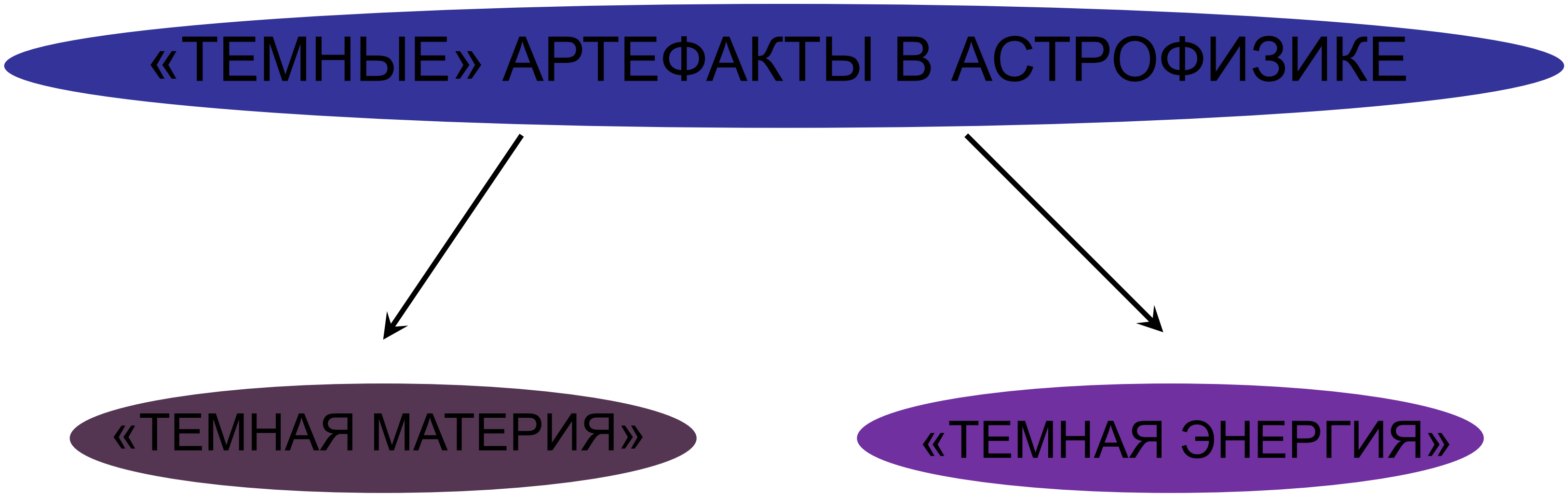
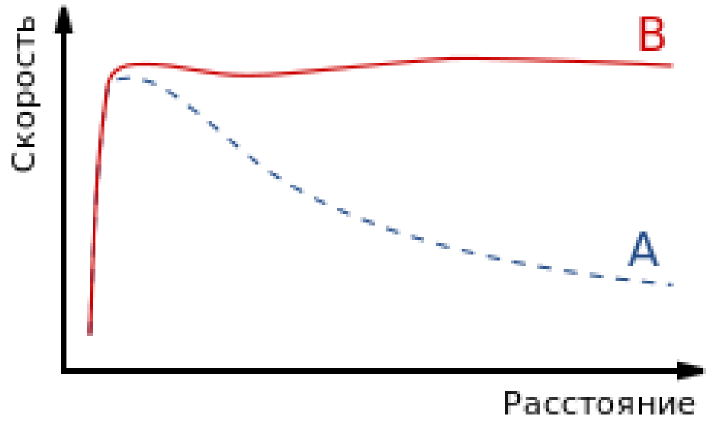
О ВЛИЯНИИ ФРАКТАЛОПОДОБНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЩЕСТВА ВО ВСЕЛЕННОЙ НА ДИНАМИКУ ЕЕ ОБЪЕКТОВ

О.Н. Хатунцева
г. Королев,
ПАО «РКК «Энергия»

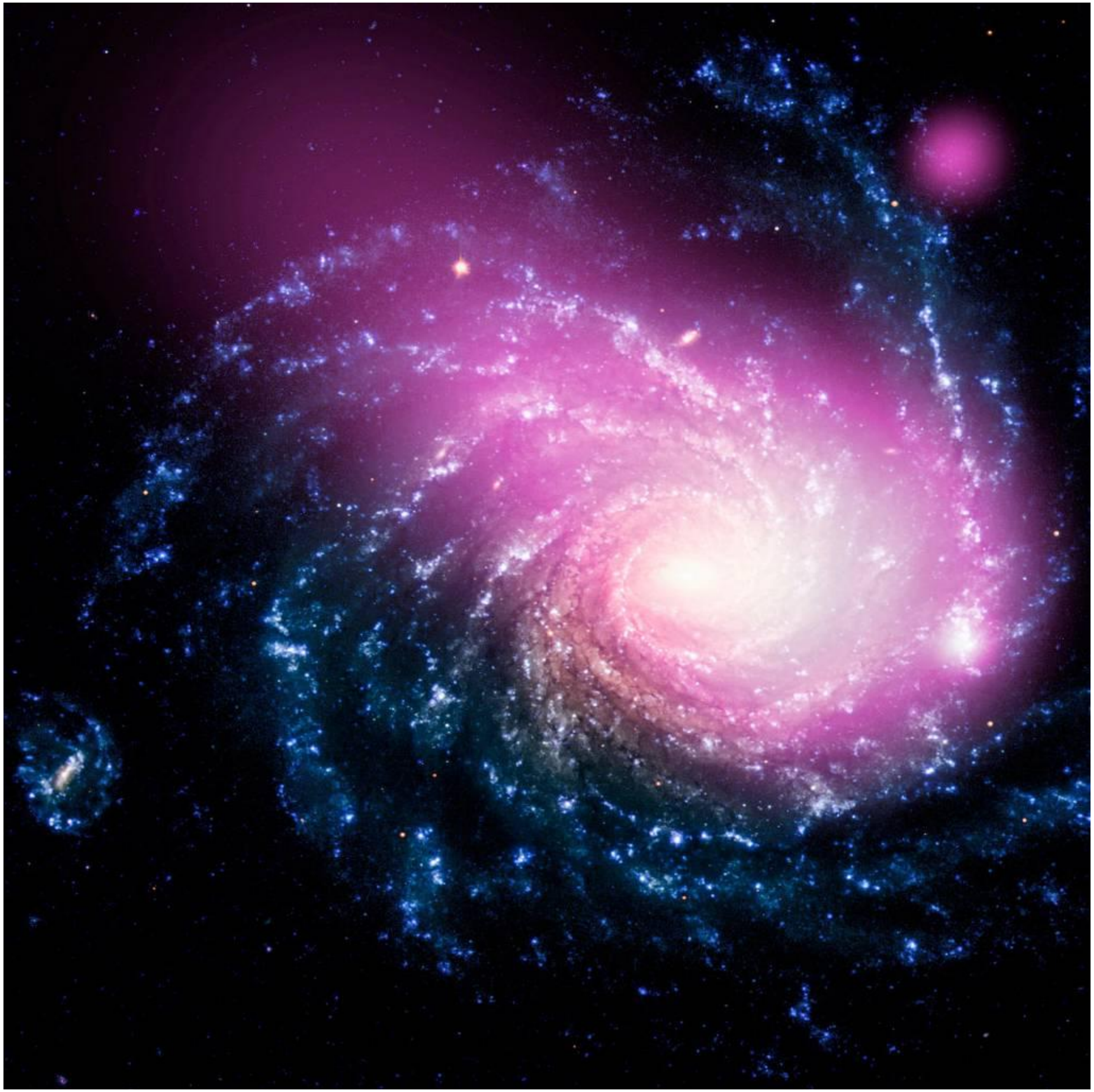

«ТЕМНЫЕ» АРТЕФАКТЫ В АСТРОФИЗИКЕ
«ТЕМНАЯ МАТЕРИЯ»
«ТЕМНАЯ ЭНЕРГИЯ»

ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОНЯТИЯ «ТЕМНАЯ МАТЕРИЯ»

Астрофизик Фриц Цвикки, а вслед за ним астрономы Вера Рубин и Кент Форд, исследуя некоторые спиральные галактики, обнаружили, что скорость звезд на их периферии не уменьшается с увеличением радиуса, а остается практически постоянной



Кривая вращения галактик: (А) ожидаемая, (В) – реальная
https://ru.wikipedia.org/wiki/Темная, GalacticRotation2.svg: user: PhilHibbs



ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОНЯТИЯ «ТЕМНАЯ ЭНЕРГИЯ»

В 20-х годах XX века Эдвин Хаббл обнаружил что галактики «разбегаются».

В 90-х годах XX века открыли эффект ускоренного «разбегания» тел, находящихся на значительных расстояниях друг от друга, со скоростью, увеличивающейся с ростом расстояния между ними:

тела, находящиеся на расстояниях больших $\sim 1{,}5 \div 2$ Мпк ***ускоренно*** увеличивают расстояние между собой.

Исследование систем больших и очень больших (сравнимых с размерами видимой части Вселенной) размеров, в современной астрофизике осуществляется за счет **совместного использования методов оптического исследования звезд («стандартных свечей») и детектирования красного смещения.**

Метод «стандартных свечей» заключается в определении расстояния до галактик по изменению яркости эталонных объектов с известной мощностью излучения. В качестве таких эталонных объектов - «стандартных свечей» - используются либо цефеиды — пульсирующие переменные звезды, светимость которых тем больше, чем больше период изменения их блеска, либо сверхновые звезды типа Ia. В данном случае измеряют яркость объекта и используют связь между яркостью и светимостью для определения расстояния.

Детектирование красного смещения от исследуемого объекта позволяет вычислить скорость удаления объекта от Земли, поскольку длина волны света увеличивается при увеличении скорости удаляющегося объекта (эффект Доплера). После этого используют закон Хаббла и определяют расстояние до объекта.

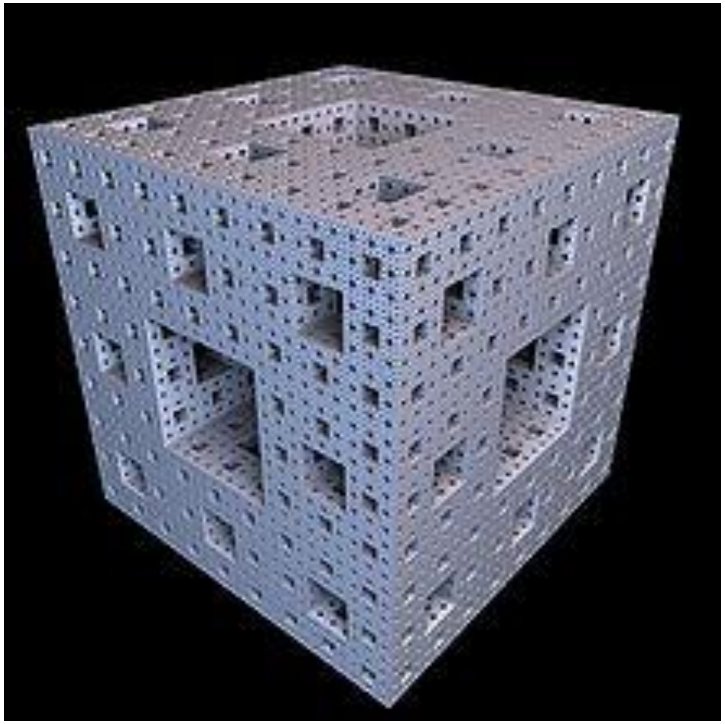
Основной концепцией в космологии является ***однородность и изотропность*** распределения вещества во Вселенной на больших масштабах.

В последнее время появилось много публикаций, подтверждающий ***фрактальный*** характер распределения вещества во Вселенной в широком диапазон масштабов.

1. N. Sanchez, N. Anez, E.J. Alfaro, M.C. Odekon, Astrophys. J. 720. (2010).
2. A.K. Mittal, T.R. Seshadri, Resonance. 7, 2 (2002).
3. V. Marra, E.W. Kolb, S. Matarrese, A. Riotto, arXiv:0708.3622 [astro-ph] (2007).
4. N.I. Libeskind, Y. Hoffman, J. Forero-Romero, S. Gottlöber, A. Knebe, M. Steinmetz, A. Klypin MNRAS (2012).
5. Pfenniger, Combes, A&A (1993).
6. S. Walch, A.P. Whitworth, T.G. Bisbas, R. Wünsch, D.A. Hubber, MNRAS (2013).

Пример фрактальной геометрии

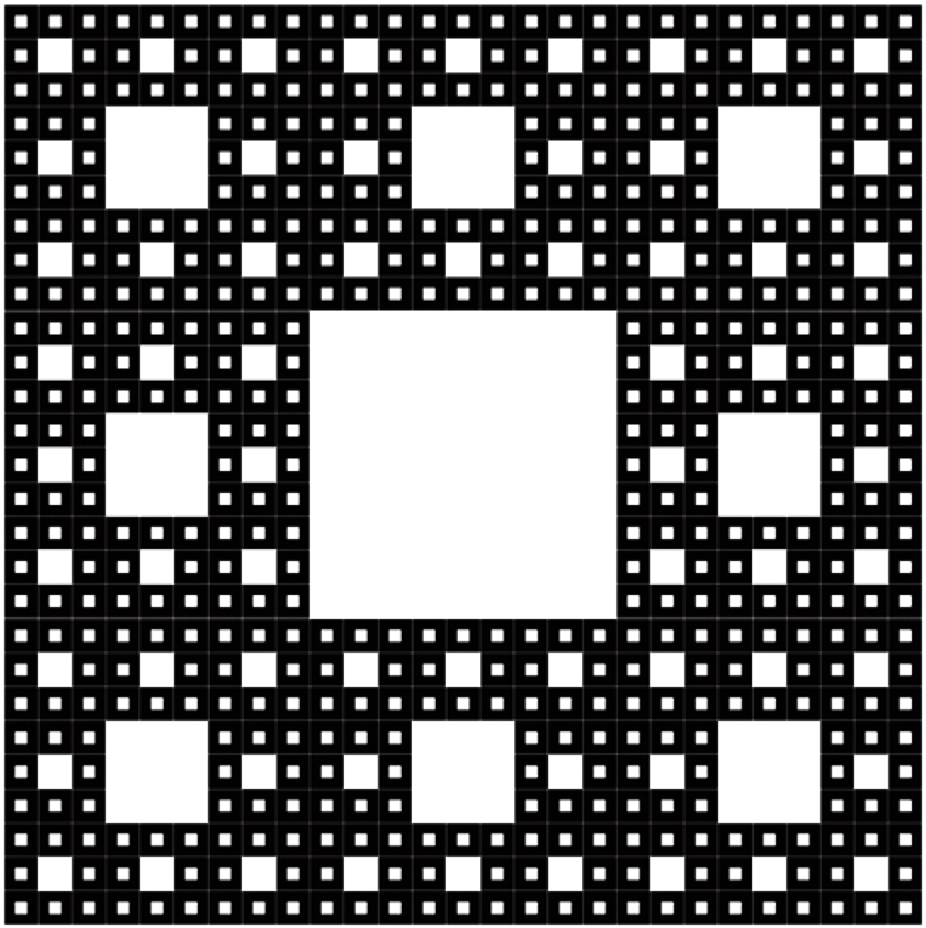
Фрактал «Губка Менгера» на шестой итерации. Автор: Niabot - File:Menger-Schwamm-6-iterations.png, CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=7933997



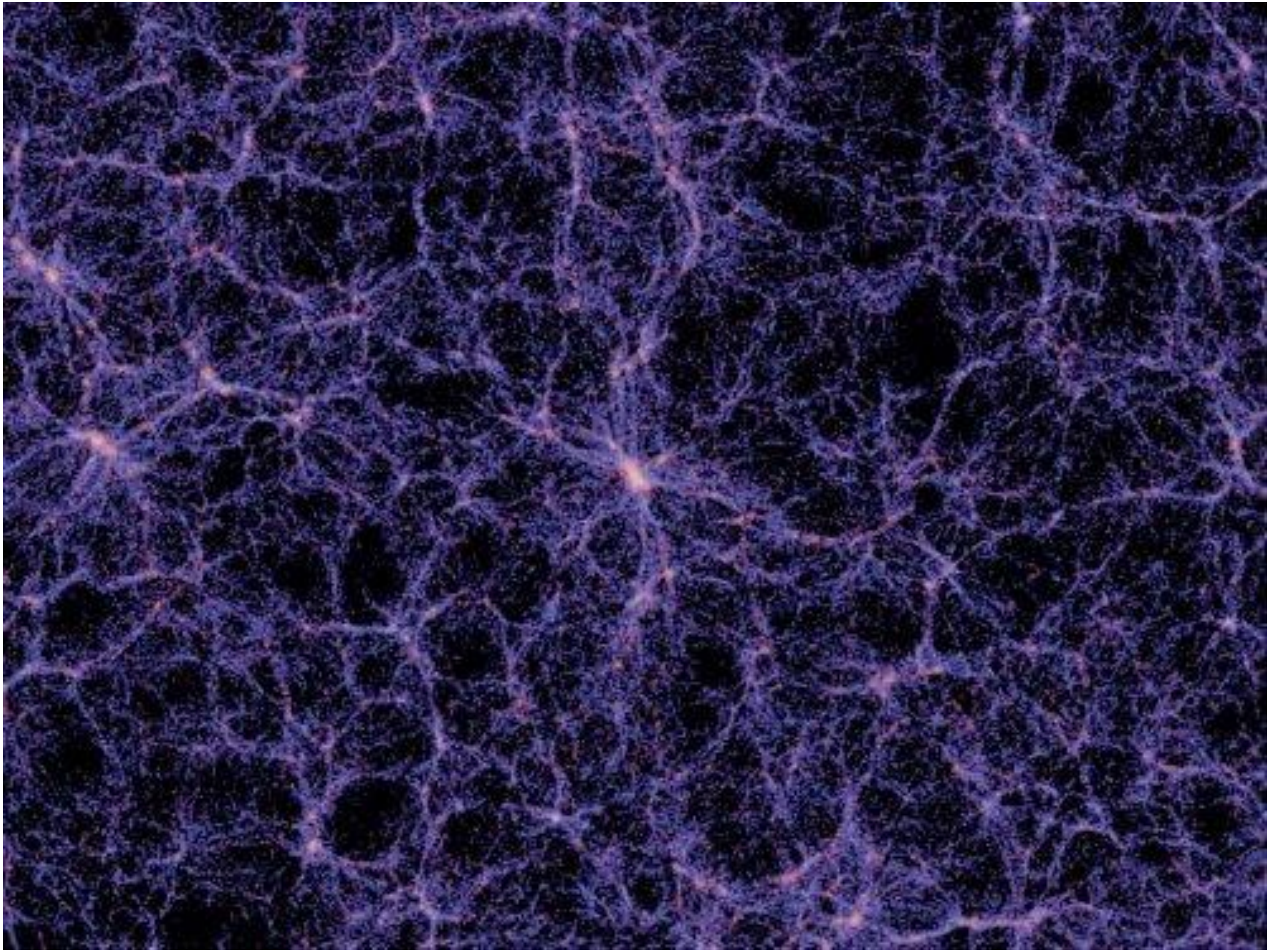
$$D = \frac{\ln N}{\ln r^{-1}} = \frac{\ln 20}{\ln 3} \approx 2,73$$

Пример фрактальной геометрии

Ковер Серпинского



$$D = \frac{\ln N}{\ln r^{-1}} = \frac{\ln 8}{\ln 3} \approx 1{,}89$$



Метод описания физического процесса во фрактальном пространстве с учетом «масштабной» переменной

$$f = f\left(t, \vec{x}; \mu(\delta)\right)$$

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \frac{1}{t - t_{in}} \frac{\partial f}{\partial \mu} + \sum_i \dot{x}_i \frac{\partial f}{\partial x_i} = \hat{A} f$$

$$\mu = \mu(\delta) = \delta^{-\beta} \qquad \beta = \frac{1 - r^D}{1 - r} \qquad t > t_{in}$$

Литература

- *О.Н. Хатунцева* Особенности описания физических процессов во фрактальных системах // Сибирский журнал вычислительной математики. Т13, N1, стр.101-109 (2010).

- *О.Н. Хатунцева* Метод описания процессов теплопроводности во фрактальных системах с использованием масштабной переменной // Сибирский журнал вычислительной математики. N1, стр. 95-105 (2015).

Второй закон Ньютона для j-го элемента системы в пространстве с фрактальной геометрией

$$\frac{\partial \vec{V}_j}{\partial t} + \frac{1}{t - t_{in}} \frac{\partial \vec{V}_j}{\partial \mu} = G \sum_{i \neq j} m_i \frac{\vec{r}_{ij}}{\left|\vec{r}_{ij}\right|^3}, \qquad \vec{r}_{ij}\left(t, \mu(\delta)\right) = \vec{R}_i - \vec{R}_j$$

$$M = \sum_{i \neq j} m_i, \qquad \sum_{i \neq j} m_i \frac{\vec{r}_{ij}}{\left|\vec{r}_{ij}\right|^3} \Big/ \sum_{i \neq j} m_i = \left\langle \frac{\vec{r}_j}{\left|\vec{r}_j\right|^3} \right\rangle$$

$$\frac{\partial \vec{V}_j}{\partial t} + \frac{1}{t - t_{in}} \frac{\partial \vec{V}_j}{\partial \mu} = GM \left\langle \frac{\vec{r}_j}{\left|\vec{r}_j\right|^3} \right\rangle$$

Объяснение эффекта ускоренного «разбегания» тел, находящихся на больших расстояниях друг от друга в рамках фрактальной геометрии пространства

$$\left|\left\langle \frac{\vec{r}_j}{\left|\vec{r}_j\right|^3} \right\rangle\right| \le \int_{\delta_0}^{1} \frac{\varphi(\delta)}{\tilde{R}(\delta)^2}\, d\delta,$$

$$\varphi(\delta) = G(R,\delta)/V(R) = \frac{\beta+1}{1-\delta_0^{\beta+1}}\delta^{\beta}$$

$$\tilde{R}(\delta)^2 = R^2 + R^2 r^2 \delta^2$$

$$0 < r \le 1/2$$

$$\left|\left\langle \frac{\vec{r}_j}{\left|\vec{r}_j\right|^3} \right\rangle\right| \le \frac{1}{R^2}\,\frac{\beta+1}{1-\delta_0^{\beta+1}} \int_{\delta_0}^{1} \frac{\delta^{\beta}}{1+r^2\delta^2}\, d\delta$$

$$r \ll 1 \quad \Rightarrow \quad \beta = \frac{1-r^D}{1-r} \approx 1$$

$$\left|\left\langle \frac{\vec{r}_j}{\left|\vec{r}_j\right|^3} \right\rangle\right| \le \frac{\ln\left(1+r^2\right)-\ln\left(1+r^2\delta_0^2\right)}{R^2 r^2\left(1-\delta_0^2\right)} \approx \frac{1}{R^2}$$

$$M = b_D \rho_D R^D$$

$$\frac{\partial \vec{V}_j}{\partial t} + \frac{1}{t-t_{in}} \frac{\partial \vec{V}_j}{\partial \mu} = GM \left\langle \frac{\vec{r}_j}{\left|\vec{r}_j\right|^3} \right\rangle \sim R^{D-2} \underset{\substack{D<2 \\ R>>1}}{\longrightarrow} 0$$

$\Downarrow$

$$\frac{\partial \vec{V}_j}{\partial t} + \frac{1}{t - t_{in}} \frac{\partial \vec{V}_j}{\partial \mu} = 0$$

$$\tau = \ln\left(\left(t - t_{in}\right)/\left(t_1 - t_{in}\right)\right)$$

$$\frac{\partial \vec{V}_j}{\partial \tau} + \frac{\partial \vec{V}_j}{\partial \mu} = 0$$

$$\vec{V}_j = \vec{k}_j T(\tau) F(\mu), \qquad \vec{k}_j \uparrow\uparrow \vec{V}_j$$

$$\vec{V}_j = \vec{V}_{j(1)}\Big|_{t=t_1} \left(\left(t - t_{in}\right)/\left(t_1 - t_{in}\right)\right)^{\kappa} e^{\kappa\left(1 - 1/\delta^{\beta}\right)}$$

$$\vec{R}_j\left(t,\mu(\delta)\right)$$

$$\frac{\partial\vec{R}_j}{\partial t}+\frac{1}{t-t_{in}}\frac{\partial\vec{R}_j}{\partial\mu}=\vec{V}_j=\vec{V}_{j(1)}\left(\frac{t-t_{in}}{t_1-t_{in}}\right)^{\kappa}e^{\kappa(1-\mu)}$$

$$\vec{R}_j=\vec{R}_{j(1)}\Big|_{t=t_1}\left((t-t_{in})/(t_1-t_{in})\right)^{\kappa+1}e^{\kappa\left(1-1/\delta^{\beta}\right)}$$

$$\left\langle\vec{R}_j\vec{R}_i\right\rangle=\left\langle\vec{R}_{j(1)}\Big|_{t=t_1}\vec{R}_{i(1)}\Big|_{t=t_1}\right\rangle\left((t-t_{in})/(t_1-t_{in})\right)^{2(\kappa+1)}e^{2\kappa\left(1-1/\delta^{\beta}\right)}$$

$$\left\langle R^2\right\rangle^{1/2}\sim\left((t-t_{in})/(t_1-t_{in})\right)^{(\kappa+1)}e^{\kappa\left(1-1/\delta^{\beta}\right)}$$

$$\partial\left\langle R^2\right\rangle^{1/2}\Big/\partial t \sim \left(\left(t-t_{in}\right)/\left(t_1-t_{in}\right)\right)^{\kappa} e^{\kappa\left(1-1/\delta^{\beta}\right)}$$

$$\left\langle R^2\right\rangle^{1/2} \sim \left(\left(t-t_{in}\right)/\left(t_1-t_{in}\right)\right)^{(\kappa+1)} e^{\kappa\left(1-1/\delta^{\beta}\right)}$$

$$\partial\left\langle R^2\right\rangle^{1/2}\Big/\partial t \sim \left(\left\langle R^2\right\rangle^{1/2} e^{1-1/\delta^{\beta}}\right)^{\kappa/(\kappa+1)} = ?$$

При изменении расстояния между телами и, следовательно, при изменении (увеличения или уменьшения) длины «единичного» масштаба, полученные уравнения также должны выполняться, следовательно,

$$\partial l/\partial t \sim -l^{2-\kappa/(\kappa+1)} e^{\kappa\left(1-1/\delta^{\beta}\right)/(\kappa+1)}, \qquad l=\left\langle R^2\right\rangle^{-1/2}$$

$$\kappa/(\kappa+1)\rightarrow 1$$

$$\partial\left\langle R^2\right\rangle^{1/2} \Big/ \partial t \sim \left\langle R^2\right\rangle^{1/2} e^{\left(1-1/\delta^{\beta}\right)}$$

На каждом фиксированном масштабе рассмотрения системы δ, скорость изменения расстояния между телами, далеко удаленными друг от друга, растет с ростом расстояния между ними по линейному закону.

Однако, при исследовании системы на все б***о***льших расстояниях увеличивается и масштаб ее рассмотрения, поэтому скорость изменения расстояния между телами будет увеличиваться с ростом расстояния между ними.

Этим можно объяснить ***ускоренное*** «разбегание» тел, находящихся на значительных расстояниях друг от друга, обнаруженное в конце 1990-х годов

В некотором смысле, процесс ускоренного «разбегания» тел, находящихся на значительных расстояниях друг от друга в пространстве с фрактальным характером распределения вещества можно сравнить с диффузией частиц при броуновском движении, в результате которого, среднее расстояние между частицами с течением времени также увеличивается.

Объяснение эффекта аномально больших скоростей звезд на периферии галактик в рамках фрактальной геометрии пространства

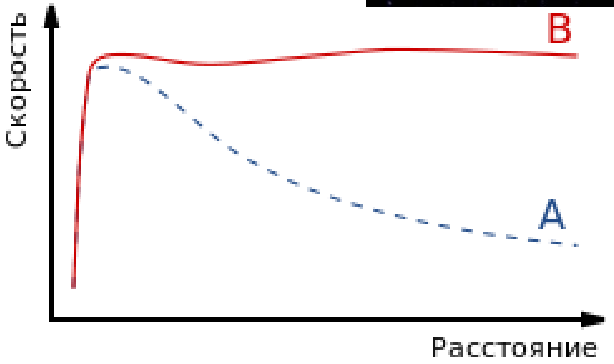
Остановимся на случае, когда расстояние между наблюдателем и наблюдаемым j-м телом не так велико, чтобы можно было говорить о статистической компенсации сил, действующих на тело со стороны окружающих его тел.

$$\frac{\partial \vec{V}_j}{\partial t} + \frac{1}{t - t_{in}} \frac{\partial \vec{V}_j}{\partial \mu} = G \sum_{i \neq j} m_i \frac{\vec{r}_{ij}}{\left|\vec{r}_{ij}\right|^3},$$

$$\tau = \ln\left(\left(t - t_{in}\right) / \left(t_0 - t_{in}\right)\right)$$

$$GM \left\langle \vec{r}_j \middle/ \left|\vec{r}_j\right|^3 \right\rangle = \vec{K}_j, \quad \left|\vec{K}_j\right| = const$$

$$\frac{\partial \vec{V}_j}{\partial \tau} + \frac{\partial \vec{V}_j}{\partial \mu} = \vec{K}_j \left(t_0 - t_{in}\right) e^{\tau}$$



$$\vec{V}_j = \vec{k}_j (t - t_{in}) \left(\left| \vec{K}_j \right| + \left(B_{j(1)} - \left| \vec{K}_j \right| \right) e^{1 - 1/\delta^{\beta}} \right) + \vec{V}_j \Big|_{t=t_0}$$

$$\dot{\vec{V}}_j = \vec{k}_j \left(\left| \vec{K}_j \right| + \left(B_{j(1)} - \left| \vec{K}_j \right| \right) e^{1 - 1/\delta^{\beta}} \right)$$

$$GM \left\langle \vec{r}_j \Big/ \left| \vec{r}_j \right|^3 \right\rangle = \vec{K}_j = const, \quad B_{j(1)} = \left(\dot{\vec{V}}_{j(1)} \Big|_{t=t_1} \vec{k}_j \right), \ \vec{k}_j = \frac{\vec{K}_j}{\left| \vec{K}_j \right|} = \frac{\left\langle \vec{r}_j \Big/ \left| \vec{r}_j \right|^3 \right\rangle}{\left| \left\langle \vec{r}_j \Big/ \left| \vec{r}_j \right|^3 \right\rangle \right|}$$

1. $\delta \to 1$ $\Rightarrow$ $$\dot{\vec{V}}_{j(1)} = \vec{k}_j \left(\vec{k}_j \dot{\vec{V}}_{j(1)} \Big|_{t=t_1} \right) = \dot{\vec{V}}_{j(1)} \Big|_{t=t_1}$$

Описывает движение тела вместе со всей галактикой

2. $\delta \to 0$ $\Rightarrow$ $$\dot{\vec{V}}_{j(0)} \approx \vec{k}_j \left| \vec{K}_j \right| = GM \left\langle \vec{r}_j \Big/ \left| \vec{r}_j \right|^3 \right\rangle$$

Описывает движение тела по круговой замкнутой траектории

В соответствии с законами Ньютона и теоремой Гаусса для круговой замкнутой траектории, можно записать:

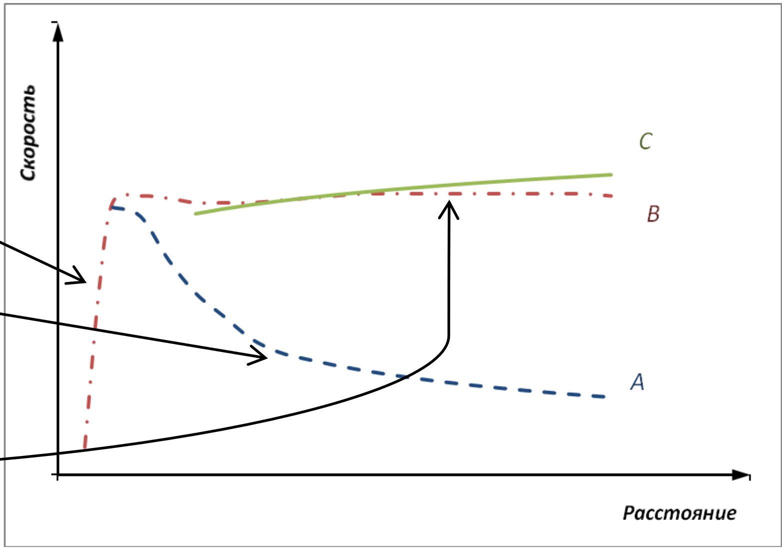
$$GM/\tilde{R}_j^2 = V_{j(0)}^2/\tilde{R}_j \qquad M = b_D \rho_D \tilde{R}_j^D$$

$$V_{j(0)} = \sqrt{GM/\tilde{R}_j} = \sqrt{G b_D \rho_D} \cdot \tilde{R}_j^{(D-1)/2}$$

1. $D=3 \Rightarrow V_{j(0)} \sim \tilde{R}_j$

2. $D=0 \Rightarrow V_{j(0)} \sim 1/\sqrt{\tilde{R}_j}$

3. $D \approx 1{,}2 \Rightarrow V_{j(0)} \sim \tilde{R}_j^{0,1}$



Выводы:

Полученные результаты говорят о возможности описания видимых эффектов происходящих на разных масштабах рассмотрения Вселенной лишь на основе учета особенностей геометрии пространства, связанных с ее фрактальной структурой, без привлечения дополнительных «темных» артефактов.

Большое спасибо за Ваше внимание!