

Оглавление

Темные субстанции.....	5
Сказание о темной материи.....	9
1. Пролог.....	10
2. Эпик и природа галактик.....	11
3. Григорий Кузмин и проблема локальной темной материи.....	15
4. Населения Галактики.....	22
5. Тыравере в шестидесятих.....	25
6. Модели Галактики.....	32
7. Парадокс массы в галактиках.....	36
8. Массивные короны галактик.....	41
9. Борьба вокруг темной материи.....	47
10. Тыравере в семидесятих.....	55
11. Вопрос Зельдовича.....	58
12. Сверхскопления, пустоты и цепочки.....	66
13. В поисках новых подтверждений.....	70
14. Холодная темная материя.....	75
15. Тыравере в восьмидесятих.....	76
16. Темная энергия.....	81
17. Упорядоченность структуры.....	84
18. Тыравере в девяностых. Пробуждение масс-медиа.....	86
19. Эпилог.....	90

Темная энергия и всемирное антитяготение	93
1. Введение	94
2. Закон всемирного антитяготения	100
2.1. Вакуум Эйнштейна–Глинера	100
2.2. Проблема естественности.....	104
2.3. На ньютоновском языке.....	108
2.4. «Термодинамическое» уравнение Фридмана.....	114
2.5. Момент нулевого тяготения.....	115
2.6. Данные космического аппарата WMAP	121
3. Темная энергия в ближней Вселенной	123
3.1. Парадокс Хаббла–Сэндиджа.....	124
3.2. Регулярный поток.....	127
3.3. Вблизи Млечного Пути.....	130
3.4. Локальная космология.....	132
3.5. Малый взрыв.....	137
4. Внутренняя симметрия в космологии.....	140
4.1. Эйнштейн и Фридман о топологии мира.....	140
4.2. Дополнительные измерения	142
4.3. «Истинные» константы и темная энергия.....	148
4.4. Четыре энергии	150
4.5. Симметрия.....	155
4.6. Совпадение плотностей.....	159
4.7. Снова иерархия	161
4.8. Большие числа.....	165
4.9. Проблема Дикке.....	167
Список литературы.....	172

Тёмные субстанции

Тёмная материя, тёмная энергия... Эти завораживающие словосочетания относятся к совсем разным понятиям, их нельзя путать, но что они означают? Здесь до сих пор нет единой точки зрения. Одни склонны воспринимать исследование этих «тёмных» субстанций как успешный прорыв науки в область неизведанного, другие видят в них свидетельство очевидной неполноты человеческих знаний, поскольку природа ни тёмной материи, ни тёмной энергии до сих пор толком неизвестна (хотя различных гипотез хватает)... Наконец, третьи сомневаются в самом существовании темной материи и/или энергии и видят причину их введения в науку в том, что используемые законы физики не известны с абсолютной точностью, и требуют определённых коррекций при их применении в необычных условиях — для описания больших и разреженных пространств Вселенной. Действительно, существование этих загадочных субстанций пока гипотетично и нуждается в доказательствах. Но, тем не менее, представления о них не высосаны из пальца, они хорошо обоснованы и базируются на анализе данных астрономических измерений, не входят с ними в конфликт и, главное, хорошо вписываются в общую современную картину эволюции Вселенной, и поэтому выглядят убедительными. Существование тёмной материи и энергии позволяет многое объяснить из того, что раньше казалось непонятным, в то время как немало научных гипотез, смелых предположений и теоретических разработок оказались отвергнутыми, поскольку вошли в конфликт с новыми данными наблюдений.

Чтобы легче понять, на чём основаны существующие представления о темной материи и энергии, самое правильное – проследить рождение и развитие идей об их существовании, и показать, к каким следствиям они приводят. Именно это читатель найдёт в двух предлагаемых разделах книги. Оба раздела написаны признанными специалистами – астрофизиками, внёшими большой вклад в развитие представлений о тёмной материи и энергии. При этом эти разделы книги сильно различаются не только по содержанию, но и по стилю изложения.

Раздел «Сказание о тёмной материи» Яана Эйнасто – это легко читаемая история не только о том, как пробивала себе дорогу в науке идея о массивных невидимых гало («коронах») тёмной материи вокруг нашей и других галактик, но и рассказ о становлении и истории в советский и пост-советский периоды эстонской обсерватории в Тыравере, где эта идея родилась и вызрела. Работы по распределению масс в галактиках, выполненные в Эстонии под руководством Яана Эйнасто действительно оказались пионерскими, при этом сама идея о привлечении темной массы для объяснения динамики галактик и формирования крупномасштабной ячеистой структуры Вселенной далеко не сразу получила поддержку и признание. В этом рассказе читатель не найдёт описания результатов исследования ожидаемых характеристик тёмной массы и её роли в эволюции галактик и их систем, полученные за последнее десятилетие,¹ однако зарождение и драматическое развитие идеи о преобладании во Вселенной невидимой материи описано живо, наглядно и поучительно.

В ином стиле написан раздел А.Д. Чернина «Тёмная энергия и всемирное антитяготение». Здесь читателя ждёт встреча с другой нерешённой научной проблемой, связанной с эволюцией окружающего мира. Автор с физической точки зрения аргументирует существование такой субстанции, таких сил, которые определяют ускоренный характер расширения Вселенной в современную эпоху, в отличие от того, что имело место миллиарды лет назад. Читатель узнает, как родилось и на чём основано представление о космической энергии, условно называемой «тёмной», которая, несмотря на низкую плотность, пре-

¹Интересующимся можно порекомендовать обзор «Тёмная масса в Галактиках А.В. Засова и др. в УФН, том 187, № 1, с. 3-44.

обладает над всеми другими видами энергии на больших масштабах, и обладает свойствами «антитяготения», то есть способностью своим давлением расталкивать не связанные между собой объекты. Эта идея оказалась удивительно плодотворной и хорошо вписалась в общую картину расширения мира галактик, так что многие считают существование темной энергии доказанным. Однако до сих пор идёт дискуссия о природе этой энергии и её правильном физическом описании. Ограничиваясь самыми простыми формулами, автор объясняет, откуда возникла необходимость введения «антитяготения» в теорию расширяющейся Вселенной и рисует физическую картину взаимодействия тёмной энергии с обычной материей и те выводы, которые из неё следуют.

Обе части книги роднит то, что они показывают в динамике, каким путём происходят в науке поиски решения фундаментальных проблем формирования и эволюции окружающего мира, к каким неожиданным и далеко идущим выводам приводит анализ совокупности наблюдательных данных. Книга может быть хорошим подарком любителям астрономии, интересующимся яркими идеями и нерешёнными проблемами, с которыми встретилась современная наука об эволюции Вселенной – космология.

А. В. Засов,
профессор физического факультета
МГУ им. М. В. Ломоносова

СКАЗАНИЕ О ТЕМНОЙ МАТЕРИИ

Яан Эйнасто

Перевод с эстонского В. Пустынского

1. Пролог

Случилось мне как-то прочесть книгу Томаса Куна «Структура научных революций». Дело происходило в середине 1970-х годов, проблема темной материи была актуальна, и борьба сторонников и противников этой концепции была в самом разгаре. Я обратил внимание на то, что открытие темной материи очень напоминает описанные Куном научные революции. А в 1985 году в Принстонском университете состоялась конференция, посвященная темной материи. В заключительном слове Скотт Тремейн назвал историю ее обнаружения типичной научной революцией. Бинни и Тремейн в своей монографии о динамике галактик также подчеркивали революционный характер открытия темной материи.

Тартуские астрономы участвовали в изучении темной материи длительное время – начиная с основателя современной эстонской астрономической школы Эрнста Эпика и его ученика Г. Кузмина и вплоть до ее нынешних представителей. Проблема темной материи занимала астрономов многих стран, и все они пришли к этой проблеме разными путями. Я попытаюсь здесь рассказать, каким путем к проблеме темной материи пришли тартуские астрономы, и какими были наши трудности при решении этой проблемы. Очевидно, что история темной материи в рассказе, скажем, принстонского астронома звучала бы иначе. Но в данном случае разные точки зрения дополняют друг друга.

2. Эпик и природа галактик

Эрнст Эпик родился в маленьком городе Кунда в 1893 году. Он начал занятия физикой и математикой самостоятельно еще в школьные годы. Чтобы получить университетское образование, Эпик отправился в Москву, где репетиторством легче было заработать на жизнь. Так как основы физики и математики к этому времени уже были ему ясны, он сразу мог приступить к исследовательской работе. Эпик пытался разобраться в небесных явлениях, а нерешенных проблем в то время было предостаточно. Еще совсем недавно астрономы были убеждены, что все видимые невооруженным глазом звезды и бесчисленное множество слабых звездочек образуют большую звездную систему – Галактику, которой принадлежит и наше Солнце – рядовая звезда. В то время многие астрономы отождествляли Галактику со всей Вселенной. Например, в 1914 году вышла из печати монография сэра Артура Эддингтона «Движение звезд и строение Вселенной». На самом деле речь там шла только о движении звезд в Млечном Пути, то есть в нашей Галактике.

Выяснение размеров Галактики наталкивалось на трудности. Не было известно, ослабевает ли излучение вследствие поглощения и искажается ли тем самым видимая яркость звезд; их яркость была важна для определения расстояний.

В одной из своих первых работ (опубликованной в 1915 году) Эпик рассматривает этот вопрос. Он разрабатывает метод определения плотности вещества вблизи плоскости Галактики по вертикальным движениям звезд относительно этой плоскости: это позволяло найти количество материи, поглощающей свет. Звезды движутся относительно плоскости симметрии вверх-вниз. Чем больше вертикальная скорость, тем выше звезда может подняться над плоскостью Галактики. Сравнение скоростей и расстояний позволяет вычислить силу гравитационного поля и плотность вещества в плоскости Галактики. Изучая доступные ограниченные данные, Эпик находит, что плотность вещества вблизи галактической плоскости вполне согласуется с известным количеством звезд. Отсюда он делает вывод, что в Галактике не может быть большого количества поглощающей темной материи: в противном случае его влияние на вертикальные движения звезд было бы заметным. Насколько нам

Эрнст Юлиус Эпик
1972 год



известно, это было первое исследование темной материи в нашей Галактике. Как мы увидим далее, звездные астрономы впоследствии обращались к этой проблеме неоднократно.

Другой нерешенной проблемой была природа туманностей. К тому времени с помощью телескопов были открыты тысячи туманностей. Некоторые из них (например, туманность в созвездии Ориона) походили на газовые облака. Другие имели вид диска или кольца (за внешнюю схожесть с планетами их называли *планетарными туманностями*). Третьи имели спиральную структуру. Встречались и туманности эллиптической формы. Мнения астрономов о природе туманностей разделились: некоторые думали, что это газовые образования внутри нашей Галактики, другие приводили доводы в пользу того, что туманности находятся на больших расстояниях от Галактики и образуют независимые «острова» во Вселенной.

Для обсуждения этой проблемы Национальная академия наук США в 1920 году организовала публичную дискуссию, в которой известные американские астрономы Кертис и Шепли выступили с доводами в пользу каждой из точек зрения. Но это обсуждение не дало результата. Оно наглядно показало, что научную проблему путем дискуссий не решить: решение можно отыскать, лишь глубоко изучив вопрос. Участники того обсуждения даже не догадывались, что ответ на поставленный вопрос уже был к тому времени известен. Эрнст Эпик также питал к этому вопросу интерес. Он внимательно следил за научной литературой и обратил внимание на то, что американский астроном Слайфер измерил скорость вращения галактики в со-

звезды Андромеды (так называемой Туманности Андромеды). Это потребовало от него героических усилий: чувствительность фотопластинок в то время была не слишком высока, а телескопы недостаточно мощны. Слайфер потратил несколько ночей на то, чтобы зарегистрировать на фотопластинке спектр центральной, самой яркой области Туманности Андромеды. Выяснилось, что спектральные линии немного наклонены. Это указывало на вращение Туманности: на одном ее краю вещество удаляется от наблюдателя, а на другом приближается к нему. Такое движение приводит к наклону спектральных линий в соответствии с законом Доплера. К счастью для Эпика, американские астрономы не сумели оценить важность этого наблюдения. Ломая голову над тем, как приложить это наблюдение к решению проблемы туманностей, Эпик вскоре нашел, как вычислить расстояние до Туманности Андромеды.

Его идея такова. При удалении от нас линейный размер уменьшается обратно пропорционально расстоянию, а светимость – как квадрат расстояния. Видимую светимость центральной части Туманности Андромеды можно легко найти по фотометрическим наблюдениям. Абсолютная же светимость связана с массой. И видимую, и абсолютную светимости можно выразить в солнечных единицах. Эпик сделал важное допущение: он предположил, что Туманность Андромеды сходна с нашей Галактикой, и потому отношение массы к светимости у нее такое же, как у нашей Галактики. Эту величину можно найти, опираясь на данные о Млечном Пути. Используя найденное им самим значение плотности вещества в Галактике, Эпик получил, что отношение массы к светимости у туманности Андромеды равно 2,63 (в солнечных единицах). Последним шагом в этом рассуждении было взаимное увязывание видимой и абсолютной яркости Туманности Андромеды с ее видимым и абсолютным линейным размером, что позволило определить расстояние до Туманности Андромеды. В результате Эпик получил 785 кпк (около 2 миллионов световых лет). Это расстояние более чем десятикратно превышает размер нашей Галактики. Следовательно, речь идет о самостоятельной галактике вне Млечного Пути. Свои результаты Эпик доложил в 1918 году на заседании Московского общества любителей астрономии. Они были столь важны, что Эпик повторил анализ, воспользовавшись новыми

данными об отношении массы к светимости, и на сей раз опубликовал их в ведущем астрономическом журнале *Astrophysical Journal* в 1922 году.

Несколько лет спустя расстояние до Туманности Андромеды измерил американский астроном Хаббл, воспользовавшись совсем другой методикой. Ему посчастливилось обнаружить в Туманности Андромеды переменные звезды (так называемые цефеиды). Периоды цефеид тем больше, чем ярче звезда. Отношение периода к светимости можно было калибровать по цефеидам в нашей Галактике. Хаббл нашел расстояние до Туманности Андромеды равным 220 кпк. По современным данным, это расстояние равно 700 кпк. Таким образом, результат Эпика точнее результата Хаббла.

В этих работах Эпик выяснил природу спиральных туманностей. Одновременно он показал, что наша Вселенная много больше, чем полагали ранее. Долгое время честь первого определения расстояния до Туманности Андромеды приписывалась Хабблу, и лишь в последнее время работу Эпика тоже заметили.

Пару лет спустя Хаббл сделал очень важное открытие: он обратил внимание на то, что галактики удаляются от нас тем быстрее, чем дальше они находятся. Отсюда можно заключить, что вся Вселенная расширяется. Следует добавить, что Эпик был в числе первых астрономов, кто из факта расширения сумел сделать вывод не только о том, что Вселенная расширяется, но и о том, что она сравнительно недавно образовалась. В то время было распространено мнение, что возраст Галактики (а значит, и Вселенной) составляет по меньшей мере 100 триллионов лет. Этот вывод основывался на анализе движения звезд. Взаимные сближения звезд и столкновения крайне редки; тем не менее, данные об их движении свидетельствуют о том, что звезды образуют в Галактике хорошо перемешанную равновесную систему, подобно молекулам и атомам в обычном газе. Вычисления того времени показывали, что время, требуемое для достижения равновесия, составляет не менее триллиона лет. Эпик показал, что целый ряд не зависящих друг от друга методов указывает на значительно меньший возраст Вселенной. В первых, это возраст метеоритов и горных пород на Земле, который уже умели определять по соотношению радиоактивных изотопов: возраст старейших метеоритов составлял 3-4 милли-

арда лет. Во-вторых, это возраст самих звезд. К началу 30-х годов Эпику уже были известны основные источники энергии звезд и основы теории звездной эволюции. Ему было ясно, что главный источник энергии звезд – превращение водорода в гелий в термоядерных реакциях. Скорость высвобождения энергии в этих реакциях, вместе со скоростью излучения энергии, также были приблизительно известны, что позволяло оценить возраст звезд. Оказалось, что горячие гиганты еще очень молоды; их существование свидетельствует о том, что звездообразование в Галактике продолжается до сих пор. Возраст звезд типа Солнца Эпик оценил примерно в 3 миллиарда лет. В Млечном Пути имеется множество звездных скоплений, которые распадаются со временем. Эпик оценил их динамический возраст в несколько миллиардов лет. И, наконец, расширение Вселенной. Если мир сейчас расширяется, значит, ранее его размеры были меньше, и по скорости роста его размеров легко определить время расширения. Оно, по данным того времени, составляло примерно 2 миллиарда лет. Эпик обратил внимание на то, что все эти независимые оценки возраста приводят приблизительно к одному и тому же результату. Он сделал вывод, что это совпадение не может быть случайным: оно указывает на зарождение Вселенной несколько миллиардов лет назад – вероятно, в результате какого-то взрыва.

Современные данные подтвердили правильность рассуждений Эпика. Только Вселенная оказалась куда более старой: ее возраст около 14 миллиардов лет. Этими открытиями завершилась первая великая смена парадигм в современной космологии: на смену миру Млечного Пути пришел расширяющийся мир сравнительно недавно возникших галактик. Приятно констатировать, что в формировании этой картины мира несколько решающих шагов сделал эстонский астроном Эрнст Эпик.

3. Григорий Кузмин и проблема локальной темной материи

Исследования строения галактик, начатые Эпиком, продолжил Григорий Кузмин. Он родился в Выборге в 1917 году. Вскоре семья переехала в Таллин, где Григорий получил среднее образование. Еще школьником он проявлял интерес к ас-

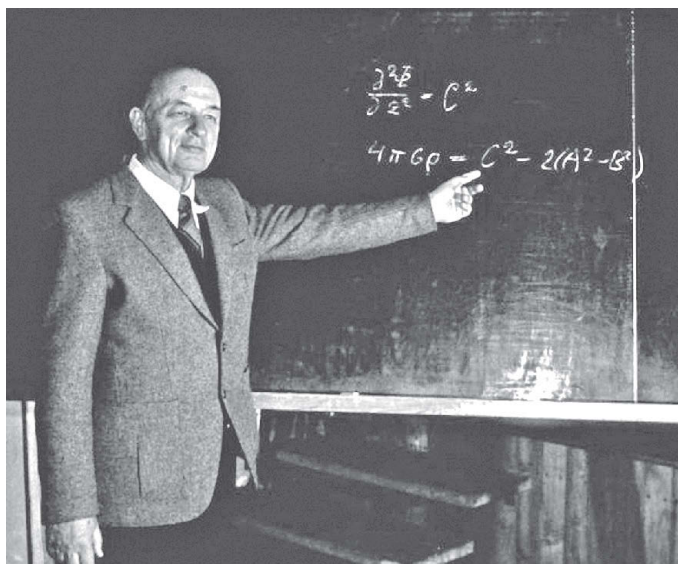


Рис. 2. Григорий Кузмин объясняет расчет локальной плотности в Галактике. 1970-е годы.

трономии, и учеба в Тартуском университете стала естественным продолжением его образования. В Тарту научным руководителем Григория Кузмина стал Эрнст Эпик. Как и его наставник, Кузмин приступил к научным исследованиям еще студентом. Первой его работой было исследование эволюции космической пыли в окрестностях Солнца. За этой работой последовало определение плотности вещества в плоскости Галактики по вертикальным колебаниям звезд, а также разработка детальной модели строения и динамики Туманности Андромеды. Этот перечень удивительным образом перекликается с юношескими работами Эпика. Первые важные результаты Кузмин получил еще в 1942 году, но в годы войны они остались неопубликованными (как и первая работа Эпика о расстоянии до Туманности Андромеды). Ранее Тартуская обсерватория входила в состав Тартуского университета. В 1947 году при Эстонской Академии наук создали Институт физики, математики и механики, в состав которого включили и обсерваторию. Поначалу новый институт оказался не в состоянии определить поле своей деятельности, но в 1950 году его директором назначили академика Аксе-

ля Киппера, астронома, который также получил образование в довоенный период. По инициативе Киппера возобновилось издание публикаций Тартуской обсерватории. Так у Кузмина появилась возможность опубликовать свои работы. В 1952 году он опубликовал три статьи, посвященные плотности вещества в окрестностях Солнца, модели нашей Галактики и третьему интегралу движения звезд.

Тем временем приобрела актуальность задача определения плотности материи вблизи галактической плоскости. Ей занимался известный голландский астроном Ян Оорт. В опубликованной в 1932 году работе он нашел, что известных звезд недостаточно для объяснения вертикального ускорения звезд в Галактике, вследствие чего приходится предположить наличие темной материи вблизи галактической плоскости. Задачей работы Кузмина, судя по всему, и была проверка результатов Оорта. Рассуждения Кузмина были такими же, как и у его предшественников, но он усовершенствовал методы определения гравитационного ускорения и плотности вещества. Во-первых, Кузмин нашел, что для определения плотности нет необходимости рассчитывать гравитационное поле в целом (как полагал Оорт), достаточно найти лишь скорость изменения гравитационного ускорения вблизи галактической плоскости. Эта скорость имеет простую связь с отношением средней скорости звезд к толщине звездной популяции. Во-вторых, Кузмин нашел, как можно добиться взаимной компенсации ошибок определения скоростей и координат звезд; таким образом, уменьшается влияние на результат неизбежных ошибок измерения. Полученные результаты Кузмин представил в форме кандидатской диссертации, которую успешно защитил в 1952 году. Основной ее вывод заключался в том, что наблюдательные данные не подтверждают наличия темного вещества вблизи галактической плоскости.

Тем самым Кузмин бросил вызов как Оорту, так и московским астрономам, которые также занимались этой проблемой и подтвердили гипотезу о наличии темного вещества вблизи галактической плоскости.

Однако этим дело не ограничилось. В своей второй работе (опубликованной в тот же год) Кузмин разработал новый метод описания строения Галактики. Важной ее частью было отыскание связи между скоростью вращения Галактики и ее плот-

ностью. Ранее использовалась модель, в которой гравитационное поле представлялось набором эллипсоидов равной плотности. Кузмин создал модель, в которой плотность могла меняться непрерывно. Это позволило намного точнее описать изменение плотности и скорости вращения. Галактика не похожа на Землю, которая ограничена твердой поверхностью: она подобна газовому облаку, у нее нет твердых краев. Роль молекул газа в Галактике играют звезды. Кузмин, помимо более точной эмпирической модели, предложил также ее теоретическую интерпретацию, разработав так называемую теорию третьего интеграла движения звезд. Интегралы движения – это величины, которые остаются постоянными при движении звезд в Галактике. Хорошо известны два интеграла движения: интеграл энергии и интеграл момента импульса. У третьего интеграла нет наглядной интерпретации, но он необходим, чтобы объяснить вид звездных орбит.

Первоначально эти результаты появлялись только в публикациях Тартуской обсерватории. Вскоре открылась возможность представить их астрономическому сообществу. В начале 1950-х годов Киппер задумал создать новую обсерваторию, за пределами Тарту, где условия наблюдения лучше. Идея была не нова, об этом тартуские астрономы задумывались как перед Первой, так и перед Второй мировыми войнами. Однако обстоятельства не позволили осуществить это намерение. После второй мировой войны многие астрономические центры в Советском Союзе приступили к строительству новых обсерваторий; в других странах это было сделано значительно раньше. Чтобы обеспечить финансирование задуманного проекта, Киппер счел нужным заручиться поддержкой астрономического сообщества. С этой целью весной 1953 года в Тарту было созвано всесоюзное совещание или, как тогда называли, выездное заседание Астрономического совета. В это время я как раз находился в Москве, выписывая из каталогов необходимые для моего исследования данные. Со стороны Москвы одним из активных организаторов выступил профессор Павел Петрович Паренаго, признанный авторитет в изучении строения Галактики. Мы вместе обсуждали программу Пленума, в которую было включено примерно равное количество докладчиков из Москвы и из Тарту. Со стороны Москвы основным докладчиком был сам Паренаго: он как раз за-

вершил цикл исследований по теме, очень близкой к теме работ Кузмина. С нашей стороны основными докладчиками был директор института профессор Аксель Киппер и Григорий Кузмин. Слово получили и молодые астрономы: помимо меня, выступали даже студенты и любители астрономии.

Доклады тартуских астрономов оставили глубокое впечатление. Киппер говорил о своей теории излучения газовых туманностей, которая как никогда точно объясняет их строение. Эта теория до сих пор служит основой при интерпретации спектров газовых туманностей. Но особый интерес вызвали доклады Паренаго и Кузмина, посвященные одному и тому же вопросу. Паренаго был блестящим лектором и излагал свои результаты с присущей ему простотой и ясностью. Кузмин же в ту пору оставался еще малоизвестным молодым ученым, и можно было опасаться, что тягаться с московскими светилами будет для него безнадежным делом. И в самом деле, докладу Кузмина не хватало присущего Паренаго блеска. Тихим голосом он шаг за шагом развивал разработанную им модель, обосновывал свои нововведения и сравнивал ее с более ранними, в особенности с моделью Паренаго. По ходу изложения становилось все яснее, что подход Кузмина глубже и шире, а его модель представляет совершенно новый шаг в изучении строения Галактики. В итоге у всех возникло ощущение, что тартуские астрономы на сей раз победили московских со счетом 2:0. Надо отдать должное гостям из Москвы: они нисколько не позавидовали, а признали высокий уровень тартуских астрономов и горячо поддержали наши планы по развитию обсерватории.

Эта история имела и другие последствия. У нас в то время было модным принижать результаты своих ученых. В руководстве Эстонской Академии наук царило мнение, будто наши астрономы занимаются несущественными проблемами, и что пора бы заняться более важными делами, например, мичуринской биологией. Чтобы помочь в организации «похорон» астрономии, на конференцию в Тарту Академия наук направила вице-президента Густава Наана. Он прослушал доклады и с удивлением отметил, что дела обстоят совершенно иначе. Надо отдать должное и ему: Наан быстро изменил свое мнение, и в его лице астрономы приобрели главного своего защитника в академических кругах.

После Пленума Киппер пригласил тартуских астрономов к себе домой на торжественный ужин. Нас тогда было немного, и мы все поместились за его столом. После первого бокала Киппер окинул взглядом собравшихся и сказал: «Ну, ребята пора браться за дело». Была образована коллегия, – неофициальный орган, который занялся подготовкой к созданию новой обсерватории. Первым делом надо было подыскать подходящее место. Для этого мы с супругой и студентами выезжали на велосипедах на север и юг от Тарту в поисках возвышенности, где бы можно было построить обсерваторию. Любопытное совпадение: наша первая остановка 12 июня 1953 года была как раз на возвышенности Тыравере, то есть там, где позднее обсерваторию и построили. В последующие годы к северу и югу от Тарту в избранных местах проводились метеорологические наблюдения. Мы не рассчитывали обнаружить различия в качестве изображений звезд, а пытались найти возможные различия в количестве ясных ночей, частоте осенних туманов, и т.п. Существенных различий между севером и югом мы не нашли и выбрали южное направление. 12 января 1957 года весь коллектив обсерватории выехал автобусом, чтобы сравнить разные места и принять окончательное решение. Местом стройплощадки мы выбрали возвышенность примерно в километре от шоссе Тарту–Рига и от железнодорожной станции.

Киппер считал важным удаленность от больших магистралей, чтобы движение не мешало нашей работе, в особенности астрономическим наблюдениям. С другой стороны, было важно, чтобы остановка автобуса и поезда находились не слишком далеко. Как показала наша жизнь в новой обсерватории, Киппер оказался прозорлив в своем расчете.

Весной 1957 года начались строительные работы, и в мае 1961 года первые астрономы перебрались в Тыравере, в их числе и наша семья. Главное здание обсерватории еще не было достроено, и несколько лет рабочими помещениями служили две квартиры.

Так или иначе, заботы по созданию новой обсерватории оставляли время и для науки. Моделирование галактик по-прежнему сохраняло актуальность. В 1956 году голландский астроном Мартен Шмидт опубликовал работу, в которой предложил новую модель Галактики. Она, как и ранее разработанные

в Голландии модели, представляла Галактику набором из множества эллипсоидов равной плотности. Но в отличие от прежних моделей, Шмидт попытался представить реальные звездные популяции. Он также уточнил значения характеристических параметров. Его модель получила очень широкое признание астрономического сообщества. В ней приводилась также новая оценка плотности вещества в окрестности Солнца. Шмидт нашел, что плотность вещества заметно превосходит ту величину, которая следует из плотности звездного населения. Иными словами, согласно его оценке, в плоскости Галактики имеется значительное количество темной материи. К такому же выводу через пару лет придет и крупный голландский авторитет в астрономии Ян Оорт.

Результат голландцев примерно в два раза отличался от значения, найденного тартускими астрономами. Для объяснения возможных причин этого Кузмин заново проанализировал свой материал и тщательно сравнил результат с результатами других авторов. Он также порекомендовал своим ученикам Хейно Элсалу и Михкелю Ййэвэру заново определить плотность на основе нового наблюдательного материала и по иной методике. Результаты Элсалу были готовы в 1959 году, Ййэвэр опубликовал свои результаты в 1972 и 1974 годах. Как новый анализ самого Кузмина, так и результаты Элсалу и Ййэвэра подтвердили ранние выводы Кузмина: все данные указывали на то, что в окрестности Солнца количество темной материи пренебрежимо мало.

Проблема локального темного вещества в Галактике остается актуальной по сей день. В 1980-х годах ей занимался Джон Бакол, один из ведущих американских астрономов. Он разработал модель, которая во многих отношениях напоминает модель Шмидта. Бакол уделил большое внимание определению плотности вещества в окрестности Солнца. Согласно его данным, плотность темной материи сопоставима с плотностью обычного вещества; иными словами, полная плотность материи примерно вдвое превосходит плотность обычного вещества. В 1985 году в Принстонском университете состоялась первая организованная Международным астрономическим союзом конференция, посвященная изучению темной материи. У меня была возможность в ней участвовать. В своем докладе я представил об-

зор результатов Кузмина, Ээлсалу и Йыэвэера. За докладом последовало обсуждение, и слово взял Джон Бакол. Он обратил внимание на различие между результатами тартуских – иными словами, советских, то есть восточных – и западных астрономов. Бакол подчеркнул, что у нас, на Востоке, пользовались старыми и неточными данными. В своем ответе мне хотелось отметить, что тартуская астрономическая школа создана Эпиком, и мы не желаем, чтобы нас считали беспомощными восточными астрономами, и что нам совершенно не хочется рассматривать эту научную дискуссию как политический спор на фоне проблем между Востоком и Западом. Все-таки я удержался от колкостей и ограничился тем, что подчеркнул исключительную способность Кузмина найти верный результат даже на основе не лучшего наблюдательного материала. Позднейшие исследования еще раз подтвердили результаты Кузмина. К чести Бакола нужно сказать, что в сборнике работ конференции он достаточно подробно описал, в приложении к своему докладу, метод Кузмина. Этот инцидент не омрачил наших отношений. Я гостил дома у Бакола, у тартуских астрономов имеется тесный научный контакт с его супругой Нетой Бакол (она, как и мы, исследует макроструктуру Вселенной).

4. Населения Галактики

Впервые я столкнулся с проблемой темного вещества в 1952 году, после окончания университета. Кузмин занимался расчетами по своей модели, и мы обычно помогали друг другу: он помогал «шлифовать» статьи молодым астрономам (в том числе и мне), а мы помогали ему с расчетами и подготовкой работ к печати. Нужда в том была: Кузмин быстро решал новые задачи, однако подготовка работ была для него весьма затруднительной. По этой причине его результаты порой надолго застревали в «культурных слоях» на рабочем столе в ожидании лучших времен.

Случилось так, что я занимался вычислениями для новой модели Кузмина. В роли исходных данных выступала кривая вращения Галактики. Решая интегральное уравнение, из нее нужно было найти распределение плотности как функцию расстояния от центра Галактики. Вычисления проводились вручную, в основном с помощью логарифмической линейки. Ког-

Конец ознакомительного фрагмента.
Приобрести книгу можно
в интернет-магазине
«Электронный универс»
e-Univers.ru