

ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

КАФЕДРА АСТРОФИЗИКИ

Ахмедов Георгий Рафикович

**ТЕМНАЯ ЭНЕРГИЯ И СВЕРХСКОПЛЕНИЯ В  
НАБЛЮДАЕМОЙ ВСЕЛЕННОЙ**

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Допущен к защите.

Заведующий кафедрой астрофизики:  
д.ф.-м.н., профессор Гаген-Торн В.А.

\_\_\_\_\_  
Научный руководитель:

д.ф.-м.н., профессор Нагирнер Д.И.

\_\_\_\_\_  
Консультант:

д.ф.-м.н., профессор Чернин А.Д.

\_\_\_\_\_  
Рецензент:

д.ф.-м.н., профессор Иванчик А.В.

\_\_\_\_\_  
Санкт-Петербург, 2016

SAINT-PETERSBURG  
STATE UNIVERSITY

DEPARTMENT OF ASTROPHYSICS

Akhmedov Georgy

**DARK ENERGY AND SUPERCLUSTERS IN OBSERVED  
UNIVERSE**

GRADUATION THESIS

Admitted for defence.

Head of Department:

Doctor of Sciences, Professor V.A. Hagen-Thorn

---

Scientific supervisor:

Doctor of Sciences, Professor D.I. Nagirner

---

Scientific consultant:

Doctor of Sciences, Professor A.D. Chernin

---

Reviewer:

Doctor of Sciences, Professor A.V. Ivanchik

---

Saint-Petersburg, 2016

# Содержание

<b>1</b>	<b>Введение</b>	<b>2</b>
1.1	Общие определения . . . . .	2
1.2	Местная группа и Местный поток . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Описание использованного метода</b>	<b>7</b>
2.1	Разделение выборки на членов группы и поток . . . . .	7
2.2	Локальный коэффициент Хаббла . . . . .	8
2.3	Локальная плотность темной энергии . . . . .	9
2.4	Перенос начала координат к центру Местной группы . . . . .	9
<b>3</b>	<b>Диаграммы «скорость-расстояние»</b>	<b>11</b>
3.1	Ближайшая Вселенная (1,5 - 12 Мпк) . . . . .	11
3.2	Средняя Дистанция (12 - 200 Мпк) . . . . .	15
3.3	Дальняя Вселенная (200 - 520 Мпк) . . . . .	18
<b>4</b>	<b>Заключение</b>	<b>22</b>

# 1 Введение

## 1.1 Общие определения

Темная энергия - невидимая, идеально однородная космическая среда, заполняющая всё пространство с постоянной плотностью, физическая природа и структура которой неизвестны. Открыта в конце 1990-х годов с помощью космического телескопа «Хаббл» (HTS - Hubble Space Telescope), по наблюдениям сверхновых типа 1a [1], [2]. Она характеризуется тем, что создаёт эффект антитяготения. Это явление хорошо описывается общей теорией относительности (ОТО), созданной А. Эйнштейном почти 100 лет назад [3].

В приближении ньютоновской механики, ОТО утверждает, что помимо всемирного закона тяготения Ньютона, подчиняющегося закону обратных квадратов:

$$F_N = -\frac{GMm}{R^2} \quad (1)$$

во Вселенной существует сила антитяготения с линейной зависимостью силы от расстояния:

$$F_E = +G \left( \frac{4\pi}{3} \right) 2\rho_\Lambda mR \quad (2)$$

Здесь  $G$  - гравитационная постоянная, а  $\rho_\Lambda$  - постоянная величина, являющаяся плотностью темной энергии. Эти силы противодействуют друг другу, следовательно имеют противоположные знаки. Формула (1) описывает движение «пробной» частицы малой массы  $m$  в поле тяжелой сферической массы  $M$ ,  $R$  - расстояние от частицы до центра массы. Формула (2) описывает силу отталкивания между двумя частицами находящимися на расстоянии  $R$ . Не трудно заметить, что в отличие от  $F_N$ , которая создается массами самих тел,  $F_E$  от них не зависит и создается темной энергией. А

так как  $F_E$  растет линейно с расстоянием, а  $F_N$  убывает, начиная с некоторого момента  $F_E$  станет больше  $F_N$ .

Плотность темной  $\rho_\Lambda$  энергии выражается через космологическую постоянную Эйнштейна -  $\Lambda$  [3]:  $\rho_\Lambda = (c^2\Lambda)/(8\pi G)$ . Массовая доля темной энергии измерена [4] с точностью до нескольких процентов  $\Omega_\Lambda = (0.685 \pm 0.013)$ . Из неё легко получить плотность темной энергии  $\rho_\Lambda$ , домножив  $\Omega_\Lambda$  на критическую плотность  $\rho_{crit} = 0.961 \times 10^{-29}$  г/см<sup>3</sup>;  $\rho_\Lambda = \Omega_\Lambda \rho_{crit} = 0.663 \times 10^{-29}$  г/см<sup>3</sup>. Темная энергия доминирует по плотности в наблюдаемой Вселенной, ее доля составляет  $\approx 70\%$  от полной. Представление об антигравитирующей среде с постоянной плотностью стало общепринятым и лежит в основе современной стандартной космологической модели ( $\Lambda$ CDM - модель, CDM - аббр. от англ. Cold Dark Matter).

Одним из наиболее важных следствий открытия темной энергии, является доказательство ускоренного расширения Вселенной. Экспериментально расширение Вселенной проявляется в виде выполнения закона Хаббла в глобальном масштабе (здесь и далее глобальный масштаб - расстояния порядка 1 Гпк). Закон Хаббла устанавливает зависимость между расстоянием до галактики  $D$  и ее лучевой скоростью  $V$ , через коэффициент пропорциональности  $H_0$  - постоянную Хаббла. Эта величина определяет характерное время разбегания галактик. По последним оценкам сделанным космической обсерваторией Планк (Planck space observatory) [4] величина  $H_0 = (67.31 \pm 0.96)$  км/с/Мпк.

Вскоре после открытия темной энергии было выдвинуто предположение о том, что создаваемое ей антитяготение способно проявить себя не только у края наблюдаемого мира, но и в ближней Вселенной [5], [6].

## 1.2 Местная группа и Местный поток

Глобальные космологические объёмы с поперечником в  $\sim 300$  Мпк и более однородны по распределению галактик - это масштабы, в которых применима стандартная  $\Lambda$ CDM - модель. Локальная Вселенная устроена иначе, галактики в ней распределены по ближнему объёму крайне неоднородно. Подавляющее их число собранно в уплотнения, называемые группами (с размерами  $\sim 1$  Мпк) и скоплениями ( $\sim 10$  Мпк), тогда как в пространстве между этими уплотнениями галактик очень мало.

Прежде всего рассмотрим Местную группу галактик. Её образуют галактики Млечный путь и галактика в Андромеде (M31) со своими спутниками и другими, менее массивными, членами.

Местная группа - гравитационно связанная квазистационарная система с полной массой материи (барионной и темной)  $M = (2 \div 3) \times 10^{12} M_{\odot}$ , где  $M_{\odot} = 2 \times 10^{33}$  г - масса Солнца. Радиус этой группы  $\sim 1$  Мпк. Вне группы на расстоянии 1-3 Мпк от её центра наблюдаются карликовые галактики, все они, без исключения, движутся в направлении от группы, причём их лучевые скорости тем больше, чем больше расстояние от её центра. Это местный поток разбегания галактик.

Каждая из галактик группы и потока детально изучена по наблюдениям с помощью HST и других крупных инструментов [7]. С хорошей точностью до 10% - измерены расстояния до галактик Местной группы и потока вокруг нее, скорости галактик измерены с точностью не хуже 5-10 км/с. Результаты наблюдений представлены на диаграмме скорость - расстояние (рис. 1), воспроизведенной из работы И. Д. Караченцева и др. [8] по наблюдательным данным полученным из каталога *Catalog & Atlas of the LV galaxies* [8] составленного И. Д. Караченцевым и его командой.

При построении данной диаграммы лучевые скорости были исправлены за движение Солнца относительно центра Местной группы, а расстояния,

измеренные до центра нашей галактики, пересчитаны на расстояния до центра Местной группы. Использовались данные по 247 галактикам, расстояния до которых получены преимущественно высокоточными методами. В ней рассматривается поле скоростей  $V_{LG} < 500$  км/с на расстоянии 8 Мпк. В целях сохранения точности, члены Местной группы убраны с диаграммы, а начало потока принято равным 1.5 Мпк. Линия регрессии  $V_{LG} = HD_{LG}$ , проведенная через начало координат, соответствует локальному значению «постоянной» Хаббла  $H_0 = (61.3 \pm 6.4)$  км/с/Мпк.

Эта оценка, в пределах погрешности измерения скорости и расстояния, хорошо коррелирует с значением глобальной постоянной Хаббла.

Возникает справедливый вопрос: А повторится ли картина на большем масштабе? В данной работе будут представлены диаграммы локальных потоков с полем скоростей до 30000 км/с на расстоянии до 520 Мпк и результаты исследования локальных значений коэффициента Хаббла, полученные на основе этих диаграмм. Будет показано, что в пределах погрешности измерений, локальные коэффициенты Хаббла можно считать равными глобальной постоянной Хаббла.

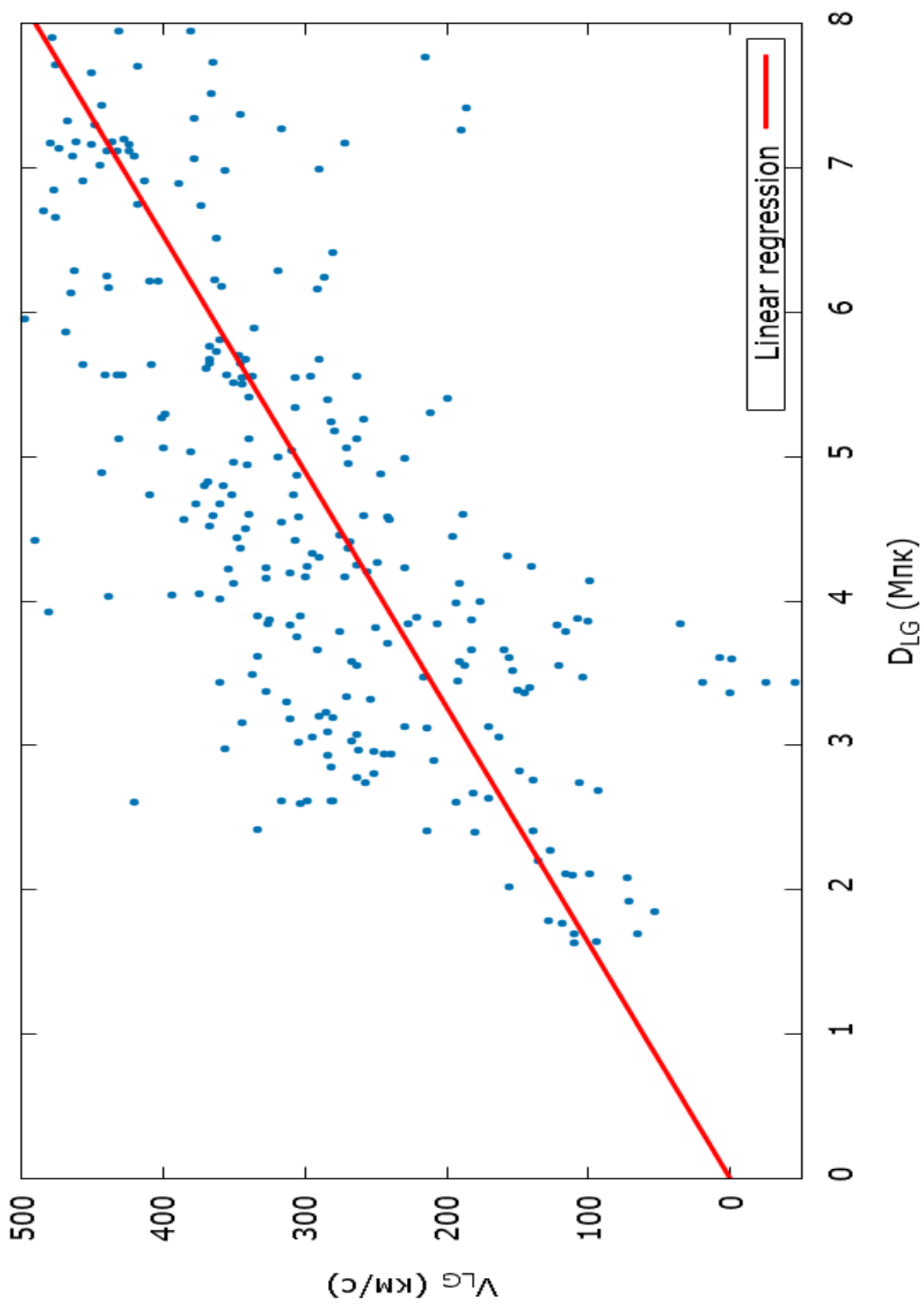


Рис. 1:  $V_{LG} < 500$  км/с,  $D < 8$  Мпк



## 2 Описание использованного метода

### 2.1 Разделение выборки на членов группы и поток

Группа (или сверхскопление) и ее поток погружены в космический фон темной энергии с локальной постоянной плотностью  $\rho_X$ . Эту величину, не считаем заведомо равной глобальной плотности  $\rho_\Lambda$ , если это специально не оговорено. На каждую из частиц потока действует ньютоновская сила притяжения к группе, определяемая уравнением (1), и эйнштейновская сила отталкивания, представленная уравнением (2) в котором вместо  $\rho_\Lambda$  теперь будет стоять  $\rho_X$ . Первая из сил убывает по модулю с увеличением расстояния, тогда как вторая возрастает с увеличением расстояния. Обе силы сравнимы по абсолютной величине на расстоянии:

$$R = R_{ZG} = \left( \frac{3M}{8\pi\rho_X} \right)^{1/3} \quad (3)$$

Здесь -  $R_{ZG}$  радиус нулевой гравитации [9], [10]. При  $R < R_{ZG}$  преобладает гравитация, при  $R > R_{ZG}$  - антигравитация. Допустим, что локальная плотность темной энергии  $\rho_X$  равна глобальной  $\rho_\Lambda$ , тогда радиус нулевой гравитации:

$$R_{ZG} = 1.1 \left( \frac{M}{10^{12}M_\odot} \right)^{1/3} \quad (4)$$

Подставляя в (4) значение массы Местной группы  $M = (2 \div 3) \times 10^{12} M_\odot$ , найдем, что критическая величина  $R_{ZG}$  составляет  $(1.3 \div 1.4)$  Мпк.

При принятом предположении о равенстве локальной и глобальной плотности темной энергии  $R_{ZG}$  весьма близок к известному из наблюдений радиальному размеру Местной группы  $R_{LG} \simeq 1$  Мпк. Поскольку объем квазистационарной гравитационно связанной системы не может выходить за пределы критического радиуса,  $R_{ZG}$  можно считать надежной границей между членами группы и потоком. И так как нас интересует только по-

ток, под рассмотрение попадают только галактики от 1.5 Мпк от центра Местной группы.

## 2.2 Локальный коэффициент Хаббла

Рассмотрим уравнения (1), (2) в расчете на единицу массы:  $a_N = -(GM)/R^2$ ;  $a_E = +G(4\pi/3)2\rho_\Lambda R$ , теперь они описывают радиальные траектории пробных частиц типичного потока в поле сил тяготения и антитяготения. Уравнение радиального движения одной частицы:

$$\ddot{R} = a_N + a_E = -\frac{GM}{R^2} + \frac{8\pi G}{3}\rho_X R \quad (5)$$

которое легко интегрируется и дает закон сохранения энергии частицы:

$$E = \frac{1}{2}\dot{R}^2 - \frac{GM}{R} - \frac{4\pi G}{3}\rho_X R^2 \quad (6)$$

где  $E = const$  - полная механическая энергия частицы в расчете на единицу ее массы.

Уравнения (5), (6) справедливы в области потока ( $R \geq R_{ZG}$ ), где доминирует темная энергия. Уравнение (6) определяет фазовые траектории разбегающихся частиц в пространстве скорость - расстояние. Из этого уравнения следует, что в пределе больших расстояний ( $R \rightarrow \infty$ ) единственным динамическим фактором оказывается антитяготение темной энергии, так что в этом пределе фазовые траектории выходят на линейную зависимость скорости от расстояния, известную как закон Хаббла:  $V = \dot{R} = H_X R$ . Здесь

$$H_X = \left( \frac{8\pi G}{3}\rho_X \right)^{1/2} \quad (7)$$

есть постоянная величина, определяемая только локальной плотностью темной энергии. Если эта плотность  $\rho_X$  равна глобальному значению плотности темной энергии, то тогда  $H_X \simeq 62$  км/с/Мпк. Прямая линия  $V = H_X R$  в фазовом пространстве потока представляет собой динамический

аттрактор - к нему стремятся при увеличении расстояния все возможные фазовые траектории частиц потока. Величина  $H_X$  - параметр аттрактора.

Локальные потоки разбегания галактик не просто ускоряются, но ускоряются с возрастающим ускорением.

### 2.3 Локальная плотность темной энергии

Существование аттрактора в фазовом пространстве потока позволяет использовать наблюдательные диаграммы скорость расстояние-расстояние для эмпирического определения локальной плотности темной энергии. Действительно, если из множества теоретических допустимых фазовых траекторий удастся выделить пучок, на который наилучшим образом ложатся точки-частицы наблюдаемого потока, то по геометрии пучка можно определить фазовый аттрактор как проведенный из начала координат луч, к которому стремятся все траектории. Из уравнения луча следует значение параметра аттрактора  $H_X$ , а значит, и величина локальной плотности темной энергии:

$$\rho_X = \frac{3H_X^2}{8\pi G} \quad (8)$$

Точность оценки с учетом всех возможных неопределенностей - 20-30%. Потоки вокруг групп и скоплений могут случить - и действительно служат - удобным инструментом для обнаружения темной энергии и измерения ее локальной плотности в ближней Вселенной [11], [12], [13]

### 2.4 Перенос начала координат к центру Местной группы

Этот переход необходим потому что центр Местной группы так же является и динамическим центром потока в ближайшей Вселенной (до 12 Мпк). Так

как для больших масштабов центр Местной группы не является динамическим центром, для них этот переход не столь существенен, и выполняется только для единообразия всех диаграмм.

Переход от гелиоцентрической скорости к скорости отнесенное на центр Местной группы [8]

$$V_{LG} = V_{hel} + 316 [\sin(b) \sin(-4^\circ) + \cos(b) \cos(-4^\circ) \cos(l - 93^\circ)] \quad (9)$$

где  $b$  и  $l$  галактические широта и долгота соответственно. Формула пересчета нуля пункта по расстоянию на центр Местной группы [14]

$$D_{LG}^2 = D^2 + \Delta^2 - 2D\Delta \cos(\theta) \quad (10)$$

где  $\Delta = 0,44$  Мпк - расстояние от нашей галактики до центра Местной группы,  $\theta$  - угол между направлением на нашу галактику и на галактику М31.

$$\cos(\theta) = \sin(b) \sin(-21^\circ.57) + \cos(b) \cos(-21^\circ.57) \cos(l - 121^\circ.17) \quad (11)$$

### 3 Диаграммы «скорость-расстояние»

Значения локального коэффициента Хаббла, на всех интервалах получены методами линейной регрессии и медианного среднего, с целью продемонстрировать равносильность этих методов.

#### 3.1 Ближайшая Вселенная (1,5 - 12 Мпк)

Рассмотрим промежуток от 1.5 до 11.5 Мпк от центра Местной группы. По данным Catalog & Atlas of the LV galaxies, отобрав 532 галактики удовлетворяющих требованиям из общего списка, можно построить диаграмму скорость-расстояние (рис. 2).

$$\begin{aligned} H_{loc}(\text{median}) &= 67.678 \text{ км/с/Мпк} & \rho_X &= 0.86 \times 10^{-29} \text{ г/см}^3 \\ H_{loc}(\text{linear}) &= 72.78 \pm 0.46 \text{ км/с/Мпк} & \rho_X &= 0.995 \times 10^{-29} \text{ г/см}^3 \end{aligned}$$

Часть точек в районе 1400 км/с и выше скорее всего принадлежат другому скоплению. Как можно заметить на примере (рис. 3), здесь и далее, удаление таких точек с диаграммы не внесло существенного изменения в значение локального коэффициента Хаббла.

$$\begin{aligned} H_{loc}(\text{median}) &= 66.6 \text{ км/с/Мпк} & \rho_X &= 0.83 \times 10^{-29} \text{ г/см}^3 \\ H_{loc}(\text{linear}) &= 68.72 \pm 0,56 \text{ км/с/Мпк} & \rho_X &= 0.86 \times 10^{-29} \text{ г/см}^3 \end{aligned}$$

Эти результаты хорошо соотносятся с результатами еще одной диаграммы, построенной в сопоставимых значениях  $V_{LG}$  и  $D_{LG}$ , по данным каталога Cosmicflows 2.1 [15], составленного Б. Талли и его командой (рис. 4).

$$\begin{aligned} H_{loc}(\text{median}) &= 67.3 \text{ км/с/Мпк} & \rho_X &= 0.85 \times 10^{-29} \text{ г/см}^3 \\ H_{loc}(\text{linear}) &= 71.7 \pm 0.5 \text{ км/с/Мпк} & \rho_X &= 0.96 \times 10^{-29} \text{ г/см}^3 \end{aligned}$$

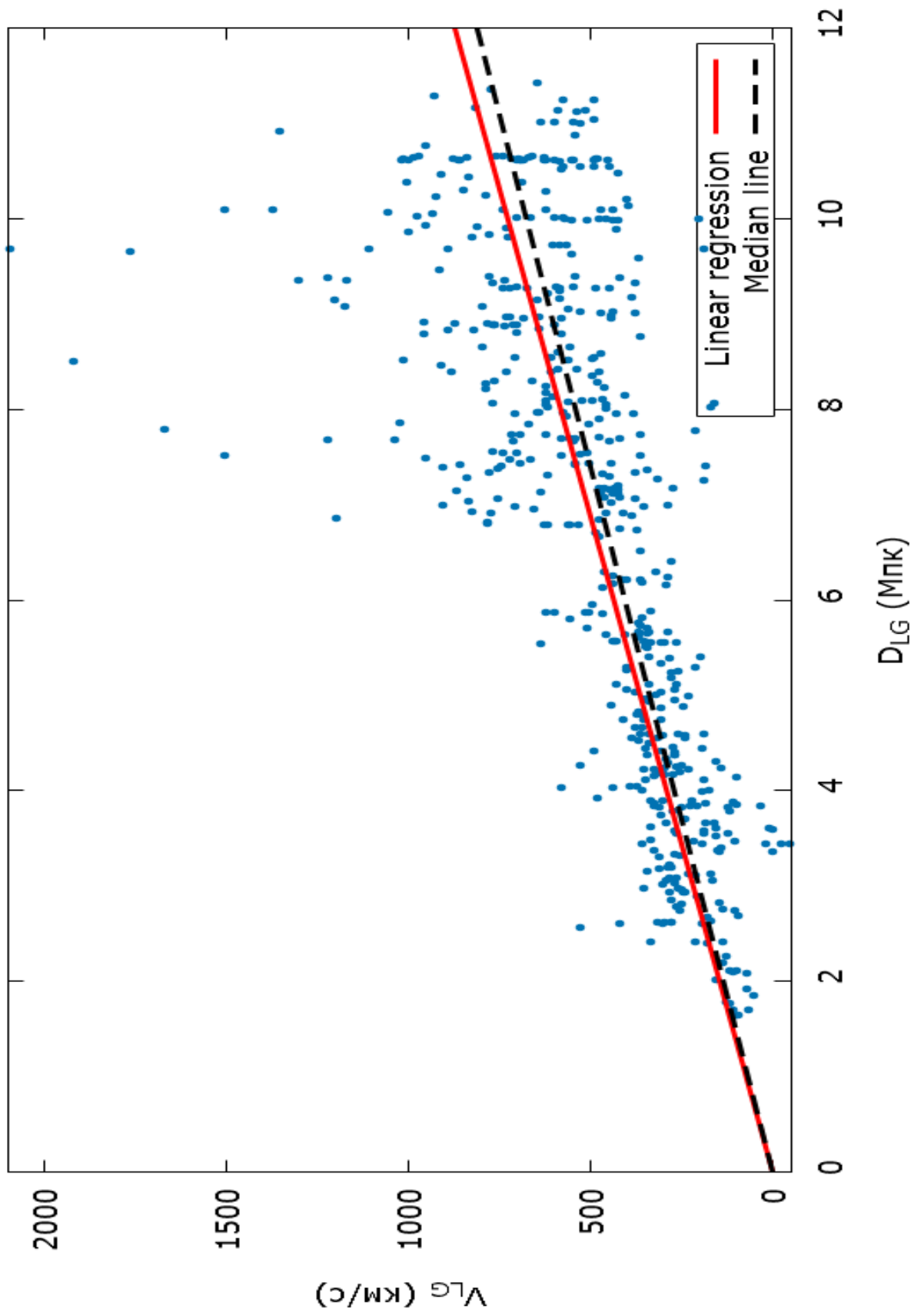


Рис. 2:  $V_{LG} < 2100$  км/с,  $D < 12$  Мпк

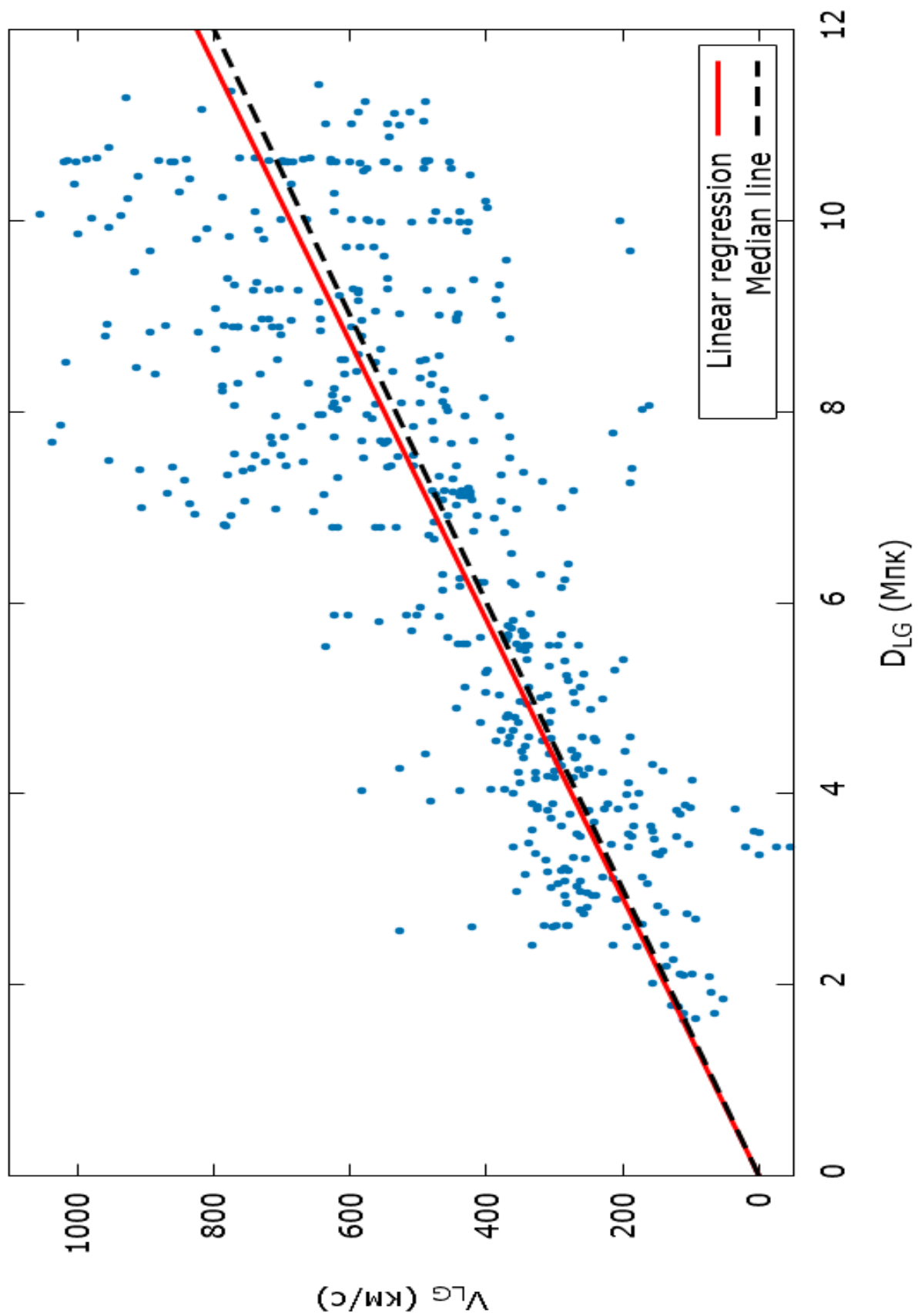


Рис. 3:  $V_{LG} < 1100$  км/с,  $D < 12$  Мпк

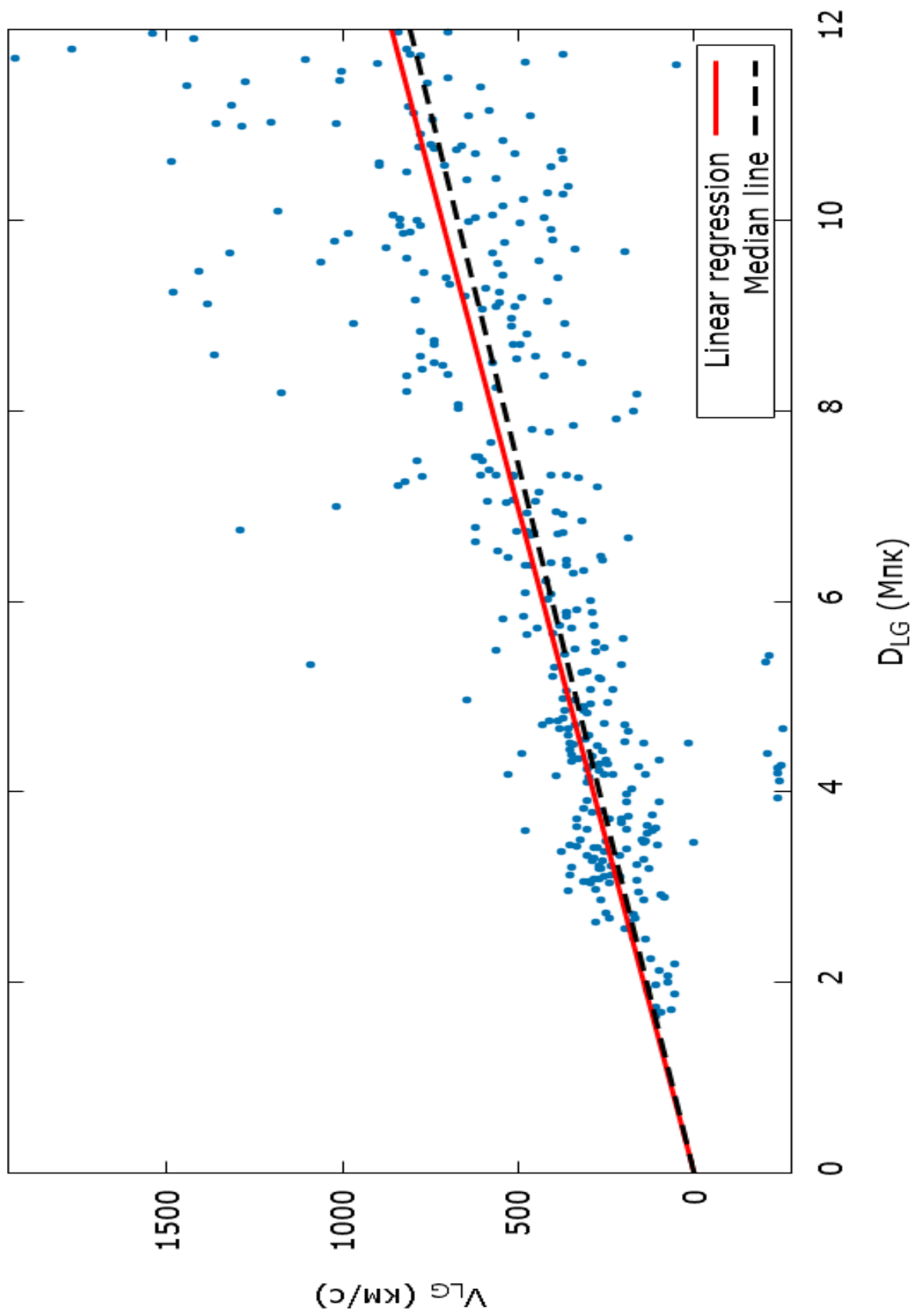


Рис. 4:  $V_{LG} < 1950$  км/с,  $D < 12$  Мпк



## 3.2 Средняя Дистанция (12 - 200 Мпк)

С ростом расстояния увеличивается и разброс значений  $H_X$ , в следствие неточности наблюдательных данных, и, как следствие, увеличивается количество возможных фазовых траекторий. Однако, на достаточно большой выборке галактик, так же становится заметнее как значения параметров аттрактора стремятся к значению параметра динамического аттрактора.

Первый интервал 12 до 80 Мпк включает в себя 3721 галактику (рис. 5)

$$\begin{aligned} H_{loc}(\text{median}) &= 73.04 \text{ км/с/Мпк} & \rho_X &= 1 \times 10^{-29} \text{ г/см}^3 \\ H_{loc}(\text{linear}) &= 75.75 \pm 0.746 \text{ км/с/Мпк} & \rho_X &= 1.07 \times 10^{-29} \text{ г/см}^3 \end{aligned}$$

Второй интервал 80 до 200 Мпк включает в себя 3643 галактику (рис. 6).

$$\begin{aligned} H_{loc}(\text{median}) &= 71.14 \text{ км/с/Мпк} & \rho_X &= 0.95 \times 10^{-29} \text{ г/см}^3 \\ H_{loc}(\text{linear}) &= 71.25 \pm 0,57 \text{ км/с/Мпк} & \rho_X &= 0.95 \times 10^{-29} \text{ г/см}^3 \end{aligned}$$

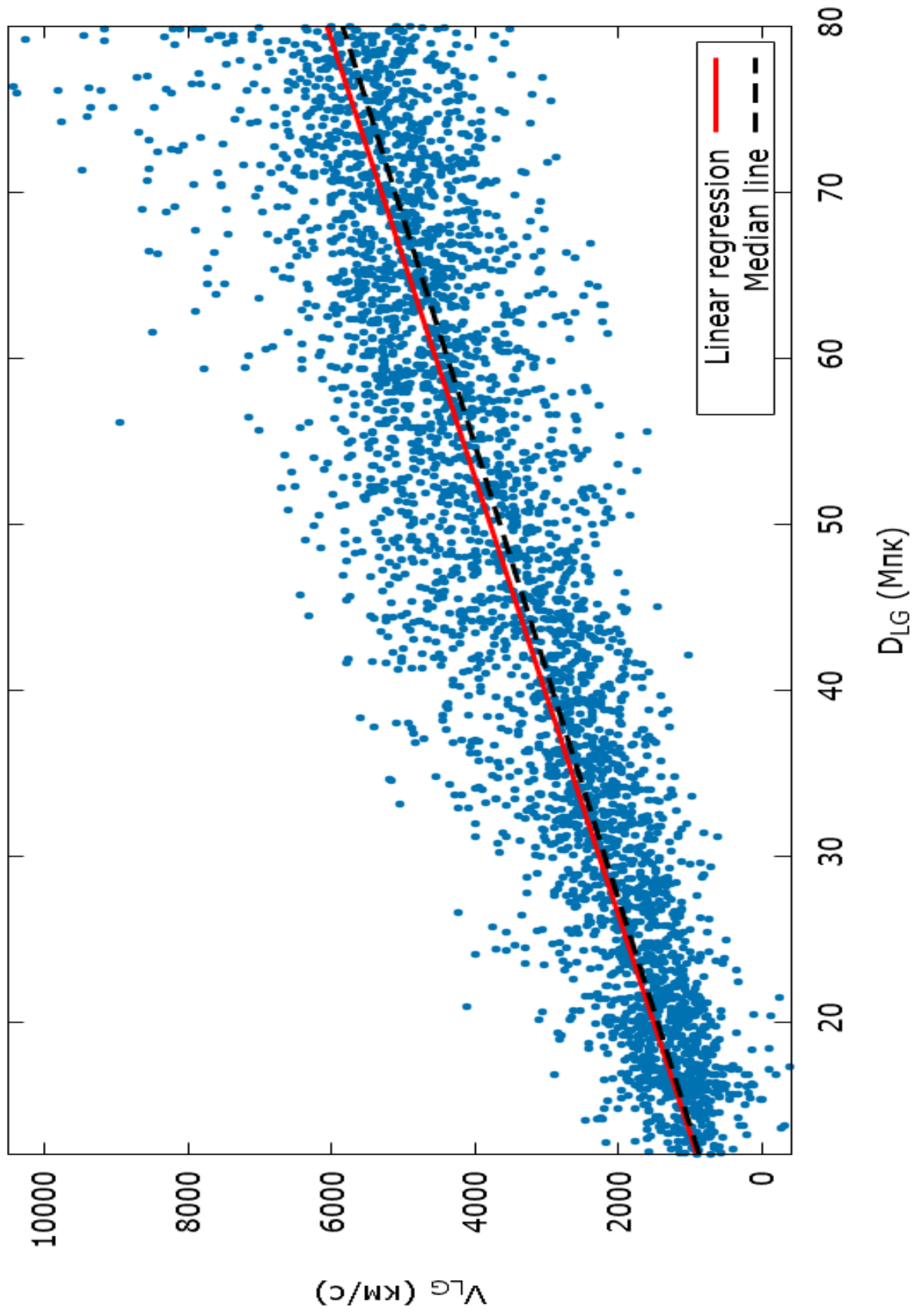


Рис. 5:  $V_{LG} < 10500$  км/с,  $12 < D < 80$  Мпк

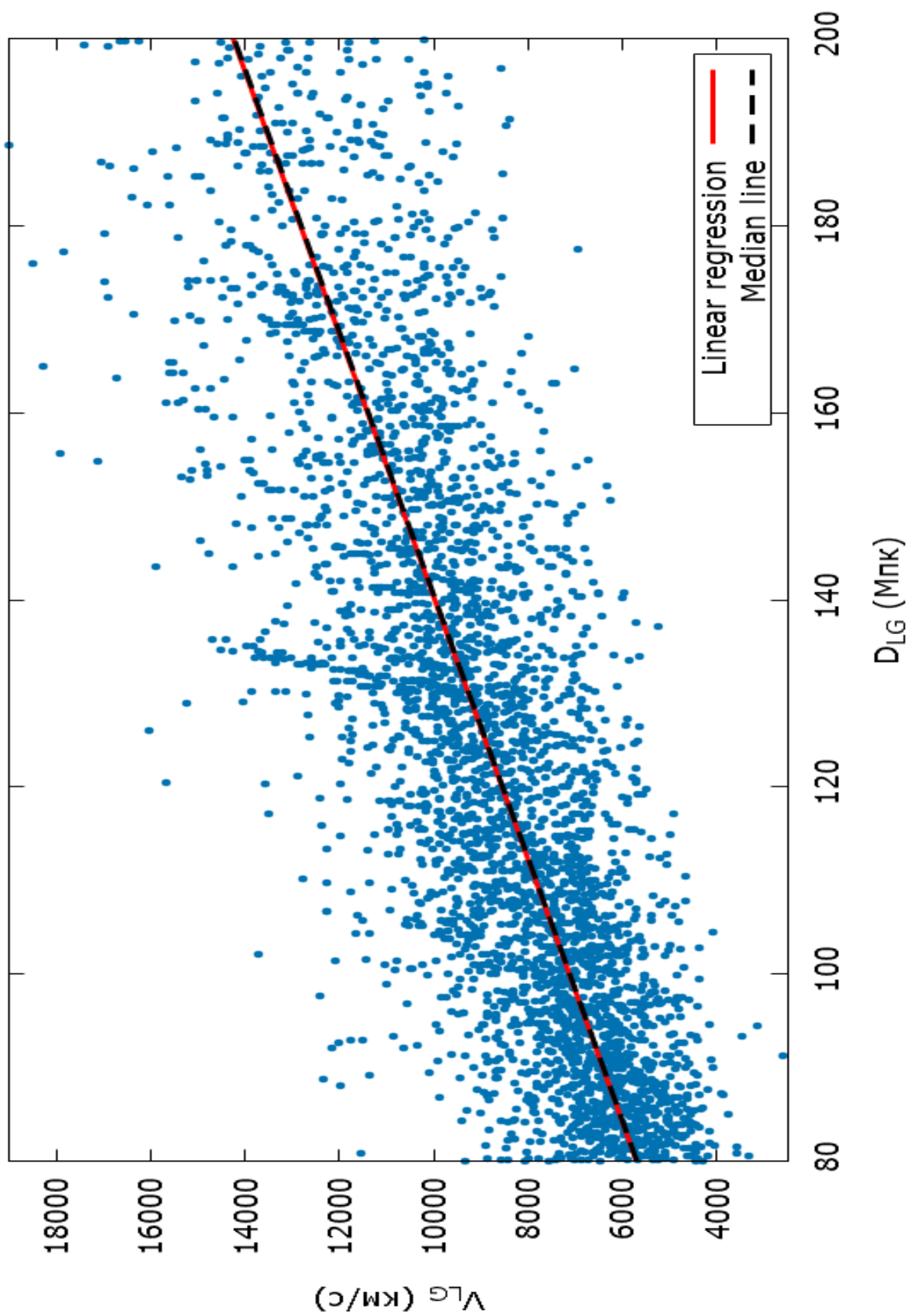


Рис. 6:  $V_{LG} < 19000$  км/с,  $80 < D < 200$  Мпк

### 3.3 Дальняя Вселенная (200 - 520 Мпк)

Первая диаграмма последнем промежутке построенная по данным Cosmicflows

2.1. Она включает в себя 425 галактик (рис. 7).

$$H_{loc}(\text{median}) = 63.8 \text{ км/с/Мпк} \quad \rho_X = 0.76 \times 10^{-29} \text{ г/см}^3$$

$$H_{loc}(\text{linear}) = 64.04 \pm 0,48 \text{ км/с/Мпк} \quad \rho_X = 0.77 \times 10^{-29} \text{ г/см}^3$$

Вторая диаграмма построена по данным сверхточных наблюдений сверхновых типа Ia. Из представленного списка сверхновых в статье А. Сэнди-джа [16], были отобраны следующие сверхновые:

SN Name	Galaxy Name	l	b	$D_{LG}$ Мпк	$V_{LG}$ км/с	$H_{LG}$ км/с/Мпк
SN 1992bs	Anon J032927-3716	240.03	-55.34	306.34	18754.74	61.22
SN 2006cj	Anon J125924+2820	68.07	87.86	326.98	20229.66	61.87
SN 1993ag	Anon J100335-3527	268.44	15.93	225.11	14391.79	63.93
SN 2006al	Anon J103929+0511	241.92	51.69	311.54	20156.32	64.70
SN 1993O	Anon J133107-3312	312.42	28.92	235.78	15365.19	65.17
SN 1993B	Anon J103451-3426	273.32	20.46	312.27	20382.95	65.27
SN 1992au	Anon J001040-4956	319.12	-65.88	275.19	18217.83	66.20
SN 1991S	UGC 5691	214.07	57.42	245.48	16382.83	66.74
SN 1992br	Anon J014544-5605	288.01	-59.43	391.91	26246.13	66.97
SN 1992bk	ESO 156-08	265.05	-48.92	259.10	17409.46	67.19
SN 2006cq	IC 4239	62.88	81.84	215.84	14507.88	67.21
SN 1993ac	LEDA 17787	149.72	17.21	215.23	14848.73	68.99
SN 2005ir	Anon J011643+0047	136.24	-61.42	333.49	23015.20	69.01
SN 2005hj	Anon J012648-0114	142.55	-62.76	253.21	17501.23	69.12
SN 1999ao	Anon J062726-3550	243.83	-20.02	227.15	15937.93	70.16
SN 2006ob	UGC 1333	153.30	-59.00	252.27	17858.33	70.79

SN 2006on	Anon J215558-0104	57.18	-40.55	293.88	21193.56	72.12
SN 2001ah	UGC 6211	149.13	56.52	239.27	17393.53	72.69
SN 2006oa	Anon J212342-0050	51.74	-33.74	249.68	18197.28	72.88
SN 1999bp	Anon J113946-0851	274.68	50.04	306.56	22864.73	74.59
SN 1992bp	Anon J033637-1821	208.83	-51.09	314.21	23614.89	75.16
SN 2005ag	Anon J145643+0919	7.84	55.50	312.56	23803.91	76.16
SN 2006py	Anon J224142-0008	68.44	-48.79	226.05	17563.50	77.70
SN 2003ic	MCG-02-02-086	115.24	-72.03	214.72	16800.98	78.25
SN 2007ae	UGC 10704	111.49	31.71	244.74	19545.76	79.86
SN 1998dx	UGC 11149	77.68	26.67	205.87	16517.77	80.24
SN 2003hu	Anon J191131+7753	109.56	25.44	278.51	22747.41	81.68

---

По этим данным была составлена диаграмма (рис 8).

$$\begin{aligned}
 H_{loc}(\text{median}) &= 68.995 \text{ км/с/Мпк} & \rho_X &= 0.94 \times 10^{-29} \text{ г/см}^3 \\
 H_{loc}(\text{linear}) &= 70.04 \pm 0.759 \text{ км/с/Мпк} & \rho_X &= 0.97 \times 10^{-29} \text{ г/см}^3
 \end{aligned}$$

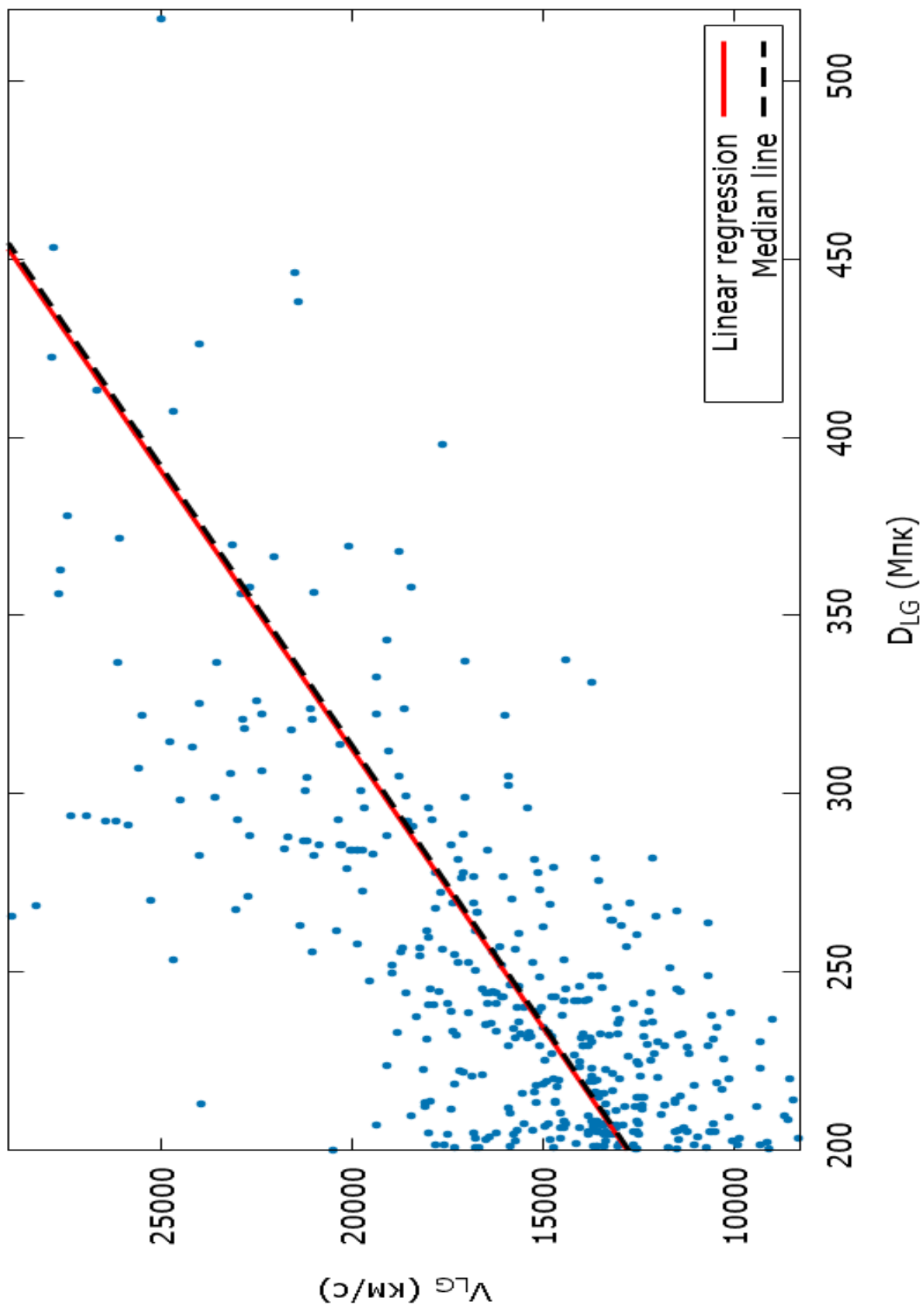


Рис. 7:  $V_{LG} < 29000$  км/с,  $D > 200$  Мпк

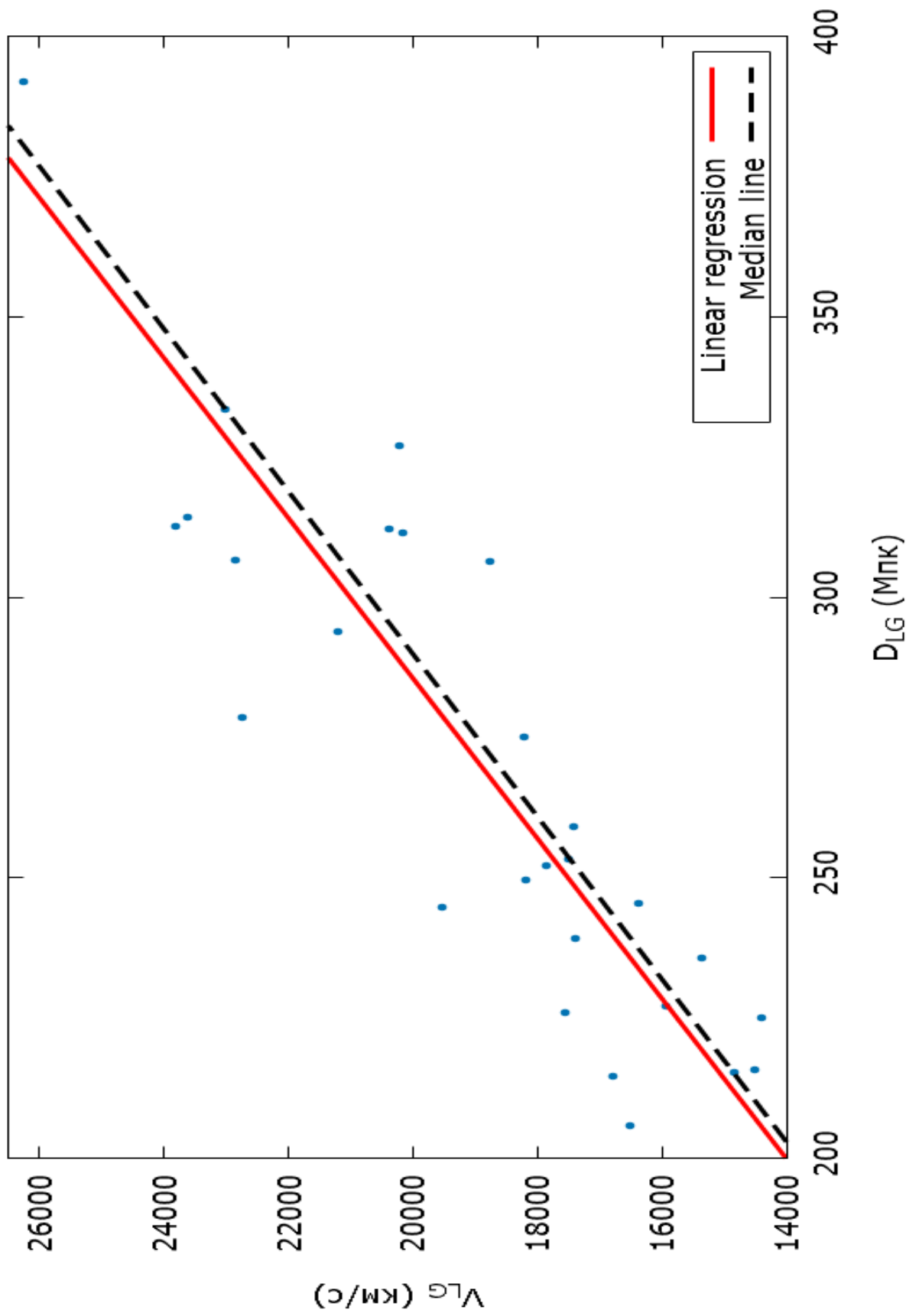


Рис. 8:  $V_{LG} < 26500$  км/с,  $D > 200$  Мпк

## 4 Заключение

В итоге проделанной работы было установлено, что поток разбегающихся галактик подчиняется линейному закону, схожему с законом Хаббла. Коэффициент пропорциональности в этом законе не отличается от глобальной постоянной Хаббла, более чем на ошибку измерения лучевых скоростей и расстояний до членов потока.

По локальным коэффициентам Хаббла были получены локальные плотности темной энергии, их отличие от глобально значения плотности темной энергии, так же как и сами коэффициенты Хаббла, не превосходят величины ошибки наблюдательных данных.

В следствии выше перечисленного, можно сделать вывод, что природа локальных потоков схожа с природой глобальных. Так как и те и другие ускоряются антигравитационным воздействием уникального космологического феномена - темной энергией.



## Список литературы

- [1] Riess A G et al. *Astron. J.* 116 1009 (1998)
- [2] Perlmutter S et al. *Astrophys. J.* 517 565 (1999)
- [3] Einstein A *Sitzungsber. Koenigl Press Akad Wissenschaft.* 142 (1917)
- [4] Planck Collaboration, arXiv:1502.01589
- [5] Chernin A, Teerikorpi P, Baryshev Yu *Adv. Space Res.* 314 59 (2003);  
astro-ph/0012021
- [6] Chernin A D *Phys.Usp.* 44 1099 (2001)
- [7] Karachentsev I D et al. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 393 1265 (2009)
- [8] Karachentsev I D, D I Makarov, E I Kaisina *Astrophys. J.* 145 101 (2013)
- [9] Baryshev Yu V, Chernin A D, Teerikorpi P *Astron. Astrophys.* 378 729  
(2001)
- [10] Chernin A D et al. *Astron. Astrophys.* 415 19 (2004)
- [11] Teerikorpi P, Chernin A D *Astron. Astrophys.* 516 A93 (2010)
- [12] Chernin A D et al. *Astron. Astrophys.* 507 1271 (2009)
- [13] Teerikorpi P et al. *Astron. Astrophys.* 483 383 (2008)
- [14] Karachentsev I D et al. *Astron. Astrophys.* 389 812 (2002)
- [15] Tully R B et al. *Astron. J.* 146 86 (2013)
- [16] Sandage A et al. *Astrophys. J.* 653 843 (2006)