

В. Б. Никонов. Важно пронаблюдать в системе U - B - V все ранние звезды Плана.

Г. Т. Кеванишвили (Тбилиси). Для более 55 тысяч звезд типа A (по каталогу BD) мы вычислили модули расстояния и нанесли их на экваториальную карту, вместе с O и T ассоциациями и рассеянными звездными скоплениями по каталогу К. А. Бархатовой. В галактическом поясе $\pm 10^\circ$ по широте мы подметили 21 сгущение. Из них наиболее явно выделяются три сгущения в Персее, Лебедь и Ящерице. Исследовав расстояния за поглощение для всех звезд, входящих в эти сгущения и соседних по фону, мы определили более точно расстояния до центров сгущений, размеры, пространственную плотность и, наконец, применили неоправданно редко применяемый в астрономии метод Монте-Карло, как критерий реальности сгущений. Выяснилось, что они не могут быть результатом случайных флуктуаций в распределении звезд. Эта работа проведена на Кафедре астрономии Тбилисского государственного университета. В настоящее время в Абастумани получается спектральный материал для определения лучевых скоростей и спектротометрических градиентов для звезд сгущений.

б) Группа звездной динамики и кинематики

ДОКЛАД К. Ф. ОГОРОДНИКОВА (ЛЕНИНГРАД) НЕКОТОРЫЕ УЗЛОВЫЕ НЕРЕШЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИНАМИКИ ГАЛАКТИК И ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

1. В настоящее время имеется назревшая потребность подвести некоторые итоги развитию Динамики звездных систем за истекшие полстолетия со времени первых пионерских работ К. Шварцшильда, С. Шарлье, Дж. Джинса и А. Эддингтона, с целью наметить пути дальнейших исследований.

Разумеется, такая задача едва ли посильна одному человеку и потому ее решения следует ожидать лишь в результате более или менее широкой дискуссии. Нижеследующее имеет целью выдвинуть на обсуждение некоторые соображения общего характера, которые возникают из рассмотрения современного состояния Звездной динамики.

Несомненно, что на данном этапе Динамика звездных систем переживает известный кризис. Попытка С. Шарлье и его школы еще в 1910—1920-х годах применить к звездным системам методы статистической механики окончилась неудачей, ввиду того, что время релаксации для окрестности Солнца в Галактике оказалось порядка 10^{11} — 10^{15} лет, то есть практически бесконечно велико. Звездные системы оказались слишком разреженными и механизм статистического сглаживания распределения звездных координат и скоростей, обусловленный действием иррегулярных сил, возникающих при звездных сближениях, оказался совершенно неэффективным. Поэтому в дальнейшем все применения методов статистической механики к звездным системам ограничивались галактическими рассеянными скоплениями, для которых время релаксации имеет порядок всего 10^8 — 10^9 лет (В. А. Амбарцумян, С. Чандрасекхар). Таким образом, старинная идея, восходящая своими истоками к Дж. Дж. Томсону (лорду Кельвину) и А. Пуанкаре [1], рассматривать звездные системы по аналогии с физикой как «Звездный газ», где, вместо молекулярных соударений, действуют звездные сближения, потерпела неудачу.

В связи с этим в Звездной Динамике получило развитие направление, которое мы условно будем называть «эллипсоидальной» Звездной Динамикой. Одним из основных постулатов эллипсоидальной динамики является постулат о наличии в каждой точке звездной системы эллипсоидального закона распределения звездных скоростей типа $\varphi = \varphi(Q)$, где Q — знакоопределенная положительная квадратичная форма звездных скоростей U, V, W . Основанием для введения такого постулата является, как известно, открытие в 1907 г. К. Шварцшильдом того факта, что наблюдаемое в окрестности Солнца распределение звездных скоростей с удовлетворительной точностью представляется формулой $\varphi \sim e^{-Q}$ известной с тех пор под названием закона Шварцшильда. Звездными сближениями в эллипсоидальной динамике полностью пренебрегают. Как известно, при этих условиях уравнение Больцмана оказывается без правой части, и позволяет найти все хорошо известные выражения для зависимости круговой скорости центронда от радиус-вектора, отношения осей эллипсоида скоростей и т. д., составляющих классическую теорию галактического вращения Оорта-Линдблада. Однако, при всей ее бесспорной ценности, как первого шага в динамике нашей Галактики, классическая эллипсоидальная теория в настоящее время перестала удовлетворять возросшим требованиям, как чисто теоретическим, так и возникшим в результате накопления наблюдательного материала о нашей и других галактиках. Основная принципиальная трудность теории заключается в том, что не существует никаких физических оснований для того, чтобы в звездной системе имело место эллипсоидальное распределение скоростей. В теории газов имеется хорошо известный механизм, устанавливающий распределение Максвелла-Больцмана — соударение молекул. В звездных системах роль молекулярных соударений должна была бы, естественно, исполняться звездными сближениями, характер которых во многих отношениях сходен с характером соударений: они оба носят случайный характер, их продолжительность очень мала по сравнению со средним промежутком времени между двумя последовательными событиями обоих родов и т. д. Однако в эллипсоидальной динамике эффект звездных сближений считается ничтожным. Последовательное применение эллипсоидальной теории приводит к парадоксальным и противоречивым наблюдениям выводам. Так, известно, что масса звездных систем получается бесконечной, параметры эллипсоида скоростей (коэффициенты квадратичных членов квадратичной формы Q из закона распределения скоростей) определяются независимо от гравитационного потенциала, то есть не зависят от распределения массы внутри звездной системы. Эллипсоид скоростей получается из теории двухосным тогда как наблюдения показывают, что он — трехосный. И, наконец, теория не позволяет найти распределение массы, то есть форму и размеры звездной системы.

Параллельно с эллипсоидальной динамикой разрабатывалось еще третье направление, которое можно назвать небесномеханическим. Основателем и наиболее выдающимся представителем этого направления является Б. Линдблад. В небесномеханической теории, так же как и в эллипсоидальной, пренебрегается эффектом звездных сближений и рассматриваются семейства звездных орбит в регулярном гравитационном поле звездной системы. Хорошо известна теория Линдблада почти круговых и асимптотических орбит в экваториальной плоскости Галактики. Эта теория позволила установить возможность спиралеобразных орбит звезд на наружном ребре в экваториальной плоскости сильно

сплюсненной звездной системы. В последнее время Б. Линдبلاد при помощи особых «дисперсионных» орбит показывает каким образом звезды, двигающиеся по дисперсионным орбитам могут создавать кольцевую и спиральную структуру спиральных галактик. Однако, эти теории могут служить лишь для изучения отдельных деталей строения галактик. При помощи изучения семейств орбит индивидуальных звезд невозможно исследовать проблему о фигурах равновесия соответствующих различным типам галактик, хотя бы по одному тому, что теория, устанавливая форму орбит, не дает ответа на то какая доля всех звезд принимает участие в этом движении, то-есть какая доля всей массы галактики приходится на двигающиеся по спиралеобразным орбитам звезды и каким образом движется основная масса звезд, орбиты которых не лежат целиком в плоскости экватора. Кроме того, как известно, спиральные ветви, согласно теории, должны быть раскручивающимися в то время, как теперь, в результате драматической многолетней дискуссии, можно считать окончательно установленным, что, по крайней мере у нормальных спиралей Sa, Sb и Sc, ветви — закручивающиеся.

2. Основными задачами Звездной динамики всегда были и всегда будут три неразрывно связанные друг с другом большие проблемы: Строение, Развитие и Происхождение звездных систем, и в первую очередь галактик. К сожалению, несмотря на все успехи Звездной динамики, до настоящего времени не удалось сколько-нибудь продвинуть вперед теорию фигур галактик различных типов. Еще хуже обстоит дело с проблемой Эволюции. В настоящее время не существует никакой общепринятой схемы эволюции галактик. Мы не знаем превращаются ли эллиптические галактики в спиральные, или — наоборот, или же они существуют каждый тип сам по себе эволюционно не зависимый от других типов.

Такое состояние нельзя иначе назвать как упадком теории. С каждым десятилетием число исследователей, активно работающих в области Звездной Динамики уменьшается, а ряд крупных исследователей ныне переключился на другие области работы. С другой стороны, обратных переходов из других областей в Звездную Динамику не наблюдается уже давно. Это показывает, что в данной области не видно перспектив для существенного продвижения вперед. Симптоматичен также недавний выход из печати монографии Р. Курта. «Введение в Звездную Динамику» (2), в которой он приходит к весьма пессимистическому выводу о том, что все три перечисленные нами выше метода исследования принципиально бессильны решить задачи Звездной Динамики¹.

Я думаю, что мы, советские астрономы, должны приложить все наши усилия для того, чтобы вывести Звездную Динамику из того тупика, в котором она оказалась. И наилучшим методом решения этой задачи будет ее коллективное обсуждение. Наша конференция представляет для этого наилучшую возможность и все дальнейшие соображения будут здесь приведены в порядке обсуждения.

Во-первых, следует отметить, что развитие эллипсоидального и небесномеханического направлений в Звездной Динамике было стимулировано как раз неудачей применения статистико-механических методов. Так как время релаксации применения статистико-механических методов при звездных сближениях бесконечно, то действием иррегулярных сил при звездных сближениях можно (и нужно) пренебречь. В ста-

¹ Мы не имеем в виду здесь специально останавливаться на полемике с Р. Куртом (см. мою рецензию на эту книгу в [3]).

ционарной системе каждая звезда неограниченно долго описывает предначертанную ей начальными условиями регулярную орбиту. В нестационарной системе картина будет, в сущности, совершенно аналогична за исключением того, что гравитационный потенциал регулярных сил будет, кроме координат, являться заданной функцией времени. Итак, в Звездной Динамике без звездных сближений состояние звездной системы в целом и движения всех звезд в отдельности целиком определяются совокупностью начальных условий.

Критерием полноценности каждой динамической теории может служить возможность ее применения к решению основной проблемы: построения эволюционной картины в мире галактик. Легко видеть, что Звездная Динамика без учета сближений не позволяет построить никакой приемлемой эволюционной картины. Даже такой простейший вид эволюции, как диссипация звезд и то требует неременного участия иррегулярных сил, ибо те звезды, скорость которых превышала скорость отрыва в начальный момент, должны были бы очень скоро (за время, меньше одного собственного периода колебания системы), покинуть систему, а для дальнейшей диссипации необходимо действие иррегулярных сил. Еще труднее представить себе, чтобы в результате движения звезд по регулярным орбитам, без действия иррегулярных сил, звездная система из фигуры одного типа перешла в фигуру совсем другого типа. Наконец, при отсутствии иррегулярных сил, когда развитие звездной системы, а также ее состояние в каждый момент (при отсутствии, разумеется, внешних воздействий) полностью определяется начальными условиями возникает проблема: объяснить почему всевозможным типам начальных «догалактических» состояний соответствует лишь очень ограниченное число различных типов галактик правильной структуры (E, S, SB, SO).

3. Какой же путь для развития Звездной Динамики остается открытым? Еще Джинс в своей «Динамической теории газов» вывел гидродинамические уравнения, применимые к очень широкому классу материальных сред, состоящих из множества подобных друг другу частиц, и при самых широких предположениях о силах взаимодействия между ними. Эти уравнения, по форме полностью совпадают с уравнениями гидродинамики вязкой жидкости с той только разницей, что вместо тензора давления в них фигурирует тензор моментов второго порядка остаточных скоростей. К сожалению гидродинамические уравнения до сих пор были мало использованы.

Возникает вопрос, чем же определяются значения компонентов тензора моментов? Если попрежнему пренебрегать действием иррегулярных сил, то компоненты тензора моментов будут, как и все другие внутренние параметры звездной системы, полностью определяться начальным состоянием (совокупностью начальных условий для движения отдельных звезд) и мы снова попадаем в условия динамики без учета звездных сближений со всеми ее неприятными последствиями.

Для того, чтобы избежать этого затруднения у нас не остается ничего другого, как вернуться к иррегулярным силам и попытаться при их помощи отыскать путь для обоснования Звездной Динамики. Оставим пока в стороне вопрос об источниках иррегулярных сил. Об этом мы поговорим потом. А пока предположим, что в звездных системах типа галактик существует эффективный механизм иррегулярных сил. Следствия, к которым мы должны прийти, основываясь на этой гипотезе, будут в известном смысле противоположными следствиям из динамики без звездных сближений.

В самом деле, иррегулярные силы представляют собой вероятностный механизм, который стремится установить такое статистическое распределение пространственных и скоростных (фазовых) координат, которое является наименее вероятным для данных значений динамических параметров звездной системы: массы, энергии, кинетического момента и других, однозначно определяющих ее состояние. Иначе говоря, если без иррегулярных сил состояние системы в любой момент времени целиком зависит от ее состояния в начальный момент (то-есть от совокупности начальных значений фазовых координат составляющих ее звезд), то при наличии эффективных иррегулярных сил состояние системы практически совершенно не зависит от начального состояния, а лишь от значений динамических параметров. Под действием иррегулярных сил орбита каждой звезды за время релаксации неузнаваемо меняется так, что становится принципиально невозможным по ее движению в какой-нибудь данный момент узнать как она двигалась за время релаксации до этого.

Для систем с иррегулярными силами можно составить классификацию, основанную на их динамических параметрах. Для систем без иррегулярных сил такой классификации составить нельзя, так как состояния систем будут зависеть от распределения начальных состояний отдельных звезд.

Только при наличии иррегулярных сил можно применить к звездным системам методы обычной гидродинамики и рассматривать галактики различных типов как разнообразные фигуры равновесия вращающихся газовых масс. Наоборот, без иррегулярных сил, невозможно представить себе, чтобы начальные условия для отдельных звезд были так хитроумно подобраны, что система, первоначально имевшая какую-то иную форму, вероятно даже совершенно неправильную, — ибо трудно представить себе, чтобы галактики возникали сразу в готовом виде, — затем так расположились в пространстве, и притом не на один момент, а на длительное время, чтобы образовать, скажем, спиральную галактику *NGC 51*.

То обстоятельство, что все разнообразие различных типов галактик сравнительно ограничено так же может служить косвенным подтверждением существования в них активно действующих иррегулярных сил.

Но у нас имеются и более прямые указания на существование в галактиках иррегулярных сил. В качестве примера можно привести серию спиральных галактик *NGC 4594*, *5746*, *4565*, *4244*, составленную Воккером [4] (фото 1). Нельзя сомневаться в том, что эта серия соответствует эволюционной последовательности, т. к. в ней изменение формы сопровождается изменением физических свойств (возрастание числа сверхгигантов I типа населения), если считать линию развития, идущей сверху вниз, то есть от *NGC 4594* к *NGC 4244*, от *Sa* к *Sc*. Вместе с тем мы видим, что развитие сопровождается уменьшением центрального ядра и увеличением плоской компоненты. Но без наличия иррегулярных сил такая эволюция невозможна. Всякий, кто знаком хотя бы немного с

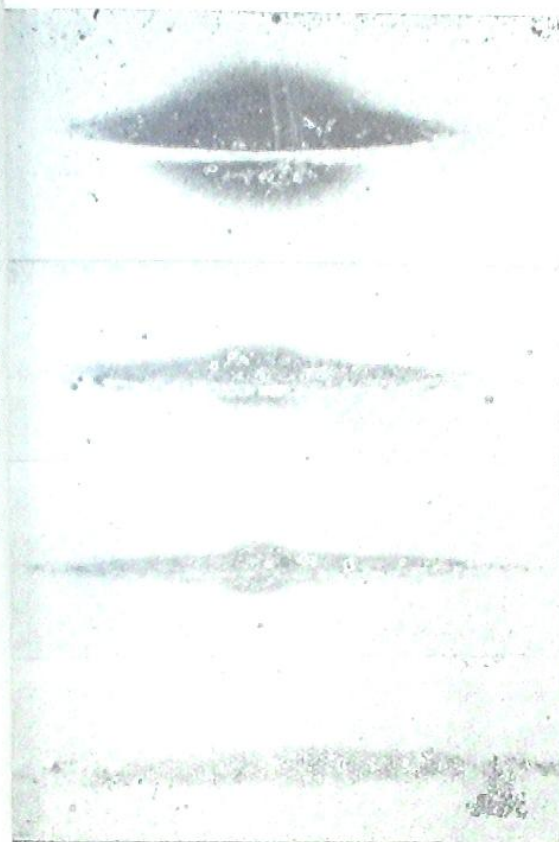


Фото 1



Фото 2



Фото 3

теорией Линдблада знает, что во всякой достаточно плоской звездной системе движение всех звезд представляет собой сложение эпитциклического движения параллельно основной плоскости с незатухающими гармоническими колебаниями в направлении z -координаты.

Что касается иррегулярных сил, то их действие аналогично действию вязкости. И тот факт, что рассасывание ядра происходит в течение жизни галактики в ее спиральной стадии развития (что не может продолжаться много оборотов ее вокруг себя), то-есть сравнительно быстро, показывает, что иррегулярные силы в спиральных галактиках действуют достаточно эффективно и время релаксации имеет одинаковый порядок с периодом вращения.

Подобно этому и обнаруженное из наблюдений закручивание спиральных ветвей, о котором мы уже говорили вначале, тоже может служить подтверждением наличия иррегулярных сил, ибо, как мы уже знаем, без них теория приводит к раскручиванию. Наоборот, гидродинамическая теория приводит к закручиванию. Поэтому совершенно прав был Воккер, который в своей недавно вышедшей полу-популярной книге (4), посвященной исследованию галактик отметил, что найденное закручивание спиралей «оставляет мало возможности для сомнения в том, что в данном случае мы имеем дело с явлениями чисто гидродинамического характера». Но гидродинамика, как мы знаем, невозможна без иррегулярных сил.

Наконец, тот факт, что в отдельных случаях наблюдается твердотельное или почти твердотельное вращение галактик (эллиптические галактики, ядра спиралей, несомненно перемычки пересеченных спиралей и т. д.) тоже может служить независимым подтверждением наличия в галактиках внутренних сил типа сил вязкости, то-есть, иррегулярных сил.

Остается последний вопрос, какие массы могут являться источником иррегулярных сил достаточной мощности. В одной из моих работ я высказал мысль, что такими массами могут являться конденсации звездно-диффузной материи типа звездных облаков в нашей галактике. Для нашей галактики достаточно, чтобы хотя бы 10% от общего числа звезд образовывали конденсации со средней массой в 10^5 — 10^6 масс Солнца. Иначе говоря достаточно наличие 10^4 — 10^5 таких конденсаций, чтобы время релаксации в Галактике имело порядок 10^7 — 10^8 лет.

В настоящее время это соображение можно рассматривать лишь как гипотезу. Однако в свете того, что было только что сказано, эту гипотезу можно считать чрезвычайно вероятной. К этому можно прибавить, что конденсации материи, о которых шла речь, вовсе не должны непременно состоять из звезд. Это могут быть с тем же успехом облака диффузно-пылевой материи, или звездно-диффузной материи вместе, как, например, известная область в созвездии Орiona, исследованная П. П. Паренаго. Наконец, это могут быть те тела из сверхплотного дозвездного вещества, на существование которых указывает В. А. Амбарцумян. Как показано в одной из недавних его работ (5), плотность вещества в таких дозвездных телах может достигать 10^{15} г. см.⁻³ и потому такого рода тела с массой порядка 10^6 Солнца будут иметь радиус порядка всего 1/10 земного.

4. Как бы там ни было, у нас имеется еще одна возможность независимой проверки правильности нашей гипотезы. Для этого мы можем попробовать вывести теоретические следствия из сделанной нами гипо-



тезы о существовании в галактиках эффективного механизма иррегулярных сил. Такого рода попытка мной сделана несколько лет тому назад и результаты ее изложены в моей монографии (6) (см. гл. X), которой я и отсылаю читателя за подробностями. Здесь же я кратко резюмирую основные результаты, нисколько не претендуя на то, что мне удалось сразу же построить сколько-нибудь полную теорию строения и развития галактик. Здесь, разумеется, дело идет лишь о первых шагах в этом направлении, однако уже они позволяют видеть те широкие возможности, которые открываются перед Звездной динамикой.

При наличии иррегулярных сил основой эволюции звездных систем является диссипация звезд, скорости которых превышают скорость отрыва. Наблюдаемые разновидности типов галактик соответствуют, как правило, точкам относительной стационарности на линиях их эволюции. В этих точках развитие замедляется и в системе, если ее масса достаточно велика, успевает в каждый данный момент установиться наименее вероятное для данных условий фазовое распределение. В простейшем случае, когда звездное население системы статистически однородно (не имеется разделения на подсистемы Кукаркина-Паренаго) распределение скоростей оказывается «изотермическим» Максвелловским. В более сложных случаях распределение скоростей зависит от характера звездного состава.

Дифференциальное уравнение Пуассона допускает частное решение с постоянной плотностью. Принимая это частное решение за исходное, мы получаем для звездных систем в качестве первого приближения классические эллипсоидальные фигуры равновесия Маклорена-Якоби. Во втором приближении, когда учитывается неоднородность системы, уравнение Пуассона дает для случая осевой симметрии (эллипсоид Маклорена) центральное уплотнение в виде ядра, и систему концентрических колец. Таким образом, кольцевая структура галактик, выступающая как простое следствие динамического равновесия в неоднородной системе. Как известно, кольцевая структура галактик — явление, столь же распространенное, как и спиральная и часто существует одновременно с последней. В своей классификации галактик Вокулер (7) отводит кольцевой структуре одинаковое значение наравне со спиральной.

В заключение отметим еще теоретическую возможность существования вытянутых, веретенообразных галактик. Она позволяет преодолеть существовавший в течение долгого времени в Звездной динамике предрассудок о том, что все вращающиеся звездные системы должны непременно обладать осевой (ротационной) симметрией, типа той, которой в полной мере обладают эллиптические и в какой то мере — обычные, то-есть непресеченные, спиральные галактики.

Однако, пересеченные галактики типа NGC 7741, где спиральные ветви явно наблюдаются нами плашмя, а основная «перекладина» наблюдается вытянутой и однородной, указывают на возможность вытянутых фигур равновесия. Несомненно, что и среди тех галактик, которых обычно причисляют к числу спиралей, видимых «с ребра», некоторая часть на самом деле имеет веретенообразное строение. Если по поводу происхождения веретенообразных галактик могли до недавнего времени быть сомнения, то теперь, после выхода в свет замечательно-го «Атласа и Каталога взаимодействующих галактик» Б. А. Воронцова-Вельяминова, а также работ Ф. Цвикки (см., например, (8)) можно естественно связать веретенообразную структуру галактик с наличием

протяженных волокон материи, являющихся, по-видимому, очагами зарождения молодых галактик. Рисунки 2—5, заимствованные из атласа Б. А. Воронцова-Вельяминова, и соответственно носящие в нем номера: 150, 250, 115 = NGC 6027 (объект Сейферта) и 165, иллюстрируют эту мысль. На рис. 2 видны четыре объекта, из которых а и с представляют сформировавшиеся галактики, а объект b — по-видимому представляет бурный процесс образования по крайней мере трех галактик, которые еще не успели отделиться друг от друга и образуют почти сплошной жгут материи. Объект d по-видимому является боковым выбросом части материи из жгута. Согласно идеям В. А. Амбарцумяна из него впоследствии должна развиться самостоятельная галактика. Объект а, вероятно, представляет веретенообразную галактику.

На рис. 3 в центре мы видим тоже жгут материи, но который уже успел более отчетливо разделиться на отдельные галактики, а, b, c, в данном случае явно представляют собой боковые выбросы, так как они связаны с основным жгутом хорошо заметными перемычками. Боковые выбросы доказывают присутствие мощных сил отталкивания при зарождении галактик.

На фото 4, который кроме номера по каталогу Б. А. Воронцова-Вельяминова 115, носит номер NGC 6027, и название «объекта Сейферта», мы видим еще один жгут, но успевший отчетливо разделиться по крайней мере на шесть отдельных галактик, связанных между собой диффузными непрерывными перемычками. Объект e — явный боковой выброс. Если справедливы идеи В. А. Амбарцумяна, то объект e можно считать галактикой, образовавшейся из бывшего на ее месте бокового выброса. Наконец, объект g представляет явно веретенообразную галактику. К этому следует прибавить, что и все остальные галактики из этого комплекса имеют заметную тенденцию к вытянутости вдоль (искривленного) направления жгута за исключением галактики f, которая, видимо, уже успела повернуться вокруг оси. Наконец, фото 5 представляет одну из многочисленных цепочек галактик, которые, вероятно, являются результатом деления материального жгута, вроде тех, которые изображены на предыдущих рисунках.

Если предыдущие соображения правильны, то мы получаем простое объяснение происхождения ветвей больших нормальных спиралей как остатков диффузных перемычек, сохранившихся у них еще с тех пор как они входили в состав жгута материи.

Литература

1. H. Poincaré, Hypothèses cosmogoniques, Paris, 1913.
2. R. Kurth, Introduction to Stellar Dynamics, Pergamon Press, London, 1957.
3. К. Ф. Огородников, А. Ж. АН СССР, 1959, 36, 746.
4. G. de Vaucouleurs, L'exploration des galaxies voisines, Massonet C-10, Paris, 1958.
5. В. А. Амбарцумян и Г. С. Саакян, А. Ж. АН СССР, 1960, 37, 193.
6. К. Ф. Огородников, Динамика Звездных систем, Физматгиз, Москва, 1958.
7. G. de Vaucouleurs, Hand. d. Physik, 53, 275, Springer.
8. F. Zwicky, Phys. Blätter, 1953, 9, 406.

Вопросы.

Р. Б. Шацова. Какое значение для Звездной Динамики может иметь изучение межгалактических магнитных полей?

К. Ф. Огородников. Изучение магнитных полей имеет важное значение. Магнитные поля сильно влияют на распределение плазмы в

пространстве. «Мосты» между галактиками, вероятно, состоят из плазмы, удерживаемой магнитными полями, ибо одних гравитационных сил недостаточно для удержания «мостов» в течение сколько-нибудь продолжительного времени, если бы они состояли из звезд. В этой связи интересно отметить, что, как известно, магнитные поля связаны с ветвями больших нормальных спиральных галактик. Повидимому, спиральные ветви этих галактик являются внутrigалактическим продолжением остатков того «моста», или жгута материи, в недрах которого они образовались в виде конденсаций.

Л. В. Мирзоян. Как понимать упоминание Вами газа как среды, из которой происходят звезды, в то время, как по известной концепции образование звезд мыслится из сверхплотного вещества?

К. Ф. Огородников. Вероятно, существует не только один процесс звездообразования. В разных условиях могут быть разные процессы. Вполне возможно, что галактики сперва образуются без звезд, или с очень небольшим числом звезд. А основная масса звезд образуется из того же сверхплотного вещества одновременно с образованием из последнего химических элементов.

Я. Я. Икауниекс. Мыслится, видимо, что формы галактик по Хабблу не связаны эволюционно?

К. Ф. Огородников. Видимо, в основном, это — так, хотя, возможно, например, что карликовые эллиптические галактики являются остатками ядер больших спиралей после диссипации их плоской компоненты.

А. С. Шаров. Не нужно ли предположить, что в «мостах» есть звезды, обеспечивающие свечение?

К. Ф. Огородников. Безусловно, для свечения «мостов» необходимо присутствие в них звезд. Однако, «мосты» не могут удерживать звезд. Поэтому в них присутствуют только молодые, недавно возникшие, голубые звезды, обеспечивающие их свечение, которое, как известно благодаря исследованиям в Бюракане, является голубым.

Мак-Крей. Не газ ли является первоначальным состоянием материи?

К. Ф. Огородников. Это — вопрос, который следует решать астрофизикам. Я рассматриваю звездодинамическую проблему и для меня важно в первую очередь наличие достаточной массы. А вопрос о том каким образом образуются звезды в данном случае не столь важен.

Е. К. Харадзе. Как вяжется все то, что известно о Магеллановых облаках, о которых имеется много наблюдательных данных, с концепцией, изложенной в докладе?

К. Ф. Огородников. Магеллановы облака являются карликовыми галактиками — спутниками нашей Галактики. Вокулер нашел «мост», связывающий Галактику с облаками.

О. А. Мельников. Как обстоит дело с иррегулярными галактиками.

К. Ф. Огородников. В каждой галактике существуют две противоположные тенденции: одна — тенденция к концентрации, которая проявляет себя как стремление принять форму фигуры равновесия, соответствующую максимуму энтропии, другая — тенденция к диссипации, которая проявляется в виде утраты галактикой ее характерных структурных форм и образованию около галактики бесструктурного, размытого облака в виде короны, а частично, в виде полного отрыва звезд от галактики. Чем больше масса звездной системы, тем сильнее в ней тенденция к концентрации. Вместе с тем, чем больше кинетическая

энергия звездных движений, тем быстрее протекает диссипация. Скорость эволюции галактики определяется скоростью ее диссипации. Медленнее всего эволюционируют галактики с большой массой и малой энергией звездных движений. Они в каждый момент своей эволюции успевают принять форму соответствующей фигуры равновесия. Они ближе всего к состоянию квазистационарности. Наоборот, галактики с малой массой и сравнительно большими скоростями звездных движений диссипируют настолько быстро, что никогда в процессе эволюции не успевают принять форму фигуры равновесия. Они остаются неправильной формы и клочковатыми. Иррегулярные галактики это — галактики с малой массой. Разумеется, между большими и малыми галактиками могут существовать галактики всех промежуточных типов. Магеллановы облака приближаются к галактикам карликового типа. У них наблюдается только небольшая тенденция к форме спиральных галактик пересеченного типа. В этом смысле карликовые эллиптические галактики представляют явное исключение. Именно поэтому приходится считать, что они как по своей правильной форме, так и по отсутствию клочковатости, являются остатками, результатом эволюции галактик с большой массой.

Б. В. Кукаркин. Если принять плазменную природу «мостов», то нужно знать механизм высвечивания. Звезды безразличны к магнитным силам, а плазма — нет. Почему тогда для Звездной Динамики безразлично из плазмы или из сверхплотного вещества произошли звезды?

К. Ф. Огородников. В каждый момент времени в «мостах», повидимому, имеется как плазма, так и сверхплотное вещество, которое имеется, как известно из работ В. А. Амбарцумяна и его школы, как в ядрах галактик, так и в недрах звезд. Имеются в них также звезды, иначе «мосты» были бы оптически ненаблюдаемыми. Процесс образования галактик несомненно связан с образованием химических элементов из сверхплотного вещества (во всяком случае на первоначальной стадии). То же самое, по-видимому следует сказать и про процесс образования звезд в условиях, существующих в «мостах». Все эти процессы существенно нестационарны. Всякое рассмотрение взаимодействия между радиацией и веществом в этих условиях требует знания конкретных условий преобразования сверхплотного вещества в плазму и химические элементы (и наоборот). Эти вопросы, я считаю, выходят за пределы Звездной Динамики. На данном уровне своего развития она занимается эволюцией галактик лишь после того, как они закончили свое первоначальное формирование и достигли состояния, которое можно трактовать как квазистационарное. Мы, звездные динамики, затрагиваем эти вопросы лишь в порядке экстраполяции наших исследований, поскольку они позволяют делать некоторые общие суждения о самых начальных фазах зарождения и развития галактик.

А. Т. Каллогян. Какое значение имеют перемиčky в спиральной структуре? Чем можно объяснить наличие «односторонних» галактик?

К. Ф. Огородников. Если перемиčka очень массивна, плотна, то она динамически устойчива и вращается как твердое тело. Однако, в процессе эволюционной концентрации и связанного с этим ускорения вращения, на концах перемиčky появляются зоны неустойчивости, из которых начинается массовый отрыв звезд, отстающих от твердотельной локальной скорости вращения. Так приблизительно образуются пересеченные спирали. Если же перемиčka тонка, то она динамически неустойчива по всей своей длине за исключением лишь зоны, непосредственно примыкающей к ядру. Кстати, образование ядра диктует-

ся условием той же динамической устойчивости. Неустойчивая пере-
мычка быстро теряет все звезды и тогда остается лишь ядро, окружен-
ное звездной короной, вокруг которого закручиваются два конца бы-
шей перемычки, в которой уже нет звезд, а остающаяся материя уде-
рживается оставшимся магнитным полем. Так образуются большие нор-
мальные спирали, в которых процесс звездообразования продолжается
за счет материи в спиральных ветвях и который снабжает молодыми
звездами плоскую составляющую звездного населения.

Под «односторонними» галактиками я понимаю спиральные галак-
тики с одной ветвью, или галактики без ветвей, грушевидной формы.
Хотя таких объектов не так много, но они имеются. Теория показывает,
что помимо вытянутых, веретенообразных фигур равновесия типа эл-
липсоидов Якоби, звездные системы могут быть несимметричными
вдоль своей большой оси, то-есть существуют грушевидные фигуры
равновесия. Если такая продольная асимметрия достаточно велика, то
тонкий конец будет иметь радиус жирации значительно больше, чем
толстый конец. Поэтому центробежная сила вращения будет гораздо
больше на тонком конце, чем на толстом и зона неустойчивости с от-
рывом звезд появится лишь на тонком конце. Такова теоретическая ин-
терпретация «односторонних» галактик.

ДОКЛАД Г. Г. КУЗМИНА и С. А. КУТУЗОВА (ТАРТУ)
МОДЕЛИ СТАЦИОНАРНЫХ САМОГРАВИТИРУЮЩИХ ЗВЕЗДНЫХ
СИСТЕМ С ОСЕВОЙ СИММЕТРИЕЙ

Большинство звездных систем можно, по-видимому, рассмат-
ривать в хорошем приближении как стационарные и самогравитирующие.
Поэтому построение моделей стационарных самогравитирующих звезд-
ных систем является важной задачей звездной динамики.

До сих пор в основном изучались только модели сферических си-
стем, более же общий случай системы с осевой симметрией оставался
мало исследованным.

В докладываемой работе сделана попытка построить модели и для
этого более общего случая.

У стационарной звездной системы фазовая плотность зависит от
фазы (т. е. координат и скоростей) только посредством консервативных
изолирующих (однозначных) интегралов движения. Если же система
тому же и самогравитирующая, то конфигурационная плотность (плот-
ность в обычном пространстве), будучи интегралом фазовой плотности
по пространству скоростей, удовлетворяет совместно с гравитационным
потенциалом уравнению Пуассона. Для построения модели стационар-
ной самогравитирующей системы нужно найти фазовую плотность как
функцию фазы и гравитационный потенциал как функцию координат
так, чтобы оба условия выполнялись.

В случае стационарности и осевой симметрии существуют, вообще
говоря, два консервативных изолирующих интеграла движения — ин-
теграл энергии и интеграл площадей.

Но если на потенциал наложить еще некоторое дополнительное
ограничение, то, как известно, существует еще третий интеграл требо-
мого типа, в виде квадратичного относительно скоростей интеграла.
При наличии трех интегралов возможно трехосное распределение ско-
ростей.

При построении сферических моделей обычно исходили из фазовой
плотности как функции интегралов и искали потенциал. Но еще

Эддингтон [2] предложил использовать противоположный способ, в кото-
ром задается потенциал, или связанная с ним однозначно конфигура-
ционная плотность, и ищется фазовая плотность как функция интегралов,
а затем и фазы. Способ Эддингтона является более целесообразным,
и мы применили его для построения моделей в общем случае
осевой симметрии.

Для получения модели, более или менее соответствующей реальной
Галактике, желательно было исходить из формы потенциала, допуска-
ющей существование третьего интеграла с тем, чтобы получить трех-
осное распределение скоростей. Однако, отыскание решений для фазо-
вой плотности как функции трех интегралов представляет некоторые
трудности. Поэтому нам пришлось в настоящей работе ограничиться
решениями, являющимися функциями только интегралов энергии и
площадей и примириться пока с двухосностью распределения скоро-
стей в модели.

Если фазовая плотность зависит только от интегралов энергии и
площадей, то конфигурационная плотность выражается через нее сле-
дующим образом:

$$\rho = \frac{2\pi}{R} \iint_{v^2 > 0} \Psi(E, I) dE dI, \quad (1)$$

причем

$$E = \Phi - \frac{1}{2}(v^2 + w^2), \quad I = Rv. \quad (2)$$

Здесь ρ — конфигурационная плотность, Ψ — фазовая плотность, R —
расстояние от оси симметрии, Φ — потенциал, v — скорость в меридиан-
ной плоскости, w — скорость перпендикулярная ей, E — интеграл энер-
гии (в форме несколько отличающейся от обычной) и I — интеграл
площадей.

В формуле (1) ρ выражается как функция Φ и R :

$$\rho = \rho(\Phi, R). \quad (3)$$

Чтобы найти фазовую плотность, мы должны представить ρ в таком
виде. Тогда фазовая плотность получается по формуле (1) как решение
интегрального уравнения. Физический смысл может иметь, конечно,
только неотрицательное решение. При этом нельзя получить однознач-
ного решения, так как нечетная относительно интеграла площадей
часть фазовой плотности не вносит вклада в конфигурационную плот-
ность и может выбираться произвольно при выполнении лишь условия,
чтобы полная фазовая плотность не сделалась отрицательной. Четная
же часть фазовой плотности может быть получена однозначно. Она
должна быть неотрицательной.

Решения для четной части фазовой плотности могут быть получе-
ны в форме различных рядов. Полагая при малых Φ конфигурацио-
ную плотность ρ изменяющейся как Φ^n , имеем следующие ряды для
конфигурационной плотности и четной части фазовой плотности:

$$\rho = \Phi^n \sum_{k > 0} P_k(\Phi R^2) \Phi^k, \\ \Psi = E^{n-3/2} \sum_{k \leq 0} Q_k(I^2) E^k, \quad (4)$$

где P_k и Q_k полиномы степени k относительно их аргументов. Коэф-
фициенты полиномов Q_k могут быть вычислены по коэффициентам