментов импульсов галактик и открывает возможность отказаться от представления о таинственной "скрытой массе" Вселенной. Однозначность закона расширения Вселенной (2) и индуцируемых им глобальных физических законов позволяет легко опровергнуть изложенную теорию наблюдениями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Dirac, P.A.M.** / P.A.M. Dirac. Proc. Roy. Soc, 1938. – Vol. A165. – P. 199.
2. **Milne, E.A.** Fundamental conceps in cosmology / / E.A. Milne. Theories of Universe. 1957. – P. 354–376.
3. **Bondi, H.** / H. Bondi, T. Gol. Mon. Not. Roy. – Astron. Soc, 1948. – Vol. 108. – P. 252.
4. **Hoyle, F.** / F. Hoyle. Mon. Not. Roy. Astron. Soc, 1948. Vol.108. – P. 372.
5. **Китель, Ч.** Механика. (Берклеевский курс физики. Том I) / / Ч. Китель, У. Найт, М. Рудерман. – М. : Наука, 1975. – С. 88–89.
6. **Суслау, У.** Гравитационная физика звездных и галактических систем / / У. Суслау. – М. : Мир, 1989. – С. 178–185.
7. **Карпенко, В.А.** К вопросу о возможной связи физических законов с наблюдаемым расширением Вселенной / / В.А. Карпенко. – Препринт Института физики АНБ. – Минск, 1992. – 33 с.
8. **Федоров, Ф.И.** Группа Лоренца / / Ф.И. Федоров. – М. : Наука. 1979. – 384 с.
9. **Горбацкий, В.Г.** Введение в физику галактик и скоплений галактик / / В.Г. Горбацкий. – М. : Наука, 1986. – С. 33–37.

Поступила в редакцию 18.06.2010 г.