

2.13. АСТРОФИЗИЧЕСКИЕ И ЗВЕЗДНОАСТРОНОМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

д.ф.-м.н. В. А. Захожай

Прежде всего, поясним, что мы понимаем под вынесенными в заголовок статьи терминами «астрофизический» и «звездноастрономический». Первый из них относится ко всем объектам вне Солнечной системы. Второй относится к изучению систем различного порядка, состоящих, прежде всего, из звезд, в том числе и других галактик. Заметим также, что в последние годы в число объектов, изучаемых звездной астрономией, вошли кроме звезд и межзвездной среды также субзвезды и экзопланеты. Астрофизические и звездноастрономические исследования в Харьковском университете велись на протяжении более чем ста лет. Однако в отличие от астрометрических исследований и работ по изучению Солнца и тел Солнечной системы развивались они неравномерно. Периоды интенсивного их развития сменялись периодами, когда они почти не проводились.

Период зарождения и становления

Исследования в области звездной астрономии начались в Харькове в середине 90-х годов XIX века с назначением в 1894 г. на должность директора обсерватории и заведующего кафедрой астрономии университета известного астронома Людвиг Оттовича Струве, внука основателя Пулковской обсерватории В. Я. Струве. До приезда в Харьков Л. О. Струве стажировался в Пулковской, Боннской, Миланской, Лейпцигской обсерваториях и работал в обсерватории Дерптского университета. Его подход к преподаванию астрономических дисциплин и обработке материалов астрономических наблюдений позволил существенно укрепить кафедру астрономии и способствовал становлению астрономической обсерватории как научного учреждения. Он воспитал таких впоследствии известных ученых, как Н. Н. Евдокимов, Н. П. Барабашов, В. Г. Фесенков и др., создал условия для расширения научной тематики, которая до начала 90-х годов ограничивалась только астрометрическим направлением. Так, благодаря усилиям В. Г. Фесенкова были начаты астрофизические и планетные исследования в Харьковской обсерватории. Это создало условия для Б. П. Герасимовича (выпускника Харьковского университета 1914 г.) после стажировки в 1916 г. в Пулковской обсерватории начать свои исследования в области звездной астрономии, а для выпускника 1919 г. Н. П. Барабашова – продолжить развитие планетных исследований.

Основные научные работы Л. О. Струве относятся к разделам астрометрии, которые позволяют изучать кинематику звезд и звездных систем. Поэтому его научные интересы в области звездной астрономии сосредотачивались на изучении вращения Галактики и определении орбит двойных звезд. Еще до прихода на работу в Харьковский университет в 1887 г. (то есть за 40 лет до Я. Оорта), Л. О. Струве не только развивал представления о вращении Галактики, но и оценил скорость ее вращения в $0,43''$ в год при современном значении $0,51''$ в год.

Результаты диссертации Н. Н. Евдокимова по определению параллакс звезд, полученные на меридианном круге, имели большое значение для звездной астрономии и проблемы определения расстояний в Галактике (Евдокимов, 1912). Это один из первых каталогов звездных параллакс содержащий данные о 59 звездах. Он был опубликован в 1912 году отдельным изданием на немецком языке. За эту работу Н. Н. Евдокимов был отмечен премией Русского астрономического общества.

В. Г. Фесенков в Харькове провел фотометрические наблюдения 1155 звезд, находящихся в пределах 11° по склонению от северного Полюса мира. Эти наблюдения легли в основу фотометрического каталога (Фесенков, 1926). В конце харьковского периода своей научной деятельности у В. Г. Фесенкова начали формироваться представления о совместном образовании планетной системы и Солнца. Через сорок лет, предполагая, что такой процесс характерен для других планетных систем, он предложил искать планетные системы у других звезд по наличию у них поляризованного излучения, вызванного продуктами

распада астероидов и комет, или вещества, оставшегося от реликтового протопланетного облака. Вообще же к проблемам астрофизики и звездной астрономии, к вопросам звездообразования В. Г. Фесенков неоднократно обращался в последующем.

В целом период работы в рассматриваемых областях астрономии в Харьковской обсерватории 1894 – 1931 г.г. можно охарактеризовать как исследования кинематики звездных систем различного уровня, морфологии Галактики, физических параметров и эволюции звезд, природы звездных недр и атмосфер, пылевых и газовых туманностей, природы переменности звезд.

Большинство работ, опубликованных сотрудниками Харьковской обсерватории по обсуждаемой тематике в этот период, принадлежат Б. П. Герасимовичу. Он изучал природу планетарных туманностей, исследовал физические условия в них и светимости центральных белых карликов (1927 г.), влияние их гравитационных сил на форму планетарных туманностей (1922, 1925 г.г.). В круг его интересов входило изучение структуры Галактики с учетом межзвездного поглощения, которое определялось из наблюдений цефеид (1929, 1931 г.г.). В это же время им была разработана теория ионизации в звездных атмосферах и в межзвездном газе (1929, 1930 г.г.). Большое число работ Б. П. Герасимовича посвящено исследованию новых и переменных звезд. Б. П. Герасимович был одним из первых среди астрономов, рассмотревший ряд вопросов астрофизики космических лучей.

Во время своей научной командировки в США (1926 – 1929 г.г.) Б. П. Герасимович продуктивно сотрудничал со многими известными американскими астрономами. Им совместно с В. Я. Лейтенем было определено расстояние Солнца от галактической плоскости (1927 г.). Совместно с Д. Х. Мензелом были выполнены работы по изучению процессов освобождения звездной энергии в их недрах с точки зрения статистической механики (1928, 1929 г.г.). С О. Л. Струве рассмотрел физические условия в межзвездном газе и формирование в нем линий поглощения (1929 г.). Исследования цвета долгопериодических переменных были выполнены совместно с Х. Шепли (1930).

Интенсивность научной работы Б. П. Герасимовича в харьковский период его деятельности (1918 – 1931 г.г.) характеризуется почти 120 публикациями. Среди них сто научных статей и около 20 учебных пособий и научно-популярных брошюр и статей. Особый интерес представляет изданная в Харькове в 1925 г. его книга «Вселенная при свете теории относительности».

В этот период фотометрические и спектрофотометрические наблюдения новых (в Орле, Лебеде, Ящерице) (1919, 1923, 1929 г.г.) и переменных звезд (1928 г.), звездных скоплений (1924 г.) проводил Н. П. Барабашов. Он также рассматривал общие вопросы исследования переменных звезд (1924 г.), природы новых звезд (1924, 1925, 1929 г.г.) и эволюции звезд (1924 г.).

Прежде чем переходить к следующему этапу работ, нужно остановиться на научной деятельности О. Л. Струве. Отто Струве окончил Харьковский университет в 1919 г.; события первых послереволюционных лет в нашей стране привели к тому, что он оказался за ее пределами, в США. И хотя необычайно плодотворная научная, научно-организационная и научно-педагогическая деятельность О. Л. Струве протекала вне его *alma mater*, наш университет имеет все основания гордиться выдающимся своим воспитанником. Основные научные работы О. Л. Струве относятся к звездной спектроскопии. На протяжении многих лет он занимался изучением спектрально-двойных звезд и звезд ранних спектральных классов, исследовал спектры сотен двойных звезд, определил их орбиты и массы. В 1929 г. О. Л. Струве открыл уширение линий водорода и гелия электрическими полями в спектрах В-звезд и показал, что это явление может быть использовано для определения светимости звезд. Им было обнаружено существование крупномасштабных турбулентных потоков в атмосферах звезд-сверхгигантов. Совместно с Э. Фростом и С. Барретом он определил по лучевым скоростям 368 В-звезд параметры движения Солнца. В 1929 г. совместно с Г. А. Шайном О. Л. Струве предложил метод определения скоростей осевого вращения звезд и показал, что у горячих звезд эти скорости на экваторе достигают значений порядка 100 км/с. Совместно с К. Элви он установил статистическую зависимость между скоростью вращения и спектральным классом. Изучая двойные звезды с эмиссионными линиями в спектре, О. Л. Струве нашел, что эмиссии возникают в газовых оболочках и кольцах, появляющихся в результате истечения вещества из экваториальных областей быстро вращающихся звезд, а также в неустойчивых двойных системах. Ряд работ О. Л. Струве посвящен изучению межзвездной среды. По спектрам более чем 2000 горячих звезд он исследовал межзвездные линии H и K кальция и установил зависимость их интенсивности от расстояния, оценил

среднюю плотность межзвездного кальция и показал, что он участвует в галактическом вращении. С помощью впервые созданного им совместно с К. Элви небулярного спектрографа О. Л. Струве доказал существование межзвездного водорода, открыл многие диффузные и отражательные туманности.

30-е – 60-е годы XX столетия

После перехода Б. П. Герасимовича на работу в 1931 г. в Пулковскую обсерваторию объем астрофизических исследований звезд и их систем существенно уменьшился в Харьковском университете. Проводились лишь эпизодические исследования переменных (Страшный, 1932) и новых звезд (Саврон, 1935, Барабашов и Гордон, 1948). Изучались некоторые общие вопросы звездной астрономии (Пархоменко, 1932, Саврон, 1935, Сырокомский, 1939). Работы Н. П. Барабашова были посвящены фотометрическим и спектрофотометрическим наблюдениям новых Геркулеса (1935, 1948 г.г.) и Ящерицы (1938 г.), туманности Ориона (1938 г.) и общей теории новых звезд (1936 г.).

К. Н. Савченко (выпускник Херсонского института народного образования) окончил аспирантуру Харьковского университета в 1934 г. С 1934 по 1940 г.г. он – старший научный сотрудник ХАО. В этот период он обращался к задаче о происхождении Солнечной системы (Савченко, 1936). Позднее, в период его научной деятельности в 1940 – 50-е годы в Одесском университете, где он занимал должность профессора кафедры астрономии, им рассматривалось совместное образования звезд и планетных систем на основе небесно-механического подхода к этой проблеме [1].

Во второй половине 1940-х годов после окончания аспирантуры ХГУ в Астрономической обсерватории и на кафедре астрономии работал И. М. Гордон. Его научные исследования в этот период были посвящены изучению переменных звезд (1945 – 1947 г.г.) и поглощения света во внегалактических звездных системах (1941, 1945, 1946 г.г.). Последующие работы И. М. Гордона связаны с развитием представлений о нетепловой природе радиоизлучения в спектрах различных космических объектов – Солнца, сверхновых и новых звезд, различных типов переменных звезд. Он доказал наличие нетепловой компоненты в радиоизлучении Солнца после хромосферных вспышек, тем самым установил первый случай роли нетеплового (синхротронного) излучения в астрофизических объектах. Итоги этих своих исследований И. М. Гордон подвел в большой статье, опубликованной в Ученых записках ХГУ (Гордон, 1957).

В период с 1950 г. до середины 70-х годов исследования по астрофизике и звездной астрономии в Харьковском университете не велись. В этот период выпускники кафедры астрономии, которые работали в других астрономических учреждениях, внесли определенный вклад в развитие астрофизики и звездной астрономии. Это доктор физ.-мат. наук В. С. Шевченко в Астрономическом институте АН Узбекистана (известна его монография [2]), доктора физ.-мат. наук В. С. Артюх и И. Н. Малов в Астрокосмическом центре Физического института им. П. Н. Лебедева РАН, канд. физ.-мат. наук Л. М. Жмуркова и доктор физ.-мат. наук Е. Я. Гидалевич в Астрофизическом институте АН Казахстана.

Развитие звездной астрономии с 70-х гг. XX столетия по настоящее время

Возобновление исследований в Харьковском университете в области звездной астрономии произошло в середине 70-х годов. Это можно связать с двумя обстоятельствами – приходом нового поколения исследователей с соответствующими научными интересами и теми возможностями, которые открылись в связи с развитием в АО ХГУ нового научного направления по повышению углового разрешения наземных телескопов и созданием когерентно-оптического процессора для обработки изображений. Работы по определению диаметров звезд и характеристик тесных двойных систем методом спекл-интерферометрии подробно описаны выше в статье В. Н. Дудинова и др.

Исследовались также возможности применения метода спекл-интерферометрии к проблеме обнаружения планет у звезд (Захожай, 1978, 1979, 1981). Для анализа изображений, угловые размеры которых находятся на пределе углового разрешения, была создана специальная установка, позволяющая моделировать наблюдения в земных условиях телескопами с большой апертурой и интерферометрами длиной базы до 50 метров (Захожай, 1983). Был смоделирован тракт: космический объект, земная турбулентная атмосфера, телескоп с апертурой до 25 м. Была разработана методика применения метода спекл-интер-

ферометрии для поиска субзвезд и планет в окрестностях Солнца. Предпринимались попытки наблюдения затменно-переменных систем на БТА и отработывалась методика наблюдений широких двойных пар на 2,6-метровом телескопе им. Шайна и 50-см телескопе КрАО, оснащенный телевизионной установкой.

С целью развития идей о существовании и возможности поиска внесолнечных планет у ближайших звезд с конца 1970-х годов в обсерватории ведутся астрофизические и статистические исследования ближайших звезд (В. А. Захожай). Определение понятия планет как определенного класса космических тел Вселенной, а не только Солнечной системы, привело к предсказанию нового класса космических тел – субзвезд (Александров и Захожай, 1980), оценке вероятности существования планетных систем у звезд различной кратности (Захожай, 1983, 1994) и поиску субзвезд и планет различными наблюдательными методами. Проводятся также работы по изучению внутреннего строения субзвезд и химического состава их атмосфер (В. А. Захожай и А. И. Писаренко). К настоящему времени построены модели внутреннего строения субзвезд почти всего диапазона их масс в рамках неполитропной аппроксимации уравнения состояния вещества недр (Захожай и др., 1996, 1998, 1999, 2000, 2004, 2007), а также обосновывается химический состав атмосфер (1999 – 2001 г.г.), который согласуется с представлениями о существовании водородно-гелиевых планет (2001, 2003). Объяснена зависимость «масса – радиус» космических тел, в состав недр которых входит электронный газ различной степени вырождения и ионизации, что ставит в единый ряд такие разные по происхождению и идентичные по природе их недр космические тела, как белые карлики, субзвезды и водородно-гелиевые планеты. Эти исследования проводятся совместно с ННЦ ХФТИ (А. А. Яценко) и с НИИ химии ХНУ (Ю. Ф. Педаш, С. И. Котелевский).

Развитие статистических исследований окрестностей Солнца основывается на созданных в течение 1979 – 2002 г.г. каталогах звезд, включающих ранее не фигурирующие характеристики ближайших звезд, такие как массы и радиусы (Захожай, 1994, 2002), ИК-поток (Захожай и др., 1994), металличности (Захожай и Шапаренко, 1996). Обосновано разделение субзвезд на два типа (Захожай, 2001, 2003), одним из которых являются коричневые карлики.

Наблюдаемые свойства околосолнечного окружения рассматриваются в проявлениях галактической эволюции. Для этого используются обозначения, принятые в теории графов (Захожай, 1996), и свойства вероятностей ключевых событий эволюции Галактики с учетом существования в природе субзвезд (Захожай, 2003). Оценки показывают, что количество субзвезд, по-видимому, на порядок меньше количества звезд (Захожай, 2001, 2005). Число же планет в Галактике должно существенно превышать (по-видимому, на два порядка) число звезд и субзвезд (Александров и Захожай, 1983, Захожай, 1994).

С середины 70-х годов М. Ф. Ходячих активно проводились статистические исследования распределения в пространстве внегалактических объектов. Выявлено существенное уменьшение светимости квазаров со временем и цикличность изменения блеска в масштабе красного смещения (Ходячих, 1975). В распределении радиосветимостей квазаров также выявлена циклическая зависимость от красного смещения (Ходячих, 1979). Эволюцию светимостей удалось выявить у квазаров и всех квазизвездных объектов (Ходячих, 1982, 1983). Для видимого диапазона удалось выполнить оценки величины галактического поглощения по распределению квазаров на небесной сфере (Назаров, Ходячих, 1983). В 1990-х годах М. Ф. Ходячих предложил объяснять циклические изменения в распределении квазаров влиянием космологических гравитационных волн. Показано, что функция светимости квазаров не меняется со временем (1996 г.). В это время были проведены статистические исследования светимости, масс, размеров и моментов вращения галактик различных типов (Ходячих, 1995). В конце 90-х годов М. Ф. Ходячих предложил новый метод выявления звездных скоплений и выявил 4 скопления, три из которых ранее не были известны. Также были выявлены космологические периодичности в спектральных индексах на пяти частотах (Ходячих, 1995), в оптических (Ходячих, 1979, 1992) и радиосветимостях квазаров (Ходячих, 1988, 1990, 1998). По селективным и полным выборкам квазаров выявлены 5 периодов в их пространственном распределении, из которых 3 выявлены на высоком уровне значимости (Ходячих, 2003). По периодичностям в распределении пространственной плотности квазаров сделаны оценки безразмерной плотности Ω и космологической постоянной Ω_Λ . Последние из этих оценок дали значения $\Omega = 0,88$ $\Omega_\Lambda = 0,64$, что близко к значениям этих величин в современной стандартной космологической модели.

С 1980-х годов велись исследования альтернативной теории тяготения, согласно которой отсутствует горизонт событий (Верозуб, 1981, 2003). Исследовалась применимость эффекта Джозефсона для детектирования сил тяготения и сил инерции (1984 г.), а также возможность детектирования гравитационных волн с помощью других эффектов в сверхпроводниках (Верозуб, 1984, 1989, 1991, 1996); изучались общие свойства гравитации (Верозуб, 1991, 1995, 1999, 2001, 2002, 2003). В конце 90-х годов этими проблемами занимались также А. Е. Кочетов и Е. Ю. Банникова. Предметом их исследований являлся поиск наблюдаемых астрофизических проявлений метрико-полевого подхода в теории тяготения (Верозуб и Кочетов, 1999, 2002) и изучение сверхмассивного компактного объекта в центре Галактики (Банникова и Верозуб, 2001). В последнее время в нашей обсерватории начались работы, связанные с изучением свойств черных дыр (Заславский, 2007).

С 2001 г. Е. Ю. Банникова совместно с В. М. Конторовичем (РИ НАНУ) занимается теоретическими исследованиями таких структурных элементов активных ядер галактик, как джеты и торы. Моделирование в рамках диффузионной модели компактных структур джетов в радио- и рентгеновском диапазонах показало, что, сравнивая изображения структуры джетов на разных частотах и в разных диапазонах, можно получать информацию о неоднородности магнитного поля, величине максимальной энергии ускоренных частиц, скорости джета и т.д. Другим структурным элементом космических источников являются торы, которые при наличии циркуляции скорости превращаются в вихри. Было показано (Банникова и Конторович, 2003, 2004), что в случае тороидального вихря вырожденного нейтронного газа возникает минимальная масса динамического происхождения и область устойчивости, которая зависит от циркуляции. Это может объяснять наблюдаемый узкий интервал масс нейтронных звезд. Была предложена вихревая модель затеняющих торов активных ядер галактик, согласно которой дипольные тороидальные вихри, подкручиваемые излучением квазара, поставляют вещество в аккреционные диски (Банникова и Конторович, 2006, 2007). Это приводит к возникновению «аккреционно-ветровой» неустойчивости, которая объясняет наблюдаемую корреляцию между оптическими вспышками излучения квазаров и появлением парсековых компонент джетов.

В 1996 – 2006 г.г. Ю. В. Александровым был выполнен ряд работ, посвященных проблемам многомерной космологии. Сначала была рассмотрена метрическая эволюция вселенных с произвольной размерностью пространства и произвольным (в определенных пределах) уравнением состояния материи (Александров и Тарароев, 1996). Затем была изучена метрическая эволюция многомерных вселенных в рамках двухкомпонентных моделей «физический вакуум + излучение» и «физический вакуум + вещество» (Александров, 2002). Наконец, были рассмотрены двухкомпонентные модели эволюции многомерных вселенных с произвольным уравнением состояния материи. Кроме того, методом обобщенного потенциала была исследована релятивистская задача двух тел в метрике, создаваемой материальной точкой (сферическим телом) на фоне равномерно заполняющего пространство физического вакуума. Результаты всех этих исследований изложены в учебном пособии «Основы многомерной космологии» (Александров, 2007). В 2004 было издано также пособие «Основы релятивистской космологии» (Александров, 2004).

Подведем некоторые итоги. Мы видим, что исследования в области физики звезд, звездной и внегалактической астрономии продолжались у нас в обсерватории более ста лет. Периоды относительного затишья сменялись периодами более интенсивного развития. Общее число публикаций по указанной тематике составляет более чем 300 наименований. Особенно весом вклад в эти исследования Б. П. Герасимовича. Таким образом, и в изучение далекого космоса астрономы Харьковского университета также внесли свой вклад.

Литература

1. *Савченко К. Н.* Космогония Канта и проблема происхождения малых тел Солнечной системы // Проблемы происхождения тел Солнечной системы. – М.–Л., 1975. – С. 228-243.
2. *Шевченко В. С.* Ae/Be звезды Хербига. – Ташкент: Фан, 1989. – 264 с.