

# ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

## АЛЬТЕРНАТИВА ЗАКОНУ ТЯГОТЕНИЯ НЬЮТОНА

Эткин В.А.



*Эткин Валерий Абрамович – доктор технических наук, профессор,  
Советник проректора по науке,  
Научно-исследовательский центр,  
Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти*

**Аннотация:** *установлен новый закон гравитационного взаимодействия масс, утверждающий существование сил как притяжения, так и отталкивания в зависимости от знака градиента плотности вещества. Найдены условия, при которых он переходит в закон тяготения Ньютона. Показано существование «сильной» гравитации, на много порядков превышающей ньютоновские силы тяготения. Обоснованы существование гравитационного равновесия и единство природы всех взаимодействий. Приведены данные недавних астрономических наблюдений, подтверждающие эти выводы.*

**Ключевые слова:** *природа гравитации, закон Ньютона, гравитационное взаимодействие, силы отталкивания, обобщенное уравнение гравитации, гравитационное равновесие, единство сил природы, экспериментальное подтверждение.*

### 1. Введение.

Причины возникновения и природа гравитации интересовали человечество с древних времён. Исторически первой из дошедших до нас концепций гравитации явилась вихревая модель Демокрита [1]. Он считал гравитацию «эмерджентным» свойством, возникающим вследствие появления вихрей в среде, названной впоследствии эфиром. Этой же концепции придерживался и Аристотель, который объяснял множество наблюдаемых явлений возникновением в этой среде вихрей.

С новой остротой вопрос о происхождении гравитации встал после того, как И. Ньютон на основе найденных Кеплером законов движения планет вывел свой знаменитый закон всемирного тяготения [2]. Согласно этому закону, модуль силы<sup>1</sup> притяжения  $F_g$  двух тел с массами  $m$  и  $M$  пропорциональна произведению этих масс и обратно пропорциональна квадрату расстояния между их центрами  $r$ :

$$F_g = GmM/r^2. \quad (1)$$

где  $G$  – гравитационная постоянная.

В этом законе сила тяготения  $F_g$  выступала уже как врожденное свойство «тяжести» тел, извечно присущее любым телам так же, как и их масса. Он предполагал «мгновенный» характер действия этой силы независимо от расстояния до источника силы. Не объяснял этот закон и причины возникновения сил притяжения. Поэтому многие мыслители XVIII века, включая Декарта, Гюйгенса и Кельвина, оставались вопреки Ньютону сторонниками вихревой концепции гравитации. В

<sup>1</sup> Понятия вектора в ту пору не существовало.

частности, ещё в 1690 году женеvский математик Н. Фатио предложил простую «кинетическую» теорию гравитации, которая давала объяснение формуле силы Ньютона. Он предположил, что вселенная наполнена мельчайшими корпускулами, которые движутся с очень высокой скоростью беспорядочно и прямолинейно во всех направлениях, и показал при этом, что плотность потока этих частиц уменьшается пропорционально квадрату расстояния. Его идеи, ставшие известными по переписке с учёными того времени, не пропали даром, и в 1756 году Ле Саж опубликовал основанную на его идеях «приталкивательную» концепцию гравитации [3]. Его теория давала механическое объяснение ряду явлений, и в контексте только что открытой кинетической теории газов (В. Томсон, 1873) стала предметом повышенного интереса. Этот интерес сохранился и до настоящего времени, хотя критики теории Ле Сажа обнаружили в ней множество слабых мест.

Значительные трудности создавала и создаёт расходимость закона тяготения (1), выражающаяся в том, что ньютоновская сила  $F_g$ , а вместе с ней и энергия гравитационного взаимодействия  $U_g$  обращаются в бесконечность по мере сближения тяготеющих тел ( $r \rightarrow 0$ ). В небесной механике это не имело особого значения ввиду пренебрежимой малости размеров тела по сравнению с расстоянием между ними. Однако в законе Ньютона, претендующем на «всемирный» характер, конечные размеры тел играли решающую роль. Их можно было учесть, ограничив закон (1) минимальным расстоянием  $r = r_0$ , на которое могли быть сближены тела без проникновения друг в друга, и одновременно придав закону Ньютона векторную форму:

$$\mathbf{F}_g = GmM(1/r^2 - 1/r_0^2), \quad (2)$$

где  $r \geq r_0$  – радиус-вектор точки поля, где вычисляется сила  $\mathbf{F}_g$ ;  $r - r_0$  – расстояние до неё.

Ограничение закона Ньютона расстояниями  $r \geq r_0$  не нарушает законы Кеплера, однако бесконечных значений силы  $\mathbf{F}_g$ , ускорения  $\mathbf{g} = \mathbf{F}_g/m$ , гравитационной энергии  $U_g$  и потенциала  $\psi_g = U_g/m$  при этом не возникает. Более того, это позволило бы устранить и не имеющие физического смысла отрицательные значения гравитационной энергии  $U_g$ , поскольку за начало её отчёта можно было принять  $r - r_0 = 0$ . При такой «калибровке» гравитационная энергия  $U_g$  её потенциал  $\psi_g = U_g/m$  становятся величиной сугубо положительной [5]:

$$\psi_g = GM(1/r_0 - 1/r), \quad (r \geq r_0) \quad (3)$$

Однако механике точки Ньютона такие проблемы были чужды не менее, чем для современной космологии – проблема устранения отрицательных значений потенциальной энергии и учёта неоднородности распределения плотности в пространстве Вселенной, вследствие чего «физике сегодняшнего дня неизвестно, что такое энергия» [4]. Между тем совершенствование средств наблюдения и выведение их в космос привело астрономию и астрофизику к серии открытий, ставящих под сомнение и сам закон тяготения Ньютона. Одним из них явилось обнаружение несоответствие кривых вращения галактик небесной механике, основанной на законе тяготения Ньютона (рис 1).

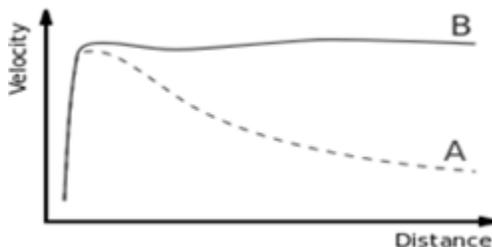


Рис. 1. Кривые вращения галактик

Действительно, если исходить из небесной механики, т.е. равенства силы тяготения  $F_g$  (1) центробежной силе  $F_{ц} = mv^2/r$ , то скорость  $v$  вращения периферийных слоёв спиральных галактик должна падать пропорционально корню квадратному их расстояния  $|r|$  от их центра (кривая А). Однако в действительности эта скорость на определённом удалении от центра практически перестаёт зависеть от  $r$  (кривая В). Астрономам пришлось либо признать необходимость модификации Ньютонской динамики [6], либо допустить существование тёмной (ненаблюдаемой) материи значительно большей массы, образующей вращающееся вместе с галактикой «гало» [7].

Далее, закон тяготения Ньютона (1) не признает существования гравитационных сил отталкивания. Между тем ещё в 1895 г. немецкий астроном Х. Зелигер пришёл к выводу о его несовместимости с реальным состоянием Вселенной, поскольку она согласно этому закону неизбежно должна «стянуться» в единое целое [1]. Поэтому А. Эйнштейн при создании ОТО предположил, что наряду с силами гравитации должна существовать ещё не открытая сила, отталкивающая тела друг от друга с интенсивностью, возрастающей по мере их взаимного удаления и позволяющая Вселенной в целом оставаться стационарной. С этой целью он ввёл в левую часть его «уравнение гравитации»

$$\mathbf{G}_{\mu\nu} = 8\pi G\mathbf{T}_{\mu\nu}, \quad (4)$$

связывающего тензор кривизны пространства  $\mathbf{G}_{\mu\nu}$  с тензором энергии-импульса  $\mathbf{T}_{\mu\nu}$ , член вида  $\Lambda g_{\mu\nu}$  (где  $\Lambda$  - космологическая постоянная,  $g_{\mu\nu}$  - метрический тензор) [8]. Этот «космологический член» он понимал как некоторое свойство кривизны самого пространства. Однако сама эта модель Вселенной, где тела, активно взаимодействующие друг с другом в разных концах космоса совершенно неактивны, когда они рядом, выглядела настолько странной с точки зрения физики, что известный астрофизик С. Хокинг назвал эту предполагаемую силу «отталкивающей» во всех смыслах этого слова» [9]. Характерно, что и сам А. Эйнштейн в 1931 году отказался от этого космологического члена как от «теоретически неудовлетворительного». Однако когда в конце XX столетия обнаружилось, что Вселенная расширяется с ускорением [10], исследователи вынуждены были вспомнить об этом члене и допустить, что в состав материи Вселенной наряду с «тёмной материей» входит гипотетическая «тёмная энергия», ответственная за упомянутые силы отталкивания. Тем самым признавалась и неполнота закона тяготения Ньютона.

Более того, при составлении 3-х мерной карты Вселенной обнаружилось существование и устойчивого равновесия скоплений галактик, которые в сечении имеют вид кольцевых структур (рисунок 2).

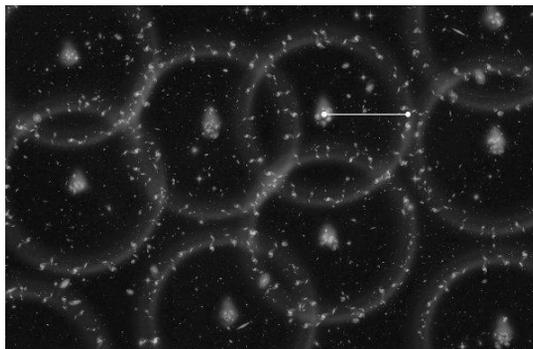


Рис. 2. Участок карты Вселенной с изображением кольцевых структур  
(Source: Berkeley National Laboratory)

Как следует из него, галактики в таких структурах сосредоточены в основном либо в их центре, либо на периферии [11]. То обстоятельство, что периферийные скопления галактик удерживаются на значительном расстоянии от центрального скопления

(равном для большинства кольцевых структур  $\approx 500$  миллионам парсек), подтверждает наличие между центральными и периферийными скоплениями галактик сил отталкивания. Закон Ньютона это не предсказывает.

Ещё одной особенностью закона Ньютона является то, что он учитывает лишь парное взаимодействие тяготеющих тел и не признаёт существования гравитационного равновесия. В существовании такого равновесия легко убедиться на простейшем примере трёх тел, когда пробная массы  $m$ , расположенной между массами  $M_1 \gg m$  и  $M_2 \gg m$  на одной линии с ними. В таком случае согласно (1) силы притяжения пробного тела к ним будут равны соответственно  $F_1 = GmM_1/r_1^2$  и  $F_2 = GmM_2/r_2^2$ , где  $r_1, r_2$  – расстояния от пробного тела соответственно до центра 1-го и 2-го тела, а их результирующая  $F_g$  обратится в нуль при  $(r_1/r_2)^2 = M_1/M_2$ . Это равновесие неустойчиво, поскольку отклонение пробного тела массой  $m$  от точки либрации в сторону любого из тел  $M_1$  или  $M_2$  вызывает дальнейшее их сближение до состояния контакта, а в случае их проницаемости – и слияния. Такого рода неустойчивое равновесие реально наблюдается в тесных системах двойных звёзд или галактик, что приводит к перетеканию вещества с одного небесного тела на другое при неизменном положении их центров вплоть до полного исчезновения одного из них.

Наконец, когда выяснилось, что наблюдаемая Вселенная состоит не менее чем на 95% из «небарионной» материи [12], которая не участвует в электромагнитном взаимодействии и потому может обладать лишь гравитационной энергией, стало окончательно ясно, что закон Ньютона описывает взаимодействие менее чем 5% материи Вселенной и потому никак не может претендовать на статус «всемирного». Всё это побуждает к поиску более общего закона взаимодействия масс, из которого закон тяготения Ньютона вытекал бы как частный случай.

Предлагаемая модификация этого закона основана на признании неоднородности распределения материи во Вселенной и на принципе эквивалентности её плотности и энергии, вытекающем из энергодинамики как обобщённой динамики неравновесных процессов [5, 13].

## 2. Биполярный закон гравитации

Воспользуемся принципом эквивалентности массы и энергии, который в применении к любой (барионной и небарионной) сплошной среде массой  $M$  имеет вид  $U_g = Mc^2$ . Поскольку для полевых величин удобнее относить все экстенсивные величины к системе единичного объёма, будем оперировать понятием плотности энергии гравитационного поля  $\rho_g = dU_g/dV = \rho c^2$  (Дж/м<sup>3</sup>), где  $\rho = dM/dV$  – плотность вещества. Если принять  $c = c_g = const$ , т. е. квадрату скорости распространения возмущений в гравитационном поле, то потенциал гравитационного поля  $\psi_g = dU_g/dM = d\rho_g/d\rho = c_g^2$ . Тогда по аналогии с понятием напряжённости электрического и магнитного поля уместно ввести понятие напряжённости гравитационного поля  $X_g = -\nabla\psi_g$ . то  $X_g$  выражается через градиент плотности вещества  $\nabla\rho$  простым соотношением:

$$X_g = -c_g^2 \nabla\rho/\rho, \text{ (кг/м}^2 \cdot \text{с}^2\text{)}. \quad (5)$$

Это выражение будем называть бинарным законом гравитационного взаимодействия, поскольку в соответствии с ним силы гравитации могут иметь различный знак в зависимости от знака градиента плотности  $\nabla\rho$ . Согласно этому закону, *гравитационное поле порождено неоднородным распределением массы*, а не только наличием её самой. Насколько нам известно, это положение не вытекало из какой-либо теории гравитации, кроме энергодинамики как дальнейшего развития термодинамики неравновесных процессов в направлении приложения её методов к упорядоченным формам энергии [5]. Эта теория, следствием которой является и сам принцип пропорциональности массы и энергии, подтверждает принадлежность гравитации к эмерджентным свойствам материи и в то же время освобождает от необходимости выдвижения каких-либо гипотез о происхождении гравитационных сил.

Поскольку  $X_g = -\rho g$ , то в соответствии с (5) величина ускорения в гравитационном поле  $g$  пропорциональна относительному градиенту  $\nabla\rho/\rho$  плотности вещества:

$$\mathbf{g} = \psi_g \nabla \rho / \rho, \text{ м с}^{-2}. \quad (6)$$

Этот закон был выведен ранее более сложным путём, исходя из первичных принципов энергодинамики [5, 13]. Он отличается от закона Ньютона во многих отношениях. Прежде всего, этот закон применим к сплошным средам, в которых невозможно выделить «полеобразующие» или «пробные» тела с массами  $M$  или  $m$ . Это делает его незаменимым для «скрытой» массы Вселенной («тёмной» материи), поскольку не требует знания других её параметров, не поддающихся измерению современными средствами. Это придаёт законам гравитационного взаимодействия (5) и (6) «парадигмальное» значение, далеко выходящее за рамки простого обобщения закона Ньютона

Согласно (5, 6), ускорение  $\mathbf{g}$  в гравитационном поле всегда *сонаправлено* градиенту плотности материи  $\nabla \rho$  и потому может иметь различный знак в зависимости от характера распределения вещества в конкретной области пространства Вселенной. Иными словами, гравитационные силы могут быть как силами притяжения, так и силами отталкивания [13]. Это положение делает излишним постулирование новых сущностей типа «*тёмной энергии*» или «*космологического члена*», ответственных за силы отталкивания. Принципиально важно, что знак действующих во Вселенной гравитационных сил может быть определен визуально по характеру распределения в ней барионного (видимого) вещества (галактик, звёзд, туманностей и т. п.). Если плотность вещества в центре скопления звёзд или галактик спадает к периферии, то действующие в них гравитационные силы имеют характер сил тяготения к их центру. При этом по поведению барионного вещества можно судить и о движении «скрытой массы» («тёмной материи»), поскольку она конденсируется в барионное вещество только по достижении ею определенной плотности (как и при других фазовых переходах). Далее, согласно (5) и (6), уплотнение «скрытой массы», спонтанно возникнув в какой-либо области Вселенной, с течением времени лишь усиливается, увеличивая её плотность  $\rho$  от величины  $\sim 10^{-27} \text{ кг/м}^3$  в областях Вселенной, свободных от барионного (конденсированного) вещества, до плотности нейтринных звёзд ( $\rho \sim 10^{18} \text{ кг/м}^3$ ) и более, что в конечном счёте приводит к образованию космологических сингулярностей. Становится понятным также, что «черные дыры» возникают в действительности на ранних стадиях развития галактик, пока в них не начинаются процессы образования барионного (видимого) вещества, избыток которого выбрасывается ею в виде «джетов». Становится понятной и причина «больших» и малых «взрывов» (в том числе «сверхновых»), когда плотность в них возрастает настолько, что силы гравитации уже не в состоянии сдерживать внутренних напряжений, обусловленных протеканием в «сингулярностях» термоядерных реакций [5]. Принципиально отличие энергодинамики в этом отношении заключается в том, что ввиду пространственной неоднородности Вселенной такие «взрывы» с последующим разбеганием «осколков» происходят не во Вселенной как целом, а в отдельных её областях, что не препятствует её бесконечному существованию во времени. Свидетельством этих процессов и являются те гравитационные волны, которые были обнаружены в 2015 г. коллаборацией LIGO и были приписаны «колебаниям метрики пространства – времени» [14].

### 3. Экспериментальные подтверждения модифицированной ньютоновской динамики

Выражение (5) отличается от закона тяготения Ньютона  $\psi_g = - G \int (\rho/r) dV$ , полученного из уравнения Пуассона  $\nabla^2 \psi_g = - 4\pi G \rho$  для случая произвольного распределения плотности  $\rho$  в пространстве, тем, что непосредственно выражает силовое поле  $\mathbf{X}_g$  через поле плотности материи  $\nabla \rho$  и не предполагает существования отрицательных значений гравитационной энергии  $U_g$  и её потенциала  $\psi_g$ . Тем не менее оно не противоречит закону Ньютона в форме (2), согласно которому  $\mathbf{X}_g = - \nabla \psi_g = GM/r^2$ . Чтобы убедиться в этом, выразим гравитационный потенциал  $\psi_g$  в функции

локальной плотности вещества  $\rho$  и точки поля  $\mathbf{r}$  на поверхности сферы единичного объёма  $V_o$  с радиусом  $r_o$ , т. е.  $\psi_g = \psi_g(\rho, r_o)$ . В соответствии с (2) этот потенциал равен

$$\psi_g^H = (GV_o/r_o)\rho. \quad (7)$$

Отсюда ввиду постоянства  $(GV_o/r_o)$  следует, что

$$\mathbf{g} = -\nabla\psi_g/\rho = -(GV_o/r_o)\nabla\rho = \psi_g^H\nabla\rho/\rho, \quad (8)$$

т. е. ускорение  $\mathbf{g}$  в барионной материи связано с градиентом плотности тем же соотношением (6), в котором коэффициент пропорциональности  $\psi_g$  заменён на экспериментальную величину  $\psi_g^H$ .

Следовательно, закон Ньютона следует рассматривать как частный случай более общего закона гравитационного взаимодействия. Возникает закономерный вопрос, почему в таком случае закон Ньютона не отражает наличия биполярности сил тяготения? Ответ на этот кроется в существующем методе расчёта потенциальной энергии, которая в принципе принадлежит всей совокупности взаимодействующих тел и не может быть приписана ни одному из них. Тем не менее она традиционно приписывается «пробному» телу, как бы внесённому «в поле» другого, «полеобразующего» тела или их совокупности. При таком подходе потенциал поля  $\psi_g$  учитывает не результирующую сил тяготения со стороны всех тел исследуемой совокупности, а только парное взаимодействие двух из них с массами  $M$  и  $m$ . Вследствие этого ньютоновский гравитационный потенциал  $\psi_g^H$  оказывается на много порядков меньше, чем гравитационный потенциал  $\psi_g$ , найденный из принципа эквивалентности массы и энергии. Чтобы убедиться в этом, сопоставим напряжённость гравитационного поля  $X_g^H = \rho\mathbf{g}$  на поверхности Земли с массой  $M = 5,976 \cdot 10^{24}$  кг, радиусом  $r_o = 6,36 \cdot 10^6$  м и средней плотностью  $5,52 \cdot 10^3$  кг м<sup>-3</sup>, с аналогичной напряжённостью поля в небарионной (скрытой) материи  $X_g$  с тем же градиентом плотности  $\nabla\rho$ , оценив величину последнего приближённо отношением максимальной плотности ядра Земли  $\rho^{\max} = 9,5 \cdot 10^3$  кг м<sup>-3</sup> к её радиусу  $r_o$ , т. е.  $\nabla\rho \approx \rho^{\max}/r_o = 1,5 \cdot 10^{-3}$  кг м<sup>-2</sup>. При этом оказывается, что  $X_g$  в  $2,5 \cdot 10^8$  раз превышает ньютоновскую силу гравитации  $X_g^H \approx 53 \cdot 10^{-3}$  Н м<sup>-3</sup>. Если таким же образом оценить напряжённость  $X_g = c^2 \nabla\rho$  гравитационного поля, создаваемого ядром атома водорода с радиусом  $r_o = 5 \cdot 10^{-16}$  м и плотностью  $\rho \approx 3,2 \cdot 10^{18}$  кг м<sup>-3</sup>, то она окажется равной приближённо  $5,7 \cdot 10^{50}$  Н м<sup>-3</sup>, что вполне соответствует современным оценкам ядерных сил. Это свидетельствует о существовании в природе так называемой «сильной гравитации» [15] и вынуждает пересмотреть существующую точку зрения на гравитационное взаимодействие как на наиболее слабое из известных его видов. Напротив, становится очевидным, что все известные виды взаимодействия (включая и так называемое электромагнитное) являются частью гравитационного, отличающегося от него лишь возможностью его экранирования или выделения благодаря специфике их энергоносителей. Это освобождает от необходимости постулировать существование каких-либо специфических «ядерных сил» негравитационной природы.

Ещё одно не менее важное следствие законов гравитации (5) и (6) состоит в обнаружении существования гравитационного равновесия, соответствующего условию  $\nabla\psi_g, \nabla\rho = 0$ . Это равновесие может быть как устойчивым, так и неустойчивым в зависимости от знака вариации  $\delta X_g$  силы  $X_g$  при отклонении состояния рассматриваемой совокупности взаимодействующих тел или элементов объёма. При  $X_g = c^2 \nabla\rho(\mathbf{r})$  иметь вид:

$$\nabla^2\rho(\mathbf{r}) < 0, \text{ (устойчивое равновесие)} \quad (9)$$

$$\nabla^2\rho(\mathbf{r}) > 0 \text{ (неустойчивое равновесие)}. \quad (10)$$

Примером неустойчивого равновесия в гравитационном поле может служить явление перетекания вещества с одного небесного тела на другое, наблюдаемое в так называемых «тесных системах» парных звёзд или галактик (рисунок 3), устойчивого равновесия - уже упомянутое распределение галактик в виде концентрических колец (рисунок 1). При этом условие равновесия  $\nabla\rho(\mathbf{r}) = 0$  выполняется в пучностях

скоплений галактик, отклонение от которых в обе стороны влечёт за собой возникновение «возвращающей силы»  $X_g$ . По мере рождения новых звёзд и уплотнения скоплений градиент плотности в них  $\nabla\rho(r)$  возрастает вместе с силой «отталкивания», действующей на встречные склоны указанных пучностей, что приводит к их взаимному удалению, т. е. «расширению» наблюдаемой части Вселенной.



Рис. 3. Перетекание вещества с одной галактики на другую

Далее, альтернативный закон гравитации (5) устраняет противоречие небесной механики с наблюдаемым характером ротационных кривых спиральных галактик. Если учитывать пространственную неоднородность распределения небарионного и барионного вещества в спиральных галактиках, то их стационарное вращение галактик следует объяснять равенством сил тяготения  $\mathbf{g} = \psi_g \nabla\rho/\rho = c_g^2 \nabla\rho/\rho$  и сил центростремительного ускорения  $\mathbf{g}_c = v^2/r$ . Отсюда непосредственно следует соотношение:

$$(\nabla\rho/\rho)\mathbf{r} = -(v^2/c_g^2). \quad (11)$$

Полагая, что в рассматриваемом случае плотность  $\rho$  меняется только по радиусу галактики  $r$ , так что  $\nabla\rho = d\rho/dr$ , и  $c_g = c$ , и обозначая отношение  $v/c$  через  $\beta$ , найдём закон распределения её плотности  $\rho$ :

$$d\rho/dr = -(\rho/r)\beta^2. \quad (12)$$

Согласно этому выражению, плотность материи галактик убывает к периферии тем интенсивнее, чем быстрее она вращается. Иначе обстоит дело с позиций небесной механики Ньютона, где  $c = \infty$  и  $\beta = 0$ , а плотность галактики  $\rho$  вообще не меняется по радиусу, т. е. галактика вращается как твёрдое тело. Поскольку это с очевидностью не соответствует реалиям, альтернативный закон гравитации (5,6) следует рассматривать как его уточнение для случая неоднородных сплошных сред. Примечательно при этом, что этот закон позволяет в принципе находить по наблюдаемому распределению плотности  $\rho$  видимого вещества галактик по её радиусу  $r$  относительную скорость её вращения  $\beta$ , а по ней – рассчитывать любую из величин ( $v$  или  $c_g$ ) при известной другой. Таким образом, модифицированный закон Ньютона в принципе поддаётся верификации. Вместе с тем вытекающая из этого закона зависимость плотности вещества спиральных галактик от расстояния до их центра с несомненностью указывает на неравномерность распределения плотности материи в пространстве. Это вполне объясняет замедление космических зондов «Пионер» и «Вояджер-1 и 2» при их переходе за пояс Койпера, т.е. в область Вселенной с более равномерным распределением плотности космической среды.

Таким образом, предложенная модификация закона тяготения Ньютона имеет ряд подтверждений, не требуя при этом каких-либо физически не обоснованных гипотез или постулатов. Это открывает прямой путь к решению целого ряда проблем современной физики и естествознания.

### Список литературы

1. Дорфман Я.Г. Всемирная история физики. С древнейших времён до конца XVIII века. Изд. 3-е. М.: ЛКИ, 2010.

2. *Newton I.* Mathematical Principles of Natural Philosophy, 1686; *Ньютон И.* Математические начала натуральной философии (Пер. с лат. с примеч. А.Н. Крылова. М.: Наука, 1989).
  3. *Le Sage G.-L.* Letter à une académicien de Dijon." *Mercure de France*: 1756, 153-171.
  4. *Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М.* Фейнмановские лекции по физике. Т. 5. М.: Наука, 1977.
  5. *Эткин В.А.* Энергодинамика (синтез теорий переноса и преобразования энергии). С-П.: «Наука», 2008, 409 с. *Etkin V.* *Energodynamics (Thermodynamic Fundamentals of Synergetics)*. New York, 2011.
  6. *Milgrom M.* A modification of the Newtonian dynamics as a possible alternative to the hidden mass hypothesis // *Astrophys. J.* 270. (1983) P. 365, 371, 384].
  7. *Clowe D. et al.* A Direct Empirical Proof of the Existence of Dark Matter. // *The Astrophysical Journal Letters.* 648(2). 2006.109–113.
  8. *Эйнштейн А.* Работы по теории относительности. М.: Амфора, 2008.
  9. *Hawking S W* *Phys. Rev. D* 37 904, 1988.
  10. *Perlmutter S.* Nobel Lecture: Measuring the acceleration of the cosmic expansion using supernovae. // *Rev. Mod. Phys.* 84, 2012. 1127—1149.
  11. SDSS-III: Massive Spectroscopic Surveys of the Distant Universe, the Milky Way Galaxy, and Extra-Solar Planetary Systems, 2008.29–40.
  12. *Ade P.A.R. et al.* Planck 2013 results. I. Overview of products and scientific results. // *Astronomy and Astrophysics*, 1303: 5062.
  13. *Etkin V.* Gravitational repulsive forces and evolution of universe. // *Journal of Applied Physics (IOSR-JAP)*, 8(6), 2016. 43-49 (DOI: 10.9790/4861-08040XXXXX).
  14. The Nobel Prize in Physics 2017. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www.nobelprize.org/](http://www.nobelprize.org/) (дата обращения: 05.06.2020).
  15. *Sivaram C. and Sinha K.P.* Strong gravity, black holes, and hadrons. // *Physical Review D.* 16 (6), 1977. 1975-1978.
-