

АКАДЕМИЯ НАУК СССР



Н. И. НЕВСКАЯ

ФЕДОР АЛЕКСАНДРОВИЧ
БРЕДИХИН



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
МОСКВА · ЛЕНИНГРАД
1 9 6 4

Ответственный редактор
профессор *К. Ф. ОГОРОДНИКОВ*



Федор Александрович Бредихин.
(80-е годы XIX в.)

Он был один из тех людей, которые, по-видимому, предназначены показать возможную меру интеллектуальных сил человека.

П. К. Штернберг

ВВЕДЕНИЕ

Имя Федора Александровича Бредихина, выдающегося астрофизика, исследователя комет и метеорных потоков навсегда вошло в историю мировой науки. Научная деятельность Ф. А. Бредихина широка и разнообразна. Ему принадлежат работы по астрофизике, небесной механике, астрометрии, инструментальной оптике, гравиметрии, истории астрономии и даже филологии.

Наиболее важное значение для науки имеют классические труды Ф. А. Бредихина по теории комет, лежащие в основе разнообразных исследований в этой области. Основные представления по физике комет сложились под влиянием его работ, а современная теория комет базируется на разработанной им механической теории кометных форм. Современная метеорная астрономия также опирается на классические исследования Ф. А. Бредихина по теории происхождения метеорных потоков и периодических комет. Кроме того, его работы и научно-организаторская деятельность заложили основы отечественной астрофизической школы.

Естественно, что научное наследие Бредихина постоянно привлекало к себе внимание исследователей. Однако всестороннее ознакомление с ним связано с рядом трудностей. Как известно, многочисленные (более 300) статьи Ф. А. Бредихина печатались в различных русских и иностранных изданиях (на русском, французском, немецком, итальянском и английском языках), но полное собрание его сочинений ни разу не издавалось. Наиболее доступны в настоящее время работы Бредихина по теории комет, которые были обобщены под его руко-

водством Р. О. Егерманом в 1903 г. (II, 1) в «Prof. Dr. Th. Bredichin's mechanische Untersuchungen über Cometenformen in systematischer Darstellung von R. Jaegermann». Эта книга и до сих пор остается наиболее полным изложением, хотя она не лишена ряда недостатков. На русском языке краткий обзор трудов Ф. А. Бредихина о кометах делали А. А. Белопольский (II, 2), С. К. Костинский (II, 3), К. Д. Покровский (II, 4), С. В. Орлов (II, 5), О. А. Мельников (II, 6) и другие.

Исследования Ф. А. Бредихина о происхождении метеорных потоков были собраны им в один том (I, 198), который был переведен на русский язык и опубликован в 1954 г. под названием «Этюды о метеорах» (I, 198). Краткое изложение этих работ давали И. С. Абельман (II, 7) и С. К. Костинский (II, 3).

Значительно меньше внимания уделялось собственно астрофизическим исследованиям Ф. А. Бредихина (II, 6, 8).

Совершенно недостаточно освещены его работы, посвященные изучению физической природы планет, двойных и переменных звезд, а также работы по гравиметрии, сыгравшие, как показало подробное исследование вопроса, видную роль в формировании отечественных школ планетоведения, переменных звезд и гравиметрии. Значение научной деятельности Бредихина в создании отечественных школ астрофотометрии и астрофотографии также не освещалось.

Недостаточно полно раскрыта и научно-организаторская деятельность Бредихина, имевшая большое значение для развития науки конца XIX—начала XX в. Наиболее ярко охарактеризовал эту деятельность Бредихина его ближайший ученик, А. А. Белопольский: «Как истинно русский человек, он с замечательной для своего времени энергией, можно сказать против течения, отстаивал научное национальное самосознание; его он всячески старался внушать своим ближайшим ученикам: насколько он был скромен и требовал разумной научной скромности от своих учеников, настолько же он был врагом несправедливого унижения перед западом в русских людях. Эта черта с особою силою сказалась при кратковременном управлении им Пулковской обсерваторией. Нужно сознаться, что подъем духа тогда у всех его сотрудников был совершенно необычный, и если взглянуть с точки зрения истории развития науки в России, то сле-

дует с глубокой благодарностью за честь Ф. А. Бредихину сказанное как одну из крупных его заслуг перед отечеством» (II, 9).

И, наконец, весьма общо и поверхностно отмечалось влияние Ф. А. Бредихина на научную деятельность его современников. Между тем это влияние сильно сказалось на работах таких корифеев науки, как Н. Е. Жуковский, Б. К. Млодзеевский, П. Н. Лебедев и многие другие, не говоря уже об астрономах — учениках Ф. А. Бредихина: В. К. Цераском, А. А. Белополюском, А. П. Соколове, П. К. Штернберге, С. К. Костинском и других.

Настоящая книга и имеет целью хотя бы отчасти восполнить указанные пробелы. При этом особое внимание уделялось тем вопросам, которые до сих пор не получили достаточного освещения. Как известно, при выполнении тех или иных исследований Бредихин постоянно сотрудничал с целым коллективом ученых, часто привлекая к работе специалистов из совершенно других областей науки. Все эти исследования, заложившие основы «бредихинской» школы, настолько тесно переплелись друг с другом, что их невозможно разделить, не исказив единой линии в разработке данного вопроса. Поэтому при дальнейшем изложении работы, так или иначе связанные с исследованиями Бредихина и выполнявшиеся по его поручению, освещаются вместе с изложением его собственных работ. Некоторые вопросы, необходимые для изучения этого сотрудничества, но ранее не встречавшиеся в литературе, рассматриваются более подробно.

Книга состоит из введения, десяти глав и заключения. В первой главе освещается эпоха, в которую Ф. А. Бредихин начинал свою деятельность, и характеризуется его научно-организаторская и популяризаторская деятельность. Кроме того, кратко сообщаются общеизвестные биографические данные.

В главе II дается краткий обзор астрофизических исследований, выполненных предшественниками Бредихина. Отмечается роль Бредихина в основании отечественной астрофизической школы вообще и школ астроспектроскопии, астрофотографии и астрофотометрии в частности.

В главах III—VIII последовательно излагаются работы Бредихина по изучению комет, метеорных потоков,

звезд, туманностей, Солнца, планет и Земли (в том числе гравиметрические).

В главе IX кратко характеризуются исследования Бредихина по другим отраслям астрономии — астрометрии, астрономической оптике, истории астрономии. X глава посвящена филологии.

В заключении подводятся итоги разнообразной научной деятельности Бредихина и отмечается его вклад в развитие современной науки.

Приводится также библиография опубликованных трудов Ф. А. Бредихина и обширный справочный материал.

При написании настоящей монографии были использованы опубликованные труды Ф. А. Бредихина, П. Н. Лебедева, Н. Е. Жуковского и других сотрудничавших с ним ученых, а также их неопубликованные материалы, хранящиеся в архивах Москвы и Ленинграда: архиве Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова; архиве Государственного астрономического института имени П. К. Штернберга; архиве Московского общества испытателей природы; Государственном историческом архиве Московской области; рукописном отделе Государственной библиотеки имени В. И. Ленина; архивах мемориальных музеев Н. Е. Жуковского и К. А. Тимирязева; архиве Академии наук СССР (Москва, Ленинград); Центральном государственном историческом архиве (Ленинград) и Государственном историческом архиве Ленинградской области. Автор пользуется случаем, чтобы выразить глубокую благодарность сотрудникам этих учреждений за их любезную помощь при разыскании материалов, необходимых для настоящей работы.

Книга рассчитана на студентов, аспирантов и научных сотрудников физико-математических вузов и учреждений, а также на историков науки и всех читателей, интересующихся этими вопросами.

Глава I

Ф. А. БРЕДИХИН И ЕГО ЭПОХА

1. Краткие биографические сведения

Федор Александрович Бредихин родился 8 декабря 1831 г. в городе Николаеве, в старинной дворянской семье. Все его родственники со стороны отца и матери были потомственными моряками. Детство Бредихина проходило в имении отца — Солонихе, под Херсоном. Первоначальное воспитание он получил дома, под руководством бывшего директора Херсонской гимназии Э. И. Соколовского, который привил ему любовь к естественным наукам и математике. В 1845 г. Бредихин поступил в пансион при Ришельевском лицее в Одессе, а с 1849 г. стал его студентом. Однако преподавание физико-математических наук в лицее не удовлетворяло Бредихина и в 1851 г., оставив лицей, он поступил в Московский университет. На первых курсах он увлекался физикой и собирался после окончания университета стать моряком. Однако на четвертом (последнем) курсе заинтересовался астрономией и был оставлен при университете (в 1855 г.) для подготовки к профессорскому званию. Первые наблюдения на Московской обсерватории он провел вместе с Б. Я. Швейцером (1816—1873 гг.), прославившимся своими гравиметрическими работами и открытиями комет. У Бредихина рано (с 1856 г.) проявился интерес к астрофизике, которым была проникнута вся его дальнейшая научная деятельность. Интересно отметить, что тот же интерес к астрофизике привел его и к исследованию комет. В 1857 г. он сдал магистерские экзамены и начал с 1858 г. читать лекции в университете. В 1861 г. появились первые печатные работы Бредихина по исследова-

нию комет, которые впоследствии были главным делом его жизни. В 1862 г. он защитил магистерскую диссертацию «О хвостах комет» (I, 6) и с 1863 г. был назначен экстраординарным профессором. В 1864 г. он опубликовал докторскую диссертацию «Возмущения комет не зависящие от планетных притяжений» (I, 7), за которую в 1865 г. получил степень доктора астрономии и звание ординарного профессора.

Просьба Бредихина (в 1862 г.) разрешить ему заграничную командировку, которая обычно давалась тем, кто готовил магистерскую диссертацию, была отклонена «из-за отсутствия средств в университете» (II, 10). Однако в 1867 г. это разрешение было, наконец, дано на срок с 1 июня 1867 г. по 1 сентября 1868 г., который затем был перенесен с 2 сентября 1867 г. по 2 марта 1868 г. (II, 11). Почти все это время Бредихин провел в Италии, где познакомился с А. Секки, П. Таккини и другими ведущими астрофизиками и обучился методике спектроскопических наблюдений. Этот период имел важное значение для всей дальнейшей научной деятельности Бредихина. К сожалению, до сих пор он менее всего освещен в литературе из-за отсутствия необходимых материалов.¹

По возвращении на родину Бредихин вел преподавание в университете, работал на обсерватории и начал (с 1872 г.) впервые в России систематические спектроскопические наблюдения Солнца. К этому же времени относится и расцвет его научно-популяризаторской деятельности. С 1873 г. Бредихин стал директором Московской обсерватории и вскоре превратил ее в центр астрофизических работ в России. На этой обсерватории он проработал до 1890 г. Здесь были выполнены все его наиболее важные исследования, в том числе по теории кометных форм и происхождению метеорных потоков.

В конце 1890 г. Бредихин переехал в Пулково в связи с избранием его на пост директора Главной астрономической обсерватории, где он пробыл до 1895 г. Его деятельность по реорганизации этой ведущей обсерватории и расширению здесь астрофизических исследований имела важное значение для науки. Умер Бредихин 14 мая 1904 г. в Петербурге на 73 году жизни.

¹ Предпринятая в 1959 г. попытка ознакомиться с материалами Ф. А. Бредихина из архивов Рима, к сожалению, не увенчалась успехом.

2. Научный подъем 60—70-х годов XIX в. в России

Начало научной деятельности Ф. А. Бредихина пришлось на 60—70-е годы XIX в. Этот период совпал с вступлением России на путь капиталистического развития, которое сопровождалось проведением ряда реформ и прежде всего отменой крепостного права (1861 г.) Проведение аграрной реформы, нужды развивающейся капиталистической промышленности, строительство железных дорог и т. п. — все это требовало развития естественных и точных наук, в том числе и астрономии. Значительно активизировалась работа университетов, была проведена модернизация университетских обсерваторий: Московской (1844—1847 гг.), Казанской (1862 г.), Киевской (1856—1862 гг.), Виленской (1866—1868 гг.) и других (II, 12, стр. 142—143).

Подъем науки в 60—70-е годы XIX в. сопровождался созданием новых и оживлением работы ранее существовавших научных обществ. В первую очередь они стали возникать на базе университетов, особенно Московского. С. В. Орлов писал: «Эта эпоха для московской передовой интеллигенции характеризуется повышением интереса к точному знанию, что сказалось в настойчивых попытках организовать общественную научную мысль; это выразилось в создании новых научных обществ, охватывающих не только одних специалистов» (II, 13, стр. 160). Наиболее яркую и полную характеристику периода научного подъема можно найти в статье участника описываемых событий К. А. Тимирязева «Пробуждение естествознания в третьей четверти века» (II, 14).

Образование научных обществ достигло значительного развития. Достаточно отметить, что только при Московском университете были организованы за короткий срок: Общество любителей естествознания, антропологии и этнографии (1863 г.), Московское математическое общество (1867 г.), Московское химическое общество (1867 г.) и многие другие. Значительно оживилась научная работа в Московском обществе испытателей природы, основанном еще в 1805 г. В Москве оказалось вскоре столько научных обществ, что рассматривался даже вопрос об их объединении в Союз московских научных обществ (II, 15). Деятельность этих организаций благотворно

сказалась на развитии науки. Объединяя ученых смежных специальностей, они содействовали обмену мнений, совместному проведению различных исследований. Общества также принимали участие в экспедициях, финансировании научных работ. Не случайно, что наиболее активными членами и основателями обществ были выдающиеся ученые, такие как И. М. Сеченов (1829—1905 гг.), Ф. А. Бредихин (1831—1904 гг.), Д. И. Менделеев (1834—1907 гг.), А. Г. Столетов (1839—1896 гг.), В. В. Марковников (1838—1904 гг.), К. А. Тимирязев (1843—1920 гг.), Н. Е. Жуковский (1847—1921 гг.) и многие другие.

Большое влияние на формирование материалистического мировоззрения широких кругов общественности оказали идеи А. И. Герцена, Н. Г. Чернышевского, Н. А. Добролюбова. Воспитанный их идеями стихийный материализм и демократизм были отличительными чертами всех представителей передовой интеллигенции того времени.

Научный и общественный подъем привел к значительному повышению интереса к достижениям науки. Популярные лекции на различные естественно-научные темы пользовались большим успехом. В их чтении принимали участие лучшие научные силы.

3. Ф. А. Бредихин — передовой представитель своей эпохи

Ф. А. Бредихин был типичным представителем своей эпохи. В своих исследованиях он всегда стоял на позициях стихийного материализма. Не останавливаясь подробно на освещении этого хорошо изученного вопроса, приведем его известные слова, свидетельствующие о его глубокой вере в прогресс науки:² «Здесь мы стоим, очевидно, на рубеже знания, за которым начинается область неведомого, и дальнейшее движение в ней, быть может, откроет, увы! еще большие трудности.

«Едва ли, впрочем, уместен здесь возглас сожаления. Кому удавалось в жизни — после трудов, усилий и сомнений — угадать, найти хоть малую крупицу общей истины в науке или в искусстве — тот помнит, какие светлые

² Эти слова были сказаны по поводу только что открытых (1893 г.) новых звезд.

минуты переживал он. Не тогда ли он жил вполне лучшей частью своего существа? В необъятной вселенной безмерно долгое время будут возникать для нас, один за другим, новые и новые нерешенные вопросы и таким образом перед человеком лежит уходящий в бесконечность путь научного труда, умственной жизни, с ее тревогами и наслаждениями» (I, 175, стр. 42). К. А. Тимирязев использовал это высказывание материалиста Ф. А. Бредихина в борьбе против защитника неовитализма И. П. Бородин (1847—1930 гг.) (II, 16, стр. 189).

Демократические убеждения Ф. А. Бредихина также хорошо известны, поэтому нет необходимости подробно на них останавливаться. Достаточно указать, что трагедия В. Альфиери «Виргиния», которую он перевел в 1871 г., посвящена борьбе плебеев с тираном. Выбор для перевода именно такой трагедии, конечно, не случаен. Он всегда придерживался демократических убеждений. В этом отношении весьма убедительна анкета, заполненная им в 1861 г. от имени группы передовых профессоров Московского университета в связи с выработкой демократического университетского устава 1863 г. (II, 17, лл. 1—12). Эти убеждения, возможно, сказались и на формировании взглядов его ученика П. К. Штернберга (1865—1920 гг.), большевика, активно участвовавшего в Великой Октябрьской социалистической революции (II, 18).

Ф. А. Бредихин принял активное участие в расширении и развитии научных исследований, в создании новых научных обществ. Он был членом-учредителем Московского математического общества, в котором часто выступал с докладами. Активно участвовал в работе Московского общества испытателей природы, где был избран президентом, а затем — почетным членом (после отъезда из Москвы). Почти забыта в настоящее время деятельность Ф. А. Бредихина в Московском обществе любителей естествознания, антропологии и этнографии. Однако следует признать, что в свое время она была весьма плодотворной. Об этом свидетельствует хотя бы тот факт, что это общество, ранее не занимавшееся серьезной научной работой, по инициативе Бредихина организовало ряд станций для наблюдений прохождения Венеры по диску Солнца в 1874 г. Одну из них предполагалось первоначально устроить на побережье Черного моря (II, 19). Однако позднее станция была перенесена в Са-

ратов. Туда ездил сам Ф. А. Бредихин (I, 55). Другая станция (наблюдатель — пулковский астроном Деллен) находилась в Египте (Фивы). Она получила важные результаты (II, 20, стр. 11), так как была одной из двух станций, на которых погода не помешала наблюдениям (Россией всего было организовано 33 станции). К. А. Тимирязев отмечал впоследствии, что только «благодаря деятельному участию Бредихина, Столетова, Жуковского и Марковникова» Московское общество любителей естествознания, антропологии и этнографии вступило на путь серьезной научной работы вместо прежней чисто «музейной деятельности» (II, 14, стр. 22).

Активное участие Бредихина в работе научных обществ было весьма полезным для руководимой им Московской обсерватории. Часто выступая с докладами, он сумел заинтересовать своими исследованиями ученых смежных, а часто и довольно далеких от астрономии специальностей. Привлечение этих научных сил имело большое значение, так как официальный штат обсерватории состоял в то время из двух человек: директора и астронома-наблюдателя.

Бредихин принимал активное участие и в чтении популярных лекций на астрономические темы, причем считался одним из лучших лекторов. По воспоминаниям современников (II, 3, 21), на его лекции «съезжалась вся Москва». Это создавало популярность его взглядам и теориям, помогало организовывать и проводить намеченные исследования.

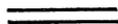
Его научные интересы надолго определили и тематику работ Московской обсерватории. При нем эта обсерватория стала центром астрофизических исследований в России. Бредихин организовал здесь наблюдения с применением всех трех астрофизических методов — спектроскопического, фотографического и фотометрического.

Он поддерживал творческие связи со всеми астрофизиками России. Так, Бредихин консультировал астрономов Виленской обсерватории по вопросу о фотографировании солнечных пятен (II, 22). Встречался и переписывался с физиками и астрономами Петербургского университета — Ф. Ф. Петрушевским (1828—1904 гг.) (II, 23), Н. Г. Егоровым (1849—1919 гг.) (II, 24), С. П. Глазенапом (1848—1937 гг.) (II, 25). Постоянно обменивался мнениями с А. К. Кононовичем (1850—1910 гг.) из Одесской обсер-

ватории (II, 26) и О. В. Струве (1819—1905 гг.), от которого узнавал о работах пулковских астрофизиков (II, 27).

После переезда в Пулково Бредихин не порвал связи с Московской обсерваторией. Он по-прежнему был постоянно в курсе всех ведущихся там работ, всячески их поддерживал и даже учредил при Московском университете стипендию для магистрантов-астрономов. Вместе с тем, будучи директором Пулковской обсерватории, он провел огромную работу по ее реорганизации и оснащению новыми инструментами, поднял и там астрофизические исследования на должную высоту. Неоднократно объезжая обсерватории России, он оказал большую помощь Ташкентской, Одесской, Крымской и другим обсерваториям в приобретении инструментов, воспитании научных кадров и в развитии астрофизических работ.

Плодотворной для отечественной науки была и деятельность Бредихина в Академии наук. Несмотря на неблагоприятную обстановку в этом, по его выражению, «святом мирке», где большинство принадлежало царским чиновникам от науки, он старался всемерно поддержать выдающихся отечественных ученых. Бредихин гордился достижениями отечественной науки и искренне огорчался, когда они не получали заслуженной оценки со стороны Академии. Вот что писал он известному московскому математику Н. В. Бугаеву (1837—1903 гг.): «. . .отрадно видеть, что у нас делается много серьезного, но грустно сознавать, что мы как-то злы к своим, прыгая на задних лапках перед чужими» (II, 28). Бредихин всегда смело поддерживал любое серьезное начинание, чем в значительной мере способствовал развитию отечественной науки и признанию ее достижений за рубежом.



Глава II

Ф. А. БРЕДИХИН — ПИОНЕР АСТРОФИЗИКИ И ОСНОВАТЕЛЬ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ АСТРОФИЗИЧЕСКОЙ ШКОЛЫ

Как отмечалось в главе I, научные интересы Ф. А. Бредихина были весьма разнообразны. Однако интерес к астрофизике красной нитью проходил через все его творчество, постоянно занимал в нем ведущее, определяющее место. Конечной целью любого исследования Бредихина всегда было стремление проникнуть в самую сущность изучаемого явления, раскрыть его физическую природу. Именно поэтому он стал горячим сторонником новой тогда науки — астрофизики — и основателем отечественной астрофизической школы.

Астрофизика как наука основывается на применении к изучению астрономических явлений физических теорий, методов и средств исследования. Поэтому она могла развиваться только после создания основ методов спектрального анализа, фотометрии и фотографии, т. е. ко второй половине XIX в.

Использование результатов астрономических наблюдений значительно расширило экспериментальную базу физики, сделав доступными для непосредственного изучения такие процессы и явления, которые в земных условиях очень редки или вовсе не проявляются. Так, приобрели реальность понятия теоретической физики об идеальном газе, метастабильных состояниях, давлении светового излучения, внутриядерных процессах, эффекте Эйнштейна (отклонение луча в гравитационном поле) и т. п.

С другой стороны, применение физической теории и методов исследования к изучению астрономических объек-

тов дало возможность выяснить их физическую природу в целом ряде случаев и судить о различных процессах и явлениях, протекающих в мировом пространстве.

1. Возникновение астрофизики в России (60—70-е годы XIX в.)

Период возникновения астрофизики в России (60—70-е годы XIX в.) совпал с вступлением страны на капиталистический путь развития, которое сопровождалось научным и общественным подъемом. Эта эпоха, в которую начинал свою научную деятельность Ф. А. Бредихин, охарактеризована в главе I, поэтому на ней нет необходимости останавливаться.

Первые астрофизические исследования в России можно разделить на три основных этапа: 1. Воспитание кадров будущих астрофизиков (Дерптская обсерватория); 2. Освоение новых инструментов и методов астрофизического исследования, а также наряду с подготовкой кадров распространение астрофизических идей (Виленская обсерватория, обсерватория Петербургского университета, Пулковско); 3. Начало серьезных систематических астрофизических исследований (Московская обсерватория, Пулковско).

В воспитании пионеров отечественной астрофизики видная роль принадлежит обсерватории Дерптского университета,³ которая в директорство В. Я. Струве (1793—1864 гг.), т. е. фактически с 1814 по 1839 г. (II, 29, стр. 81), стала одной из лучших в Европе по качеству оборудования. Хотя основное направление работ оставалось астрометрическим, ученики В. Я. Струве — А. Н. Савич (1810—1883 гг.) (II, 30) и особенно Е. Е. Саблер⁴ (1810—1865 гг.) проявили интерес к астрофизическим исследованиям.

Е. Е. Саблер еще с 1833 г. наблюдал Луну (II, 29, стр. 168). В 1836—1838 гг. Е. Е. Саблер и А. Н. Савич участвовали в так называемой Каспийской экспедиции,⁵

³ Впоследствии Дерпт назывался Юрьев и Тарту.

⁴ А. Н. Савич и Е. Е. Саблер — воспитанники организованного в 1834 г. при Дерптском университете Профессорского института. Первый был прислан сюда после окончания Петербургского университета, второй — ученик В. Я. Струве по Дерптскому университету (II, 29, стр. 166—167).

⁵ Экспедиция по определению разности уровней Черного и Каспийского морей.

на материалах которой они выполнили исследование атмосферной рефракции (II, 29, стр. 168—169). А. Н. Савич в 1839 г. прочел в университете пробную лекцию на тему: «О физических свойствах комет» (II, 29, стр. 169).

В 1839 г., после открытия Пулковской обсерватории, В. Я. Струве и Е. Е. Саблер перешли работать туда, а А. Н. Савич — в Петербургский университет, и Дерптская обсерватория утратила свое прежнее значение (II, 29, стр. 169—170).

Первой астрофизической обсерваторией в России стала Виленская (II, 31), после того как в 1864 г. ее директором был назначен Е. Е. Саблер. Помощником директора был М. М. Гусев (1826—1866 гг.), ранее, в 1850—1852 гг., работавший в Пулкове (II, 32).

Саблера и Гусева по праву можно назвать пионерами отечественной астрофизики. Саблер, еще ранее интересовавшийся астрофизическими исследованиями, став директором, включил их в число главных задач Виленской обсерватории. Ему и в особенности Гусеву принадлежит большая заслуга в подготовке и проведении модернизации оборудования этого научного учреждения. По инициативе М. М. Гусева, при активной поддержке Е. Е. Саблера и В. Я. Струве, был заказан у И. Дальмейера (1830—1833 гг.) знаменитый фотогелиограф (II, 33). Предполагая заняться фотографированием солнечной поверхности для изучения пятен, Е. Е. Саблер поехал в Англию (обсерватория в Кью), где изучал у В. Деларю (1815—1889 гг.) методику и технику этих новых в то время работ и провел ряд самостоятельных наблюдений (II, 33).

В 1864 г. Е. Е. Саблер вернулся в Вильно и привез фотогелиограф Дальмейера, который выдвинул Виленскую обсерваторию в число лучших в Европе.⁶ Однако последний год жизни Е. Е. Саблер постоянно болел, и установкой фотогелиографа занимался М. М. Гусев, ставший с 1865 г. директором обсерватории. Еще в 1860 г. Гусев изучал фотографии Луны, подаренные ему Деларю, и произвел точное их измерение (II, 32, стр. 491; 12, стр. 156). Кроме того, он исследовал собственное движение звезд, наблюдал периодические метеорные потоки.

⁶ Фотогелиографы системы Дальмейера имелись в то время только в двух обсерваториях в мире — Виленской и обсерватории в Кью.

Изучая солнечную корону и протуберанцы, он правильно считал их реальными образованиями, тогда как многие его современники приписывали им оптическое происхождение (II, 32, стр. 493—494; 12, стр. 156).

В 1866 г. директором Виленской обсерватории был назначен П. М. Смыслов (1825—1891 гг.) При нем модернизация обсерватории была завершена и заложенное М. М. Гусевым и Е. Е. Саблером астрофизическое направление работ сохранено и расширено. После окончательной установки фотогелиографа в 1868 г. было начато систематическое фотографирование солнечных пятен. Одновременно с этими работами проводилось визуальное изучение солнечной поверхности при помощи 6" рефрактора с гелиоскопом (II, 34, стр. 241; 35, стр. 214).

В мае 1868 г. Виленская обсерватория получила фотометр Ф. Шверда (II, 36), на котором начал работать Ф. К. Берг, специально обучавшийся у Ф. Шверда и Ф. Цёлльнера (II, 35, стр. 240—241, 244). На основании фотометрических наблюдений 1868—1873 гг. Берг составил таблицу атмосферного поглощения (II, 37, стр. 216—218). Этот вопрос он изучал и теоретически (II, 38, стр. 55). Кроме того, еще в 1868 г. он разработал способ вычисления высот метеоров при наблюдении из двух удаленных пунктов (II, 35, стр. 245).

На Виленской обсерватории была также предпринята неудачная попытка организовать спектроскопические наблюдения Солнца. Для этой цели в конце 1870 г. был приобретен универсальный спектроскоп Мерца, исследованный и усовершенствованный Ф. Цёлльнером, по мнению которого он был одним из лучших в то время (II, 37, стр. 199—200). Однако наблюдения протуберанцев так и не были начаты, потому что сотрудники обсерватории не умели пользоваться этим инструментом. Например, в отчете Виленской обсерватории за 1871 г. было отмечено, что сотрудники обсерватории «ознакомились со спектроскопом только настолько, что наблюдали отчетливый спектр Солнца, атмосферы Земли и некоторых звезд» (II, 37). Вероятно, дальше этих попыток спектральные работы на Виленской обсерватории не пошли. Во всяком случае, в дальнейших отчетах о них не встречается никаких упоминаний.

В области фотогелиографических работ Виленская обсерватория добилась выдающихся успехов. Была даже

предпринята удачная попытка фотографирования Солнца сухим способом, вместо распространенного в то время неудобного «мокрого» способа (II, 37, стр. 202).

Ряд обсерваторий России посылали в Вильно своих сотрудников для изучения методики и техники этих работ. Так, в апреле 1871 г. в Вильно побывал тогдашний директор Московской обсерватории Б. Я. Швейцер (1816—1873 гг.) (II, 37, стр. 202—203), а затем — в 1872 г. — В. К. Цераский (1849—1925) (II, 38, стр. 44). Однако их пребывание в Вильно было кратковременным, и они не успели детально ознакомиться с методами фотографических работ. Значительно подробнее изучил эти методы пулковский астроном Б. Гассельберг (1848—1922 гг.), который приезжал в Вильно в 1873 г. (II, 39), а затем продолжал свои работы в Пулкове. Однако Виленская обсерватория, только что наладившая было астрофизические исследования и начавшая систематические фотогелиографические работы, просуществовала недолго. После пожара в декабре 1876 г., уничтожившего фотогелиометр, фотографическую лабораторию, спектроскоп и другие важные инструменты и помещения для них, эта первая в России астрофизическая обсерватория была упразднена.

Видная роль в разработке астрофизических методов исследования и распространении астрофизических идей в России 1872—1887 гг. принадлежит физической лаборатории и астрофизической обсерватории Петербургского университета, руководимыми Ф. Ф. Петрушевским (1828—1904 гг.). Один из пионеров отечественной астрофизики, он уделял большое внимание разработке спектроскопического, фотометрического и фотографического методов и пропагандировал их применение в астрономии. Петрушевский известен как автор плана всестороннего спектроскопического исследования лунной поверхности. Этот план был разработан в 1866—1871 гг. Для его выполнения Петрушевский добился разрешения на постройку специальной башни над зданием физической лаборатории (так называемым зданием *Jeu de paum'e*) (II, 40). Там предполагалось установить 4'' рефрактор со спектроскопом. Строительство башни и установку в ней инструментов под руководством Петрушевского вели механики Г. К. Брауэр (1816—1882 гг.) и А. Франц, известные своими работами в Пулковской обсерватории (II, 41). План

Петрушевского предусматривал разнообразные исследования для изучения отражательной способности, цветовых особенностей и степени поляризации света, получаемого от различных участков лунной поверхности (II, 42 и др.). Для проведения намеченных работ Петрушевский сконструировал специальный спектрофотометр, который был заказан Брауэру (II, 43). Коллектив физической лаборатории Петрушевского провел ряд интересных лабораторных исследований и астрономических наблюдений из астрофизической башни, которые, к сожалению, не пошли дальше предварительных результатов. Ряд астрофизических исследований был проведен и в Пулковской обсерватории. Так, еще в 1868 г. здесь были начаты работы на приобретенных обсерваторией визуальных фотометрах. Исследование этих инструментов произвел П. Г. Розен в 1868—1869 гг. В 1870—1874 гг. Э. Э. Линдеман определял минимумы блеска Алголя (II, 12, стр. 305; 8, стр. 35). Б. Гассельберг в 1872—1888 гг. проводил лабораторные спектроскопические исследования (II, 8, стр. 25, 33—35). Однако вплоть до 1890 г., когда директором Пулковской обсерватории стал Ф. А. Бредихин, астрофизические работы носили там второстепенный характер и никогда не считались главными в работе обсерватории, как это было в Вильно, Петербурге или Москве.

После пожара на Виленской обсерватории (1876 г.) центр астрофизических работ в России переместился в Московскую обсерваторию. В 1874 г. там был получен фотогелиограф Дальмейера, изготовленный по образцу Виленского,⁷ который вместе с 10."5 рефрактором и универсальным спектроскопом Мерца составил инструментальную базу для проведения астрофизических работ. Этот период развития астрофизики тесно связан с работами Ф. А. Бредихина — выдающегося ученого и основателя отечественной астрофизической школы. Еще в 1872 г. он начал систематические спектроскопические наблюдения Солнца (отдельные наблюдения проводились в 1869 и 1871 гг.) на своей частной обсерватории. С 1873 г. эти

⁷ В связи с подготовкой к наблюдениям прохождения Венеры по диску Солнца в 1874 г. Дальмейеру были заказаны пять фотогелиографов по образцу Виленского. Два из них заказала Россия, в том числе один инструмент предназначался для Московской обсерватории (II, 37, стр. 202).

работы были перенесены на Московскую обсерваторию, директором которой стал Бредихин. Они были дополнены систематическим фотографированием Солнца на фотогелиографе, аналогичном виленскому. Помимо спектроскопических наблюдений планет, комет и туманностей, на Московской обсерватории проводилось систематическое изучение больших планет, метеорных потоков и т. д. По исследованию комет, их спектров и разработке кометной теории Московская обсерватория заняла первое место в мире благодаря работам Бредихина. Не была забыта и другая отрасль астрофизики — фотометрия. Астрофотометрические исследования с 1875 г. были поручены В. К. Цераскому, который прославился работами в этой области и стал основателем отечественной школы фотометристов.

Пулковский период (с 1890 г.) развития отечественной астрофизики, являющийся продолжением Московского, также тесно связан с именем Бредихина, который, получив в 1890 г. назначение на пост директора Пулковской обсерватории, поднял и там астрофизические исследования на должную высоту. Его ученики, перешедшие на работу в Пулково вместе с ним, продолжили и развили эти традиции.

Таким образом, очевидно, что основы отечественной астрофизической школы были заложены именно в Московский период. Вклад других обсерваторий России в дело развития астрофизических исследований (до 1890 г.) по сравнению с работами Московской обсерватории можно считать незначительным. Недаром Бредихин с горечью писал в 1881 г., что это дело «... в Вильно едва тащилось и прогорело; под северным небом Пулкова до сих пор и не выгорало; в других местах о нем и не думают» (II, 26, стр. 314).

Становление и развитие отечественной астрофизической школы тесно связано с деятельностью Московской обсерватории, директором которой в этот период был Ф. А. Бредихин. Отечественная астрофизика развивалась в контакте с наукой зарубежных стран, в особенности Италии, где астроспектроскопия была представлена наиболее ярко.

Остановимся более подробно на установлении и развитии научных контактов русских астрофизиков с их итальянскими коллегами.

2. Научные связи русских и итальянских астрофизиков

В Италии одним из первых начал внедрять астрофизические методы (особенно спектроскопический) в астрономию выдающийся ученый А. Секки (1818—1878 гг.). Он изучал поверхности больших планет, наблюдал кометы, метеорные потоки, фотографировал Луну. Первым наблюдал на поверхности Марса темные полосы, названные им «каналы» (1859 г.), который позднее (1877 г.) подробно изучил Дж. Скиапарелли. А. Секки получил первую фотографию солнечной короны (1860 г.). Он явился одним из основателей астрофизики вообще и астроспектроскопии в частности. На базе спектров более 4000 звезд он составил первую классификацию звездных спектров (1863 г.), просуществовавшую вплоть до замены ее гарвардской системой классификации в 900-х годах. Секки в течение длительного времени наблюдал Солнце, разработал теорию его фотосферы и написал обширную монографию, которая долгое время была классической работой в этой области (II, 44). Он был признанным главой итальянских астрофизиков того времени. Одновременно с ним работали Л. Респиги (1824—1889 гг.), известный своими исследованиями спектров звезд, солнечной короны и протуберанцев, Г. Темпель (1821—1889 гг.), известный своими наблюдениями комет, и другие ученые (II, 45). Наиболее выдающимся из них был Дж. Скиапарелли (1835—1910 гг.), установивший генетическую связь комет с метеорными потоками. Позднее он прославился своими наблюдениями больших планет, в том числе Марса, а также метеорных потоков, комет и двойных звезд. Значительный вклад в изучение метеорных потоков внес Дж. Лоренцони. Исследованием Солнца, больших планет и комет занимались П. Таккини, А. Рикко, А. Абетти и другие. Работы этих ученых выдвинули итальянскую астрофизику на первом этапе ее развития на ведущее место в мире. Несомненно, что при этом определенную роль сыграли и благоприятные климатические условия Италии, небо которой почти круглый год доступно для наблюдений. Под ясным итальянским небом можно было сделать много интересных открытий, располагая даже небольшими инструментами.

Вполне естественно, что русские астрофизики проявляли живой интерес к работам своих итальянских коллег.

Поэтому и Бредихин, получив разрешение на годичную командировку за границу, выбрал местом своих научных занятий именно Италию. Там он познакомился с работами ведущих итальянских астрофизиков и обучился методике астроспектроскопических наблюдений непосредственно у ее основателя — Секки. Во время этой командировки Бредихин изучил итальянский язык, чтобы в подлиннике читать работы итальянских ученых. Это стало в отечественной астрофизике своего рода традицией. Итальянский язык знали многие из учеников Бредихина, как впрочем, и ученики его учеников — советские астрофизики Г. А. Тихов, Г. А. Шайн, О. А. Мельников и другие. Большой интерес к работам итальянских астрофизиков проявлял и П. Н. Лебедев. Работа Секки «Единство физических сил» была его настольной книгой, которая оказала влияние на формирование его идей о космической роли светового давления.

Научные связи итальянских и русских ученых имеют свою историю. Из переписки Секки с А. Я. Купфером⁸ ясно, что эти ученые еще в 1857 г. обсуждали вопрос о фотографировании лунной поверхности (II, 46). Переписка Секки с Г. И. Вильдом⁹ посвящена обсуждению метеорологических наблюдений, собранных Главной геофизической обсерваторией по России и Секки по Италии за 1857—1859 гг. (II, 47). Этот факт приобретает особый интерес в связи с тем, что разработанная впоследствии Секки программа наблюдений Солнца включала в себя обязательные метеорологические наблюдения и наблюдения полярных сияний, на основании которых был сделан вывод о связи солнечной активности с земными явлениями. Несомненно, что страна с такой обширной территорией и таким разнообразием климатических условий, как Россия, могла представить наиболее ценные в этом отношении сведения.

Более тесные контакты между русскими и итальянскими учеными установились с 1859 г., когда Скиапарелли получил разрешение приехать в Пулковскую обсерваторию для завершения своего астрономического образования.

⁸ А. Я. Купфер (1799—1865 гг.) — русский академик, специалист в области физики.

⁹ Г. И. Вильд (1833—1902 гг.) — геофизик, директор Главной геофизической обсерватории России того времени.

Особенно прочными и плодотворными русско-итальянские научные связи стали после поездки Бредихина в Италию (со 2 IX 1867 по 2 III 1868), где произошло личное знакомство глав русской и итальянской астрофизических школ. Именно с этого времени работа указанных школ развивалась в тесном контакте и по единой программе.

Центром этих исследований, особенно на первом этапе, стало Итальянское общество спектроскопистов, основанное по инициативе Секки и Таккини. Это общество было создано специально для изучения Солнца, которое однако, не осталось единственным объектом исследования. Члены общества наблюдали планеты, кометы, новые звезды, болиды, метеорные потоки. Изучали их спектры, обсуждали предлагаемые теории их физического строения, происхождения и т. п. С самого своего образования это общество широко привлекло к работе не только астрономов, но и специалистов по физике и химии. В одном из пунктов устава общества было указано: «В новом обществе могут принимать участие, кроме астрономов, те физики и химики, которые в своих кабинетах намерены изучать приложения к спектроскопии; и их работы будут публиковаться одновременно и наравне с работами астрономов» (II, 48, стр. 6). Такой пункт был, вероятно, обусловлен и тем, что в то время еще не существовало в мире ни одного общества, занимавшегося специально астрофизическими вопросами. Общество итальянских спектроскопистов, это первое в мире специально астрофизическое общество, имевшее к тому же свое особое издание, сразу перешагнуло за узконациональные рамки, предполагавшиеся в его названии. В Мемуарах Общества итальянских спектроскопистов находили широкое освещение все новые открытия и достижения астрофизики того времени, причем в изложении самих авторов. Статьи печатались на итальянском, французском, английском и немецком языках. Таким образом, Мемуары фактически стали международным астрофизическим журналом.¹⁰

В числе иностранных членов общества были крупнейшие ученые России (Ф. А. Бредихин), Франции (П. Ж. Жансен, Р. Вольф, М. Корню, Ж. Райе, Э. Фай), Англии (Н. Локьер, В. Хёггинс), Германии (Г. Фогель),

¹⁰ Они выполняли эту роль до начала издания «*Astrophysical Journal*» (1895 г.).

Америки (Х. Роуланд, Е. Пиккеринг, С. Ланглей, Ч. Юнг), Венгрии (Н. Конколи), Швеции (Н. Дунер), Чехословакии (К. Зенгер) и других стран. Общество имело своих представителей даже в Африке (Дж. Гилл) и Индии (Q. Š.¹¹).

Тем более интересно, что работы русских ученых с начала этого издания занимали видное положение на его страницах. Так, уже со второго тома в Мемуарах систематически печатались работы Ф. А. Бредихина, а затем В. К. Цераского, И. И. Сикоры, А. А. Белопольского, С. К. Костинского, А. П. Ганского, Г. А. Тихова, Б. Гассельберга и других. Они содержали различные исследования Солнца, планет, звезд, туманностей, метеорных потоков и т. д. Первым русским и вторым иностранным членом Итальянского общества спектроскопистов был Бредихин.¹² За 1873—1902 гг. в Мемуарах было опубликовано 15 его статей. Четыре из них касались спектроскопического наблюдения Солнца; две — изучения спектров комет, планет и туманностей; восемь — основных положений механической теории кометных форм и физики комет; одна — образования метеорных потоков. Указанные статьи затрагивали только наиболее важные вопросы, представляющие интерес для ученых всего мира. Однако и остальные работы Бредихина, как, впрочем, и других сотрудников Московской обсерватории, были хорошо известны итальянским астрономам. С 1874 г. Московская обсерватория начала издавать свои труды и установила регулярный обмен изданиями с целым рядом научных учреждений и обществ Италии,¹³ в числе которых было и Общество итальянских спектроскопистов. Уже с 1873 г. работы русских и итальянских ученых проводились по единой программе и сопровождалась оживленным обсуждением, находившим отражение на страницах обоих упомянутых изданий.¹⁴ Наиболее важной проблемой, разрабатывавшейся совместно русскими и итальянскими астрофизиками, было изучение физической природы Солнца, признанное главной задачей общества итальянских спектроскопистов.

¹¹ Анонимный автор.

¹² По частному сообщению Дж. Абетти.

¹³ Списки полученных из-за границы изданий печатались в первых томах *Анналов Московской обсерватории*.

¹⁴ «*Annales de l'observatoire de Moscou*» и «*Memorie della società degli spettroscopisti italiani*».

3. Роль Ф. А. Бредихина в создании отечественной астроспектроскопической школы

Ф. А. Бредихину принадлежат большие заслуги в организации и проведении первых в России удачных астроспектроскопических наблюдений, в создании школы отечественных астроспектроскопистов и воспитании главы советской астроспектроскопической школы — выдающегося ученого с мировой известностью — А. А. Белопольского (1854—1934 гг.).

Как глава отечественной астрофизической школы Бредихин прилагал много усилий к развитию различных отраслей этой новой тогда науки, всегда проявляя особый интерес к астроспектроскопическим наблюдениям. Так, с 1872 по 1883 г. он систематически вел спектральные наблюдения Солнца. С 1874 г. он начал наблюдение кометных спектров. С 1875 г. наблюдал спектры планетарных туманностей. Эти работы, проводившиеся в течение ряда лет, привели к созданию отечественной астроспектроскопической школы. Вместе с работами В. Хёггинса, А. Секки, Г. Фогеля, Ч. Юнга и других, спектральные исследования Бредихина заложили основы современной астрофизики и астроспектроскопии. Все эти исследования будут подробно освещены в последующих главах, поэтому нет необходимости сейчас на них останавливаться.

Однако вклад Бредихина в развитие отечественной и мировой астрофизики не ограничивается его собственными наблюдениями и исследованиями. Он был также умелым воспитателем высококвалифицированных научных кадров, что и помогло ему закрепить достигнутые им успехи, продолжить и развить начатые им исследования. Именно эта особенность Бредихина позволила ему, в отличие от ряда других астрофизиков, успешно работавших в России, создать отечественную астрофизическую школу. Ф. А. Бредихин воспитал выдающихся представителей отечественной и мировой науки, среди которых были А. А. Белопольский, В. К. Цераский, П. К. Штернберг, С. К. Костинский и многие другие. Он умел подбирать способных сотрудников, которым предоставлял широкие возможности выбора специальности и всемерно поддерживал их исследования в избранной области. Все эти черты ярко проявились и в отношении А. А. Белопольского, который именно

благодаря Бредихину стал астрономом и спектроскопистом.

Остановимся несколько подробнее на том, при каких обстоятельствах Белополюский попал на Московскую обсерваторию. Цераский из-за болезни не мог продолжать фотографирование Солнца. Чтобы не прерывать систематических работ, необходимо было найти другого наблюдателя, знакомого с фотографией, который мог бы заменить его. И Бредихин смело доверил эти ответственные наблюдения студенту четвертого курса Белополюскому, в котором он сумел разглядеть недюжинные способности. В донесении физико-математическому факультету от 4 III 1877 Бредихин писал: «. . . в настоящее время, по случаю болезни г. Цераского, я нахожу возможным поручить г. Белополюскому после небольшой подготовки под руководством г. Цераского — систематическое фотографирование Солнца с вознаграждением в течение 4—5 месяцев около 20 рублей в год из штатной суммы обсерватории» (II, 49). Следует отметить, что Бредихин в том же донесении ходатайствовал перед физико-математическим факультетом об оставлении Белополюского при университете.

До четвертого курса Белополюский не интересовался астрономией и не думал быть астрономом. Однако учебные занятия в обсерватории, а затем предложение Бредихина изменили его дальнейшую судьбу. Вот как Белополюский описывал это в своих воспоминаниях: «По окончании курса в университете . . . директор астрономической обсерватории Ф. А. Бредихин предложил мне на лето заняться систематически фотографией солнечной поверхности при помощи фотогелиографа. Я охотно принял это предложение, имея некоторый опыт в фотографии. Таким образом случайно я сделался астрономом» (II, 50, стр. 10).

Как видно из приведенных выше слов Бредихина и Белополюского, фотогелиографические наблюдения были поручены Белополюскому лишь временно, однако он так успешно с ними справился, что они были оставлены за Белополюским и после возвращения Цераского. Он продолжал их вплоть до 1885 г.

Вызывает удивление тонкая проницательность Бредихина, увидевшего в студенте Белополюском задатки будущего видного ученого. Вот что писал о нем Бреди-

хин в марте 1877 г.: «Между теми из студентов IV курса, которые ревностно занимаются в настоящее время астрономией, особенное внимание обращает на себя г. Белопольский — счастливое здоровье, несомненная любовь к науке, выходящая из ряда способность к усвоению разнообразных практических приемов, усидчивость в вычислениях, — все это заставляет меня смело сказать, что г. Белопольский при надлежащей поддержке может сделаться весьма полезным практическим астрономом» (II, 49, л. 1). Дальнейшие события показали, насколько прав был Бредихин. При его всемерной поддержке Белопольский действительно стал крупнейшим ученым с мировым именем.

Фотогелиографические работы, проводившиеся на Московской обсерватории, были тесно связаны со спектроскопическими исследованиями самого Бредихина. Поэтому уже с первых шагов работы на обсерватории Белопольский познакомился и с астроспектроскопией. Позже (1881 г.) он проводил спектральные наблюдения совместно с Бредихиным. Первые работы Белопольского оказали большое влияние на всю его дальнейшую научную деятельность. Несмотря на то, что им было выполнено впоследствии много исследований в различных областях науки, спектроскопия всегда занимала среди них первое место.

Тематика научных работ Белопольского весьма разнообразна. Он занимался всем, что интересовало и Бредихина. Ему принадлежат исследования по изучению физической природы Солнца, комет, больших планет, метеорных потоков, звезд. Участвовал он также в гравиметрических и других текущих работах Московской обсерватории.

Уже первые исследования Солнца, поднявшие весьма актуальные и мало изученные в то время вопросы, сделали имя Белопольского известным как в России, так и за границей. В 1888 г. он был приглашен в Пулковскую обсерваторию на должность адъюнкт-астронома.

В первые годы пребывания в Пулкове Белопольский занимался астрометрией, не имея возможности продолжать астрофизические исследования. Однако положение решительно изменилось, когда на пост директора Пулковской обсерватории вступил Ф. А. Бредихин (1890 г.).

В 1891 г. Белополюский был назначен на должность астрофизика, в его распоряжение были предоставлены большие инструменты, лаборатория и все необходимое оборудование.

Астрофизические исследования впервые были включены в число главных задач Пулковской обсерватории.

В числе первых астрофизических работ Белополюского в Пулкове были систематические спектральные наблюдения Солнца, являвшиеся продолжением московских наблюдений Бредихина. Проводились они при помощи спектроскопа, взятого на время из Московской обсерватории.

Для многих работ Белополюского характерно стремление решить вопросы, поднимавшиеся уже Бредихиным, однако — спектральным методом.

В Москве Белополюский под руководством Бредихина изучал закон вращения Солнца по движению пятен. В Пулкове он продолжал эти исследования по движению факелов, а затем — занялся изучением вращения Солнца спектроскопическим методом.

Начатые Бредихиным исследования закона вращения Юпитера были продолжены Белополюским также с применением спектрального метода. Впоследствии эти исследования были распространены и на другие большие планеты — Сатурн и Венеру.

Как уже упоминалось, Бредихин проявлял большой интерес к исследованиям переменных и двойных звезд. Эта линия нашла в трудах Белополюского блестящее развитие. В течение всего пулковского периода своей научной деятельности он непрерывно занимался изучением лучевой скорости (v_λ) Алголя, в результате чего ему удалось обнаружить и изучить ее изменение (II, 50, стр. 29).

Замечательные исследования Белополюского о цефеидах внесли большой вклад в науку и послужили основой для его докторской диссертации (II, 50, стр. 32—34, 226—233).

Как известно, Бредихин наибольшее внимание уделял изучению физической природы комет, исследовал их спектры.

Белополюский также много занимался изучением спектров комет и провел важные для исследования комет экспериментальные работы по изучению свечения гейслеровых трубок, спектров углеродистых соединений,

соединений азота, кислорода и других газов. Кометам посвящены и некоторые другие статьи Белопопольского. Вместе с Бредихиным он занимался также и метеорами.

Бредихин был тесно связан с выдающимися представителями смежных с астрономией наук — Н. Е. Жуковским, Б. К. Млодзеевским, а в последние годы — с П. Н. Лебедевым и др.

Традиция, установленная Бредихиным, нашла продолжение и в деятельности его ученика Белопопольского.

Особенно тесная связь была установлена А. А. Белопопольским с физиками — П. Н. Лебедевым, В. А. Михельсоном, Д. С. Рождественским.

Укреплению контакта астрофизиков с физиками в значительной мере способствовала совместная работа в Комиссии по исследованию Солнца.

Как отмечал П. Н. Лебедев: «Интерес к физике Солнца был возбужден в лицах, раньше к этому вопросу совершенно индифферентных — физиков Михельсона, Савинова и меня. . .» (II, 51). В результате этого физики активно включились в решение астрономических задач. Михельсон построил новый актинометр (на средства сельскохозяйственного института), а Лебедев — два фотометра для изучения «света неба»¹⁵ (II, 51, л. 12).

Установившаяся связь между астрофизиками и физиками была настолько тесной, что Белопопольский и Лебедев даже обсуждали вопрос о подготовке молодых астрофизиков. В одном из писем Белопопольскому Лебедев писал: «Хотелось бы мне с Вами поговорить об одном важном деле: о подготовке молодых астрофизиков. В настоящее время методы астрофизики так близко подходят к лабораторной физике — а в будущем это будет и еще больше, — что для начинающего астрофизика школа физики не только полезна, но мне кажется прямо необходима» (II, 52).

Насколько большое внимание уделял лабораторной физике Белопопольский, видно хотя бы из того, что сам он часто прибегал к ее методам при решении важных астрофизических вопросов. Самой замечательной из подобных работ было лабораторное измерение скорости света (II, 50, стр. 79—92). Интересно отметить, что этот вопрос

¹⁵ Одним из этих фотометров пользовался А. П. Ганский при наблюдениях на Монблане.

разрабатывал и Лебедев (II, 53). Впоследствии измерение скорости света по методу Лебедева было осуществлено его другом Б. Б. Голицыным (II, 54).

Связи между астрофизикой и физикой, заложенные Бредихиным, Белопольским, Лебедевым и другими, в современной науке стали еще более разносторонними и прочными, особенно после возникновения таких новых отраслей науки, как, например, радиоастрономия, электрофотометрия, атмосферная оптика и т. п.

Трудно переоценить выдающуюся роль Бредихина в создании и развитии отечественной астроспектроскопической школы. Как своими личными работами, воспитанием Белопольского, ставшего вместе с ним основателем этой школы, так и установлением замечательной традиции — тесного контакта с физикой и другими смежными науками, Бредихин оказал огромное влияние на все дальнейшее развитие астрофизики и астроспектроскопии в нашей стране. Установленные Бредихиным традиции до сих пор сохраняются в ряде отраслей отечественной и мировой астрофизики.

4. Роль Ф. А. Бредихина в создании отечественной астрофотографической школы

Хотя сам Бредихин никогда не занимался исследованиями по астрономической фотографии, ему принадлежит видная роль в создании отечественной астрофотографической школы.

Как известно, первые попытки применения фотографии в астрономии были предприняты вскоре после открытия в 1839 г. фотографического процесса (проявления и закрепления). Однако удалось сфотографировать только наиболее яркие объекты (Солнце, Луну). В 50-х годах XIX в. был изобретен мокрый коллоидный процесс изготовления светочувствительных слоев, и применение фотографии при наблюдениях Солнца, Луны и наиболее ярких звезд стало более частым.

В 1858 г. первый фотогелиограф Дальмейера был установлен в Англии, а затем (1866 г.) в России (Виленская обсерватория). Однако систематическое фотографирование Солнца (для изучения солнечных пятен) было начато в Вильно только в 1868 г., а в 1876 г. обсерватория сгорела и работы были прекращены.

Только в 1875 г. на руководимой Бредихиным Московской обсерватории фотогелиографические наблюдения возобновились и непрерывно продолжались в течение многих лет. Именно эти работы и положили начало отечественной астрофотографической школе. Вступив на пост директора Московской обсерватории, Бредихин приложил все усилия к тому, чтобы внедрить здесь астрофизику и новые астрофизические методы исследования, в том числе и фотографический. Известно, что сразу же по возвращении Цераского из Кяхты (1875 г.) Бредихин поручил ему систематическое фотографирование Солнца на большом фотогелиографе Дальмейера. Цераский применил первое усовершенствование — стал впечатывать на пластинки крест нитей, что значительно облегчило измерения положений пятен (II, 55). Однако в 1877 г. продолжение этих работ оказалось под угрозой. Цераский, всегда отличавшийся слабым здоровьем, тяжело заболел и вынужден был уехать на юг лечиться. Оставшиеся сотрудники, т. е. сам Бредихин и А. Громадзский, были заняты другими исследованиями: Бредихин — астроспектроскопическими, Громадзский — астрометрическими. Применявшийся же в то время мокрый фотографический процесс был настолько сложен, что обучиться ему за короткое время было нелегко. Бредихин нашел выход из создавшегося положения, доверив эти ответственные наблюдения студенту Белопольскому. Уже ранее знакомый с фотографией, Белопольский после недолгого обучения у Цераского смог его заменить. Таким образом, благодаря усилиям Бредихина фотогелиографические наблюдения продолжались непрерывно вплоть до 1885 г. Эти фотогелиографические наблюдения были основными в работе Белопольского на Московской обсерватории. По мере накопления наблюдений и измерения пластинок он пришел к выводу о большом значении фотографии для астрономических измерений. В 1880 г., занимаясь очередными измерениями, Белопольский заметил, что ошибка наведения на край солнечного диска при измерении фотогелиограмм составляет всего $\pm 0''.2$ — $\pm 0''.4$. Это навело его на мысль о пригодности фотографии и для точных астрометрических измерений. Чтобы убедиться в правильности своих предположений, Белопольский предпринял в 1881 г. измерение диаметра Солнца по фотографиям и убедился в том, что фотографический метод в астрономии имеет большое

будущее. В 1883 г. он получил первые в России фотографии больших участков звездного неба (II, 56, стр. 26). Позже (в 1886 г.) аналогичные фотографии были получены Б. Гассельбергом в Пулковке.

После первых попыток расширить область применения астрофотографии Белополюский провел ряд других исследований. Он получил фотографии Луны во время лунного затмения 4 октября 1884 г., по которым измерил радиус Луны и определил радиус земной тени, а также исследовал наилучшие методы и инструменты для фотографирования комет (II, 57). Ему же удалось сфотографировать солнечную корону во время полного солнечного затмения 19 августа 1887 г. (II, 58). Экспедиция по наблюдению солнечного затмения была подготовлена под руководством Бредихина.¹⁶ Начальником экспедиции был назначен Белополюский. В качестве помощника Белополюского в этих наблюдениях участвовал и П. К. Штернберг, тогда еще студент.

Таким образом, можно убедиться, что астрономической фотографии на Московской обсерватории уделялось большое внимание. Бредихин всемирно поддерживал астрофотографические исследования Цераского, Белополюского и других сотрудников. Своего рода школу астрофотографии проходили все студенты, готовившиеся стать астрономами. Поэтому все ученики и сотрудники Бредихина получали определенные навыки в подобных исследованиях и убеждались в важности астрофотографии. Не случайно, что именно бывшие воспитанники Московской обсерватории и явились основателями отечественной астрофотографической школы.

Как было указано, работы Цераского и особенно Белополюского положили начало астрофотографическим исследованиям в России. Однако наибольший вклад в развитие этих работ внесли П. К. Штернберг и особенно С. К. Костинский, ставшие основателями отечественной астрофотографии.

П. К. Штернберг впервые занялся астрофотографическими исследованиями во время наблюдений полного сол-

¹⁶ Наблюдения полного солнечного затмения 1887 г. были организованы в России по инициативе физического общества при Петербургском университете, председателем которого был Ф. Ф. Петрушевский. На предложение Петрушевского принять участие в наблюдениях Ф. А. Бредихин откликнулся одним из первых (II, 59).

нёчного затмения 19 августа 1887 г. С тех пор он проявлял постоянный интерес к подобным работам. Однако самостоятельные исследования Штернберг начал позднее, после приобретения Московской обсерваторией большого 15'' астрографа.

Заложенные Бредихиным традиции астрофотографических работ развивались и укреплялись в дальнейшем его преемниками. Уже после отъезда Бредихина в Пулково, в конце 1900 г.,¹⁷ на Московской обсерватории был установлен 15'' астрограф. Штернберг, которому было поручено заведование этим инструментом, наметил широкую программу по фотографированию различных объектов звездного неба с целью обнаружения их собственного движения. Таким образом, исследования собственных движений звезд, начатые Бредихиным еще в 1875 г., получили дальнейшее развитие на основании им же введенного на Московской обсерватории фотографического метода. Результаты многолетних работ Штернберга были обобщены (1913 г.) в большой книге «Некоторые применения фотографии к точным измерениям в астрономии»¹⁸ (II, 60). Особенно важное значение имели фотографические наблюдения двойных звезд. Эти наблюдения Штернберга были первыми работами такого рода не только в России, но и за рубежом. Огромный материал, накопленный Штернбергом, положил начало знаменитой «стеклянной библиотеке» Московской обсерватории и до сих пор используется при исследованиях двойных звезд. Интересно отметить, что Бредихин был в курсе этих исследований Штернберга и горячо их поддерживал (II, 61).

Особенно большой вклад в развитие отечественной астрофотографии внес самый младший ученик Бредихина — С. К. Костинский (1867—1936 гг.). Он окончил Московский университет в 1890 г. Еще студентом Костинский помогал Бредихину в вычислениях при обработке наблюдений кометы Брукса (1889 г.). Когда Бредихин перешел на работу в Пулково, он взял с собой и Костинского.

Вся научная деятельность Костинского с этих пор протекала в Пулкове, вплоть до его смерти (1936 г.). Еще в Москве Костинский заинтересовался астрофотографией.

¹⁷ Директором Московской обсерватории после отъезда Бредихина стал В. К. Цераский.

¹⁸ Эта работа явилась докторской диссертацией Штернберга.

В дальнейшем астрофотографические исследования стали основными в его научной деятельности. Он приложил все усилия к тому, чтобы расширить область применения астрономической фотографии. Развивая мысль Белопольского о большом будущем этой отрасли астрономии, Костинский, помимо накопления фотографических наблюдений различных объектов, занимался детальным изучением методики измерения положений звезд (II, 62), исследовал возможные ошибки этого измерения (II, 63) и открыл в 1906 г. эффект оттапливания фотографических изображений близких звезд, получивший название эффекта Костинского (II, 64).

Большое значение в успешном ходе этих исследований имело и то, что Бредихин всегда внимательно относился к работам Костинского и оказывал ему всемерную поддержку. Так, в последние годы своего директорства в Пулковке Бредихин предоставил в распоряжение Костинского большой пулковский астрограф.

В течение сорока лет (1896—1936 гг.) Костинским было получено большое количество фотографий звездного неба. Обработка этого богатого материала имела важное значение для науки. Проведенные Костинским фотографические определения параллаксов звезд (около 200) (II, 65), собственных движений звезд по фотографиям (II, 66), а также фотографические наблюдения спутников планет (II, 67) были одними из первых в мире работ подобного рода.

Костинский был особенно близок к Бредихину в последние годы его жизни в Петербурге. По просьбе Бредихина он часто производил измерения фотографий кометных хвостов, собирал и сообщал Бредихину разнообразные интересовавшие его данные, принимал участие в совместных с ним работах по теории кометных форм. Полученная Костинским еще в 1896 г. прекрасная фотография солнечной короны была использована Бредихиным в статье «О солнечной короне».

Интересно отметить, что Костинский помогал Бредихину и в подготовительных работах по обобщению его кометных исследований. Так, Костинский составил список трудов Бредихина, которые содержали наиболее важные для теории комет результаты. Он составил также и предварительный план будущей книги. Характерно, что все эти материалы были использованы впоследствии Р. Егер-

маном при написании «Prof. Th. Bredichin's mechanische Untersuchungen über Cometenformen. . .».

Сохранившаяся переписка Бредихина с Костинским свидетельствует об их тесной дружеской связи. В 1957 г. эта переписка была изучена А. Н. Дейчем (II, 68). Бредихин всегда был в курсе работ Костинского, в том числе астрофотографических, и горячо их поддерживал.

В заключение следует отметить, что все основные работы в области астрофотографии в России конца XIX—начала XX в. были выполнены в подавляющем большинстве воспитанниками Московской обсерватории. Первые фотографии спектров метеоров (1904—1907 гг.) были также получены воспитанником Московской обсерватории С. Н. Блажко¹⁹ (1870—1956 гг.). В исследованиях Блажко получили дальнейшее развитие работы по метеорной астрономии и астроспектроскопии, начатые на Московской обсерватории в директорство Бредихина.

5. Роль Ф. А. Бредихина в создании отечественной школы астрофотометрии

На первый взгляд может показаться, что Ф. А. Бредихин не имеет никакого отношения к созданию отечественной астрофотометрической школы. Действительно, среди его многочисленных и разнообразных научных работ нет ни одной фотометрической. Однако, если внимательно проследить историю возникновения астрофотометрии в России, станет ясно, что и эта область науки многим обязана Бредихину.

Не случайно, что именно на Московской обсерватории, ставшей при Бредихине центром астрофизических работ в России, фотометрия получила широкие возможности для развития. Фотометрические исследования Цераского были начаты в 1875 г. как дополнение спектральных, фотогелиографических и других астрофизических работ обсерватории. В. К. Цераский работал на Московской обсерватории с лета 1871 г. (еще при Б. Я. Швейцере), однако только при Бредихине он получил возможность заняться фотометрией, которая и стала его основной специальностью. Астрофотометр Цёлльнера, с которым ра-

¹⁹ Блажко также первый дал правильную интерпретацию этих спектров,

ботал Цераский, также был приобретен еще Швейцером, однако только при Бредихине начались систематические наблюдения на этом приборе.

Высказывания Бредихина о роли и значении фотометрии, характеризующие его отношение к этой отрасли астрофизики, находятся в его популярной лекции «Современные средства исследования свойств небесных тел» (I, 25).

Эта лекция содержала обзор последних достижений науки того времени и описание новых методов исследования: фотографического, спектрального и фотометрического. Бредихин отметил видную роль фотометрических исследований в общем комплексе астрофизических работ. В то время как многие его современники отрицали всякую ценность фотометрических данных, Бредихин считал, что фотометрия может дать положительные результаты при исследовании альbedo планет; он также интересовался переменными и двойными звездами и пытался решить вопрос о природе переменности Алголя, правда, не при помощи фотометрических методов. Естественно, что фотометрические исследования, особенно многообещающие в изучении переменных звезд, встречали с его стороны всемерную поддержку.

Летом 1875 г. по поручению Бредихина Цераский начал систематические фотогелиографические наблюдения. В это же время он провел и свои первые фотометрические работы на астрофотометре Цёлльнера, который никем до Цераского не использовался. Для фотометрических наблюдений были выделены башня и небольшой рефрактор (I, 54, стр. III). Интерес к фотометрии пробудился у Цераского несомненно под влиянием Бредихина, который придавал большое значение комплексному применению всех трех методов астрофизического исследования. Естественно, что он стремился убедить и всех сотрудников руководимой им обсерватории в важности астрофизических работ, прилагая большие усилия к всестороннему развитию нового направления. Это ему удалось: после начала Цераским фотогелиографических и фотометрических работ на обсерватории оказались представленными все три отрасли астрофизики того времени — спектроскопия (Бредихин), фотографическая астрономия и фотометрия (Цераский). Бредихин писал по этому поводу: «Гелиографические работы являются дополнением к моим спектроскопическим наблюдениям Солнца, а фото-

метрические исследования еще более расширяют астрофизическую отрасль на нашей обсерватории» (I, 54, стр. III).

С 1875 г. Цераский непрерывно продолжал свои фотометрические наблюдения, результаты которых печатались в *Анналах обсерватории*. Вскоре после начала работ выявилась склонность Цераского к изучению методов наблюдений и приборов, на которых они проводились. Особенное внимание уделялось исследованию фотометра Цёлльнера. Работы Цераского имели важное значение, так как фотометрия, как впрочем и вся астрофизика, находилась в то время в зачаточном состоянии. Накопленный материал лег в основу его магистерской диссертации «Об определении блеска белых звезд» (II, 69). Бредихин дал высокую оценку этой работе. Он писал в своем отзыве: «В сочинении автора повсюду обнаруживается глубокий интерес к делу, постоянное стремление разработать вопрос до его мельчайших подробностей, критическое отношение не только к чужим, но и к собственным своим изысканиям, остроумные приемы и многолетняя опытность в избранной специальности. По всему этому книга г. Цераского займет видное место в астрофизической литературе. . .» (II, 70).

Вскоре после начала своих наблюдений (в 1879—1880 гг.) Цераский случайно открыл две переменные звезды (U и T Цефея), однако не заинтересовался законом их блеска. Физическая природа изучаемых небесных тел и в дальнейшем очень мало интересовала Цераского. Эту характерную для него черту отмечает и Б. А. Воронцов-Вельяминов (II, 71, стр. 38). Бредихин, наоборот, основное внимание уделял изучению физической природы явлений, а не методам их исследования. Говоря о важности фотометрического исследования переменных звезд, он прежде всего подчеркивал необходимость изучения кривой блеска, считая, что в большинстве случаев причина переменности лежит в строении звезды, т. е. что она скорее физического, чем механического происхождения (I, 54, стр. 18).

Отмечая особенности астрофизических исследований в начальном периоде развития этой науки, Бредихин указывал, что для достижения определенных результатов есть два пути: накопление обширного материала для последующей обработки и изучение приборов и методики работ. Очевидно, что Цераский избрал именно второй путь, тогда как Бредихин больше занимался накоплением материала и тщательной его обработкой, которая привела

к значительным результатам, особенно в изучении комет. Особенности научного творчества этих двух ученых, взаимно дополняя друг друга, создавали возможность для наиболее полного и всестороннего изучения различных объектов. Так, например, было в случае исследования метеорных потоков. То же можно сказать и относительно изучения Солнца. Спектроскопические наблюдения и теоретические обобщения Бредихина были дополнены работами Цераского по усовершенствованию инструментов для наблюдения Солнца и метода измерения фотогелиограмм. Его определение температуры Солнца В. А. Воронцов-Вельяминов образно назвал «венцом экспериментально-фотометрического искусства и изобретательности» (II, 77). Полученная Цераским звездная величина Солнца и в настоящее время сохраняет научное значение.²⁰ Но иногда различие творческих индивидуальностей приводило и к разногласиям. Возможно, что оно было одной из причин, побудивших Бредихина дать отрицательный отзыв (II, 72) на докторскую диссертацию Цераского «Астрономический фотометр и его приложения», в результате чего защита ее состоялась в Петербурге у С. П. Глазенапа (II, 73, стр. 54).

Несмотря на то, что Цераский не старался вникать в сущность явлений, вызывающих изменение блеска переменных звезд, организованное им с 1895 г. систематическое фотографирование различных участков неба в целях открытия переменных звезд создало знаменитую «стеклянную библиотеку» Московской обсерватории. На основании обработки и обобщения богатого материала возникла советская школа исследователей переменных звезд, занимающая ведущее место в мировой науке. Не случайно, что международный центр по изучению переменных звезд теперь находится в Москве. Советские ученые С. Н. Блажко, Б. В. Кукарин, П. П. Паренаго, Г. А. Шайн, Б. А. Воронцов-Вельяминов, В. А. Крат, В. В. Соболев, О. А. Мельников и многие другие — воспитанники учеников Ф. А. Бредихина — внесли большой вклад в изучение природы этих объектов.

²⁰ Полученная Цераским абсолютная звездная величина Солнца $-26^m, 50$ лишь немного отличается от ныне принятого значения $-26^m, 72$.

Глава III

ИССЛЕДОВАНИЯ О КОМЕТАХ

1. Механическая теория кометных форм

Ф. А. Бредихин вошел в историю науки в основном как создатель механической теории кометных форм. Это была первая астрофизическая теория, которой удалось объяснить на строго научной основе все установленное из наблюдений многообразие кометных форм. В XIX в. астрофизические и астрометрические наблюдения комет вместе с прежними наблюдениями и зарисовками (кометы наблюдались уже с глубокой древности) составили богатый наблюдательный материал, которого не было в то время для других небесных объектов. Таким образом, назрела необходимость теоретического обобщения накопленных наблюдений. Это вызвало появление массы разнообразных кометных «теорий». Однако все они давно опровергнуты наблюдениями и забыты, и только теория Бредихина, основанная на обширном наблюдательном материале, до сих пор сохраняет важное значение для науки. Прежде чем переходить к исследованиям Бредихина, напомним, что было сделано в этой области до него.

Исследования комет до Ф. А. Бредихина

Кометы или дословно «волосатые звезды»²¹ наблюдались уже с глубокой древности. В комете различаются следующие основные части: ядро,²² голова, или кома — облачное образование, окутывающее ядро, и хвост, являющийся как бы продолжением комы (рис. 1).

²¹ κομήτης (греч.), cometa (лат.) — «волосатая»,

²² Ядро заметно только в редких случаях,

Даже при наблюдении простым глазом кометы значительно отличаются от обычных звезд. Поэтому ни одно появление яркой кометы не оставалось незамеченным.

По мере накопления наблюдений удалось установить две наиболее важные особенности кометных хвостов: 1) они обычно направлены от Солнца;²³ 2) хвост кометы обычно располагается в плоскости кометной орбиты (или незначительно отклоняется от нее).

Для объяснения физической природы комет выдвигался ряд гипотез, полный обзор которых был сделан Ф. А. Бредихиным (I, 6) и Р. О. Егерманом (II, 1). Мы остановимся вкратце лишь на некоторых моментах, которые понадобятся при дальнейшем изложении.

В XVI—начале XVII в. господствующей стала так называемая «оптическая» гипотеза. Она была основана на поверхностной аналогии кометных явлений с преломлением света, проходящего через стеклянный шар. При таком объяснении предполагалось,

что вещественна лишь голова кометы, а хвост представляет собой расходящийся пучок солнечных лучей, отражающийся в эфире, заполняющем мировое пространство. В числе сторонников этой гипотезы были Тихо Браге (1546—1601 гг.) и Г. Галилей (1564—1642 гг.). Установленное из наблюдений искривление хвостов привело к отказу от оптической гипотезы.

И. Кеплер (1571—1630 гг.) в 1608 г. высказал гипотезу о том, что хвост кометы состоит из частичек, вылетающих из головы кометы под отталкивающим действием солнечных лучей. И. Ньютон (1642—1727 гг.) считал, что хвосты состоят из частичек кометы, увлекаемых от Солнца нагретым им разреженным эфиром, окружающим комету.

В XVIII—начале XIX в. идеи И. Ньютона и И. Кеплера получили широкое распространение. Однако М. В. Ломоносов (1711—1765 гг.), исследуя комету 1744 г.,

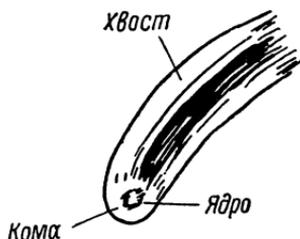


Рис. 1.

²³ Это так называемые нормальные хвосты. Весьма редко наблюдаются хвосты, направленные к Солнцу. В отличие от обычных Ф. А. Бредихин назвал их аномальными хвостами.

отверг гипотезу Ньютона и выдвинул свою физическую гипотезу, связавшую представления о процессах свечения кометных хвостов и полярных сияний с «электрической силой» (II, 74). Идеи Ломоносова нашли отклик в «электрической» гипотезе Г. В. Ольберса (1758—1840 гг.), который на основании тщательных наблюдений кометы 1811 г. счел необходимым для объяснения искривления хвоста ввести действие на его частицы некоторой отталкивательной силы Солнца, помимо обычного ньютоновского притяжения. Он же высказался, хотя и в очень осторожной форме, об электрической природе солнечного отталкивания.

Предположив, что частицы хвоста отталкиваются Солнцем и кометой обратно пропорционально квадрату расстояния, Г. В. Брандес (1777—1834 гг.) впервые сравнил теоретическую кривую бчертания и оси хвоста кометы 1811 г. с наблюдениями (1826 г.). Полученное им отставание наблюденного хвоста от вычисленного (особенно вблизи головы) привело его к мысли о наличии сопротивляющегося эфира, замедляющего движение комет. Однако эти исследования носили грубо приближенный, ориентировочный характер.

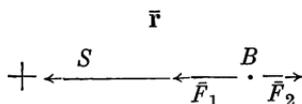
Первая наиболее полная аналитическая теория движения частицы кометного хвоста была разработана Ф. В. Бесселем (1784—1846 гг.) на основании наблюдений кометы Галлея 1835 г. (II, 75).

В общем случае исследование движения частицы хвоста сводится к проблеме трех тел. Чтобы облегчить решение задачи, Ф. Бессель ввел понятие сферы действия ядра кометы. Было высказано предположение, что ядро кометы может оказывать влияние на движение вылетающих из него частиц только внутри этой сферы действия. После того как частицы вышли за пределы этой области, их движение происходит только под действием Солнца, слагающимся из обычного ньютоновского притяжения и некоторой отталкивательной силы Солнца, изменяющейся также обратно пропорционально квадрату расстояния от Солнца. Эта результирующая сила определяется выражением $\frac{\mu}{r^2}$, где r — расстояние частицы от Солнца, а μ — неопределенная величина, которую Ф. А. Бредихин назвал впоследствии ускорением эффективной силы Солнца на единичном расстоянии. Эта величина показывает, во

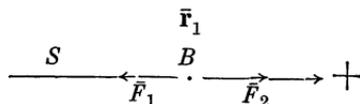
сколько раз результирующая сила Солнца отличается от обычного ньютоновского притяжения. В случае $\mu=1$ получается обычное ньютоновское притяжение. При $\mu<1$ притяжение Солнца будет меньше ньютоновского. Когда же $\mu<0$, то наблюдается отталкивание частицы от Солнца.

При таких условиях отталкивательная сила Солнца (отталкивательное ускорение) определяется выражением $1-\mu$. Таким выражением и пользовались Ф. Бессель и Ф. А. Бредихин. С. В. Орлов (1880—1958 гг.) предложил определять отталкивательное ускорение выражением $1+\mu$ (II, 76). Абсолютные величины отталкивательных ускорений в том и другом случае одинаковы. Различие заключается только в направлении. Так, Ф. Бессель и Ф. А. Бредихин за положительное направление принимали направление силы ньютоновского притяжения, считая направление отталкивательной силы отрицательным. С. В. Орлов за положительное направление принял направление отталкивательной силы.

По Ф. Бесселю
и Ф. А. Бредихину



По С. В. Орлову



Введены следующие
обозначения:

S — положение Солнца;
 B — положение частицы
хвоста;

\bar{r} — радиус-вектор частицы
в первом случае;
 \bar{r}_1 — радиус-вектор частицы
во втором случае;

m — масса частицы;
 \bar{F} — эффективная сила;

\bar{F}_1 — сила ньютоновского
притяжения;
 \bar{F}_2 — отталкивательная сила
Солнца;

μ — эффективное ускоре-
ние;

R — отталкивательное
ускорение.

В первом случае за по-
ложительное направление
принято направление к
Солнцу. Тогда

Во втором случае за по-
ложительное направление
принято направление от
Солнца. Тогда

$$\begin{aligned} \hat{F} &= \hat{F}_1 + \hat{F}_2 \\ \bar{F} &= m \cdot \mu \cdot \left(\frac{\bar{\mathbf{r}}}{\mathbf{r}} \right), & \bar{F} &= m \cdot \mu \cdot \left(\frac{\bar{\mathbf{r}}_1}{\mathbf{r}_1} \right), \\ \bar{F}_1 &= m \cdot 1 \cdot \left(\frac{\bar{\mathbf{r}}}{\mathbf{r}} \right), & \bar{F}_1 &= m \cdot 1 \cdot \left(\frac{\bar{\mathbf{r}}_1}{\mathbf{r}_1} \right), \\ \bar{F}_2 &= m \cdot R \left(\frac{\bar{\mathbf{r}}}{\mathbf{r}} \right). & \bar{F}_2 &= m \cdot R \cdot \left(\frac{\bar{\mathbf{r}}_1}{\mathbf{r}_1} \right). \end{aligned}$$

Подставляя эти выражения в исходное уравнение и сокращая, получим

$$\boxed{R = 1 - \mu}$$

$$\boxed{R = 1 + \mu}$$

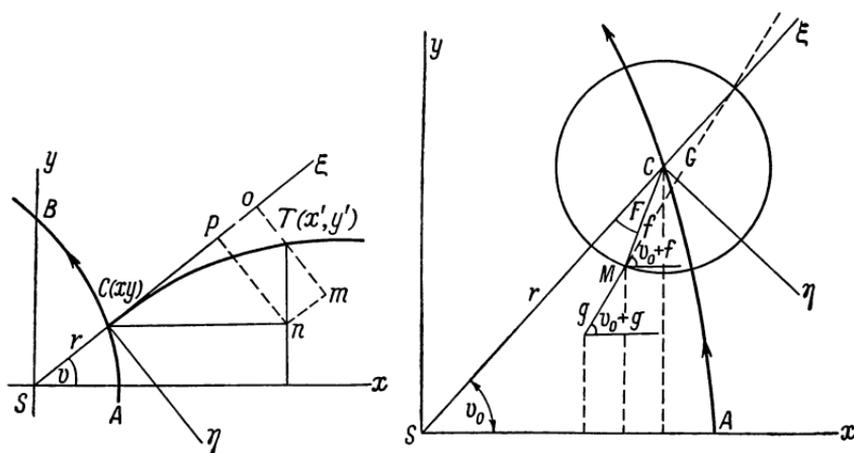


Рис. 2.

S — положение Солнца, C — ядро кометы, AB — орбита ядра, $T(x', y')$ — положение частицы в момент t , M — точка на поверхности сферы действия ядра кометы, в которой частица ее покидает.

Основным вкладом Ф. Бесселя в развитие теории комет были выведенные им выражения кометоцентрических координат частицы хвоста через начальные данные, координаты ядра и элементы кометной орбиты.

При выводе формул были приняты следующие обозначения (рис. 2);

ξ, η — кометоцентрические координаты частицы хвоста в момент t ;

p, e — параметр и эксцентриситет кометной орбиты;

f — радиус сферы действия ядра;

- F — угол, образованный f той точки, где частица покидает сферу действия ядра с радиусом-вектором ядра в момент t ;
 g — начальная скорость частицы, вылетающей из сферы действия ядра;
 G — угол, образованный g с радиусом-вектором ядра;
 τ — время, за которое частица вылетает из сферы действия ядра;
 μ — ускорение эффективной силы Солнца на единичном расстоянии, выраженное в единицах ньютоновского притяжения;
 k — постоянная Гаусса;
 x, y — гелиоцентрические координаты частицы в момент t ;
 r, v — радиус-вектор и истинная аномалия орбиты частицы в момент t ;
 x', y' — гелиоцентрические координаты частицы в момент t ;
 r', v' — радиус-вектор и истинная аномалия орбиты частицы в момент t ;
 x_0, y_0 — гелиоцентрические координаты ядра в момент $t - \tau$;
 r_0, v_0 — радиус-вектор и истинная аномалия ядра в момент $t - \tau$;
 x'_0, y'_0 — гелиоцентрические координаты частицы в момент $t - \tau$;
 r'_0, v'_0 — радиус-вектор и истинная аномалия орбиты частицы в момент $t - \tau$;

Ось ξ взята на продолжении радиуса-вектора ядра кометы. Положительное направление от Солнца. Ось η перпендикулярна ξ . Положительна в направлении, противоположном движению ядра кометы. На основании рис. 2 кометоцентрические координаты частицы хвоста можно записать так (II, 1, стр. 120):

$$\left. \begin{aligned}
 \xi &= Cp + p_0 = (x' - x) \cos(\widehat{x, r}) + (y' - y) \cos(\widehat{y, r}); \\
 \eta &= m_0 - Tm = (x' - x) \cos(\widehat{y, r}) - (y' - y) \cos(\widehat{x, r});
 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Из (1) можно получить

$$\begin{aligned}
 r\xi &= xx' + yy' - r^2; \\
 r\eta &= yx' - xy'.
 \end{aligned}$$

Выражая x, x', y, y' через начальные данные, элементы орбиты ядра и координаты ядра, окончательно получим уравнения Ф. Бесселя, описывающие движение частицы хвоста по параболической орбите

$$\left. \begin{aligned}
 \xi &= -f \cos F - \left(g \cos G + f \sin F \frac{\sqrt{p}}{r^2} \right) \tau + \\
 &+ \left[\frac{1-\mu}{r^2} - 2g \sin G \frac{\sqrt{p}}{r^2} - f \cos F \left(\frac{2\mu}{r^3} - \frac{p}{r^4} \right) - \right. \\
 &- f \sin F \frac{2e \sin v}{r^3} \left. \right] \frac{\tau^2}{2} + \left[\frac{4e \sin v (1-\mu)}{r^2 \sqrt{p}} - \right. \\
 &- g \cos G \left(\frac{2\mu}{r^3} - \frac{3p}{r^4} \right) - g \sin G \frac{6e \sin v}{r^3} \left. \right] \frac{\tau^3}{6} + \dots \\
 \eta &= f \sin F + \left(g \sin G - f \cos F \frac{\sqrt{p}}{r^2} \right) \tau - \\
 &- \left[g \cos G \frac{2\sqrt{p}}{r^2} + f \sin F \left(\frac{\mu}{r^3} + \frac{p}{r^4} \right) + \right. \\
 &+ f \cos F \frac{2e \sin v}{r^3} \left. \right] \frac{\tau^2}{2} + \left[\frac{2(1-\mu)\sqrt{p}}{r^4} - \right. \\
 &- g \sin G \left(\frac{\mu}{r^3} + \frac{3p}{r^4} \right) - g \cos G \frac{6e \sin v}{r^3} \left. \right] \frac{\tau^3}{6} + \dots
 \end{aligned} \right\} \quad (I)$$

Формулы эти исправлены Ф. А. Бредихиным (II, 1, стр. 95). У самого Ф. Бесселя написанные жирным шрифтом знаки в (I) были обратными (II, 75, стр. 215).

Очевидно, что уравнения Ф. Бесселя (I) применимы только в области, близкой к ядру, т. е. при малых τ . Эти уравнения дали возможность исследовать хвост и голову кометы.

Так, полагая в (I) $F=0$ и $G=0$, для η получим выражение

$$\begin{aligned}
 \eta &= -f \frac{\sqrt{p}}{r^2} \tau - \left(g \frac{\sqrt{p}}{r^2} + f \frac{e \sin v}{r^3} \right) \tau^2 + \\
 &+ \left(\frac{1-\mu}{r^4} \sqrt{p} - g \frac{3e \sin v}{r^3} \right) \frac{\tau^3}{3} + \dots
 \end{aligned}$$

Очевидно, что первые два члена всегда отрицательны. С приближением кометы к перигелию или с удалением от него, эти члены не меняют знака, а положительный член при τ^3 уменьшается. Таким образом частицы, вы-

летающие из ядра в направлении радиуса-вектора кометы ($F=0$; $G=0$), переходят в область отрицательных η , т. е. в предшествующую (в смысле орбитального движения) часть хвоста (рис. 2).

Так удалось объяснить тот наблюдаемый факт, что предшествующий край хвоста всегда более ярок и резок, чем последующий. Однако этот вывод был сделан Ф. А. Бредихиным только после исправления формул Ф. Бесселя. Сам Ф. Бессель, рассматривая неверную формулу (II, 75, стр. 215—216)

$$\eta = -f \frac{\sqrt{p}}{r^2} \tau - \left(\frac{g \sqrt{p}}{r^2} - f \frac{e \sin v}{r^3} \right) \tau^2 + \left(\frac{1-\mu}{r^4} \sqrt{p} + g \frac{3e \sin v}{r^3} \right) \frac{\tau^3}{3} + \dots,$$

не мог сделать такого заключения. Вполне понятно, что он связал свое объяснение большей яркости предшествующего края с предположением об отрицательном $\sin v$.

На основании уравнений (I) Ф. Бессель наметил путь для исследования формы головы кометы и, измерив диаметр головы кометы Галлея, впервые оценил $1-\mu$.

Полагая в (I) $\max \xi = \epsilon$; $F=0$; $G=0$ и учитывая, что вблизи ядра f очень мало, можно получить выражение для определения $1-\mu$:

$$\epsilon = \frac{r^2 g^2}{2(1-\mu)}.$$

Однако в такой форме это выражение было получено также Ф. А. Бредихиным.²⁴

Исключив из уравнений (I) τ , можно получить уравнение кривой хвоста

$$\eta = g \sin G \frac{r}{\sqrt{1-\mu}} \cdot \sqrt{2\xi} - g \sin G \frac{2re \sin v}{3\sqrt{p}} \cdot 2\xi + \frac{\sqrt{p}}{3r\sqrt{1-\mu}} (2\xi)^{3/2}. \quad (2)$$

Очевидно, что это парабола порядка $3/2$.

²⁴ У Ф. Бесселя оно имело вид (II, 75, стр. 217)

$$\epsilon = f + \frac{r r g g}{2(1-\mu)}.$$

Деля (2) на аналогичное выражение для другой координаты ξ , Ф. Бессель получил выражение для угла φ , образованного касательной к кривой хвоста с продолжением радиуса-вектора ядра

$$\operatorname{tg} \varphi = g \sin G \left(\frac{r \sqrt{2}}{\sqrt{1-\mu} \cdot \sqrt{\xi}} - \frac{4re \sin v}{3 \sqrt{p}} \right) + \frac{2 \sqrt{2p}}{3r} \cdot \frac{\sqrt{\xi}}{\sqrt{1-\mu}}.$$

Применяя это выражение к оси хвоста, где $G=0$, получим

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{2 \sqrt{2p}}{3r} \cdot \frac{\sqrt{\xi}}{\sqrt{1-\mu}}.$$

Отсюда можно определить $1-\mu$:

$$1-\mu = \frac{8p}{9r^2 \operatorname{tg}^2 \varphi} \cdot \xi.$$

Несомненно, что теория Ф. Бесселя имела большое значение для дальнейшего изучения комет. Однако она была применена тогда лишь к одной комете, и поэтому еще необходимо было доказать ее пригодность к изучению кометных явлений вообще. Кроме того, при выводе формул (I) им было допущено несколько ошибок, хотя и не очень существенных, но заметно искажающих окончательные результаты. Поэтому ряд выводов Ф. Бесселя оказался неправильным. Таким образом, его теория до работ Ф. А. Бредихина заключала в себе скорее большие потенциальные возможности, чем практические методы для всестороннего изучения комет.

В 1858 г. К. Папе (1834—1862 гг., Альтона) и Ф. А. Виннеке (1835—1897 гг., Пулково) исследовали на основании бесселевской теории комету Донати (1858, VI).

В 1860—1861 гг. В. А. Нортон (1810—1883 гг.; Нью Хейвен) исследовал эту же комету при помощи своих приближенных гиперболических формул.

Таким образом, к 1860—1861 гг., когда Ф. А. Бредихин начал исследования комет, было изучено всего лишь три кометы — 1811 г. (Г. В. Брандес); 1835 г. (Ф. Бессель) и 1858 VI (К. Папе, А. Виннеке, В. Нортон и К. Пирс). Причем, для последней кометы разные исследователи получили различные результаты.

Работы этих авторов были подробно прореферированы Ф. А. Бредихиным (I, 6, 1934 г. стр. 180—234) и Р. О. Егер-

маном (II, 1, §§ 24—26) и получили неоправданно высокую оценку.

На деле же попытка К. Папе и А. Виннеке применить теорию Ф. Бесселя к наблюдениям кометы 1858 VI не внесла ничего существенно нового в исследования комет,²⁵ так как они, пользуясь ошибочными формулами Ф. Бесселя, к тому же и неправильно их применяли — не к оси хвоста, а к краям (I, 6, 1934 г. стр. 216). К. Пирс опубликовал только результаты своих вычислений, поэтому об их выводе трудно судить. В. Нортон заметил неточность бесселевских формул. Но не выясняя причин этой неточности, он отбросил их и вывел свои, более точные формулы. Исследуя с их помощью комету Донати (1858 VI), он даже обнаружил ряд весьма важных для теории комет фактов (II, 77). Однако сложность его формул, а также его интерес лишь к теоретической стороне вопроса привели к тому, что эти формулы не применялись им больше ни к одной комете. Идеи Нортона получили дальнейшее развитие только в трудах Ф. А. Бредихина.

И с с л е д о в а н и я Ф. А. Б р е д и х и н а

Исследования Бредихина о кометах наиболее хорошо освещены в литературе. Поэтому мы, не претендуя на полное их изложение, рассмотрим только основной вопрос о теории движения частицы хвоста и совершенно не будем затрагивать ряд других более специальных вопросов теории проектирования, теории головы кометы и обсуждения деталей кометных явлений, которым Бредихин также уделял большое внимание.

Его труды по кометам можно разделить на два этапа (II, 1): 1) с 1860 по 1867 г. и 2) с 1874 по 1904 г. В первый период были проверены и уточнены формулы и выводы, сделанные предшественниками Бредихина. Кроме того, на основании исправления формул Ф. Бесселя было дано правильное объяснение некоторых основных («нормальных») форм комет. Второй период характеризуется проведением оригинальных исследований, посвященных изучению «аномальных» т. е. редко встречающихся форм.

²⁵ Если не считать нескольких частных дополнений к формулам Ф. Бесселя, касающихся теории проектирования.

В тот же период он проводил спектральные наблюдения комет и развил основы физической теории кометных явлений. Все эти разделы и будут рассмотрены ниже.

*Основные положения механической теории
кометных форм*

Основные положения механической теории кометных форм были сформулированы в общих чертах еще предшественниками Ф. А. Бредихина (наиболее полно Ф. Бесселем). Они состоят в следующем.

I. Хвост кометы реально существует, а не есть кажущееся, оптическое явление, некий обман зрения.

II. Хвост кометы материален, т. е. состоит из весомой материи, вещества, вытекающего из ядра кометы.

III. Форма хвоста может быть объяснена, если предположить, что на частицы, вылетающие из ядра, а затем переходящие в хвост, кроме обычного ньютоновского притяжения, действует отталкивательная сила Солнца, обратно пропорциональная квадрату расстояния. Физическая природа силы неизвестна.

Ф. А. Бредихин писал о своей теории: «Существующая механическая теория кометных явлений признает кометные истечения и хвосты состоящими из частиц весомой материи, разрежение которой доведено до атомов и молекул; все движения этих частиц в пространстве. . . подчиняются закону Ньютона, при той или другой, смотря по химическому свойству частиц, постоянной величине силы солнечного отталкивания. Это отталкивание, в сочетании с солнечным ньютоновским притяжением, и производит эффективную силу. Вводя в формулы движения толчок, получаемый частицами от кометы в сторону к Солнцу, в форме начальной скорости, теория свободно строит все собранное наблюдениями разнообразие кометных форм» (I, 188, стр. 177).

Так как хвост образован истечением вещества из ядра, то его вид целиком определяется характером этого начального истечения. Поэтому Ф. А. Бредихин всегда подчеркивал особую важность наблюдений голов комет, вида и направления первоначальных истечений, на которые наблюдатели XIX в., как правило, не обращали внимания (I, 199).

Следует заметить, что достаточное количество наблюдений голов и начальных извержений было накоплено только к последнему времени. Именно этот материал и позволил современным исследователям более подробно изучить структуру головы кометы.

По Бредихину, вид хвоста определяется характером первоначального истечения. Если истечение непрерывно, то и хвост будет иметь вид сплошного коноида. Если же истечение происходит с перерывами, то и в хвосте будут наблюдаться разрывы, отдельные массы вещества расположатся внутри хвостового коноида (явление «оторвавшегося» хвоста, облака Шмидта).

Если истечение происходит с перерывами, достаточными для того чтобы последовательно вырывающиеся облака частиц не смешивались друг с другом, то частицы каждого отдельного облака, имеющие различные молекулярные веса, образуют свои кольца вещества, причем, кольца, состоящие из более легких частиц, скорее удаляются от ядра, чем состоящие из тяжелых. Система колец каждого облака образует свой синхронный коноид (синхронные полосы в хвосте). Если истечение почему-либо начинает колебаться наподобие маятника вокруг радиуса-вектора, то хвост получит волнистый вид. Число волн зависит от числа колебаний (так называемые волнистые или S-образные хвосты). В том случае, если из ядра вырываются два рода частиц с различными молекулярными весами, то будут наблюдаться два S-образных хвоста (при колебании истечения), которые могут пересекаться друг с другом наподобие буквы γ (гамма-формы).

От обилия истекающего вещества зависит и яркость хвоста. Если из ядра истекают частицы различных молекулярных весов, то комета может иметь несколько отдельных хвостов (но не более четырех, вместе с аномальным хвостом). Таким образом, теория Ф. А. Бредихина действительно смогла дать простое и естественное объяснение всех разнообразных явлений, наблюдавшихся в кометах к тому времени.

Методы исследования комет

Ф. А. Бредихиним при участии его сотрудников и других ученых, о которых будет сказано ниже, были разработаны три основных метода для исследования комет:

точные формулы гиперболического движения частиц хвоста, классификация хвостов и теория синдинам и синхрон.

Точные формулы движения частицы хвоста по гиперболической орбите. Когда Ф. А. Бредихин начинал свои исследования (1860 г.), в литературе о кометах были известны только приближенные формулы Бесселя, описывающие движение частиц хвоста по параболическим орбитам. В первых своих работах Бредихин обнаружил изменение $1-\mu$, вычисленного по этим формулам, вдоль хвоста кометы (I, 6). Тщательно изучив все возможные причины такого изменения (неверно принятый закон действия силы — I, 6; сопротивление эфира — I, 7), он вплотную подошел к последней возможности — неточности самих формул Бесселя, которая была им указана еще в 1862 г. Непосредственное исследование степени точности бесселевских формул было проведено после 1874 г.

Основным критерием точности формул Бесселя служило изменение вдоль хвоста $1-\mu$, найденного Бредихиным у ряда комет.²⁶ Однако он не спешил с окончательными выводами, желая еще раз проверить свои расчеты. Исследование хвоста кометы 1874 III убедило его в том, что различие значений $1-\mu$ значительно превосходит пределы возможных ошибок (I, 57). Этот вывод следует понимать как вывод о неточности формул Бесселя, хотя Бредихин и не сделал об этом прямого заявления. Для него всегда была характерна чрезвычайная требовательность к себе. Он публиковал результаты своих работ только после их тщательной и всесторонней проверки, избегая поспешных заключений.

К концу 1877 г. он вплотную подошел к выводу новых более точных формул движения частицы хвоста, уже не по параболической, а по гиперболической орбите.

Продолжая свои исследования, он обнаружил уменьшение $1-\mu$ вдоль хвоста и у кометы 1860 III. По этому поводу он заметил (2 VIII 1878): «. . . уменьшение силы с удалением частиц от ядра нельзя рассматривать как случайное. . .» (I, 92, стр. 86). К концу года было уверенно установлено деление хвостов на три типа и для уточнения значений $1-\mu$, g для каждого типа проведена проверка степени точности бесселевских формул (I, 95), на осно-

²⁶ Кометы 1858 VI, 1844 III, 1853 III.

вании которых было сделано открытие трех типов. При этом Ф. А. Бредихин воспользовался и присланными ему формулами В. Нортонa. Исследование проводилось так: 1) по формулам Ф. Бесселя вычислялось μ с координатами оси хвоста ξ , η для момента наблюдения; 2) с полученным значением μ по формулам В. Нортонa вычислялось положение частиц, вышедших из ядра в предшествующий момент; 3) вычисленное таким образом положение сравнивалось с наблюдаемым и, с другой стороны, с кривой оси хвоста, построенной по формулам Бесселя для того же μ . Так удалось проверить одновременно точность бесселевских и нортоновских формул. Кривая хвоста, вычерченная на основании формул Нортонa, оказалась близкой к наблюдаемой кривой, тогда как бесселевская кривая совпала с наблюдаемой только вблизи ядра. Вообще бесселевские кривые оказались менее изогнутыми, чем наблюдаемые. Именно такое различие этих кривых Бредихин отметил в 1862 г. у кометы Донати (I, 6). Однако этот факт он не приписал сразу же неточности формул Бесселя, а пришел к этому позднее.

Таким образом, в 1878 г. была установлена применимость формул Бесселя в близкой к голове области. Значения $1-\mu$, ранее вычисленные по формулам Бесселя, оказались сильно заниженными. Так, например, для кометы 1860 III по этим формулам $1-\mu=0.64$, тогда как нортоновские формулы дали $1-\mu=1.36$. Только после этих работ Ф. А. Бредихин решился прямо заявить о неточности бесселевских формул: «Очевидно, что именно вследствие ошибок формулы Бесселя вычисленное значение силы $1-\mu$ уменьшается по мере удаления от ядра» (I, 95, стр. 30).

Однако Бредихин никогда не отказывался от бесселевских формул, простых и удобных при расчетах, а часто ими пользовался, определяя, конечно, их применимость в каждом конкретном случае. Такое гибкое использование различных методов вычисления позволило ему исследовать значительно больший, чем раньше, круг кометных явлений. Бредихин писал: «Обычно формулы гиперболического движения в комбинации с бесселевскими оказываются заключающими в себе полную математическую теорию кометных явлений: точные формулы представляют в соответствии с наблюдениями кривизну и положение оси хвоста на всем его протяжении, тогда как формулы Бес-

селя очень удобны для объяснения особенностей в образовании и структуре хвоста и их аномалий, которые обусловлены смещениями истечения. . . , вероятно, связанными с вращательным или колебательным движением ядра» (I, 95, стр. 44).

При выводе основных формул задача формулируется так: найти уравнение движения частицы, которая покидает сферу действия кометы в плоскости орбиты ядра с определенной начальной скоростью g и в определенном направлении G с радиусом-вектором ядра кометы.

Или: найти уравнение движения частицы, которая начинает двигаться в солнечной системе с начальной скоростью H_1 , под действием только эффективной силы Солнца μ (действие ядра в тех же единицах полагается равным 1).

Предполагается, что частица движется в плоскости кометной орбиты, следовательно, описывает плоскую кривую под действием центральной силы.

При выводе точных формул гиперболического движения были приняты следующие обозначения (гелиоцентрические координаты; рис. 3).

μ — эффективное ускорение Солнца на частицу на единичном расстоянии, выраженное в единицах ньютоновского притяжения;

M, v, r — момент наблюдения частицы; истинная аномалия, радиус-вектор ядра кометы в этот момент;

M_1, v_1, r_1 — момент, в который частица покидает сферу действия ядра; истинная аномалия и радиус-вектор ядра в этот момент;

V, V_1, R, R_1 — истинная аномалия и радиус-вектор частицы хвоста для моментов M и M_1 соответственно ($R_1 = r_1$);

$\omega = v_1 - V_1 + V$ — угол между радиусом-вектором R и осью орбиты ядра (аномалия берется с соответствующим знаком);

g, G — начальная скорость частицы относительно ядра в момент M и ее направление относительно радиуса-вектора $r_1 = R_1$ (по Бесселю, $G > 0$ позади радиуса-вектора и $G < 0$ перед

ним; в смысле орбитального движения);
 H, H_1 — линейная скорость ядра и частицы хвоста на их орбитах соответственно;
 β, β_1 — углы, образованные соответственно H и H_1 с продолжением радиус-вектора;

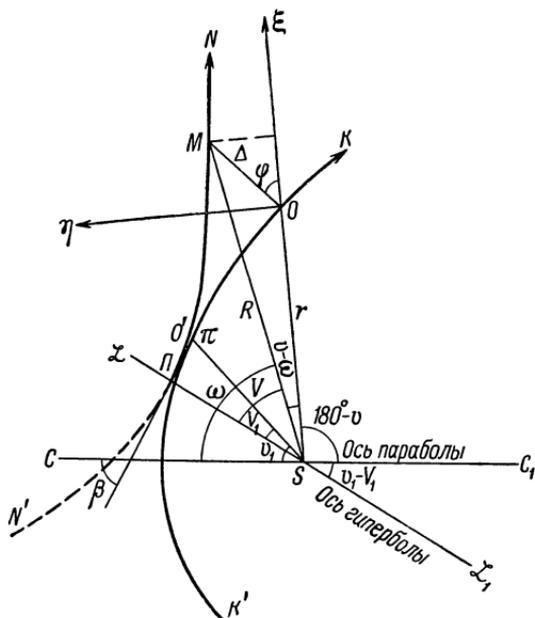


Рис. 3.

S — положение Солнца, M — положение частицы хвоста,
 $N'N$ — орбита частицы, $K'K$ — орбита ядра.

c, C — удвоенные площади секторов, описываемые соответственно радиусами-векторами ядра и частицы;
 P, Q, E, A — полупараметр, перигельное расстояние, эксцентриситет и большая полуось орбиты частицы хвоста;
 p, q, e, a — те же величины для кометной орбиты;
 T, M_π — моменты прохождения ядра и частицы через их перигелий;

$T_1 = M_1 - M_\pi$ — промежуток времени между моментом извержения частицы M_1 и моментом прохождения ее через перигелий (T_1 имеет знак v_1);

$t = M - M_\pi$ — промежуток времени между моментом наблюдения M и моментом прохождения частицы через перигелий (t имеет знак v , время — в днях);

$\tau = \frac{t - T_1}{\frac{1}{k}}$ — интервал времени, в течение которого частица покидает сферу действия ядра (бесселевский интервал);

$K = k \sqrt{\mu}$ — где k — постоянная Гаусса;

Π, π — долгота гиперболического перигелия частицы, долгота перигелия ядра;

ψ — асимптотический угол гиперболы;²⁷

L — отрезок касательной между положением частицы в момент M и перигелием;

l — отрезок касательной между перигелием и положением частицы;

ξ, η — кометоцентрические (бесселевские) координаты частицы хвоста;

φ — угол, образованный линией ядро — точка хвоста с радиусом-вектором ядра кометы;

Δ — расстояние какой-либо точки оси хвоста от ядра;

g, H, H_1, c, C — выражены в единицах времени $\frac{1}{k} = 58.13244$ дня.

²⁷ Уравнение орбиты частицы в этом случае имеет вид

$$R = \frac{1}{E \cos V - 1}.$$

При $R = \infty$;

$$\cos V = \cos \psi, \quad E \cos \psi = 1, \quad \cos \psi = \frac{1}{E}.$$

В теории комет $\cos \psi$ всегда определяется только по выпуклой к Солнцу ветви гиперболы (рис. 4).

В общем случае орбитой как ядра кометы, так и частицы хвоста может быть любое коническое сечение. Однако Бредихин рассматривал движение частиц хвоста только по гиперболам, тогда как для кометных орбит им были изучены все возможные комбинации — парабола, гипербола, эллипс.

Вывод точных формул гиперболического движения проводится в три этапа: 1) сперва определяются начальные данные движения — линейные скорости ядра кометы и частицы хвоста H и H_1 и углы β , β_1 этих скоростей с продолжением радиуса-вектора; 2) затем для любого конического сечения вычисляются параметры орбиты частицы — P , E , A , Q , V и R ; 3) параметры R , V выражаются в функциях времени.

Определение величин H , H_1 , β , β_1 из полярного уравнения конического сечения — орбиты ядра

$$r = \frac{p}{1 + e \cos v},$$

в общем случае можно получить выражение для линейной скорости ядра

$$H = \sqrt{\frac{2}{r_1} - \frac{1}{a}},$$

где $\frac{1}{a} = 0$ — для параболы, $\frac{1}{a} > 0$ — для эллипса, $\frac{1}{a} < 0$ — для гиперболы.

Линейная скорость частицы получается из рис. 5:

$$H_1^2 = H^2 + g^2 - 2gH \cos(\beta - G).$$

Вводя обозначение

$$\angle HO'H_1 = \gamma,$$

получим

$$\beta_1 = \beta + \gamma,$$

$$\sin \gamma = \frac{g \sin(\beta - G)}{H_1}.$$

В случае параболической орбиты $\beta = 90^\circ - \frac{v_1}{2}$; в других случаях определение β очень сложно. Бредихин раз-

работал свои способы вычисления β (I, 133, стр. 3); его ученик А. П. Соколов — свои.²⁸

В случае параболической орбиты вычисления значительно упрощаются

$$H^2 = \frac{2}{r_1}, \quad \beta = 90^\circ - \frac{v_1}{2},$$

$$H_1^2 = H^2 + g^2 - 2gH \cos(\beta - G),$$

$$\beta_1 = \beta + \gamma; \quad \sin \gamma = \frac{2}{H_1} \sin(\beta - G).$$

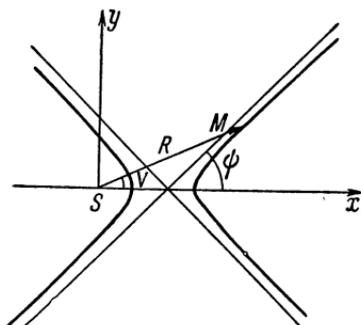


Рис. 4.

S — Солнце, M — положение частицы хвоста.

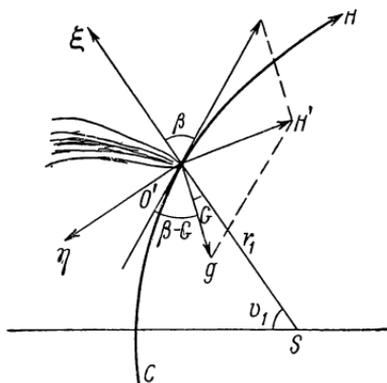


Рис. 5.

S — Солнце, SH — орбита ядра, O' — ядро кометы.

Вывод основных уравнений Бредихина (вычисление параметров движения). Исходя из дифференциальных уравнений движения частицы хвоста ко-

²⁸ А. П. Соколов предлагал аналитически определять все величины при помощи следующих формул (II, 78, стр. 74—75):

$$c = \sqrt{p} = \sqrt{q(1+e)}, \quad H = \frac{c}{r_1 \sin \beta},$$

$$\beta_1 = \beta + \gamma,$$

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{g \sin(\beta - G)}{H - g \cos(\beta - G)}.$$

$$C = c - r_1 \sin G,$$

$$H_1 = \frac{C}{r_1 \sin \beta},$$

меты для случая ослабленного ньютоновского притяжения²⁹ ($0 < \mu < 1$)

$$\left. \begin{aligned} \frac{d^2x}{dt^2} &= -\frac{\mu x}{R^3}, \\ \frac{d^2y}{dt^2} &= -\frac{\mu y}{R^3}, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

можно получить выражение для параметров движения через μ , r_1 , β_1 , H_1 или, вводя обозначение Нортон $m_1 = \frac{H_1^2 r_1}{\mu}$, через m_1 , r_1 , β_1 . Тогда из выражения для эксцентриситета орбиты частицы

$$E = \sqrt{m_1(m_1 - 2) \sin^2 \beta_1 + 1} \quad (4)$$

в зависимости от величины μ может встретиться три случая: $1 > \mu > 0$ — ослабленное ньютоновское притяжение; $\mu < 0$ — отталкивание от Солнца; $\mu = 0$ — отталкивание и притяжение уравновешены, частица движется по прямой относительно Солнца.

Из уравнения (4) очевидно, что если $m_1 < 2$, то $E < 1$ — частица описывает эллипс; $m_1 = 2$, то $E = 1$ — частица описывает параболу; $m_1 > 2$, то $E > 2$ — частица описывает гиперболу.

Ф. А. Бредихин рассматривал только движение по гиперболическим орбитам, Ф. Бессель — по параболическим. В случае $\mu < 0$ (отталкивание) орбита частицы будет ветвью гиперболы, обращенной выпуклостью к Солнцу,

$$R = \frac{P}{E \cos V - 1}.$$

В случае $0 < \mu < 1$ (ослабленное притяжение) частица движется по ветви гиперболы, обращенной вогнутостью к Солнцу

$$R = \frac{P}{E \cos V + 1}.$$

²⁹ В случае, когда отталкивание Солнца преобладает ($\mu < 0$), дифференциальные уравнения движения частицы будут

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{\mu x}{R^3}; \quad \frac{d^2y}{dt^2} = \frac{\mu y}{R^3}.$$

Выражение R , V частицы как функций времени. Рассмотрим выражение радиуса-вектора R и истинной аномалии V частицы как функций времени для случая преобладания отталкивательной силы, который рассматривал Бредихин (I, 102). Для вывода точных формул движения частицы по выпуклой к Солнцу ветви гиперболы он использовал метод К. Гаусса (II, 79). Полярное уравнение движения частицы в этом случае имеет вид

$$R = \frac{P}{E \cos V - 1} .$$

Вводя обозначение³⁰

$$u = \frac{\sin \frac{\psi + V}{2}}{\sin \frac{\psi - V}{2}} ,$$

где V — истинная аномалия частицы, ψ — асимптотический угол гиперболы (рис. 4),

$$\cos \psi = \frac{1}{E} .$$

Составив выражение

$$\frac{u-1}{u+1} = \operatorname{tg} V \sqrt{\frac{1+E}{1-E}}$$

и обозначив его через $\operatorname{tg} \frac{F}{2}$, получим после ряда преобразований точные уравнения гиперболического движения частиц кометного хвоста

$$\frac{1}{2} \lambda E \left(\frac{u^2 - 1}{u} \right) + \log u = \frac{\lambda K t}{b^{3/2}} ,$$

или

$$\lambda E \operatorname{tg} F + \log \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{F}{2} \right) = \frac{\lambda K t}{b^{3/2}} ,$$

где $\lambda = \lg e$; $b = |A|$.

³⁰ К. Гаусс ввел обозначение

$$u = \frac{\cos \frac{V - \psi}{2}}{\cos \frac{V + \psi}{2}} .$$

Остальные рассуждения аналогичны.

Преимущество этих уравнений перед уравнениями Нортон и Бесселя прежде всего в том, что эти уравнения получены не в виде бесконечных рядов. Если назвать бесселевские формулы первым приближением к решению задачи движения частиц кометного хвоста, то уравнения Нортон представляют второе приближение (бесконечный ряд до четвертого порядка малости включительно относительно V). Формулы Бредихина являются третьим приближением.

В заключение приведем сводку основных формул Бредихина, применявшихся в трех случаях движения частицы по гиперболе: по вогнутой к Солнцу гиперболе, по выпуклой и по прямой (вырождение гиперболы). Орбитой ядра кометы в общем случае может быть любое коническое сечение. При некоторых предположениях относительно этой орбиты формулы можно упростить.

Используя обозначения В. Нортон $m = \frac{H^2 r}{\mu}$, $m_1 = \frac{H_1^2 r_1}{\mu}$, получим:

1) для вогнутой к Солнцу орбиты ($0 < \mu < 1$) — ослабленное притяжение

$$\begin{aligned}
 P &= m_1 r_1 \sin^2 \beta_1, & T &= M_1 - T_1, \\
 E^2 &= m_1 (m_1 - 2) \sin^2 \beta_1 + 1, & t &= M - T, \\
 A &= \frac{r_1}{2 - m_1}, & \operatorname{tg} \frac{V}{2} &= \operatorname{tg} \frac{F}{2} \operatorname{ctg} \frac{\psi}{2}, \\
 Q &= \frac{P}{E + 1}, & R &= \frac{b \operatorname{tg} \psi \operatorname{tg} F}{\sin V}, \\
 \cos V_1 &= \frac{m_1 \sin^2 \beta_1 - 1}{E}, & R &= \frac{b \left(E - \frac{1}{\cos F} \right)}{\cos V}, \\
 \operatorname{tg} \frac{F_1}{2} &= \operatorname{tg} \frac{V_1}{2} \operatorname{tg} \frac{\psi}{2}, & b &= P \operatorname{ctg} \psi, \\
 & & \Pi &= \pi + v_1 - V_1, \\
 N_1 &= \lambda E \operatorname{tg} F_1 - \log \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{F_1}{2} \right) = \frac{\lambda K T_1}{b^{3/2}}, \\
 N &= \lambda E \operatorname{tg} F - \log \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{F}{2} \right) = \frac{\lambda K t}{b^{3/2}},
 \end{aligned}$$

2) для выпуклой к Солнцу орбиты ($\mu < 0$, отталкивание)

$$\begin{aligned}
 P &= m_1 r_1 \sin^2 \beta_1, & T &= M_1 - T_1, \\
 E &= m_1 (m_1 + 2) \sin^2 \beta_1 + 1, & t &= M - T, \\
 A &= \frac{r_1}{m_1 + 2}, & \operatorname{tg} \frac{V}{2} &= \operatorname{tg} \frac{F}{2} \operatorname{tg} \frac{\psi}{2}, \\
 Q &= \frac{P}{E - 1}, & R &= \frac{b \operatorname{tg} \psi \operatorname{tg} F}{\sin V}, \\
 \cos V_1 &= \frac{m_1 \sin^2 \beta_1 + 1}{E}, & R &= \frac{b \left(E + \frac{1}{\cos F} \right)}{\cos V}, \\
 \operatorname{tg} \frac{F}{2} &= \operatorname{tg} \frac{V_1}{2} \operatorname{ctg} \frac{\psi}{2}, & b &= P \operatorname{ctg}^2 \psi, \\
 & & \Pi &= \pi + v_1 - V_1, \\
 N_1 &= \lambda E \operatorname{tg} F_1 + \log \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{F_1}{2} \right) = \frac{\lambda K T_1}{b^{3/2}}, \\
 N &= \lambda E \operatorname{tg} F + \log \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{F}{2} \right) = \frac{\lambda K t}{b^{3/2}}.
 \end{aligned}$$

3) движение по прямой ($\mu = 0$)

$$\begin{aligned}
 V_1 &= 90^\circ - \beta, \\
 l &= \tau \sqrt{\frac{2}{r_1}}, \quad \text{где } \tau = \frac{M - M_1}{58.13244}, \\
 L &= 1 + r_1 \cos \beta, \\
 Q &= r_1 \sin \beta = L \operatorname{ctg} V = R \cos V, \quad \text{откуда} \\
 \operatorname{tg} V &= \frac{L}{Q}, \\
 R &= \frac{Q}{\cos V}, \\
 T_1 &= \frac{1}{k \sqrt{2}} r_1^{3/2} \cos \beta = \sigma r_1^{3/2} \cos \beta, \quad \text{где } \log \sigma = 1.6139036, \\
 T &= M_1 - T_1.
 \end{aligned}$$

4) кометоцентрические (бесселевские) координаты (ξ, η)-частиц для момента M

$$\begin{aligned}
 \Delta &= \sqrt{r^2 + R^2 - 2rR \cos(v - \omega)}, & \eta &= R \sin(v - \omega), \\
 \frac{\eta}{\Delta} &= \sin \varphi, & \xi &= \Delta \cos \varphi.
 \end{aligned}$$

Таким образом, задача в каждом случае сводится к решению трансцендентных уравнений типа (II). Для облегчения их решения³¹ Ф. А. Бредихин ввел в эти уравнения гиперболические функции, положив $\operatorname{tg} F = \operatorname{sh} u$.

Исследования хвостов комет он проводил графически. Измеренные координаты α , δ каких-либо точек хвоста при помощи специальных формул (I, 95, стр. 33) можно перевести в бесселевские координаты ξ , η . Эти наблюдаемые точки в определенном масштабе наносились на график, где был построен в том же масштабе и теоретический коноид.

Наибольшая трудность заключалась в проведении теоретического коноида. Однако деление хвостов на три типа с определенными $1-\mu$, g значительно облегчило задачу.

Определив тип исследуемого хвоста по его внешнему виду, можно было заранее знать приближенное значение $1-\mu$, g . Сделав предположения относительно G (по виду истечения) и момента истечения M_1 , при помощи точных гиперболических формул можно найти R , V , и ξ , η нескольких теоретических точек, через которые и проводится теоретический коноид. Сравнение последнего коноида с наблюдаемым позволяло определить $1-\mu$, g , G , M_1 и другие величины и подробнее исследовать отдельные детали.

Таким образом, метод Ф. А. Бредихина — графический или интерполяционный, не является совершенно точным, однако, такая точность была вполне достаточна при существовавшей точности наблюдений хвостов комет. Ф. А. Бредихин даже предпочитал этот метод аналитическому. Он писал: «Множество сил в одном и том же хвосте, недостаточность оценок, часто очень грубых, и чрезвычайно неодинаковое влияние их ошибок³² на результаты при различных расстояниях от ядра приводят к тому, что графическое построение, которое основано на представлении о всей совокупности явлений, наблюдаемых в кометах, — предпочтительнее рутинных формул вероятных и средних ошибок, где часто забывается великий закон, на котором основана теория вероятностей» (I, 147, стр. 115).

³¹ Чтобы можно было пользоваться таблицами гиперболических функций.

³² Ф. А. Бредихин говорит о больших ошибках в оценке положения тех или иных точек хвоста.

Теория синдинам и синхрон. Весьма точным и удобным методом изучения хвостов комет явился метод построения синдинам (кривых, по которым располагаются частицы, вылетевшие из ядра кометы под действием одинаковой силы) и синхрон (кривых, по которым располагаются частицы, вылетевшие из ядра в один и тот же момент, но под воздействием различных сил). Уравнения синдинами и синхроны можно получить из формул Ф. Бесселя (I) (стр. 47). Рассмотрим движение частиц кометы в близкой к ядру области. Тогда радиус его сферы действия можно положить равным нулю.

Время, протекшее с момента вылета частицы из сферы действия ядра (τ) и начальная скорость частицы (g) вблизи ядра так малы, что в первом приближении в формулах (I) можно ограничиться членами третьего порядка малости (т. е. τ^3 , $\tau^2 g$). В этом случае уравнения (I) будут иметь вид:³³

$$\left. \begin{aligned} \xi &= -g \cos G \cdot \tau + \left[\frac{1-\mu}{r^2} - 2g \sin G \frac{\sqrt{p}}{r^2} \right] \frac{\tau^2}{2} + \\ &+ \frac{1-\mu}{r^3} \frac{2e \sin v}{\sqrt{p}} \frac{\tau^3}{3} + \dots \\ \eta &= g \sin G \cdot \tau - g \cos G \frac{\sqrt{p}}{r^2} \tau^2 + \frac{1-\mu}{r^4} \sqrt{p} \frac{\tau^3}{3} + \dots \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Исключая τ и отбрасывая члены четвертого порядка малости (τ^4 , $\tau^3 g$), получим уравнение синдинами:³⁴

$$\eta = g \sin G \left(\frac{r \sqrt{2\xi}}{\sqrt{1-\mu}} - \frac{4er \sin v}{3(1-\mu)\sqrt{p}} \cdot \xi \right) + \frac{2\sqrt{2p}}{3r\sqrt{1-\mu}} \cdot \xi^{3/2}.$$

Это — кривая параболического типа.

³³ Такой вид имели эти уравнения у Р. О. Егермана. Ф. А. Бредихин для ориентировочных расчетов брал еще более грубое приближение. Он вводил ограничение и для истинной аномалии (v), рассматривая только истечения, направленные вдоль оси ξ . Тогда $v=0$ и член при τ^3 в выражении для ξ из (I) исчезает.

³⁴ Ф. А. Бредихин, вводя ограничение для v , получил более упрощенное уравнение (I, 147, стр. 108):

$$\eta = g \sin G \cdot \tau - g \cos G \frac{\sqrt{p}}{3r^2} \tau^2 + \frac{2}{3} \frac{\sqrt{p}}{r^2} \tau \xi.$$

Аналогично, исключая из (5) $1 - \mu$, получим уравнение синхроны:

$$\eta = g \sin G \cdot \tau - g \cos G \frac{\sqrt{p}}{r^2} \tau^2 + \frac{2p\tau}{r(3r\sqrt{p} + 4e \sin v\tau)} \cdot \xi.$$

Это прямая,³⁵ образующая с осью ξ угол, тангенс которого равен $\operatorname{tg} \vartheta = \frac{2}{3} \frac{\sqrt{p}}{r^2} \tau$.

Пересечение синхроны с осью η ($\xi=0$) дает

$$\eta = g \sin G \cdot \tau - g \cos G \frac{\sqrt{p}}{3r^2} \tau^2.$$

Однако все эти простые формулы применимы только при малых значениях τ . Несмотря на относительную неточность, они дают возможность просто и подробно исследовать детали в структуре хвостов. При больших τ эти формулы уже неприменимы, и надо пользоваться точными формулами гиперболического движения, как описано выше.

Таким образом, синхрона — в первом приближении — прямая. Изучение хвостов комет при помощи точных формул гиперболического движения показало, что «синхронические кривые (для сил между 0.5 и 2.5) являются кругами больших радиусов, проходящими вблизи ядра, радиусы которых возрастают и уменьшаются для каждой кометы с возрастанием и уменьшением радиуса-вектора ядра для момента наблюдения M » (I, 143, стр. 76).

При прерывистом истечении из ядра в хвосте получаются отдельные (для каждого момента выброса частиц M_1) полосы (дуги синхронических кругов), направления которых сходятся к ядру.

Тщательное изучение вида синхронных полос³⁶ привело Ф. А. Бредихина к заключению, что синхронные полосы должны быть полыми коноидами (как и синдинамные), более или менее сплюснутыми в направлении плоскости орбиты.³⁷

³⁵ Эта прямая — образующая цилиндра (такую форму имеет синхронный коноид в первом приближении).

³⁶ Особенно по рисункам и описанию Х. Гейнзиуса для кометы 1744 г. Оказалось, что синхронные полосы имеют посередине темную полосу.

³⁷ В первом приближении синхронный коноид имеет вид цилиндра, образующая которого дается приближенным уравнением синхроны.

Отдельные отрезки синдинам строили и его предшественники (Ф. Бессель, К. Папе, В. А. Нортон) при графическом изображении хвостов комет, однако, только он детально изучил форму и вид синдинамного коноида как теоретически, так и на основании изучения многих комет. Только Ф. А. Бредихин предложил пользоваться построенным синдинам для подробного исследования строения хвостов комет.

Исследование синхрон также было начато еще В. Нортоном (II, 80), но он только констатировал существование синхрон.

Исследование же синхрон и синхронных коноидов было проведено Ф. А. Бредихиным на основании большого наблюдательного материала. Он вывел уравнение синхроны, а также разработал метод исследования деталей хвостов при помощи синхрон.

Ф. А. Бредихину принадлежат и сами названия «синдинама» и «синхрона». Проведенные им тщательные исследования взаимного расположения синдинамных и синхронных коноидов дали возможность исследовать более просто и точно детали хвостов (особенно при малых τ). Ему удалось, наконец, объяснить образование и структуру хвоста кометы 1744 г., которая представляла наибольшие трудности для теории. Следует заметить, что решение такой сложной проблемы стало возможным только на основании бредихинских представлений о синдинамных и синхронных коноидах. Попытка Ф. А. Бредихина решить этот вопрос при помощи нортонских представлений окончилась неудачей (1880 г.).

Подробное исследование синдинам и синхрон, а также методов их построения были проведены совместно Ф. А. Бредихиным и Н. Е. Жуковским (1884 г.). Стало ясно, что синдинамы и синхроны не всегда резко отличны друг от друга, а могут совпадать, когда хвост образуется при движении ядра по прямой линии к Солнцу или от него (I, 70, 1877 г.).

Ф. А. Бредихин показал также, что контур хвоста кометы не всегда состоит из синдинам. Иногда он может представлять собой комбинацию синдинам и синхрон, как например в комете Понса—Брукса (1886 IX). У этой кометы предшествующий край хвоста был синдинамой, а последующий — синхроной. Таким образом, не всегда можно легко различить синдинамы и синхроны. В сложных

случаях этот вопрос решается только после детального исследования при помощи точных формул.

В современной кометной астрономии метод синдинам и синхрон получил еще более важное значение, так как в классификации С. В. Орлова типы хвостов были непосредственно связаны с синдинамиками и синхронами.

К л а с с и ф и к а ц и я х в о с т о в к о м е т.
Мысль о возможности разделить все хвосты на обособленные группы по значениям $1-\mu$ и g возникла у Ф. А. Бредихина в июле 1876 г. при обработке наблюдений кометы Коджа (1874 III). В 1876—1877 гг. сообщение об этом появилось в печати (I, 70). Для хвоста кометы было получено среднее арифметическое значение $1-\mu=0.805$ (I, 70, 1877 г., стр. 8). Сравнение его с ранее полученными данными (I, 6, 1934 г., стр. 231, 241, 244) для других комет действительно обнаруживает большое сходство $1-\mu$ для некоторых из них:

Среднее арифметическое	Комета	
0.80	1874 III	} Величина g для этих комет очень мала.
0.91	1577	
0.60	1618	
0.97	1858	

Однако значение $1-\mu=11.0$ ($g=0.168$), полученное для кометы 1811 г., резко отличалось от значений для других комет. Ф. А. Бредихин сразу же обратил внимание на это обстоятельство. В 1877 г. он писал: «Я предполагаю, что кометы разделяются на группы, для каждой из которых сила $1-\mu$ остается, возможно, одной и той же (в пределах ошибок наблюдения) и что имеется постоянное соотношение между силой $1-\mu$ и начальной скоростью g (I, 79, стр. 37).

Вскоре после этого для кометы 1861 II были получены значения $1-\mu=12.20$; $g=0.164$ (I, 80, стр. 79), очень близкие к аналогичным значениям кометы 1811 г. ($1-\mu=11.0$; $g=0.168$). Изученные вслед за тем кометы 1862 III (I, 92) и 1835 г. (I, 90) не дали резко отличных значений $1-\mu$, g . Комета 1862 III присоединилась к группе кометы Коджа, комета Галлея — к группе кометы Ольберса (1811 г.). Таким образом, подмеченная ранее закономерность проявлялась все более отчетливо.

Шестнадцатого сентября 1878 г.³⁸ на основании данных для тринадцати комет Ф. А. Бредихин высказался уже совершенно определенно о трех типах хвостов: «Вычисляя для всех удовлетворительно наблюдаемых комет силу $1-\mu$, которая необходима для развития их хвостов, я пришел к заключению, что эта сила распадается по своим значениям на три различных типа...» (I, 95, стр. 96).

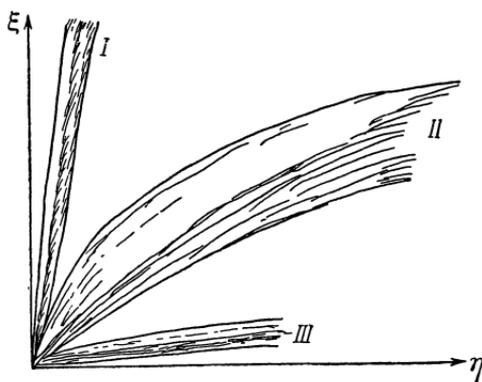


Рис. 6.

Оказалось, что хвосты трех типов, имеющие различные величины $1-\mu$, g , отличаются друг от друга также и по внешнему виду. Так, хвосты I типа обычно мало отклонены от продолжения радиуса-вектора, довольно тонкие и длинные. Хвосты II типа образуют большой угол с продолжением радиуса-вектора, они довольно широкие, изогнутые. Хвосты III типа — очень короткие, сильно отклонены от продолжения радиуса-вектора.

Еще в первом сообщении об открытии трех типов хвостов (I, 94) Ф. А. Бредихин дал рисунок, воспроизводящий вид и взаимное расположение наиболее характерных хвостов I, II, III типов (рис. 6). Визуальные наблюдения показали, что хвосты I типа обычно имеют простое строение (один коноид).³⁹ Хвосты II типа чаще сложные (система

³⁸ В докладе на заседании Московского математического общества.

³⁹ В последние годы жизни Бредихина началось фотографирование комет. На фотографиях была обнаружена сложная тонкая структура в хвостах I типа. Ученый придавал большое значение

коноидов). Хвосты III типа также в большинстве составные. Как известно, на вещество хвостов I типа действует большая эффективная сила $1-\mu$, чем во II типе. Ясно, что вещество в хвосте I типа растягивается на большие расстояния, чем в хвосте II типа. Поэтому при одинаковом количестве вещества хвост I типа должен казаться более слабым, а следовательно, и более коротким. Бредихин неоднократно подчеркивал, что «. . . не только направление хвоста, но иногда также и его длина могут служить для распознавания типов. . .»⁴⁰ (I, 125, 1884 г., стр. 11).

Эти работы имеют большое значение для кометной теории, так как, помимо самостоятельной ценности, они позволили определять тип хвоста непосредственно по его внешнему виду и характеру истечения из ядра кометы.⁴¹ Сопоставление трех типов хвостов с элементами орбит комет показало, что между ними нет связи. Стало ясно, что различие типов обусловлено физико-химическими свойствами хвостов. Такой вывод значительно повысил интерес астрономов к спектральным, поляриметрическим и другим астрофизическим исследованиям комет. Дальнейшее изучение этих явлений без какой-либо физической теории комет становилось невозможным, поэтому Ф. А. Бредихин выдвинул в качестве первого приближения свою физическую гипотезу строения комет. Непрерывно пополняя список исследованных им комет, Бредихин вместе с тем систематически пересматривал ранее полученные результаты или с учетом новых, более точных наблюдений, или на основании более точных формул. Поэтому естественно, что значения $1-\mu$, g , полученные в 1878 г. для трех типов хвостов, в дальнейшем неоднократно изменялись. Все эти изменения отражены в табл. 1.

установлению этого факта (I, 188, стр. 178—179). В настоящее время «лучистая», или «струйчатая» структура хвоста признана характерной особенностью хвостов I типа.

⁴⁰ Как известно, широко применяющийся в настоящее время для оценки типа хвоста метод обратного проектирования, предложенный С. В. Орловым (II, 76), базируется на определении направления проекции хвоста относительно радиуса-вектора.

⁴¹ Конечно, такое определение далеко не всегда возможно. Иногда вид хвоста сильно искажается влиянием перспективы. Встречаются и другие затруднения. Но в большинстве случаев оценка типа хвоста (а следовательно, и $1-\mu$, g) по его виду оказывается удовлетворительной.

Таблица 1

Изменения значений $1-\mu$, g для трех типов хвостов
по исследованиям Ф. А. Бредихина

Год	Тип хвоста	$1-\mu$	g	g (в м/сек.)	Примечания
1878	I	11.0	—	—	—
	II	0.7	—	—	
	III	0.1	—	—	
1879	I	11.0	0.15	4500	—
	II	1.4	0.03	900	
	III	0.2	0.01	300	
1880	I	12	0.15	4500	$1-\mu > 12$ (для I типа).
	II	2.4—0.8	0.03	900	
	III	0.3	0.01	300	
1881	I	12	0.15	4500	—
	II	2.6—0.8	0.03	900	
	III	0.3	0.01	300	
1885	I	17.5	0.22	6600	Значение $1-\mu$ для I типа — 17.5 — ошибочно на несколько единиц.
	II	1.1	0.05	1500	
	III	0.2	0.02—0.01	600—300	
1888	I	17.5	0.22	6600	Для I типа получены $1-\mu = 41$ и $1-\mu = 59$.
	II	1.0	0.05	1500	
	III	0.1	0.02—0.01	600—300	
1893	I	17.5	0.22	6600	—
	II	2.2—0.65	0.05	1500	
	III	0.3—0.1	0.02—0.01	600—300	
1895	I	18	0.3	9000	—
	II	2.2—0.65	0.05	1500	
	III	0.3—0.1	0.02—0.01	600—300	
1897	I	18; 36	0.3	9000	—
	II	2.2—0.65	0.05	1500	
	III	0.3—0.1	0.02—0.01	600—300	
1904	I	$>40; >70$	0.34—0.1	100000—3000	Р. О. Егерман в 1903 г. дал для I типа $1-\mu = 18$, что не совсем точно.
	II	2.2—0.5	0.07—0.03	2000—900	
	III	0.3—0.0	0.02—0.01	600—300	

Т а б л
Первые измерения

Комета	Ф. А. Бредихин	Г. Фогель	В. Хэггинс	Н. Конколи
1868 II (Виннеке)	—	—	5601 Å 5172 4714	—
1874 III (Қоджа)	5633 Å 5164 4742	5625 Å 5151 4616	Точных из- мерений нет.	Точных из- мерений нет.
1877 II (Виннеке)	5564 5154 4697	—	—	—
1879 I (Брорзен)	5513 5133 4655	—	—	5605 5146 4823
1880 III (Гартвиг)	5559 5155 —	—	—	—
1881 III (Теббут)	5619 5170 4698	5540 5090 4698	—	5606 5165 4706
1882 I (Уэлс)	$\lambda_{\text{Na}(D_1+D_2)} = 5892$	6130	—	—
1884 I (Понс— Брукс)	3 полосы; λ_c отожд- ествлена с C_2 .	—	—	—
1886 I (Фабри)	2 линии.	—	—	—
1886 II (Барнард)	3 линии.	—	—	—

Наибольшие трудности встретились в определении точных значений $1-\mu$ для I типа. Бредихин неоднократно указывал, что с увеличением отталкивательной силы растёт и влияние ошибки наблюдений на степень точности $1-\mu$ (I, 201, стр. 39). Из формулы $1-\mu = \frac{8p}{9r^2 \operatorname{tg}^2 \varphi} \cdot \xi$ видно, что малейшая ошибка в определении φ сильно

Д'Аррест	П. Так- кини	Н. Ду- нер	Ч. Юнг	А. Секки	Современные значения
—	—	—	—	5701 Å 5182 4700	5635 Å 5165 4737
5600 Å 5170 (9) 4700	5620 Å 5110 4800	—	—	Не измерено.	5635 5165 4737
—	—	—	—	—	5635 5165 4737
—	—	—	5170 Å —	—	5635 5165 4737
—	—	—	—	—	5635 5165 4737
—	5522 5141 4631	—	5629 ± 4.0 п. к. 5164 ± 0.6 4740 ± 2.9	—	5635 5165 4737
—	{ 5897 5895 5894	35892	—	—	5795
—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—

искажает значение $1-\mu$. В хвостах I типа определение φ наиболее неуверенно (φ здесь очень мало). Точность определения $1-\mu$ можно повысить, если наблюдать точки хвоста, наиболее удаленные от ядра. Но так как хвосты I типа обычно очень слабы, то в них такие измерения почти невозможны (при визуальных наблюдениях).

2. Изучение спектров комет

Изучение кометных спектров началось с 1864 г. В этом году Дж. Донати впервые наблюдал в спектре кометы Темпеля (1864 II) три светлые линии (II, 81), которые впоследствии получили название полос Свана. Затем были изучены спектры других комет — 1866 I (А. Секки — II, 82; В. Хёггинс — II, 83), 1867 II (В. Хёггинс — II, 84). В 1868 г. при наблюдении кометы Брорзена 1868 I А. Секки (II, 85) и В. Хёггинс (II, 86) предприняли первую попытку измерить положение линий в спектре. В дальнейшем спектры наиболее ярких комет, доступные наблюдениям в спектроскопы средней силы, систематически изучались А. Секки, В. Хёггинсом, Г. Фогелем и другими. Ф. А. Бредихин начал наблюдения спектров комет с 1874 г., когда в его распоряжении оказались большой 10% рефрактор Московской обсерватории и универсальный спектроскоп Мерца с микрометром. Первой кометой, спектр которой он наблюдал (17 IV 1874), была яркая комета Коджа 1874 III (I, 57).

При помощи спектроскопа Браунинга, монтированного на 10% рефракторе, Бредихин обнаружил в спектре головы кометы на фоне непрерывного спектра три обычные полосы: красную λ_A , зеленую λ_B и синюю λ_C . При помощи окулярного микрометра он измерил положение этих линий. В дальнейшем подобные измерения проводились систематически при каждом удобном случае.

Наблюдая спектр кометы Понса—Брукса (1884 I), Бредихин отождествил фиолетовую λ_C полосу в ее спектре с полосой δ углерода C_2 (I, 147). Это вызывает особый интерес в настоящее время, так как недавно в спектре голов комет действительно были обнаружены линии радикала углерода. Они оказались расположенными именно в той части спектра, на которую указывал Бредихин: линия λ 4730 Å была отождествлена с C_2 , а линия λ 4050 Å — с C_3 . В эпоху же Бредихина линия λ_C ошибочно приписывалась углеводороду, а большинство ученых считало, что чистый углерод не может существовать в кометах!

В табл. 2 приведены для сравнения измерения Ф. А. Бредихина и других астрофизиков той эпохи, а также современные значения длин волн измеренных ими линий. Видно, что измерения Бредихина отличались вы-

сокой по тому времени точностью. А длина волны наиболее яркой полосы (λ_B) в спектре кометы Коджа 1874 III даже соответствует современному значению. Это тем более удивительно, что в то время поправка за доплеровское смещение линий не учитывалась (при доступной в то время точности измерений — она несущественна), а просто вычислялось среднее значение длин волн по всем наблюдениям. Условия наблюдений также резко отличались от современных. В то время фотографирование спектров было еще невозможно. Наблюдения велись визуально, причем измерения проводились в момент наблюдений. Ночью измерялось положение полос в спектре кометы относительно так называемых коллиматорных линий,⁴² а с восходом Солнца измерялось положение коллиматорных линий относительно линий солнечного спектра. Таким образом, наблюдения растягивались в общей сложности на весьма большой промежуток времени, в течение которого наблюдатель должен был постоянно находиться в напряжении. Как отметил О. А. Мельников (II, 6, стр.8), в то время техникой визуальных спектроскопических наблюдений владели только несколько человек в мире, и Ф. А. Бредихин был одним из этих немногих. В настоящее время получение спектрограммы и ее измерение производятся раздельно. Поэтому измерение спектрограмм, которое выполняется в лабораторных условиях и при помощи значительно более точных приборов, не требует от наблюдателя особого напряжения и дает значительно более высокую точность.

3. Физическая гипотеза о строении хвостов комет

Ф. А. Бредихин всегда придавал большое значение изучению физической природы комет. Уже на первом этапе своих исследований он обращал особое внимание на физическое объяснение кометных явлений. Неизвестно, когда он впервые заинтересовался этим вопросом. Однако две пометки в записной книжке Бредихина свидетельствуют о том, что уже в 1856 г., т. е. до того, как он начал заниматься кометами, его волновал вопрос об исследовании физических свойств небесных тел. Так, 25 апреля 1856 г. он записал: „О физических свойствах небесных тел“ —

⁴² Коллиматорными линиями служили линии углеводов, до

лекция Бесселя в собрании». ⁴³ Несколькоими страницами дальше записана основная мысль, возникшая, вероятно, при чтении этой лекции: исследование физических свойств небесных тел требует большой осторожности (II, 87). Кажется весьма вероятным, что именно глубокий интерес к изучению физической природы небесных тел и побудил Ф. А. Бредихина заняться кометами.

Механическая теория кометных форм давала точное математическое описание наблюдаемых явлений и их истолкование с точки зрения механики. Наблюдения спектров комет положили начало изучению их физических свойств. Открытие трех типов хвостов наметило путь к объединению этих методов исследования комет и созданию полной теории кометных явлений. Ф. А. Бредихин считал, что базой для нее должна служить его механическая теория кометных форм. Но ей необходимо было дать физическое обоснование или «физическое дополнение», которого он ждал от физиков. Ни одна работа по физике, имеющая какое-либо отношение к исследованию комет, не оставалась им незамеченной. В отличие от многих астрономов своего времени он никогда не пренебрегал этими работами.

Так, например, Э. Фай (1814—1902 гг.) по поводу статей Ф. Н. Шведова (1840—1905 гг.) ограничился восклицанием: «Но здесь же частные мнения лиц, чуждых этим вопросам!» (II, 88, стр. 153), а Ф. А. Бредихин написал ряд статей (I, 126 и др.), в которых показал, какие допущены ошибки и как их устранить. Так как усилия Ф. Н. Шведова, Е. Гольдштейна и других физиков не дали ожидаемых результатов, Бредихин в качестве первого приближения выдвинул свою физическую гипотезу.

Основные положения ее таковы:

1. Вещество кометных хвостов весьма разрежено, степень разрежения доходит до молекул.
2. Отталкивательные силы (ускорения), действующие на вещество хвостов, обратно пропорциональны атомным или молекулярным весам вещества кометных хвостов.
3. Отталкивание, проявляющееся в хвостах комет, имеет электрическое происхождение.

⁴³ Имеется в виду, вероятно, одна из популярных лекций Ф. Бесселя, вышедших впоследствии (1859 г.) в русском переводе: «Популярные чтения о научных предметах».

О весьма значительной разреженности кометных хвостов убедительно свидетельствовали все наблюдения. Предположение же о молекулярном строении хвостов вытекало, по мнению Бредихина, из постоянства отталкивательных сил (I, 106).

Предположение об электрическом отталкивании в хвостах комет было принято в соответствии с научными данными того времени.⁴⁴ Однако Бредихин никогда категорически не настаивал на электрическом отталкивании, принимая его только потому, что не было разработано другое объяснение. Еще в 1879 г., впервые излагая основы своей гипотезы, он писал: «Я использую название электричества для энергии, которая испускается Солнцем и различно действует на различные химические элементы комет, потому, что это название уже введено в физические теории комет; но весьма возможно, что дальнейшие исследования лучше уточнят название и свойства этой энергии» (I, 105а, стр. 139). Время, протекшее с 1879 г., и накопленные с тех пор наблюдения показали, что соотношение между отталкивательными силами и молекулярными (атомными) весами (пункт 2) в кометных хвостах было угадано правильно. Оно принято и современной наукой. В связи с этим интересно проследить, как пришел Бредихин к такому заключению.

Мысль о сопоставлении удельных весов различных веществ хвоста с величиной их отталкивания $1-\mu$ высказал еще Ф. Бессель. Но он отказался от такого предположения, так как связывал его с гипотезой сопротивляющегося эфира, существованию которого противоречило, по его мнению, колебание некоторых хвостов вокруг радиуса-вектора. Взамен он выдвинул гипотезу полярной силы (II, 75), которая состоит в следующем. Из наблюдений известно, что хвосты комет образуются под воздействием Солнца, отличным от ньютоновского притяжения. Бессель объяснял это тем, что под влиянием Солнца в комете возникает пара сил, противоположно направленных вдоль радиуса-вектора ядра кометы. Сила, действующая на стороне кометы, повернутой к Солнцу, вызывает отличие от обычного притяжения. Другая — противополо-

⁴⁴ Свойства электричества были в то время наиболее хорошо изучены, тогда как световое давление еще не было обнаружено.

ложно направлённая или полярная сила, уравнивает это действие. Общее тяготение кометы к Солнцу не изменяется. Если хвост кометы по какой-либо причине отклонился от направления радиуса-вектора, он начнет колебаться наподобие магнитной стрелки. Гипотеза полярной силы, как и гипотеза сопротивляющегося эфира, основывалась на предположении об одной силе μ и различном ее воздействии на вещества с разными удельными весами. Такого же мнения придерживались К. Папе и А. Виннеке.

Бредихин сразу отклонил гипотезу полярной силы. Гипотезу о сопротивлении эфира также пришлось оставить после того, как было выяснено (1864 г.), что оно не может играть большой роли в отталкивании кометных хвостов (I, 7). Однако, отказавшись от гипотезы сопротивляющегося эфира, тесно связанной у Бесселя с соотношением отталкивательных сил и удельных весов, Бредихин вновь выдвинул это соотношение (1879 г.), уже на других основаниях. При этом он обычно ссылался на работы Ф. Цёлльнера (1834—1882 гг.) о физических свойствах комет. Как известно, Цёлльнер считал, что хвосты комет образуются из частиц, испаряющихся с поверхности ядра. Эти частицы затем под воздействием электрического поля Солнца получают одноименные с ним заряды, и, отталкиваясь этим полем, удаляются в пространство в направлении, противоположном Солнцу.

На основании своих рассуждений Цёлльнер вывел формулу (II, 89, стр. 288):

$$\delta\Delta = \frac{g}{12\pi} \sigma r (1 - \mu), \quad (6)$$

где δ — электрическая плотность на поверхности частицы хвоста, Δ — электрическая плотность на поверхности Солнца, σ — удельный вес вещества хвоста, r — радиус шаровой частицы хвоста, $1 - \mu$ — отталкивательная сила (ускорение), действующая в хвосте кометы, g — ускорение силы тяжести на поверхности Солнца.

Однако он не предпринимал никаких попыток сопоставить $1 - \mu$ и σ для различных веществ, а это и привело Бредихина к созданию физической теории комет. Цёлльнер ограничился исследованием вопросов о размерах частиц хвоста, о величине их заряда, о величине электростатического заряда Солнца, о причинах изменения $1 - \mu$

в хвостах комет. Таким образом, он тщательно изучил формулу (6).

Цёлльнер поддержал объяснение изменения $1-\mu$ в хвостах комет, данное Бредихиным. Вместе с тем он указал, что изменение отталкивательных сил не обязательно должно быть следствием различия удельных весов частиц хвоста, но может объясняться просто различием размеров этих частиц (II, 89, стр. 310). Бредихин также придавал такому различию большое значение, считая, например, что аномальные хвосты состоят не из молекул, как другие, а из более крупных частиц, на которые отталкивание Солнца не обнаруживается (I, 105, стр. 139).

Как известно, при объяснении отталкивания частиц хвоста лучевым давлением именно различие размеров частиц играет определяющую роль. Таким образом, работы Бредихина и в некоторой степени Цёлльнера подготовили выдвинутое П. Н. Лебедевым объяснение отталкивания хвостов комет световым давлением.

Опираясь на формулу (6) Цёлльнера, Бредихин составил аналогичные выражения для двух типов хвостов (I, 105, стр. 138):

$$\delta\Delta = \frac{g}{12\pi} r (1 - \mu) \sigma,$$

$$\delta'\Delta = \frac{g}{12\pi} r_1 (1 - \mu') \sigma'.$$

Принимая, что размеры молекул различных веществ и их заряды одинаковы, т. е. при $r_1 = r$, $\delta' = \delta$, можно получить следующее соотношение:

$$\frac{1 - \mu}{1 - \mu'} = \frac{\sigma'}{\sigma}.$$

Отсюда были выведены некоторые соображения о физико-химическом составе хвостов. Так, стало совершенно ясно, что хвосты I типа, в которых обнаруживались наибольшие отталкивательные силы, должны состоять из вещества с очень малым удельным весом, тогда как в хвостах III типа должны присутствовать весьма тяжелые вещества (например, металлы). Однако более точных, уже количественных, а не качественных заключений, на основании представлений Цёлльнера, невозможно было сделать. Дальнейшие рассуждения, приведшие

к предсказанию в кометах железа, натрия и другим интересным заключениям о физико-химическом составе хвостов всех типов, базировались на совершенно иных основах, тесно связанных с развитием идей Д. И. Менделеева (1834—1907 гг.) о периодическом законе химических элементов.

Хотя Бредихин ни в одной статье не упоминал имени Менделеева, по-видимому, он имел в виду именно его периодическую систему элементов, когда писал: «... мне пришла мысль справиться в таблице атомных весов простых тел» (I, 105, стр. 138).

В ходе развития основных положений периодического закона Менделеев установил прямую зависимость удельных весов веществ от их атомного веса.⁴⁵ Найденная зависимость позволила Бредихину совершить переход от удельных весов к атомным, что и явилось основой второго пункта его гипотезы. На основании научных данных того времени можно было предположить с большой степенью вероятности, что в хвостах комет присутствуют водород, углерод и железо. Чтобы проверить справедливость такого предположения, Бредихин сопоставил отношения отталкивательных сил, действующих в хвостах всех трех типов, с атомными весами трех предполагаемых элементов, взятыми из таблицы Менделеева. Приняв следующие значения отталкивательных сил для трех типов:

$$\begin{aligned} \text{I тип: } 1 - \mu &= 11, \\ \text{II тип: } 1 - \mu &= 1.3, \\ \text{III тип: } 1 - \mu &= 0.2, \end{aligned}$$

Бредихин составил отношения отталкивательных сил хвостов III и II типов к I и сравнил их с отношениями атомных весов подозреваемых элементов (I, 105, стр. 138):

$$\begin{aligned} \frac{1 - \mu_{\text{III}}}{1 - \mu_{\text{I}}} &= 0.02, & \frac{1 - \mu_{\text{II}}}{1 - \mu_{\text{I}}} &= 0.12, \\ \frac{\text{H}_2}{\text{Fe}} &= 0.02, & \frac{\text{H}_2}{\text{C}} &= 0.08. \end{aligned}$$

⁴⁵ Он вывел формулу (II, 90, стр. 271) $v = \frac{P}{d}$, где P —атомный вес вещества, d — плотность, v — удельный объем.

Если учесть, что плотность $d = \frac{\gamma}{g}$, где γ — удельный вес, g — ускорение силы тяжести в данной точке земной поверхности, то можно получить $v \sim P$; $\gamma \sim P$.

Если незначительно изменить величины отталкивательных сил для I и II типа ⁴⁶ ($1 - \mu_I = 12$; $1 - \mu_{II} = 1$), то можно добиться полного совпадения. Бредихин писал по этому поводу:

«Если это согласие в самом деле не случайно, — а такое согласие было бы во всяком случае очень странным, — можно заключить с большой вероятностью, что хвосты трех типов состоят соответственно из молекул водорода, углерода и железа» (I, 105, стр. 138). Такова была первая попытка построения физической теории комет. Принцип ее Бредихин угадал правильно.

Но точно определить физико-химический состав хвостов в то время было невозможно. Даже и в настоящее время этот вопрос не решен окончательно. Все данные, которыми располагает современная наука, были получены в результате больших успехов в области ядерной и молекулярной спектроскопии, а также в области инструментальной оптики и фотометрии комет. Это стало возможным только много лет спустя после смерти Ф. А. Бредихина. Однако и он на основании своей физической гипотезы смог получить ряд важных результатов, которые приняты современной наукой.

Три наиболее яркие полосы спектров кометных голов (спектр Свана), которые вначале относили к углероду, были на основании опытов Б. Гассельберга и Г. Фогеля ошибочно отождествлены со спектрами углеводов (II, 6, стр. 7). Вывод о том, что кометы содержат соединения углерода и водорода, а не чистые элементы, поддерживали многие ученые XIX в., основываясь на выводах электрической гипотезы свечения кометных хвостов. Однако Бредихин, согласившись с тем, что в кометах присутствуют углеводороды, считал, что там могут быть и чистые элементы (углерод, водород). Характерно, что

⁴⁶ При $1 - \mu_I = 12$, $1 - \mu_{II} = 1$, $1 - \mu_{III} = 0.2$ получаем

$$\frac{1 - \mu_{III}}{1 - \mu_I} = 0.02, \quad \frac{1 - \mu_{II}}{1 - \mu_I} = 0.08.$$

По-видимому, это побудило Бредихина пересмотреть значения $1 - \mu$, особенно для I типа. Уже в апреле 1880 г. он писал о том, что отталкивательная сила для I типа должна быть увеличена с 11 по крайней мере до 12 (I, 100, стр. 34).

и в дальнейшем, при сопоставлении атомных весов с отталкивательными силами для различных хвостов, он всегда учитывал и углерод, а не только его соединения. Теперь выяснено, что полосы Свана принадлежат молекуле C_2 . Однако по спектрам ядер были обнаружены и углеводород CN , и C_3 (II, 91). Таким образом, в основном Бредихин оказался прав.

На основании своих исследований он утверждал, что в кометах должен быть свободный водород. Однако все попытки обнаружить его в кометных спектрах оканчивались неудачей. Бредихин все же продолжал настаивать на том, что водород в кометах есть и не обнаруживается только вследствие каких-то особых условий наблюдения. Его предвидение блестяще подтвердилось в 1956 г. после исследования, проведенного советским астрофизиком С. М. Полосковым. Он показал (II, 92), что водород действительно не может быть замечен в спектрах комет, так как его резонансные полосы⁴⁷ располагаются в недоступной для наблюдений части спектра.

Как известно, Бредихин приписывал вначале хвостам I типа отталкивательные силы, равные 17.5—18. Эти хвосты и должны были состоять из водорода. Позже, когда были обнаружены большие отталкивательные силы, около 36, он предложил рассматривать эти хвосты как состоящие из водорода и продуктов разложения его молекулы — продуктов ионизации и диссоциации водорода, по современной терминологии (I, 201, стр. 41). На возможность такого допущения он указал еще в 1879 г. (I, 105).

Особенно удачливой оказалась гипотеза Бредихина в отношении предсказания металлов в кометах. Уже два года спустя после впервые высказанной им догадки о наличии в кометах металлических паров (1879 г.) он сам, и независимо от него другие ученые обнаружили в голове кометы 1882 I (Уэлса) линии D_1 , D_2 натрия. Затем были обнаружены линии железа в голове большой сентябрьской кометы 1882 II. В 1927 г. С. В. Орлов по измерениям Р. Копелянда и О. Лозе идентифицировал в спектре головы той же кометы линии железа, никеля и хрома (II, 6, стр. 6).

⁴⁷ В спектрах комет наблюдаются только резонансные полосы различных молекул.

Открытие металлов в спектрах комет произвело сильное впечатление на современников Ф. А. Бредихина. Его физическая гипотеза получила широкое признание. Однако впоследствии было установлено, что хотя в кометах и есть металлы, но наблюдаются они очень редко. Так, до настоящего времени линии D_1 , D_2 натрия были обнаружены только в спектрах семи комет (1882 I, 1882 II, 1910 I, 1910 II, 1927 IX, 1956 h и 1957 d). Линии излучения железа, никеля и хрома найдены только в спектре головы большой сентябрьской кометы 1882 II. Все это — очень яркие кометы; линии металлов наблюдались в их спектре при перигельных расстояниях меньше 0.8 а. е. Таким образом, гипотеза подтвердилась только отчасти. Однако она сыграла значительную роль в изучении физической природы кометных явлений, привлекла к исследованиям многих астрономов и физиков.

В результате этих работ удалось объяснить многие особенности трех типов хвостов, которые раньше были непонятны. Оказалось, что и внешний вид хвостов трех типов тесно связан с их физико-химическим составом.

Так, хвосты I типа обычно наблюдаются отдельно от других типов хвостов, не сливаясь с ними. Это нашло простое объяснение в физико-химической гипотезе, что наглядно иллюстрируется таблицей относительных отталкивательных ускорений (сил) и атомных (молекулярных) весов, составленной О. А. Мельниковым (I, 7, стр. 6). Если принять, что хвосты I типа состоят из водорода (атомный вес 1), то относительная отталкивательная сила (ускорение), действующая в хвосте этого типа, будет равна $\frac{17.5}{1} = 17.5$. Следующим элементом в таблице Д. И. Менделеева будет гелий (атомный вес 4). Для него относительная отталкивательная сила равна $\frac{17.5}{4} = 4.4$. Между отталкивательными силами 17.5 и 4.4 остается большой промежуток, который не может быть заполнен каким-либо веществом.

Хвосты II типа, значительно более широкие, часто имеют вид нескольких вложенных друг в друга коноидов. Отталкивательные силы (ускорения), действующие в хвостах этого типа, представляют собой ряд значений, варьирующих от 0.8 до 2.6. Особенности этого типа также наглядно иллюстрируются табл. 3. По Бредихину,

Т а б л и ц а 3

Сопоставление относительных отталкивательных ускорений, действующих в хвостах комет, с атомными и молекулярными весами химических элементов и соединений

Тип хвоста	Относительное отталкивательное ускорение (из наблюдений)	Элементы соединения	Атомные и молекулярные веса	Относительное отталкивательное ускорение, равное $\frac{17.5}{A}$ (вычислено)
I	17.5	H	1	17.5
		He	4	4.4
II	2.2	Li	7	2.5
		C	12	1.5
		CH	13	1.4
		CH ₂	14	1.2
		N	14	1.2
		CH ₃	15	1.17
III	1.1	CH ₄	16	1.10
		Na	23	0.76
		C ₂ H ₄	28	0.62
		K	39	0.45
III	0.5	C ₂ N ₂	42	0.42
		Fe	56	0.31
	0.3	Cu	64	0.27
		Sr	88	0.20
	0.2	Au	197	0.09
		Hg	200	0.09
	0.1	Pb	207	0.08

хвосты II типа должны состоять из углеводородов, углерода и легких металлов (Na). Составляя относительные отталкивательные силы ускорения для этих элементов и соединений, получаем ряд значений от 2.5 (Li) до 0.62 (C₂H₄); 2.5 (Li); 1.5 (C); 1.4 (CH); 1.2 (CH₂); 1.17 (CH₃); 1.10 (CH₄); 0.76 (Na); 0.62 (C₂H₄). Понятно, что эти хвосты и должны наблюдаться в виде системы вложенных друг в друга коноидов, соответствующих каждому элементу или соединению.

Хвосты III типа — короткие, очень широкие. По мнению Бредихина, такой вид объяснялся наличием в хвостах III типа тяжелых элементов разных атомных весов,

в частности металлов — от железа до свинца. Для уточнения этого вопроса он перевычислил значения $1 - \mu$ для III типа с учетом ошибки δ ($1 - \mu$), допускаемой при определении $1 - \mu$ из наблюдений (I, 152, стр. 24). Были получены следующие значения $1 - \mu$: 0.087; 0.085; 0.089. Приняв среднее значение $1 - \mu = 0.088$ или $1 - \mu = 0.09$, Ф. А. Бредихин подчеркнул, что эти значения соответствуют относительным отталкивательным силам (ускорениям) для тяжелых металлов: золота, ртути, свинца (I, 157, стр. 128). Значения относительных отталкивательных ускорений (сил) составляют непрерывный ряд близких друг к другу величин (табл. 3): 0.31 (Fe); 0.27 (Cu); 0.20 (Sr); 0.09 (Au); 0.09 (Hg); 0.08 (Pb). Таким образом, и наблюдаемые особенности III типа получили объяснение. Стало также ясно, почему хвосты II и III типа часто сливаются, переходя один в другой. Действительно, предельная величина относительного значения $1 - \mu$ для II типа составляет 0.62, тогда как III тип начинается значением 0.45. Естественно, что такие хвосты должны плавно переходить один в другой и разделить их очень трудно.

Следует напомнить, что физико-химическая гипотеза Ф. А. Бредихина основывалась на представлении о едином составе голов и хвостов комет. Поэтому все данные, полученные для голов комет, считалось возможным отнести и к их хвостам, а заключения о хвостах — к голове. Однако в 1907 г. при наблюдении кометы Даниеля 1907 IV был впервые изучен спектр хвоста (Бредихин и его современники могли видеть только спектр голов) и установлено резкое различие его от спектра головы. Это обстоятельство, не известное Бредихину, показало, что кометные явления сложнее, чем он предполагал, и не могут быть целиком объяснены его гипотезой. Но некоторые выводы, сделанные на основании физической гипотезы Бредихина, получили новое подтверждение. Таковы выводы о наличии в головах комет водорода, углерода, металлов.

4. Научные связи Ф. А. Бредихина с различными учеными при разработке теории комет

Механическая теория кометных форм вместе с физической теорией кометных явлений были разработаны весьма тщательно. Не осталось без внимания ни одна деталь,

ни один вопрос, представляющие какой-либо интерес для теории. Такой широкий охват оказался возможным только потому, что Бредихин широко привлекал к решению различных проблем целый коллектив ученых, среди которых были астрономы, специалисты по механике, математике, физике, химии, филологии.

Научные связи Ф. А. Бредихина и П. Н. Лебедева

В числе ученых, с которыми успешно сотрудничал Ф. А. Бредихин по разработке теории комет, особое место занимает знаменитый физик П. Н. Лебедев (1866—1912 гг.). Сотрудничество оказалось весьма плодотворным для обоих ученых и внесло большой вклад как в астрономию, так и в физику.

Несмотря на то что в литературе о Ф. А. Бредихине (II, 5, 6 и др.) неоднократно подчеркивалось значение опытов П. Н. Лебедева по световому давлению для физического обоснования механической теории кометных форм, а в литературе о П. Н. Лебедеве отмечалась связь его работ с теорией комет (II, 93, 94 и др.) — вопрос о научных связях этих ученых до сих пор не ставился, хотя он представляет большой интерес для истории науки. Знаменитые эксперименты П. Н. Лебедева имели большое значение для физики и астрономии. Отмечая значение этого открытия, С. И. Вавилов писал (II, 93, стр. 166): «. . . работы Лебедева по световому давлению — это не отдельный эпизод, но важнейший экспериментальный узел, определивший развитие теории относительности, теории квантов и современной астрофизики». Открытие Лебедева имело большое значение и для материалистической философии, так как экспериментально установив наличие механического импульса у светового луча, оно доказало общность свойств двух видов материи — вещества и поля.

Вопрос о существовании светового давления приобрел особую актуальность после появления в 1873 г. электромагнитной теории К. Максвелла (1831—1879 гг.), который вывел световое давление как следствие из своей теории и первый вычислил его величину. В течение XIX в. необходимость светового давления на твердые тела была подтверждена и рядом других физических теорий (Бартоли, Бёльцмана, Лармора, Лоренца и др.). Однако все попытки экспериментально обнаружить световое давление в лабо-

раторных условиях неизменно терпели неудачу, так как здесь оно незначительно по величине и маскируется рядом побочных явлений, как например конвекция и радиометрические силы. Если учесть, что в числе экспериментаторов были такие известные ученые, как Френель, Бартоли, Пашен, Крукс, то станет понятным возникновение после их неудач сомнений в реальности светового давления.

Молодому физiku П. Н. Лебедеву удалось успешно преодолеть все трудности потому, что в поисках подтверждения вывода Максвелла о реальности светового давления, он обратился к астрономическим явлениям, где давление излучения, находясь в иных, чем на Земле, условиях, могло бы проявиться более отчетливо. Единственной теорией, указывающей на наличие отталкивательной силы у излучающего тела — Солнца, была в то время теория комет. Однако для того чтобы убедиться в тождестве этой силы со световым давлением, необходимо было объяснить, хотя бы приближенно, образование хвостов всех типов при помощи светового давления, т. е. построить физическую теорию комет. Поэтому вполне естественным было объединение усилий обоих ученых — астронома Ф. А. Бредихина и физика П. Н. Лебедева — для выполнения этой задачи. Один стремился завершить создание полной кометной теории, другой искал в астрономическом явлении подтверждение физических теорий.

Для объяснения отталкивания хвостов комет световым давлением следовало рассмотреть давление излучения как на твердые тела, так и на газы. И действительно, о процессах, связанных с давлением света на молекулы газа, Лебедев думал уже с 1891 г., как видно из записей в его дневнике от 7 до 20 января 1891 г., 9 июня 1891 г., 2 июня 1892 г., 6 июня 1893 г. и многих других (II, 95). В феврале 1894 г. он уже начал обдумывать опыт по давлению света на газы (II, 95). В проведении этих экспериментов Лебедев также опирался на данные теории Бредихина. Так, для опытов были взяты газообразные углеводороды: метан (CH_4), пропан (C_3H_8), бутан (C_4H_{10}), этилен (C_2H_4), ацетилен (C_2H_2), которые, по Бредихину, должны были входить в состав хвостов II типа (II, 96, 97). Кроме того, использовалась углекислота (CO_2), присутствие которой в кометах считалось вероятным, и водород (в виде примеси). Как известно, примешивание водорода, единственного

теплопроводного газа, решило судьбу эксперимента (II, 98, 99). Тем более интересно, что и этот газ не случаен для кометной теории Бредихина, по которой из водорода состоят хвосты I типа. Технические трудности экспериментов по давлению света на газ были настолько велики, что до сих пор никто не решился их повторить. Безусловно, Лебедев обладал большим экспериментаторским талантом. Однако его успех объясняется не только этим. Даже при первом знакомстве с его трудами отчетливо выступает большая роль кометных теорий и, в частности, исследований Бредихина в открытии светового давления.

Хронология сотрудничества Ф. А. Бредихина и П. Н. Лебедева. Проведенное в 1959 г. (II, 100, стр. 467—476) изучение научных связей Бредихина и Лебедева позволило подробно осветить эти вопросы и даже наметить хронологическую канву их сотрудничества по неопубликованным материалам этих ученых, хранящимся в Архив Академии наук СССР (ф. 705 и 293).

Впервые имя Ф. А. Бредихина встречается в дневнике Лебедева в записи от 31 марта 1890 г.: «Отталкивание хвостов комет, наблюденное Бредихиным у перигелия, может быть частично лежит в ... оптическом отталкивании» (II, 101, стр. 546). 1 апреля 1890 г. им уже был выполнен непосредственный расчет давления солнечных лучей на поверхность Земли (II, 101, стр. 547), который впоследствии приводился в статье «Об отталкивательной силе лучеиспускающих тел» (II, 102). Таким образом, Лебедев в первых своих работах по световому давлению опирался на результаты, полученные Бредихиным, что свидетельствует о знакомстве с его основными работами по теории комет. Изучение архива Лебедева показало, что в 1887—1890 гг., во время пребывания за границей, он подробно занимался «кометными хвостами» и хорошо изучил всю научную литературу того времени. В его записных книжках можно встретить выписки из работ Аррениуса, Шведова, Бредихина и других. Однако в расчетах по световому давлению и в печатных работах Лебедева использовались только выводы Бредихина. Даже величину отталкивательной силы в хвостах комет он брал не по Аррениусу: 18.5, 3.2, 2.0, 1.5, а по Бредихину: 17.5, 1.1, 0.2 (II, 103). Покидая Германию после окончания учебы, Лебедев сделал на коллоквиуме в Страсбурге

Москва. 28. XI. 1900.
(Марсейна 10.)

Излюбиваемый

Ведор Александрович!

Посылю вам мои радужные по
спектральному давлению в маленьком
спектральном в астрономии, раз-
читывая что она будет вам
интересна. Как изменится
давление света может определять
в явлениях концы из которых
особенности, которых до сих
пор не имели еще достаточ-
но точных определений: мои са-
мому все это конечно можно
по Galle "Kometenatlas" — вырвать
явлений или хороших фотографий
не приходится

Ваш П. Н. Лебедев

доклад, в котором поделился своими планами дальнейших исследований по световому давлению и физическому обоснованию теории комет.

27 сентября 1891 г. этот доклад был повторен им в Политехническом музее в Москве. 28 сентября он записал в дневнике (II, 104, стр. 140): «Вчерашнее чтение в Музее увенчалось полным успехом: комплиментов наговорили кучу и проф. Цераский настаивал, чтобы я послал статью Бредихину для напечатания в Петербургской Академии». Статья была отослана в Пулковую Бредихину. Так состоялось их первое, пока еще заочное, знакомство.

К 1891 г., когда двадцатипятилетний Лебедев только еще вступал в науку, шестидесятилетний академик Бредихин был уже всемирно известным ученым, признанным главой отечественных астрономов. Однако это не мешало ему живо заинтересоваться небольшой работой молодого физика. С осени 1891 г. между Бредихиным и Лебедевым установилась переписка и взаимный обмен работами. Личная встреча произошла почти через год и произвела на Лебедева глубокое впечатление. Об этом свидетельствует его запись в дневнике от 2 июня 1892 г. (II, 104, стр. 182): «Сегодня познакомился с Ф. А. Бредихиным — он очень мил (сразу видно, что гениальный человек). . .». Лебедев на всю жизнь сохранил большое уважение к знаменитому исследователю комет и очень высоко ценил его научные труды.

Статья «Об отталкивательной силе лучеиспускающих тел» с автографом П. Н. Лебедева до сих пор хранится в архиве Ф. А. Бредихина. Он использовал ее в речи «О физических переменных в небесных телах» (I, 175, 1893 г.), оттиск которой был послан Лебедеву. Сохранился черновик ответного письма последнего (II, 105, л. 11—13) с изложением ряда возражений против предположения Бредихина об электрической природе солнечного отталкивания. Эта полемика продолжалась вплоть до 1902—1904 гг. и нашла отражение в печатных работах обоих авторов. Подробно этот вопрос будет освещен ниже.

Опираясь на исследования Бредихина и электромагнитную теорию Максвелла, Лебедев стремился к «принципиально полному решению задачи об отталкивании кометных хвостов» (II, 105, л. 79). Первым этапом в решении этой задачи было успешное завершение экспериментов по давлению света на твердые тела (1899—1900 гг.). Оттиск

своей работы «Les forces de Maxwell—Bartoli dues à la pression de la lumière» (II, 106) Лебедев послал Бредихину. К оттиску было приложено письмо следующего содержания (II, 107, л. 6): «Многоуважаемый Федор Александрович! Посылаю Вам мою работу по световому давлению с маленьким экскурсом в астрономию, рассчитывая, что она будет Вам интересна. Как кажется, давление света может объяснить в явлениях комет некоторые особенности, которые до сих пор не получили еще достаточного объяснения. Мне самому все известно только по Galle „Kometenbahnen“ (II, 108), видеть явлений или хороших фотографий не приходилось». Маленькая приписка Лебедева в конце письма очень характерна. Она свидетельствует о его хорошем знакомстве с исследованиями Бредихина, требовавшего от авторов физических теорий комет знания основных особенностей кометных явлений.

Следующая, наиболее важная для теории комет серия экспериментов Лебедева по давлению света на газы была закончена уже после смерти Бредихина, в 1907—1910 гг. (II, 96). Этими работами были заложены экспериментальные основы той физической теории комет, разработку которой они начали совместно и которая легла в основу современной теории хвостов комет.

П. Н. Лебедев и исследования Ф. А. Бредихина. Из трудов Бредихина Лебедев заимствовал три основных положения.

1. О наличии газовой и пылевой составляющих и о большой разреженности вещества комет, в котором становятся заметными межмолекулярные взаимодействия.

2. Закон обратного квадрата для действия отталкивательной силы Солнца, одинаково пригодный как для электрического отталкивания, так и для светового давления.

3. Принципиальную программу для построения физической теории комет, изложенную Бредихиным в ряде работ (I, 126, 128, 129 и др.).

Еще в 1883 г. он писал, обращаясь к физикам: «Для тридцати комет я вычислил координаты их хвостов в плоскости орбиты и попытался собрать все замечания относительно структуры хвоста и головы, слоистости, распределения взрыва, — в общем все особенности, которые могут служить как пробный камень для различных рассуждений. Создатели кометных теорий должны под-

вергнуть свои рассуждения всем этим испытаниям; если теория выйдет из них с успехом, она будет желанной» (I, 128, стр. 38).

Экспериментам П. Н. Лебедева по обнаружению светового давления предшествовала разработка рабочей гипотезы, которая никогда не появлялась в печати как единое целое. Основная часть рассуждений заключена в многочисленных дневниках и записных книжках (II, 101, стр. 545—547; 109, стр. 29, 33, и т. д.), однако некоторые из них вошли в опубликованные работы (II, 97, стр. 60, 61, 86 и др.). Основные положения физической теории кометных хвостов (рабочей гипотезы П. Н. Лебедева) таковы:

1) всякое тело, температура которого отлична от нуля градусов по абсолютной шкале Кельвина, излучает и оказывает лучевое давление на окружающие тела;

2) лучевое давление изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния от Солнца.

Так как вещество кометных хвостов состоит из пыли и газа, то задача, естественно, делится на две части: теорию пылевых и теорию газовых хвостов.

В случае пылевых хвостов (считая пылинки абсолютно черными шариками, радиусы которых значительно больше длины волны падающего на них излучения) Лебедев подсчитал отталкивательную силу Солнца на такие пылинки по формуле (II, 97, стр. 62)

$$f = 1 - \frac{10^{-4}}{r \cdot \delta},$$

где f — результирующая сила, равная разности ньютоновского притяжения и лучевого отталкивания; r — радиус шара; δ — плотность.

Таким образом, П. Н. Лебедев рассматривал пылевые частицы как абсолютно черные шары, поглощающие все падающее на них излучение и излучающие его равномерно по всем направлениям. Хотя, строго говоря, эта формула неприменима к молекулам, которые не являются абсолютно черными шарами, расчет по этой формуле дал возможность оценить порядок величины солнечного отталкивания. Оказалось, что она не пренебрежимо мала и может быть обнаружена измерением. Этот вывод был подтвержден П. Н. Лебедевым экспериментально, когда он

измерил величину светового давления на твердые тела (II, 107).

Так было намечено принципиальное решение вопроса об отталкивании пылевых хвостов. В настоящее время можно считать, что этот вопрос в основном решен. Световое давление оказалось максимальным (в видимом свете) для твердых пылинок с радиусом порядка 100 м μ . В этом случае отношение ускорения светового давления к гравитационному (т. е. величина μ) того же порядка, как и наблюдаемое в хвостах II типа. По всей вероятности, они и состоят преимущественно из пыли с небольшой примесью газа. Можно считать, что так же объясняется и природа отталкивания в хвостах III типа. По-видимому, они состоят в среднем из более крупных частиц, порядка 1 μ .

Построить теорию газовых хвостов оказалось значительно сложнее. Однако Лебедев удачно отметил, что в этом случае следует рассматривать взаимодействие молекул как взаимодействие двух резонаторов, селективно поглощающих свет. Давление света подсчитывается в этом случае по формуле Дж. Фитцджеральда

$$P = \frac{\alpha E}{C},$$

где P — давление света; E — количество энергии падающего излучения, C — скорость света, α — коэффициент поглощения вещества кометы.

Опираясь на эти положения и на данные электромагнитной и кометной теорий, Лебедев успешно закончил свои знаменитые опыты, доказавшие реальность светового давления на газы и правильность соотношения Фитцджеральда. Таким образом, принципиально вопрос о возможности объяснить отталкивание кометных хвостов лучевым давлением был решен. Однако до создания полной физической теории кометных хвостов, особенно газовых, было еще далеко. Ведь в опытах измерялось только суммарное давление света на смесь газов при атмосферном давлении. В реальных же кометах — явление значительно сложнее. Хвосты комет состоят из смеси газов и пылевых частиц, причем соотношение этих компонентов далеко не всегда известно. Лебедев, конечно, не рассматривал и не объяснял всех особенностей реальных хвостов комет. Он прекрасно понимал, что между условиями его экс-

перимента и реальными кометами существует большое различие (II, 110 л. 72). Однако его работы наметили принципиальное решение вопроса и самое главное заложили экспериментальную базу дальнейших исследований в этом направлении.

Физическая теория П. Н. Лебедева о кометных хвостах. Основываясь на своих представлениях о взаимодействии молекул-резонаторов в поле излучения Солнца, Лебедев наметил также решение проблемы о свечении хвостов. Он считал, что кометные хвосты состоят из весьма разреженного газа, находящегося под низким давлением. При освещении такого газа солнечными лучами должны обнаруживаться, помимо светового отталкивания, также и явления резонансного свечения и флюоресценции, так как столкновения молекул в кометных хвостах ничтожно редки. Над этими вопросами он думал уже в 1896 г., о чем свидетельствует его запись от 29 мая (II, 104, стр. 420). Но печатно он не излагал своих взглядов, ограничившись буквально двумя замечаниями. Вот первое из них (II, 111, стр. 17): «... причина световых явлений в хвостах комет хорошо объясняется флюоресценцией сильно освещенного газа... Кроме явлений флюоресценции, в освещенном, сильно разреженном газе возможно также и резонансное излучение...». Второе замечание (II, 111, стр. 18): «У газовых молекул, попавших в поток солнечных лучей, встречаются явления резонанса, которые сопровождаются силами давления падающего излучения...».

В настоящее время выяснено, что основным механизмом, возбуждающим свечение кометных полос, является именно резонансная флюоресценция. Таким образом, вывод Лебедева оказался правильным. Однако вполне естественно, что ни Бредихин, ни Лебедев не могли проверить своих предположений, так как в то время не был достоверно известен даже химический состав хвостов. И все-таки идея Лебедева оказалась плодотворной. Дальнейшее развитие физической теории пошло именно по намеченному им пути.

Мысли Лебедева о процессах свечения кометных хвостов, высказанные вскользь или подстрочно, сразу же были замечены Бредихиным. По его поручению Егерман привел эти высказывания в своей книге, подчеркнув, что такое «объяснение самосвечения кометного хвоста

может рассматриваться как очень важная опора для физической кометной теории Бредихина» (II, 1, стр. 490). Внимание Бредихина к высказыванию Лебедева тем более интересно, что другие физики и астрономы того времени не придали им большого значения. Считая, что газы вообще не могут испытывать светового давления, С. Аррениус (1859—1927 гг.) выдвинул даже в противовес теории Бредихина свою, «капельную» теорию строения кометных хвостов. По этой теории предполагалось, что хвосты комет состоят из мелких капелек, образующихся при конденсации углеводородов, испаряющихся из ядер комет. Лучевое давление на «капельные» хвосты обратно пропорционально диаметрам капель. Аррениус ошибочно полагал, что комета может иметь не четыре (как по теории Бредихина), а сколько угодно хвостов, так как при конденсации могут возникать капли любых размеров (II, 112). К. Шварцшильд (1873—1916 гг.), разделявший мнение С. Аррениуса, обосновал его теоретически (II, 113). Он считал, что отталкивательные силы в хвостах не могут быть больше 20 (а Бредихин получил 1— μ , равные 36 и 59). Большинство физиков прошлого века разделяло мнение Аррениуса и Шварцшильда, которые оспаривали наличие газов в хвостах комет. Однако Лебедев решительно встал на сторону астронома Бредихина против физиков, среди которых его взгляды долго не находили сочувствия. Вот, например, что писал Аррениус в 1900 г. (II, 112, № 6, стр. 32): «Попытка Лебедева применить теорию света Максвелла к кометной теории Бредихина, кажется, осталась на замеченной. . . . То обстоятельство, что он считал кометные хвосты (по Бредихину) газообразными, возможно помешала принятию его взгляда, так как газообразные тела в очень тонком слое, как в кометных хвостах, не обладают никакой, достойной упоминания, ни отражательной, ни поглощательной способностью».

Только в 1910 г., когда Лебедев успешно завершил свои эксперименты, реальность светового давления на газы была окончательно доказана. Вполне естественно, что Лебедев поспешил сообщить об этих результатах своим научным противникам — Аррениусу и Шварцшильду. Большой интерес представляет ответное письмо Шварцшильда к Лебедеву. Приведем его с небольшими сокращениями (II, 114).

«Глубокоуважаемый коллега!

Я еще хорошо помню, с каким сомнением я в 1902 г. отнесся к Вашему намерению измерить давление излучения на газы, и с тем большим восхищением я прочел сейчас, как Вы преодолели все препятствия. Сердечно благодарю за Вашу статью. Она пришла как раз в тот момент, когда я писал маленькую статейку, в которой доказывал преимущество „резонаторной теории“ (т. е. теории П. Н. Лебедева, — *Н. Н.*) кометных хвостов перед „капельной теорией“ Аррениуса. . . Поскольку теперь уже нельзя более сомневаться в том, что давление излучения и диффузия света связаны соотношением Фитцджеральда, то внимание теперь должно быть направлено на изучение резонансного свечения чрезвычайно разреженных газов. . .».

Таким образом, становится совершенно ясно, что идея о резонансно-флюоресцентном свечении кометных хвостов была впервые выдвинута П. Н. Лебедевым. Его приоритет признавали все его современники, в том числе Аррениус и Шварцшильд. Тем не менее в настоящее время в ряде статей как советских (II, 115 и др.), так и зарубежных (II, 116 и др.) авторов встречаются утверждения о том, что эта идея была впервые выдвинута К. Шварцшильдом и А. Кроном (1911 г.) в работе «О распределении яркости в комете Галлея» (II, 117). Нет необходимости доказывать необоснованность подобных утверждений. Трудно согласиться с тем, что Шварцшильд первый выдвинул идею, по поводу которой он полемизировал с Лебедевым в течение восьми лет! Кроме того, работа Шварцшильда и Крона, на которую обычно ссылаются, есть не что иное, как та «статьейка», о которой упоминал Шварцшильд в приведенном письме к Лебедеву. По словам самого Шварцшильда, в этой работе доказывается преимущество теории Лебедева перед теорией Аррениуса. Интересно отметить, что О. В. Добровольский, почти единственный из современных исследователей комет, правильно осветил развитие идей в этой области кометной физики (1957 г.) не входя, однако, в детали (II, 118).

П о л е м и к а Ф. А. Б р е д и х и н а и П. Н. Л е б е д е в а о п р и р о д е с о л н е ч н о г о о т т а л к и в а н и я. Закон обратного квадрата расстояний для силы,

действующей в хвостах комет, одинаково удовлетворяет как лучевому давлению, так и электрическому отталкиванию. Бредихин придерживался электрической гипотезы (1879 г.), тогда как Лебедев объяснял солнечное отталкивание световым давлением (1891 г.). В 1879 г., когда о световом давлении почти ничего не было известно, электричество было довольно хорошо изучено,⁴⁸ принятие электрической гипотезы было вполне обосновано. Однако Бредихин никогда не настаивал категорически только на электрическом происхождении солнечного отталкивания, очень осторожно выражаясь о природе этой силы, откладывая точное выяснение вопроса на будущее. Естественно, что после появления первой статьи Лебедева иная возможность объяснения природы солнечного отталкивания сразу была замечена. Бредихин писал (I, 175, 1893 г. стр. 12): «Энергию, проявляющуюся в движении частиц комы, можно признать за электричество. Быть может вполне или отчасти роль электричества играет тут та отталкивательная сила, которую можно искать в световых и тепловых лучах Солнца». Таким образом, указав на новое объяснение, он не отказался и от ранее принятого, допустив возможность одновременного действия нескольких сил. Отстаивая свою точку зрения, Лебедев решительно выступил против любого иного объяснения солнечного отталкивания. Он показал, что закон обратного квадрата и данные Бредихиным величины отталкивательной силы (ускорения) можно объяснить световым давлением, что, по его мнению, «делало излишней» гипотезу об электризации Солнца и кометных газов.

Получив отклик статьи Бредихина, в которой было указано на новое объяснение солнечного отталкивания наряду с прежним, Лебедев выступил с резкими возражениями против электрической гипотезы. В письме к Ф. А. Бредихину (1893 г.) он писал (II, 105, л. 11): «Вы. . . называете отталкивательную силу условно электрической. . . , я позволю себе идти еще дальше и утверждать, что она не может быть электрической. . . ». Возражения Лебедева наиболее полно развиты в статьях «Экс-

⁴⁸ Электромагнитная теория света Максвелла появилась только в 1873 г., опыты Г. Герца, подтверждающие электромагнитную природу света, были проведены уже значительно позднее — в 1887—1888 гг. Окончательно же реальность светового давления была доказана опытами П. Н. Лебедева в 1900 и 1910 гг.

периментальное исследование пондеромоторного действия волн на резонаторы» (1897 г., II, 97) и «Физические причины отклонения от ньютоновского закона всемирного тяготения» (1902 г., II, 111).

Интересно отметить, что, несмотря на возражения Лебедева, Бредихин продолжал настаивать на допущении в хвостах комет электрического отталкивания. Чем это можно объяснить? Консерватизмом старого ученого? Безусловно нет. Во-первых, обнаруженная им обратная пропорциональность отталкивательных ускорений атомным или молекулярным весам требовала допущения электростатического отталкивания. Кроме того, Бредихин подозревал наличие корпускулярного воздействия Солнца на кометы.

Как известно, это взаимодействие окончательно было установлено только в 1950 г. О. В. Добровольским (II, 119) и затем подтверждено рядом советских и зарубежных исследователей. Проявляется оно в корреляции блеска голов комет с солнечной активностью. Хотя эта корреляция была доказана только теперь, первая работа, где она отмечалась, была опубликована в 1888 г. А. Берберихом, исследовавшим многолетние наблюдения кометы Энке (II, 120). Бредихин хорошо знал эту работу (I, 198, 1954 г. стр., 65) и разделял мнение ее автора, тем более что сам он еще в 1878 г. одним из первых обратил внимание на колебание яркости в кометах (I, 92). С этим фактом был знаком и О. В. Добровольский, сославшийся на Бредихина в своей основной публикации по данному вопросу (II, 119, стр. 61).

Под влиянием возражений Бредихина Лебедев, вначале категорически отрицавший возможность электрического отталкивания в хвостах комет, впоследствии изменил свое мнение. В 1902 г. он писал: «... когда мы количественно учтем несомненно существующее действие сил светового давления, мы сможем заключить об отсутствии или наличии также другой далекодействующей силы. . .» (II, 111, стр. 18).

Таким образом, Лебедев пришел по существу к мнению Бредихина о возможности одновременного действия нескольких сил в хвостах комет. Такая точка зрения вполне соответствует современным представлениям. Как теперь выяснено, воздействие Солнца на хвосты комет не ограничивается фотонным излучением (световым давлением).

Большую роль играет корпускулярное излучение. Замечено и электростатическое отталкивание, которое, как показали исследования Добровольского (II, 121), невелико по мощности и не играет значительной роли в формировании хвостов комет. Обнаружены и другие, менее существенные воздействия.

П. Н. Лебедев как астрофизик. Плодотворная для П. Н. Лебедева связь с астрономией при подготовке и проведении экспериментов по давлению света далеко не случайна. На протяжении всей своей научной деятельности он проявлял глубокий интерес к различным астрономическим вопросам.

Большая часть его печатных работ связана прямо или косвенно с решением астрономических проблем. Первое место принадлежит, конечно, работам по световому давлению. Кроме того, ряд статей посвящен изучению дисперсии в мировом пространстве (II, 122, стр. 159), обнаружению движения Земли в эфире (II, 122, стр. 153), измерению температуры солнечных пятен (II, 123), прозрачности атмосферы (II, 124) и, наконец, последняя работа «Магнитометрическое исследование вращающихся тел» проводилась в связи с открытием магнитного поля солнечных пятен (II, 122, стр. 207). Просмотр архива Лебедева показал, что по крайней мере с 1887 г. он был в курсе всех астрофизических работ своего времени. Задолго до проведения знаменитых опытов по давлению света у него вполне отчетливо проявился глубокий интерес к этой молодой тогда науке. Впоследствии этот интерес стал более определенным. Работы Ф. А. Бредихина и созданной им отечественной астрофизической школы сыграли видную роль в его формировании. Несомненно, что этому способствовали и личные научные связи Лебедева с Бредихиным. Возможно, что с некоторыми из астрономических проблем, разрабатывавшихся Бредихиным и его учениками на Московской обсерватории, Лебедева познакомил его друг Н. Е. Жуковский, который был близок с Бредихиным.

Многие из исследований Лебедева перекликаются с соответствующими работами Московской обсерватории, а зачастую и с работами самого Бредихина. Так, например, он занимался вопросами о сопротивлении межпланетной среды движению комет и планет, о движении метеорных потоков и распаде кометных голов, об определении ско-

рости и направления движения солнечной системы по данным кометной статистики, о магнитном поле Земли и солнечных пятен, о движении Земли в эфире; измерял яркость лунного диска. П. Н. Лебедев разработал несколько схем спектроскопов для наблюдения протуберанцев (фотографически и визуально), несколько схем коронографов, способ исследования параболических зеркал для телескопов. Он предложил любопытную конструкцию зеркала для телескопа, разработал способ фотографирования туманностей и комет (II, 104).

Известно, что Лебедев, доказавший реальность светового давления, неоднократно подчеркивал его значительную роль в различных космических процессах (II, 122, стр. 399). Бредихин, много занимавшийся изучением комет, также предвидел универсальный характер солнечного отталкивания, физическая природа которого не была еще выяснена (II, 125).

После смерти Бредихина Лебедев не порвал связи с астрономией. В числе нескольких физиков он был включен в состав Международной комиссии по исследованию Солнца (1904 г.), где успешно сотрудничал с А. А. Белопольским, А. П. Ганским и другими астрофизиками. Все эти факты позволяют причислить П. Н. Лебедева к пионерам отечественной астрофизики, основателем которой был Ф. А. Бредихин.

Научные связи Ф. А. Бредихина и Н. Е. Жуковского

В разработке механической теории кометных форм принял большое участие «отец русской авиации» Н. Е. Жуковский (1847—1921 гг.). Научное сотрудничество Бредихина и Жуковского, удачно начатое в области теории комет, весьма успешно развивалось и в дальнейшем. Оба ученых были активными членами Московского математического общества,⁴⁹ Московского общества испытателей природы,⁵⁰ а с 1887 г. совместно работали в Московском университете. Тот факт, что Жуковский принимал большое участие в разработке кометной теории Ф. А. Бредихина, хорошо известен, однако специально вопрос об

⁴⁹ Ф. А. Бредихин — член-учредитель Московского математического общества с 1867 г., Н. Е. Жуковский — член с 1876—1877 гг.

⁵⁰ Ф. А. Бредихин — член Московского общества испытателей природы с 1862 г.; Н. Е. Жуковский — член с 1879 г.

их научных связях в литературе до сих пор не ставился. Из всех статей Жуковского, написанных под влиянием Бредихина, только одна⁵¹ была разобрана Р. О. Егерманом в 1903 г. (II, 1, стр. 108—112). Поэтому представляется интереснее остановиться на совместных работах этих ученых.

Впервые Жуковский заинтересовался исследованиями Бредихина, прослушав его доклад на заседании Московского математического общества 28 (16) декабря 1878 г. (I, 89, стр. 29). В докладе отмечалась неточность бесселевских формул и сообщалось о формулах В. Нортон, вывод которых оставался неизвестным. Как отмечалось выше, к заключению о неточности бесселевских формул Бредихин пришел к концу 1877 г. в статье о комете Коджа (I, 70, 1877 г.). По английскому журналу «Observatory», с ее содержанием ознакомился В. Нортон, который уже давно занимался исследованием комет и также обнаружил изменение отталкивательной силы вдоль хвоста. Решив, что это обусловлено неточностью бесселевских формул,⁵² он, отбросив их, вывел свои, как он утверждал, точные формулы гиперболического движения и применил их к исследованию кометы Донати (1858 VI) в 1861 г.

Прочитав статью Ф. А. Бредихина, В. Нортон поспешил сообщить ему свои формулы. К письму, датированному 7 ноября 1877 г. (II, 80), он приложил отписки своих статей о комете Донати (II, 77) и комете Коджа (II, 126). В первой работе были приведены формулы гиперболического движения без вывода, со ссылкой на предыдущую статью из недоступного Ф. А. Бредихину американского журнала. Однако история того, когда и как были выведены эти формулы, освещалась весьма подробно. По-видимому, Нортон заботился о своем приоритете.

Попытка восстановить вывод нортоновских формул и положила начало научному сотрудничеству Бредихина с Жуковским. Вот как описывал это Бредихин: «Г. Жуковский, профессор механики Московского технического училища, присутствовал на заседании нашего общества и живо заинтересовался вопросом. Через несколько дней он принес мне вывод точных формул движения по ветви гиперболы, выпуклой к Солнцу, т. е. движения,

⁵¹ «Вывод точных формул движения, произведенного отталкивательной силой Солнца».

⁵² Он имел в виду неисправленные формулы Ф. Бесселя.

произведенного отталкивательной силой этой звезды. Во время этой встречи я, в свою очередь, показал г. Жуковскому, что точные формулы, хотя и в другой форме, получаются при помощи метода, совершенно сходного с тем, который использовал Гаусс в §§ 21 и 22 своей „*Theoria motus. . .*“ . . . для вывода формул гиперболического движения в случае отталкивательного действия Солнца» (I, 89, стр. § 30). Разработке механической теории кометных форм Н. Е. Жуковский посвятил три статьи. Они касаются наиболее важных пунктов теории. Это — «Вывод точных формул движения, произведенного отталкивательной силой Солнца» (1879 г., II, 127, стр. 57—59), «О построении синдинамических и синхронических кривых» (1884 г., II, 127, стр. 133—153 и «Решение одной задачи из теории комет» (1884 г., II, 127, стр. 104—109).

В первой заметке дан вывод формулы Нортонна, описывающей движение частицы хвоста по гиперболической орбите (II, 77, стр. 59):

$$\frac{\operatorname{tg} v}{D} = \operatorname{arctg} \frac{t}{L}, \quad (7)$$

где

$$D = E - 1, \\ L = \frac{A^{3/2} (1 + E)^{3/2}}{k \sqrt{\mu}},$$

A — большая полуось орбиты частицы, v — истинная гиперболическая аномалия частицы, E — эксцентриситет орбиты частицы, t — интервал времени между прохождением частицы через перигелий и моментом наблюдения, μ — эффективное ускорение частицы на единичном расстоянии от Солнца, выраженное в единицах ньютоновского притяжения.

Формула Нортонна была получена Жуковским на основании выведенных им точных формул гиперболического движения (II, 127, стр. 58)

$$\left. \begin{aligned} t &= \frac{A^{3/2}}{k \sqrt{\mu}} \left[\theta + E \frac{e^\theta - e^{-\theta}}{2} \right], \quad (8) \\ \operatorname{tg} v &= \frac{\sqrt{E^2 - 1} \cdot \frac{e^\theta - e^{-\theta}}{2}}{E + \frac{e^\theta + e^{-\theta}}{2}}. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

В этих формулах все обозначения обычные, θ — параметр движения.⁵³ Оказалось, что формула (7) может быть получена из формул (9) при малых v . В этом случае можно отбросить члены четвертого порядка малости относительно θ . Таким образом, было установлено, что формулы Нортонна не являются вполне точными, как утверждал их автор. Восстановление вывода, который не был сообщен Бредихину и оставался неизвестным в России, дало возможность оценить точность этих формул. Они не оставили заметного следа в теории комет. Сохранилось только обозначение $m = \frac{H^2 r}{\mu}$. Точные же формулы гиперболического движения, применявшиеся впоследствии, вывели независимо Бредихин и Жуковский. Письмо В. Нортонна, возможно, несколько ускорило завершение этой работы, к которой Бредихин подошел вплотную к концу 1877 г. Вывод первых действительно точных формул гиперболического движения и явился главным итогом первого совместного исследования.

Интересно сопоставить уравнения Бредихина и Жуковского. Так, например, для выпуклой ветви гиперболы ($\mu < 0$) уравнение Бредихина (стр. 62, II) имеет вид

$$\lambda E \operatorname{tg} F + \log \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{F}{2} \right) = \frac{\lambda K t}{b^{3/2}}.$$

Используя обозначение $u = \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{F}{2} \right)$, перепишем ее так

$$\lambda E \frac{u^2 - 1}{2u} + \log u = \frac{\lambda K t}{b^{3/2}}$$

или

$$E \frac{u^2 - 1}{2u} + \log_e u = \frac{K t}{b^{3/2}},$$

где $\lambda = \lg e$.

Подставив значение $u = e^\theta$, получим

$$E \frac{e^{2\theta} - 1}{2e^\theta} + \theta = \frac{K t}{b^{3/2}}. \quad (10)$$

Полное тождество уравнений (8) и (10) очевидно.

Вследствие большой важности заметки Н. Е. Жуковского для дальнейшего развития теории комет, Бреди-

⁵³ θ имеет смысл эксцентрисической аномалии.

хин поместил ее в пятом томе *Анналов Московской обсерватории*, включив в свою статью «Основные замечания о кометах» (I, 89, стр. 31—37). По его поручению заметка Жуковского была обстоятельно разобрана Егерманом (II, 1, стр. 108—112). Он подчеркнул большое значение этой работы для выяснения степени точности формул Нортонна и для вывода точных формул гиперболического движения.

Две другие статьи Жуковского по теории комет посвящены изучению введенных Бредихиным синдинам и синхрон. В статье «О построении синдинамических и синхронических кривых» Жуковский вывел приближенные уравнения этих кривых, исследовал их основные свойства и дал метод их графического построения.

Были получены следующие точные формулы для определения координат точки кометного хвоста (II, 127, стр. 145)

$$\left. \begin{aligned} \frac{\eta}{r} &= (1 - \mu) \left(\frac{4}{3} \theta^3 + 2 \sin \frac{v}{2} \theta^4 \right), \\ \frac{\xi}{r} &= (1 - \mu) \left[\theta^2 - \left(1 + \frac{\mu}{3} \right) \theta^4 \right], \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

где ξ , η — кометоцентрические координаты точки хвоста; r — гелиоцентрический радиус-вектор этой точки; v — истинная аномалия; μ — отталкивательное ускорение (сила), действующее на частицу хвоста на единичном расстоянии; θ — параметр движения.

Формулы (11) справедливы для случая, когда комета приближается к Солнцу. В случае ее удаления от Солнца в уравнениях (11) следует изменить знак истинной аномалии на обратный.

Из формул (11) можно получить уравнения синдинамы и синхроны. При постоянном $1 - \mu$ и переменном θ получим уравнение синдинамы. Напротив, при постоянном θ , изменяя $1 - \mu$, получим уравнение синхроны.

В первом приближении в уравнениях (11) можно пренебречь членами четвертого порядка малости относительно θ . Тогда уравнение синдинамы будет иметь вид (II, 127, стр. 147)

$$\frac{\eta}{r} = \frac{4}{3} \frac{1}{\sqrt{1 - \mu}} \left(\frac{\xi}{r} \right)^{3/2}. \quad (12)$$

Это — уравнение параболы порядка 3/2. Оно однородно относительно ξ , η и r и не зависит от истинной аномалии v .

В статье Жуковского исследовано также свойство касательной к синдинаме (II, 127, стр. 148—149). В первом приближении (ограничиваясь членами второго порядка малости относительно θ) касательная к синдинаме параллельна радиусу-вектору той точки, где частица хвоста отделилась от ядра. Жуковский отметил, что эта теория — приближенная. Она становится точной только при $1-\mu=1$.

Наиболее подробно были исследованы синхроны, изучением которых много занимался в то время Бредихин. Жуковский получил уравнение синхроны в первом приближении (II, 127, стр. 148)

$$\frac{\eta}{\xi} = \frac{4}{3} \theta. \quad (13)$$

Это — уравнение прямой, проходящей через ядро.⁵⁴ Очевидно, что приближенное уравнение синхроны, данное Ф. А. Бредихиным (14), является уже более точным. Оно соответствует прямой, не проходящей через начало координат, а отсекающей на оси η отрезок, равный

$$\eta = g \sin G \cdot \tau - g \cos G \frac{\sqrt{p}}{3r^2} \tau^2.$$

Уравнение (13) легко получить из (14). При условии малых τ (только в этом случае и применимы приближенные формулы) и малом g (g всегда мало) в уравнении (14) первыми двумя членами можно пренебречь по сравнению с третьим. Тогда мы получим уравнение прямой, проходящей через начало координат, т. е. через ядро кометы. Таким образом, уравнение (13) дает самое грубое приближение; (14) уже более точно. Уравнение Егермана⁵⁵

⁵⁴ Бредихин получил такое уравнение синхроны (см. стр. 65):

$$\eta = g \sin G \cdot \tau - g \cos G \frac{\sqrt{p}}{3r^2} \tau^2 + \frac{2}{3} \frac{\sqrt{p}}{r^2} \tau \xi. \quad (14)$$

⁵⁵ См. стр. 66:

$$\eta = g \sin G \cdot \tau - g \cos G \frac{\sqrt{p}}{r^2} \frac{\tau^2}{3} + \frac{2p\tau}{r(3r\sqrt{p} + 4e \sin v\tau)} \cdot \xi. \quad (15)$$

(15) тоже уравнение прямой, не проходящей через ядро, но оно несколько точнее (14), т. к. в (15) входит член, зависящий от v .

Жуковский исследовал уравнение синхроны также и во втором приближении. Сохраняя в (11) члены четвертого порядка малости относительно θ , он получил уравнение (II, 127, стр. 148)

$$\eta^2 = -r\theta \left[\eta(3 - 4\theta^2) - 3\xi\theta \left(\frac{4}{3} + 2 \sin \frac{v}{2} \theta \right) \right] \left(\frac{4}{3} + 2 \sin \frac{v}{2} \theta \right). \quad (16)$$

Это — уравнение кривой второго порядка, которая в начале координат касается прямой

$$\eta(3 - 4\theta^2) - 3\xi\theta \left(\frac{4}{3} + 2 \sin \frac{v}{2} \theta \right) = 0.$$

Диаметр этой параболы параллелен радиусу-вектору ядра. Парабола обращена выпуклостью к Солнцу.

Таким образом, синхрона во втором приближении — кривая второго порядка (парабола), проходящая через ядро. Жуковский отметил еще одно свойство этой кривой. Асимптота синхроны удалена от точки, где частица покидает ядро кометы, на расстояние $2h$. h — параметр синхроны. Он определяется как отношение площади параболического сектора FMN (где MN — дуга, описанная ядром) к $\frac{1}{2} r_1 \sin \beta$; r_1 — радиус-вектор точки M , в которой частица хвоста покидает ядро; β — угол, образованный радиусом-вектором с касательной к параболе в точке M (рис. 7, 8; первый из них представляет траекторию частицы хвоста в случае преобладающего отталкивания, второй — ослабленного притяжения).

Выведенные Жуковским свойства синдинам и синхрон позволили ему предложить простой метод их построения.

Еще раньше Бредихин в своих исследованиях неоднократно отмечал, что синхрона в первом приближении прямая, проходящая через ядро. Следующее приближение даст дугу окружности большого радиуса. Еще более высокое приближение дает кривую, лежащую на поверхности второго порядка (на поверхности синхронного коноида). Он указал также, что синдинама в первом приближении — парабола, в следующем — кривая, лежащая

кометного хвоста (I, 133). Чтобы найти точное значение $1-\mu$, необходимо знать точное положение хвоста. Имевшиеся же формулы давали только приближенное положение. Возникла необходимость вводить поправку $\delta(1-\mu)$ за неточность положения. Важность вывода формул поправки $\delta(1-\mu)$ Бредихин подчеркнул в статье «О синдинамах и синхронах в кометах и несколько замечаний, касающихся моих исследований о кометных формах» (I, 143). Он сам занялся решением этой важной задачи

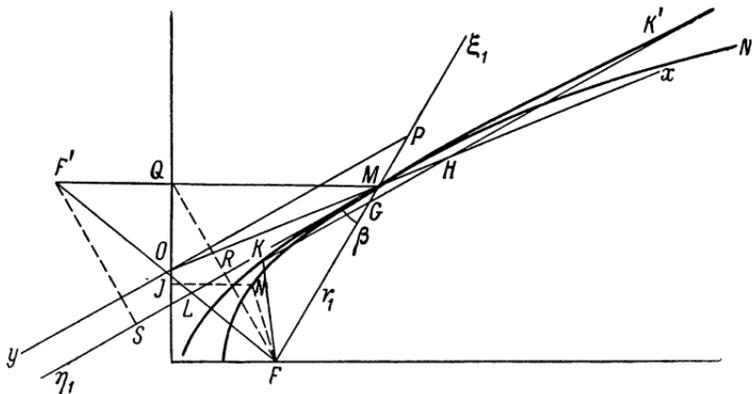


Рис. 8.

и привлек к работе Соколова и Жуковского. К сожалению, результаты его собственных исследований не были опубликованы. Статьи же Соколова и Жуковского вышли в 1884 г. почти одновременно.

Остановимся вкратце на работе Жуковского. Он сформулировал задачу Бредихина следующим образом: «Вычислено для данного времени M геоцентрическое положение частицы хвоста, вышедшей из ядра во время M_1 под действием отталкивательной силы $1-\mu$; определить изменение этого положения, если сила изменится на $d(1-\mu)$ » (II, 127, стр. 104).

Так как при постоянном времени M_1 и изменяющемся $1-\mu$ частица хвоста движется по синхроне, Жуковский искал отношение $\frac{d(1-\mu)}{ds}$, где ds — элемент синхроны. Для полного решения задачи необходимо определить направление элемента ds дуги синхроны в пространстве.

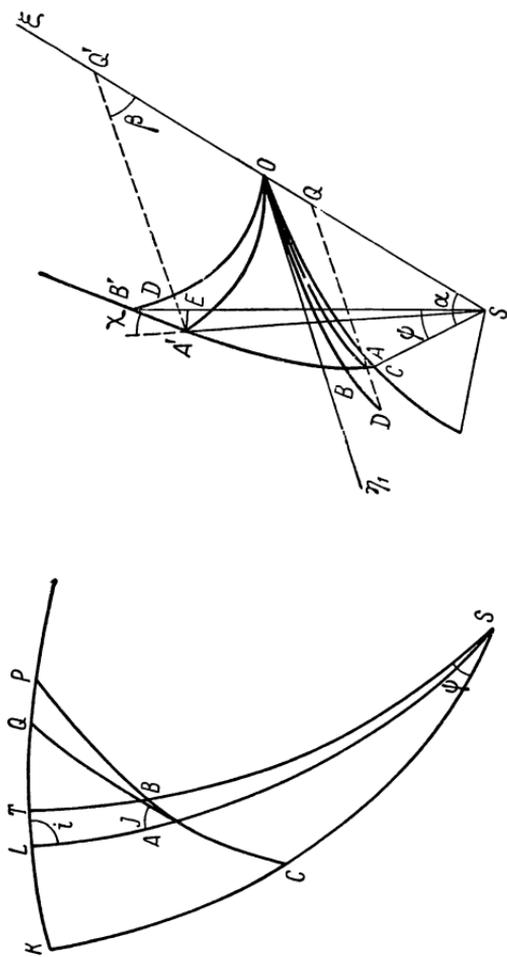


Рис. 9.

S — положение Солнца, A — геоцентрическое положение частицы хвоста кометы, C — ядро кометы.

Используя выведенное на основании своей предыдущей статьи уравнение (II, 127, стр. 104) синхроны⁵⁶

$$\eta_1 = r_1 \frac{\sqrt{v^2 - 1}}{\sqrt{1 - \mu}} + \frac{2\xi_1 \cos \beta}{\mu} \quad (17)$$

и теорему площадей, Жуковский получил для определения $\frac{d(1-\mu)}{ds}$ следующие соотношения (II, 127, стр. 106, 108):

$$\frac{d(1-\mu)}{d\psi} = - \frac{(1-\mu)\mu R^2}{\sin \beta \left\{ \left(1 + \frac{\mu}{2}\right) r_1 [H(M - M_1) - \eta_1] + \right.} \dots \rangle \quad (18)$$

$$\left. \left. \left. \dots \right. \right. \frac{+ \left(1 - \frac{\mu}{2}\right) \xi_1 \eta_1 - \xi^2 \cos \beta,}{ds = \frac{d\psi \sin i \sin (AS)}{\sin j \sin (SL)},$$

где β , H , η_1 , ξ_1 , μ , M , M_1 , r_1 имеют обычные в кометной теории значения, а дуги AS и SL определяются из рис. 9: $\psi = \sphericalcap KL$, $i = \sphericalangle LAB$, $j = \sphericalangle ALP$, R — радиус-вектор точки A .

Направление элемента дуги синхроны определяется уравнениями (II, 127, стр. 107, 108)

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tg} \chi &= - \frac{m \sin (\alpha + \beta) - \frac{\sin \alpha}{2}}{m \cos (\alpha + \beta) + n \frac{d(1-\mu)}{R d\psi} - \frac{\cos \alpha}{2}} = \frac{R d\psi}{dR}, \\ \cos (AP) &= \cos (AL) \cos \chi + \sin (AL) \sin \chi \cos i, \\ \sin j &= \frac{\sin i \sin \chi}{\sin (AP)}, \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

⁵⁶ r_1 — радиус-вектор ядра в момент M_1 , β — угол касательной и r_1 ,

$$v = 1 - \frac{2(1-\mu)}{\mu} \frac{\xi_1}{r_1}.$$

Уравнение получено из двух уравнений (II, 127, стр. 137):

$$\frac{\xi_1}{r_1} = - \frac{\mu}{2(1-\mu)} u^2,$$

$$\frac{\eta_1}{r_1} = \frac{u \sqrt{2+u^2}}{\sqrt{1-\mu}} - \frac{\sin \frac{v_1}{2} u^2}{1-\mu}.$$

χ — угол касательной к синхроне с радиусом-вектором частицы R .

$$m = \frac{1}{\mu} \left(-v \frac{\sqrt{1-\mu}}{\sqrt{v^2-1}} + \cos \beta \right),$$

$$n \sin \beta = \frac{r_1 \sqrt{v^2-1}}{4(1-\mu)^{3/2}} + \frac{v\xi_1}{\mu^2 \sqrt{v^2-1}} - \frac{\xi_1 \cos \beta}{\mu^2},$$

$$\angle \alpha = \angle ASO, \quad (d\alpha = -d\psi).$$

Остальные обозначения указаны выше. Жуковский вывел также приближенные формулы для решения этой задачи.

Ограничиваясь членами четвертого порядка малости относительно $M - M_1$ из точных формул (18)—(19), можно получить выражение (II, 127, стр. 108)

$$\frac{d(1-\mu)}{d\psi} = \frac{1-\mu}{\psi}.$$

Направление касательной к синхроне определяется следующим уравнением (II, 127, стр. 109):

$$QP = \frac{7}{30} \psi.$$

Здесь сохранены члены до пятого порядка относительно $M - M_1$.

Поправочные формулы Жуковского имели неудобную для непосредственных вычислений форму. Поэтому Бредихин пользовался в своих исследованиях формулой Соколова. Однако статья Жуковского, дающая общее решение задачи, имела большое теоретическое значение.

Сохранился документ, проливающий свет на историю создания этой работы (II, 128) — коротенькая записка Жуковского к Бредихину с черновиком его ответного письма. Приведем его полностью. (см. стр. 114—117)

Письмо Н. Е. Жуковского

«Многоуважаемый Федор Александрович! При нашей последней встрече в университете Вы заинтересовали меня своей задачей, которую немец (речь идет о Дж. Геппергеру, — Н. Н.) нашел очень трудной. Пожалуйста,

напишите мне, так-ли я понял ее. Мне показалось, что вопрос состоит в следующем: ядро кометы имеет широту β и долготу α (у Жуковского не стандартное обозначение. Обычно долгота обозначается λ , — *Н. Н.*), а частица — широту $\beta + \Delta\beta$ и долготу $\alpha + \Delta\alpha$; определить $\Delta\alpha$ и $\Delta\beta$, как функций времени, протекшего от выхода частицы из ядра. Если я так понял вашу задачу, то думаю, что для нее можно дать довольно простое решение.

29 II 1884. Ваш покорный слуга Н. Жуковский» (II, 107, л.1).

Черновик ответа Ф. А. Бредихина

«Вопрос состоит вот в чем: по данной силе $1 - \mu = r$ для времени M найдены координаты α и δ (они удобнее λ и β , так как все корни отличны и положительны) для частицы, оставившей ядро в момент M_1 . Координаты соответственной⁵⁷ наблюдаемой точки хвоста, близкой к первой, суть α' и δ' , так что

$$\alpha - \alpha' = d\alpha \text{ и } \delta - \delta' = d\delta.$$

Требуется найти $\frac{d\mu}{d\alpha}$ и $\frac{d\mu}{d\delta}$ ⁵⁸ (иногда, смотря по величине μ , удобнее $\frac{d\alpha}{d\mu}$ и $\frac{d\delta}{d\mu}$). Гешпергер пишет (II, 129), что он давал приращения по нормали к синдинаме, ища $\frac{dh}{d\mu}$ (где h — расстояние вычисленной точки от кривой наблюдаемой). Я скомпоновал кое-какие формулы (к сожалению, эти формулы Ф. А. Бредихина никогда не появлялись в печати, и черновики с их выводом также не сохранились, — *Н. Н.*), но простотой оных отнюдь не похвалюсь; сильно плохо то, что и впоследствии (получивши раз одну точную систему) требуем только 4 зн[ака] логар[ифма]. Но используя упрощения, даваемые различными частными обстоятельствами, явление изменяется от той или другой кометы.

⁵⁷ «Соответственной я называю такую точку, которая лежит на одной и той же синхроне. В моих попытках я нашел, что варьирование по синхроне значительно облегчает дело».

⁵⁸ «Или $\frac{d\mu}{ds}$, это s — дуга синхроны».

1784 г. фев 27

На учу Копыцкой улицы и Демидовского пер.

Д. Андреевский

Многоуважаемый Федор Александрович!

При нашей последней встрече в учебном
зании в Санкт-Петербурге были
ваше задание, которое связано со
мной очень тесно. Помогите
каким-то образом, так ли в по-
лучить? Мне показалось, что
вспомнить следует в следующем:
ядро кубита является центром
и длиной d , а частица имеет массу
и энергию $mv^2 = 2mv^2$; определим
 $2d = d^2$, как диаметр. Вспомнил, что
это всегда частица из ядра. Там

Записка Н. Е. Жуковского с ответом Ф. А. Бредихина.

$$d-d' = dx \quad \dots \quad S-S' = dS_0$$

2

Известно, что $\frac{d\mu}{dx} = \frac{d\mu}{dS} \left(\text{иногда,} \right.$
также можно писать $\frac{d\mu}{dx} = \frac{d\mu}{dS}$)

Сеттергейм пишет, что он знает
крайне, но не пишет к симметричному
виду $\frac{d\mu}{dx}$ (то есть имеет разделение
симметричного множителя от привода
категории).

А симметрично. Все-таки
формулы, но изредка в них
некоторые и полагались; симметрично
также то, что симметрично
(симметрично раз одну множителем
множителем) множителем множителем
4-го сорта. Но изредка
указывают указывают указывают
указывают указывают указывают
указывают указывают указывают
указывают указывают указывают

и указывают $\frac{d\mu}{dS}$, указывают указывают указывают

(Продолжение)

203

Выводим следствием
эти выводы др. и при
имею

И I	т.	1-й = 10	и	1/2
II	..	1		2
III		0.2		0.6

Тогда мы нарк, чтоб по
мтб ссыроби, но к ссыроби
содержат за др.

(Продолжение)

Основными синдинамиами для вывода $d\mu$ я принимаю:

тип	I	$1 - \mu = 10$	и 14;
»	II	$1 - \mu = 1$	и 2;
»	III	$1 - \mu = 0.2$	и 0.6.

Беру по паре, чтобы получить синхроны (как известно, синхроны располагаются между парой синдинам, — *H. H.*), по которым ходить за $d\mu$. 2 (14) III 1884» (II, 107, лл. 1—2 об.).

Сравнив статью «Решение одной задачи из теории комет» с только что приведенным документом, легко убедиться в том, что Жуковский рассматривал в своей работе именно ту задачу, которая сформулирована в записке Бредихина от 2 марта 1884 г. Причем, он использовал все данные там указания о форме и методах решения. Так, варьирование велось по синхроне, а не по нормали к синдинаме, как делал раньше Дж. Геппергер. Решение задачи Жуковский искал в виде $\frac{d(1-\mu)}{ds}$, где ds — элемент синхроны, тогда как Бредихин предлагал искать решение в виде $\frac{d\mu}{ds}$. Очевидно также, что задача, решенная Жуковским до 29 февраля 1884 г., отлична от той, которую позднее сформулировал Бредихин. Ведь искомая поправочная формула должна была уточнить величину силы в зависимости от изменения координат точки хвоста. А в задаче Жуковского сила вообще не фигурирует.

Все эти факты заставляют думать, что статья «Решение одной задачи из теории комет» в том виде, как она была напечатана в Бюллетене Московского общества испытателей природы, написана под несомненным влиянием записки Бредихина от 2 (14) марта 1884 г., а, следовательно, не раньше 2 марта. Поэтому ясно, что 4 и 27 января 1884 г. Жуковский не мог о ней докладывать, как ошибочно указано в Полном собрании его сочинений, том IX, стр. 109.

Правда, он мог сообщить о задаче, упомянутой в его записке (стр. 121). Однако более вероятно, что в этих докладах Жуковский излагал результаты своей предыдущей работы «О построении синдинамических и синхрони-

ческих кривых». Об этом говорит уже само сходство их заглавий: «О построении некоторых кривых в теории кометных хвостов» (4 января) и «О кометных кривых» (27 января).

По-видимому, указания о докладах 4 и 27 января ошибочно отнесены в IX томе Полного собрания сочинений Жуковского к статье «Решение одной задачи из теории комет». Впервые она была доложена 22 марта 1884 г. на заседании Московского общества испытателей природы (II, 130). Сохранилась записка Жуковского к вице-президенту Общества К. И. Ренару, датированная 5 марта 1884 г., в которой он просит включить свой доклад «Изменение отталкивательной силы Солнца при переходе по синхроне» в программу мартовского заседания. Очевидно, что здесь речь идет именно о работе «Решение одной задачи из теории комет», так как название и дата ее написания хорошо совпадают.

Вот полный текст этой записки (II, 131):

«5 марта 1884 г.

Милостивый государь Карл Иванович!

В мартовском заседании нашего общества я бы желал сделать сообщение на тему: „Изменение отталкивательной силы Солнца при переходе по синхроне“.

С искренним уважением остаюсь Ваш покорный слуга Н. Жуковский».

Вместе с тем видно, как быстро работал Жуковский над вопросами, предлагавшимися ему Бредихиным. Получив записку Бредихина не раньше 2 марта, он уже к 5 марта нашел нужное решение. Вероятно, и другие задачи Жуковский разрабатывал с не меньшим энтузиазмом. Ведь и точные формулы гиперболического движения кометных частиц были выведены им за несколько дней.

Научные связи Ф. А. Бредихина с А. П. Соколовым

Большой вклад в механическую теорию кометных форм внес также и А. П. Соколов (1853—1910 гг.). Вместе с другими межевыми инженерами в 1877 г. он был направлен Константиновским Межевым институтом в Москов-

скую обсерваторию для совместного проведения геодезических работ по исследованию местной Московской аномалии силы тяжести (II, 132).

Бредихин привлек группу инженеров и к активному участию во всех других работах обсерватории (обработка наблюдений на меридианном круге, обработка наблюдений Марса, исследование инструментов, наблюдение метеорных потоков, наблюдения звезд, имеющих собственное движение и т. п.). Он сразу же обратил внимание на Соколова, тщательно выполнившего свое первое задание — обработку наблюдений на меридианном круге (I, 82, стр. VI).

Соколов полностью оправдал надежды Бредихина, став впоследствии одним из лучших его сотрудников. Совместно они выполнили целый ряд исследований по разным вопросам астрономии и геодезии. Но особенно заинтересовала Соколова механическая теория кометных форм. Уже в 1879 г., когда Бредихин и Жуковский вывели точные формулы гиперболического движения, он показал идентичность этих уравнений при помощи подстановки $u=e^{\theta}$ (I, 96).

Теории комет посвящены четыре статьи Соколова, в которых нашли дальнейшее развитие вопросы, изучавшиеся Бредихиным.⁵⁹ Кроме того, по поручению последнего им выполнен ряд вычислений.

Первая статья Соколова по кометной теории (II, 133) была написана в феврале 1884 г. В ней дан подробный анализ хвоста I типа кометы 1858 VI⁶⁰ на основании формул Бредихина, по его обычному плану. Соколов показал хорошее знакомство с теорией Бредихина и умение применять ее на практике.

В том же году появилась вторая статья Соколова (II, 134) «Приближенные формулы теории кометных хвостов». С. В. Орлов (II, 76) дал высокую оценку этой работе и отметил, что она заслуживает серьезного изучения. Данный Соколовым вывод рядов Бесселя Орлов считал наи-

⁵⁹ «О хвосте I типа кометы 1858 V» (1884 г.); «Приближенные формулы теории кометных хвостов» (1884 г.); «О вычислении координат хвоста» (1884 г.); «Точные формулы теории кометных хвостов» (1890 г.).

⁶⁰ Современное обозначение кометы Донати — 1858 VI. Во времена Ф. А. Бредихина она обозначалась 1858 V.

более простым из всех существующих и воспроизвел его целиком в своей книге (1935 г.). Соколов задался целью вывести формулы, описывающие движение частицы хвоста по гиперболической орбите, более точные, чем бесселевские, и более удобные для практического применения, чем точные формулы Бредихина. Приближенные формулы были получены из формул Бесселя, с учетом членов четвертого порядка малости относительно τ . Попутно Соколов дал изящный вывод рядов Бесселя (II, 134, стр. 122). Принимая радиус сферы действия ядра $\tau=0$, т. е. рассматривая частицы, непосредственно выходящие из ядра, он получил обобщенные формулы движения с начальной скоростью (II, 134, стр. 126). Наиболее часто на практике встречаются случаи движения без начальной скорости ($g=0$). Для этого случая Соколов дал приближенные уравнения (II, 134, стр. 130)

$$\left. \begin{aligned} \xi &= (1-\mu) \left\{ \frac{\tau^2}{2r^2} + \frac{2r'\tau^3}{3r^2} + \left(\frac{7}{4} + \frac{\mu}{12} - \frac{9c^2}{8r} \right) \frac{\tau^4}{5} + \right. \\ &\quad \left. + \left(\frac{7}{30} + \frac{7\mu}{30} - \frac{2c^2}{r} \right) \frac{r'\tau^5}{r^6} \right\}, \\ \eta &= (r + \xi) \alpha = c(1-\mu) \left\{ \frac{\tau^3}{3r^4} + \frac{3r'\tau^4}{4r^5} + \left(\frac{8}{3} + \frac{\mu}{60} - \frac{3c^2}{2r} \right) \frac{\tau^5}{r^7} + \right. \\ &\quad \left. + \left(\frac{35}{8} + \frac{7\mu}{120} - \frac{35c^2}{12r} \right) \frac{r'\tau^6}{r^8} \right\}, \\ \alpha &= c(1-\mu) \left\{ \frac{\tau^3}{3r^5} + \frac{3r'\tau^4}{4r^6} + \left(\frac{5}{2} + \frac{11\mu}{60} - \frac{3c^2}{2r} \right) \frac{\tau^5}{r^8} + \right. \\ &\quad \left. + \left(\frac{34}{9} + \frac{59\mu}{90} - \frac{35c^2}{12r} \right) \frac{r'\tau^6}{r^9} \right\}. \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

Исключив из (20) для $\xi, \eta = (1-\mu)$, получим уравнение синхроны (II, 134, стр. 131)

$$\frac{\eta}{\xi} = \frac{2c\tau}{3r^2} \left\{ 1 + \frac{11r'\tau}{12r} + \left(\frac{349}{180} - \frac{37c^2}{r} \right) \frac{\tau^2}{r^3} + \right. \\ \left. + \left(\frac{1199}{540} - \frac{569c^2}{432r} \right) \frac{r'\tau^3}{r^4} + \left(\frac{7}{30} + \frac{4r'\tau}{15r} \right) \frac{\xi}{r} \right\}. \quad (21)$$

Это — уравнение параболы, проходящей через начало координат, т. е. через ядро кометы. Следовательно, уравнение (21) соответствует по точности уравнению Жуковского (16) синхроны во втором приближении (стр. 116).

Исключив из (20) для $\xi, \eta - \tau$, Соколов получил уравнение синдинами (II, 134, стр. 132)

$$\eta = c(1 - \mu) \left\{ \frac{2^{3/2}}{3r} \left(\frac{\xi}{1 - \mu} \right)^{3/2} + \frac{r'}{3r} \left(\frac{\xi}{1 - \mu} \right)^2 + \right. \\ \left. + \left(10 - 24\mu + \frac{25c^2}{r} \right) \frac{\sqrt{2}}{90r^2} \left(\frac{\xi}{1 - \mu} \right)^{5/2} + \right. \\ \left. + \left(5 + 117\mu + \frac{245c^2}{r} \right) \frac{r'}{405r^2} \left(\frac{\xi}{1 - \mu} \right)^3 \right\}. \quad (22)$$

Из сравнения (22) с уравнением синдинами (12), данного Жуковским (стр. 104), видно, что первое уравнение более точно, чем второе. В четвертом параграфе работы Соколова даны приближенные формулы для вычисления силы $1 - \mu$ по координатам точки оси хвоста (ξ, η), полученным из наблюдений:

$$1 - \mu = B \left(\sqrt{m} \operatorname{ctg} \frac{\theta}{2} \right), \quad \text{где } B = \frac{6q\eta}{r(r + \xi)},$$

или в более удобной для вычислений форме

$$\left(1 - \frac{4}{15} \frac{\xi}{r} \right) \left[\frac{r(1 - \mu)}{69\eta} \right]^{1/3} = \frac{2\xi}{3\eta} + \frac{1}{6} \operatorname{tg} \frac{\nu}{2} + \\ + \frac{1}{10} \left(1 - \frac{7}{8} \operatorname{tg}^2 \frac{\nu}{2} \right) \frac{3\eta}{2\xi} + \dots$$

Пятый параграф посвящен выводу приближенных формул для определения поправки силы $\delta(1 - \mu)$ по наблюдаемым точкам оси хвоста. Как отмечалось выше, над этой важной для теории комет задачей работали также Бредихин и Жуковский. Однако формула Соколова оказалась наиболее удобной для практического применения, и Бредихин сразу стал ею пользоваться. Так, в статье «Обзор численных значений отталкивательной силы» (I, 150) поправка $\delta(1 - \mu)$ для получения точных значений отталкивательной силы вычислена по формуле

$$\delta(1 - \mu) = \frac{1.43(1 - \mu)}{\eta} \cdot \delta\eta.$$

Сравнив эту формулу с формулой Соколова

$$\frac{\delta(1 - \mu)}{1 - \mu} = \frac{10}{7} \frac{\delta\eta}{\eta} - \frac{3}{7} \frac{\delta\xi}{\xi}, \quad (23)$$

легко заметить, что Бредихин пользовался именно формулой (23), вводя по ней поправку для хвостов I типа, при их отклонении параллельно оси η , на что указал и Егерман (II, 1, стр. 351). В этой же работе даны и приближенные формулы для определения поправок координат частиц на оси хвоста и в других его частях. Статья имела большое значение для развития исследований комет, так как давала очень удобные приближенные формулы, необходимые для изучения хвостов. Однако эти формулы оставались точными только на небольших расстояниях от ядра.

В том же 1884 г. Соколов провел совместно с Бредихиным большую работу по изучению кометы 1744 г. Бредихин много занимался этой кометой, особенно синхронными полосами в ее хвосте. Он собрал все опубликованные наблюдения, обработал их и привел к плоскости орбиты. Соколов по его поручению привел все наблюденные точки хвоста I типа (для $1-\mu=12$) к одной эпохе, выполнив редукцию при помощи своих приближенных формул.

Результаты вычислений были включены в статью Бредихина «О хвосте I типа кометы 1744 г.» (I, 141).

В ближайшие годы Соколов продолжал активно участвовать в разработке теории комет. Совместно с Бредихиным исследовал «облака Шмидта» в хвосте кометы 1882 II. Измеренные Шмидтом положения облаков B и α'' были сведены к четырем нормальным местам. Бредихин вычислил для них гиперболические элементы, а Соколов — отталкивательные силы и время выхода из ядра (I, 150, 1886 г., стр. 44). Это отметил и С. В. Орлов (II, 76, стр. 140).

В дополнение к другой статье Бредихина (I, 152) были напечатаны заметки Белопольского и Соколова «О вычислении координат хвоста» (I, 152, стр. 69—70).

На основании своих приближенных обобщенных формул (20) Соколов вывел формулы для определения координат (ξ , η) на оси хвоста ($g=0$; $G=0$)

$$\left. \begin{aligned} \xi &= \frac{\tau^2}{r^2} \left[\frac{1}{2} + \frac{2r'\tau}{3r} + \left(\frac{7}{4} - \frac{9c^2}{8r} \right) \frac{\tau^2}{r^3} + \left(\frac{7}{3} - \frac{2c^2}{r} \right) \frac{r'\tau^3}{r^4} \right], \\ \eta &= \frac{c\tau^3}{r^4} \left[\frac{1}{3} + \frac{3r'\tau}{4r} + \left(\frac{8}{3} - \frac{3c^2}{2r} \right) \frac{\tau^2}{r^3} + \left(\frac{35}{8} - \frac{35c^2}{12r} \right) \frac{r'\tau^3}{r^4} \right]. \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

Были получены формулы и для учета изменения координат $\Delta\xi$, $\Delta\eta$ из-за влияния G и g . Задача была определена так: известны координаты ξ , η оси хвоста ($g=0$;

$G=0$) в момент $t-\tau$. Найти координаты какой-либо точки, не лежащей на оси ($g \neq 0$; $G \neq 0$). Соколов вычислил приращения $\Delta\xi$, $\Delta\eta$, которые следует прибавить к ξ , η , чтобы получить координаты искомой точки (I, 152, стр. 69):

$$\left. \begin{aligned} \Delta\xi &= -\sqrt{2} r g_1 \xi^{1/2} + \left(\frac{4}{3} r r' g_1 - 2c g_2 \right) \xi - \\ &\quad - \sqrt{2} \left(\frac{17g_1}{18} - \frac{2cr'g_2}{3} - \frac{2cr'g_2}{3} \right) \xi^{3/2} + \\ &\quad + \left(\frac{8r'g_1}{27} - \frac{2cg_2}{3r} - \frac{c^3g_2}{3r} + \frac{14c^2r'g_1}{27r} \right) \xi^2, \\ \Delta\eta &= \sqrt{2} r g_2 \xi^{1/2} - \left(\frac{4}{3} r r' g_2 + 2c g_1 \right) \xi + \\ &\quad + \sqrt{2} \left(\frac{17g_2}{18} - \frac{35c^2g_2}{36r} + \frac{2cr'g_1}{3} \right) \xi^{3/2} - \\ &\quad - \left(\frac{8r'g_2}{27} + \frac{2cg_1}{3r} + \frac{c^3g_1}{3r^2} \right) \xi^2, \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

где

$$\begin{aligned} g_1 &= g \cos G, & c &= \sqrt{2q} = \sqrt{p}, \\ g_2 &= g \sin G, & r' &= \frac{\sqrt{2r - c^2}}{r} = \frac{\sin v}{c}. \end{aligned}$$

Был предложен следующий метод вычисления координат какой-либо точки. По точным формулам Бредихина определить (ξ, η) для $g=0$; $G=0$, а затем ввести поправки $\Delta\xi$, $\Delta\eta$ за g, G по формулам (24). Была указана и другая возможность — пользоваться для вычисления координат приближенными формулами (I, 152, стр. 70):

$$\begin{aligned} \xi &= -g\tau + \left(\frac{1}{r^2} - \frac{2cg_2}{r^2} \right) \frac{\tau^2}{2} + \left(\frac{4r'}{r^3} - \frac{6cg_2r'}{r^3} + \frac{3c^2g_1}{r^4} \right) \frac{\tau^3}{3} + \\ &\quad + \left(\frac{42r - 27c^2}{r^6} + \frac{36c^3g_2}{r^6} + \frac{24c^2r'g_1}{r^5} - \frac{56cg_2}{r^5} \right) \frac{\tau^4}{24}, \\ \eta &= g_2\tau - \frac{cg_1}{r^2} \tau + \left(\frac{2c}{r^4} - \frac{3c^2g_2}{r^4} - \frac{6cr'g_1}{r^3} \right) \frac{\tau^3}{6} + \\ &\quad + \left(\frac{18cr'}{r^5} + \frac{36c^3g_1}{r^6} - \frac{24c^2r'g_2}{r^5} - \frac{56cg_1}{r^5} \right) \frac{\tau^4}{24}. \end{aligned}$$

В 1890 г. появилась последняя статья Соколова по теории комет (II, 78). В этой работе выведены точные формулы:

для вычисления H , β , H_1 , β_1 ; для вычисления элементов орбиты частицы по начальным данным; для определения μ и M_1 , соответствующих данным значениям M , R , ω в случае гиперболического движения (при известной относительной начальной скорости частицы).⁶¹

Даны также дифференциальные уравнения вариаций координат (R , ω) частицы и вариации силы (μ) в случае гиперболического движения; формула для вычисления эфемерид кометных хвостов. Эти формулы Соколов вывел иначе, чем Бредихин. Здесь же были приведены формулы для вычисления поправки $\delta\mu$, необходимые при вычислении эфемерид.

Говоря об этой статье Соколова, Егерман отметил, что данные в ней формулы очень сложны и потому «не имеют большого практического значения» (II, 1, стр. 278).

Следует, однако, признать, что работа Соколова обогатила и расширила теоретическую базу теории комет.

Участие В. К. Цераского, А. А. Белопольского, П. К. Штернберга и С. К. Костинского в разработке механической теории кометных форм

Ф. А. Бредихин установил на Московской обсерватории правило привлекать студентов и практикантов к участию во всех работах обсерватории. Это позволило значительно расширить число сотрудников, в которых обсерватория остро нуждалась. Вместе с тем начинающие ученые получали возможность детально ознакомиться с различными областями астрономии и уверенно выбрать специализацию. Такая подготовка воспитывала у учеников Бредихина широту научных взглядов, столь характерную для их учителя.

В разработке механической теории кометных форм участвовали все без исключения его сотрудники и ученики. И хотя в дальнейшем не все избрали своей специальностью кометную астрономию, совместная работа с таким выдающимся ученым, как Бредихин, явилась для них отличной школой.

В различных наблюдениях и их обработке принимали участие В. К. Цераский, А. А. Белопольский, А. П. Соколов, П. К. Штернберг, С. К. Костинский и другие.

⁶¹ Обозначения см. на стр. 55—57.

В 1886 г. Цераский и Белопольский наблюдали кометы 1886 I, 1886 II и определили положение их хвостов (I, 157, стр. 1). Одновременно Бредихин изучал спектр этих комет. Когда Бредихин открыл в спектре головы кометы 1882 I линии натрия, он пригласил Цераского и Соколова, которые подтвердили его открытие (I, 128, стр. 34).

Белопольский участвовал и в разработке теории. По формулам Бредихина он вычислил положения аномальных хвостов комет 1862 III и 1844 III (I, 152, стр. 65—69).

В обработке наблюдений помогали Бредихину Штернберг и Костинский. Так, еще в студенческие годы (1884—1885 гг.) Штернберг участвовал в обработке наблюдений кометы 1811 г., что отметил в своей статье об этой комете Бредихин (I, 152, стр. 18). Бредихин и Штернберг совместно провели полную обработку наблюдений: привели их к плоскости кометной орбиты, построили чертёж хвоста, определили координаты ξ , η и угол φ ; вычислили отталкивательную силу $1-\mu$ по формуле Бесселя. Костинский также еще в студенческие годы участвовал в обработке наблюдений кометы 1899 V, что было отмечено в статье «О спутниках кометы 1889 V» (I, 163, стр. 158). Комету 1889 V сопровождали четыре отдельные массы. Вычислив их положения и орбиты, Бредихин и Костинский установили, что это осколки, отделившиеся от кометы-родоначальницы.⁶²

Сотрудничество Бредихина с Костинским стало особенно тесным после их переезда в Пулково.⁶³ По поручению своего учителя Костинский неоднократно производил измерения фотопластинок с изображением комет, определял координаты ядер и характерных деталей хвоста или облачных образований.

Так, совместно ими были обработаны наблюдения комет 1893 II, 1893 IV, 1899 I, 1901 I. Костинский измерил 15 пластинок с изображениями комет 1893 II и 1893 IV и определил координаты облачных образований, наблюдавшихся в их хвостах (I, 181). Он измерил 17 пластинок с изображениями кометы 1899 I и определил координаты

⁶² Впоследствии Костинский описал эту первую совместную с Бредихиным работу в своих воспоминаниях (II, 3).

⁶³ Получив назначение на пост директора Пулковской обсерватории, Бредихин взял с собой и Костинского, только что окончившего Московский университет.

ядра и некоторых точек хвоста (I, 194). Аналогично были измерены 13 диапозитивов кометы 1901 I (I, 193).

Кроме того, Костинский под руководством Бредихина составил библиографию его трудов по кометам и разработал план известной книги Егермана (II, 135).

Участие в разработке физической теории комет
А. А. Колли и Ч.-П. Смита

К решению ряда вопросов физической теории комет Бредихин привлек также химика А. А. Колли (1840—1916 гг.) и английского ученого Ч.-П. Смита.

Эти работы не оставили заметного следа в теории комет, но они интересны в связи с изучением трудов Бредихина.

Исследование Ч.-П. Смита касалось вопроса об условиях видимости водородных полос в спектрах комет. Как известно, Бредихин считал, что в состав вещества комет должен входить газообразный водород, однако, спектрально обнаружить его не удавалось. Бредихин объяснял это особенностями условий наблюдения. Очень слабые по сравнению с углеводородными полосами линии водорода, накладываясь на непрерывный солнечный спектр, становятся невидимыми. Ч.-П. Смит заинтересовался этим вопросом и провел специальный эксперимент.

Опыт состоял в следующем: через трубку, наполненную углеводородом с небольшой примесью чистого водорода, пропускался электрический ток. При этом в спектре не удавалось обнаружить линий водорода. Но под воздействием тока углеводород начинал быстро разлагаться на водород и углерод. Чем дальше шел этот процесс, тем больше накапливалось водорода и углерода. Пиаци Смит предложил использовать этот факт для определения возраста комет (II, л. 180). Свои результаты Ч.-Пиаци Смит изложил в письме в редакцию «Nature» от 19 января 1885 г. (т. 31, № 797). Он просил редакцию передать их Ф. А. Бредихину «для обсуждения». Уже в начале февраля 1885 г. они были отмечены в статье «О большой комете 1811 г.» (I, 152). По-видимому, на основании этих опытов Бредихин в дальнейшем считал, что в кометах, кроме газообразных углеводородов, всегда присутствуют чистый водород и углерод.

Ряд исследований выполнил по поручению Бредихина его друг, профессор химии Московского университета А. А. Колли. Об одной из этих работ Бредихин упомянул в своей статье «О хвосте I типа кометы 1744 г.» (I, 141). Как известно, он много времени занимался изучением синхрон, проявляя интерес не только к описанию внешней стороны явлений, но и к изучению их физической природы. Бредихин попытался выяснить причины и характер процессов, приводящих к взрыву в ядре кометы, в связи с чем его внимание привлекли незадолго до того проведенные П. Э. М. Бертло (1827—1907 гг.) исследования по изучению взрывчатых веществ.⁶⁴ Колли согласился заняться этим вопросом. В упомянутой выше статье Бредихин отметил (I, 141, стр. 148): «Кометные эмиссии, интенсивность которых прерывиста (кометы 1744, Донати, Понс-Брукс и т. д.), напоминают удивительную теорию взрывчатых веществ, созданную г. Бертло. Мой друг А. Колли, профессор химии в Москве, предполагает заняться этим вопросом». К сожалению, неизвестно, осуществил ли Колли свои намерения и каковы были результаты этих работ. Во всяком случае, в 1884 г. Колли опубликовал в «Вестнике промышленности» изложение теории Бертло (II, 138).

Большой интерес представляют исследования Колли (Collie) и В. Рамзая (1852—1916 гг.) по измерению молекулярного веса аргона и гелия (II, 139).

Бредихин строил физическую теорию комет на предположении, что все молекулы простых веществ одинаковы. Он неоднократно пытался обосновать свое предположение, о чем свидетельствуют записи, хранящиеся в его архиве. Изучение этих документов показало, что Бредихин внимательно следил за всей литературой, касающейся размеров и весов молекул. Работы Дж. Томсона, Ф. Цёлльнера и других подтверждали правильность его предположения. Однако Бредихин отмечал и исследования, приведшие к противоположному выводу. На полях одной из «кометных» тетрадей (II, 140, л. 9) он сделал интересное замечание о вышеупомянутой работе Рамзая и Колли: «Рамзай и Колли исследовали аргон и гелий: оказалось, что в аргоне часть с весом 1.993, другая 2.001 — раз-

⁶⁴ «Сила взрывчатых веществ на основе термохимии» (II, 137). Третье издание этой книги П. Бертло вышло как раз в 1883 г.

ница незначительная; в гелии одна — 1.874, другая — 2.133. Они заключают, что (?!?) не все молекулы простого газа имеют один и тот же вес». Запись не датирована, можно предполагать, что она сделана не ранее 1895 г., так как именно в этом году В. Рамзай открыл аргон.

Работа Ф. А. Бредихина и Г. А. Иванова по уточнению терминологии, применяющейся в теории комет

Известна попытка Ф. А. Бредихина ввести новую кометную терминологию. В статьях по кометам и метеорам, написанных в период с 1888 по 1890 г., да и в некоторых более поздних (вплоть до 1903 г.), он употреблял термин «кома» вместо «хвост кометы» (I, 198, стр. 9—76, стр. 77—94 и т. д.).

Вернувшись впоследствии к прежней общепринятой терминологии, Бредихин всегда подчеркивал ее неудовлетворительность. А. Д. Дубяго в комментариях к «Этюдам о метеорах» (1954 г.) отметил важность такого нововведения (I, 198, 1954 г., стр. 540).

Сохранившиеся архивные материалы дают возможность ознакомиться с этими работами более подробно. Много занимаясь кометами, Бредихин особенно сильно чувствовал недостатки кометной терминологии. Обычные термины: голова, кома, хвост — неправильные с филологической точки зрения, были вместе с тем совершенно недостаточны и для точного описания многообразных кометных явлений. Поэтому он решил упорядочить и расширить кометную терминологию, для чего в 1881 г. обратился за помощью к профессору римской словесности Московского университета Г. А. Иванову (1826—1901 гг.).⁶⁵ Сохранились два письма Иванова к Бредихину с пометками последнего (II, 142, лл. 69—71). Эти документы свидетельствуют о том, как серьезно подготавливал Бредихин введение новой терминологии. Исследовав происхождение выражения «хвост кометы», которое казалось Бредихину особенно неудачным, Иванов установил, что оно не встречалось ни у одного из древнегреческих и римских авторов.

⁶⁵ Впервые привлеченный к решению астрономических вопросов Ф. А. Бредихиным, Г. А. Иванов интересовался ими и впоследствии. Так, по поручению ученика Ф. А. Бредихина — В. К. Цераского он перевел трактат Плутарха «О лице, видимом на диске Луны» (II, 141).

Вместо этого употреблялись названия сома (волосы) и barba (борода), гораздо лучше отражавшие внешнюю сторону явления. Иванов составил также термины для обозначения различного вида истечений из ядра кометы, однако они показались ему неудачными. Для обозначения сложных хвостовых коноидов, вложенных друг в друга (типа кометы Донати), Иванов предложил, например, термин «птероид». Итоги этим поискам Бредихин подвел в оглавлении 26-й кометной тетради: «Письма филолога Иванова о названии хвоста; у древних — его не было, это — позднее, „кухонная латынь“».

Наиболее удачным Бредихин считал термин «кома», который и хотел ввести вместо названия «хвост кометы». Вот как он мотивировал такую замену (I, 175, стр. 9): «Придаток этот называют хвостом, хотя естественнее было бы называть его волосами, комой, ибо комета — волосатая, получила свое название от этого придатка». Однако предложенная Бредихиным терминология так и не была принята, хотя неудовлетворительность существующей терминологии отмечается и в настоящее время. Так, например, А. Д. Дубяго писал (I, 198, стр. 540): «По существу нельзя не согласиться, — и не только с филологической точки зрения, — что однажды предлагавшаяся Ф. А. Бредихиным терминология, в которой совместно фигурируют голова и волосы, много естественнее укоренившегося словосочетания, довольно комичным образом соединяющего голову кометы прямо с хвостом».

Совместная работа Бредихина и Иванова по введению новой кометной терминологии служит ярким доказательством того, насколько тщательно изучал Бредихин все, что касалось кометных явлений.

*Обобщение трудов Ф. А. Бредихина о кометах
в книге «Механические исследования проф. Бредихина
о кометных формах в систематическом изложении
Р. Егермана»*

В последние десятилетия XIX в. появилось множество так называемых электрооптических гипотез, искажавших правильное понимание кометных явлений.

Между тем теория Бредихина, тщательно разработанная и проверенная на практике, оставалась труднодоступной: его многочисленные исследования были раз-

бросаны по различным изданиям мира. Назрела необходимость собрать их воедино и дать систематическое изложение механической теории кометных форм.

С этой целью Бредихин объявил в 1902 г. конкурс на премию (II, 73, стр. 87—88) имени А. Бредихиной в 2000 руб. за изложение своей теории, на следующих условиях.

1. Книга должна быть написана на немецком или французском языке.

Это требование вызвано тем, что наибольшую путаницу в теорию комет вносили иностранные ученые (Е. Гольдштейн, Н. Герц, К. Фламмарин), тогда как отечественные астрономы и физики были в основном хорошо с ней знакомы. Кроме того, немецкий и французский языки были в то время наиболее распространенными.

2. Книга должна содержать все формулы, выведенные Бредихиным, а также все мельчайшие детали и подробности в кометных явлениях, которые он когда-либо отмечал или изучал.

Бредихин хорошо понимал истинное значение своих работ, заключающееся в изучении массы отдельных явлений. Именно подробное описание деталей служит источником дальнейших исследований. А изложение всех формул кометной теории дает возможность проверить их и судить об их точности.

3. Критику работ Ф. Н. Шведова, А. Маркузе, Дж. Шеберле и других опустить. Дать критику электрооптических гипотез.

Это требование Бредихина вызвано тем, что основную опасность для кометных теорий в конце XIX—начале XX в. представляли именно электрооптические гипотезы.

4. Готовые экземпляры книги должны быть бесплатно разосланы по всем обсерваториям и астрономическим учреждениям мира.

Выполнение этого требования способствовало широкому распространению взглядов Бредихина. К разосланным экземплярам книги Егермана нередко обращаются и современные исследователи при изучении новых комет.⁶⁶

5. При изложении кометной теории руководствоваться статьей Бредихина «О попытках опытного воспроизве-

⁶⁶ Так было, например, при изучении природы копьеобразного хвоста кометы Роланда—Ролана (1956 г.).

дения кометных явлений» (I, 188), в которой дано краткое его изложение.

О премии было объявлено во всех русских и иностранных газетах. Однако Бредихин хотел, чтобы книга была написана кем-либо из отечественных астрономов. Он даже предлагал взяться за это дело И. Сикоре⁶⁷ (II, 143).

Вскоре Цераский сообщил Бредихину, что эту работу может выполнить Рихард Оскарович Егерман, выпускник Московского университета, прибалтийский немец по происхождению. Он был хорошо знаком с исследованиями Бредихина и поэтому мог написать книгу довольно быстро. Бредихин с радостью принял предложение Цераского. В письме к нему от 13 июля 1902 г. он отмечал (II, 144): «. . . Jegermann есть именно тот человек, который нам нужен. *Conditio sine qua non* для требуемой работы — французский или немецкий язык. Вероятно Richard Jegermann может писать прямо по-немецки. . . подробности мы обдумаем и я, со своей стороны, сделаю все возможные указания и советы. . . я вполне доволен, что дело можно будет начать, не откладывая на далекие времена».

По указанию Бредихина С. К. Костинский (II, 135) составил большой список основных кометных трудов, которые должны были войти в книгу Егермана (II, 135). Кроме того, Бредихин и Костинский составили даже ее точный план. Несмотря на ряд недостатков (растянутость изложения, отсутствие предметного указателя), не говоря уже о большом промежутке времени, протекшем со времени ее написания, эта книга и теперь сохраняет важное значение потому, что содержит описание массы деталей кометных явлений, необходимых для дальнейших исследований.

*Исследования С. В. Орлова и Ф. А. Бредихина
о хвосте большой сентябрьской кометы 1882 II*

Большое значение работ Ф. А. Бредихина по теории комет для дальнейшего ее развития хорошо известно. Однако в чем именно заключается ценность этих работ, не всегда отмечается правильно. Поэтому интересно при-

⁶⁷ Сикора — астроном Одесской обсерватории, неоднократно сотрудничал с Бредихиным в наблюдении комет, метеорных потоков и т. п. и присылал ему свои наблюдения.

вести один из ярких примеров, вскрывающих самую существенную черту его научного творчества, благодаря которой изучение его наследия представляет особый интерес. Бредихин всегда с исключительной тщательностью подбирал все доступные ему материалы по кометам. А так как он еще при жизни был широко известен не только в России, но и далеко за ее пределами, то эти материалы значительно пополнялись и за счет наблюдений любителей или даже случайных очевидцев появления ярких комет. Все собранные наблюдения подвергались затем детальному исследованию. Однако не все удавалось объяснить сразу. Часто приходилось по несколько раз возвращаться к изучению одной и той же детали, после получения новых наблюдений. Таким образом, накопился большой материал, подчас с пометками и замечаниями Бредихина, представляющий значительный научный интерес и сегодня.

К таким материалам относятся, например, наблюдения большой сентябрьской кометы 1882 II. Эта яркая комета имела хвосты всех трех типов. Кроме того, в ней были обнаружены также облачные образования и деление ядра. Впереди головы наблюдался странный выступ, имеющий вид полой трубки. Недаром Бредихин считал эту комету особенно важной для теории комет и составил на основании наблюдавшихся в ней особенностей список наиболее типичных кометных явлений.

Наибольшие трудности встретились при объяснении «трубки». За изучение этой кометы Бредихин принимался дважды (I, 127, 125). Во второй статье он объяснил загадочную трубку как аномальный хвост, однако сам не был этим удовлетворен, отметив, что такое объяснение возможно только при некоторых искусственных допущениях относительно движения частиц в «трубке» (I, 125, стр. 10). По-видимому, Бредихин собирался снова вернуться к этим исследованиям. В его архиве сохранился уникальный рисунок Дж. Уиллиса, полученный, вероятно, после написания упомянутых статей, так как он не был там использован. Этот рисунок вырезан из «Monthly Notices» (II, 142, лл. 164—165). По-видимому, Бредихин придавал рисунку Уиллиса большое значение, так как поместил его отдельно под заглавием «Комета 1882 II». Он не успел вернуться к исследованию этой кометы, хотя, вероятно, и догадывался о новой возможности объяснить «трубку»

как конец хвоста кометы, на который проектируется голова и ближайшая к ней часть хвоста. Такое впечатление изогнутости хвоста невольно возникает при первом взгляде на рисунок Уиллиса.

По-видимому, этот рисунок и навел впоследствии С. В. Орлова на мысль об изгибе хвоста кометы 1882 II. В 1944 г. в статье «Большая сентябрьская комета 1882 II» (II, 145) он завершил начинания Бредихина. Спроектировав главный хвост II типа на плоскость кометной орбиты, он обнаружил, что синди-нама $1 + \mu = 1$ действительно имеет вид исполинской дуги (рис. 10). Именно эту дугу и наблюдал Уиллис. Орлов воспроизвел в своей статье репродукцию с рисунка Уиллиса. Нет сомнения в том, что Орлов обнаружил этот рисунок, просматривая архив Бредихина, так как другой рисунок (Гартвига), использованный в его статье, приведен со ссылкой на соответствующее издание, тогда как рисунок Уиллиса дан без ссылки. О том, что именно рисунок Уиллиса навел Орлова на мысль об изгибе хвоста, лучше всего говорят его собственные слова. Так, после изложения основных данных, доказывающих изогнутость хвоста кометы 1882 II, он заметил (II, 145, стр. 201—202): «Теперь понятен становится рисунок Уиллиса (Willis)». Затем привел рисунок и изложил описание обстоятельств, при которых он был сделан (это — точное воспроизведение надписи, сделанной на рисунке Бредихиним).

Таким образом, изучение архивных материалов Бредихина породило новое исследование, завершившее изучение этой интересной кометы.

Ф. А. Бредихин о своих трудах по теории комет

В связи с нередкими еще искажениями общего значения трудов Ф. А. Бредихина по теории комет в заключение небезынтересно привести их оценку, данную им са-

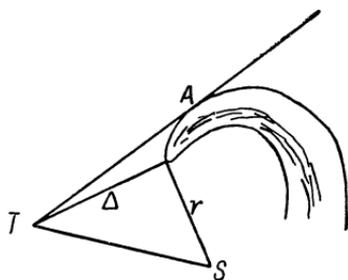


Рис. 10.

T — Земля, S — Солнце, A — точка перегиба хвоста, Δ — геоцентрическое расстояние ядра, r — радиус-вектор ядра.

ним в 1884 г. (I, 147, стр. 119): «До моих исследований были сделаны вычисления только для трех комет: эти вычисления в большей части весьма несовершенны и дали для силы несколько различных значений не только для разных комет, но расходящиеся для одной и той же кометы (комета Донати: Нортон и Папе).

«Таким образом, было позволительно сомневаться в самых основах теории и в выражении закона силы. Существовало свободное поле действия для всякого рода физических гипотез, одна нелепее другой; и действительно, в последней четверти этого столетия их родилось больше дюжины.

«Я показал своими вычислениями, охватывающими около 40 комет, что в кажущемся хаосе существует гармония и удивительная правильность; что хвост кометы может быть построен теоретически со всеми его видимыми аномалиями; что все основные черты явлений суть прямые следствия простых и плодотворных идей Гука, Гейнзиуса и Ольберса, согласованных с универсальным законом Ньютона и развитых затем в соответствии с прогрессом физических наук.

«Теперь стало возможно вычислить заранее положение и предельные формы потоков хвостовой материи. Естественно, здесь есть — и всегда будут частности, которые нужно дополнить, исправить, уточнить; но в астрономии указанное положение сохраняется до настоящего времени: для луны имеем слабо сходящиеся ряды, а центр кометы Энке не удается еще описать формулами, несмотря на то, что прибегают к произвольному допущению сопротивляющейся среды. . .

«Я беру на себя смелость думать, что мои работы имеют чисто научное значение, которое немного более высоко, чем значение „классификации“ или „обозначения“».



Глава IV

РАБОТЫ ПО МЕТЕОРНОЙ АСТРОНОМИИ

1. Дж. Скиапарелли — предшественник Ф. А. Бредихина

Естественным продолжением исследований Бредихина о кометах были его работы по теории метеорных потоков.

Этим вопросом он заинтересовался еще в самом начале своей научной деятельности, после выхода в свет (1866—1867 гг.) первых работ Дж. Скиапарелли. Исследования Скиапарелли о связи между кометами и метеорными потоками были опубликованы в виде четырех писем к А. Секки. Их русский перевод печатался в Математическом сборнике, издававшемся Московским математическим обществом (II, 146).

В первом письме было показано, что суточная периодичность в наблюдении метеоров является следствием движения Земли. Это убедительно показало, что метеоры — космическое, а не атмосферное явление, как многие тогда думали. Было подсчитано также часовое число метеоров, наблюдаемое в течение года. Изучение отношения скоростей Земли и метеоров привело к очень важному заключению о том, что скорости метеоров близки к параболическим, т. е. имеют тот же характер, как и скорости комет.

Во втором и третьем письмах Скиапарелли развил свою теорию происхождения метеорных потоков. Он показал, что сферическое облако метеоров, движущееся вокруг Солнца по вытянутому коническому сечению, должно постепенно растянуться под приливным действием Солнца вдоль своей орбиты, положив таким образом, начало периодическому, а затем и постоянному метеорному

потоку. Скиапарелли вывел условие равновесия такого облака.

$$\frac{2M}{R^3} = \frac{m}{d^3}, \quad (1)$$

где M — масса Солнца, m — масса метеорной частицы, R — расстояние центра облака от Солнца, d — расстояние между двумя соседними метеорными частицами.

Как только нарушится условие равновесия (1), метеорное облако начинает распадаться. Спорадические метеоры, по мнению Скиапарелли, возникали при возмущении метеорного потока большими планетами.

В четвертом письме Скиапарелли показал, что вычисленные им элементы орбиты потока Персеид совпадают в пределах ошибок наблюдений с элементами орбиты кометы 1862 III.

Вскоре (1867 г.) было установлено и родство потока Леонид с кометой 1866 I. Эти исследования привели Скиапарелли к мысли о том, что метеорное облако, эволюцию которого он рассматривал в третьем письме, есть ядро кометы, разложившееся со временем в метеорный поток. Таким образом, из теории Скиапарелли вытекал вывод о том, что ядра комет должны состоять из довольно мелких частиц. Образование метеорного потока означает прекращение существования кометы-родоначальницы этого потока.

Как отмечалось, Бредихин занимался изучением комет с 1860 г. и внимательно следил за всей научной литературой. Естественно, что работа Скиапарелли о связи комет с метеорными потоками должна была привлечь его внимание. Весьма вероятно, что исследования Скиапарелли явились одной из причин, побудивших Бредихина избрать местом своей заграничной командировки именно Италию.

Интерес к метеорам не ослабевал у Бредихина и в дальнейшем. Так, уже после возвращения из Италии, 12 января 1871 г. он выступил с речью «Падающие звезды» (I, 18) на годовичном акте Московского университета, что свидетельствует о большом интересе ученого к исследованию метеорных потоков. Бредихин дал исчерпывающий обзор всех исследований по метеорам, выполненных до 1871 г., показав отличное знакомство с научной литера-

турой по этому вопросу. Много места было уделено изложению теории Скиапарелли о происхождении метеорных потоков.

2. Организация наблюдений

Вскоре после вступления на пост директора Московской обсерватории Бредихин организовал здесь систематические наблюдения метеорных потоков преимущественно Персеид. В этом отношении он был преемником Б. Я. Швейцера, который проводил такие же работы, а в 1853 г. даже организовал, по-видимому, первые в России коллективные наблюдения Персеид совместно с М. М. Гусевым (Вильно).⁶⁸

Бредихин начал свои первые наблюдения в 1874 г. Траектории метеоров наносились на карту для определения радианта (I, 52). Аналогичные наблюдения были проведены им в августе 1875 г. (I, 53). В 1887 г. удалось организовать коллективные наблюдения из разных удаленных друг от друга пунктов. Так, сам Бредихин наблюдал в Погосте (под Кинешмой), Цераский — в окрестностях Николаева, в имении Бредихина, куда он был отправлен на лечение, а Белопольский и Соколов — на Московской обсерватории (I, 53, 1878 г.).

На карту наносились метеоры, замеченные в нескольких избранных созвездиях: Персее, Кассиопее, Цефее, Андромеде, Овне и Возничем. Траектории метеоров переносились на сетку Лоренцони. Радиант определялся по методу, специально разработанному Цераским.

В 1878 г. коллективные наблюдения Персеид были продолжены. На этот раз они велись из трех пунктов: село Абрамцево под Москвой (Белопольский), обсерватория Московского университета (Соколов) и обсерватория Константиновского Межевого института (И. Н. Троицкий и три «элева»). Белопольский и Соколов пытались определить высоту метеоров, помимо обычной программы наблюдений.

После переезда Бредихина в Пулковку аналогичные наблюдения Персеид проводились уже систематически в течение 1890—1894 гг. (I, 198). В работах принимали

⁶⁸ Ученые записки имп. АН, т. III, вып. 2, 1855, стр. 235—250.

участие многие сотрудники Пулковской и Московской обсерваторий.

В 1890 г. (I, 198, 1954 г., стр. 122) было организовано пять станций по наблюдению Персеид: Пулково (Бачинский, Белополюский, Виттрам, Иверонов, Козловский, Линдеман, Морин, Ренц и Шретер), Острогжск (Ржевский), Погост под Кинешмой (Костинский), Москва (Покровский) и Либава (Цераский).

В 1892 г. (I, 198, 1954 г., стр. 139) — три станции: Погост (Бредихин), Пулково (Соколов, Белополюский, Линдеман, Иванов, Лебедев, Морин), Москва (Покровский, Модестов, Блажко).

В 1893 г. (I, 198, 1954 г., стр. 166) — две станции: Пулково (Соколов, Стратонов, Иванов, Морин, Костинский, Лебедев), Москва (Блажко, Модестов).

В 1894 г. (I, 198, 1954 г., стр. 166) — две станции: Одесса (Орбинский, Васильев, Цветинович) и Киев (Хандриков, Фогель).

В обработке наблюдений принимали участие Костинский, Ковальский, Диченко, Лебедев, Морин, Иванов и Серафимов. Таких массовых наблюдений в России еще никогда не проводилось. Эти наблюдения пополнялись и за счет данных, присылаемых Бредихину отдельными наблюдателями из разных концов России. Все эти наблюдения составили обширный материал для развития теории.

3. Разработка теории движения метеорных тел

В 1888 г. появилась первая теоретическая статья Бредихина о происхождении метеорных потоков (I, 156). С этого времени и до 1903 г. последовала непрерывная серия работ, заложивших основы современной метеорной астрономии и создавших отечественную метеорную школу.

Многочисленные исследования Бредихина о метеорах, разбросанные по различным изданиям, были расположены им в хронологическом порядке и изданы в 1903 г. отдельной книгой «*Etudes sur l'origine des météores cosmiques et la formation de leurs courants*». В 1954 г. Издательством АН СССР был выпущен русский перевод этой книги под заглавием «Этюды о метеорах» (I, 198, 1954 г.).

Таким образом, исследования Бредихина по метеорам, собранные в одном томе и переведенные на русский

язык, стали наиболее доступными для советского читателя из всех других его трудов. Кроме того, основные положения теории Бредихина о происхождении метеорных потоков неоднократно излагались. Поэтому достаточно ограничиться краткой сводкой этих положений.

*Теория Ф. А. Бредихина
о происхождении метеорных потоков*

Основной идеей Бредихина, связавшего воедино кометную и метеорную теории, была идея о том, что образование аномальных хвостов представляет собой процесс перехода части кометного вещества в рой метеоров (I, 198, 1954 г.). Таким образом, исследование свойств аномальных хвостов могло пролить свет на образование метеорных потоков. Как известно, Бредихин подробно исследовал все эти свойства. На основании своих работ он пришел к заключению, что аномальные хвосты состоят из телец, сравнительно очень больших и весомых, которые не могут поэтому быть увлечены в хвост нормальный. Они движутся под действием обыкновенной ньютоновской силы, но получают только импульс, толчок в сторону к Солнцу от тех излияний, которые устремляются в нормальный хвост под действием отталкивательной силы. Упомянутая выше идея Бредихина и исследованные им свойства аномальных хвостов позволили построить теорию происхождения метеорных потоков.

Основные положения этой теории таковы.

1. Источником образования метеоров являются истечения из ядер комет крупных частиц в сторону Солнца.

2. Частицы, вылетающие из ядра кометы, под давлением газовых истечений получают некоторую начальную скорость j , которая меньше g .⁶⁹ В дальнейшем движение происходит под действием ньютоновского притяжения.

3. Образование метеорного потока вовсе не требует полного разрушения кометы-родоначальницы. В тече-

⁶⁹ g — обозначение начальной скорости, с которой частицы хвоста покидают ядро кометы. Таким образом, в теории Бредихина метеорные частицы начинали движение не с нулевой, как у Скиапарелли, а с некоторой определенной начальной скоростью. На основании кометных исследований Бредихин получил для g среднее значение из всех типов хвостов, равное 0.1. Таким образом, среднее значение j не должно превосходить 0.1,

ние долгого времени они могут существовать совместно.⁷⁰

Начав с мысли о том, что аномальные хвосты порождают метеорные потоки, Бредихин пришел затем к выводу, что «не только аномальные хвосты, но и вообще извержение, выбрасывание частиц в сторону к Солнцу может быть рассматриваемо как источник падающих звезд» (I, 198, 1954 г., стр. 10). Этот случай образования метеоров является даже более общим. В случае обильного истечения наблюдается аномальный хвост. При слабых истечениях частицы остаются невидимыми.

Причину истечений метеорных частиц из комет Бредихин видел в действии внутриядерных сил, возбуждаемых Солнцем. Он считал, что сила истечения есть функция перигельного расстояния, но зависит также и от физической природы данной кометы (I, 198, 1954 г. 335).

Исходя из основных положений своей теории, Бредихин показал, например, что комета с параболической орбитой может породить поток с годичным повторением. Он рассмотрел некоторую среднюю комету, движущуюся по параболической орбите, положив перигельное расстояние кометы равным 0.5 (I, 198, 1954 г., стр. 10). Частицы, вылетающие из ее ядра в определенной точке орбиты, получают известную начальную скорость j . Под действием ньютоновского притяжения частицы начинают двигаться по различным коническим сечениям (параболам, гиперболам, эллипсам). Периодический поток могут образовать только те частицы, которые движутся по эллиптическим орбитам. Остальные рассеются в пространстве.

Для вычислений использовались следующие формулы (I, 198, 1954 г., стр. 11—12):

$$H^2 = \frac{2}{r}, \quad \beta = 90^\circ - \frac{v}{2},$$
$$H_1^2 = H^2 + j^2 - 2Hj \cos(\beta - J), \quad (2)$$
$$\sin \gamma = \frac{j \sin(\beta - J)}{H_1},$$

⁷⁰ По теории Скиапарелли, только полное разрушение кометы-родоначальницы приводит к образованию метеорного потока. Таким образом, одна комета может образовать только один поток, тогда как по теории Бредихина одна и та же комета может дать начало нескольким метеорным потокам.

$$\begin{aligned}\hat{\beta}_1 &= \hat{\beta} + \gamma, \\ m &= H_1^2 r, \end{aligned} \quad (3)$$

$$A = \frac{r}{2 - m}, \quad (4)$$

$$T = A^{3/2},$$

$$P = m \sin^2 \beta_1 \cdot r,$$

$$E^2 = \frac{A - P}{A},$$

$$\cos V = \frac{P - r}{rE},$$

$$Q = \frac{P}{1 + E},$$

$$V - v = \psi.$$

Здесь

v — истинная аномалия ядра в момент извержения (до прохождения ядра через перигелий $v < 0$);

r — радиус-вектор ядра;

β — угол радиуса-вектора с касательной к орбите;

H — касательная скорость ядра;

V — угол между радиусом-вектором и осью метеорной орбиты (до прохождения ядра через перигелий $V < 0$);

Q — перигельное расстояние метеора;

P — полупараметр метеорной орбиты;

E — эксцентриситет метеорной орбиты;

A — большая полуось этой орбиты;

T — время обращения метеора около Солнца (в годах);

ψ — угол между осями орбит метеора и ядра ($\psi < 0$, когда перигелий метеора впереди перигелия ядра в направлении орбитального движения);

j — начальная скорость метеорной частицы;

J — угол, образованный j с радиусом-вектором ядра.

На основании (4), (3) и (2) можно получить выражение (II, 7, стр. 60)

$$A = \frac{1}{2\sqrt{2}j \cos(45^\circ - J) - j^2}.$$

Отсюда видно, что при изменении J величина A может изменяться от нескольких единиц до бесконечности. Следовательно, параболические орбиты действительно могут породить метеорные частицы с различными, в том числе и эллиптическими орбитами.

Для каждой точки параболической орбиты получается целый ряд эллиптических орбит, пересекающихся в этой точке. В пространстве эти извержения представляют собой конус. Следовательно, орбиты метеоров не лежат в плоскости параболической орбиты образовавшей их кометы, а расположены в различных плоскостях, наклоненных к ней под всевозможными углами, в пределах, зависящих от j и J . Бредихин отметил, что «... все эти плоскости пересекают плоскость параболы по радиусу-вектору точки исхода» (1, 198, 1954 г., стр. 15). Он пришел к выводу, что каждая точка орбиты ядра производит целый кольцевой пучок эллиптических орбит, поперечные сечения которого — более или менее растянутые эллипсы, представляющие своими большими осями ширину пучка, а малыми осями — толщину его в различных местах. Более подробно Бредихин не останавливался на этих вопросах и не пытался доказывать каждое из своих утверждений, так как незадолго до напечатания его статьи этот вопрос был подробно изучен по его поручению Б. К. Млодзеевским и Н. Е. Жуковским.

Таким образом, теория Скиапарелли оказалась частным случаем более общей теории Бредихина. Попытка Скиапарелли объяснить образование метеоров из комет под действием одного ньютоновского притяжения оказалась несостоятельной. В частности, не поддавался объяснению тот факт, что радианты метеорных потоков оказывались не точками, а растягивались на некоторую площадь. Теория Бредихина показала, что пути отдельных метеоров потока не могут быть параллельными, и радиант их не должен быть точкой. Поэтому отделить, индивидуализировать тот или иной поток оказалось не так-то просто.

Именно эту ошибку в индивидуализации различных потоков и допустил английский наблюдатель метеоров В. Деннинг (1, 198, 1954 г. стр. 339—369). Он утверждал, что существуют так называемые «неподвижные» или «стационарные» радианты, действующие с небольшими перерывами в течение всего года. Бредихин в ряде своих работ убедительно показал, что «неподвижный» радиант

является «сложным радиантом», так как производится несколькими кометами или независимыми потоками (I, 198, 1954 г., стр. 361). Бредихин подверг уничтожающей критике также попытки Г. Г. Тернера и А. С. Гершеля теоретически обосновать гипотезу «стационарных радиантов».

Однако на основании современных фотографических наблюдений метеоров выяснено, что площадь радиации далеко не так велика, как предполагал в свое время Бредихин. Она составляет всего лишь $2-4^\circ$ (II, 148), или даже $1-2^\circ$ (фотографические радианты по Ф. Уиплу и П. Б. Бабаджанову — II, 149).

Исследования Бредихина внесли большой вклад в развитие теории метеоров и организацию наблюдений метеорных потоков как в нашей стране, так и за рубежом.

Работы В. К. Цераского

В организованных Бредихиным наблюдениях метеорных потоков 1877—1890 гг. принимал участие В. К. Цераский, который посвятил семь статей вопросам метеорной астрономии.

В 1878 г. он разработал аналитический метод определения радиантов, вместо применявшегося ранее графического метода (II, 150). Была составлена весьма удобная для наблюдений Персеид карта (II, 151), которая использовалась всеми наблюдателями группы Бредихина. Впоследствии, после переезда Бредихина в Пулковку, Цераский самостоятельно продолжал на Московской обсерватории наблюдения метеоров. В 1898 г. он предложил оригинальный способ для определения угловой скорости метеоров. Этот метод был впервые применен С. А. Казаковым и Б. П. Модестовым при наблюдении Персеид. Эти работы Цераского были детально разобраны Б. А. Воронцовым-Вельяминовым (II, 12, стр. 321—322; 71, стр. 33—35), поэтому нет необходимости подробно на них останавливаться.

Участие Б. К. Млодзевского и Н. Е. Жуковского в разработке теории Ф. А. Бредихина о происхождении метеорных потоков

В статье «Происхождение космических метеоров» Бредихин дал подробный анализ возникновения метеорных потоков из аномальных хвостов комет. Он показал, что

кометы с параболическими орбитами могут породить метеорные потоки с годичным повторением.

Естественно, что полное и строгое изложение этой теории удалось дать не сразу. По-видимому, работая над этим вопросом, Бредихин делился своими мыслями с друзьями и учениками, как он это обычно делал. Его исследования заинтересовали известного математика Б. К. Млодзеевского (1858—1923 гг.) и Н. Е. Жуковского.

Влияние Бредихина на астрономические интересы Млодзеевского несомненно. Тем более странно, что в литературе о Бредихине и Млодзеевском этот факт никогда не отмечался. В брошюре С. Д. Россинского о Б. К. Млодзеевском сказано только, что он слушал лекции Бредихина (II, 152). Перечисляя имена ученых, с которыми Млодзеевский был близок по научным интересам, Россинский вовсе не упоминает Бредихина, хотя называет его учеников — Цераского и Штернберга. Тем не менее анализ известных фактов и в первую очередь самих работ Млодзеевского, связанных с решением астрономических вопросов, обнаруживает значительное влияние на него работ Бредихина. Это и не удивительно, так как Млодзеевский был учеником Бредихина по Московскому университету. Годы его учебы (он окончил университет в 1880 г.), совпали с периодом наиболее плодотворной преподавательской и лекторской деятельности Бредихина. Понятно, что талантливый профессор не мог не привлечь к себе внимание студента Млодзеевского. После окончания университета он был оставлен «для приготовления к профессорскому званию» и вскоре начал преподавание на физико-математическом факультете. В эти годы на Московской обсерватории по инициативе Бредихина проводились еженедельные собрания сначала на квартире Бредихина, затем у Цераского. Собирался тесный кружок прогрессивных профессоров и преподавателей университета. Обсуждали новости научной и университетской жизни, делились планами своих будущих исследований. По свидетельству Белопольского (II, 9), здесь не раз бывал и Млодзеевский. Кроме того, Млодзеевский был членом Московского математического общества (с 1886 г.), где часто выступал с докладами Бредихин.

По астрономической тематике Млодзеевским написаны две работы — «Об огибающей орбит при ньютоновском притяжении» (1886 г.) и «Об определении орбит двойных

звезд». Обе они связаны с исследованиями Бредихина (первая — по теории метеорных потоков, вторая — по изучению двойных звезд). Написаны они до 1890 г., т. е. в московский период деятельности Бредихина. После 1890 г. Млодзеевский сотрудничал с Цераским по некоторым вопросам фотометрии и фотографии (II, 153—154).

Работа Б. К. Млодзеевского. В статье «Об огибающей орбит при ньютоновском притяжении»

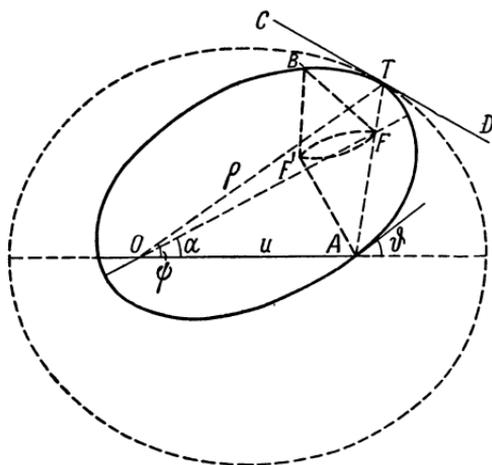


Рис. 11.

(II, 155) Млодзеевский задался целью исследовать свойства огибающей орбит частиц, движущихся под действием одного только ньютоновского притяжения и получивших при выбросе из ядра некоторую начальную скорость v . Это — типичный для бредихинской теории случай образования метеорного потока.

Задача сформулирована так. Из некоторой точки пространства в одно и то же время выходят по всем направлениям с определенной скоростью v материальные точки, притягиваемые неподвижным центром по закону Ньютона. Определить огибающую поверхность траекторий этих точек (рис. 11), где $(\cdot) A$ — центр истечения метеорных частиц; $(\cdot) O$ — центр притяжения; $OA = u$; $\angle \alpha$ — угол фокальной прямой с OA ; $\angle \varphi$ — угол, образованный вектором скорости частиц с направлением на центр притяжения.

Вследствие симметрии условий задачи относительно прямой OA огибающая поверхность есть поверхность вращения с осью OA . Поэтому достаточно найти только огибающую траекторий в одной плоскости, проходящей через ось вращения.

Так как частицы, вылетевшие из точки A , движутся под действием центральной силы, их траектории — конические сечения.

Уравнение конического сечения в полярных координатах имеет вид

$$r = \frac{p}{1 - e \cos(\varphi - \alpha)},$$

где все обозначения обычные, а значения α дано выше. Так как все траектории проходят через точку A , то при $\varphi=0$; $r=u$; $p=u(1-e \cos \alpha)$. Уравнение траектории примет вид

$$r = \frac{u(1 - e \cos \alpha)}{1 - e \cos(\varphi - \alpha)}. \quad (5)$$

Используя свойство угла ϑ касательной к траектории в точке A с радиусом-вектором ($\operatorname{tg} \vartheta = \frac{rd\varphi}{dr}$) и закон площадей ($c = r^2 \frac{d\varphi}{dt}$), можно получить выражение для определения эксцентриситета траектории

$$e^2 = 1 - (2 - h) h \sin^2 \vartheta = \cos^2 \vartheta + (1 - h)^2 \sin^2 \vartheta \quad (6)$$

и

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h \sin \vartheta \cos \vartheta}{1 - h \sin^2 \vartheta}, \quad (7)$$

где $h = \frac{uv^2}{\mu}$ (обозначение),

$$\mu = \frac{uv^2 \sin^2 \vartheta}{1 - e \cos \alpha}.$$

Исследование выражения для эксцентриситета (6) позволяет выяснить, при каких значениях h получаются эллиптические траектории, составляющие метеорный поток, при каких h частицы рассеются в пространстве (для эллипса $e < 1$; для гиперболы $e > 1$; для параболы $e = 1$). Эллиптические орбиты будут описывать частицы,

у которых $0 < h < 2$. При $h = 0$ и $h = 2$ орбиты частиц будут параболическими. Во всех остальных случаях, т. е. при $2 < h < 0$, частицы будут двигаться по гиперболам.

Исключив e и α из (5), получим уравнение траектории частицы в виде

$$r = \frac{uh \sin^2 \vartheta}{1 - \cos \varphi - h \sin \vartheta \sin(\varphi - \vartheta)}. \quad (8)$$

Продифференцировав (8) по параметру ϑ и исключив ϑ из обоих уравнений, Млодзеевский получил уравнение огибающей в виде

$$R = \frac{4uh}{(4 - h^2) - (2 - h)^2 \cos \varphi}. \quad (9)$$

Вводя обозначения

$$P = \frac{4uh}{4 - h^2},$$

$$E = \frac{2 - h}{2 + h},$$

уравнение (9) можно представить в виде

$$R = \frac{P}{1 - E \cos \varphi}. \quad (10)$$

Ясно, что искомая огибающая является коническим сечением, один из фокусов которого находится в притягивающем центре, а ось направлена по OA .

Для нахождения второго фокуса Млодзеевский определил значение R при $\varphi = 0$ и $\varphi = \pi$

$$R_0 = \frac{2u}{2 - h}, \quad R_\pi = \frac{uh}{2 - h}, \quad R_0 - R_\pi = u,$$

что привело его к заключению, что второй фокус совпадает с A . Таким образом, были выяснены основные свойства огибающей траекторий частиц.

Млодзеевский вывел также формулы для вычисления координат ψ , ρ точки касания траектории частицы с огибающей поверхностью

$$\operatorname{tg} \frac{\psi}{2} = \frac{h}{2} \operatorname{tg} \vartheta, \quad (11)$$

$$\rho = \frac{u(4 + h^2 \operatorname{tg}^2 \vartheta)}{(2 - h)(2 + h \operatorname{tg}^2 \vartheta)}. \quad (12)$$

Здесь ϕ — угол между радиусом-вектором точки касания и осью OA .

Был проведен подробный анализ изменения вида огибающей кривой с изменением h . Так, например, для случая эллиптических орбит, наиболее интересного с точки зрения бредихинской теории, было установлено, что огибающие эллиптических орбит также будут эллипсами, размеры которых возрастают с возрастанием h .

Из уравнения (12) можно получить соотношение

$$\operatorname{tg}^2 \vartheta < \frac{2}{|h|}. \quad (13)$$

Уравнение (13) дает возможность судить о взаимном расположении орбиты частицы и ее огибающей.

При ϑ , не превосходящем $\sqrt{\operatorname{arctg} \frac{2}{|h|}}$, траектория частицы касается огибающей, при дальнейшем возрастании ϑ траектории будут располагаться внутри огибающей, не касаясь ее.

Работа Н. Е. Жуковского. В том же томе Математического сборника, где была напечатана статья Млодзеевского, появилась статья Н. Е. Жуковского «Замечание по поводу предыдущей статьи г. Млодзеевского» (II, 1956), в которой давалось геометрическое доказательство основного положения Млодзеевского о свойствах огибающей.

На основании (6) и $p = nh \sin^2 \vartheta$ было составлено соотношение

$$1 - e^2 = \frac{2 - h}{u} p.$$

Подставив сюда значения $e^2 = \frac{a^2 \mp b^2}{a^2}$, $p = \frac{b^2}{a}$, Жуковский нашел, что

$$\pm \frac{1}{a} = \frac{2 - h}{u}.$$

Здесь h , u — постоянные, значит правая часть уравнения — величина постоянная. Следовательно, все траектории должны иметь одинаковую фокальную полуось a .

Доказательство Жуковского было построено на замечании Якоби о том, что два бесконечно близких эллипса

с равной фокальной полуосью и общим фокусом имеют точку пересечения, лежащую на хорде, проходящей через второй фокус.

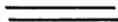
Таким образом, это доказательство затрагивало только случай эллиптических орбит, однако Жуковский отметил, что замечание Якоби распространяется и на гиперболы.

Доказательство заключалось в следующем: пусть T — точка огибающей (рис. 11). Через эту точку проводится касательная CD к огибающей, которая в то же время будет и касательной к соответствующим бесконечно близким между собой траекториям частиц.

Согласно замечанию Якоби, эллиптическая траектория и огибающая будут пересекаться в точках A и T , лежащих на хорде AT , проходящей через другой фокус F .

В случае эллиптических траекторий $\angle OTC = \angle FTD$; огибающая будет эллипсом с фокусами в точках O и A .

Для гиперболических траекторий $\angle OTC = \angle FTS$, огибающая будет эллипсом или гиперболой с теми же фокусами.



Глава V

ИЗУЧЕНИЕ ЗВЕЗД И ТУМАННОСТЕЙ

Уделяя много времени исследованию комет и метеорных потоков, Ф. А. Бредихин не мог пройти и мимо других интересных в астрофизическом смысле объектов — звезд и туманностей. И в данном случае, как всегда, его прежде всего интересовала физическая природа этих небесных тел. Поэтому его внимание привлекли туманности и звезды, имеющие какие-либо особенности — кратность, заметное собственное движение, переменность, вспышки яркости и т. п. Этим вопросам Бредихин не посвящал специальных научных исследований, однако, затронул их в речи «О физических переменах в небесных телах» (I, 175) и неоднократно касался их в своих популярных лекциях.

1. Переменные звезды

Особый интерес, по мнению Бредихина, представляли переменные звезды, систематические фотометрические наблюдения которых начались с середины XIX в. по инициативе Ф. Аргеландера (1799—1875 гг.) и привлекли к себе внимание широких масс специалистов и любителей астрономии. По мнению Бредихина, всестороннее изучение переменных звезд должно было дать сведения о их физической природе, так как он считал, что переменность «более физического, чем механического свойства» (I, 25, стр. 18). Бредихин придавал большое значение изучению кривой блеска, но полагал, что эти наблюдения необходимо дополнить исследованиями спектра переменных звезд. Это приведет к заключениям о состоянии вещества «в глубине небесных пространств» (I, 25, стр. 18).

С этой точки зрения интересно было исследовать и Солнце, которое, покрываясь пятнами то в большей, то в меньшей степени, тоже могло считаться как бы переменной звездой. Так как в то время астрофизические исследования небесных тел только начинались, Бредихин считал наиболее важным прежде всего изучить Солнце — ближайшую к нам звезду, а затем уже перейти к исследованию звезд. Однако он всячески поддерживал исследования переменных звезд и, в частности, фотометрические наблюдения, интерес к которым ему удалось пробудить у В. К. Цераского.

Инициатива Бредихина была подхвачена его учениками и прежде всего такими выдающимися, как Цераский и Белопольский. Первый из них много времени посвятил открытиям и наблюдениям переменных звезд, создав знаменитую Московскую школу исследователей переменных звезд (II, 71). Белопольский дополнял фотометрические работы Цераского спектроскопическим изучением переменных звезд, в том числе Алголя, а также новых звезд и цефеид — этих маяков Вселенной (II, 50).

2. Двойные звезды

Говоря о важности изучения переменных звезд, Бредихин неоднократно отмечал, что переменность не является принципиальным свойством этих звезд, а зависит лишь от способа, которым мы обнаруживаем происходящие в них изменения. Он писал, что такая звезда «тогда только может представлять нам явления периодически изменяющейся яркости, когда ось ее вращения примерно перпендикулярна к направлению линии зрения» (I, 20, стр. 115). Однако явления переменности могут иногда вызывать не вращение ее или периодическое вспыхивание (новые и сверхновые звезды, цефеиды), а простое орбитальное движение компонентов кратной или двойной системы вокруг общего центра тяжести.

Именно такой характер имеет переменность Алголя (β Персея), о которой Бредихин писал: «Алголь. . . может быть переменным оттого, что около него обращается слабее его светящееся или совсем темное тело» (I, 20, стр. 115—116).

Алголь в то время был наиболее хорошо изученной переменной звездой. Его переменность была открыта Монта-

нари еще в 1667 г. Дж. Гудрайк (1783 г.) впервые выдвинул гипотезу о том, что это — двойная звезда, состоящая из яркого и темного компонентов. Периодическое затмение яркого компонента вращающимся около него темным и вызывает изменения блеска Алголя. Из многочисленных сравнений блеска в минимуме и максимуме к середине XIX в. были даже выведены элементы предполагаемой двойной звезды, однако непосредственно обнаружить слабый компонент не удавалось. Прямое разрешение Алголя на двойную звезду считалось невозможным для разрешающей силы самых мощных телескопов того времени (II, 45).

Заинтересовавшись вопросом о переменности Алголя, Бредихин решил обнаружить невидимую компоненту этой затменной переменной по неправильностям в движении главной звезды β Персея. Именно так Ф. Бессель предсказал в 1848 г. существование невидимого спутника Сириуса (α Большого Пса), который был обнаружен А. Кларком в 1862 г. при испытании нового мощного телескопа.

С этой целью Бредихин начал в 1877 г. на 10% рефракторе Московской обсерватории измерения положений звезд группы Персея (I, 83), а затем в 1878 г. и Алголя (I, 107). Однако работы не дали желаемого результата. Бредихин пришел к выводу, что «... смещения Алголя, если они существуют в действительности, должны быть нечувствительны, и для того, чтобы открыть их, нужно было бы удешевить подобные измерения» (I, 107, стр. 152). Только в 1889 г. Г. Фогель (1841—1907 гг.) обнаружил, наконец, орбитальное движение этой звезды спектральным путем (по изменению лучевой скорости Алголя), доказав, что она двойная.

Работы Бредихина по изучению наиболее интересных с астрофизической точки зрения звезд были дополнены аналогичными наблюдениями звезд, имеющих собственное движение, проводившихся по его поручению Белополюским и Соколовым на меридианном круге в 1878—1879 гг. (II, 157). Все эти работы показывают, что при изучении физических свойств небесных тел Бредихин умело пользовался самыми разнообразными методами исследования, в том числе и методами точной астрометрии.

Исследования Бредихина и его учеников, связанные с изучением орбитального движения Алголя и других звезд, значительно повысили их интерес к методам опре-

деления орбит двойных звезд. К этим работам был привлечен и Млодзеевский, разработавший простой геометрический способ определения истинных орбит визуально-двойных звезд. Его статья была опубликована в 1890 г. в *Анналах Московской обсерватории*.

Работа Б. К. Млодзеевского

Определение истинных орбит двойных звезд по видимому эллипсу и положению главного компонента стало возможно после работ Г. Дарбу и Г. Альфана, которые в 1877 г. доказали, что главная звезда должна находиться в фокусе истинного эллипса спутника. Из наблюдений определяется видимая орбита (эллипс) спутника относительно главной звезды. Плоскость видимого эллипса

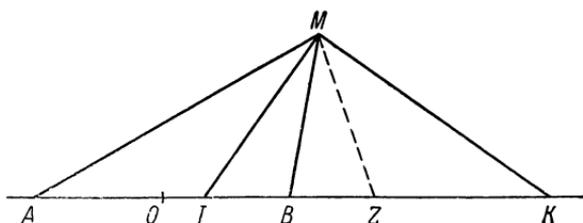


Рис. 12.

обычно наклонена к лучу зрения Земли—главная звезда, так что наблюдения дают центральную проекцию орбиты и фокуса эллипса на небесную сферу. При больших расстояниях звезд от Земли можно заменить проекцию орбиты на небесную сферу проекцией на касательную плоскость, а центральную проекцию — ортогональной. Тогда задача Млодзеевского сведется к следующей проблеме: «Дана ортогональная проекция эллипса и один из его фокусов; определить форму спроектированного эллипса и его наклонение к плоскости проекции» (II, 158, стр. 168). Решение Млодзеевского основано на свойстве гармонических точек пересечения сторон и биссектрис угла. Пусть имеем (рис. 12): $\angle AM\Phi$, где IM — внутренняя биссектриса $\angle AMB$; MK — внешняя биссектриса $\angle AMB$. Точки A, B, I, K называются гармоническими. Если точка O — середина AB , то на основании свойства гармонических точек получаем: $OI \cdot OK = OA^2 = OB^2$. Отсюда

можно найти положение фокусов A, B истинного эллипса. Соединив главную звезду A с фокусами E, F видимого эллипса, получим $\angle EAF$, внешняя биссектриса которого

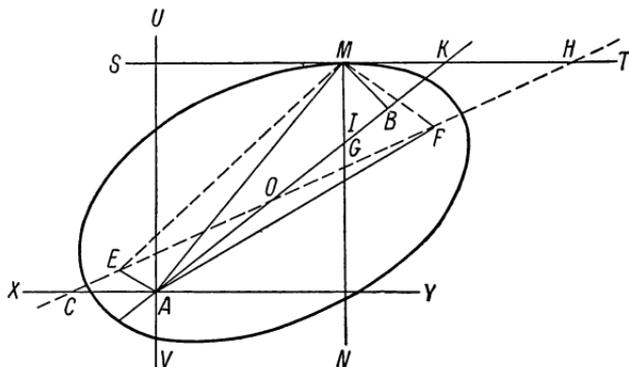


Рис. 13.

(AB) будет параллельна линии узлов истинного эллипса. Центр этого эллипса находится следующим построением (рис. 13, 14): продолжив диаметр видимого эллипса cd

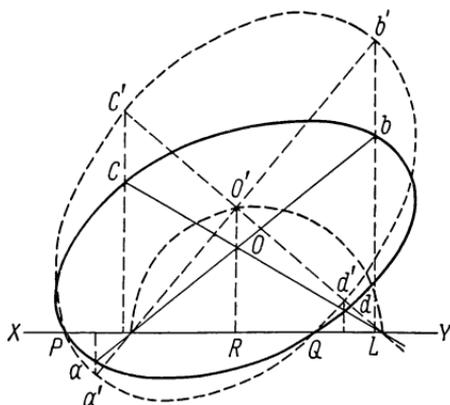


Рис. 14.

до пересечения с осью проекции XU , получим точку пересечения L . На AL , как на диаметре, описываем полуокружность. Точка O' пересечения продолжения $RO \times (RO \perp XU)$ и будет центр истинного эллипса. Наклон i плоскости истинного эллипса к видимому определится

соотношением $\cos i = \frac{RO}{RO'}$. Таким образом, по-видимому эллипсу и одному из его фокусов A можно построить истинную орбиту спутника относительно главной звезды.

Метод Млодзеевского ввиду своей простоты нередко привлекал внимание современных исследователей (II, 159). В 1954 г. советским ученым П. Г. Куликовским был предложен новый простой метод для определения элементов орбит визуально-двойных звезд с использованием способа Млодзеевского для определения направления линии узлов (II, 160).

Работы П. К. Штернберга и Б. П. Модестова

Проявляя большой интерес к изучению орбитального движения двойных и кратных звезд, Бредихин придавал большое значение астрофотографии в решении этого вопроса (I, 25, стр. 5). Поэтому он прилагал все усилия к развитию на Московской обсерватории этого метода исследования. Систематическое фотографирование Солнца, а с 1883 г. и звезд, начатое Белополюским, позволило хорошо его освоить. Вполне естественно, что когда был установлен подходящий для астрофотографических целей инструмент (уже после переезда Бредихина в Пулково, в 1896 г.), здесь сразу же начались работы по фотографированию двойных звезд (их проводил Штернберг). Так как работы по астрофотографии уже упоминались выше (в главе II), нет необходимости останавливаться на них подробнее. Следует только отметить, что работы Штернберга повысили интерес к методам вычисления орбит двойных звезд. В связи с этим Модестов поместил в *Анналах Московской обсерватории* две статьи (II, 161, 162) с изложением методов И. Ф. Энке (1791—1865 гг.) и М. А. Ковальского (1821—1884 гг.). Таким образом, и начинание Бредихина в области изучения двойных звезд получило дальнейшее развитие в работах его учеников. Он постоянно был в курсе этих исследований и всемерно их поддерживал.

3. Изучение спектров планетарных туманностей

Исследование спектров планетарных туманностей начал В. Хеггинс (1824—1910 гг.) в 1864 г. Он обнаружил в спектре туманности NGC 4373 три характерные «небу-

лярные» линии планетарных туманностей. Самую яркую линию Хеггинс приписал азоту (N_2), самую слабую — водороду $F(H_\beta)$. Для средней линии не удалось найти соответствующих аналогов из известных на Земле (I, 62).

Относительно физической природы туманностей высказывались различные предположения. Так, Н. Локьер (1826—1920 г.) считал, что планетарные туманности являются объектами с низкой температурой и давлением, при которых и могут наблюдаться три небулярные линии. А. Секки рассматривал планетарные туманности как объекты с очень высокой температурой, которые вследствие большой удаленности от наблюдателя и недостаточной светосилы инструментов дают только наиболее яркие линии. Поэтому, увеличив светосилу, можно обнаружить и более слабые линии.

В 1878 г. Г. Фогель измерил положение линий в спектре девяти планетарных туманностей. С 1872 г. В. Хеггинс возобновил наблюдения на $15''$ рефракторе.

Бредихин начал наблюдения пятого августа 1875 г. (I, 76). Им были проведены две серии наблюдений. Первая с 5 августа по 5 октября 1875 г., вторая — с 23 августа по 9 сентября 1876 г.⁷¹ Наблюдения проводились на $10\frac{1}{2}$ рефракторе, на который монтировался спектроскоп Мерца с микрометром. Методика измерений в основном осталась той же, как и при изучении кометных спектров, однако теперь было введено при наблюдениях регулярное изменение температуры воздуха с точностью до $0^\circ 1R$. В первой серии наблюдений коллиматорными линиями служили линии водорода $C(H_\alpha)$ и $F(H_\beta)$. В 1876 г. коллиматорные линии получались от сжигания полоски магния. В солнечном спектре измерялись две линии железа ($\lambda = 5005.1 \text{ \AA}$ и $\lambda = 4956.9 \text{ \AA}$), линия магния b и линия $F(H_\alpha)$ водорода. Результаты всех измерений были сведены к среднему спектру. Более тщательные измерения и учет условий наблюдения позволили Бредихину получить весьма высокую для визуальных измерений точность. В табл. 4 приведены для сравнения результаты измерений Ф. А. Бредихина, В. Хеггинса, Г. Фогеля и современные данные.

⁷¹ Эти работы Бредихина были подробно изучены О. А. Мельниковым (II, 6), поэтому ниже приводится только краткое изложение результатов.

Т а б л и ц а 4

Первые измерения спектров планетарных туманностей

Ф. А. Бредихин	Г. Фогель	В. Хёггинс	Современные данные
5003.9 ± 1.2 Å	5005.0 Å	5004.0 Å	5006.84 Å
4957.9 ± 1.4	4960.0	4957.0	4958.91
4859.2 ± 3.1	4862.0	4556.6	4861.33
5004.9	—	—	—
4967.7	—	—	—

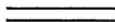
Две наиболее яркие небулярные линии Бредихин приписал железу, третью — водороду. Действительно, длины волн этих линий (5004.9 Å и 4956.7 Å) довольно хорошо совпадали с двумя линиями железа (5005.1 Å и 4956.9 Å). Остальные линии железа, по мнению Бредихина, были ослаблены при прохождении через мировое пространство и земную атмосферу и стали незаметными (I, 76, стр. 126). В настоящее время выяснено, что две наиболее яркие небулярные линии принадлежат дважды ионизированному кислороду O III, третья — водороду (H_{β}). Таким образом, отождествление Бредихина оказалось неправильным, однако его пионерские исследования спектров планетарных туманностей дали первые точные положения небулярных линий. Точность визуальных наблюдений Бредихина следует признать очень хорошей по сравнению с современными определениями, выполненными фотографически.

Таким образом, очевидно, что работы Бредихина по изучению спектров планетарных туманностей внесли большой вклад в изучение этих объектов.

Весьма интересно замечание Бредихина об универсальном характере отталкивательной силы, подобной той, которая действует в хвостах комет. В письме к Б. Н. Чичерину (1828—1904 гг.)⁷² от 2 марта 1889 г. он писал (II, 125): «Отталкивательная сила, — вероятнее всего элек-

⁷² Б. Н. Чичерин — юрист, историк и философ, видный деятель либерального движения. В 1861—1868 гг. был профессором Московского университета. Исполнял обязанности библиотекаря в Обществе любителей естествознания, антропологии и этнографии.

тричество, — играет огромную роль во вселенной, но действие ее обнаруживается только на вещество, доведенное до последней степени разрежения, каково вещество кометных хвостов. Потому тут только и исследована эта сила. В туманностях, вероятно, тоже играет она роль, но мы изменений в них еще не успели узнать, а потому по-дождем несколько столетий, да и фотография поможет». Как видно, эти слова Бредихина, сказанные до начала исследований Лебедева о световом давлении, предвосхищали его утверждение об универсальной роли светового давления в космических процессах. Бредихин правильно угадал важную роль отталкивательных сил (светового давления в современном понимании) в развитии туманностей.



Глава VI

ИССЛЕДОВАНИЕ СОЛНЦА

1. К истории вопроса

Как самое большое и яркое тело солнечной системы, поверхность которого доступна изучению даже при небольшом увеличении, Солнце явилось первым объектом астрофизического исследования. Пионерами изучения Солнца спектральным, фотографическим и фотометрическим методами были Дж. Локьер (Англия), П. Ж. Жансен (Франция), Ф. Цёлльнер (Германия), Ч. Юнг (Америка), А. Секки (Италия), Ф. А. Бредихин (Россия).

Спектроскопические наблюдения Солнца начались после того, как в 1868 г. Локьер и Жансен независимо друг от друга разработали метод внеатмосферного наблюдения протуберанцев. Как известно, этот метод основан на различии свойств монохроматического и непрерывного спектров. При увеличении дисперсии спектроскопа яркость непрерывного спектра быстро падает, тогда как яркость монохроматического спектра практически не изменяется. Таким образом, направляя щель спектроскопа радиально и тангенциально к солнечному диску так, чтобы она частично накладывалась на диск Солнца и на протуберанец, и увеличивая дисперсию спектроскопа, удалось добиться того, что яркая линия протуберанца (практически монохроматическая) стала отчетливо видна на фоне ослабленного непрерывного спектра Солнца и излучения неба.

Первыми наблюдателями протуберанцев по этому методу были сами его изобретатели. С 1869 г. подобные же наблюдения проводились в Италии (А. Секки, Л. Респиги, П. Таккини, Дж. Лоренцони и др.), России (Б. Я. Швейцер, Ф. А. Бредихин) и других странах. Расширение круга исследователей привело к необходимости объеди-

нить их усилия и организовать наблюдения по единой программе. А так как наиболее многочисленными были итальянские наблюдатели, то они и организовали в 1872 г. Итальянское общество спектроскопистов, которое главной целью своих работ признало изучение проблем, «касающихся физики Солнца» (II, 48, стр. 4). Это общество установило разработанную Секки программу обязательных наблюдений Солнца, которая была принята всеми наблюдателями мира. В 12 пунктах этой программы предусматривались самые тщательные наблюдения, измерения и зарисовки протуберанцев, факелов, пятен, выступов, гранул и других деталей, видимых на Солнце. Признавалось также необходимым изучение спектров этих объектов и выяснение связи между ними. Рекомендовалось обстоятельно описывать условия наблюдений и следить за появлением полярных сияний, для того чтобы выяснить существование зависимости между солнечной деятельностью и полярными сияниями. Кроме того, предлагалось систематически измерять диаметр Солнца, чтобы установить, изменяется он в течение солнечного цикла или нет. Оставалось также неясно, как влияет увеличение инструмента на вид и форму изучаемых объектов, что имело важное значение при объединении наблюдений различных лиц, выполненных на разных инструментах.

Все эти вопросы волновали итальянских астрофизиков как раз во время пребывания Ф. А. Бредихина в Италии (1868 г.). Личное знакомство с ведущими итальянскими астрофизиками, среди которых были и будущие основатели Итальянского общества спектроскопистов — А. Секки и П. Таккини, позволило Бредихину не только в совершенстве овладеть новым спектроскопическим методом исследования, но и, как можно предполагать, познакомиться с проектом программы Секки.

2. Организация фотогелиографических и спектроскопических наблюдений Солнца в России

Как отмечалось в главе II, пионерами изучения Солнца в России были астрономы Виленской обсерватории. М. М. Гусев, Е. Е. Саблер и фотограф В. Захарчин⁷³ начали первые фотогелиографические наблюдения

⁷³ ААН СССР, ф. 17, оп. 1, № 66, л. 103.

в 1864 г., однако, из-за плохой установки фотогелиографа работы пришлось прекратить (II, 163). Систематическое фотографирование Солнца проводилось с 1868 по 1876 г. В этих работах принимали участие П. М. Смыслов, Ф. К. Берг и фотограф обсерватории И. М. Суворов (II, 34). Кроме того, Солнце изучалось визуально на 6" рефракторе с гелиоскопом, а в 1871 г. были проведены пробные наблюдения солнечного спектра. Однако сотрудники обсерватории не сумели овладеть сложной техникой спектроскопических наблюдений, и в дальнейшем эти наблюдения не проводились.

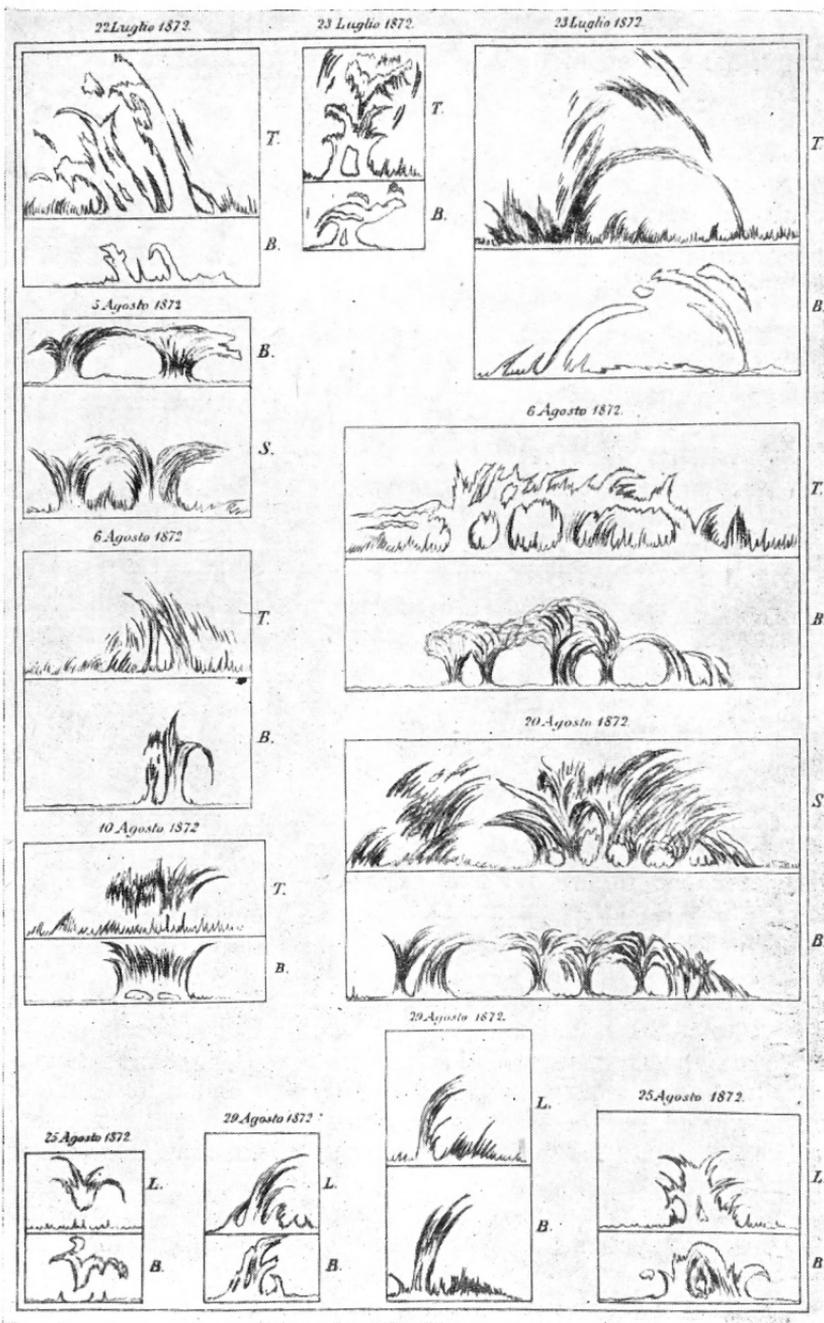
Первые удачные спектроскопические наблюдения Солнца были начаты Б. Я. Швейцером в 1868 г. на Московской обсерватории. К сожалению, результаты этих работ не были опубликованы. Не удалось осуществить и одновременные спектроскопические наблюдения Солнца, которые Бредихин и Швейцер предполагали провести летом 1869 г. Швейцер должен был наблюдать на 10,5 рефракторе в Москве, а Бредихин просил Совет Московского университета отправить его с небольшим переносным инструментом вглубь России. До сих пор в литературе отмечалось (II, 8, 73), что цель этих наблюдений неясна. Однако, если сравнить их с аналогичными наблюдениями итальянских астрофизиков, проведенными в 1871 г., которые преследовали вполне определенную цель — выяснить, как влияет увеличение инструмента на вид и форму различных образований на Солнце (II, 164), то обнаруживается удивительное сходство этих наблюдений. Обычно считалось, что инициатива первых в России спектроскопических наблюдений Солнца принадлежит Швейцеру. Однако, судя по той энергии, которую проявил Бредихин при их организации, основная идея этих наблюдений принадлежит именно ему. Весьма вероятно, что по возвращении из Италии, где обсуждались планы проведения таких работ, Бредихин решил организовать их в России, опередив, таким образом, своих итальянских коллег на 2 года.

Не случайно, что и Швейцер начал свои первые спектроскопические работы именно в год возвращения Бредихина из научной командировки в Италию, где проводились такие исследования. По-видимому, сообщения Бредихина об этих наблюдениях побудили Швейцера повторить их на Московской обсерватории. Серьезные работы были на-

чаты только в 1872 г. Так как использовать для этих наблюдений инструменты Московской обсерватории в директорство Швейцера было невозможно, Бредихин купил на средства, полученные от чтения популярных лекций, 4'' рефрактор Мерца (диаметр объектива — 108 мм, фокусное расстояние — 1.3 м). Приспособив к нему спектроскоп прямого зрения с микрометром, он начал систематические спектроскопические наблюдения Солнца во время летних каникул, в имени своей жены «Погост», под Кинешмой. Эти наблюдения проводились строго по программе Секки и продолжались в течение 11 лет (I, 27—36). Результаты наблюдений 1874 г. в изложении Таккини были напечатаны во II томе Мемуаров Общества итальянских спектроскопистов (II, 163). Сравнив наблюдения и зарисовки Бредихина с наблюдениями и зарисовками, одновременно с ним выполненным и в Италии Секки, Таккини и Лоренцони, Таккини установил их определенное тождество. На основании анализа всех наблюдений был сделан вывод что «. . . протуберанцы по своей сложной форме можно считать идентичными на четырех инструментах Палермо, Рима, Падуи и Кинешмы» (II, 165, стр. 85). Для сравнения приведены зарисовки Секки (S.), Таккини (T.) и Лоренцони (L.), выполненные на больших инструментах итальянских обсерваторий, а также зарисовки Бредихина (B.) на 4'' рефракторе его «летней» обсерватории (см. стр. 163).

Таким образом, в результате совместных работ итальянских астрофизиков и их русского коллеги была окончательно установлена независимость вида, формы, высоты, направления и позиционного угла протуберанцев от увеличения инструмента. При этом тщательность наблюдений Бредихина и точность его зарисовок получили высокую оценку итальянских спектроскопистов. По словам Таккини «синьор Бредихин» должен был быть «очень доволен. . . результатом своей первой попытки зарисовок со спектроскопом» (II, 165, стр. 85).

Дальнейшие наблюдения Бредихина регулярно печатались как в Мемуарах, так и в Анналах Московской обсерватории. С марта 1874 г. они были перенесены на Московскую обсерваторию. Теперь для наблюдений использовался большой 10⁵ рефрактор с универсальным спектроскопом Мерца. Кроме того, здесь было организовано изучение солнечных пятен — сперва визуально (при по-



Наблюдения протуберанцев (зарисовки Ф. А. Бредихина, А. Секки, Дж. Лоренцони, П. Таккини).

мощи гелиоскопа Мерца с нитяным микрометром), а затем (с 1875 г.) и фотографически (на фотогелиографе Дальмейера). Фотогелиографические работы были поручены В. К. Цераскому (II, 55), который еще в 1871 г. ездил в Вильно обучаться методике этих наблюдений (II, 37). С лета 1877 г.⁷⁴ эти наблюдения были переданы А. А. Белопольскому (II, 166), который и продолжал их непрерывно до 1885 г.

В 1880—1883 гг. Белопольский провел две серии измерений диаметра солнечного диска по полученным им фотопластинкам (II, 56). Эти работы доказали пригодность фотографии для точных астрометрических измерений.

Всесторонние наблюдения Солнца, организованные Бредихиным на Московской обсерватории, дополнялись регулярными наблюдениями полярных сияний и изучением местных погодных условий. Так, введенные Бредихиным «таблицы облачных дней» систематически печатались в Анналах Московской обсерватории с 1874 г. Все эти данные позволяли изучать влияние солнечной деятельности на появление полярных сияний и изменение погоды.

3. Разработка теории движения солнечных пятен и лучей короны

По мере накопления наблюдений, выполнявшихся в основном по программе Секки, на Московской обсерватории проводилась и их теоретическая обработка. Когда Бредихин начал свои наблюдения Солнца, наиболее распространенными гипотезами, объясняющими возникновение, развитие и периодичность солнечных пятен, были гипотезы Секки и Цёлльнера. Первая из них исходила из представления о газообразном строении Солнца, вторая — рассматривала Солнце как огненно-жидкий шар. Предпринимались также попытки объяснить возникновение и периодичность пятен электрическим или магнитным воздействием планет, в первую очередь Юпитера (Цёлльнер, Вильзинг).

После первых же лет наблюдений, в 1873 г., Бредихин подтвердил установленное ранее Секки чередование пе-

⁷⁴ Цераский заболел, и Бредихин отправил его на юг — в свое родовое имение под г. Николаевым.

риодов активности и покоя в солнечной деятельности, а также деление протуберанцев на водородные и металлические. В то же время он высказал и свои представления о физической природе Солнца. Так, он решительно отказался от гипотезы Цёлльнера об огненно-жидком строении Солнца, которую раньше считал весьма правдоподобной. Вместе с тем была подвергнута критике и попытка связать периодичность солнечных пятен с электромагнитным влиянием планет.⁷⁵ Бредихин писал: «Хотя простые физические объяснения образования пятен и их периодичности могут иметь некоторые темные места, лучше остаться в сфере подобных объяснений, пытаясь выяснить сомнительные пункты, чем прибегать к электрическим и магнитным действиям планет» (I, 30, стр. 26). Интересно отметить, что в этом отношении его взгляды совпадали с мнением Секки, который считал введение электромагнитного влияния планет недостаточным для объяснения периодичности пятен (II, 45, стр. 309).

Критикуя гипотезу Цёлльнера, Бредихин отметил и ее положительную сторону — стремление объяснить все явления на Солнце, исходя из известных физических законов. Именно этим она и привлекала к себе внимание теоретиков. Бредихин задался целью построить такую теорию образования и движения солнечных пятен, которая соответствовала бы наблюдательным данным и в то же время сохранила бы стройность и логичность цёлльнеровской гипотезы. В 1873 г. он кратко высказал свои представления о физической природе Солнца и явлений, наблюдавшихся на его поверхности. Бредихин писал: «Нам кажется, что теория восходящих и нисходящих потоков способна объяснить образование и развитие факелов и пятен» (I, 28, 1882 г., стр. 64). Позднее эта гипотеза была изложена более подробно. В ее основу, как и раньше, была положена циркуляция восходящих и нисходящих потоков газа над солнечной поверхностью. Предполагалось, что атмосфера Солнца главным образом состоит из водорода, а в нижних ее слоях расположены металлические пары. Нижние слои фотосферы, нагреваясь у поверхности Солнца, поднимаются вверх, постепенно охлаждаясь и

⁷⁵ В настоящее время рядом авторов вновь были предприняты не получившие признания попытки установить влияние больших планет на солнечную активность (II, 167).

рассеиваясь. В местах скопления таких восходящих потоков и возникают пятна.

Объясняя движения материи, наблюдаемые внутри пятен, Бредихин писал: «Легко видеть, что восходящие и нисходящие движения газов превратятся затем в круговые движения, которые над самым пятном будут направлены от центра к периферии, а выше — будет иметь место обратное» (I, 28, 1882 г., стр. 65). После установления круговых потоков пятно может существовать довольно долго, и контуры его становятся определенными. Когда температура окружающих масс газов и ядра пятна сравниваются, атмосфера возвращается в прежнее спокойное состояние, и пятно исчезает.

Преимущественное возникновение пятен у экватора и перемещение их от экватора к полюсам Бредихин объяснял следующим образом. Вследствие вращения Солнца и его сплюснутости слой солнечной атмосферы у экватора толще, чем у полюсов. Поэтому именно в экваториальной зоне, где выравнивание температур близлежащих слоев замедлено, и возникают восходящие потоки, а затем и пятна. «Вихри», возникшие над солнечной поверхностью на экваторе, начинают перемещаться в те области, где помех их движению меньше, т. е. к полюсам. У полюсов слой атмосферы тоньше, разность температур ее слоев быстрее уравнивается, и пятно прекращает свое существование. Гипотеза Бредихина, разработанная им сначала на основании качественных представлений, получила дальнейшее количественное развитие в работах Н. Е. Жуковского и А. А. Белопольского. Эти работы представляют определенный интерес, поэтому на них следует остановиться подробнее.

*Работа Н. Е. Жуковского о движении
солнечных пятен*

Среди специалистов по гидродинамике широко известна книга Жуковского «О движении твердого тела, имеющего полости, наполненные однородной капельной жидкостью» (II, 168). Эта работа, опубликованная в 1885 г., по представлению физико-математического факультета Московского университета (при участии Бредихина) была удостоена премии имени Брашмана. В этом же труде Жуковский дал и ряд приложений к решению астрономических

проблем, разрабатывавшихся в то время на Московской обсерватории. В частности, было дано приложение к вопросу о движении солнечных пятен.

Изучив вращение вокруг неподвижной оси тела, содержащего в своей шаровой полости жидкость, Жуковский вывел формулы для вычисления скоростей движения частиц жидкости и иллюстрировал свои теоретические заключения специальным экспериментом. Если предположить, что вращение полости происходит вокруг диаметра, параллельного оси вращения, и принять этот диаметр за ось полярной системы координат, то скорости по радиусу, по меридиану и угловую скорость можно представить в виде

$$\frac{dr}{dt} = q, \quad \frac{d\theta}{dt} = \vartheta, \quad \frac{d\varphi}{dt} = 0,$$

где r — радиус-вектор частицы, θ — полярный угол, φ — долгота.

При учете трения между частицами жидкости к полученным выше скоростям соответственно добавляются члены

$$\frac{dr}{dt} = 0, \quad \frac{d\theta}{dt} = 0, \quad \frac{d\varphi}{dt} = \psi,$$

где $\psi = \psi(r)$, т. е. предполагается, что внутреннее трение пропорционально относительной линейной скорости. Вводя для частных производных скоростей q и ϑ по времени обозначения

$$\frac{\partial q}{\partial t} = q', \quad \frac{\partial \vartheta}{\partial t} = \vartheta',$$

Жуковский получил для определения этих скоростей следующие уравнения (II, 168, стр. 163—164):

$$q' = (3 \sin^2 \theta - 2) r \left\{ \frac{1}{r^5} \int_0^r \psi^2 r^4 dr - \frac{1}{a^5} \int_0^a \psi^2 r^4 dr \right\}, \quad (1)$$

$$\vartheta' = \sin 2\theta \left\{ \frac{\psi^2}{2} - \frac{1}{r^5} \int_0^r \psi^2 r^4 dr - \frac{3}{2a^5} \int_0^a \psi^2 r^4 dr \right\}, \quad (2)$$

где a — радиус шаровой полости.

Исследование уравнений (1), (2) показало, что при одинаковом радиусе r линейная скорость частиц жидкости вдоль радиуса q и скорость вдоль меридиана ϑ изменяются прямо пропорционально выражениям: $3 \sin^2 \theta - 2$ и $\sin 2\theta$. Следовательно, на полярной оси ($\theta = 0^\circ$) и на экваторе ($\theta = 90^\circ$) скорость $\vartheta = 0$, а при $\theta = 45^\circ$ она достигает максимума. Скорость q обращается в ноль на том радиусе, для которого $\sin \theta = \sqrt{\frac{2}{3}}$, т. е. $\theta = 54^\circ 44' 8''$.

Положив в уравнении (2) $r = a$, где a — радиус шаровой полости, Жуковский получил формулу для вычисления скорости по меридианам на поверхности жидкого шара (II, 168, стр. 164)

$$\vartheta'_a = \sin 2\theta \left(\frac{\psi_a^2}{2} - \frac{5}{2a^5} \int_0^a \psi^2 r^4 dr \right). \quad (3)$$

Из (3) следует, как писал Жуковский, что «... в случае возрастания среднего квадрата угловой скорости от центра к поверхности жидкость течет от полюса к экватору, а в случае его убывания — от экватора к полюсу» (II, 168, стр. 165). Этот вывод имел важное значение для изучения закона движения солнечных пятен. Эксперимент Жуковского, подтверждавший такое заключение, состоял в следующем: в стеклянный шар, наполненный водой, помещались мелкие водоросли, плотность которых близка к плотности воды. Установив шар на центробежной машине, Жуковский наблюдал движение водорослей, взвешенных в воде. Вот как он описывал свои наблюдения: «Когда шар из покоя приводился во вращательное движение, и, следовательно, угловая скорость шла, убывая от поверхности к центру, водоросли двигались от полюса к экватору; когда же шар сначала был приведен в быстрое вращение, а потом остановлен, так что угловая скорость шла, убывая от центра к поверхности, то замечалось движение водорослей от экватора к полюсам» (II, 168, стр. 165). Выводы Жуковского были использованы Белополюским в его магистерской диссертации (II, 169), а затем и в других работах (II, 50, стр. 61—67).

*Работы А. А. Белопольского о движении
солнечных пятен*

Материалом для магистерской диссертации Белопольского послужили фотогелиографические наблюдения, выполненные на Московской и Гринвичской обсерваториях. На основании этих данных Белопольский проверил и подтвердил правильность гипотезы Бредихина о циркуляции потоков на Солнце в связи с образованием и движением солнечных пятен и правильность теоретических выводов Жуковского, подкреплявших эту гипотезу. Бредихин дал высокую оценку работе Белопольского. В своем отзыве, представленном физико-математическому факультету Московского университета, он писал: «Труд г. Белопольского по своей полноте, по добросовестному критическому отношению к фактам и воззрениям и по ценной самостоятельной части материала наблюдений займет видное место в астрономической литературе. . .» (II, 170).

Обработывая материалы наблюдений (в магистерской диссертации, а затем и в других работах) по формулам, выведенным Жуковским, Белопольский подтвердил их правильность и показал плодотворность установленной аналогии между циркуляцией в жидкой сфере и движением пятен на поверхности Солнца. Он повторил также и эксперимент Жуковского, правда, с некоторыми изменениями. В частности, водоросли были заменены частичками стеарина, а на стеклянный шар нанесена координатная сетка, при помощи которой удалось непосредственно измерить угловые скорости вращения на разных широтах и, таким образом, изучить закон движения солнечных пятен на лабораторной модели.

Сравнение астрономических наблюдений с лабораторными показало, что между этими явлениями очень много общего. Конечно, Бредихин, Жуковский и Белопольский прекрасно понимали, что аналогия между движением солнечных пятен и частичками стеарина не является тождеством, однако использование такой аналогии на первом этапе построения теории движения солнечных пятен оказалось вполне оправданным. Так как работы Белопольского в этом отношении довольно подробно освещены О. А. Мельниковым (II, 50), нет необходимости дольше на них останавливаться.

*Работа Ф. А. Бредихина о структуре и динамике
лучей короны*

Большой интерес представляет статья Бредихина «О солнечной короне», которая нередко привлекала внимание исследователей (I, 189). Она была напечатана в 1898 г. в Известиях Петербургской Академии наук. Бредихин изучил обширный наблюдательный материал относительно протуберанцев и пятен, а также измерения фотографии солнечной короны, сделанных во время затмений.⁷⁶ На основании этого он предложил оригинальную теорию строения короны и метод ее изучения, а также попытался выяснить вопрос о взаимосвязи короны с протуберанцами и пятнами.

Хотя наблюдений было еще недостаточно, Бредихин правильно угадал тесную связь корональных извержений с хромосферными выступами и отсутствие непосредственной связи между короной и пятнами. Он писал: «... в трех группах явлений — пятнах, выступах и короне, наибольшее родство существует между последними двумя явлениями» (I, 189, стр. 183).

Несмотря на небольшой наблюдательный материал, накопленный к тому времени, Бредихин считал, что изучение фотоснимков короны уже могло дать некоторое представление о характере сил, вызывающих образование корональных лучей. Он рассматривал корону как поток частиц вещества, вылетающих из Солнца в результате выбросов. Изучение снимков короны показало, что корональные выбросы не радиальны, как считали многие исследователи, а несколько изогнуты. Бредихин подчеркивал, что «... при корональных извержениях... кроме составляющих начальной скорости по нормали (к солнечной поверхности, — *H. H.*) есть и составляющие по касательной», причем эти составляющие «в области вокруг полюсов направлены к экватору, в области же экваториальной — направлены к соответствующему полюсу» (I, 189, стр. 181).

По данным наблюдений, Бредихин получил начальные скорости вещества корональных выбросов от 200 до

⁷⁶ Было промерено восемь фотографий следующих затмений: 22 XII 1870 (наблюдал Браверс), 12 XII 1871 (Дэви), 29 VII 1878 (Пирс), 6 V 1883 (Абней), 29 III 1886 (Шустер), 1 I 1889 (Барнард) 16 IV 1893 (Шеберле), 8 VIII 1896 (Костинский).

900 км/сек.⁷⁷ Так как параболическая скорость на Солнце равна 600 км/сек.,⁷⁸ то скорости, ббльшие 600 км/сек. — уже гиперболические. Следовательно, достаточно длинные выбросы будут иметь вид гипербол.

Форма корональных пучков, также как и наблюдательные данные, свидетельствующие о сильной степени разреженности вещества короны, привели Бредихина к мысли о большом сходстве явлений кометных хвостов и солнечной короны.⁷⁹ Это сходство наложило отпечаток и на всю теорию строения солнечной короны, придавшей вид частного случая механической теории кометных форм. Так как для объяснения образования кометных хвостов необходимо принять, кроме ньютоновского притяжения, еще и отталкивательную силу, то Бредихин, исходя из указанной аналогии, считал, что и в образовании корональных пучков, помимо солнечного притяжения, участвует некоторая отталкивательная сила, что отрицали авторы других теорий солнечной короны, например, Дж. Шеберле. Бредихин писал: «Было бы слишком смело в действии Солнца на извергаемое им вещество короны голословно отрицать участие того же деятеля, который обнаруживается в движениях вещества комет» (I, 189, стр. 186).

На основании сходства корональных выбросов с кометными хвостами Бредихин предложил оригинальный метод изучения солнечной короны. Считая, что длинные корональные выбросы имеют гиперболическую форму, можно для каждого изучаемого выброса на фотопластинке подобрать соответствующую его кривизне гиперболу из целого ряда гипербол (с фокусом в центре Солнца), построенных графически для различных соотношений параметров. В дальнейшем по подобранной гиперболе можно вычертить гиперболическую дугу пучка и определить ее параметр: p — ординату, восстановленную в фокусе (центр Солнца) и β — угол радиуса-вектора с касательной к гиперболе в точке ее выхода из поверхности Солнца.

⁷⁷ По современным оценкам скорости коронального вещества достигают порядка 1000 км/сек. (от 500 до 1500 км/сек.; II, 171).

⁷⁸ По современным данным — 617 км/сек. (II, 171, стр. 32).

⁷⁹ Эта мысль Бредихина получила новое подтверждение в настоящее время. Было установлено, что оба рода явлений имеют много общего потому, что хвосты комет и солнечная корона представляют собой плазму — особое состояние вещества,

При небольшой видимой протяженности корональной струи («хвоста») по сравнению с радиусом Солнца (всего несколько солнечных радиусов), Бредихин считал возможным принять «хвост» за дугу орбиты каждой из составляющих его точек, так как линейная скорость вращения точек солнечной поверхности значительно меньше скорости корональных извержений.

Тогда проблема сводилась непосредственно к решению обычной для кометной теории задачи. Эффективное действие Солнца E рассматривалось как результирующее ускорений гравитационного, принятого за единицу, и отталкивательного R . Это R можно определять при помощи упомянутых выше величин p и β по обычным формулам механической теории кометных форм. Обозначим v_0 — начальную скорость коронального извержения; r_0 — радиус Солнца и, полагая $m = \frac{v_0^2 r_0}{E}$,⁸⁰ получим $p = mr_0 \sin^2 \beta$, откуда $p = \frac{v_0^2 r_0^2 \sin^2 \beta}{E}$, $E = \frac{v_0^2 r_0^2 \sin^2 \beta}{p}$ (эффективное ускорение берется всегда положительным).

При изучении движения частиц коронального вещества может представиться три случая.

1. Отталкивание больше притяжения. В этом случае движение происходит по ветви гиперболы, выпуклой к центру Солнца. Ее уравнение $r = \frac{p}{e \cos v - 1}$.⁸¹ По обычной кометной теории в этом случае можно найти следующие величины:

$$a = \frac{r_0}{m + 2}, \quad e^2 = \frac{p}{a} + 1, \quad q = \frac{p}{e - 1},$$

где a — действительная полуось орбиты, e — эксцентриситет, q — расстояние вершины ветви от центра Солнца.

Отталкивательное ускорение $R = 1 + E$; скорость какой-либо точки на расстоянии r : $v^2 = E \left(\frac{1}{a} - \frac{2}{r} \right)$.

2. Отталкивание меньше притяжения. В этом случае движение идет по ветви гиперболы, во-

⁸⁰ Аналогично значению m в кометной теории ($m = \frac{H^2 r_1}{\mu}$).

⁸¹ Обозначения те же, что и в кометной теории.

гнутой к центру Солнца: $r = \frac{p}{e \cos v + 1}$, a , e , q определяется из формул

$$a = \frac{r_0}{m-2}, \quad e^2 = \frac{p}{a} + 1, \quad q = \frac{p}{e+1}.$$

Отталкивательное ускорение $R = 1 - E$.

Скорость какой-либо точки на расстоянии r от Солнца

$$v^2 = E \left(\frac{1}{a} + \frac{2}{r} \right) \quad \text{или} \quad v^2 = v_0^2 - \frac{2E}{r_0} \left(1 - \frac{r_0}{r} \right).$$

3. Движение по прямой, проходящей через центр Солнца (радиальное). Если отталкивание превосходит притяжение, то скорость определяется выражением $v^2 = v_0^2 + \frac{2E}{r_0} \left(1 - \frac{r_0}{r} \right)$.

Таким образом, зная скорости истечения корональных выбросов, можно вычислить R , E , соответствующие μ , $1 - \mu$ кометной теории.

Однако скорости истечения Бредихину не были известны. Поэтому он пытался оценить E при каких-либо предположениях относительно v_0 и R .

Исследование величины отталкивательного ускорения R (μ — теории кометных хвостов) показало, что большей величине отталкивательного ускорения соответствует и большая величина начальной скорости. Было установлено также, что в большинстве корональных выбросов действуют силы притяжения и отталкивания, незначительно отличающиеся друг от друга по величине, что совпадает с соответствующим соотношением сил II типа в кометных хвостах. Гораздо реже наблюдались выбросы, напоминающие по соотношению сил хвосты III типа. Выброшенное из какого-либо участка солнечной поверхности вещество, подобно веществу кометного хвоста, должно было удаляться от Солнца по спирали (вследствие осевого вращения Солнца). При таком рассмотрении испускающая корональное вещество точка солнечной поверхности аналогична ядру кометы.

Однако, развивая интересные идеи об аналогии явлений солнечной короны и кометных хвостов, Бредихин подчеркивал, что это лишь предварительное теоретическое обсуждение интересного, но еще мало изученного явления. Он писал: «. . . я далек от мысли приписать этой аналогии

строго теоретическое значение. Хотя, конечно, при будущем более точном изучении явления, — при помощи более совершенных наблюдений, — указанную аналогию не следует терять из виду» (I, 198, стр. 194).

В дальнейшем изучении физической сущности процессов, происходящих на Солнце, Бредихин придавал большое значение комплексным спектроскопическим (при помощи спектрографов) и статистическим исследованиям различных объектов. Он считал, что только разносторонние исследования смогут окончательно решить вопрос о взаимосвязи солнечной короны, пятен и протуберанцев.

Попытка Бредихина изучить структуру лучей солнечной короны и сделать заключения о параметрах движения вещества внутри корональных лучей на основании изучения их формы намного опередила свое время. Таких работ в эпоху Бредихина не проводилось (если не считать попытку Н. Н. Доница⁸²), и только в 1955 г. на конференции Комиссии по исследованию Солнца был, наконец, поднят вопрос об изучении лучевых корональных образований. В докладе Е. А. Пономарева (II, 161, стр. 77) была предпринята попытка разработать физический механизм, определяющий кинематику и динамику коронального вещества.

4. Изучение Солнца в России последователями Ф. А. Бредихина

Исследования Солнца, начатые лично Бредихиным и под его руководством сотрудниками Московской обсерватории, вместе с упоминавшимися ранее фотогелиографическими работами Виленской обсерватории, положили начало астрофизическому изучению Солнца в России. Впоследствии ученики и последователи Бредихина успешно продолжали и развивали начатое им дело.

Наиболее важные в этом отношении работы были выполнены А. А. Белополюским. С 1891 г., перейдя на работу в Пулковку, он продолжал там спектральные наблюдения Солнца, начатые им совместно с Бредихиным в Москве. Изучал также спектры различных образований

⁸² Н. Н. Дониц. Солнечное затмение 30 (17) августа 1905 г. ЖРФХО, т. XXXVIII, 1906, I отд., вып. 2, ч. физ., стр. 125; т. XL, I отд., вып. 8, ч. физ., стр. 376—378.

на Солнце (протуберанцев, выбросов (эрупций), позднее факелов, пятен, II, 50). Большое внимание уделял Белопольский изучению вращения Солнца. В Москве он изучал это вращение по движению пятен и экспериментально (1886 г.), в Пулковке — по движению факелов (1892 г.). Но наиболее полные и точные результаты были получены им в последние годы жизни (1932—1934 гг.), на основании наблюдений, начатых с 1925 г. на солнечном дифракционном спектрографе по программе Международного Союза по исследованию Солнца. Белопольским был выполнен и целый ряд других работ, посвященных изучению Солнца. Он неоднократно участвовал в наблюдениях солнечных затмений, работал в русском отделении Международной Комиссии по исследованию Солнца (1904—1917 гг.), а с 1930 по 1934 г. возглавлял организованную в нашей стране КИСО.⁸³ Белопольский разработал метод определения температуры солнечных пятен (1915 г.),⁸⁴ исследовал вращение солнечной короны (1896 г.) и т. д.

Так, начатые Бредихиным астрофизические исследования Солнца нашли себе достойного преемника в лице А. А. Белопольского, которому принадлежит, несомненно, ведущее место в изучении Солнца, проводившемся в нашей стране вплоть до 1934 г.⁸⁵

Целый ряд важных работ по исследованию Солнца был выполнен и другим сотрудником Бредихина — В. К. Цераским. Кроме уже упоминавшихся работ, Цераский много времени уделял конструированию и усовершенствованию инструментов для изучения Солнца. Так, он изобрел способ для простого и точного определения формы солнечного диска и изучения изменений на его поверхности. Придумал окуляр, с которым можно было наблюдать Солнце, не диафрагмируя объектив рефрактора, а затем усовершенствовал его, приспособив для детального изучения пятен. В 1895 г. Цераский измерил нижний предел температуры поверхности Солнца. Эта работа явилась первой попыткой количественно оценить температуру Солнца. Позднее, уже в 1911 г., Цераский выполнил еще

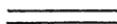
⁸³ Комиссия по исследованию Солнца.

⁸⁴ Эта работа посвящена П. Н. Лебедеву, который впервые выполнил определение температуры солнечных пятен (пирометрическим способом).

⁸⁵ Подробнее о работах Белопольского по изучению Солнца см. у О. А. Мельникова (II, 50).

два важных и оригинальных исследования. Он указал на большие перспективы в использовании солнечной энергии, проделав для этого специальный эксперимент. И, наконец, с большой точностью⁸⁶ измерил звездную величину Солнца, которая и до настоящего времени сохранила научное значение (II, 71).

Таким образом, начатое Бредихиным астрофизическое изучение Солнца, расширенное и углубленное в трудах его учеников и сотрудников, обогатило мировую науку целым рядом ценных исследований, которые легли в основу современных представлений о природе Солнца.



⁸⁶ Полученное Цераским значение абсолютной звездной величины Солнца $-26,^m50$ весьма близко к современному ($-26,^m72$). Об этих работах подробнее см. у Б. А. Воронцова-Вельяминова (II, 71).

ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ ПЛАНЕТ

1. Организация Ф. А. Бредихиным систематических наблюдений планет

Систематическое изучение физической природы планет было начато на Московской обсерватории с 1874 г. Именно эти работы, проводившиеся под руководством и при участии Ф. А. Бредихина, заложили основы отечественной школы планетоведения. В них приняли то или иное участие все сотрудники обсерватории. Проблема физической природы планет, наряду с другими астрофизическими проблемами, стала интенсивно разрабатываться в директорство Бредихина. Наблюдения больших и малых планет с целью определения их положений велись на Московской обсерватории как до него, так и особенно интенсивно в его директорство (I, 37 и т. д.).

Еще в июле 1874 г. он предполагал пронаблюдать спектр Венеры. В письме к П. Таккини от 14 июля 1874 г. Бредихин отмечал: «Для наблюдения Венеры я решил отправиться в Ялту (южный берег Крыма), и это наблюдение я проведу со спектроскопом» (I, 47). Неизвестно, выполнил ли он свое намерение, однако в том же году на Московской обсерватории были начаты систематические наблюдения Юпитера — самой большой планеты солнечной системы. Проводились наблюдения Марса около эпохи великого противостояния 1877 г. и Луны (во время затмений).

Наблюдения Марса носили почти чисто астрометрический характер (определялось положение планеты относительно звезд сравнения), однако попутно изучалась и поверхность Марса (особенно Бредихиным). Работы

велись параллельно на большом 10⁶/₅ рефракторе Мерца с нитяным микрометром, при 160-кратном увеличении (Бредихин) и на меридианном круге Репсолда с 5³/₃ трубой и нитяным микрометром при 100-кратном увеличении (А. И. Громадзкий, А. А. Белополюский, А. П. Соколов). Наблюдения Бредихина охватывали период с 22 мая 1875 г. по 7 сентября 1877 г. (I, 67, 88); Громадзкого — с 10 мая 1875 г. по 24 сентября 1877 г. (II, 172, 173); Белополюского и Соколова — со 2 октября по 5 декабря 1879 г. (II, 174). 6 сентября 1877 г. изображение Марса оказалось особенно хорошим, и Бредихин зарисовал его, отметив четкую видимость полярной шапки, красных областей пустынь и зелено-голубых морей.

Интересно отметить также наблюдения, выполненные Бредихиным во время лунного затмения 23 августа 1877 г. (I, 93). Помимо обычных измерений моментов покрытия кратеров земной тенью, он отмечал изменение цвета различных участков лунной поверхности.⁸⁷ Обнаружив быстрое потемнение поверхности Луны при вступлении ее в земную тень, Бредихин правильно объяснил его влиянием рефракции в верхних слоях земной атмосферы. Позднее, во время лунного затмения 4 октября 1884 г. его ученик Белополюский определил радиус Луны и радиус земной тени уже по измерению полученных им фотографий (II, 175).

Однако наиболее важными из перечисленных были исследования физической природы Юпитера. Систематические наблюдения и зарисовки этой планеты, начатые Бредихиным 13 марта 1874 г., продолжались непрерывно вплоть до 25 января 1882 г. (I, 38—46). Они велись на 10⁵/₅ рефракторе с нитяным микрометром. Использовалось 250-кратное увеличение.⁸⁸ Диск Юпитера был разделен на 6 зон, параллельных экватору. Измерялось положение зон и отдельных образований относительно

⁸⁷ Интерес Бредихина к астрофизическому изучению лунной поверхности, по-видимому, связан с работами обсерватории Петербургского университета по спектрофотометрическому исследованию Луны. Достаточно напомнить, что Бредихин установил связь с Петрушевским только в 1876 г.

⁸⁸ Одно наблюдение 26 августа 1879 г. было выполнено на 9⁹/₉ рефракторе во время пребывания Бредихина на Морской обсерватории г. Николаева (I, 40). Вероятно, И. Кортацци продолжал эти наблюдения после его отъезда (II, 176).

экватора планеты, отмечались изменения их формы и цветовых оттенков.

Интерес к изучению Юпитера значительно возрос после обнаружения на его поверхности в 1878 г. нового объекта,⁸⁹ получившего название «красного пятна». По рекомендации Бредихина его наблюдали И. Кортацци (II, 176) в Николаевской Морской обсерватории,⁹⁰ И. Н. Троицкий (II, 178) на обсерватории Межевого института⁹¹ и В. К. Цераский.⁹² Все эти работы печатались в *Анналах* Московской обсерватории.

По мере накопления наблюдательного материала проводился и анализ полученных данных. В двух статьях Бредихина, опубликованных в 1880 г., «Наблюдения Юпитера в 1880 г.» (I, 45) и «О строении Юпитера» (I, 110) были высказаны некоторые предварительные соображения о природе этой планеты и, в частности, красного пятна. Предположение, что наблюдавшиеся на Юпитере объекты располагаются на различных глубинах в его атмосфере, позволило объяснить различие угловых скоростей вращения отдельных образований (I, 45). На основании общепринятого в XIX в. представления об огненно-жидком состоянии планет-гигантов была высказана остроумная идея о том, что красное пятно является коркой, образующейся на остывающей поверхности планеты (I, 45, 110). Наблюдения, казалось бы, подтверждали такое мнение.⁹³ Было установлено, что красное пятно в отличие от непрерывно изменяющихся облаков является устойчивым образованием. Оно наблюдалось сквозь разрывы в облаках, следовательно, было расположено под ними. И, наконец, в первые годы наблюдений

⁸⁹ В 1957 г. Г. Руджиери показал (II, 177), что красное пятно было открыто еще Ж. Д. Кассини в 1665 г. Оно наблюдалось до 1694 г., а затем исчезло на 14 лет и снова наблюдалось в 1708 и 1741 гг. После этого оно вновь стало невидимым и было «открыто» только в 1878 г.

⁹⁰ Наблюдения велись на 9" рефракторе обсерватории с 18 сентября по 29 октября 1879 г. Координаты обсерватории: $\varphi = 46^{\circ}58'3''\text{N}$; $\lambda = 2^{\text{h}}7^{\text{m}}9^{\text{s}}\text{E}$.

⁹¹ Наблюдения велись на 3"5 рефракторе Фраунгофера со 150-кратным увеличением с 17 июля 1880 г. по 1 мая 1881 г.

⁹² Наблюдения велись на 4"5 рефракторе Фраунгофера с 290-кратным увеличением с 9 августа по 7 сентября 1881 г. Место наблюдений не указано (I, 46, стр. 113). Возможно, что на Московской обсерватории.

⁹³ Однако в 1897 г. Бредихин от него отказался.

пятно действительно оставалось неподвижным относительно поверхности планеты.⁹⁴ Однако Бредихин ясно понимал, что наблюдений, которыми он располагал в 1880 г., далеко не достаточно для того, чтобы делать окончательные выводы о природе Юпитера. Поэтому он ограничился только предварительными замечаниями, предполагая вернуться к этому исследованию в дальнейшем.

Тесно связывая вопрос о природе Юпитера и красного пятна с законом вращения планеты, Бредихин обратил особое внимание на изучение этого вращения. В 1886 г., когда накопился уже значительный наблюдательный материал, он предложил студентам физико-математического факультета Московского университета тему (на соискание золотой медали) о вращении красного пятна (II, 179). Следовало выяснить, действительно ли красное пятно неподвижно относительно поверхности Юпитера. Если (как он предполагал) обнаружатся смещения пятна, то интересно было проверить, не связаны ли эти смещения с изменением формы пятна. В 1887 г. золотая медаль была присуждена работе «Исследование обращения большого пятна на Юпитере»⁹⁵ под девизом «Вера», за которым скрывался П. К. Штернберг (II, 179). Он собрал 720 наблюдений, в том числе и московских (более 100), опубликованных с 1878 по 1886 г. Был выведен период обращения красного пятна ($T=9^h55^m37^s.63$) и установлено смещение его относительно поверхности планеты. Отмечая наиболее интересные результаты, полученные Штернбергом, Бредихин писал:⁹⁶ «Старательно сделав надлежащие приведения пятна около оси планеты. Рассмотрев колебания величины обращения в разные времена, он пришел к интересному заключению, что колебания эти должны быть объяснены собственным движением пятна относительно поверхности планеты, по широте и долготе, вероятнее всего по широте.⁹⁷ Рассмотрение размеров пятна показало

⁹⁴ Движения пятна были обнаружены позднее.

⁹⁵ В 1888 г. работа Штернберга была напечатана (II, 180) в *Анналах* Московской обсерватории под заглавием «О продолжительности обращения красного пятна Юпитера».

⁹⁶ В отзыве, изложенном в донесении физико-математическому факультету от 5 X 1887 (II, 179).

⁹⁷ В последние годы (II, 181) было отмечено смещение красного пятна также и по долготе.

автору, что они увеличивались с начала появления пятна до 1883 г.; с того же времени пятно оставалось почти постоянным в пределах погрешностей наблюдений».

После переезда Бредихина в Пулково (1890 г.) туда же были перенесены и исследования планет. Белопольский, ставший сотрудником Пулковской обсерватории незадолго до этого времени, по поручению Бредихина проанализировал все опубликованные к тому времени наблюдения и пришел к заключению, что осевая скорость вращения Юпитера изменяется с иовицентрической широтой. Его статья «О вращении Юпитера» (II, 182), опубликованная в 1891 г., явилась следующим после 1886 г. этапом в изучении Юпитера, начатом сотрудниками Московской обсерватории.⁹⁸ Полученный Белопольским вывод, что экваториальная область Юпитера ($5^\circ < \varphi < 10^\circ$) имеет период обращения $T = 9^h 50^m 5$, тогда как остальная поверхность — $T = 9^h 55^m$, надолго оставался фундаментальным и общепризнанным.

С 23 августа 1892 г. на $15''$ рефракторе Пулковской обсерватории начал наблюдения Юпитера выпускник Петербургского университета В. В. Серафимов, приглашенный Бредихиным на работу в Пулково. Он изучал зависимость изменения угловых скоростей вращения различных образований с широтой и подтвердил полученный ранее вывод. Его статья «Наблюдения пятен на диске Юпитера» (II, 183) была опубликована в 1894 г.

С 1895 г. Белопольским была начата серия работ по спектроскопическому исследованию вращения планет. На $30''$ Пулковском рефракторе он выполнил исследования, которые Бредихин намечал в 1874 г. Так, в 1895 г. была опубликована статья Белопольского «О вращении кольца Сатурна по измерениям спектрограмм, полученных в Пулкове» (II, 184—186). В 1896 г. на основании анализа собранных им спектроскопических наблюдений, опубликованных до того времени, он подтвердил полученный ранее вывод о различии угловых скоростей вращения различных зон Юпитера и вычислил величины этих скоростей (II, 187). В 1900—1903 гг. Белопольский провел ряд измерений скорости вращения Венеры по собственным

⁹⁸ Работа Белопольского была широко известна и за границей, как это видно из книги С. Ньюкома «Популярная астрономия» (II, 45, стр. 380—381).

наблюдениям (II, 188—189). В 1907—1909 гг. им было выполнено аналогичное исследование относительно Юпитера (II, 190).

В 1897 г. была опубликована фундаментальная статья Бредихина «О вращении Юпитера с его пятнами» (I, 185), в которой был подведен итог всем исследованиям, проводившимся под его руководством. Пересмотрев накопленный наблюдательный материал, Бредихин сделал ряд интересных и вполне современных выводов о природе загадочного красного пятна. Особое внимание обращалось на изменение длины пятна и появление на его концах тонких заостренных придатков. На основании этих особенностей Бредихин пришел к аналогии красного пятна с длинным овальным телом, погруженным в жидкость. Отсюда и интересное заключение, которое, по его словам, «навязывается» наблюдениями, что это образование «. . . есть или была огромная твердая пленка, увлекаемая нижними течениями атмосферы и скользящая по жидкой поверхности планеты» (I, 185, стр. 250). Таким образом, Бредихин значительно развил свои прежние представления. Характерно, что в приведенных выше словах уже не упоминается «застывающая» поверхность планеты. Именно поэтому более общие высказывания могут быть использованы и в настоящее время, когда выяснилось, что Юпитер — холодная планета. Заключение Бредихина о том, что красное пятно является постоянным образованием на поверхности Юпитера,⁹⁹ получила новое подтверждение в самое последнее время (II, 194). Следует заметить, что красное пятно до сих пор остается загадкой для ученых, и тем более интересной, что с ним, вероятно, связано недавно обнаруженное радиоизлучение Юпитера (II, 192).

2. Разработка теории планетной атмосферы

В той же статье (I, 185) Бредихин предпринял весьма интересную попытку построить теорию атмосферы Юпитера. В то время это была, по-видимому, первая попытка построения теории планетной атмосферы вообще, поэтому на ней следует остановиться подробнее. Тем более, что в этой работе активное участие принимал Н. Е. Жуков-

⁹⁹ Или по крайней мере лежит в самых нижних слоях его атмосферы.

ский, который впоследствии (в 1911 г.), вспоминая о своем сотрудничестве с Бредихиным, говорил (II, 127, стр. 207): «Ф. А. Бредихин охотно вводил меня в различные интересующие его в то время вопросы. По его указанию мной были написаны статьи: о колебании штатива обратного маятника (II, 193); об очертании кометных хвостов (II, 127, стр. 57—59, 104—109, 112—132); о движении атмосферы на Юпитере». Все упомянутые здесь работы хорошо известны и вошли в Полное собрание сочинений Жуковского, изданное в 1937 г., и только последняя из них до сих пор оставалась неизвестной. О ней нет упоминаний в опубликованных библиографиях трудов Жуковского рукопись работы также не удалось обнаружить ни в Архиве АН СССР (в Москве и Ленинграде), ни в архиве Московского государственного университета, ни в архиве Мемориального музея Н. Е. Жуковского, где сосредоточены все известные материалы ученого. И тем не менее краткое изложение этой, казалось бы, утраченной работы было опубликовано в 1897 г. в статье Бредихина «О вращении Юпитера с его пятнами». Там же приведена и краткая история сотрудничества выдающихся ученых по данному вопросу. Вот как излагал ее Бредихин: «Для механического объяснения приведенных мною выше наблюдений над пятнами на Юпитере, я обратился за советом к известному знатоку гидродинамики, почтенному профессору Н. Е. Жуковскому. В словесных беседах, а потом в письмах, писанных им ко мне несколько лет тому назад, Николай Егорович облегчил мне, — за что я ему искренне благодарен, — хотя частное решение вопроса, входящего в область знания не близкую мне. . . Я не знаю; была ли после того записка г. Жуковского где-нибудь напечатана, а потому и приведу здесь несколько сокращенно ее сущность. . .» (I, 185, стр. 245). Очевидно, это краткое изложение является единственным источником сведений о работе Жуковского.

В эпоху Бредихина, когда спектральные исследования планет только начинались, единственной возможностью решить вопрос о природе образований в атмосфере Юпитера было изучение скоростей их вращения. Как отмечалось выше, этим и занимались его ученики и сотрудники. Обобщив их наблюдения, он пришел к выводу, что движение облаков на Юпитере вызвано циркуляцией в его атмосфере.

Известно, что циркуляция в земной атмосфере определяется широтным или зональным распределением давления. Возможно, что зависимость угловых скоростей облаков на Юпитере от иоцентрической широты навела Бредихина на мысль о сходстве атмосфер Земли и Юпитера. Опираясь на разработанную уже в то время теорию циркуляции земной атмосферы, он пытался применить выводы этой теории к атмосфере Юпитера. Изложив вкратце теорию циркуляции, которая в основных чертах сохранилась и до настоящего времени, он заметил, что подобные соображения «... приложимы и к каждой планете, которую можно считать твердым сфероидальным телом, вращающимся около своей оси. . .» (I, 185, стр. 244). Такой подход к изучению явлений в атмосфере Юпитера можно признать вполне современным. Ведь только в самое последнее время, когда человек получил возможность выйти за пределы своей планеты, начинается сравнительное изучение больших планет солнечной системы и их атмосфер. Только теперь поднимается вопрос о том, чтобы улучшить, например, метеорологические прогнозы, опираясь на сравнительное изучение атмосфер Земли и других планет. Тем более удивительна проницательность Бредихина, работавшего в тот период, когда завоевание космоса было далекой мечтой.

Известно, что циркуляция в атмосфере планеты определяется атмосферным давлением, которое зависит от нагревания планеты и теплопроводности ее атмосферы. Поэтому для решения проблемы движений в атмосфере Юпитера необходимо было знать указанные параметры, которые в то время не были известны. Таким образом, вопрос об определении скорости вращения планеты по измерению скоростей облаков в ее атмосфере казался неразрешимым.¹⁰⁰ Тогда Бредихин обратился за помощью к Жуковскому, который показал, что при некоторых предположениях возможно и независимое от давления определение угловых скоростей вращения верхних и нижних слоев атмосферы Юпитера¹⁰¹ (I, 185, стр. 245—247).

¹⁰⁰ Поверхность Юпитера постоянно закрыта густым облачным покровом. Поэтому и не удавалось измерить угловую скорость вращения планеты.

¹⁰¹ По скоростям нижних слоев можно судить о скорости вращения поверхности Юпитера.

Так как задача должна была быть решена независимо от давления, то движение облаков рассматривалось в плоскости, параллельной экватору планеты. В этом случае для всех точек одной и той же параллели давление одинаково. Такой вывод основан на предположении о зональном (широтном) распределении давления в атмосфере Юпитера (по аналогии с земной атмосферой).

Для верхних слоев атмосферы

В верхних слоях атмосферы трением можно пренебречь. Так как давление на данной широте φ постоянно ($P_\varphi = \text{const}$), сила тяжести направлена по нормали к внешней поверхности атмосферы (предполагается, что эта поверхность — есть поверхность вращения), а сила трения $\vec{F}_{\text{тр.}} = 0$, то применив теорему площадей к массе m , движущейся в плоскости, перпендикулярной оси вращения планеты, получим (рис. 15)

$$mR^2\omega = \text{const},$$

откуда

$$mr^2 \cos^2 \varphi \cdot \omega = \text{const},$$

$$\omega = \frac{\text{const}}{mr^2 \cos^2 \varphi}.$$

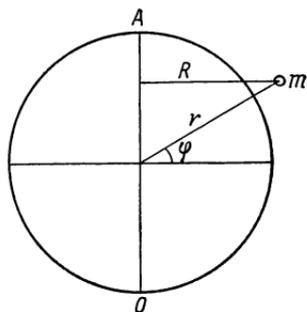


Рис. 15.

Если принять в первом приближении, что Юпитер имеет форму шара,¹⁰² то

$$\omega = \frac{A}{\cos^2 \varphi}, \tag{I}$$

где m — масса облака, находящегося на широте φ ; R — расстояние облака от оси вращения планеты OA ; r — расстояние облака от центра планеты, приблизительно

¹⁰² В статье Бредихина такое предположение опущено. Окончательное уравнение (I) получено не совсем строго. От $\omega = \frac{A}{mr^2 \cos^2 \varphi}$ сделан переход к $\omega = \frac{A}{\cos^2 \varphi}$.

равное радиусу Юпитера; ω — угловая скорость вращения облака относительно оси OA ; A — постоянная.

Таким образом, угловая скорость убывает к полюсам и остается постоянной на экваторе.

Для нижних слоев атмосферы

В нижних слоях атмосферы трением слоев пренебрегать нельзя. Предполагается, что сила трения $\bar{F}_{\text{тр}}$ прямо пропорциональна поверхности соприкосновения t облака, скользящего по поверхности планеты, с этой

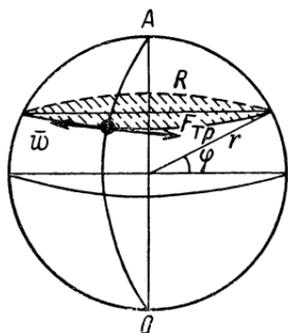


Рис. 16.

поверхностью и прямо пропорциональна его относительной скорости \bar{w} относительно поверхности Юпитера (рис. 16), т. е. $\bar{F}_{\text{тр}} \sim a\bar{w} \cdot \sigma$.

В общем случае

$$\bar{F}_{\text{тр}} \sim a\bar{w} + b\bar{w}^2, \quad (1)$$

где a, b — постоянные. При малых w учитывается первый член уравнения (1), при больших w — второй. Для Юпитера w велико, однако, тогда невозможно решение, не зависящее от давле-

ния. Поэтому Жуковский предположил, что в (1) $b=0$.

На облако, лежащее на поверхности планеты на широте φ , сила тяжести действует нормально к поверхности и потому не создает вращательного момента относительно оси вращения планеты OA . Давление P_φ , как отмечалось выше, $P_\varphi = \text{const}$. Таким образом, вращающий момент относительно оси вращения планеты на массу m даст только сила трения, направленная по касательной к параллели и противоположная \bar{w} . По предположению, $\bar{F}_{\text{тр}} = a\sigma\bar{w}$. Сила трения на широте φ будет

$$F_\varphi = -a\sigma \int_{\omega_0}^{\omega} d\omega = -a\sigma \cos \varphi \cdot (\omega - \omega_0) = a\sigma r \cos \varphi \cdot (\omega_0 - \omega). \quad (2)$$

Для определения σ имеем (рис. 17)

$$m = \rho h \sigma, \quad (3)$$

где m — масса облака, ρ — плотность облака, h — толщина облака.

С другой стороны, атмосферу Юпитера в нижних слоях можно рассматривать как сплошную среду (как это и предполагается для земной атмосферы). Тогда будет справедливо уравнение непрерывности, являющееся выражением закона постоянства массы. В этом случае масса газа, протекающего через кольцо $2\pi r \cos \varphi \cdot h$ в единицу времени (в меридиональном направлении), должна быть постоянной величиной (рис. 118)

$$2\pi r \cos \varphi h \cdot \rho \cdot v = q = \text{const}, \quad (4)$$

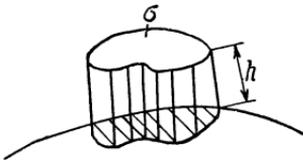


Рис. 17.

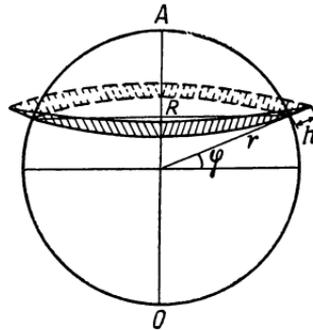


Рис. 18.

где ρ — плотность газа, равная плотности облака m ; v — скорость течения газа вдоль меридиана.

Из (3) и (4) получим

$$c = \frac{2\pi r \cos \varphi}{q} \cdot m \cdot v. \quad (5)$$

Подставив (5) во (2), имеем

$$F_\varphi = \frac{2\pi a r^2 \cos^2 \varphi}{q} \cdot m \cdot (\omega_0 - \omega) \cdot v.$$

На основании теоремы моментов количества движения можно написать

$$\frac{d}{dt} [m \cdot \bar{\omega} \cdot \bar{R}] = [F_\varphi \cdot R].$$

Учитывая, что движение происходит в плоскости, перпендикулярной оси вращения планеты OA , получим

$$\frac{d}{dt} (m\bar{\omega}R) = F_\varphi \cdot R.$$

Подставляя значения входящих сюда величин, получим

$$\frac{d}{dt} (mr^2 \cos^2 \varphi \cdot \omega) = \frac{2\pi ar^3 \cos^3 \varphi}{q} \cdot m \cdot (\omega_0 - \omega) \cdot v$$

или, полагая, что Юпитер, в первом приближении, — шар

$$\frac{d}{dt} (\omega \cos^2 \varphi) = \frac{2\pi ar \cos^3 \varphi}{q} \cdot (\omega_0 - \omega) \cdot v.$$

Учитывая, что $v dt = r d\varphi$, получим¹⁰³

$$d (\omega \cos^2 \varphi) = \frac{2\pi ar^2}{q} \cdot \cos^3 \varphi \cdot (\omega_0 - \omega) \cdot d\varphi.$$

Вводя обозначения

$$\begin{aligned} \omega \cos^2 \varphi &= y, & \alpha \sin \varphi &= x, \\ \frac{2\pi ar^2}{q} &= \alpha, & \alpha \cos \varphi d\varphi &= dx, \end{aligned}$$

получим после ряда преобразований

$$\frac{dy}{dx} + y = \omega_0 \left(1 - \frac{x^2}{\alpha^2} \right).$$

Это — линейное дифференциальное уравнение, интегрирующий множитель которого e^x .

Решение этого уравнения имеет вид

$$y = \omega_0 - \frac{\omega_0}{\alpha^2} (x^2 - 2x + 2) + C e^{-x},$$

где C — произвольная постоянная интегрирования. Возвращаясь к прежним обозначениям, получим

$$\omega = \omega_0 + \frac{2\omega_0 \alpha \sin \varphi - 2\omega_0 + C \alpha^2 e^{-\alpha \sin \varphi}}{\alpha^2 \cos^2 \varphi}.$$

Вводя новую постоянную β , определяемую равенством¹⁰⁴ $C \alpha^2 = -2\omega_0 \beta$, окончательно получим

$$\omega = \omega_0 - \frac{2\omega_0 (\beta e^{-\alpha \sin \varphi} - \alpha \sin \varphi + 1)}{\alpha^2 \cos^2 \varphi}. \quad (II)$$

¹⁰³ В статье Бредихина в правой части этого уравнения опущено $d\varphi$.

¹⁰⁴ В статье Бредихина допущена ошибка в знаке. Принято

$$C \alpha^2 = +2\omega_0 \beta.$$

Таким образом, по трем значениям ω , полученным из наблюдений, можно определить из (II) постоянные α , β и ω_0 и найти угловую скорость вращения планеты.

Однако применение формул (I) и (II) к наблюдениям Юпитера не оправдало возлагавшихся на них надежд. Бредихин объяснил это тем, что исходные положения, на основании которых выведены формулы, неверны. Действительно, предположение о том, что трение в верхних слоях атмосферы равно нулю, нельзя применять к облакам, которые не доходят до самых верхних слоев. С другой стороны, при выводе (II) было принято неточное выражение для силы трения: $\bar{F}_{\text{тр.}} \sim a\bar{v}$. Как отмечалось, скорости облаков на Юпитере достигают значительной величины, и пренебрежение вторым членом в выражении (I) недопустимо.

Несмотря на неудачу, работа Бредихина и Жуковского имела большое положительное значение. Она выявила слабые места теории и указала, на что следует обращать внимание при дальнейших наблюдениях. Как писал Бредихин, «... для теоретического представления угловых скоростей следовало бы хотя бы приближенно вывести уравнения, в которых в выражение силы трения входила бы не первая степень скорости. Со стороны же наблюдательной должно быть обращено особое внимание на определение угловой скорости на экваторе, с принятием в расчет, конечно, истинного места экватора самой планеты» (I, 185, стр. 250).

Только в настоящее время, когда известен химический состав атмосферы Юпитера, ее температура, и, следовательно, появилась возможность оценить давление, эти рекомендации Бредихина могут быть использованы для пересмотра выдвинутой им и Жуковским теории.

Естественным продолжением этих работ были упомянутые уже спектроскопические исследования вращения планет, проводившиеся Белопольским, а также работы по фотографированию Марса и его спутников, выполненные Белопольским и Костинским в Пулковке (1894—1896 гг., II, 193, 67).

Следует отметить, что исследования физической природы планет проводились также и в Одессе, на обсерватории Новороссийского университета. Этой обсерваторией руководил выдающийся астрофизик А. К. Кононович, постоянно поддерживавший дружеские связи с Бреди-

хиным. Он провел весьма ценные исследования по фотометрии Марса, Юпитера и Сатурна. Ряд работ выполнили его ученики А. П. Ганский и А. С. Васильев.

Все эти работы, начатые Ф. А. Бредихиным и продолженные его учениками, заложили основы отечественной школы планетоведения.

Дальнейшее развитие отечественного планетоведения тесно связано с именами выдающихся советских ученых — Г. А. Тихова (1875—1961 гг.) и В. Г. Фесенкова. Первый из них — выпускник Московского университета и ближайший сотрудник Белопольского, прошедший, таким образом, бредихинскую школу. С 1909 г. он начал фотографирование планет со светофильтрами и получил первые фотографии «каналов» Марса (II, 195). В. Г. Фесенков — воспитанник Харьковского университета. В 1917 г. он опубликовал исследование о природе Юпитера, положившее начало новому направлению в теоретической фотометрии (II, 196). Трудami Белопольского, Тихова, Фесенкова и их учеников была создана советская школа планетоведения, успешно развивающая плодотворные начинания Бредихина. Пулковская и Харьковская обсерватории и до сих пор продолжают подобные исследования, так же как и Ленинградский университет (школа В. В. Шаронова). Кроме того, за годы советской власти был создан и новый центр — в Алма-Ата, где проводятся исследования в области астроботаники. В настоящее время исследования планет интенсивно проводятся и на Харьковской обсерватории, которой руководит выдающийся планетовед академик Н. П. Барабашев.

Глава VIII

ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ ЗЕМЛИ

Наряду с изучением физической природы небесных тел Ф. А. Бредихин интересовался и физической природой Земли. Вопросам о происхождении Земли, ее эволюции, изменению климатов и земной коры он посвятил целый ряд своих популярных лекций (I, 15, 16, 20, 25). Рассматривая все эти вопросы, он проявил широкую эрудицию не только в области астрономии, но и в области геофизики, геологии и палеонтологии. Наибольший интерес в настоящее время вызывает мнение Бредихина о внутреннем строении Земли, близкое к современным представлениям. Вопреки большинству ученых своего времени, он считал, что Земля под земной корой не раскалена, а относительно холодна, вулканические извержения происходят за счет местного скопления магмы. Внутри Земли находится сильно уплотненное ядро (I, 20).

Вопросы об изучении распределения масс под поверхностью Земли привлекли особое внимание Бредихина. Гравиметрическому исследованию местной Московской аномалии силы тяжести он посвятил ряд специальных работ. Большие организаторские способности, широта научных интересов и обаяние его творческой личности позволили ему оставить заметный след и в этой области науки, которая обязана Бредихину воспитанием основателя отечественной гравиметрической школы — П. К. Штернберга.

1. Организация гравиметрических работ в России

Бредихин сыграл видную роль в организации гравиметрических исследований в России. В этом отношении он был преемником Б. Я. Швейцера, открывшего в 1848 г.

аномалию силы тяжести в районе Москвы (II, 197). После этого открытия по предложению Пулковской обсерватории были начаты комплексные исследования силами Межевого института и Московской обсерватории под непосредственным руководством Швейцера.¹⁰⁵ После смерти Швейцера в 1873 г. руководство работами перешло к Бредихину, который расширил программу исследований, поставив вопрос об изучении земной аттракции вообще, а не только в районе Московской аномалии.

В этих работах как обычно принимали участие все сотрудники обсерватории — Цераский, Белополюский, Громадский, вместе с присланными в распоряжение Бредихина межевскими инженерами — Соколовым, Травинным и астрономом обсерватории Межевого института И. Н. Троицким.

Под руководством Бредихина были начаты абсолютные измерения силы тяжести при помощи нового тогда прибора — оборотного маятника Репсольда, заказанного Межевым институтом по его настоянию (I, 81, стр. III). Это был третий в России экземпляр оборотного маятника Репсольда; два других принадлежали Академии наук и Географическому обществу в Петербурге (II, 199).

Первые экземпляры этого прибора были построены в 60-х годах XIX в. известным механиком А. Репсольдом по мысли Ф. Бесселя и сразу же стали применяться при гравиметрических работах в ряде стран. Началось кропотливое изучение ошибок этого инструмента. Однако ошибка сокачания штатива долгое время оставалась неизвестной. Только в 1875 г. появились первые работы, в которых она исследовалась. Метод определения ошибки сокачания теоретически был разработан Ш. Селлерье (1818—1889 гг.; II, 200) и К. Пирсом (1839—1914 гг.; II, 201), экспериментально применен Э. Плантамуром (1815—1882 гг.; II, 202).

Первые же наблюдения с оборотным маятником Репсольда на Московской обсерватории летом 1880 г. привели

¹⁰⁵ На заседании 3 II 1862 Совет университета рассматривал записку вице-директора Пулковской обсерватории с предложением принять участие в совместных гравиметрических работах. В записке сообщалось о присылке в распоряжение Московской обсерватории людей из Межевого института. Именно в результате этого договора были присланы в Московскую обсерваторию А. П. Соколов, В. Травин, И. Н. Троицкий (II, 198).

Бредихина к убеждению, что ошибка сокачания штатива должна быть весьма значительна (I, 119, 124). В этой работе принимали участие Бредихин и Соколов (помощник при наблюдениях). Вспомогательные работы (поправки и ход часов, поправки термометров и т. п.) выполняли Цераский, Троицкий, Белополюский, Громадзкий. О результатах этих работ Бредихин сделал несколько докладов в Московском обществе испытателей природы.¹⁰⁶ Особое внимание было обращено на большую ошибку, происшедшую из-за раскачивания штатива маятника. Доклад Бредихина на заседании 23 IV 1881 «Исследование колебаний штатива, производимых качанием маятника и влияние первых на последнее» заинтересовал Н. Е. Жуковского.

2. Работа Н. Е. Жуковского

В своей работе «О влиянии колебаний штатива на время качания маятника» (1882 г.) Жуковский вывел формулу для определения ошибки сокачания штатива (II, 194). Формула для поправки длины секундного маятника за качание штатива имеет вид

$$\delta\eta = \frac{Mg\eta}{kH}, \quad (1)$$

где $\eta=L$ — длина секундного маятника, $H=l$ — приведенная длина секундного маятника, $Mg=P$ — вес маятника, k — коэффициент силы упругости штатива, $k \gg 1$; формула, которой пользовался Бредихин, имела вид

$$dL = k' \frac{PL}{l}, \quad (2)$$

где k' — коэффициент раскачивания штатива ($k' \ll 1$).

¹⁰⁶ Доклады Ф. А. Бредихина в Московском обществе испытателей природы: 18 IX 1880 — о гравиметрических работах (II, 203); 23 IV 1881 — «Исследование колебаний штатива производимых качанием маятника и влияние первых на последнее» (II, 204); 16 XII 1882 — о длине (секундного) маятника в Москве.

На этом же заседании Н. Е. Жуковский сделал доклад о колебании штатива маятника (II, 205). Доклад о гравиметрических наблюдениях был сделан Бредихиным и в Московском математическом обществе 17 XI 1881 (II, 206).

Переписав формулу Жуковского (1) в тех же обозначениях, как и (2), получим

$$dL = \frac{1}{k} \frac{PL}{l}. \quad (3)$$

Тождественность формул (2) и (3) очевидна. Цель этой работы Жуковского, по-видимому, состояла в том, чтобы проверить правильность теории, на основании которой вычислялась ошибка и строгость теоретического вывода формулы. В результате работы Жуковского стало ясно, что систематические ошибки в наблюдениях происходят не от погрешностей теории, а от несовершенства самого прибора — оборотного маятника Репсольда.

В дальнейшем, уже после переезда Бредихина в Пулково, Жуковский сотрудничал с его учеником Штернбергом по вопросам теории движения полюсов Земли. В связи с исследованиями Штернберга об изменении широты Московской обсерватории (II, 209), Жуковский дал геометрическую интерпретацию теории движения полюсов (II, 210).

3. Роль Ф. А. Бредихина в создании отечественной гравиметрической школы

Мнение Бредихина о большой ошибке сокачания штатива оборотного маятника Репсольда подтверждалось и другими исследователями, например К. Пирсом (II, 207), но до определенного решения вопроса было далеко. Однако уже первые маятниковые измерения Бредихина подтвердили наличие местной аномалии силы тяжести под Москвой (I, 124, 106).

В 1888—1890 гг. были предприняты относительные измерения силы тяжести в средней полосе России, намеченные Бредихиным еще в 1877 г. Соколов в 1888—1890-е годы проводил измерения в нескольких пунктах по 52-й параллели от Варшавы до Оренбурга (II, 199). В это же время начали аналогичные измерения в других местностях сам Бредихин и Штернберг, впервые привлеченный им к гравиметрическим работам. Наблюдения проводились во время летних каникул и в основном в имениях родственников или друзей Бредихина, чтобы по возможности сократить затраты на экспедиции. В 1888 г. были проведены абсолютные измерения в двух пунктах: Жел-

тухино Рязанской губернии; Большой Шереметьевке Саратовской губернии. В 1889 г. в пяти пунктах: Погосте Костромской губернии; на Казанской астрономической обсерватории; в Солонихе и Сергиевке Херсонской губернии; в Знаменском Орловской губернии (II, 208).

Именно во время этих совместных работ с Бредихиным у Штернберга зародился интерес к гравиметрическим и геодезическим работам и, в частности, к изучению Московской аномалии силы тяжести, который стал главным в его научной деятельности. Именно во время этих работ Штернберг научился детально разрабатывать программу исследований, тщательно изучать инструмент, с которым предстоит работать, и учитывать возможные источники ошибок, добиваясь максимальной точности результатов. Естественно поэтому, что свою магистерскую диссертацию (1903 гг.) «Широта Московской обсерватории в связи с движением полюсов» (II, 209), явившуюся результатом многолетних исследований, Штернберг посвятил своему учителю и другу Бредихину. В архиве Государственного Астрономического института им. П. К. Штернберга сохранилось письмо Бредихина к Штернбергу с благодарностью за это посвящение (II, 211).

Результаты совместных гравиметрических работ 1888—1889 г. были опубликованы в статье Бредихина «Наблюдения над качаниями поворотного маятника Репсольда, произведенные в селе Желтухине и Б. Шереметьевке» (II, 212) и более подробно в статьях Штернберга — «Наблюдения над качаниями поворотного маятника Репсольда, произведенные в различных пунктах Европейской России в 1888—1889 гг.» (II, 212) и «Observations faites à l'aide du pendule à réversion. . .» (II, 207). В этих статьях Штернберг, сравнив наблюденную длину секундного маятника в исследованных пунктах с вычисленным значением, получил для всех этих пунктов весьма значительное отклонение, равное в среднем 0.24 мм. Сославшись на работу В. Я. Цингера, который получил близкое к этому отклонение — 0.23 мм, Штернберг заметил: «. . . кажется, что все приборы этого типа имеют одинаковую ошибку» (II, 208, стр. 133). Это дало ему возможность сделать вывод о непригодности оборотных маятников Репсольда для абсолютных измерений (II, 208, стр. 134).

За первые гравиметрические работы (1888—1889 гг.) Штернбергу была присуждена медаль Русского географического общества.

Летом 1890 и 1891 гг., уже после отъезда Бредихина в Пулково, Штернберг самостоятельно продолжил наблюдения с обратным маятником Репсольда в Москве, Нижнем Новгороде и Ростове-на-Дону (II, 213). При этом он пытался исследовать причины ранее обнаруженного им большого отклонения наблюдаемой длины секундного маятника от теоретической. Исследования показали, что это отклонение не может быть объяснено сокачением штатива, однако истинная причина явления так и осталась невыясненной. Эта работа, по-видимому, окончательно убедила Штернберга в том, что качества обратного маятника Репсольда не так высоки, как ожидалось, и сам он больше не предпринимал исследований с этим прибором. Проведенная Штернбергом в 1909 г. гравиметрическая связь Московской и Пулковской обсерваторий была выполнена при помощи маятникового прибора Штюкрата (II, 78, стр. 92). Мнение о большой систематической ошибке у обратных маятников Репсольда нашло подтверждение и в современной науке. В 1948 г. И. А. Казанский писал: «... обратные маятники применявшегося в начале XIX в. типа (например, длинные обратные маятники Кэтера), а также и старинные нитяные маятники несколько неожиданно, как показало выполненное только теперь сравнение с современными наблюдениями (новые наблюдения в Англии), достаточно оправдали себя, давая почти современную точность. Напротив, обратные маятники, построенные впоследствии Репсольдом по мысли Бесселя, вызывают подозрения в смысле систематической погрешности» (II, 215, стр. 5).

Серьезное изучение Московской аномалии силы тяжести под руководством Штернберга было начато только в 1916 г. Для этой цели были применены вместо обратных маятников Репсольда маятниковые приборы Штюкрата, а одиночные абсолютные измерения были заменены массовыми дифференциальными определениями силы тяжести. Начались первые, сравнимые по точности с современными, гравиметрические измерения. Так были заложены основы русской гравиметрической школы. Однако намеченные Штернбергом работы, определение ряда тесных гравиметрических пунктов по меридиану Москвы, перпенди-

кулярно к аномальной полосе, так называемый «разрез Штернберга» был закончен уже после его смерти, в 30-х годах XX в. учениками Штернберга И. А. Казанским, А. А. Михайловым, Л. В. Сорокиным и др. (II, 199). Эти работы подтвердили наличие под Москвой значительной аномалии силы тяжести, доводящей отклонение от веса до $\pm 0''8$ (II, 216).

Если прибавить, что и геодезист Иверонов, занимавшийся изучением Московской аномалии с 1893 г., проходил подготовку на Пулковской обсерватории, директором которой был Ф. А. Бредихин, то большое влияние, оказанное Бредихиным на возникновение и дальнейшее развитие гравиметрических работ в России, приведших к формированию русской и советской гравиметрической школ, станет еще более понятным.



Глава IX

РАБОТЫ ПО ДРУГИМ ОТРАСЛЯМ АСТРОНОМИИ

Глубокий интерес Ф. А. Бредихина к астрофизике, пронизывавший, как было показано в предыдущих главах, всю его научную деятельность, не мешал ему успешно заниматься и, казалось бы, далекими от нее вопросами астрометрии, астрономической оптики и истории астрономии. Во всех этих работах, как и обычно, он проявлял живой интерес к изучаемому вопросу, глубокую эрудицию и серьезный научный подход к делу.

1. Астрометрия

Наибольшее количество «неастрофизических» работ Бредихина относится к области астрометрии, которую многие его современники противопоставляли астрофизике. Пионер и горячий пропагандист астрофизических исследований проявил себя как искусный астрометрист. Бредихину принадлежит около тридцати работ в области точной астрометрии.

По тематике их можно сгруппировать следующим образом.

1. Позиционные измерения звезд и звездных групп.
2. Измерения склонений малых планет.
3. Измерения положений больших планет, комет и их деталей.
4. Определение параллаксов туманностей.
5. Измерения положений отдельных звезд и звездных групп, у которых заподозрено собственное движение.
6. Измерения положений деталей на поверхности Солнца и больших планет.
7. Исследование инструментов.

8. Исследование личного уравнения.

9. Разработка вспомогательных таблиц для астрометрических наблюдений.

Простой перечень этой тематики показывает, что и здесь, при проведении далеких от астрофизики работ, Бредихин оставался астрофизиком. Он использовал астрометрические измерения для того, чтобы дополнить ими свои астрофизические исследования.

Во время первых работ (I, 37) на Московской обсерватории он в совершенстве освоил методику точных астрометрических измерений под руководством А. Н. Драшусова (1816—1890 гг.) и Б. Я. Швейцера (1816—1873 гг.). Вместе с другими сотрудниками Московской обсерватории Бредихин участвовал в трудоемких работах по установке полученных обсерваторией фотогелиографа Дальмейера и 10'5 рефрактора (II, 73). Работая в дальнейшем на этом рефракторе, он тщательно исследовал инструмент (I, 63, 75), а также свое личное уравнение при наблюдениях на нем (I, 72).

Многочисленные измерения положений кометных голов, хвостов и их деталей служили неотъемлемой частью наблюдений, положенных в основу теории кометных форм.

Работы, посвященные определению параллаксам туманностей (I, 77, 112), были естественным дополнением исследования спектров планетарных туманностей.

О попытках Бредихина обнаружить орбитальное движение Алголя было подробно сказано в главе V. Микрометрические измерения положения Алголя и ряда других звезд группы Персея относительно соседних звезд (I, 83; 107) также преследовали в конечном счете астрофизические цели.

Точные астрометрические измерения положений ряда таких небесных тел, представляющих особый интерес для астрофизики, как большие (I, 67) и малые планеты (I, 26; 56), звезды и звездные группы, имеющие заметное собственное движение (I, 74; II, 157), проводились как самим Бредихиным, так и сотрудниками Московской обсерватории по его поручению. Эти работы дополняли всестороннее астрофизическое изучение тех же объектов.

Проводя астрометрические измерения и обработку наблюдений, Бредихин составил облегчившую эти работы таблицу для вычисления зенитных расстояний и параллактических углов на Московской обсерватории (I, 61).

И, наконец, микрометрические измерения деталей на поверхности Солнца и планет (I, 27, 110 и т. д.) являлись неотъемлемой частью организованных на Московской обсерватории астрофизических наблюдений.

Таким образом, все самостоятельные астрометрические работы Бредихина были так или иначе связаны с его астрофизическими исследованиями. На примере его трудов наглядно виден процесс объединения идей нового астрофизического направления в науку с методами точных измерений, характерных для классической астрометрии. Поэтому исследования Ф. А. Бредихина способствовали уничтожению противоположности между астрофизикой и классической астрометрией, внедрению в астрофизику методов точного измерения и превращению ее из первоначально описательной отрасли астрономии в точную науку, располагающую разнообразными методами исследования.

2. Инструментальная оптика

Ряд статей Бредихина, посвященных теории галилеевой трубы (I, 23; 23, 1873 г.; 24; 24, 1873 г.), позволяет судить и о его солидной эрудиции в области инструментальной оптики.

Поводом для написания этих статей послужила заметка (1872 г.) профессора физики Московского университета Н. А. Любимова (1830—1897 гг.) с изложением якобы новой теории поля зрения телескопа (II, 217), которая предлагалась автором вместо «ошибочной» теории Л. Эйлера.

Бредихин со всей очевидностью показал, что эта теория не нова и не точна. На основании полной теории оптических систем, изложенной в неизвестном Любимову капитальном сочинении (II, 218) итальянского физика О. Моссотти (1857 г.), угловое поле зрения телескопа (в случае зрачка, неподвижного относительно окуляра) вычисляется по формуле

$$G = \frac{360}{2\pi} \left(\frac{D}{F_1 - F_2} \cdot \frac{F_2}{F_1} + \frac{d}{F_1 - F_2} \right), \quad (1)$$

где G — угловое поле зрения возможной видимости, D — диаметр объектива, d — диаметр зрачка, F_1 — фо-

кусное расстояние объектива, F_2 — фокусное расстояние окуляра.

Два члена формулы (1) позволяют учесть все факторы, влияющие на изменение поля зрения. Так, при небольшом увеличении телескопа преобладает первый член; по мере возрастания увеличения влияние обоих членов уравнивается и, наконец, при больших увеличениях становится преобладающим второй член.

Проведенный Бредихиным анализ формулы (1) показал, что формула Любимова

$$G = \frac{360}{2\pi} \cdot \frac{D}{F_1 - F_2} \cdot \frac{F_2}{F_1}$$

является приближенной формулой Моссотти, пригодной для случая телескопов с малым увеличением. Второй член формулы (1) может также рассматриваться как приближенная формула (1), но пригодная только в случае больших увеличений. Именно такую формулу Эйлера, ошибочную, по мнению Любимова, и предлагалось заменить. Таким образом, необоснованность претензий Любимова на новое открытие в оптике стала очевидной. После продолжительной полемики, которая велась как печатно (II, 219), так и на заседаниях Московского общества испытателей природы и Московского математического общества, Любимов вынужден был признать справедливость критики Бредихина.

В предыдущих главах было показано, насколько тщательно проводил Бредихин любое научное исследование, как умело он применял выводы теории на практике, в каждом конкретном случае, избегая поспешных выводов, и насколько он был скромнен. Вполне понятно, что малейшее отступление от этих необходимых для каждого научного исследования условий вызывало заслуженный отпор со стороны Бредихина, как это и было в случае с «новой» теорией Любимова.

3. История астрономии

Глубокий интерес проявлял Ф. А. Бредихин и к истории науки, считая, что человеку свойственна «глубокая нравственная потребность окружить почитанием память своих вождей в области духовного движения» (I, 19, стр. 405). Не исключена возможность, что интерес к исто-

рии науки вообще и к истории астрономии, в частности, особенно возрос после его поездки в Италию, где Бредихин познакомился с учеными, уделявшими этим вопросам большое внимание. Так, например, изучением различных вопросов истории астрономии систематически занимались глава итальянских астрофизиков А. Секки (II, 220 и т. д.), Дж. Скиапарелли (II, 221 и т. д.) и многие другие.

Историко-астрономическая статья Бредихина «Процесс Галилея по новым данным» (1871 г., I, 19) посвящена эпизоду из жизни и деятельности выдающегося итальянского ученого, связанному с распространением идей Н. Коперника. Статья была написана в связи с опубликованием неизвестных ранее документов из секретного архива инквизиции, по-новому освещающих судебный процесс над Г. Галилеем в 1633 г.

Назначенный хранителем архива Ватикана в период установления в Риме восставшим народом республики (1848—1849 гг.), С. Герарди получил возможность познакомиться с этими документами, которые впоследствии были опубликованы и тщательно изучены им, французским ученым А. Мартеном и немецким ученым Е. Вольвилем.

Как известно, главным юридическим основанием для осуждения Галилея в 1633 г. послужило обвинение в том, что он продолжал распространение запрещенного церковью учения Коперника, вопреки своему обязательству, якобы данному им представителям инквизиции в 1616 г. Проведенное Герарди, Мартеном и Вольвилем исследование показало, что Галилей не давал таких обязательств, а документы, фигурировавшие на его процессе в качестве обвинительных, были признаны подложными.

В своей статье Бредихин довольно подробно изложил историю обнаружения новых документов о суде над Галилеем, проанализировал работы трех упомянутых авторов и провел критический разбор опубликованных документов. На основании этого он пришел к выводу, что факт намеренной подделки документов, к которой инквизиция прибегла для осуждения Галилея, следует признать исторически доказанным. Этот факт принят и современной наукой (II, 222 и т. д.).

Итак, Бредихин внес определенный вклад и в развитие истории астрономии. Он не только подтвердил выводы Герарди, Мартена и Вольвиля, но и способствовал их

широкому распространению среди русской общественности.

Интересно отметить, что при проведении историко-астрономических исследований Бредихин придавал важное значение изучению источников и наглядно продемонстрировал свое умение критического подхода к их анализу. И в этой области он проявил хорошее знакомство с научной литературой различных стран. Следует также указать на то, какое большое значение придавал Бредихин объединению интернациональных научных сил при изучении историко-научных проблем. С глубоким удовлетворением он отметил в своей статье, что вопрос, важный для развития мировой науки, был решен в результате общих усилий представителей науки трех стран — Италии, Франции и Германии.



Глава X

РАБОТЫ В ОБЛАСТИ ФИЛОЛОГИИ

1. Ученый-полиглот

Ф. А. Бредихин был не только талантливым ученым, но и вообще богато одаренным человеком. Так, например, он хорошо рисовал, играл на скрипке (II, 223), обладал несомненными литературными способностями. Как вспоминал впоследствии А. А. Белопольский (II, 9, стр. II): «За что бы он ни брался, во всем проявлялась в высшей степени богато одаренная натура: он являлся то художником — при рисовании подробностей поверхности Солнца и планет, то механиком — при сборке инструментов, то инженером — при сооружении помещений для инструментов, то образцовым вычислителем. . .».

Помимо специального, Бредихин получил прекрасное гуманитарное образование, что дало возможность проявиться его незаурядным способностям, к изучению языков. Не считая древних — греческого и латинского, он в совершенстве владел французским, английским и немецким языками, а в тридцать шесть лет также хорошо изучил итальянский.

Прекрасно владел он и русским языком, о чем наглядно свидетельствует неизменный успех его лекций. Интересно привести небольшой отрывок из воспоминаний современника Бредихина, слушавшего его популярную лекцию (II, 21, стр. 114): «. . . лекция Бредихина произвела на меня очень сильное впечатление. Этот небольшого роста человек, крайне подвижный и нервный, с острым, насквозь пронизывающим взглядом зеленовато-серых глаз, как-то сразу наэлектризовывал слушателя, приковывал к себе все его внимание. Чарующий лекторский талант так и

бил из него ключом, то рассыпаясь блестками сверкающего остроумия, то захватывая нежной лирикой, то увлекая красотой поэтических метафор и сравнений, то, наконец, поражая мощной логикой и глубиной научной эрудиции. . .»,

Разносторонняя одаренность Бредихина послужила даже поводом для забавного недоразумения. Так, вспоминая о пребывании своего учителя в Италии, Штернберг (II, 223) и Цераский (II, 224) отмечали, что там он временно забросил астрономию и с увлечением занимался изучением итальянской литературы. Костинский (II, 3) считал тот же период деятельности Бредихина весьма плодотворным в отношении изучения астрофизических и, особенно, астроспектроскопических методов. С. Н. Блажко (II, 73) констатировал это «противоречие» в воспоминаниях ближайших учеников Бредихина. Хотя в настоящее время этот период деятельности Бредихина действительно следует признать наименее изученным, тем не менее уже и то, что известно, убеждает в справедливости слов всех трех его учеников. Несомненно, что за столь короткий срок (меньше года) Бредихин успел в совершенстве изучить методику астроспектроскопических наблюдений, которые он с успехом проводил по возвращении на родину, познакомился со многими итальянскими астрофизиками и тематикой их работ, а также изучил итальянский язык и литературу.

2. Автор стихотворных переводов

О литературных интересах и даровании Ф. А. Бредихина очень ярко высказался его ближайший ученик А. А. Белополюский: «Глубокий знаток и ценитель русского языка и русской литературы, он внимательно следил за ее успехами, отмечал все талантливое и беспощадно критиковал бездарное. Он даже стихом владел в совершенстве, доказательством чему служат его переводы в стихах итальянских трагедий: «Виргинии» (Альфieri), «Герцога Миланского» и «Франчески да Римини». Да и древними языками владел он весьма основательно» (II, 9, стр. II—III).

Из упомянутых Белополюским переводов только один появился в печати — трагедия «Виргиния», в 1871 г. (I, 202).

Появление этого перевода само по себе представляло значительное явление в русской литературе второй половины XIX в., так как итальянская классика была почти неизвестна в России, тогда как произведения французских, немецких и английских писателей пользовались широкой популярностью. Отмечая эту особенность, автор одного литературного обзора 1871 г. писал: «Странно, что у нас в России, где общество сильно озабочено своей внутренней перестройкой (имеются в виду события, связанные с отменой крепостного права в 1861г., — *Н. Н.*), . . . до сих пор было так мало обращено внимания на современную итальянскую литературу (речь идет о школе, созданной В. Альфиери, — *Н. Н.*), более всех прочих запечатленную духом общности с народными интересами, на пользу которых она так много и усиленно трудилась» (II, 225, стр. 171).

В предисловии к своему переводу Бредихин сообщил краткие биографические сведения о Витторио Альфиери (1749—1803 гг.) и дал характеристику его творчества, проникнутую глубоким сочувствием и уважением к личности этого высоко одаренного человека, страстного патриота, борца за освобождение и объединение Италии в единое государство с республиканской системой правления. Бредихин писал: «Направление деятельности Альфиери определилось его личным характером, не подчинявшимся условиям окружавшей его печальной действительности, и даже ставшим с ними в противоречие. Его мужественный ум, его глубокое чувство сознания человеческого достоинства не могли не возмущаться тогдашним жалким политическим и общественным положением Италии» (I, 202, стр. 59). Альфиери явился основателем нового направления в итальянской литературе, превратившего ее из средства развлечения придворных в могучее средство воспитания народных масс в духе патриотизма и ненависти к тирании. Таким образом, Альфиери и его последователи «буквально вынесли на своих плечах дело освобождения и объединения Италии» (II, 225, стр. 177).

В своих произведениях, сюжеты которых были почерпнуты в основном из классической греческой и римской литературы, Альфиери прославлял смелых борцов за свободу родины, идеалы республики. Остановимся подробнее на опубликованном переводе Бредихина.

Действие трагедии «Виргиния» происходит в древнем Риме. Жестокий и коварный тиран Аппий, обманом за-

хватив власть, свергает республику и становится полно-властным правителем. Влюбившись в дочь храброго солдата-плебея Виргинию, он пытается отнять ее у родителей под предлогом того, что она — рабыня его придворного. За честь Виргинии вступаются ее отец и жених — смелый народный трибун-республиканец — Ицилий. Он призывает плебеев к свержению тирана. Трагическая гибель героев в борьбе с Аппием вызывает восстание народа, который убивает тирана.

Вся трагедия проникнута глубокой ненавистью к патрициям, предающим родину ради своих корыстных интересов, и большой симпатией к представителям простого народа — плебеем, которых автор считает истинными защитниками республики (I, 202, стр. 69—70).

«Вот до чего дошел
Ты, Рим? . . . Патриции, вы низки здесь,
И вам рабами быть должно; в цепях
Влачить вас нужно; вы храните в сердце
Лишь трусость, ложь, тщеславие и жадность.
Вас зависть к добродетелям плебеев,
Неведомым совсем для ваших душ,
Томит и мучит вечно. И из злобы
Сковать себе даете руки вы,
Чтобы народ двойной опутать цепью.
Вы рабства гнусного и общих бедствий
Желаете, чтоб только не пришлось
Свободой сладкою делиться с нами.
Бесчестные! Вам наша радость — горе.
И веселитесь вы, когда мы плачем.
Но времена изменятся, я верю,
И может быть уж близок день. . .».

Большой верой автора в силы народа, его важную роль в переустройстве общества звучат следующие слова (I, 202, стр. 88):

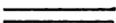
«. . . жалости ищи лишь в сердце черни:
Она одна способна возвратить
Отцу — дитя, Ицилию — жену.
А Риму и себе — свободу с честью».

Несомненно, что выбор для перевода именно такой трагедии не был случайным. Можно предполагать, что идеи, выраженные Альфиери в этой трагедии, нашли живой отклик в душе Бредихина.

Высокие литературные качества перевода также не подлежат сомнению (II, 226). Простой, лаконичный и вместе с тем выразительный язык обусловил ему долгую жизнь. Даже сегодня, почти через сто лет после того, когда был сделан этот перевод, он легко и с интересом читается.

В заключение главы остается напомнить, что стремление к точности и выразительности языка побудили Бредихина совместно со специалистом по классической римской и греческой литературе — профессором Г. А. Ивановым взяться за разработку новой кометной терминологии. Хотя предложенная ими терминология так и не стала общепринятой, попытка Бредихина ввести терминологию, которая помогла бы исследователям комет точно описывать разнообразные кометные явления, и, вместе с тем, была бы логически правильной и с точки зрения филологии, представляет интерес и в настоящее время. Этот вопрос более подробно рассматривался в главе III.

Большая языковая культура Бредихина наложила отпечаток и на все его научные работы, в которых логика и глубина мысли сочетались с простотой, ясностью и выразительностью изложения. Кроме того, Бредихин был прекрасным оратором и полемистом, умевшим убедительно доказать ошибочность утверждений своих научных противников.



ПРИЗНАНИЕ НАУЧНЫХ ЗАСЛУГ Ф. А. БРЕДИХИНА

1. Ф. А. Бредихин в оценке своих современников

Многочисленные и разнообразные труды Бредихина и, особенно, его исследования по теории кометных форм и происхождению метеорных потоков получили широкое признание еще при его жизни.

О большом авторитете, которым он пользовался у своих современников, свидетельствуют слова ирландского астронома Р. Болля, сказанные в 1884 г. на годовичном заседании Британского общества в Монреале: «Сосредоточим наше особенное внимание на трех монументальных приобретениях в истории комет. Эти приобретения суть: во-первых, открытие зависимости между кометами и падающими звездами, во-вторых, спектральные исследования комет и, в-третьих, исследования над хвостами комет. Первое из них навсегда должно быть связано с именем профессора Скиапарелли, второе — с именем профессора Хеггинса, третье — с именем профессора Бредихина».¹⁰⁷

Научные заслуги Бредихина получили признание со стороны целого ряда отечественных и зарубежных научных обществ, избравших его своим членом. Так, он был членом-учредителем Московского математического общества (с 1867 г.); членом (с 1862 г.), а затем президентом (1886—1890 гг.) и почетным членом Московского общества испытателей природы (с 1890 г.). В 1877 г. Бредихин был избран членом-корреспондентом Петербургской Академии наук, а в 1890 г. — ординарным академиком. В том же году он стал председателем только что основанного в Пе-

¹⁰⁷ Цитировано по статье О. А. Мельникова (II, 6, стр. 23).

тербурге Русского астрономического общества. В 1891 г. он был избран членом Харьковского математического и Русского географического общества, а в 1897 г. — почетным членом Московского университета и в 1898 г. — почетным членом Русского астрономического общества (II, 227).

Широкое признание получили работы Бредихина и за рубежом. В 1877 г. он был избран членом Германского астрономического общества (Astronomische Gesellschaft); в 1883 г. — членом Леопольдино-Каролинской академии в Германии (в Галле); в 1884 г. — почетным членом Лондонского королевского астрономического общества и членом-корреспондентом Ливерпульского астрономического общества. В 1889 г. Бредихин был избран членом-корреспондентом Итальянского общества спектроскопистов и членом Математического и Естественно-исторического общества в Шербурге. В 1892 г. ему была присуждена почетная степень доктора натурфилософии Падуанского университета и в 1894 г. он был избран членом-корреспондентом Бюро долгот в Париже (II, 227, 228).

Наглядным подтверждением авторитета Бредихина среди своих современников может служить его обширная переписка с различными отечественными и зарубежными учеными, хранящаяся в Архиве Академии наук СССР в Ленинграде (Ф. 705, оп. 1, №№ 10, 11, 12 и т. д.). Каждый астроном, открывший или наблюдавший какую-либо комету, считал своим долгом послать ее фотографии или рисунки Бредихину. В числе его корреспондентов были такие известные астрономы, как Е. Барнард, Дж. Гилл, В. Хеггинс, Дж. Галле и многие другие (II, 228).

Известность Бредихина не ограничивалась, однако, узким кругом ученых-специалистов. Его имя хорошо знали и любители астрономии. Известно, например, что Нижегородский кружок любителей физики и астрономии избрал его своим почетным членом. С этим кружком Бредихин поддерживал теплые дружеские связи в течение всей жизни и подарил ему 4'' рефрактор Мерца (II, 6).

Хорошо знали Бредихина и зарубежные любители астрономии. О его работах писали газеты Шотландии (II, 228, письмо 11) и других стран, ему присылали свои наблюдения любители. Так, например, Ф. Кениссе из Нантера (Франция) прислал ему свою фотографию кометы



SOCIETÀ DEGLI **S**PETTROSCOPISTI **I**TALIANI

*Al Signor Prof. **Teodoro Bredichin**
è iscritto fra i membri corrispondenti della Società degli
Spettroscopisti Italiani.*

ROMA, li 10 Febbrajo 1889

IL DIRETTORE
Luigi Zanichelli



IN FINE LIT. S. VIGANO E C. ROMA

Диплом Ф. А. Бредихина — члена-корреспондента Общества итальянских спектроскопистов.

Борелли 1903 IV и трогательно просил сообщить, какую пользу для науки удастся извлечь из его наблюдений (II, 228, письмо 8).

О широкой известности Бредихина свидетельствует также тот факт, что свои наблюдения комет ему присылали из разных стран мира простые люди, которым случайно удавалось наблюдать какую-либо комету. Известно, что свои наблюдения кометы прислал Бредихину один тамбовский помещик (II, 21, стр. 119). Подобные же сообщения ученый получал и из-за границы. Так, например, Джон Пим из Бельфаста (Ирландия) прислал зарисовки кометы 1901 I, сделанные его сыном — капитаном дальнего плавания — возле Мадагаскара (Амбонирана; I, стр. 456).

Исследования Бредихина о кометах еще при его жизни вошли в учебники (1896 г., II, 229 и т. д.), популярные книги (1877 г., II, 45, 230 и др.) и энциклопедии (II, 231 и др.). Они были широко известны и высоко оценены. Наиболее ярко выразился в отношении трудов Бредихина английский физик Ч. В. Бойс (II, 3, стр. 18): «... невозможно прочесть хотя бы одну десятую долю бредихинских исследований, чтобы не почувствовать, насколько он, при помощи своего удивительного прилежания, овладел областью вопроса о кометах и их хвостах; всякий посторонний, сделавший здесь мимоходом случайный выстрел, был бы должен подвергнуться строжайшему наказанию как браконьер».

Не менее хорошо были известны и труды Ф. А. Бредихина по теории происхождения метеорных потоков. И эти работы, начиная с первых наблюдений Персеид в 1874 г., были хорошо известны за границей. Его «интересные и точные наблюдения», а затем и теоретические исследования систематически обсуждались на страницах Мемуаров общества итальянских спектроскопистов (II, 232). Как отмечалось выше, эти труды были опубликованы Бредихиным в 1903 г. в виде отдельной книги. В. К. Цераский придавал большое значение изучению этой книги, указав, что она достойна особого внимания молодых ученых, так как представляет собой неисчерпаемый источник дальнейших исследований в этой области (II, 224, стр. 476).

Широко известны были современникам Бредихина и другие его работы, публиковавшиеся в различных рус-

ских и иностранных изданиях, а также излагавшиеся им в публичных лекциях и популярных статьях.

Несмотря на всемирную известность, Бредихин был очень скромен и всегда с готовностью делился своими идеями и мыслями с молодежью. Как вспоминал Белополюсский (II, 9, стр. III): «Ф. А. всегда любил молодежь, и всегда она его окружала до самой смерти. От него исходила школа молодых астрономов. Он прямо очаровывал своих учеников своею личностью, своим остроумием, веселой и живой беседой, тонкой наблюдательностью и необыкновенной простотой обращения: в беседе с ним забывалось его высокое научное и общественное положение».

Именно эти особенности личности и характера Бредихина позволили ему воспитать целую плеяду талантливых учеников и создать отечественную астрофизическую школу. Вместе с тем он внес большой вклад и в развитие мировой астрофизики, постоянно работая в тесном контакте с учеными других стран.

Особенно дружескими и тесными были связи Бредихина с итальянскими астрофизиками. Наглядным примером того, каким глубоким уважением и любовью пользовался он среди своих итальянских коллег, является теплый, сердечный некролог, напечатанный в 1904 г. в Мемуарах общества итальянских спектроскопистов (II, 233): «14 мая умер профессор Теодор Бредихин, один из выдающихся ученых и астрономов России. . .

«Он горячо и с большим увлечением занимался исследованиями по позиционной астрономии, геодезии и астрофизике, уделяя особое внимание кометам и падающим звездам. . .

«Бредихин был человеком, одаренным выдающимися качествами сердца и ума, с которыми сочеталась широкая культура (он был также полиглотом), большая аристократическая щедрость к науке, как это доказали учрежденные им премии за научные работы. . .

«Он принимал активное участие в работе нашего общества в течение многих лет; мы неоднократно сотрудничали с ним, и вплоть до самого последнего времени поддерживали с ним деятельные и сердечные отношения».¹⁰⁸

¹⁰⁸ Некролог был составлен П. Таккини, близким другом Бредихина и его постоянным корреспондентом.

2. Ф. А. Бредихин и современная наука

Высокую оценку получили труды Ф. А. Бредихина и в настоящее время. Его имя можно найти в любой энциклопедии мира (II, 234, 235 и т. д.). Изложение теории комет или метеорных потоков ни в одном учебнике или популярной книге не обходится без упоминания о его работах. Наглядным доказательством признания заслуг Бредихина является тот факт, что Х. Шепли и Е. Ховарт включили его труды по кометам и метеорам в число классических, которые, наряду с трудами таких корифеев науки как Н. Коперник, К. Гаусс и Ф. Бессель, заложили основы современной науки (II, 236).

Отмечая научные заслуги Ф. А. Бредихина, Президиум Академии наук СССР учредил в 1946 г. премию его имени, которая присуждается за лучшие работы по астрономии раз в три года.

За время, протекшее от эпохи Бредихина до наших дней, наука ушла далеко вперед. Если тогда астрофизическое исследование Солнца, планет, звезд, туманностей, комет и метеорных потоков только начиналось, то теперь уже собран богатый наблюдательный материал, на основании которого были сделаны важные заключения как о природе этих небесных тел, так и о характере происходящих на них физических процессов.

Безусловно, что систематически проводившиеся Бредихиным наблюдения Солнца, планет, туманностей, комет и метеорных потоков сыграли определенную роль в дальнейшем их изучении, однако, в настоящее время они представляют главным образом исторический интерес. Тем не менее теоретические исследования, содержащие массу интересных замечаний, идей и высказываний и теперь привлекают внимание специалистов.

В настоящее время наибольший интерес представляют исследования Бредихина по теории кометных форм.

За время, протекшее с 1904 г., а особенно в самые последние годы изучение кометных явлений значительно продвинулось вперед. Был обнаружен ряд новых фактов, неизвестных Бредихину, как например различие спектров голов и хвостов комет, лучевая структура хвостов I_0 типа. Тем не менее многие мнения и выводы Бредихина получили подтверждение уже на основании совершенно иных представлений. Его механическая теория кометных

форм и теперь лежит в основе современных исследований.

Предложенная Бредихиным классификация хвостов, несколько дополненная работами советских ученых — С. В. Орлова (1—19) и его школы — сохраняет важное значение в современной науке (II, 237). Обнаружена и подробно изучена в 1948—1951 гг. реакция истекающего из ядер комет вещества на движение комет, которую предсказывал Бредихин.¹⁰⁹

Исследованиями О. В. Добровольского (II, 241) было подтверждено и замеченное Ф. А. Бредихиным изменение отталкивательных ускорений $1-\mu$ вдоль хвоста. Долго не удавалось объяснить параболическую форму головы кометы, вытекавшую из механической теории кометных форм. Однако недавняя работа В. Г. Рийвеса (II, 240) устранила и это возражение. Оказалось, что требуемая теорией форма головы объясняется при введении максвелловского закона распределения скоростей частиц. Пока еще не удается удовлетворительно объяснить движение облачных образований. Однако, несмотря на имеющиеся трудности, механическая теория кометных форм Бредихина, дополненная работами современных, главным образом советских астрономов, может считаться построенной (II, 241).

Значительно бóльшие изменения претерпела со времен Бредихина физическая теория кометных явлений.

Как уже отмечалось в главе III, наблюдателям XIX в. были доступны только спектры голов комет, тогда как спектры хвостов стали изучаться только с 1907 г. Накопленный в настоящее время материал позволил установить химический состав хвостов (в основном ионизированный азот и угарный газ — Na_2^+ , CO^+) и голов (молекулы углеводорода, циана, углерода — CH , CN , C_2 , O_3 и т. д., а в редких случаях — металлов: натрия, железа, никеля и других). Было показано также, что механизм возбуждения свечения основных линий и полос кометных спектров носит флюоресцентно-резонансный характер (II, 242).

Таким образом, хотя большинство отождествленных Бредихиным линий в спектрах комет оказалось неправильным, линии металлов все-таки были обнаружены и на-

¹⁰⁹ В работах советского астронома А. Д. Дубяго (II, 238 и др.), американского астронома Ф. Уиппла (II, 239 и др.) и их учеников.

блюдались время от времени в спектрах ярких комет, близко проходивших около Солнца. Вопрос о присутствии в кометах водорода пока остается открытым, но следует отметить, что и здесь догадка Бредихина о том, что водород не был найден в спектрах комет из-за особых условий наблюдения, блестяще оправдалась. Так как резонансные линии водорода лежат за пределами наблюдаемого спектра комет, то отсутствие водорода в спектрах комет получило естественное объяснение (II, 92).

В 1958 г. удалось даже по спектру ядра измерить скорость его вращения (II, 243). Тем самым было подтверждено мнение Бредихина о вращении кометных ядер.

Наблюдая характерные эмиссионные полосы в спектре комет на фоне непрерывного спектра, Бредихин приписывал этот спектр ядру и объяснял его простым отражением солнечного света от твердых частиц ядра, а в 1958 г. (II, 242) было показано, что «непрерывный» спектр в действительности возникает в результате рассеяния на свободных электронах.

Наиболее подробно рассматривался в современной науке вопрос о физической природе солнечного отталкивания в хвостах комет. Как было показано в главе III, Бредихин считал это отталкивание результатом суммарного действия нескольких сил, среди которых видное место отводилось и световому давлению, экспериментально изученному П. Н. Лебедевым.

Механизм лучевого давления на пылевые частицы хвостов детально разрабатывался К. Шварцшильдом (II, 113, 115) и П. Дебаем (II, 244), а затем С. В. Орловым (II, 245, 1931 г.) и Б. Ю. Левиным (II, 246), который привлек для этой цели теорию Г. Ми (II, 247, 1908 г.). Таким образом, удалось построить теорию пылевых хвостов (т. е. хвостов, состоящих из пыли с небольшой примесью газа), удовлетворительно объясняющую наблюдаемое отталкивание хвостов II и III типов при помощи светового давления. Правда, остался еще ряд деталей в хвостах II типа, которые пока не удалось объяснить.

Теория газовых хвостов строилась на основании введенного Лебедевым представления о газовой молекуле как селективном резонаторе. В хвостах I типа, особенно лучевых системах I_0 , которые были обнаружены и изучены уже после смерти Бредихина (по фотографиям), величины отталкивательных ускорений оказались в ты-

сячи раз превосходящими обычное ньютоновское притяжение. Такие большие ускорения не удалось свести к световому давлению (II, 248), что рассматривалось как серьезное возражение против теории Бредихина.

Такое заключение нельзя, строго говоря, считать правильным. Как было показано в главе III, Бредихин никогда не сводил отталкивание, наблюдаемое в хвостах комет, только к световому давлению. Эту точку зрения высказал Лебедев, который впоследствии признал, что световое давление является не единственным фактором, действующим в хвостах комет. Таким образом, классическая механическая теория кометных форм рассматривала световое давление как важный, но не единственный фактор.¹¹⁰ Последователи Бредихина детально разрабатывали теорию лучевого давления, что было вполне естественно на первом этапе исследования. Постепенно стали выявляться особенности, которые нельзя было объяснить при помощи одного только светового давления. Понадобилось уже учитывать и другие факторы. Именно такой случай имел место при изучении газовых хвостов I типа. Однако это следует считать не опровержением, а как раз подтверждением правоты Бредихина, который еще в 1893 г. указал на необходимость учитывать несколько действующих факторов, не сводя их к одному световому давлению.

Выход из создавшегося затруднения был найден после установления в 1950 г. корреляции между блеском голов комет и солнечной активностью (II, 119). Так был обнаружен еще один фактор — корпускулярное излучение Солнца, в дополнение к известному ранее фотонному излучению.

Как показали спектральные исследования, хвосты I типа состоят из ионизированных молекул. Эти молекулы образуют изолированные потоки, придающие хвостам этого типа сложный, струйчатый вид. На основании полученных данных в настоящее время сложилось представление о кометных хвостах как о плазме, состоящей из ионов и свободных электронов. В такой плазме на первое место выступают уже электродинамические, а не чисто

¹¹⁰ Положение о том, что в теории Бредихина отталкивание хвостов комет объясняется только световым давлением, было введено в литературу С. В. Орловым, неоднократно излагавшим краткое содержание механической теории кометных форм Ф. А. Бредихина (II, 5, 76 и т. д.).

механические процессы. С этой точки зрения струйчатую структуру хвоста можно объяснить как поток ионов и электронов в создаваемом им магнитном поле.

В соответствии с новыми представлениями был начат пересмотр всей классической теории. О. В. Добровольский показал (II, 249), что полная теория комет может быть построена, если отказаться от обычных для классической теории представлений о кометах как квазистационарных образованиях и считать их нестационарными.

В теории хвостов I типа были выдвинуты и в настоящее время разрабатываются два направления.

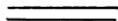
Первое из них было намечено О. В. Добровольским в 1949 г. (II, 250) и количественно разработано Л. Бирманом в ряде статей 1951—1953 гг. (II, 251). В теории Бирмана предполагается, что ускорения в ионизированных хвостах I типа вызываются воздействием корпускулярного излучения Солнца на вещество хвоста, которое рассматривается как плазма разряда. При таких предположениях удалось получить наблюдаемые величины отталкивательных ускорений, однако пришлось допустить слишком большую плотность порядка 10^3 — 10^5 см⁻³.

Для того чтобы устранить эти трудности, Х. Альфвен предложил другое объяснение, не прибегая к предположениям о чрезвычайно большой плотности корпускулярного излучения Солнца (II, 252). Выдвинутый им магнито-гидродинамический механизм образования хвостов I типа показал возможность качественного объяснения всех основных явлений. При столкновении головы кометы с пучком корпускулярной радиации Солнца происходит разогрев и ионизация газов головы. Магнитное поле корпускулярного потока «вмерзает» в газ головы кометы и с удалением этого потока получается тянущийся за ним пучок магнитных силовых линий, которые и определяют необъяснимые при помощи светового давления особенности формы и структуры хвостов I типа. По-видимому, к этому удастся свести и структурные особенности хвостов II типа, до сих пор не получившие объяснения.

Таким образом, при построении теории газовых хвостов оказалось достаточным ввести, кроме светового давления, воздействие корпускулярной радиации Солнца на хвосты комет. В связи с этим интересно напомнить, что Бредихин, говоря о действии в хвостах комет «электрических» сил, помимо светового давления, видел проявление этих сил

именно в корреляции между блеском головы кометы и солнечной активностью (глава III), т. е. он предугадал действие корпускулярного излучения, намного опередив свое время.

Это является еще одним доказательством того, насколько важно изучение его трудов и в настоящее время. Конечно, Бредихин не рассматривал и не мог рассматривать всех деталей и подробностей явлений в их современном виде, однако его труды, содержащие тщательное описание и изучение массы кометных явлений, до сих пор служат и долго еще будут служить источником дальнейших исследований.



1. БИБЛИОГРАФИЯ ПЕЧАТНЫХ ТРУДОВ Ф. А. БРЕДИХИНА

1 8 5 7

1. Несколько слов о будущем затмении Солнца. — Московские ведомости, 1857, № 107 (письмо редактору).
2. Еще астрономическая заметка. — Московские ведомости, 1857, № 106.
3. Несколько слов о бывшем затмении Солнца. — Московские ведомости, 1857, № 117.

1 8 6 1

4. Quelques mots sur les queues des comètes, — AN, 1861, Bd. 54, № 1291, SS. 289—292.
5. Sur la direction des queues des comètes de 1844 III et de 1853 III, — AN, 1861, Bd. 55, № 1305—1306, SS. 145—148.

1 8 6 2

6. О хвостах комет, магистерская диссертация. М., 1862.
То же с биографическим очерком К. Д. Покровского и списком трудов Ф. А. Бредихина: М.—Л., ГТТИ, 1934.

1 8 6 3

7. Возмущения комет, происходящие от сопротивления эфира, в котором перемещается солнечная система. М., 1863, 18 стр.
То же (ч. I): Sur la résistance de l'éther produite par le mouvement de translation du système solaire. — АМО, I série, 1880, v. VI, livr. 2, pp. 20—49.
То же (ч. II): Sur le milieu résistant. — АМО, I série, 1883, v. IX, livr. 1, pp. 18—23.
8. Отклонения отвеса в Московской губернии. — Русский вестник, 1863, апрель, стр. 818—834.
9. Positions de la comète de 1858 V, tirées des observations faites à l'Observatoire de l'Université de Moscou. М., 1863, 15 pp.
То же: АМО, I série, v. VI, livr. 1, pp. 104—116.

1 8 6 4

10. Возмущения комет, независящие от планетных притяжений, ч. I. М., 1864, XVI, 101 стр. (Докторская диссертация).
11. Излияние вещества из ядра большой кометы 1862 г. М., 1864, 21 стр.

12. Observations météorologiques faites à l'Observatoire de l'Université de Moscou. (Decembre 1857, Janvier—Mai 1858). — Bulletin SIN, 1864, v. 37, III, Supplément, pp. 1—13.

1 8 6 7

13. Колебания кометного ядра. — Математический сборник, 1867, т. II, стр. 228—246.

1 8 6 9

14. Sur la comète de 1861, II. — AN, 1869, Bd. LV, S. 335.

1 8 7 1

15. Вопрос о состоянии земной внутренности. — Знание, 1871, № 5, стр. 85—106.
16. Климаты земли в прошедшем. — Беседа, 1871, кн. 5, стр. 278 — 309.
17. Несколько слов о соотношении между теплотой Солнца, его пятнами и действием на него планет. — Московские университетские известия, 1871, № 2, стр. 75—88.
То же: М., 1871, 14 стр.
18. Падающие звезды. — Московские университетские известия, 1871, № 1, неоф. отд., стр. 1—25.
То же: Русский вестник, 1871, т. 91, январь, стр. 149—170.
19. Процесс Галилея по новым документам. — Русский вестник, 1871, т. 92, № 4, стр. 405—414.
20. Прошедшее и настоящее тел солнечной системы, преимущественно земли. — Беседа, 1871, кн. 2, февраль, стр. 101—136.
21. Солнце и его пятна. — Беседа, 1871, кн. 11, стр. 121—152.

1 8 7 2

22. Кометы. — Русский вестник, 1872, т. 99, май, стр. 192—249.
23. Несколько слов по поводу новой теории г. Любимова. — Математический сборник, 1872, т. VI, стр. 303—308.

In Bezug auf dem Artikel des Herrn N. Lubimoff.
«Neue Theorie des Gesichtsfeldes und der Vergrößerung der optischer Instrumente». — Bulletin SIN (An. 1871), 1873, v. 45, IV, pp. 380—395.

24. Заметка на ответ г. Любимова. — Математический сборник, 1872, т. VI, стр. 453—456.

Bemerkung auf die Antwort des Herrn Lubimoff. — Bulletin SIN (An. 1873), 1873, v. 46, № 11, pp. 461—465

1 8 7 3

25. Публичные лекции астрономии. — Природа, 1873, кн. 1, стр. 1—101; кн. 2, стр. 1—120, илл.

Содержание кн.: I — I. Современные средства исследования свойств небесных тел. — II. Солнце. — III.

Строение и свойства Солнца. Солнечная теплота на земле.— IV. Влияние на землю явлений, совершающихся на Солнце. Полярные сияния.— V. Мир планет. Кн. 2—VI. Кометы и их движение.— VII. Явления, представляемые кометами с приближением их к Солнцу.— VIII. Родство между кометами и падающими звездами.— IX. Миры так называемых неподвижных звезд.— X. Туманное вещество в небесных пространствах. Скопица звезд.

26. Beobachtungen der Flora (8) auf der Moscauer Universitäts-Sternwarte.— AN, 1873, Bd. 83, № 1979, SS. 173—174.
27. Observations spectroscopiques du soleil faites pendant l'été de 1872.— Bulletin SIN (An. 1873), 1873, v. 46, № 1, pp. 59—95.
То же: AMO, I série, 1882, v. VIII, livr. 2, pp. 1—33; MSI, 1873, v. II, pp. 81—87.
28. Observations spectroscopiques du soleil faites pendant l'été (et l'automne) de 1873.— Bulletin SIN (An. 1873), 1874, v. 46, pp. 161—212.
То же; AMO, I série, 1882, v. VIII, livr. 2, pp. 34—65.

(Извлечение из вышеуказанной работы) Die Sonnenfackeln und die Sonnenflecke.— Naturforscher, 1874, Jahrg. VII, № 20, S. 194.

- То же. Osservazioni spettroscopiche del sole nell'estate et autunno del 1873.— MSI, 1874, v. III, pp. 39—42.
29. Observations spectroscopiques du soleil faites en 1874.— AMO, I série, 1875, v. II, livr. 1, pp. 38—68.

Osservazioni spettroscopiche del sole fatte nell'estate 1874.— MSI, 1875, v. IV, pp. 45—46.

30. Observations spectroscopiques du soleil faites en 1875.— AMO I série, 1876, v. II, livr. 2, pp. 1—26.
То же (на итальянском языке): MSI, 1876, v. V, pp. 4—7.
31. Observations spectroscopiques du soleil faites en 1876.— AMO, I série, 1877, v. III, livr. 2, pp. 110—119.
32. То же: en 1877.— AMO, I série, 1878, v. IV, livr. 2, pp. 89—94.
33. То же: en 1878.— AMO, I série, 1879, v. V, livr. 2, pp. 146—150.
34. То же: en 1879.— AMO, I série, 1880, v. VI, livr. 2, pp. 86—94.
35. То же: en 1880.— AMO, I série, 1881, v. VII, livr. 2, pp. 79—89.
36. То же: en 1881.— AMO, I série, 1883, v. IX, livr. 2, pp. 35—47.

1 8 7 4

37. Observations faites au cercle méridien. (Вступительная статья Бредихина — стр. III—XIX; таблицы его наблюдений помечены буквой В) — AMO, I série, 1874, v. I, pp. III—XIX, 1—406.

Observations faites au cercle méridien par Th. Brédichin et M. Khandricoff, calculées par A. Gromadzki.— AMO, I série, 1877, v. III, livr. 1, p. 47.

Observations faites au cercle méridien par Th. Brédichin et M. Khandricoff, calculées par V. Travin.— AMO, I série, 1878, v. IV, livr. 1, pp. 1—33.

38. Observations sur le Jupiter faites en 1874, Bulletin SIN (An. 1874), 1874, v. 48, № 2, pp. 185—195.
39. То же: AMO, I série, 1875, v. II, livr. 1, pp. 1—8.
40. То же: en 1875 — AMO, I série, 1876, v. II, livr. 2, pp. 42—50.
41. То же: en 1876, AMO, I série, 1877, v. III, livr. 2, pp. 127—134.
42. То же: en 1877, AMO, I série, 1878, v. IV, livr. 2, pp. 77—83.
43. То же: en 1878, AMO, I série, 1879, v. V, livr. 2, pp. 140—145.
44. То же: en 1879, AMO, I série, 1880, v. VI, livr. 2, pp. 95—106.
45. То же: Bulletin SIN (An. 1879), 1880, v. 54, № 4, pp. 370—383.
- 45 a. Observations sur le Jupiter faites en 1880.— AMO, I série, 1881, v. VIII, livr. 2, pp. 94—102.
46. То же: en 1881—1882.— AMO, I série, 1883, v. IX, livr. 2, pp. 110—113.
47. Spettro della Cometa Coggia.— MSI, Palermo, 1874, v. III, p. 78.
48. Fenomeni osservati nella Cometa Coggia.— MSI, Palermo, 1874, appendice, al v. III, p. 57.

1 8 7 5

49. Beobachtungen des Encke'schen Cometen auf der Moscauer Sternwarte.— AN, 1875, Bd. 85, № 2039, SS. 365—368.
50. Berichtigung.— AN, № 2040, SS. 383—384, Bd. 85.
51. AN, 1875, Bd. 86, № 2041, SS. 9—12.
52. Étoiles filantes (appartenant au torrent) du mois d'août 1874.— AMO, I série, 1875, v. II, livr. 1, pp. 8—13.
То же: Bulletin SIN (1874), 1875, v. 48, III, pp. 133—142.
53. Étoiles filantes (appartenant au torrent) du mois d'août, (1875).— AMO, I série, 1876, v. II, livr. 2, pp. 73—75.

Observations des étoiles filantes, faites par Brédichin, Béliopolsky et Socoloff, calculées par Béliopolsky.— AMO, I série, 1879, v. IV, livr. 2, pp. 84—88.

54. Introduction, AMO, I série, 1875, v. II, livr. 1, pp. III—VII.
(О методических приемах наблюдений).
55. Note.— AMO, I série, 1875, v. II, livr. 1, pp. 94. (О наблюдениях прохождения Венеры по диску Солнца 1874 г.).
56. Messungen von Declinations — differenzen zwischen Junon und in der Nähe liegenden Sternen.— AN, 1875, Bd. 85, № 2020, SS. 57—58.

Mesures micrométriques de la déclinaison de Junon.—
AMO, I série, 1875, v. II, livr. 1, pp. 26—31.

57. Observations astronomiques et physiques sur la comète de 1874 (III).— AMO, I série, v. II, livr. 1, pp. 80—93.
58. Scheinbare Oerter des Cometen 1874 (III).— AN, 1875, Bd. 85, № 2017, SS. 9—12.
59. Spectre de la comète de 1874 (III).— Bulletin SIN (An. 1874), 1875, v. 48, III, pp. 143—149.
60. Spectre des nébuleuses.— MSI, 1875, v. IV, pp. 109—112.
То же: AMO, I série, 1876, v. II, livr. 2, pp. 60—64.
То же (реф.): Fortschr. d. Physik (in Jahre 1876), 1881, Jahrg. XXXII, S. 545.
61. Table auxiliaire pour le calcul de la distance zénithale et de l'angle parallactique pour l'Observatoire de Moscou.— AMO, I série, 1875, v. II, livr. 1, pp. 32—37.

1 8 7 6

62. Спектральные линии планетарных туманностей.— Математический сборник, 1876, т. VIII, стр. 362—378.
63. Inégalités de la vis micrométrique du grand réfracteur.— AMO, I série, 1876, v. VII, livr. 2, pp. 75—79.
64. Introduction.— AMO, I série, 1876, v. II, livr. 2, pp. III—IV. (Об астрофизике).
65. Notes.— AMO, I série, 1876, v. II, livr. 2, pp. 125—126. (Наблюдения зодиакального света 7 и 8 февраля 1875).
66. Observations de la comète d'Encke.— AMO, I série, 1876, v. II, livr. 2, pp. 27—33.
67. Observations de Mars en opposition.— AMO, I série, 1876, v. II, livr. 2, pp. 65—68.
68. Observations des nébuleuses.— AMO, I série, 1876, v. II, livr. 2, pp. 114—124.
69. Sur la queue anormale de la comète de 1862 III.— AN, 1876, Bd. 87, № 2079, SS. 239—240.
То же (реф.) Fortschr. d. Physik (im Jahre 1876), 1881, Jahrg. XXXII, SS. 1399—1400.
70. Sur la queue de la comète de 1874c.— Bulletin SIN (An. 1876), 1876, v. 51, IV, pp. 203—228.
То же: AN, 1876, Bd. 88, № 2102, SS. 219—222.
То же: AMO, I série, 1877, v. III, livr. 2, pp. 1—22.
71. Sur la queue normale de la comète de 1862, II.— AN, 1876, Bd. 88, № 2104, SS. 253—256.
То же: MSI, 1876, v. V, Append. pp. 165—166.
То же (реф.): Fortschr. d. Physik (im Jahre 1876), 1881, Jahrg. XXXII, SS. 1399—1400.
72. Sur l'équation personnelle absolue.— AMO, I série, 1876, v. II, livr. 2, pp. 69—72.

1 8 7 7

73. Jahresberichte über die Thätigkeit der Moskauer Sternwarte für 1876—1878, 1882 — Vierteljahrschr. Astr. Gessell. Leip-

- zig (Jahrg. 121), 1877, SS. 74—76; (Jahrg. 13), 1878, SS. 157—158; (Jahrg. 14), 1879, SS. 151—153; (Jahrg. 18), 1882, S. 118.
74. Mesures micrométriques de quelques groupes d'étoiles.— AMO, I série, 1877, v. III, livr. 2, pp. 145—156.
75. Notes.— AMO, I série, 1877, v. III, livr. 2, pp. 157—158. (О микрометрическом винте рефрактора).
76. Spectre des nébuleuses planétaires.— AMO, I série, 1877, v. III, livr. 2, pp. 120—126.
77. Sur la parallaxe de l'étoile nébuleuse, H. IV, 37.— AMO, I série, 1877, v. III, livr. 2, pp. 91—98.
78. Sur la queue de la comète 1862, II.— AN, 1877, Bd. 89, № 2114, SS. 23—28.
То же (реф.): Fortschr. d. Physik (im Jahre 1877), 1882.
79. Sur les formes anormales dans le développement des comètes (ч. I). Comète de 1862, II.— AMO, I série, 1877, v. III, livr. 1, pp. 1—46.
80. То же (ч. II). Comète de 1861, II.— AMO, I série, 1878, v. IV, livr. 1, pp. 34—81.
81. Introduction . . . — AMO, I série, 1878, v. IV, livr. 1, pp. I—IX. (О гравиметрических работах).

1 8 7 8

82. Introduction (pour le Volume V des Annales).— AMO, I série, 1878, v. V, livr. 1, pp. V—X. (Об астрометрических работах).
83. Mesures micrométriques du groupe de Persée.— AMO, I série, 1878, v. IV, livr. 2, pp. 5—11.
84. Spectre de la comète de 1877 b.— AMO, I série, 1878, v. IV, livr. 1, pp. 104—108.
85. Observations de la comète de 1877 b (Winnecke).— AMO, I série, 1878, v. IV, livr. 2, pp. 71—74.
86. Sur la comète de 1877 b (Winnecke).— AMO, I série, 1878, v. V, livr. 1, pp. 72—78.
87. Observations de la comète de 1877 c.— AMO, I série, 1878, v. IV, livr. 2, pp. 75—76.
88. Observations de Mars en opposition de 1877.— AMO, I série, 1878, v. IV, livr. 2, pp. 1—4.
89. Remarque générale sur les comètes.— AMO, I série, 1878, v. V, livr. 1, pp. 96—98; 1879, v. V, livr. 2, pp. 29—45, tabl. AMO.
То же: BAISPB, 1879, v. XXV, № 4, pp. 371—389, tabl.
То же: Wochenschr. f. Astron. Meteorol. Geogr., 1879, Bd. XXII, S. 63.
90. Sur la comète de Halley (1835).— AMO, I série, 1878, v. V, livr. 1, pp. 90—95.
91. Sur la force qui produit les queues des comètes.— AN, 1878, Bd. 93, № 2223, SS. 237—239.
То же: Le Monde, 1878, v. 47, pp. 525—526.
92. Sur la queue de la comète de 1860, III.— AMO, I série, 1878, v. V, livr. 1, pp. 79—89.
93. Sur l'éclipse totale de la Lune du 23 août 1877.— AMO, I série, 1878, v. IV, livr. 2, pp. 95—98.

94. О хвостах комет.— ЗИАН, 1879, т. 34, стр. 80—83.
 То же: Sur les queues des comètes.— BAISPh., 1879, v. XXV, № 3, pp. 310—314.
 То же: Mélanges mathém. et astron., tirés du BAISPh., 1879, v. V, livr. 5, pp. 589—593.
 То же (реф.): Ueber die wahrscheinliche Constitution der Kometen-Schweife.— Sirius, 1879, Bd. XII, SS. 233—235.
95. Remarques générales sur les comètes.— AMO, I série, 1879, v. V, livr. 2, pp. 29—45.
 Mouvement de la matière cométaire sur une hyperbole convexe vers le Soleil.— AN, 1879, Bd. 94, № 2241, SS. 143—144.
96. Note (там же): pp. 152—153 (о тождественности формул Ф. А. Бредихина и Е. Н. Жуковского).
97. Observations de la comète de Brorsen (1879).— AMO, I série, 1879, v. VI, livr. 1, pp. 100—103.
 То же: AN, 1880, Bd. 96, № 2283, SS. 41—46.
98. Recherches sur les queues des comètes (I).— AMO, I série, 1879, v. V, livr. 2, pp. 46—88.
99. Recherches sur les queues des comètes (II).— AMO, I série, 1881, v. VI, livr. 1, pp. 44—58.
100. То же (III): AMO, I série, 1880, v. VII, livr. 1, pp. 1—64.
101. Recherches sur les queues des comètes (IV).— Suppléments à mes recherches sur les queues des comètes.— AMO, I série, 1881, v. VII, livr. 2, pp. 54—78.
102. Schreiben des Herrn Professor Th. Bredichin an den Herausgeber.— AN, 1879, Bd. XCIV, № 2237, SS. 79—80. (Об отгалькивательной силе Солнца на хвосты комет).
103. Schreiben des Herrn Professor Th. Bredichin an den Herausgeber.— AN, 1879, Bd. 95, № 2257, SS. 15—16. (Краткое сообщение о спектре кометы Brorsen).
104. Schreiben des Herrn Prof. Bredichin an den Herausgeber.— AN, 1879, Bd. 95, № 2280, SS. 383—384. (Наблюдения красного пятна Юпитера).
105. Sur la constitution probable des queues des comètes.— AMO, I série, 1879, v. V, livr. 2, pp. 137—139.
 То же: Bulletin SIN (An. 1879), 1879, v. 54, № 1, pp. 74—78.
 То же: AN, 1879, Bd. 95, № 2258, SS. 27—29.
 То же: Le Monde, 1879, v. 49, pp. 185—187.
 То же (реф.): Ueber die wahrscheinliche Constitution der Kometen-Schweife.— Sirius, 1879, Bd. XII, SS. 233—35.
 То же (реф.): Der Naturforscher, 1879, Jahrg. XII, SS. 313—314.
 То же (реф.): Fortschr. d. Physik (im Jahre 1880), 1882, Jahrg. XXXVI, Abt. 3, SS. 90—91.
 То же (реф.): Fortschr. d. Physik (im Jahre 1879), 1886, Jahrg. XXXV, Abt. 3, SS. 881—882.
106. Sur la constitution des comètes.— AMO, I série, 1879, v. VI, livr. 1, pp. 59—61.
 То же: Encore quelques mots sur la constitution des comètes.— AN, 1879, Bd. 95, № 2266, SS. 155—156.
 То же (реф.): Fortschr. d. Physik (im Jahre 1879), 1886, Jahrg. XXXV, Abt. 3, SS. 882—883.

- To же (реф.): Ueber die wahrscheinliche Constitution der Cometen-Schweife.— Der Naturforscher, 1879, Jahrg. XII, № 34, SS 313—314.
107. Mesures micrométriques d'Algol.— AMO, I série, v. V, 1879, livr. 2, pp. 151—152.
108. Positions de la comète de 1858 V.— AMO, I série, 1879, v. VI, livr. 1, pp. 104.

1 8 8 0

109. Schreiben des Herrn Prof. Bredichin an den Herausgeber.— AN, 1880, Bd. 97, № 2321, SS. 265—266. (О разделении хвостов комет на три типа).
110. Sur la constitution de Jupiter.— AN, 1880, Bd. 99, № 2354, SS. 25—26.
To же (реф.): Fortschr. d. Physik (im Jahre 1880), 1883, Jahrg. XXXVI, Abt. 3, S. 35.
111. The tails of comets.— Observatory, 1880, v. 3, p. 454—457.
112. Об определении параллакса туманности в созвездии Дракона.— ИОЛБЕАЭ, 1881, т. XXXVII, в. I, стр. 23—24.
113. Observations de la comète de 1861 (2).— AMO, I série, 1881, v. VII, livr. 2, pp. 105—108.
114. Observations de quelques comètes.— AMO, I série, v. VII, livr. 2, pp. 90—93.
115. Spectre de la comète de Hartwig (1880).— AN, 1881, Bd. 98, № 2345, SS. 271—272.
To же (реф.): Fortschr. d. Physik (im Jahre 1880), 1882, Jahrg. 36, Abt. 3, S. 104.
116. Sur la comète de 1825, IV — MSI, 1881, v. X, pp. 300—309.
117. Sur les quelques des comètes b et c de 1881.— MSI, 1881, v. X, pp. 310—311.
To же: Bulletin SIN (An. 1881), 1882, v. 56, III, pp. 137—140. Sur les quelques des comètes 1881, III et IV.— AN, 1882, Bd. 101, № 2411, SS. 161—162.
To же (реф.): Fortschr. d. Physik (im Jahre 1881), 1887, Jahrg. XXXVII, Abt. 3, SS. 124—125.
To же: ЖРФХО, ч. физ., 1882, т. XIV, стр. 58—60.
118. Note.— AMO, 1881, I série, v. VII, livr. 2, p. 109. (Наблюдение полярного сияния).

1 8 8 2

119. Expériences faites avec la pendule à réversion.— AMO, I série, 1882, v. VIII, livr. 1, pp. 31—56.
120. Recherches sur les comètes de 1881 b et de 1825, c IV.— AMO, I série, 1882, v. VIII, livr. 1, pp. 57—96.
To же: Copernicus, 1882, v. 2, pp. 1—19.
121. Note supplémentaire sur les comètes b et c (III et IV) 1881.— Copernicus, 1882, v. 2, pp. 56—59.
122. Les vapeurs du sodium dans la comète de Wells.— AN, 1882, Bd. 102, № 2437, SS. 207—208.
123. Observations de quelques comètes.— AMO, I série, 1883, v. IX, livr. 2, pp. 114—116.

124. Note sur la pendule à réversion.— AMO, I série, 1883, v. IX, livr. 1, pp. 103—106.
125. Note sur la queue du I type de la comète 1882, II.— Bulletin SIN (An. 1883), 1883, v. 58, № 1, pp. 227—234.
 То же: AMO, I série, 1884, v. X, 1, livr. pp. 7—12.
 То же: AN, 1883, Bd. 106, SS. 177—180.
 То же: Copernicus, 1884, v. 3, pp. 117—121.
 То же: MSI, 1884, № 12, pp. 191—195.
126. Les ondes cosmiques dans la comète. 1882, II.— AN, 1883, Bd. 106, № 2534, SS. 217—220.
 То же: MSI, 1884, v. 12, pp. 197—199.
127. Recherches sur la grande comète de 1882, II.— AMO, I série, 1883, v. IX, livr. 2, pp. 48—77.
 То же: MSI, 1883, v. XII, pp. 93—110.
128. Sur la comète de 1882, I (Wells).— AMO, I série, 1883, v. IX, livr. 1, pp. 24—38.
 То же: Copernicus, 1884, v. 3, pp. 41—50.
129. Sur la grande comète de 1882, II.— Bulletin SIN (An. 1882), 1883, v. 57, IV, pp. 323—332.
 То же: AN, 1883, Bd. 105, SS. 129—132.
 То же: Copernicus, 1884, v. 3, pp. 81—101.
 То же: MSI, 1884, v. 12, pp. 73—78.

130. О больших кометах 1882 г.— ИОЛЕАЭ, 1884, т. XLI, в. 2. Тр. отд. физ. наук, т. II, в. 2, стр. 30.
131. О кометах, появлявшихся в 1881 г.— ИОЛЕАЭ, 1884, т. XLI, в. 2. Тр. отд. физ. наук, т. II, в. 2, стр. 2—3.
132. Об исследованиях спектральных линий комет.— ИОЛЕАЭ, 1884, т. XLI, в. 2. Тр. отд. физ. наук, т. II, в. 2. стр. 1.
133. Calcul des éphémérides des queues cométaires.— AN, 1884, Bd. 107, № 2563, SS. 293—298.
 То же: AMO, I série, v. X, livr. 1, pp. 1—6.
134. Histoire de l'hypothèse des ondes cosmique, composées pour l'explication des formes cométaires.— Bulletin SIN (An. 1883), 1884, v. 58, III, pp. 1—27.
135. Supplement (там же): pp. 128—132.
136. Les ondes cosmiques formant la queue de la grande comète de 1882.— AN, 1884, Bd. 108, № 2569, SS. 1—4.
137. Quelques formules de la théorie des comètes.— Bulletin SIN, (An. 1884), 1884, v. 60, № 3, pp. 3—16.
 То же (реф.): Fortschr. d. Physik (im Jahre 1885), 1891, Jahrg., XLI, Abt. 3, SS. 129—130.
138. Quelques mots sur les comètes; reponse à M. Schwedoff.— Copernicus, 1884, v. 3, pp. 121—127. (Полемика по поводу теории космических волн).
139. Quelques remarques concernant mes recherches sur les comètes.— Bulletin SIN, (An. 1883), 1884, v. 58, № 4, pp. 261—280.
 То же: AN, 1884, Bd. 109, № 2610, SS. 281—288.

140. Sur la grande comète de 1811.— Bulletin SIN (An. 1884), 1884, v. 60, № 3, pp. 58—69.
141. Sur la queue du I type de la comète de 1744.— AMO, I série, 1884, v. X, livr. 2, pp. 142—148.
142. Sur les anomalies apparentes dans la structure de la grande comète de 1744.— Bulletin SIN (An. 1883), 1884, v. 58, IV, pp. 235—249.
143. Sur les syndynames et les synchrones dans les comètes et quelques remarques concernant mes recherches sur les formes cométaires.— AMO, I série, 1884, v. X, livr. 1, pp. 75—99.
144. Sur les têtes des comètes.— Bulletin SIN (An. 1884), 1884, v. 60, № 3, pp. 79—86.
145. Sur l'hypothèse des ondes cosmiques composée pour l'explication des formes cométaires.— AMO, I série, 1884, v. X, livr. 1, pp. 13—33.
146. Sur quelques anomalies apparentes dans la structure des queues cométaires.— Bulletin SIN (An. 1883), 1884, v. 58, III, p. 112—117.
 To же: MSI, 1884, v. 12, pp. 277—279.
 To же: AN, 1884, Bd, 107, № 2568, SS. 379—382.
147. Les syndynames et les synchrones de la comète Pons—Brooks (1833—84).— AMO, I série, v. X, livr. 2, pp. 97—120, tabl.
 To же: MSI, 1885, v. 13, pp. 145—156, tabl.
148. Note supplémentaire sur la comète Pons—Brooks.— AMO, I série, 1884, v. X, livr. 2, pp. 149—154.

1 8 8 5

149. (Beobachtungen der totalen Mondfinsterniss an 4 October 1884 und von Sternbedeckungen während derselben). — AN, 1885, Bd, III, № 2641, SS. 11—12.
150. Revision des valeurs numériques de la force répulsive.— Bulletin SIN (An. 1885), 1885, v. 61, № 1, pp. 1—36.
 To же: AMO, II série, v. I, livr. 1, 1886, p. 24.
151. Sur les oscillations des jets d'émission dans les comètes.— Bulletin SIN (An. 1885), 1885, v. 61, № 1, pp. 93—118.
 To же (peф.): Fortschr. d. Physik. (im Jahre 1885), 1891, Jahrg. XVI, Abt. 3, S. 130.

1 8 8 6

152. Nouvelles recherches sur les comètes.— AMO, II série, 1886, v. I, livr. 1, pp. 1—70, tabl.
 To же (peф.): Fortschr. d. Physik (im Jahre 1886), 1892, Jahrg. XLII, Abt. 3, SS. 129—130.
153. Sur les grandes comètes de 1886.— Bulletin SIN (An. 1886), 1886, v. 62, № 3, pp. 1—8.
 To же: AMO, II série, 1888, v. I, livr. 2, pp. 1—7.

1 8 8 7

154. Sur la grande comète de 1886, f. (Barnard).— Bulletin SIN (An. 1887), 1887, nouv. série, v. VI, № 1, pp. 42—48.
 To же: AMO, II série, 1888, v. II, livr. 2, pp. 7—12.

155. (Beobachtungen der totalen Mondfinsterniss 1888, Jan. 28). Auf der Sternwarte in Moscau.— AN, 1888, Bd. 118, № 2828, SS. 313—314.
156. Quelques remarques sur l'origine des météores.— AN, 1888, Bd. 120, № 2872, SS. 249—251.
То же; Bull. Astron. Paris, 1888, v. 5, pp. 521—523.
То же (реф.): Einige Bemerkungen über den Ursprung der Meteor. — Beibl. Annal. Physik und Chemie, 1889, Bd. XIII, SS. 508—509.
То же (реф.): Fortschr. d. Physik (im Jahre 1888), 1894, Jahrg. 44, Abt. 3, SS. 171—172.
157. Sur la grande comète de 1887, I. — AMO, II série, 1888, v. I, livr. 2, pp. 29—36, 125—128.
То же: Bulletin SIN (An. 1888), 1889, № 5, v. II, pp. 261—268, 545—548.

158. Наблюдения над качаниями поворотного маятника Репсолда, произведенные в селе Желтухине и Б. Шереметьевке.— Изв. Рус. геогр. об-ва 1889, т. XXV, в. 2, стр. 178—185.
159. Quelques mots sur l'origine des comètes périodiques. — AN, 1889, Bd. 120, № 2877, SS. 331—332.
160. Quelques propriétés remarquables des courant météoriques. — Vierteljahrshr. Astron. Ges. Leipzig, 1889, Jahrg. 24, S. 273—279.
161. Sur l'origine des comètes périodiques. — Bulletin SIN (An. 1889), 1889, nouv. série, v. III, № 2, pp. 181—201.
То же: AMO, II série, 1890, v. II, livr. 1—2, pp. 1—17.
То же (реф.): Ueber den Ursprung der periodischen Kometen. — Naturwiss. Rundschau, 1889, Jahrg. IV, SS. 438—439.
162. Sur l'origine des étoiles filantes. — Bulletin SIN (An. 1889), 1889, nouv. série, v. III, № 1, pp. 1—60.
То же: AMO, II série, 1890, v. II, livr. 1—2, pp. 18—72.
То же (реф.): Fortschr. d. Physik (im Jahre 1889), 1895, Jahrg. 45, Abt. 3, SS. 160—163.
То же (реф.): Ueber den Ursprung der Sternschnuppen. — Naturwiss. Rundschau, 1889, Jahrg. IV, SS. 337—339.

163. Sur les compagnons de la comète 1889, V (Brooks, juillet 6). — AMO, II série, 1890, v. II, livr. 1—2, pp. 158—164.
То же: AN, 1890, Bd. 123, № 2949, SS. 321—323.
То же (реф.): Nature, 1890, v. 41, p. 305.
То же (реф.): Fortschr. d. Physik (im Jahre 1890), 1895, Jahrg. 46, Abt. 3, S. 181.
164. Note sur la queue anormale de la comète de 1889, I. — AMO, II série, 1890, v. II, livr. 1—2, pp. 164—165.
165. Sur les propriétés importantes des courants météoriques. — Bulletin SIN (An. 1889), 1890, nouv. série, v. III, № 4, pp. 629—652.
То же: AMO, II série, 1890, v. II, livr. 1—2, pp. 135—157.

1891

166. Sur les Perseides observés en Russie en 1890. — BAISPb., 1891, nouv. série, v. II (XXXIV), № 2, pp. 231—258, tabl.
 То же: Mélanges mathém. et astron. tirés du BAISPb., 1894, v. VII, pp. 121—148, tabl.
 То же: en 1892. — BAISPb., 1893, nouv. série, v. III (XXXV), № 3, pp. 457—478.
 То же: Mélanges mathém. et astron. tirés du BAISPb., 1894, v. VII, pp. 307—328.
167. То же: observés à Poulkovo en 1893. — ИИАН, 1894, сер. 5, т. 1, № 6, стр. 33—59.
 То же (реф.): Fortschr. d. Physik (im Jahre 1895), 1896, Abt. 3, SS. 188—189.
168. Sur les phénomènes extraordinaires présentés par la grande comète de 1882. — BAISPb., 1891, nouv. série, v. II (XXXIV), № 1, pp. 37—48, tabl.
 То же: Mélanges mathém. et astron. tirés du BAIS, 1894, v. VII, pp. 67—78, tabl.
 То же (реф.): Fortschr. d. Physik (im Jahre 1891), 1897, Jahrg. 47, Abt. 3, SS. 163—164.

1892

169. Теория выделения метеоров из комет. — Изв. РАО, 1892, в. I, стр. 41—116.
170. Sur la dispersion des points radiants des météores. — BAISPb., 1892, nouv. série, v. III (XXXV), № 2, pp. 189—216, tabl.
 То же: Mélanges mathém. et astron. tirés du BAISPb., 1894, v. VII, pp. 249—276, tabl.
171. Sur les radiants des Andromérides — BAISPb., 1892, nouv. série, v. II (XXXIV), № 3, pp. 419—437, tabl.
 То же: Mélanges mathem. et astron. tirés du BAISPb., 1894, v. VII, pp. 177—195, tabl.

1893

172. Mesures micrométriques des étoiles doubles. — Publications de l'observ. Centr. Nicolas, 1893, v. X, pp. 1—57, 1—222. (Работа подписана О. Струве, соавторство Ф. А. Бредихина установлено из текста).
173. Ueber die Bieliden der Jahre 1872, 1885 und 1892. — AN, 1893, Bd. 132, № 3156, SS. 191—192.
 То же (реф.): Fortschr. d. Physik (im Jahre 1893), 1895, Jahrg. 49, Abt. 3, S. 203.
 То же (реф.): Nature, 1893, v. 47, pp. 451—452.
174. Ueber die Bieliden 1892. — AN, 1893, Bd. 132, № 3154, SS. 159—160,

1894

175. О физических переменных в небесных телах. — ЗИАН, Отд. физ.-мат., 1894, сер. 8, т. 74, стр. 112—158.
 То же: отд. вып., СПб., 1893.
176. Отзыв об исследованиях Э. Лейста относительно магнетизма планет. — СПб., 1894, 5 стр. (Совместно с Г. И. Вильдом).

177. Les isodynames et les synchrones de la comète 1893, IV. — ИИАН, 1894, сер. 5, т. I, № 2, стр. 165—178, табл.
То же (реф.): Fortschr. d. Physik (im Jahre 1894), 1895, Abt. 3, SS. 186—187.
178. Sur les orbites de Bielides. — BAISPh., nouv. série, 1894, v. III (XXXV), pp. 585—605.
То же: Mélanges mathém. et astron. tirés du BAISPh., 1894, v. VII, pp. 393—413.
179. Sur quelques cas du morcellement des comètes. — BAISPh., 1894, nouv. série, v. IV (XXXVI), pp. 415—432.

1 8 9 5

180. (Сообщение о комете Энке). — ИИАН, 1895, сер. 5, т. II, № 1, стр. V—VI.
181. Mouvement des substances émises par les comètes 1893, II et 1893, IV. — ИИАН, 1895, сер. 5, т. II, № 5, стр. 383—395, табл.
То же (реф.): Fortschr. d. Physik (im Jahre 1896), 1897, Abt. 3, S. 133.
182. Variations séculaires des orbites dérivées. — ИИАН, 1895, сер. 5, т. III, № 3, стр. 251—260; 1896, т. IV, № 1, стр. 31—40.

1 8 9 6

183. Sur l'origine et les orbites du système des Aquarides. — ИИАН, 1896, сер. 5, т. IV, № 4, стр. 345—360.
184. Sur quelques systèmes des météores. — ИИАН, 1896, сер. 5, т. V, № 5, стр. 337—346.
То же (реф.): Fortschr. d. Physik (im Jahre 1896), 1897, Jahrg. 52, Abt. 3, S. 136.
То же (реф.): Nature, 1897, v. 57, p. 103.

1 8 9 7

185. О вращении Юпитера с его пятнами. — ИИАН, 1897, сер. 5, т. VII, № 3, стр. 235—250.
То же (реф.): Fortschr. d. Physik (im Jahre 1898), 1900, Abt. 3, SS. 40—42.
186. Памяти императора Николая I, основателя Николаевской (Пулковской) главной астрономической обсерватории, по случаю столетней годовщины со дня его рождения. Речь, произнесенная . . . 29 XII 1896. — СПб., 1897, 10 стр.
187. Sur les valeurs de la répulsion solaire subies par la substance cométaire. — ИИАН, 1897, сер. 5, т. VI, № 5, стр. 483—488.

1 8 9 8

188. О попытках экспериментального воспроизведения кометных явлений. — ИИАН, 1898, сер. 5, т. VIII, № 3, стр. 173—189.
То же: Ueber die Versuche zur experimentellen Reproduktion der Kometenerscheinungen. (Ins. Deutsche übersetz v. R. Jae-

- germann.). — Naturwiss. Rundschau, 1903, Bd. 18, № 26, SS. 325—327; № 27, SS. 337—341.
189. О солнечной короне. — ИИАН, 1898, сер. 5, т. IX, № 3, стр. 179—208.
То же (реф.): Fortschr. d. Physik (im Jahre, 1900), 1901, Abt. 3, SS. 104—105.

1900

190. (О введении нового стиля в России). — ИИАН, 1900, т. XII, № 5, стр. XXVII—XXX.
191. Sur les radiants composés (dits stationnaires) des étoiles filantes. — ИИАН, 1900, сер. 5, т. XII, № 1, стр. 95—120; т. XIII, № 2, стр. 189—220, табл.
То же (реф.): Fortschr. d. Physik (im Jahre 1900), 1901, Abt. 3, S. 121.
То же (реф.): Fortschr. d. Physik (im Jahre 1901), 1902, Abt. 3, SS. 142—143.
То же: Schreiben betreffend die stationären Radianten von Sternschnuppenfallen. — AN, 1900, Bd. 151, № 3623, SS. 379—382.

1901

192. (Сообщение о комете 1901 I). — ИИАН, 1901, сер. 5, т. XV, № 4, стр. XLIX—L.
193. Sur la comète 1901 I. — Там же, № 5, стр. 451—470
194. Sur la comète 1899 I (Swift). — ИИАН, 1901, сер. 5, т. XIV, № 5, стр. 483—502, табл.
Записка об ученых трудах проф. А. М. Ляпунова (совместно с О. Баклундом, А. А. Белополюским, Н. Сониным и А. Марковым), II приложение к протоколу VI заседания физ.-мат. отделения Имп. АН, 11 IV 1901, § 186.

1902

195. Sur le rôle de Jupiter dans la formation des radiants composés. — ИИАН, 1902, сер. 5, т. XVI, № 3, стр. 53—96.
То же: MSI, 1902, v. 31, pp. 167—170.
То же (реф.): Fortschr. d. Physik (im Jahre 1902), 1903, Jahrg. 58, Abt. 3, SS. 132—134.
196. Sur le rôle de Jupiter dans la formation des radiants simples. — ИИАН, 1902, сер. 5, т. XVII, № 5, стр. 167—188.
197. Ueber den Schweif des Cometen 1901 I. — AN, 1902, Bd. 158, № 3782, SS. 219—220.
То же (реф.): Fortschr. d. Physik (im Jahre 1902), 1903, Jahrg. 58, Abt. 3, S. 129.

1903

198. Études sur l'origine des météores cosmiques et la formation de leurs courants. — St.-Pétersb., 1903, 364 p., tabl.
То же (реф.): Fortschr. d. Physik (im Jahre 1903), 1904, Jahrg. 59, Abt. 3, SS. 108—109.

- То же в русском переводе: Ф. А. Бредихин, Этюды о метеорах, Изд. АН СССР, М., 1954, 606 стр. (комментарии А. Д. Дубяго).
199. Schreiben an den Herausgeber betreffend den Komet 1903 c. — AN, 1903, Bd. 162, № 3888, SS. 387—388.

1904

200. (О хвосте кометы 1903 г. по фотографическим снимкам). — ИИАН, 1904, сер. V, т. XX, № 1, стр. II—IV. (Из протоколов заседания 14 I 1904 физ.-мат. отд. АН).
201. Sur les grandes valeurs de la force répulsive du Soleil. — ИИАН, 1904, сер. V, т. XX, № 1, стр. 39—48.
То же (реф.): Fortschr. d. Physik (im Jahre 1904), 1905, Abt. 3, S. 116.

П Е Р Е В О Д

202. Виргиния. Трагедия Альфиери. Перевод и вступительная статья Ф. Бредихина. — Вестн. Европы, 1871, № 7, стр. 58—120.

II. ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. R. Jaegermann. Prof. Th. Bredichin's mechanische Untersuchungen über Cometenformen in systematischer Darstellung, St.-Petersb., 1903, S. 490.
2. А. А. Белополюский. Физическое строение кометных хвостов. РАК на 1927 г., вып. XXX, Н. Новгород, 1927, стр. 137—161 и др.
3. С. К. Костинский. Федор Александрович Бредихин. РАК на 1905 г., Переменная часть, Приложение, изд. Нижегородского кружка любителей физики и астрономии, Н. Новгород, 1904, стр. 2—29.
4. К. Д. Покровский. Теория кометных форм. РАК на 1905 г., Переменная часть, Приложение, Н. Новгород, 1904, стр. 33—51.
5. С. В. Орлов. Механическая теория кометных форм. — Тр. ГАИ, т. III, вып. 4, 1928.
6. О. А. Мельников. Федор Александрович Бредихин (к 125-летию со дня рождения). — Изв. ГАО в Пулкове, т. 20, вып. 6, № 159, Л., 1958, стр. 1—27.
7. И. С. Абельман. О движении некоторых метеорных потоков. — Изв. РАО, вып. VII, СПб., 1898, № 1—3, стр. 60
8. О. А. Мельников. К истории развития астроспектроскопии в России и в СССР. — ИАИ, вып. III, ГИТТЛ, М., 1957, стр. 9—258.
9. А. А. Белополюский. Федор Александрович Бредихин. — ИИАН, 1904, СПб., серия V, т. 21, № 2, стр. I—IV.

10. ЦГИАЛ. Департамент народного просвещения, ф. 733, оп. 147, № 140539, 1863, л. 12.
11. ГИАМО. Дела Совета Московского университета, ф. 418, оп. 65, № 529, 1896, л. 24.
12. Б. А. Воронцов-Вельяминов. Очерки истории астрономии в России. — ГИТТЛ, М., 1956.
13. С. В. Орлов. Роль Ф. А. Бредихина в развитии мировой науки. — Уч. зап. МГУ, т. I, вып. 91, кн. 1, М., 1947.
14. К. А. Тимирязев. Пробуждение естествознания в третьей четверти века. — История России в XIX в., т. 7, вып. 26, 1907, гл. XV.
15. Архив МОИП, д. № 693, 1895. — Выработка устава Союза Московских обществ, лл. 1—25.
16. К. А. Тимирязев. Витализм и наука. — Собр. соч., т. V, 1938, стр. 170—190.
17. Рукописный отдел Государственной Публичной библиотеки им. В. И. Ленина, фонд С. М. Соловьева, V/5, 1861, лл. I—II.
18. П. Г. Куликовский. Павел Карлович Штернберг, М., 1951.
19. Архив МГУ, журнал заседаний физико-математического факультета, 1874, д. № 34, лл. 16 об.—17.
20. К пятидесятилетию ГАО (сборник статей), СПб., 1889.
21. Б. А. Щетинин. Ф. А. Бредихин (страничка воспоминаний). — Истор. вестн., № 7, 1904, стр. 114—120.
22. ААН СССР, ф. 17, оп. 1, № 83, л. 29.
23. ГИАЛО, Протоколы заседаний физико-математического факультета Петербургского университета, 1879, № 14, оп. 3, № 14826, л. 55.
24. ААН СССР, ф. 336, оп. 1, № 9, л. 1.
25. ААН СССР, ф. 283, оп. 2, № 149.
26. Я. Ю. Корпун и В. П. Цесевич. Александр Константинович Кононович, выдающийся украинский астрофизик; его предшественники и ученики. — ИАИ, вып. II, ГИТТЛ, М., 1956, стр. 314 (письмо Ф. А. Бредихина к К. И. Карстелеву).
27. ААН СССР, ф. 286, оп. 1, № 74, лл. 1—9.
28. Рукописный отдел научной библиотеки МГУ, ученая переписка Н. В. Бугаева, тетрадь 1, лл. 79—79 об.
29. Г. В. Левцкий. Астрономы Юрьевского университета с 1802 по 1894 г., Юрьев, 1899, стр. 81.
30. В. Г. Селиханович. Алексей Николаевич Савич, математик, астроном, педагог. (Очерк жизни и научно-педагогической деятельности). М., 1957.
31. М. М. Гусев. Столетнее существование Виленской обсерватории (1753—1853), Вильно, 1853.
32. Ю. Г. Перель. Матвей Матвеевич Гусев. — АЖ, вып. 4, 1952., стр. 490.
33. А. Н. Савич. Некролог Е. Е. Саблера. — ЗИАН, т. VIII, СПб., 1886, стр. 110.
34. П. М. Смыслов. Отчет Виленской астрономической обсерватории за 1868 г. — ЗИАН, т. 15, СПб., 1869, стр. 239—246.

35. П. М. Смыслов. Отчет Виленской астрономической обсерватории за 1869 г. — ЗИАН, т. 17, СПб., 1870, стр. 207—221.
36. Ф. К. Берг. О фотометре Шверда и о поглощении света атмосферой для виленского горизонта. — ЗИАН, т. 21, СПб., 1872, стр. 107—112.
37. П. М. Смыслов. Отчет Виленской астрономической обсерватории за 1871 г. — ЗИАН, т. 21, кн. II, СПб., 1872, стр. 199—220.
38. П. М. Смыслов. Отчет Виленской астрономической обсерватории за 1872—1873 гг. — ЗИАН, т. 25, СПб., 1875, стр. 43—56.
39. ААН СССР, ф. 17, оп. 1, № 77, л. 2 об.
40. ГИАЛО, ф. 14, оп. 3, № 9295. Дело о постройке павильона над зданием Железнодорожного музея для спектроскопических наблюдений (1873 16 VII — 1875 5 II).
41. З. К. Новокшанова. Пулковские механики — создатели астрономических и геодезических инструментов. — ИАИ, вып. III, ГИТТЛ, М., 1957, стр. 485—516.
42. Ф. Ф. Петрушевский. План физического исследования поверхности Луны. — ЖРФХО, т. V, I отд., физ. часть, вып. 5, СПб., 1873, стр. 219—238.
43. Ф. Ф. Петрушевский. Заметка о лунном спектрофотометре. — ЖРФХО, т. V, I отд., физ. часть, вып. 8, СПб., 1873, стр. 401—406.
44. G. A b e t t i. Father Angelo Secchi a noble pioneer in astrophysics. — Leaflet. Astron. Soc. Pacif., 1960, № 368, pp. 1—8.
45. S. N e w s o m b. Populären Astronomie, 2-te ed., Leipzig, 1892.
46. ААН СССР, ф. 210, оп. 1, № 238.
47. ААН СССР, ф. 2, оп. 1, № 25.
48. P. T a s s h i n i. Nuova società di spettroscopisti italiani. — MSI, v. I, Palermo, 1872, pp. 1—6.
49. Архив МГУ, фонд физико-математического факультета, 1877, д. № 109, л. 1.
50. А. А. Белопольский. Астрономические труды (научно-биографический очерк и комментарии О. А. Мельникова), ГИТТЛ, М., 1954.
51. ААН СССР, ф. 706, оп. 4, № 63, л. 11.
52. ААН СССР, ф. 293, оп. 2, № 71, л. 85 об.
53. ААН СССР, ф. 69, оп. 3, № 225.
54. Б. Б. Голицын и И. И. Вилип. Экспериментальная проверка принципа Доплера для световых лучей. — ИИАН, VI серия, т. I, 1907, СПб., стр. 213—223.
55. W. S e r a s k i. Photoheliographische Beobachtungen, — АМО, I série, 1876, v. II, livr. 2, pp. 51—59.
56. А. В ё л о п о л с к у. Essai d'une détermination du rayon apparent du Soleil au moyen de la photographie. — АМО, I série, 1884, v. X, livr. 2, pp. 26—46.
57. А. В ё л о п о л с к у. Ueber die Photographie der Cometen. — АМО, II série, v. I, livr. 1, pp. 99—102.
58. А. В ё л о п о л с к у. L'éclipse totale de soleil du 19 août

- 1887 observée à Jurjewetz. — АМО, II série, v. I, livr. 2, pp. 37—54.
59. Протоколы заседаний физического отделения Русского физико-химического общества от 12 V 1887. — ЖРФХО, т. 19, I отд., физ. часть, СПб., 1887, стр. 186.
 60. П. К. Штернберг. Некоторые применения фотографии к точным измерениям. М., 1913.
 61. Архив ГАИШ, письма Ф. А. Бредихина (№№ 21, 25 к В. К. Цераскому).
 62. С. К. Костинский. Предварительные положения 413 звезд в созвездии Близнецов, которые будут покрыты луной 27 XII 1898. — ЗИАН, серия V, т. IX, № 5, СПб., 1898, стр. 447—462.
 63. С. К. Костинский, Ф. Ренц. Исследование репсольдовского прибора для измерений фотографических снимков звезд. — ЗИАН, серия V, т. V, № 1, СПб., 1896, стр. 5—26.
 64. С. К. Костинский. По поводу одной личной ошибки при измерении фотографических снимков. — ЗИАН, серия V, т. III, № 5, СПб., 1895, стр. 491—498.
 65. S. Kostinsky. Untersuchungen auf dem Gebiete der Sternparallaxen mit Hilfe der Photographie. — Publications de l'Observatoire central Nicolas, v. 17, № 2, St.-Petersb., 1905.
 66. S. K. Kostinsky. Stars with appreciable proper motions found stereoscopically. — Цирк. ГАО, № 10, 1934, стр. 26—27.
 67. С. К. Костинский. По поводу фотографических снимков внешнего спутника Марса. — ИИАН, 1897, V серия, т. VII, № 4.
 68. А. Н. Дейч. К биографии С. К. Костинского (по архивным материалам). — ИАИ, вып. III, ГИТТЛ, М., 1957, стр. 611—624.
 69. В. К. Цераский. Об определении блеска белых звезд. М., 1887.
 70. Архив МГУ, фонд физ.-мат. факультета, 1887, д. 149, л. 20.
 71. В. К. Цераский. Избранные работы по астрономии (очерк жизни и деятельности составлен Б. А. Воронцовым-Вельяминовым). Изд. АН СССР, М., 1953.
 72. Архив МГУ, 1887. Дела физ.-мат. факультета, д. 151, л. 10—17.
 73. С. Н. Блажко. История московской астрономической обсерватории в связи с преподаванием астрономии в университете (1824—1920). — Уч. зап. МГУ, вып. 58; 1940, стр. 1—106.
 74. М. В. Ломоносов. Изъяснения, надлежащие к слову о электрических воздушных явлениях. — Полн. собр. соч., т. III, М.—Л., АН СССР, 1952, стр. 100—133.
 75. F. W. Bessel. Beobachtungen über die physische Beschaffenheit des Halley'schen Kometen und dadurch veranlassete Bemerkungen. — AN, Bd. 13, 1836, №№ 300—302.
 76. С. В. Орлов. Кометы. М., 1935.
 77. W. A. Norton. Theoretical determination of the dimensions of Donati's comet. — Amer. Journ. of sci. and art., v. XXXII, 2 series, № 94, July, 1861, pp. 54—71.

78. A. Socoloff. Formules exactes de la théorie des queues cométaires. — AMO, II série, 1890, v. II, livr. 1—2, pp. 73—93.
79. K. Gauss. Teoria motus corporum coelestium. — Hamburgi, 1809, § 21.
80. ААН СССР, ф. 705, оп. 1, № 24, лл. 85—86.
81. Schreiben des Herrn Professors Donati Directors der Sternwarte in Florenz, an den Herausgeber. — AN, Bd. 62, № 1488, SS. 375—378.
82. A. Secchi. Spectre de la comète de Tempel (Extrait d'une lettre du P. Secchi à M. Élie de Beaumont). — C. R., 1866, Paris, v. 62, p. 210.
83. W. Huggins. On the spectrum of comet I, 1866. — Proc. R. S., 1867, London, v. XV, pp. 5—7.
84. W. Huggins. Note on the spectrum of comet II 1867. — MN, v. 27, № 8, 1867, p. 288.
85. A. Secchi. Sur le spectre de la comète de Brorsen. — C. R., 1868, Paris, v. 66, pp. 881—884.
86. W. Huggins. On the spectrum of Brorsen's Comet 1868. — Proc. R. S., 1868, London, v. 16, pp. 386—389.
87. Архив ГАИШ, 1856, № 331. Записная книжка Ф. А. Бредихина («Varia»), лл. 21, 62.
88. ААН СССР, ф. 705, оп. 1, № 29, стр. 153.
89. F. Zöllner. Ueber die physische Beschaffenheit der Cometen. — AN Bd. 87, №№ 2082—2086, SS. 273—340.
90. Д. И. Менделеев. Соотношения свойств с атомными весами элементов. — Избр. соч., т. 2, ОНТИ, 1934, стр. 10.
91. A. E. Douglas. Laboratory studies of the λ 4050 group of cometary spectra. — Aph. J., v. 114, 1951, № 3, pp. 466—468.
92. С. М. Полосков. Условия видимости (наблюдаемости) молекул в атмосферах комет. — АЖ, 1956, 33, № 2, стр. 144—150.
93. С. И. Вавилов. Петр Николаевич Лебедев (1866—1912). Собр. соч., т. 8, Изд. АН СССР, М., 1956, стр. 767.
94. Г. А. Шайн. Лебедев и астрофизика. — Тр. ИИЕТ АН СССР, Изд. АН СССР, М., 1959, т. 28, стр. 66—78.
95. ААН СССР, ф. 293, оп. 1, № 90.
96. П. Н. Лебедев. Давление света на газы. — ЖРФХО, I Менделеевский съезд, 1907, стр. 387.
97. П. Н. Лебедев. Избр. соч., М., 1949.
98. Н. А. Капцов, П. Н. Лебедев, Изд. МГУ, 1950.
99. К. А. Тимирязев. Новые потребности науки XX в. и их удовлетворение на западе и у нас. — Собр. соч., М., 1939, т. IX, стр. 54—66.
100. Н. И. Невская. Научные связи Ф. А. Бредихина с крупнейшими русскими учеными последней четверти XIX в. — Тр. ИИЕТ АН СССР, Изд. АН СССР, М., 1959, т. 28, стр. 464—476.
101. АН СССР, ф. 293, оп. 1, № 82.
102. П. Н. Лебедев. Об отталкивательной силе лучейспускающих тел. — Избр. соч., М., 1949, стр. 60—65.
103. ААН СССР, ф. 293, оп. 2, № 34, л. 2 об.

104. ААН СССР, ф. 293, оп. 1, № 90, стр. 420.
105. ААН СССР, ф. 293, оп. 2, № 70.
106. P. L e b e d e w. Les forces de Maxwell-Bartoli dues à la Pression de la Lumière. — Congrès International de Physique, Paris, 1900, 2, pp. 133—140.
107. ААН СССР, ф. 705, оп. 1, № 10.
108. J. G. G a l l e. Verzeichniss der Elementen der bisher berechneten Cometenbahnen nebst Anmerkungen und Literatur-Nachweisen (neu bearbeitet, ergänzt und fortgesetzt bis zum Jahre 1894), Leipzig, 1894.
109. ААН СССР, ф. 293, оп. 3, № 24.
110. ААН СССР, ф. 293, оп. 1, № 39.
111. P. L e b e d e w. Die physicalische Ursachen der Abweichungen vom Newtonischen Gravitationsgesetz. — Physic. Zeitschrift, 1903, 4, № 1, 1902—1903, p. 17.
112. S. A r r h e n i u s. Ueber die Ursache der Nordlichter. — Physic. Zeitschrift, 1900, 2, № 6, SS. 81—87; № 7, SS. 97—105.
113. K. S c h w a r z s c h i l d. Der Druck des Lichts auf kleine Kugeln und die Arrhenius'sche Theorie der Cometenschweife. — Sitz. k. Ak. Wiss., mathematisch-physikalische Classe, Bd. 21, München, 1902, SS. 293—338.
114. ААН СССР, ф. 293, оп. 3, № 121, лл. 3—3 об.
115. С. М. П о л о с к о в. Исследования спектров комет. — АЖ, 1946, т. 23, вып. 4, стр. 245.
116. P. S w i n g s. The spectra of the Comets. — Vistas in Astronomy, London—New York, 1956, v. II, p. 958.
117. K. S c h w a r z s c h i l d a. A. K r o n. On the distribution of Brightness in the tail of Halley's comet. — Aph. J., 1911, December, v. 34, № 5, p. 342.
118. О. В. Д о б р о в о л ь с к и й. Физика кометных хвостов. — Изв. отд. естествен. наук АН Таджикской ССР, вып. 23, 1957, стр. 3—10.
119. О. В. Д о б р о в о л ь с к и й. Блеск комет и солнечная активность. — Бюлл. КИСО, №№ 5—6, М.—Л., 1950, Изд. АН СССР, стр. 61—71.
120. A. V e r b e r i c h. Die Helligkeit des Enckeschen Cometen. — AN, Bd. 199, 1888, №№ 2836—2837, S. 49.
121. О. В. Д о б р о в о л ь с к и й. Электростатические поля в головах комет. — АЖ, 1954, т. 31, № 2, стр. 167—170.
122. П. Н. Л е б е д е в. Собр. соч., М., 1913.
123. П. Н. Л е б е д е в. Об измерении температуры солнечных пятен. — Прот. зас. КИСО, 3 I 1905. — Прилож. VIII, стр. 38, СПб., 1905.
124. П. Н. Л е б е д е в. Об измерении спокойствия и прозрачности атмосферы во время солнечных наблюдений. — Прот. зас. КИСО, 22 и 24 апреля 1905, СПб., 1905. — Прилож. XI, стр. 33 и др.
125. Рукописный отдел Государственной библиотеки им. В. И. Ленина, ф. № 334 (Б. Н. Чичерина), картон 4, № 67, лл. 2—2 об.
126. W. A. N o r t o n. Coggia's comet. — Amer. Journ. of sci. and art. v. XV, March, 1878.

127. Н. Е. Жуковский, Полн. собр. соч., т. IX, ОНТИ, М.—Л., 1937.
128. Н. И. Невская. К истории написания работы Н. Е. Жуковского «Решение одной задачи из теории комет». (По вопросу о научных связях Ф. А. Бредихина и Н. Е. Жуковского). Тез. докл. и сообщ. на Межвузовской конф. по ист. физ.-мат. наук 25 V—2 VI 1960, Изд. МГУ, 1960, стр. 173.
129. J. Herreger. Ueber die Schweifaxe des Kometen 1874 III (Coggia).— Sitz. k. Ak. Wiss. (phys.-math. Cl.), Bd. 88, Heft I, 1883, Wien, Juni, SS. 1053—1098.
130. Протоколы заседания от 22 марта 1884 г.— Bulletin SIN, v. 59, 1884, p. 1.
131. Архив МОИП. Письма членов общества и других лиц, 1884 г., Д. № 572, п. № 20, л. 26.
132. А. А. Иванов. Некролог А. П. Соколова.— Изв. РАО, 1910, вып. 16, № 4, стр. 139—141.
133. A. Socoloff. Sur la queue du I type de la comète de 1858 V.— AMO, I série, 1884, v. X, livr. 1, pp. 100—111.
134. A. Socoloff. Näherungsformeln der Theorie der Cometen-schweife.— AMO, I série, 1884, v. X, livr. 2, pp. 121—141.
135. ААН СССР, ф. 705, оп. 1, № 1 л., 61.
136. ААН СССР, ф. 705, оп. 1, № 25.
137. P. Berthelot. La force des matières explosives d'après la thermochimie, Paris, 1883.
138. А. А. Колли. Теория взрывных веществ.— Вестн. промышл., октябрь 1884 г., стр. 1—21.
139. W. Ramsay and J. N. Collie. Sur l'homogénéité de l'argon et de l'hélium.— C. R., Paris, 1896, t. 123, pp. 214—216.
140. ААН СССР, ф. 705, оп. 1, № 30.
141. М. М. Покровский. Памяти Гаврилы Афанасьевича Иванова (1826—1901), М., 1902.
142. ААН СССР, ф. 705, оп. 1, № 26.
143. ААН СССР, ф. 705, оп. 1, № 1, л. 61.
144. Архив ГАИШ. Письмо Ф. А. Бредихина к В. К. Цераскому, № 27, 1902, июнь 13.
145. С. В. Орлов. Исключительные кометы. III. Большая сентябрьская комета 1882 II.— АЖ, т. 21, № 5, 1944, стр. 201—204.
146. Письма Ж. Скиапарелли к А. Секки о движении и вероятном происхождении метеорических звезд (перевод А. Кропоткина).— Матем. сб., т. IV, отд. II, первое письмо, стр. 124—142; второе — стр. 142—162; третье — стр. 176—193; четвертое — стр. 193—197.
147. A. Socoloff. Observations des étoiles filantes du mois d'août 1878, calculées par A. Socoloff.— AMO, I série, 1879, v. V, livr. 2, pp. 22—28.
148. Б. Ю. Левин. Физическая теория метеоров и метеорное вещество в солнечной системе, Изд. АН СССР, М., 1956, стр. 180.
149. Л. А. Катасев. Фотографические методы метеорной астрономии. М., 1957, стр. 28.

150. W. C é r a s k i. Ueber die Berechnung des Radiationspunktes.— АМО, I série, 1878, v. IV, livr. 2, pp. 99—101.
151. W. C é r a s k i. Carte pour l'observation des étoiles filantes.— АМО, II série, 1890, v. II, livr. 1—2, pp. 166—167.
152. С. Д. Р о с с и н с к и й. Болеслав Корнелиевич Млодзевский, Изд. МГУ, М., 1950.
153. Б. К. М л о д з е е в с к и й. Антикаустическая кривая при многократном преломлении.— Тр. Общ. любителей естествознания, антропологии, этнографии. М., 1893, т. V, вып. 2, стр. 10—17.
154. Б. К. М л о д з е е в с к и й. Решение одной геометрической задачи.— Там же, т. XII, вып. 2, М., 1904, стр. 22.
155. Б. К. М л о д з е е в с к и й. Об огибающей орбит при ньютоновском притяжении.— Матем. сб., т. XIII, вып. 2, М., 1885, стр. 399—405.
156. Н. Е. Ж у к о в с к и й. Замечание по поводу предыдущей статьи г. Млодзеевского.— Матем. сб., т. XIII, стр. 406.
157. A. B é l o p o l s k y et A. S o k o l o f f. Observations des étoiles ayant mouvements propres.— АМО, I série, 1879, v. V, livr. 2, pp. 96—113; v. VI, livr. 1, pp. 1—43.
158. B. M l o d z i e i o w s k i. Sur la détermination des orbites des étoiles doubles.— АМО, II série, 1890, v. II, livr. 1—2, pp. 168—172.
159. П. Г. К у л и к о в с к и й. О методе Б. К. Млодзеевского определения элементов орбит визуально-двойных звезд.— АЖ, 1949, т. XXVI, вып. 4, стр. 249—250.
160. П. Г. К у л и к о в с к и й. Простой метод определения элементов орбиты визуально-двойной звезды.— АЖ, 1954, т. XXXI, вып. 4, стр. 394—397.
161. B. M o d e s t o v. Sur la méthode de Kovalski pour le calcul des orbites des étoiles doubles.— АМО, II série, 1896, v. III, livr. 2, p. 82.
162. B. M o d e s t o v. Sur la méthode d'Encke pur calculer les orbites des étoiles doubles.— АМО, II série, 1896, v. III, livr. 2, p. 88.
163. Архив АН СССР, ф. 17, оп. 1, № 66, лл. 60—61.
164. P. T a s c h i n i. Protuberanze solari osservate contemporaneamente a Palermo, Roma e Padova nel luglio ed agosto 1871.— MSI, v. I, 1872, pp. 25—32.
165. P. T a s c h i n i. Osservazioni spettroscopiche del Sole fatte nell'estate 1872 dal prof. T. Bredichin.— MSI, v. II, 1873, Palermo, pp. 81—87.
166. A. B é l o p o l s k y. Observations photohéliographiques.— АМО, I série, 1878, v. IV, livr. 2, pp. 102—114.
167. A r r i g e N i l o. Relations between solar activity and the center of the planetary system.— J. Geophys. Res., 1955, 60, № 4, 535—536.
168. Е. Н. Ж у к о в с к и й, Полн. собр. соч., т. III, М., 1937.
169. А. А. Б е л о п о л ь с к и й. Пятна на Солнце и их движение. М., 1886.
170. Архив МГУ, фонд физ.-мат. факультета, 1886, Д. № 148, л. 18 об.

171. Физика Солнечных корпускулярных потоков и их воздействие на верхнюю атмосферу земли (Труды конференции Комиссии по исследованию Солнца 22—24 ноября 1955 г.), Изд. АН СССР, М., 1957, стр. 77.
172. A. Gromadzki. Observations de Mars en opposition.— AMO, I série, 1875, v. II, livr. 2, pp. 79—97.
173. Observations de Mars en opposition, faites par A. Gromadzki, calculées par A. Bělopolsky et A. Sokoloff.— AMO, I série, 1878, v. IV, livr. 1, pp. 82—94.
174. A. Bělopolsky et A. Sokoloff. Observations de Mars en opposition de 1880.— AMO, I série, 1880, v. VII, livr. 2, pp. 1—7.
175. A. Bělopolsky. Photographie der Mondfinsterniss 4 X 1884. AMO, II série, 1884, v. I, livr. 1, pp. 97—98.
176. J. Kortazzi. Observations de Jupiter en 1879.— AMO, I série, 1880, v. VII, livr. 1, pp. 77—78.
177. G. Ruggieri. La rappresentazione di Giove nel quadro settecentesco «Osservazioni astronomiche» e la scoperta della macchia rosa da parte del Cassini, Coelum, 1957, 25, № 5—6, pp. 67—71.
178. I. Troizki. Observations de Jupiter en 1880.— AMO, I série, 1881, v. VII, livr. 2, pp. 103—104.
179. Архив МГУ. Дела физико-математического факультета, 1887, Д. № 194, лл. 1—2.
180. P. Sternberg. Sur la durée de la rotation de la tache rouge de Jupiter.— AMO, II série, 1888, v. I, livr. 1, pp. 91—125.
181. V. Hambálek, D. Kaláb. Pozorování planety Jupitera v letech 1953—1958, Riše hvězd, 1959, 40, № 4, pp. 71—73.
182. A. Bělopolsky. Ueber die Rotation des Jupiter.— BAISPb., St.-Petersb., IV série, 1891, t. XI, № 1, pp. 124—137.
183. W. Séraphimoff. Observations des taches sur le disque de Jupiter.— BAISPb., St.-Petersb., V série, 1894, t. I, № 2, pp. 131—154.
184. А. А. Белопольский. О вращении кольца Сатурна по измерениям спектрограмм, полученных в Пулкове.— ИИАН, V серия, 1895, т. III, № 1, стр. XI—XIV.
185. A. Bělopolsky. Spectrographische Untersuchungen des Saturnringes.— AN, 1895, Bd. 139, SS. 1—4.
186. А. А. Белопольский. Исследование смещения линий в спектре Сатурна и его кольца.— ИИАН, V серия, 1895, т. III, № 4, стр. 379—403.
187. A. Bělopolsky. Spectrographische Untersuchungen über Jupiter.— AN, 1896, Bd. 139, SS. 209—214.
188. A. Bělopolsky. Ein Versuch die Rotationsgeschwindigkeit des Venusaequators auf Spectrographischen Wege zu bestimmen.— AN, 1900, Bd. 152, SS. 263—276.
189. А. А. Белопольский. Предварительные результаты исследований вращения планеты Венеры.— ИИАН, V серия, 1903, т. XVIII, № 3, стр. XVIII; № 4, стр. XIX, т. XIX, № 2, стр. IX—X.

190. А. А. Белополюский. О вращениях Юпитера.— ИИАН, VI серия, 1909, т. III, № 13, стр. 874—875.
191. W. L ö b e r i n g. Beobachtungen des Großen Roten Flecks auf Jupiter 1926—1959. Sterne, 1960, 36, № 1—2, SS. 21—23.
192. K. L. F r a n k l i n. В. F. B r i k e. Radio observations of Jupiter.— Astronomical Journal, 1956, 61, № 4, p. 117.
193. А. А. Белополюский. Фотографические наблюдения спутника Марса Деймоса в 1894 г. в Пулковке.— ИИАН, VI серия, 1909, т. III, № 13, стр. 873.
194. Н. Е. Жуковский. О влиянии колебаний штатива на время качания маятника. Пол. собр. соч., М., 1937, т. I, стр. 209—215.
195. А. А. Белополюский и А. Карпинский. Записка об ученых трудах Г. А. Тихова.— ИАН СССР, 1927, т. XXI, стр. 1438—1441.
196. А. А. Белополюский, В. Вернадский.— Зап. об. уч. тр. проф. В. Г. Фесенкова.— Там же, стр. 1441—1445.
197. А. Л. Апухтин. Очерк истории Константиновского Межевого Института с 1779 по 1879 г. СПб., 1879, стр. 139.
198. Архив МГУ, Дела Совета университета, протоколы заседаний, 1862, г. Д. № 25, зас. 3 II 1862.
199. А. А. Михайлов. Курс гравиметрии и теории фигуры земли. М., 1939, 2 изд.
200. Ch. C e l l é r i e r. Note sur le mouvement simultané d'un pendule et de ses supports.— Bibliothèque Universelle et Revue Suisse «Archives des Sciences physiques et Naturelles», v, 54, Genève, pp. 121—134.
201. C. S. P e i r c e. On the influence of internal friction upon the correction of the length of the second's pendulum for the flexibility of the support.— Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences, New Series, v. V, whole series v. XIII, Boston, 1878, pp. 396—401.
202. E. P l a n t a m o u r. Recherches expérimentales sur le mouvement simultané d'un pendule et de ses supports, 1878, Genève, pp. 5—11.
203. Bulletin SIN, 1881, t. 75, № 3, Протоколы заседаний 18 IX 1880, стр. 18; № 4, протоколы заседаний 13 XI 1880, стр. 57—58.
204. Bulletin SIN, 1882, t. 76, № 1, Протоколы заседаний 23 IV 1881, стр. 42.
205. Bulletin SIN, 1883, t. 7, № 4, Протоколы заседаний 16 XII 1882, стр. 57—59.
206. Математический сборник, т. XIII, вып. III, 1887, Извлечения из протоколов, заседание 17 XI 1881, стр. 17.
207. C. S. P e i r c e. On irregularities in the amplitude of oscillation of Pendulums.— The American Journal of sci. and arts, III series, v. XXIV, 1882, New Haven, pp. 254—255.
208. P. S t e r n b e r g. Observation faites à l'aide du pendule à réversion de Repsold.— АМО, II série, 1890, v. II, livr. 2, p. 94.
209. П. К. Штернберг. Широта Московской обсерватории в связи с движением полюсов.— Уч. зап. Московск. унив., М., 1903 (магистерская диссертация).

210. Н. Е. Жуковский. Геометрическая интерпретация теории движения полюсов вращения земли по ее поверхности. — Полн. собр. соч., т. I, стр. 540—561, М.—Л., ОНТИ, 1937.
211. Архив ГАИШ, письмо № 4 Ф. А. Бредихина к П. К. Штернбергу от 2 VII 1890.
212. П. К. Штернберг. Наблюдения над качаниями поворотного маятника Репсольда, произведенные в селе Желтухине и Б. Шереметьевке. — Изв. русск. геогр. общ., 1889, т. XXV, вып. 2, стр. 178—185. (Доложено 28 IV 1889).
213. П. К. Штрейбергер. Наблюдения над качаниями поворотного маятника Репсольда, произведенные в различных пунктах Европейской России в 1888 и 1889 гг., — ИОЛЕАЭ, Тр. отд. физ. наук, т. III, вып. I, 1890, М., стр. 32—34.
214. P. Sternberg. Observations faites à l'aide du pendule à réversion de Repsold. — АМО, II série, 1893, v. III, livr. 1, pp. 3—34.
215. И. А. Казанский. Современное положение и перспективы гравиметрического изучения мира. — Тр. ЦНИИГАИК, М., 1948, Геодезиздат, вып. 51, стр. 5.
216. Ф. Н. Красовский. Обзор научных работ в СССР в области геодезии за 19 лет. — Избр. соч., т. II, Геодезиздат, 1956, стр. 97.
217. Н. А. Любимов. Новая теория поля зрения и увеличения оптических снарядов. — Матем. сб., т. VI, М., 1872, I отд., стр. 119—132.
218. O. F. Mossotti. Teoria nuova degli stromenti ottici, 1857.
219. Н. А. Любимов. Ответ г. Бредихину. — Матем. сб., т. VI, I отдел, 1872, М., стр. 446—452.
220. A. Secchi. La teoria delle macchie solari proposta de Galileo. — MSI, v. III, 1874, Palermo, pp. 81—89.
221. C. V. Schiaparelli. Di una stella nuova osservata l'anno 1690 nel Sagittario. — MSI, appendice al v. III, 1874, Palermo, pp. 68—69.
222. S. Drake. Galileo Gleanings: II, IV, Isis, Cambridge, 1958, v. 49, part 1, № 155, pp. 26—33; part 4, № 158, pp. 409—413 etc.
223. П. К. Штернберг. Памяти Федора Александровича Бредихина. — Bulletin SIN, №№ 2—3, 1905.
224. В. К. Цераский. Федор Александрович Бредихин (некролог). — Отчет Московского университета и речь к 12 января 1905 г., М., 1905.
225. С. Н-ко. Очерки новейшей итальянской литературы. — Беседа, 1871, кн. XI, ноябрь, стр. 171—182.
226. И. И. Гливленко. Витторио Альфиери. Жизнь и произведение, т. I, СПб., 1912.
227. Архив АН СССР, ф. 705, оп. 1, № 7.
228. Архив АН СССР, ф. 705, оп. 1, № 11.
229. B. Baillaud. Cours d'Astronomie à l'usage des étudiants des facultés des sciences. — Paris, 1896, seconde partie.
230. A. M. Clercke. Geschichte der Astronomie während des neunzehnten Jahrhunderts. — Autorisierte deutsche Ausgabe von H. Maser, Berlin, 1889.
231. Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона, т. IVa, СПб., 1891, стр. 635.

232. P. Taccchini. Perseidi dell'agosto 1874.— MSI, v. III, 1874, Palermo, appendice, p. 88.
233. P. Taccchini. Necrologia di Teodoro Bredichin.— MSI, v. XXXIII, 1907, Catania, p. 132.
234. The encyclopedia Americana, New York, Chicago—Washington, 1957, v. IV.
235. Enciclopedia Italiana.— Istituto Giovanni Treccani, 1930, v. VIII.
236. H. Shapley a. E. Howarth. A source Book in Astronomy, New York, 1929, pp. 358—361.
237. С. В. Орлов. Голова кометы и новая классификация кометных форм, М., 1945.
238. А. Д. Дубяго. О вековом ускорении движения периодических комет.— АЖ, т. XXV, № 6, стр. 361—368 и др.
239. F. L. Whipple. A comet model, I. The acceleration of comet Encke.— Aph. J., v. 111, 1950, pp. 375—394 etc.
240. В. Рийвес. Распределение яркости в голове комет.— Публ. Тартуской астрон. обсерв., 1960, т. 33, № 4, стр. 281—288.
241. О. В. Добровольский. О точности определения ускорений в хвостах комет I типа и возможности обнаружения их систематических изменений.— Бюлл. САО, № 18, 1956, Изд. АН Тадж. ССР, стр. 5—11.
242. P. Swings, J. L. Greenstein. Présence des raies interdites de l'oxigène dans les spectres cométaires.— C. R., 1958, v. 246, № 4, pp. 511—513.
243. J. L. Greenstein. High-resolution spectra of comet Mrkos (1957d).— Aph. J., 1958, v. 128, № 1, pp. 106—113.
244. P. Debye. Lichtdruck auf Kugeln von beliebigen Material.— Annalen der Physik, 4, Bd. 30, Heft, 1, № 11, Leipzig, 1909.
245. С. В. Орлов. Природа отталкивательных сил Солнца в хвостах комет.— АЖ, 1931, т. VIII, вып. 3—4, стр. 199—205.
246. Б. Ю. Левин. Газовое и пылевое строение хвостов разных типов.— АЖ, 1943, т. 20, вып. 4, стр. 49—51.
247. Б. Ю. Левин. Теория Ми и ее астрономические приложения.— АЖ, 1943, т. XX, вып. 3, стр. 14—31.
248. С. М. Полосков. Световое давление, испытываемое молекулами комет и расслоение молекул в атмосферах комет.— АЖ, 1948, т. 25, вып. 6, стр. 343—395.
249. О. В. Добровольский. К теории кометных форм, I, II, III — Бюлл. САО, 1953, Сталинабад, № 5, стр. 3—16; № 7, стр. 3—25; № 8, стр. 3—20.
250. О. В. Добровольский. Кометная астрономия.— Бюлл. САО, Сталинабад, Изд. АН Тадж. ССР, 1957, №№ 22—23, стр. 35—41.
251. L. Biermann. Physical processes in comet tails and their relation to solar activity.— Mémoires soc. r. sci., Liège, 1953, v. 13, №№ 1—2, pp. 291—302 etc.
252. H. Alfvén. On the Theory of Comet tails.— Tellus, v. 9, № 1, Febr. 1957, Stockholm, pp. 92—96.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- ААН СССР — Архив Академии наук СССР.
Архив ГАИШ — Архив Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга.
Архив МГУ — Архив Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова.
Архив МОИП — Архив Московского общества испытателей природы.
АЖ — Астрономический журнал.
Бюлл. КИСО — Бюллетень Комиссии по исследованию Солнца.
Бюлл. САО — Бюллетень Сталинабадской астрономической обсерватории.
ГИАЛО — Государственный исторический архив Ленинградской области.
ГИАМО — Государственный исторический архив Московской области.
ЖРФХО — Журнал Русского физико-химического общества.
ЗИАН — Записки императорской Академии наук.
ИАН СССР — Известия Академии наук СССР.
Изв. ГАО — Известия Главной астрономической обсерватории.
ИИАН — Известия императорской Академии наук.
ИОЛЕАЭ — Известия Общества любителей естествознания, антропологии и этнографии.
Изв. РАО — Известия Русского астрономического общества.
ИИАИ — Историко-астрономические исследования.
Прот. зас. КИСО — Протоколы заседаний Русского отделения Международной комиссии по исследованию Солнца.
РАЖ — Русский астрономический журнал.
РАК — Русский астрономический календарь.
Тр. ГАИ — Труды Государственного астрономического института.
Тр. ИИЕТ — Труды Института истории естествознания и техники АН СССР.
Тр. ЦНИИГАИК — Труды Центрального научно-исследовательского института геодезии, аэросъемки и картографии.

- ЦГИАЛ — Центральный государственный исторический архив.
- Цирк. ГАО — Циркуляр Главной астрономической обсерватории СССР.
- АМО — Annales de l'Observatoire astronomique de Moscou.
- AN — Astronomische Nachrichten.
- Aph. J. — Astrophysical Journal.
- BAISPb — Bulletin de l'Académie Impériale des Sciences de St. Pétersbourg.
- Bulletin SIN — Bulletin de la Société Impériale des Naturalistes de Moscou.
- C. R. — Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris.
- MAISPb — Memoires de l'Académie Impériale des Sciences de St. Pétersbourg.
- MSI — Memorie della società degli spettroscopisti italiani.
- MN — Monthly Notices of the Royal Astronomical Society.
- Phil. Trans. — Philosophical Transactions.
- Proc. R. S. — Proceedings of the Royal Society of London.
- Sitz. k. Ak. Wiss. — Sitzungsberichte der kaiserliche Akademie der Wissenschaften.
- Zs. f. Aph. — Zeitschrift für Astrophysik.
-

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Абельман И. С. — 6.
 Абетти А. — 23.
 Абетти Дж. — 26.
 Абней — 170.
 Альфан Г. — 153.
 Альфвен Х. — 218.
 Альфиери В. — 13, 205—207.
 Аргеландер Ф. — 150.
 Аррениус С. — 88, 95—96.
 Аррест де — 73.

 Бабаджанов П. Б. — 143.
 Барабашев Н. П. — 190.
 Барнард Е. — 72, 73, 170, 210.
 Бартоли А. (Bartoli A.) — 86, 87, 91.
 Бачинский — 138.
 Белопольский А. А. — 5, 6, 26—34, 100, 101, 122, 124, 125, 137, 138, 144, 151, 152, 155, 164, 166, 168, 169, 174, 175, 178, 181, 189, 190, 192, 193, 204, 205, 213.
 Берберих А. — 98.
 Берг Ф.-К. — 19, 161.
 Бергло П.-Э.-М. — 127.
 Бессель Ф.-В. — 44, 45, 47—51, 53—55, 62, 65, 67, 76—78, 119, 120, 152, 192, 196, 214.
 Бирман Л. — 218.
 Блажко С. Н. — 37, 40, 138, 205.
 Бойс Ч.-В. — 212.
 Болль Р. — 209.
 Больцман Л. — 86.
 Борелли — 212.
 Бородин И. П. — 13.
 Браверс — 170.
 Брандес Г.-В. — 43, 49.

 Браунинг — 74.
 Брауэр Г.-К. — 20, 21.
 Брашман Н. Д. — 166.
 Бредихина А. — 130.
 Брорзен — 72—74.
 Брукс — 35, 67, 72—74, 127.
 Бугаев Н. В. — 14.

 Вавилов С. И. — 86.
 Васильев А. С. — 138, 190.
 Вильд Г. И. — 24.
 Вильзинг — 164.
 Виннеке Ф.-А. — 49, 50, 72, 78.
 Виттрам Ф. Ф. — 138.
 Вольвиль Е. — 202.
 Вольф Р. — 25.
 Воронцов-Вельяминов Б. А. — 39, 40, 143, 176.

 Галилей Г. — 42, 202.
 Галле (Galle) — 91, 210.
 Галлей Э. — 43, 48, 68, 96
 Ганский А. П. — 26, 31, 100, 190.
 Гассельберг Б. — 20, 21, 26, 34, 81.
 Гаусс К.-Ф. — 57, 61, 102, 214.
 Гартвиг — 72, 133.
 Гейнзиус Х. — 66, 134.
 Гешпергер Дж. — 111, 112, 117.
 Герарди С. — 202.
 Герц Г. — 97.
 Герц Н. — 130.
 Герцен А. И. — 12.
 Гершель А.-С. — 143.
 Гилл Дж. — 26, 210.
 Глазенап С. П. — 14, 40.
 Голицын Б. Б. — 32.

- Гольдштейн Е. — 76, 130.
 Громадский А. И. — 33, 178, 192, 193.
 Гудрайк Дж. — 151.
 Гук Р. — 134.
 Гусев М. М. — 18, 19, 160.
 Дальмейер И. — 18, 21, 32, 33, 164, 199.
 Даниель — 85.
 Дарбу Г. — 153.
 Дебай П. — 216.
 Дейч А. Н. — 37.
 Деларю В. — 18.
 Деллен — 14.
 Деннинг В. — 142.
 Диченко — 138.
 Добровольский О. В. — 96, 98, 215, 218.
 Добролюбов Н. А. — 12.
 Донати Дж. — 49, 54, 74, 101, 119, 127, 129, 134.
 Дониц Н. Н. — 174.
 Драшусов А. Н. — 199.
 Дубяго А. Д. — 128, 129, 215.
 Дунер Н. — 26, 73.
 Дэви — 170.
 Егерман Р. О. (Jaegermann R.) — 6, 36, 37, 42, 49, 50, 65, 71, 94, 101, 104, 105, 122, 124, 126, 129—131.
 Егоров Н. Г. — 14.
 Жансен П.-Ж. — 25, 159.
 Жуковский Н. Е. — 7, 8, 12, 14, 31, 67, 99—121, 142—144, 148, 149, 166—169, 182—189, 193, 194.
 Захарчин — 160.
 Зенгер К. — 26.
 Иванов А. А. — 138.
 Иванов Г. А. — 128, 129, 208.
 Иверонов И. А. — 138.
 Казаков С. А. — 143.
 Казанский И. А. — 196, 197.
 Кассини Ж.-Д. — 179.
 Кельвин — 92.
 Кениссе Ф. — 210.
 Кеплер И. — 42.
 Кларк А. — 152.
 Ковальский М. А. — 138, 155.
 Коджа — 68, 72, 75, 101.
 Козловский — 138.
 Колли А. А. — 126, 127.
 Колли Дж.-Н. — 127, 128.
 Коноколи Н. — 26, 72.
 Кононович А. К. — 14, 189.
 Копелянд — 82.
 Коперник Н. — 202, 214.
 Корню М. — 25.
 Кортацци И. — 178, 179.
 Костинский С. К. — 6, 7, 26, 27, 34—37, 124—126, 131, 138, 170, 189, 205.
 Крат В. А. — 40.
 Крон А. — 96.
 Крукс — 87.
 Кукаркин Б. В. — 40.
 Куликовский П. Г. — 155.
 Купфер А. Я. — 24.
 Катер — 196.
 Ланглей С. — 26.
 Лармор — 86.
 Лебедев — 138.
 Лебедев П. Н. — 7, 8, 24, 31, 32, 79, 86, 100, 158, 175, 216, 217.
 Левин Б. Ю. — 216.
 Ленин В. И. — 8.
 Линдеман Э. Э. — 21, 138.
 Лозе — 82.
 Локьер Дж.-Н. — 25, 156, 159.
 Ломоносов М. В. — 8, 42, 43.
 Лоренц — 86.
 Лоренцони Дж. — 23, 137, 159.
 Любимов Н. А. — 200, 201.
 Максвелл К. (Maxwell K.) — 86, 87, 89, 91, 95, 97.
 Марковников В. В. — 12, 14.
 Маркузе А. — 130.
 Мартен А. — 202.
 Мельников О. А. — 6, 24, 40, 75, 83, 156, 169, 175, 209.
 Менделеев Д. И. — 12, 80, 83.
 Мерц — 19, 21, 74, 156, 162, 178, 210.
 Ми Г. — 216.
 Михайлов А. А. — 197.
 Михельсон В. А. — 31.

- Млодзевский Б. К. — 7, 31, 142, 143—148, 153—155.
 Модестов Б. П. — 138, 143, 155.
 Монтанари — 151.
 Морин М. Н. — 138.
 Моссотти О. — 200, 201.
- Нортон В.-А. — 49, 50, 62, 101—104, 134.
 Ньюком С. — 181.
 Ньютон И. — 42, 43, 51, 54, 134.
- Ольберс Г.-В. — 43, 68, 134.
 Орбинский А. Р. — 138.
 Орлов С. В. — 6, 41, 44, 68, 70, 82, 119, 122, 131—133, 215—217.
- Папе К. — 49, 50, 67, 78, 134.
 Паренаго П. П. — 40.
 Пашен — 87.
 Петрушевский Ф. Ф. — 14, 20, 21, 34.
 Пиаци-Смит Ч. — 126.
 Пиккеринг Е. — 26.
 Пим Дж. — 212.
 Пирс К. — 49, 50, 170, 192.
 Плантамур Э. — 192.
 Плутарх — 128.
 Покровский К. Д. — 6, 138.
 Полосков С. М. — 82.
 Пономарев Е. А. — 174.
 Понс — 67, 72—74, 127.
- Райе Ж. — 25.
 Рамзай В. — 127, 129.
 Ренар К. И. — 118.
 Ренц Ф. Ф. — 138.
 Репсольд А. — 192, 194—196.
 Респиги Л. — 23, 159.
 Ржевский В. А. — 138.
 Рийвес В. Г. — 215.
 Рикко А. — 23.
 Рождественский Д. С. — 31.
 Розен П. Г. — 21.
 Ролан — 130.
 Роланд — 130.
 Россинский С. Д. — 144.
 Роуланд Х. — 25.
- Саблер Е. Е. — 17—19, 160.
 Савинов — 31.
 Савич А. Н. — 17, 18.
- Сван — 74, 81, 82.
 Секки А. — 10, 23, 25, 73, 74, 135, 156, 159, 162—165, 202.
 Селлерье Ш. — 192.
 Серафимов В. В. — 138, 181.
 Сеченов И. М. — 12.
 Сикора И. И. — 26, 131.
 Скиапарелли Дж. — 23, 27, 135—137, 202, 209.
 Смыслов П. М. — 19, 161.
 Соболев В. В. — 40.
 Соколов А. П. — 7, 59, 108, 111, 118—124, 137, 138, 152, 178, 192, 193.
 Соколовский З. И. — 9.
 Сорокин Л. В. — 197.
 Столетов А. Г. — 12, 14.
 Страонов В. В. — 138.
 Струве В. Я. — 17, 18.
 Струве О. В. — 15.
 Суворов И. М. — 161.
- Таккини П. — 10, 23, 25, 73, 159, 160, 162, 163, 177, 213.
 Теббут — 72—73.
 Темпель Г. — 23, 74.
 Тернер Г.-Г. — 143.
 Тимирязев К. А. — 8, 11, 14.
 Тихо Браге — 42.
 Тихов Г. А. — 24, 26, 190.
 Томсон Дж. — 127.
 Травин В. — 18.
 Троицкий И. Н. — 138, 179, 192, 193.
- Уиллис Дж. (Willis J.) — 132, 133.
 Уиппл Ф. — 143, 215.
 Уэлс — 72—73, 82.
- Фабри — 72, 73.
 Фай Э. — 25, 76.
 Фесенков В. Г. — 190.
 Фитджеральд Дж. — 93, 96.
 Фламарион К. — 130.
 Фогель Г.-К. — 25, 27, 72, 74, 81, 152, 156, 157.
 Фогель Р. Ф. — 138.
 Франц А. — 20.
 Фраунгофер И. — 179.
 Френель — 87.

- Хандриков М. Ф. — 138.
Хёггинс В. — 25, 27, 72, 74,
155—157, 209, 210.
Ховарт Е. — 214.
- Цветинович Н. Д. — 138.
Цёлльнер Ф.-К. — 19, 37—39,
78, 79, 127, 159, 164, 165.
Цераский В. К. — 7, 20, 22,
26—28, 33—35, 37—40, 89,
124, 125, 128, 131, 137, 138,
143—145, 151, 164, 175, 176,
179, 192, 193, 205, 212.
Цингер В. Я. — 195.
- Чернышевский Н. Г. — 12.
Чичерин Б. Н. — 157, 158.
- Шайн Г. А. — 24, 40.
Шаронов В. В. — 190.
Шварцшильд К. — 95, 96, 216.
- Шведов Ф. Н. — 76, 88, 130.
Швейцер Б. Я. — 9, 20, 37,
38, 137, 159, 161, 162, 191,
192, 199.
Шверд Ф. — 19.
Шеберле Дж. — 130, 170, 171.
Шепли Х. — 214.
Шмидт — 52, 122.
Шрётер — 138.
Штернберг П. К. — 5, 7, 8, 13,
27, 34, 35, 124, 144, 155,
180, 191, 194—197, 205.
Штюкрат — 196.
- Эйлер Л. — 200, 201.
Эйнштейн А. — 16.
Энке И.-Ф. — 98, 155.
- Юнг Ч.-А. — 26, 27, 73, 159.
Якоби — 148, 149.
-

О Г Л А В Л Е Н И Е

	Стр.
Введение	5
<i>Глава I.</i> Ф. А. Бредихин и его эпоха	9
1. Краткие биографические сведения	—
2. Научный подъем 60—70-х годов XIX в. в России	11
3. Ф. А. Бредихин — передовой представитель своей эпохи	12
<i>Глава II.</i> Ф. А. Бредихин — пионер астрофизики и основатель отечественной астрофизической школы	16
1. Возникновение астрофизики в России (60—70-е годы XIX в.)	17
2. Научные связи русских и итальянских астрофизиков	23
3. Роль Ф. А. Бредихина в создании отечественной астроспектроскопической школы	27
4. Роль Ф. А. Бредихина в создании отечественной астрофотографической школы	32
5. Роль Ф. А. Бредихина в создании отечественной школы астрофотометрии	37
<i>Глава III.</i> Исследования о кометах	41
1. Механическая теория кометных форм	—
2. Изучение спектров комет	74
3. Физическая гипотеза о строении хвостов комет	75
4. Научные связи Ф. А. Бредихина с различными учеными при разработке теории комет	85
<i>Глава IV.</i> Работы по метеорной астрономии	135
1. Дж. Скиапарелли — предшественник Ф. А. Бредихина	—
2. Организация наблюдений	137
3. Разработка теории движения метеорных тел	138
<i>Глава V.</i> Изучение звезд и туманностей	150
1. Переменные звезды	—
2. Двойные звезды	151
3. Изучение спектров планетарных туманностей	155

<i>Глава VI.</i> Исследование Солнца.	159
1. К истории вопроса	—
2. Организация фотогелиографических и спектроскопических наблюдений Солнца в России	160
3. Разработка теории движения солнечных пятен и лучей короны	164
4. Изучение Солнца в России последователями Ф. А. Бредихина	174
<i>Глава VII.</i> Изучение физической природы планет	177
1. Организация Ф. А. Бредихиным систематических наблюдений планет	—
2. Разработка теории планетной атмосферы	182
<i>Глава VIII.</i> Изучение физической природы Земли	191
1. Организация гравиметрических работ в России	—
2. Работа Н. Е. Жуковского	193
3. Роль Ф. А. Бредихина в создании отечественной гравиметрической школы	194
<i>Глава IX.</i> Работы по другим отраслям астрономии	198
1. Астрометрия	—
2. Инструментальная оптика	200
3. История астрономии	201
<i>Глава X.</i> Работы в области филологии	204
1. Ученый-полиглот	—
2. Автор стихотворных переводов	205
<i>Глава XI.</i> Признание научных заслуг Ф. А. Бредихина	209
1. Ф. А. Бредихин в оценке своих современников	—
2. Ф. А. Бредихин и современная наука	214
I. Библиография печатных трудов Ф. А. Бредихина	220
II. Цитированная литература	234
Список сокращений	246
Именной указатель	248

Н и н а И в а н о в н а Н е в с к а я
ФЕДОР АЛЕКСАНДРОВИЧ ВРЕДИХИН
1831—1904

*Утверждено к печати
Редколлегией научно-биографической серии
при Академии наук СССР*

Редактор издательства *Г. В. Кузнецов*
Художник *Д. С. Данилов*
Технический редактор *В. А. Сорокина*
Корректоры *Г. М. Гельфер* и *С. Я. Овчарова*

Сдано в набор 27/IX 1963 г. Подписано к печати
10/III 1964 г. РИСО АН СССР № 2-155 В. Формат
бумаги 84×108/32. Бум. л. 4. Печ. л. 8=13.12
усл. печ. л. + 1 вкл. Уч.-изд. л. 13,4 + 1 вкл.
(0,03). Изд. № 2029. Тип. зак. № 392. М-27407.
Тираж 4500. ТП 1963 г. № 99. Цена 80 коп.

Ленинградское отделение Издательства «Наука»
Ленинград, В-164, Менделеевская лин., д. 1

1-я тип. Издательства «Наука»
Ленинград, В-34, 9 линия, д. 12

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

*В магазинах конторы «Академкнига»
имеются в продаже*

КНИГИ О ЖИЗНИ И ТВОРЧЕСТВЕ ВЕЛИКИХ УЧЕНЫХ

Зубов В. П. Аристотель. 1963. 366 стр.
Цена 1 р. 6 к.

В книге ярко воссоздан живой облик величайшего мыслителя древности. Автор в общедоступной форме излагает естественнонаучные и философские взгляды Аристотеля. Особое внимание уделяется дальнейшей судьбе поистине энциклопедического аристотелевского наследия, оказавшего огромное влияние на все области науки и культуру.

Кузнецов Б. Г. Развитие физических идей от Галилея до Эйнштейна в свете современной науки. 1963. 511 стр. Цена 2 р. 3 к.

Франкфурт У. И., Френк А. М. Христиан Гюйгенс. (1629—1695). 1962. 327 стр. Цена 1 р. 5 к.

Книга о жизни и деятельности великого голландского ученого, одного из титанов научной мысли XVII в.

М. В. Ломоносов в воспоминаниях и характеристиках современников. 1962. 232 стр. Цена 1 р. 13 к.

Приводится интересная сводка высказываний о великом русском ученом, его жизни и творчестве. Эти высказывания принадлежат современникам Ломоносова — русским и иностранным писателям, ученым и общественным деятелям.

Кулябко Е. С. М. В. Ломоносов и учебная деятельность Петербургской Академии наук. 1962. 216 стр. Цена 1 р. 13 к.

Дорфман Я. Г. Лавуазье. 1962. 327 стр.
Цена 1 р. 4 к.

На основе новейших исторических данных рассказывается о жизни и творческой деятельности великого французского химика.

Гнеденко Б. В., Погребысский И. Б. Михаил Васильевич Остроградский. (1801—1862 гг.). Жизнь и работа. Научное и педагогическое наследие. 1963. 271 стр. Цена 91 к.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

*В магазинах конторы «Академкнига»
имеются в продаже*

Шафрановский И. И. Евграф Степанович Федоров. 1963. 284 стр. Цена 1 р. 11 к.

Книга посвящена жизни и научной деятельности гениального русского ученого, основателя современной кристаллографии. Обоснованные им 230 геометрических законов, по которым располагаются атомы в кристаллах, являются замечательным примером научного предвидения.

Радовский М. И. Александр Степанович Попов. 1859—1905 гг. 1963. 388 стр. Цена 1 р. 60 к.

Подробная монография о жизни и творчестве великого русского ученого, изобретателя радио.

Васильченко И. Т. Иван Владимирович Мичурин. 1855—1935 гг. 1963. 329 стр. Цена 1 р. 26 к.

Ярко отображен весь жизненный и творческий путь великого преобразователя природы И. В. Мичурина. Подробно рассказывается о приемах и методах мичуринской селекции и гибридизации.

**ВАШИ ЗАКАЗЫ НА КНИГИ ПРОСИМ НАПРАВЛЯТЬ
ПО АДРЕСУ:**

**Москва, К-12, Б. Черкасский пер., 2/10,
Контора «Академкнига», отдел «Книга — почтой»
или в ближайший магазин «Академкнига»**

АДРЕСА МАГАЗИНОВ «АКАДЕМКНИГА»:

Москва, ул. Горького, 6 (магазин № 1); 1-й Академический проезд, 55/5 (магазин № 2); **Ленинград**, Литейный пр., 57; **Свердловск**, ул. Белинского, 71в; **Новосибирск**, Красный пр., 51; **Киев**, ул. Ленина, 42; **Харьков**, Уфимский пер., 4/6; **Алма-Ата**, ул. Фурманова, 129; **Ташкент**, ул. Карла Маркса, 29; **Баку**, ул. Джапаридзе, 13.

При получении заказа книги, как имеющиеся в наличии, так и печатающиеся (по поступлении в продажу), будут направлены в Ваш адрес наложенным платежом. Пересылка за счет заказчика.

Предварительные заказы на книги принимаются также местными магазинами книготоргов и потребительской кооперации.

ИСПРАВЛЕНИЯ

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
65	2 снизу	уравнение	уравнение. Было выведено и уравнение синхроны
120	14 »	$\frac{2r'\tau^3}{3r^2} +$	$\frac{2r'\tau^3}{3r^3} +$
120	13 »	$+\left(\frac{7}{30} +$	$+\left(\frac{7}{3} +$
121	5 сверху	$+(5 + 117\mu +$	$+(5 - 117\mu +$
121	14 »	$\left[\frac{r(1-\mu)^{-1/3}}{69\eta}\right]^{1/3} =$	$\left[\frac{r^2(1-\mu)^{-1/3}}{69\eta}\right]^{1/3} =$
123	7 »	$-\sqrt{2}\left(\frac{17g_1}{18} - \frac{2cr'g_2}{3} - \frac{2cr'g_2}{3}\right)\xi^{3/2} +$	$-\sqrt{2}\left(\frac{17g_1}{18} - \frac{2cr'g_2}{3} - \frac{35c^2g_1}{36r}\right)\xi^{3/2} +$
123	11 »	$-\left(\frac{8r'g_2}{27} + \frac{2cg_1}{3r} + \frac{c^3g_1}{3r^2}\right)\xi^2$	$-\left(\frac{8r'g_2}{27} + \frac{14c^2g_2}{27r} + \frac{2cg_1}{3r} + \frac{3^3g_1}{cr^2}\right)\xi^2$
123	6 снизу	$\xi = -g\tau + \dots) \frac{\tau^6}{3}$	$\xi = -g_1\tau + \dots) \frac{\tau^6}{6}$
154	3—2 »	Точка O' пересечения продолжения $RO \times (RO \perp XY)$	Точка O' ее пересечения с продолжением $RO (RO \perp XY)$
173	9 сверху	превосходит притяжение	уравнивает притяжение
215	5 »	С. В. Орлова (1—19) и его школы	С. В. Орлова и его школы
250	Правый столб., 18 снизу	Травин В. — 18	Травин В. — 192.

Ф. А. БРЕДИХИН

Н.И.НЕВСКАЯ

Б

ФЕДОР

АЛЕКСАНДРОВИЧ

РЕДИХИН



1 8 3 1
—
1 9 0 4

80 коп.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»