

Решение «вириального парадокса» для богатых скоплений галактик

Авторы:

И.Б. Борисов (Астрофизическая лаборатория, г. Самара, <http://astrolab.narod.ru>)

В.С. Лебедев. (САО РАН, п. Нижний Архыз)

Abstract

В данной работе, предполагая наличие в скоплениях галактик большого количества LSBG, т.е. галактик с низкой поверхностной яркостью, была сделана попытка разрешить «вириальный парадокс». Для исследования были взяты богатые скопления из каталогов Цвикки и АСО (Эйбелла, Корвина и Олвина). Массы скоплений галактик находились с помощью функции светимости Шехтера, для которой были приняты следующие значения параметров: $M^* = -22.4^m$, $\alpha = -1.797$. Светимости скоплений, полученные путем численного интегрирования функции Шехтера по всему интервалу светимостей галактик, умножалась на коэффициент, размерности M/L в солнечных единицах. Этот коэффициент находился согласно сделанному предположению о зависимости M/L для галактик от их светимости. Полученные результаты показывают, что массы скоплений галактик, найденные предложенным методом, хорошо согласуются с их вириальными оценками. Но для того, чтобы устранить парадокс, необходимо наличие в больших скоплениях нескольких тысяч галактик с низкой поверхностной яркостью.

Часть 1. Скопления галактик.

1.1 Открытие скоплений галактик.

Фотографирование неба в 30-е годы прошлого столетия при посредстве крупных телескопов обнаружило сильную неоднородность в распределении галактик по небесной сфере. Было принято, что области с повышенной поверхностной плотностью числа галактик (по сравнению с фоном) содержат группировки, названные скоплениями галактик. В 1931 г. в каталоге Шепли было приведено 25 скоплений галактик. В 1948 г. все еще было известно лишь несколько десятков скоплений. Однако в следующие десятилетия скоплений галактик было найдено в большом количестве на снимках Ликского и Паломарского обзоров неба. Нейман, Скотт, Шейн и Свенсон показали, что распределение галактик в Ликском обзоре согласуется с гипотезой о том, что почти все галактики принадлежат к скоплениям. Теперь очевидно, что скопления галактик являются основными конденсациями вещества в пространстве.

Скопления содержат сотни, а в ряде случаев тысячи галактик (богатые скопления). При более детальных исследованиях пространственного распределения галактик в 1970-е годы были выделены агрегаты с меньшим содержанием галактик – группы. Они включают от нескольких галактик до нескольких десятков их.

1.2 Морфология скоплений галактик.

Морфологические классы скоплений были введены Эйбеллом (1958 г.), Цвикки (1961 г.), Боузом и Морганом (1970 г.), Роудом и Састри (1971 г.).

Эйбелл разделил скопления на регулярные (правильные) R, иррегулярные (неправильные) I и промежуточные (полурегулярные) RI и IR. Регулярные скопления обладают сферической симметрией и заметной концентрацией к центру. Это, как правило, очень богатые системы. И наибольшие из них, вероятно, содержат по крайней мере тысячу членов в интервале восьми ярчайших звездных величин. R-скопления имеют структуру подобную шаровым скоплениям звезд, и поэтому их иногда называют шаровыми скоплениями галактик. Примерами могут служить (обозначения по каталогу Эйбелла) скопления A2065 и A1656 (Coma) (содержит около десяти тысяч галактик). I-скопления, также иногда называемые рассеянными, имеют более бесформенный вид, они без сферической симметрии и без конденсации к центру. Напротив, они имеют иногда малые сгущения или ядра, и напоминают неплотные слом малых скоплений. По богатству неправильные скопления различаются от небольших групп, подобных Местной группе, до больших агрегатов с более чем тысячей членов (например, скопление Геркулеса (A2151)). Ярчайшие члены R-скоплений обычно все или почти все представляют собой E- или SO-галактики. Немногие из членов, если они вообще есть, показывают спиральную структуру. В большинстве случаев, правильные скопления концентрируются вокруг одной или двух линзообразных сверхгигантских систем (сD-галактик). сD-галактики обладают ядром, подобным гигантской эллиптической галактике, погруженной в обширное диффузное гало низкой поверхностной плотности. Эти галактики обычно располагаются в центрах скоплений, причем всегда лежат в локальных максимумах распределения поверхностной плотности, независимо от того, является ли сD-галактика ярчайшей в скоплении, или нет. Около 20% богатых скоплений содержит сD-галактику, в ряде случаев сD-галактики были найдены в бедных скоплениях и группах. Галактики данного типа составляют класс наиболее ярких галактик (их абсолютные звездные величины M порядка -24). Среди ярчайших членов скоплений типа I много спиральных галактик. Иррегулярные галактики, типа Магеллановых Облаков, также типичны для неправильных скоплений. Скопления, классифицированные как RI, характеризуются или а) менее общей симметрией распределения галактик внутри скопления, но все же с доминированием галактик раннего типа, или б) устойчивой симметрией распределения, но с большим морфологическим разнообразием среди галактик. Скопления типа

IR показывают малую симметрию распределения доминирующих галактик раннего типа, или умеренную симметрию со смешанной морфологией среди членов скопления. Типичными представителями типа RI являются скопления Центавра (A3526) и Virgo, а типа IR – A1367 и скопление Персея (A426).

Цвикки квалифицировал скопления как «рассеянные», «средней компактности» и «компактные». Эта квалификация будет рассмотрена подробнее в описании каталога Цвикки. В сравнении с типами Эйбелла, первый класс представлен I-скоплениями, а многие «компактные» скопления относятся к R-типу.

Система Боуца-Моргана (BM-классификация) основана на относительной разности ярчайших членов скопления. Были введены пять типов классификации. Скопления I-типа содержат cD-галактику, расположенную в центральной области скопления (типичные примеры A2199, A2029). Тип II характеризуется тем, что ярчайшая галактика или галактики скопления являются промежуточными по виду между классом cD и гигантскими эллиптическими галактиками для типа Virgo (A194, A1656 (Coma), A2197). Скопления типа III не содержат членов, сильно выделяющихся по яркости. Этот можно подразделить на III-E и III-S, в зависимости от отсутствия или присутствия ярких спиралей (примеры: A2065, Virgo). Типы I-II и II-III являются промежуточными.

Скопления, квалифицированные Рудом и Састри (RS-квалификация), были разделены следующим образом. cD-скопления содержат cD-галактику, они могут быть помечены индексами: p - для пекулярной галактики; s – для галактик со спутником внутри наблюдаемой светящейся оболочки, или n для «гнезд» компонентов скопления. В-скопления содержат двойную систему ярких галактик. Возможные пометки следующие: b индекс относится к двум ярчайшим галактикам, находящимся в контакте или соединенные светящейся перемишкой, так что они очень возможно образуют двойную сверхгигантскую галактику. L-скопления с линейным распределением галактик, при дугообразном распределении помечаются индексом a. C-тип характеризуется концентрированным распределением галактик к центру (ядру) скопления. F – уплощенные скопления (обычно состоят из двух, редко из трех, сгустков). И I-скопления обладают иррегулярным распределением галактик, этот тип может быть помечен индексами: c - для группировок членов скопления или s – для гладкого распределения галактик.

1.3 «Чистота» и «полнота» выборки.

Следует вкратце упомянуть о такой важной проблеме, как «чистота» и «полнота» выборки. Ни один из статистических методов выделения группировок галактик не дает уверенности в том, что конкретная галактика, находящаяся в области небесной сферы занятой скоплением, входит в эту группировку, то есть является физически связанной с ней. Существует множество различных сложных эффектов, влияющих на эту проблему, к которым можно отнести эффекты селекции, обнаружение галактик «полю», проецирование переднего фона на скопление, перекрытие скоплений в проекции, обнаружение ложных скоплений, появляющихся в результате «суперпозиции» галактик, т.е. случайного наложения меньших групп и отдельных галактик на один луч зрения. Поэтому при изучении скучиванья галактик и крупномасштабной структуры Вселенной большое внимание уделяют богатым скоплениям, для которых незначительна вероятность случайных наложений.

Часть 2. Функции светимости скоплений галактик.

2.1 Функции светимости.

Хаббл в 1936 г. вывел функцию светимости (ФС) галактик в виде куполообразной, симметричной кривой Гаусса. Однако результаты Хаббла были искажены эффектами селекции, заключающиеся в том, что он рассматривал только ярчайшие из видимых галактик, вместо всех галактик в данном объеме пространства. Цвикки в 1957 г. использовал только скопления галактик, причем далекие из них играли в его выводе важную роль. Для определения ФС Цвикки подсчитывал число членов скопления, видимых на снимках, полученных с 48-дюймовым шмидтовским телескопом, в функции углового диаметра скопления. ФС, определяющая число галактик в интервале абсолютных величин от M до $M \pm dM$, была предложена Цвикки в виде следующей аппроксимирующей формулы: $N(M) = \text{const} \cdot 10^{0.2 \cdot dM}$.

Эйбелл в 1962 г. определил, что интегральное распределение светимостей $N(\leq m)$, т.е. число галактик скопления ярче m , аппроксимируется двумя законами:

$$\begin{aligned} \log N(\leq m) &= K_1 + s_1 m \quad (m < m_1) \\ \log N(\leq m) &= K_2 + s_2 m \quad (m < m_2), \end{aligned} \quad (1)$$

где K_1 и K_2 константы. При m_1 функция Эйбелла меняет наклон, сам Эйбелл для фотовизуальных величин находит значение $m_1 = 14.7^m$; s_1 встречается от 0.7 до 0.9 и s_2 – от 0.2 до 0.3.

Шехтер в 1976 г. ввел новую аналитическую аппроксимацию для ФС галактик. Полагая, что $\varphi(L)dL$ - число галактик в единице объема и в интервале светимостей от L до $L+dL$, он ввел следующее выражение для ФС:

$$\varphi(L)dL = \varphi^*(L/L^*)^\alpha \exp(-L/L^*)d(L/L^*) \quad (2)$$

где φ^* , L^* , α - параметры определяемые из данных. Параметр φ^* есть число галактик в единице объема, L^* - «характеристическая светимость» (соответствующая «характеристической абсолютной звездной величине» M^*), роль которой состоит в проявлении быстрого изменения наклона ФС на плоскости ($\log \varphi$, $\log L$). Существование такой характеристической звездной величины серьезно изучал Эйбелл, и его обозначение – M^* - было взято для последующих работ. Для того чтобы равенства (1) согласовывались с (2), Шехтер для функции Эйбелла нашел $M_{\Lambda}^* = -20.45$. Величина параметра α дает наклон ФС на плоскости ($\log \varphi$, $\log L$), когда $L \ll L^*$.

Предложенная Шехтером функция хорошо аппроксимирует ФС для галактик. Несмотря на отчетливые свидетельства изменений ФС от скопления к скоплению, общее подобие форм кривых удивительно хорошее и параметры M^* и α меняются незначительно при изменении плотности в 10^6 раз. Различия в параметрах M^* и α наблюдаемых ФС богатых скоплений ($\Delta M^* = 0.3^m - 0.5^m$) частично можно объяснить изменениями морфологического состава скоплений. Однако поиск корреляционной связи параметров Шехтера с морфологическими характеристиками скоплений (BM, RS-классы) еще требует серьезных исследований.

Шехтер для богатых скоплений нашел $\alpha = -1.25$ и $M_{B(0)}^* = -20.6$ ($M_J^* = -21.4$, что при $(J-R)=1$, дает $M_R^* = -22.4$). Тернер получил $\alpha = -1$, $M_{pg}^* = -20.85$, что соответствует $L^* = 3.4 \cdot 10^{10} L_0$ (L_0 – светимость Солнца). Лаггер исследовал ФС для различных моделей и получил ряд значений α и M^* . Интересна работа Бакалл, которая получает для ФС Эйбелловских богатых скоплений $\alpha = -2$, $L^* = 0.8 \cdot 10^{13} L_0$ и $\varphi^* = 5.2 \cdot 10^{-7}$ скоплений Mpc^{-3} ($10^{12} L_0$)⁻¹. Рядом авторов предполагается различие параметров ФС Шехтера для галактик позднего и раннего типов. Однако, такие результаты, как правило, совпадают в пределах ошибок. Основываясь на работах различных авторов, можно заключить, что свидетельства в пользу «универсальной» ФС Шехтера достаточно убедительны, чтобы оправдать использование многих аналитических свойств уравнения (2) в целом ряде приложений.

Светимости галактик получают из найденных их звездных величин m . Зная m можно найти абсолютную величину M :

$$M = m - 25 - 5 \log r, \quad (3)$$

где r – расстояние до галактик (в Мпс), равное cz/H_0 , z – красное смещение галактики, H_0 – современное значение постоянной, c – скорость света.

Отсюда можно получить значение светимости L галактики:

$$\log L = 0.4(4.31 - M), \quad (4)$$

где L дано в единицах светимости Солнца L_0 (в красном диапазоне).

Однако прежде чем вычислять светимости, необходимо учесть эффекты ослабления видимых величин галактик за счет эффектов поглощения и красного смещения.

2.2 Эффекты ослабления звездных величин.

Рассмотрим эффекты, влияющие на ослабление светимости скоплений галактик.

1) Эффект широты (поглощение в нашей Галактике). Поглощение в зоне галактических широт $|b| < 20^\circ$ учитывается либо по избыткам цвета звезд вблизи наблюдаемых объектов, либо статистическим методом, основанном на избытках цвета и модели распределения поглощения. В более высоких галактических широтах закон поглощения выводится по подсчетам слабых галактик. Здесь слой поглощения материи можно считать однородным и параллельным галактической плоскости, откуда следует «закон косеканса» $a = a_0 \operatorname{cosec} |b|$. Здесь a_0 – оптическая полутолща Галактики в окрестности Солнца. Эйбелл использовал следующий закон поглощения:

$$m_c = m - 0.136(|\operatorname{cosec} b| - 1), \quad (5)$$

где m – красная видимая величина галактики, m_c – звездная величина, исправленная за поглощение. Для V величин $a_0 = 0.2$.

К эффектам ослабления за счет поглощения также относятся эффекты наклона (или среднее самопоглощение интегральное блеска галактики) и межгалактическое поглощение. Но в данной работе эти эффекты считаются незначительными.

2) Эффект энергии. Он приводит к уменьшению энергии кванта с уменьшением его частоты, вследствие красного смещения. Этот эффект связан с самим существованием красного смещения, а не с истолкованием его как следствие доплеровского эффекта.

3) «К-поправка» (эффект селективности приемника излучения). Приемник излучения (фотопластинка, фотоэлемент, радиотелескоп) чувствителен к ограниченной области спектра, а вследствие красного смещения спектр галактики смещается в красную сторону из полосы чувствительности приемника. В результате видимая величина галактики дополнительно искажается – тем больше, чем значительнее красное смещение и позднее спектральный тип галактики. Теории К-поправки была изложена Сэйндеджем, Хьюмасоном и Мейелом в 1956 г. Вычисление поправок производится по формуле:

$$K = 2.5 \log(1+z) + 2.5 \log \frac{\int_0^{\infty} S(\lambda) I_0(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} S(\lambda) I_z(\lambda) d\lambda},$$

где $S(\lambda)$ – функция чувствительности приемного устройства в комбинации с атмосферой, оптикой и фильтрами, $I_0(\lambda)$ – распределение энергии в спектре «необремененного» красным смещением источника, а $I_z(\lambda)$ – распределение энергии полученное из $I_0(\lambda)$ смещением соответствующих $I(\lambda)$ на длину волны, пропорциональную $(1+z)$. Первый член в формуле возникает вследствие изменения ширины эффективной полосы пропускания фильтра по отношению к спектру галактики, т.е. в смещенном спектре мы наблюдаем меньшие длины волн по сравнению с несмещенным при используемом фильтре телескопа. Этот член неселективен. Второй, селективный, член возникает вследствие того, что распределение энергии в спектре не является плоским и, следовательно, смещение спектра вызывает изменение интенсивности. Так как К-поправка является функцией от красного смещения, то ее часто представляют в виде: $K=az$, где a – некая величина, получаемая из наблюдательных данных и зависящая от наблюдаемой области спектра. В данной работе будут использоваться следующие значения К-поправок: в R полосе $K_R=1.08z$, для V величин $K_V=1.88z$.

Таким образом, полностью исправленная за все эффекты ослабления звездная величина m_c галактики равна:

$$m_c = m_c - K. \quad (6)$$

В формуле (6) было принято не учитывать эффект энергии, но о его немаловажной роли будет указано ниже.

Часть 3. Каталоги скопления галактик.

Наиболее известными каталогами скоплений галактик являются каталоги, составленные Эйбеллом (1958), Эйбеллом, Корвином и Олвином (1989) (АСО-каталог) и Цвики с сотрудниками (1968).

3.1 Каталоги Эйбелла и АСО.

Опубликованный Эйбеллом в 1958 г. первоначальный каталог богатых скоплений галактик представляет собой северный обзор 2712 скоплений, полученных по снимкам Паломарского атласа. Данный каталог включает

- прямые восхождения и склонения скоплений за эпоху 1950 года;
- исправленные за фон подсчеты членов скоплений в интервале звездных величин от m_3 до m_3+2 , где m_3 – фотокрасная видимая величина третьей по яркости галактики;
- классы богатости и расстояния;
- известные красные смещения для отдельных скоплений;
- красные звездные величины десятых по яркости членов скоплений.

Эйбелл пытался найти такое определение населенности скопления, которое было бы относительно свободно от систематических эффектов, зависящий от расстояния или структуры скопления. Населенность скоплений определялась им процедурой, состоящей из восьми этапов:

1) После появления скопления (по красной серии Паломарского обзора) находилась десятая по яркости галактика скопления.

2) Красное смещение скопления оценивалось сравнением десятой по яркости галактики с серией изображений галактик, заранее откалиброванных с помощью десятых по яркости членов скоплений с измеренными z .

3) Описывалась окружность с центром в скоплении, радиус которой в миллиметрах равен некоторой постоянной, деленной на символическую скорость, которая соответствует оцененному z . В работе Эйбелла постоянная имела значение $4.6 \cdot 10^5$ км/сек. Данная окружность в линейных размерах отвечает зоне с радиусом $r_a=3$ Мпс. Для типичных скоплений более 80% общей массы содержится внутри r_a .

4) Внутри круга отыскивалась десятая по яркости галактика. Если она отличалась от выбранной в 1-м этапе, то 2-й и 3-й этапы повторялись снова.

5) Находилась третья по яркости галактика внутри круга. Ее величина оценивалась с помощью калибровочной шкалы изображений галактик.

6) Внутри круга и в соседних участках поля отмечалась несколько галактик, которые согласно калибровочной шкале были на две величины слабее, чем третья по яркости галактика в скоплении.

7) Внутри круга подсчитывались все галактики не слабее тех, которые отмечались в 6-этапе.

8) Внутри кругов такого же размера в двух или трех местах около скопления проводились аналогичные подсчеты галактик ярче отмеченных. Среднее из этих подсчетов вычиталось из числа, полученного для круга с центром в скоплении. Разность, полученная таким образом, считалась показателем населенности скопления.

К убеждению об однородности своей выборки Эйбелл пришел, рассуждая следующим образом. Он получил, что для скоплений с $z \leq 0.2$ (предельное красное смещение скоплений, включенных в обзор) отклонения соотношения «скорость – расстояние» от линейности малы. Поэтому угловые диаметры кружков, внутри которых подсчитывались галактики, приблизительно обратно пропорциональны расстояниям до скоплений, т.е. галактики подсчитывались в одинаковых объемах пространства для всех скоплений. Постоянная ($4.6 \cdot 10^5$ км/сек) была выбрана с таким расчетом, чтобы диаметр рассматриваемого объема был мал по сравнению с размерами главного сгущения галактик в скоплении. Следовательно, подсчеты галактик, принадлежащих скоплению после исключения галактик поля совершенно не зависят от диаметра сферы.

Однако предположение, что размеры сферы, радиус, которой обратно пропорционален красному смещению, не зависит от расстояния – не законно. Ряд исследований указывает на то, что при определении линейных размеров по угловым размерам и красному смещению, звездная величина галактики, необходимая для нахождения фотометрического расстояния, обязательно должна быть исправлена за эффект энергии. Сэйндедж указывает, что в измерениях видимых величин нельзя использовать апертуры, размеры которых рассчитаны обратно пропорционально z .

Эйбелл вводит классы богатости и расстояния по населенности и m_{10} (фотокрасная величина десятой по яркости галактики скопления). Эти классы приводятся в таблицах 1 и 2.

Табл. 1. **Населенность скоплений и классы богатости**

Населенность	Класс
30-49	0
50-79	1
80-129	2
130-199	3
200-299	4
свыше 300	5

Табл. 2. **Звездные величины и классы расстояний**

m_{10}	Класс
<13.3	0
13.3-14.0	1
14.1-14.8	2
14.9-15.6	3
15.7-16.4	4
16.5-17.2	5
17.3-18.0	6
>18.0	7

Каталог 2712 богатых скоплений, определенных Эйбеллом, широко используется как источник изучения: распределения богатых скоплений, космологической и внегалактической шкал расстояний, свойств индивидуальных скоплений, коллективных свойств скоплений, галактического поглощения.

Однако каталог Эйбелла (1958) имеет некоторые недостатки, которые отчасти ограничивают его применение. Они включают: а) ограничение охвата неба склонением -27^0 (первоначальный южный лимит Паломарского обзора); б) установление автором верхней границы на $z=0.2$ (хотя некоторые из включенных скоплений имеют большие красные смещения); в) возможные систематические ошибки в шкале звездных величин; г) населенность скоплений дана только через класс богатости; д) включение в обзор богатых скоплений определенных только Эйбеллом.

В некоторой степени прогресс внегалактической астрономии в южном небе в свое время был затруднен из-за этих недостатков. Это побудило Эйбелла в 1975 г. начать создавать «южный обзор богатых

скоплений», основываясь на глубоких Ша-*J* пластинках Южного Обзора Неба (SSS), полученного на Великобританском 1.2-метровом телескопе Шмидта в Австралии. Эйбелл для создания своего каталога воспользовался помощью Корвина и Олвина. Работа была приостановлена из-за внезапной смерти Эйбелла в октябре 1983 г. В 1984 г. Чинкарини из Оклахомского университета предложил Корвину завершить работу. Результатом этого стала южная часть «Эйбелловского каталога богатых скоплений», была дополнена и скорректирована северная часть каталога. И в 1989 году был издан «Каталог богатых скоплений» Эйбелла, Корвина и Олвина (АСО-каталог).

Новый каталог включает 4076 богатых скоплений северного и южного полушарий. Каждое скопление имеет по крайней мере 30 членов внутри интервала величин от m_3 до m_3+2 , а также имеет номинальное красное смещение меньше чем 0.2.

АСО-каталог включает в себя: α и δ скоплений за эпохи 1950 и 2000 годов; внегалактическую долготу l и галактическую широту b скоплений за эпоху 1950 года; исправленные за фон подсчеты членов скоплений в интервале величин от m_3 до m_3+2 ; для северного обзора приводятся прямоугольные координаты (в миллиметрах) на Паломарских снимках; для южного обзора – номер поля SSS, в котором располагается скопление, и прямоугольные координаты видимого центра скопления относительно центра поля SSS, а также прямоугольные координаты центра скопления относительно нижнего края поля пластинки SSS; классы богатости и расстояния; морфологию скоплений по системе Эйбелла и Бойца-Моргана (типа по Эйбеллу только для южного обзора); известные красные смещения скоплений; красные звездные величины десятых по яркости галактик скоплений, исправленные за галактическое поглощение по формуле (5); для южного обзора приводится взвешенные средние V величины первых, третьих и десятых по яркости галактик (V_1, V_3, V_{10} соответственно) не исправленные за галактическое поглощение.

Каталог состоит из 4 таблиц. Первая таблица включает северные богатые скопления, пронумерованные от 1 до 2712, вторая – южные скопления – от 2713 до 4076. Третья таблица является приложением ко 2-й, в ней располагаются не достаточно богатые или очень удаленные скопления (нумерация от S1 до S1147). И четвертая таблица представляет данные скоплений, находящихся в десятиградусной перекрывающейся зоне (от -17^0 до -27^0) Паломарского обзора неба и обзора UKST (обзор по Великобританскому телескопу Шмидта). В этой зоне отмечено 275 скоплений, по параметрам которых были редуцированы значения южного и северного обзоров.

Выше указывалось, что производился отбор скоплений, включающих по крайней мере 30 членов в интервале от m_3 до m_3+2 . Триангулярное сравнение полученных авторами стандартных отклонений σ в подсчетах галактик показало, что для Эйбелловских северных и южных подсчетов $\sigma = \pm 19$, для Корвина $\sigma = \pm 18$, для Олвина $\sigma = \pm 17$. Поэтому авторами принято стандартное отклонение $\sigma = \pm 18$ для подсчетов обоих обзоров. Среднее число галактик в скоплениях в данном интервале звездных величин в южном обзоре – 60, для северного – 64, это соответствует полученным по стандартным отклонениям неопределенностям в 30% для юга и 28% для севера. Это значительно больше чем 17% внутренней неопределенности, определенной Эйбеллом для северного обзора. Авторы подчеркивают, что, учитывая различный материал пластинок, разницу в технике подсчетов, шкалах звездных величин, количестве наблюдений и т.д., то большие ошибки для южных подсчетов могут быть не так неожиданными. К тому же еще указывается разница в способах исправлений подсчетов за фон. Эйбелл в 1958 г. использовал подсчеты вблизи каждого скопления для определения фоновой коррекции. В 1989 г. для этой цели использовали функцию светимости для «поля» галактик. Учитывая все выше сказанное можно заключить, что каталог 4076 скоплений является «полным» для скоплений с 50 или более членов в интервале величин от m_3 до m_3+2 . Также указывается на возможное наличие «ложных» скоплений – возможно, что 25% северных скоплений являются следствием случайных «суперпозиций», резко возрастающих около границы пластинок. Также вероятно, что истинное галактическое население меньше указанного состава скоплений.

Эйбелл для северной части каталога нашел значение стандартного отклонения в оценках звездных величин $\sigma = 0.19$. Большой разброс σ для первых, третьих и десятых по яркости галактик каталога получается за счет различной плотности фона пластинок. Сравнивая звездные величины ярчайших галактик, оцененных авторами независимо друг от друга, были обнаружены большие различия в их значениях, возникших возможно вследствие различных эффектов селекции: выбор различных галактик как ярчайшего члена скопления, или в качестве такой галактики выбиралась галактика переднего фона.

При построении зависимости «красная видимая величина m_{10} – красное смещение z » по известным z для галактик южного полушария авторы обнаружили отклонения для ярчайших галактик от заранее предсказанной линейной корреляции. Поэтому ими было предложено несколько зависимостей $\log cz(m_{10})$ для различных интервалов звездных величин.

Диапазон отклонения от линейного соотношения составляет приблизительно ± 0.3 (в $\log cz$). При нахождении красных смещений были предложены следующие ограничения на отбор галактик: если z для галактики находящейся внутри одного Эйбелловского радиуса от центра скопления больше, чем на ± 0.6 (в $\log cz$) отклоняется от предсказанного z , тогда галактику относили к объекту фона или переднего плана. Галактики, для которых величина отклонения лежала в интервале от ± 0.3 до ± 0.6 (в $\log cz$), считались возможными членами скопления.

Таким образом АСО-каталог базируется на визуальных обзорах видимой плотности галактик, некоторые его параметры получены путем аппроксимации, и поэтому его нельзя принимать как точный каталог богатых скоплений, а скорее определить как обзор видимых скоплений галактик, которые нуждаются в дальнейших исследованиях.

Далее рассмотрим каталог Цвики, необходимость включения которого в работу была предложена для сравнения статистических данных обоих каталогов.

3.2 Каталог Цвикки.

Каталог Цвикки, составленный в 1968 г., включает порядка 10 тысяч скоплений, выделенных по снимкам, полученных на 48-дюймовом телескопе Шмидта, до $\delta = -3^0$.

Каталог содержит следующие таблицы и карты:

1) Таблицы, дающие положение и видимые фотографические величины «всех» галактик ярче 15^m и многих галактик слабее 15^m .

2) Таблицы, дающие положение, диаметры, количество членов и оценки расстояний всех скоплений галактик, ясно различимых на панхроматических пластинках.

3) Карты, вычерченные в масштабе пластинок. На карты нанесены контуры всех исследованных скоплений галактик.

Цвикки считал скопление богатым, если оно в интервале звездных величин от m_1 до m_1+3 насчитывает более 50 членов, где m_1 – величина ярчайшего члена скопления. На снимках вокруг центральных сгущений каждого такого скопления были проведены (преимущественно на глаз) изоплотности, или контуры равной населенности, вдоль которых плотность числа галактик примерно в два раза больше, чем плотность галактик поля. Приведенная в каталоге населенность скопления представляет собой число галактик, видимых на площади, ограниченной этим контуром, минус удвоенное число галактик, содержащихся на такой же площади в соседнем участке поля.

Цвикки разделил скопления на три класса:

1) Компактные скопления – с одной большой центральной конденсацией галактик, содержащей десяток или более галактик, находящихся в контакте.

2) Скопления средней компактности либо имеют две или большее количество крупных конденсаций, либо, если существует только одна доминирующая большая конденсация, галактики видны в ней не в контакте друг с другом, а разделены расстоянием вдвое или втрое превышающим диаметры галактик.

3) Рассеянные скопления – не показывают какой-либо выделяющейся концентрации членов.

По расстоянию Цвикки делит скопления на близкие N (до 15 Мпс), средней удаленности MD (от 15 до 30 Мпс), удаленные D (от 30 до 45 Мпс), очень удаленные VD (от 45 до 60 Мпс) и чрезвычайно удаленные ED (свыше 60 Мпс).

В подсчетах каталога наблюдается корреляция числа скоплений различной населенности с категориями удаленности скоплений. Она возникает вследствие того, что числа галактик, отвечающие населенности, не относятся к действительной населенности скопления, т.к. в близком скоплении в пределах обнаружения на пластинке будет находиться больше галактик, чем в далекой с такой же населенностью. Также из Цвикковских наблюдений можно заключить, что на расстоянии до 30 Мпс в пространстве чаще встречаются скопления 2-го и 3-го типов компактности. Однако по мере перехода к большим расстояниям доля таких скоплений быстро уменьшается, их число возрастает медленно, а затем даже начинает убывать. Среди ближайших скоплений больше всего рассеянных, затем средней компактности и менее всего компактных. Среди наиболее удаленных скоплений, группы по численностям следует в обратном порядке.

Эйбелл указал, что скопления в каталоге Цвикки не являются полностью статистически однородными по крайней мере по трем причинам:

1. Контур изоплотности вокруг центров скопления, соответствующие удвоенной плотности поля, содержат большую долю полного числа объектов в близком скоплении, чем в далеком скоплении такой же населенности и структуры.

2. Доля населения скопления, заключенная внутри линии изоплотности, зависит также от структуры скопления.

3. Возможно, что абсолютная величина ярчайшей галактики скопления значительно меняется от одного скопления к другому и, очевидно, ярче в богатых скоплениях. Также существует вероятность того, что выбранный ярчайший член скопления является галактикой поля. Это влияет на число галактик, т.к. оно сильно зависит от значения, выбранного за интервал ярчайших величин.

3.3 Отождествление каталогов Эйбелла и Цвикки.

Для северного неба имеются два каталога скоплений – Эйбелла (1958) и Цвикки с сотрудниками (1968). Исходным материалом для обоих каталогов служили снимки Паломарского обзора, но методика выделения скоплений и определения их параметров в этих каталогах различны. В работе И.А. Лебедевой (САО РАН, «Астрономический циркуляр», № 1469, 1986) была реализована процедура автоматического отождествления скоплений из обоих каталогов. При этом использовалась следующая информация: координаты скоплений,

их размеры, классы расстояний и богатства. Эти классы были предварительно приведены к одинаковой для обоих каталогов шкале. В результате было найдено 1845 скопления Эйбелла, на которые имеются претенденты в каталоге Цвикки.

Часть 4. Вириальные массы скоплений и проблема вириального парадокса.

Чаще всего для определения масс скоплений галактик применяют теорему о вириале. Данная теорема формулируется следующим образом: для всякой гравитационно связанной системы ее средняя по времени потенциальная энергия гравитационная энергия P по модулю равна удвоенной средней по времени кинетической энергии движения частиц системы T :

$$P = -2T \quad (7)$$

Для системы N галактик с проекционным расстоянием между ними, обозначаемым через R_{ij} , и где v_i – компонента скорости по лучу зрения i -й галактики, учитывая центр масс, допуская сферическую симметрию и вириальное равновесие (т.е. выполнение условия (7) для данной системы), массу скопления M_V можно оценить из формулы:

$$M_V = \frac{3\pi}{G} \sigma_V^2 R_H, \quad (8)$$

где σ_V^2 – величина дисперсии скоростей по лучу зрения, R_H – проекционный средний гармонический радиус (или «вириальный» радиус):

$$R_H = \left(\frac{2}{N(N-1)} \sum_{i < j} R_{ij} \right)^{-1}$$

$$\sigma_V^2 = \sum_1^N \frac{(v_i - v_o)^2}{N},$$

где v_o – средняя лучевая скорость скопления.

Если система устойчива, то алгебраическая сумма обоих видов энергий, т.е. полная энергия, должна быть отрицательной:

$$T + P < 0. \quad (9)$$

Необходимо напомнить о затруднениях, с которыми столкнулись астрономы, применяя теорему о вириале к скоплениям и группам галактик. Вычисления показали, что для многих скоплений условие (9) не выполняется – сумма энергий получается положительной, что говорит о неустойчивости скоплений. Получается так, что вириальные массы скоплений примерно на два порядка превышают значения «видимой» массы, определяемой суммированием масс видимых отдельных галактик, которые оцениваются по зависимости «масса - светимость» для галактик. Эта проблема получила название «вириального парадокса». Для «спасения» устойчивости было сделано предложение о наличии в скоплениях большого количества вещества, не дающего заметного вклада в наблюдаемое излучение, «скрытой» массы. На данный предполагаются самые разные формы существования невидимой материи: карликовые и гигантские галактики с низкой поверхностной яркостью; космическая пыль; нейтральный или ионизованный газ; странные объекты в галактических гало - MASCOs (MASSive Compact Objects) и MACHO (MASSive Compact Halo Objects); загадочные «темные» галактики, которые состоят из газа, плотность которого оказалась недостаточна для массового образования звезд. В качестве претендентов на «темную» материю также рассматриваются небарионные, «зеркальные» и прочие экзотические элементарные частицы. Есть и попытки альтернативного объяснения проблемы вириального парадокса с помощью модифицированных теорий гравитации.

При вычислении вириальных масс скоплений наблюдается существенные различия в этих оценках для одних и тех же группировок. Неоднозначность результатов можно объяснить наличием субструктур в некоторых скоплениях; возможным «загрязнением» той или иной группировки галактиками, не принадлежащими к ней; отсутствием информации о распределении «темного» вещества по объему скопления; наличием массивных темных гало у некоторых галактик скоплений и т.д.

Т.А. Агекян показал, что неустойчивость и распад (если они действительно существуют) не означают обязательно полную неустойчивость и полный распад. Если $T > P$, то распад, уход из скопления членов неизбежен. Но после того как из скопления уйдут самые «быстрые» галактики, кинетическая энергия скопления уменьшится и может стать меньше потенциальной энергии – и тогда будет достигнута устойчивость.

Часть 5. Вычисление масс скоплений галактик.

5.1 Галактики с низкой поверхностной яркостью.

Не обнаружение «скрытой» части вещества в скоплениях галактик в принципе не должно быть неожиданным. Причиной ускользания некоторых астрономических объектов из исследований могут являться ограничением используемых выборок по видимой звездной величине, по видимым диаметрам и видимой поверхностной яркости. Вследствие этого наблюдаемые функции светимости и функции масс скоплений в области малых светимостей и малых масс сильно искажены, и такие как, галактики малых размеров и гигантские галактики низкой поверхностной яркости не попадают в выборки.

О существовании таких галактик с низкой поверхностной яркостью (LSBG - Low Surface Brightness Galaxies) начали говорить в 90-е годы. Одна из первых гигантских дисковых LSBG с диаметром диска в 55 кпс и полной массой нейтрального водорода в ней порядка $10^{11} M_{\odot}$ (M_{\odot} - масса Солнца) и с центральной поверхностной яркостью $S_x \cong 26.5$ в В величинах на угловую секунду² (B_{μ}).

Высказывается предположение о существовании LSBG гигантов в большом количестве. В работе Филлипса, Диснея, Кибблиуайта и Каусона (1987 г.) обсуждаются результаты исследования фотометрии галактик в скоплениях Fornax, Virgo и др. Указывается об открытии в них LSBG и галактик с очень низкой поверхностной яркостью (VLSBG). Эти галактики имеют поверхностную яркость $S_x \geq 22.5 B_{\mu}$, а VLSBG - $S_x \geq 26.5 B_{\mu}$ (для «нормальных» галактик $S_x < 22.5 B_{\mu}$). В скоплениях Fornax LSBG исследовались в интервале M_B от -14.4^m до -11.9^m . Также указывается, что количество LSBG возрастает в направлении слабых звездных величин, а также что LSBG могут иметь различные массы.

На данный момент в Местной группе, а также ближайших группах галактик обнаружено около 600 карликовых галактик с низкой светимостью. В 2004 и 2005 годах были открыты карликовые галактики с рекордно низкими поверхностными яркостями. В 2004 г. Была обнаружена новый карликовый сфероидальный спутник галактики M31: Андромеда IX. Спутник обладает крайне низкой поверхностной яркостью из всех известных галактик: ~ 26.8 звездных величин/кв. сек. А в 2005 г. по данным Слоановского цифрового обзора неба в созвездии Большой Медведицы открыли аналогичный спутник нашей Галактики. Расстояние до галактики составляет около 100 кпк.

Ряд авторов предполагает, что галактики с рассматриваемыми свойствами, возможно, являются весьма (а вероятно и наиболее) распространенными типами галактик во Вселенной.

Таким образом, если принять, что в скоплениях находится достаточное количество LSBG различных типов и масс, то для большинства скоплений можно разрешить «парадокс неустойчивости».

5.2 Нахождение масс скоплений галактик.

Для решения данной задачи предлагается определенный алгоритм нахождения масс скоплений из каталога АСО и Цвикки с помощью функции светимости Шехтера.

Напомним вид ФС Шехтера:

$$\varphi(L)dL = \varphi^*(L/L^*)^{\alpha} \exp(-L/L^*) d(L/L^*), \quad (10)$$

где α и L^* - параметры ФС. α - дает наклон ФС, когда $L \ll L^*$ (L^* - отвечает за быстрое изменение ФС на ярком конце); φ^* - число галактик на единицу объема.

Интегрируя ФС по всему интервалу светимостей галактик скопления, получим полную светимость скопления L_t :

$$L_t = \varphi^* \int_{L_{\min}}^{L_{\max}} L (L/L^*)^{\alpha} \exp(-L/L^*) d(L/L^*), \quad (11)$$

где L_{\min} - средняя светимость карликовых и LSB галактик, L_{\max} - средняя светимость ярчайших членов скопления (сD-галактик, гигантских E/SO- и S-галактик). Для этих величин были приняты следующие значения: $L_{\min} = 8.39 \cdot 10^4 L_{\odot}$ ($M = -8^m$), $L_{\max} = 2.11 \cdot 10^{11} L_{\odot}$ ($M = -24^m$).

Умножая L_t на некий множитель K , размерность которого выражена в единицах M_O/L_O , найдем массу скопления M_L :

$$M_L = \kappa L_t. \quad (12)$$

φ^* в уравнении (11) находится по формуле:

$$\varphi^* = C / \int_{L_a}^{L_b} (L/L^*)^\alpha \exp(-L/L^*) d(L/L^*), \quad (13)$$

где C – подсчеты галактик скоплений в интервале звездных величин от m_i до m_i+n (для АСО-каталога – индекс $i=3$, а $n=2$; для подсчетов Цвикки – $i=1$, $n=3$); L_a – светимость, соответствующая m_i ; L_b – соответствует m_i+n . В формуле (13) в величину φ^* по умолчанию включено значение объема пространства, в котором производились подсчеты галактик. Для АСО-каталога величина этого объема есть константа. Цвикки же подсчитывал галактики в разных и неправильной формы контурах. Чтобы нормировать значения подсчетов Цвикки к оценкам Эйбелла, надо подсчеты Цвикки умножить на коэффициент, равный отношению площади круга с радиусом, равным одному Эйбелловскому радиусу $r_a=5.15 \cdot 10^{15}/cz$ в угловых минутах, к площади круга, эквивалентному площади контура, проведенным Цвикки для скопления с красным смещением z . Радиусы r_{zw} (в угловых градусах) кругов для оценок Цвикки брались из его каталога. Площадь такого круга в квадратных угловых минутах есть суть величины $(r_{zw} \cdot 60)^2$.

В АСО-каталоге некоторые табличные параметры приводятся не для всех скоплений. Красные величины m_3 не указываются совсем. V_3 приводятся только для южной части каталога. Оценки z приводятся также только для отдельных скоплений. Цвикки в своем каталоге не указывает значения m_1 .

Сотрудником САО РАН В.С. Лебедевым был создан каталог, объединяющий и дополняющий данные каталогов АСО и Цвикки. Для объединения каталогов использовалась упомянутая выше работа И.А. Лебедевой. Восстановление недостающих параметров производилось с помощью построения зависимостей имеющихся данных от m_{10} , значения которой даны для всех скоплений. Так, путем аппроксимации были получены оценки V_3 для северной части АСО-каталога; оценки z для всех скоплений того же обзора. Для нахождения значений m_1 использовалась зависимость $m_1(m_{10})$, где m_1 взяты из работы Лайра и ван ден Берга (1977 г.) Для северного обзора АСО были также найдены оценки V_1 и V_{10} . Значения L_a и L_b находились с помощью формул (4), (5) и (7).

Для найденных оценок m_3 в формуле (7) от m_i дополнительно отнималось значение показателя цвета (V-R). Показатель цвета находился по величинам V_{10} и m_{10} для перекрывающейся зоны АСО-каталога и сверялся с оценками колор-индекса для всей выборки АСО-каталога. Значения (V-R) находились для различных интервалов m_{10} . Полученные результаты приведены в следующих таблицах 3 и 4 и на рис. 1 и 2.

Табл. 3. Показатель цвета (V-R) для перекрывающейся зоны АСО-каталога.

Интервалы m_{10}	(V-R)	Дисперсия σ	Число галактик с данным (V-R)
14.5-15.0	0.08	0.00	1
15.0-15.5	0.18	0.17	2
15.5-16.0	0.12	0.22	11
16.0-16.5	0.16	0.51	15
16.5-17.0	0.46	0.59	33
17.0-17.5	0.37	0.64	86
17.5-18.0	0.40	0.33	95
18.0-18.5	0.06	0.34	29

Табл. 4. Показатель цвета (V-R) для всей выборки АСО-каталога.

Интервалы m_{10}	(V-R)	Дисперсия σ	Число галактик с данным (V-R)
13.0-14.0	1.10	1.10	36
14.0-15.0	0.69	0.12	75
15.0-16.0	0.69	0.12	340
16.0-17.0	0.63	0.12	886
17.0-18.0	0.46	0.07	2340
18.0-19.0	0.29	0.05	411

Рис. 1. Гистограмма зависимости показателя цвета (V-R) от фотокрасной видимой величины m_{10} для перекрывающейся зоны АСО-каталога.

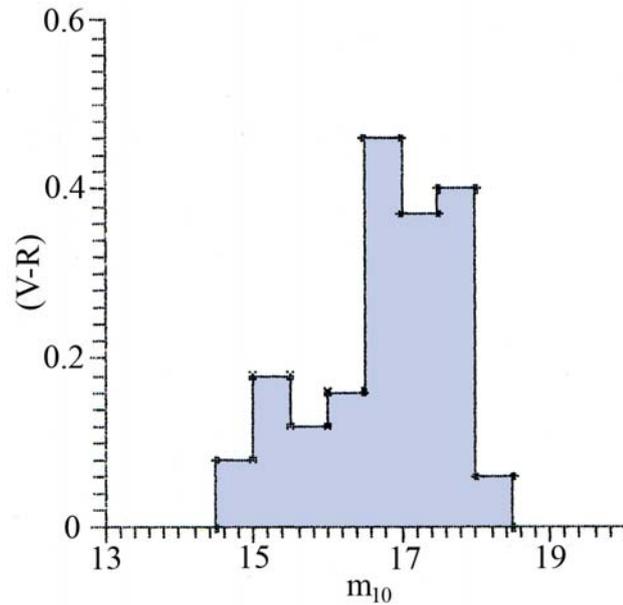
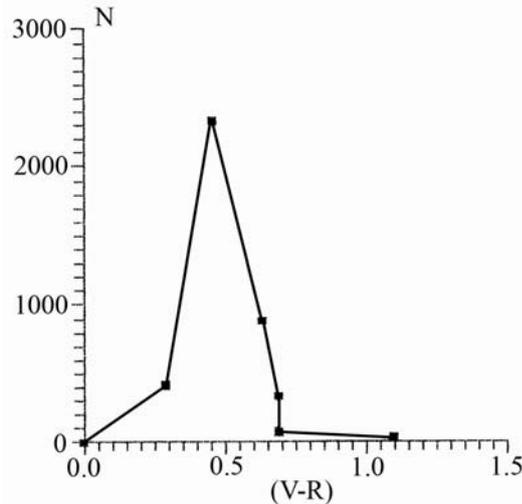


Рис. 2. Функция распределения показателя цвета (V-R) для АСО-каталога.



Анализируя результаты, в данной работе было принято значение $(V-R)=0.46$.

Теперь опишем процедуру нахождения параметра ФС α и коэффициента K в формуле (12). Для «стандартной» ФС, т.е. для ФС Шехтера, построенной для «видимого» вещества, примем следующие значения параметров: $\alpha=-1.25$, $M^*=-22.4^m$ ($L^*=4.831 \cdot 10^{10} L_{\odot}$).

Чтобы ФС учитывала карликовые и LSB галактики, необходимо уменьшить значение α , т.е. чтобы кривая функции на слабом конце лежала выше кривой «стандартной» функции. Таким образом, задача состоит в том, чтобы подобрать такое значение α ФС Шехтера, при котором бы в оценках масс скоплений не наблюдался «парадокс неустойчивости».

Коэффициент K подбирался таким образом, чтобы мы имели весь спектр масс галактик скоплений, включающий как «видимые» галактики, так и карликовые и LSB галактики. Т.е. K должен быть функцией светимости. Запишем его в следующем виде:

$$K = \kappa_* (L / L^*)^\beta, \quad (14)$$

где κ_* - значение отношения «масса галактик - светимость» $M/L=f$ при $L=L^*$. κ_* был найден из рисунка 3, на котором изображена зависимость известных средних значений f от соответствующих им средним светимостей. В таблице 5 приведены значения f (в солнечных единицах) и средние L (в эрг/с) для различных типов галактик, взятые из различных работ.

Рис. 3. Зависимость средних M/L для галактик различных типов от соответствующих им средних светимостей ($L^* = 4.831 \cdot 10^{10} L_0$).

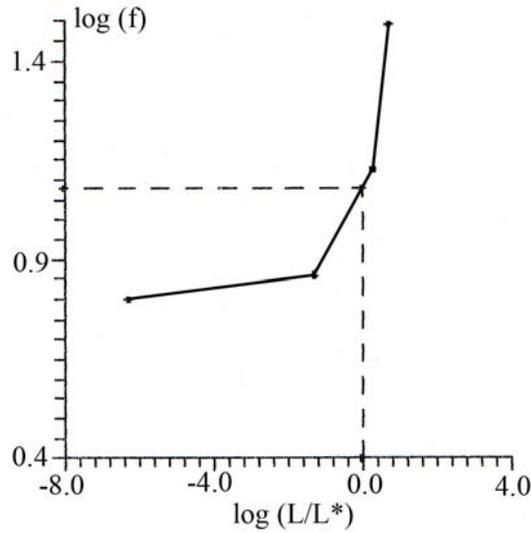


Табл. 5. M/L и L для различных типов галактик.

Типы	E/SO	S	I	карликовые галактики
M/L	40.0	40.0	10.0	10.0
	33.0	20.0	9.6	5.0
	30.0	14.0	7.5	4.0
	20.1	8.5	5.0	
		7.5	4.0	
		7.0		
		5.6		
		4.0		
средние M/L	31.0	13.34	7.22	6.33
средние L (эрг/с)	$1 \cdot 10^{45}$	$1 \cdot 10^{44}$	$1 \cdot 10^{43}$	$1 \cdot 10^{38}$

Итак, значение $\kappa_* = 12.02$. Показатель степени $\beta = -0.2$. Этому значению β соответствуют интервалы масс от $5.4 \cdot 10^6 M_0$ до $2.16 \cdot 10^{12} M_0$, и M/L от 217.3 до 8.6 при изменении L от $2.5 \cdot 10^4 L_0$ до $2.5 \cdot 10^{11} L_0$.

Теперь формулу (11) можно переписать в виде:

$$L_t = \varphi^* \int_{L_{\min}}^{L_{\max}} L(L/L^*)^{\alpha+\beta} \exp(-L/L^*) d(L/L^*), \quad (15)$$

Тогда формула (12) будет представлена в виде:

$$M_L = \kappa_* L_t \quad (16)$$

В уравнении (15) светимость L входит с показателем степени $1+\alpha+\beta$. Интегралы в (13) и (15) считалось с помощью неполной гамма-функции $\gamma(a, x)$:

$$\gamma(a, x) = \int_0^x e^{-t} t^{a-1} dt. \quad (17)$$

Для численного интегрирования (17) использовались следующие уравнения: $\gamma^*(a, x) = \frac{x^{-a}}{\Gamma(a)} \gamma(ax)$;

$$\gamma^*(a, x) = e^{-x} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{x^n}{\Gamma(a+n+1)} = \frac{1}{\Gamma(a)} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-x)^n}{(a+n)n!}.$$

Соответствующие вычисления приводят (17) к следующему виду:

$$\gamma(a, x) = x^a \left[\frac{1}{a} + \sum_{n=1}^{\infty} A_{n-1} \frac{(-x)(a+n-1)}{n(a+n)} \right], \quad (18)$$

где $A_{n-1} = \frac{(-x)^{n-1}}{(a+n-1)(n-1)!}$.

Интегралы в (11) и (16) находились при помощи уравнений:

$$\int_{L_{\min}}^{L_{\max}} = \int_0^{L_{\max}} - \int_0^{L_{\min}}; \quad \int_{L_a}^{L_b} = \int_0^{L_b} - \int_0^{L_a}. \quad (19)$$

Нахождение необходимого значения α производилось для скопления A1656 (Soma), используя уравнения (18) и (19). При параметрах этого скопления в АСО-каталоге была найдена оценка параметра ФС $\alpha = -1.797$. При этом значении α масса скопления Soma равна $M_L = 1.4934 \cdot 10^{15} M_{\odot}$, что хорошо согласуется с вириальными оценками массы скопления (различные источники дают следующие значения вириальной массы скопления в единицах солнечной массы: $1.85 \cdot 10^{15}$, $1.5 \cdot 10^{15}$, $9.3 \cdot 10^{14}$, $2.0 \cdot 10^{15}$, $1.2 \cdot 10^{15}$). Если производить эти расчеты при параметрах Soma из каталога Цвикки, тогда $M_L = 1.03 \cdot 10^{16} M_{\odot}$ (о некотором соответствии оценок масс скоплений Эйбелла и Цвикки будет сказано чуть ниже).

Таким образом, нахождение масс скоплений для всей выборки АСО-каталога и скоплений Цвикки, отождествленных с Эйбелловскими скоплениями, производилось при $\alpha = -1.797$, $\beta = -0.2$, $\kappa_* = 12.02$, $L^* = 4.831 \cdot 10^{10} L_{\odot}$ и пределах интегрирования указанных выше. Все полученные оценки масс хорошо согласуются с величинами оценок вириальных масс скоплений галактик. На рисунках 4, 5 и 6 изображены полученные гистограммы распределений масс скоплений галактик для всей выборки АСО-каталога (рис. 4), для рассматриваемых скоплений Цвикки (рис. 5) и для скоплений Эйбелла, отождествленных со скоплениями со скоплениями Цвикки (рис. 6).

Рис. 4. Гистограмма распределения масс скоплений галактик (в солнечных единицах) для всей выборки АСО-каталога.

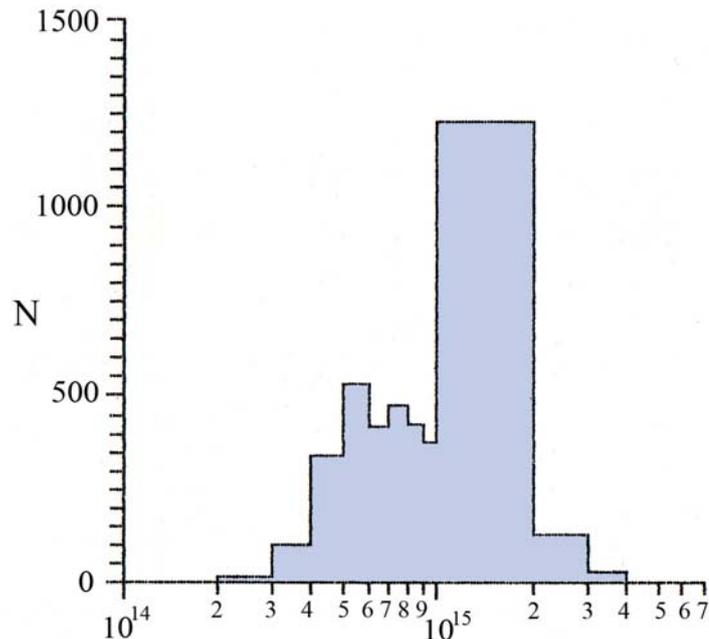


Рис. 5. Гистограмма распределения масс скоплений Цвикки (в солнечных единицах), отождествленных со скоплениями Эйбелла.

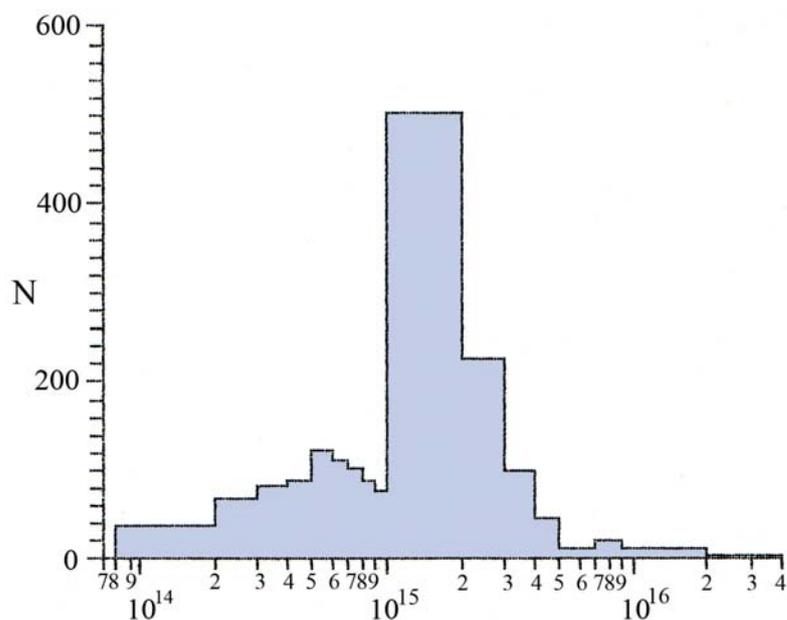
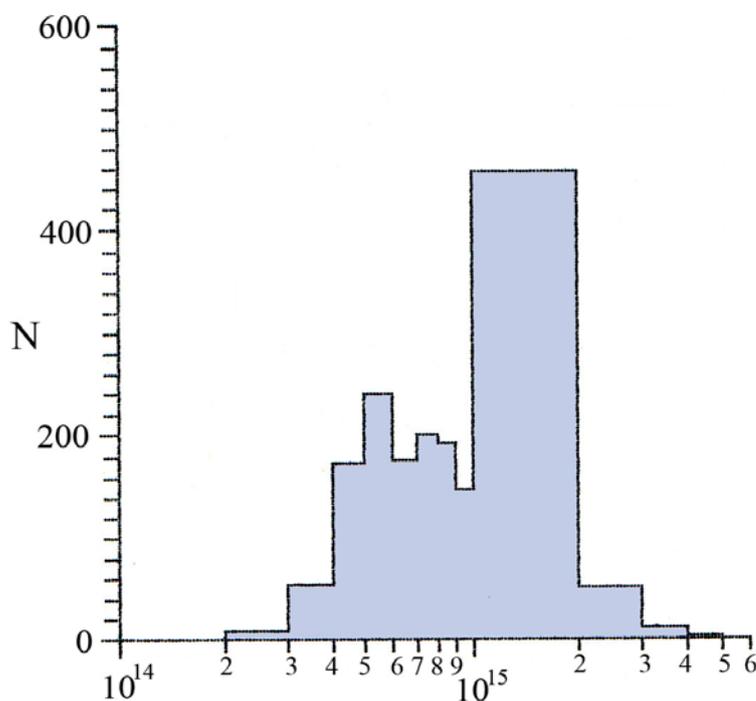


Рис. 6. Гистограмма распределения масс скоплений Эйбелла (в солнечных единицах) для выборки Цвикки.



Независимо оттого, что подсчеты Цвикки были нормированы к площади Эйбелловских подсчетов, наблюдается некоторое несоответствие оценок масс для скоплений, обнаруженных этими наблюдателями. Коэффициент корреляции для масс скоплений Эйбелла и Цвикки получился порядка нуля. Данное несогласование результатов возможно возникло вследствие различных неопределенностей и погрешностей, которыми обременены оба каталога. Особенно это относится к данным Цвикки. Предложенная им процедура отождествления скоплений и проведения подсчетов их членов является не совсем корректной. Значительные эффекты селекции, свойственные каталогу Цвикки, уже указывались выше.

Литература:

1. Агемян Т.А. «Звезды, галактики, Метагалактика», М.: «Наука», 1981.
2. Аллен К.У. «Астрофизические величины», 1977.
3. Воронцов-Вельяминов Б.А. «Внегалактическая астрономия», М.: «Наука», 1972.
4. Воронцов-Вельяминов Б.А. «Астрономический журнал», т. 47, вып. 2, 1970.
5. Горбачкий В.Г., Крицук А.Г. «Итоги науки и техники», ВИНТИ сер. астрон., т. 29, 1987.
6. Дэвис Ф., в книге «Справочник по специальным функциям», М.: «Наука», 1979.
7. Лебедев В.С., сборник докладов на I Всесоюзном семинаре «Новые идеи и альтернативные взгляды в космологии», 1991.
8. Лебедева И.А. «Астрономический циркуляр», № 1469, 1986.
9. Ленг К. «Астрофизические формулы», т. 2, 1978.
10. Псковский Ю.П., в книге «Физика космоса. Маленькая энциклопедия», М.: «Советская энциклопедия», 1986.
11. Beth Willman et al. «Astrophysical Journal», vol. 626, 2005.
12. Leir A.A., van den Bergh S. «Astrophysical Journal Supplement Series», vol. 34, № 2, 1977.
13. Lucey J.M. «Monthly Notices of the Royal Astronomical Society», vol. 204, № 1, 1983.
14. Luger P.M. «Astrophysical Journal», vol. 303, № 2, 1986.
15. Oemler A. «Astrophysical Journal», vol. 194, № 1, 1974.
16. Oke J.B. «Astrophysical Journal», vol. 170, № 2, 1971.
17. Olowin R.P. «11th Krakow Summer School Cosmology», 1988.
18. Perea J., del Olmo A., Moles M. «Astronomy and Astrophysics», vol. 237, № 2, 1990.
19. Phillips S., Disney M.J., Kibblewhite E.J., Cawson G.M. «Monthly Notices of the Royal Astronomical Society», vol. 229, № 3, 1987.
20. Sandage A.R. «Astrophysical Journal», vol. 133, № 2, 1961 (перевод в кн. «Наблюдательные основы космологии», М.: Мир, 1965).
21. Sandage A.R. «Astrophysical Journal», vol. 135, № 2, 1962.
22. Sandage A.R. «Astrophysical Journal», vol. 183, № 3, 1973.
23. Sandage A.R., Oke J.B. «Astrophysical Journal», vol. 154, № 1.
24. Shechter P. «Astrophysical Journal», vol. 203, № 2, 1976.
25. Shapiro S.L. «Astronomical Journal», vol. 76, № 4, 1971.
26. Shild R., Oke J.B. «Astrophysical Journal», vol. 169, № 2, 1971.
27. Smith H., Rood H.J. «Astrophysical Journal», vol. 270, № 2, 1983.
28. Stribble M.F., Rood H.J. «Astrophysical Journal», vol. 323, № 2, 1987.
29. Whitford A.E. «Astrophysical Journal», vol. 169, № 2, 1971.
30. Zucker D.B. et al. «Astrophysical Journal», vol. 612, 2004.
31. Zwicky F., в кн. «Строение звездных систем», ИЛ, 1962.
32. Zwicky F., etc. «Catalogue of Galaxies and of Clusters of Galaxies», I-VI, Zurich, 1961-1968.