

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт космических исследований Российской академии наук
(ИКИ РАН)

УТВЕРЖДАЮ



И.о. директора ИКИ РАН
чл.-корр. РАН А.А. Петрукович

15 декабря 2023 г.

ПРОГРАММА

вступительного экзамена в аспирантуру ИКИ РАН
по направлению подготовки 1.3 «Физические науки»
по научной специальности

1.3.1 «ФИЗИКА КОСМОСА, АСТРОНОМИЯ»

УТВЕРЖДЕНО

на Ученом совете ИКИ РАН

«15» декабря 2023 г.

Протокол № 8

Москва - 2023

ПРОГРАММА
вступительного экзамена в аспирантуру ИКИ РАН
по научной специальности 1.3.1 – «Физика космоса. Астрономия»

I. Общая часть: астрометрия, небесная механика.

1. Основы механики движения.
2. Закон всемирного тяготения, закон Кеплера. Задача двух тел, типы движений в задаче 2-х тел. Элементы орбит. Понятие о возмущающих силах в задаче двух тел.
3. Движение искусственных спутников Земли и характеристики их орбит.

II. Некоторые общие вопросы астрономии.

1. Определение основных плоскостей: горизонта, небесного экватора, эклиптики, галактического экватора. Системы небесных координат. Прецессия, нутация, абберация (суточная и годовая). Принципы построения систем координат. Принципы гиросtabilизации и астроориентации космических приборов (гироскопы, звездные и солнечные датчики).
2. Определение времени. Всемирное время, звездное время, солнечное время (истинное, среднее, поясное, декретное).
3. Основы математической статистики. Распределения Пуассона, Гаусса. Методы проверки гипотез и оценки параметров. Метод наименьших квадратов. Вычисление среднеквадратичных отклонений. Перенос ошибок.

III. Наблюдательные и экспериментальные методы астрофизики.

1. Астрономическая оптика. Абберации оптических систем. Телескопы и их основные параметры (разрешающая способность, поле зрения, проникающая сила). Основные типы телескопов (рефракторы, рефлекторы, зеркально-линзовые системы, телескопы с адаптивной оптикой). Типы монтажей телескопов. Астроклимат.
2. Радиотелескопы. Основные типы антенн (диполь, рупор, зеркальные антенны, решетки, антенны апертурного синтеза). Основные параметры антенн (эффективная площадь, диаграмма направленности, шумовая температура). Радиоастрономические приемники. Радиометрический выигрыш. Боллометрический и гетеродинный прием в радио и ИК-диапазонах.
3. Основные параметры спектральных приборов (разрешение, светосила, геометрический фактор). Светофильтры. Призмные спектрографы и спектрометры. Дифракционные спектральные приборы. Плоская и вогнутая дифракционные решетки.
4. Приемники оптического, ультрафиолетового и инфракрасного излучения. Фотографическая эмульсия. Фотоэлектрические приемники. ПЗС матрицы. Тепловые приемники. Основные параметры приемников (чувствительность, спектральная характеристика, шумы, частотная характеристика). Факторы, ограничивающие порог обнаружения сигнала в разных диапазонах.

5. Методы внеатмосферной астрономии. Детекторы и оптика для ультрафиолетового и рентгеновского диапазонов (пропорциональные счетчики, микроканальные пластины, телескопы косого падения, сотовые и модуляционные коллиматоры, телескопы с кодированной апертурой). Полупроводниковые детекторы. Сцинтилляционные детекторы. Твердотельные (германиевые) детекторы. Калориметры. Искровые камеры для гамма-диапазона.

6. Измерения температуры поверхности планет (ИК-радиометрия, радиоастрономические методы). Измерения давления, плотности и температуры в планетных атмосферах с помощью космической техники (прямые методы, торможение искусственных спутников, спектроскопия, радиопросвечивание).

IV Общая астрофизика

1. Звезды: шкала звездных величин, фотометрические системы, система U, B, V и ее продолжение. Видимые и абсолютные звездные величины. Методы определения расстояний до звезд. Показатель цвета, избыток цвета. Температура звезд, шкала звездных температур. Спектры звезд и их классификация. Диаграмма Герцшпрунга-Рэссела. Определение масс звезд. Двойные звезды.

2. Переменные звезды и их классификация. Цефеиды, зависимость период-светимость. Новые звезды. Сверхновые звезды, их типы и причины взрывов. Роль радиоактивного излучения в формировании кривых блеска сверхновых.

3. Собственные движения звезд, лучевые скорости звезд, движение Солнечной системы в Галактике.

4. Млечный путь и его строение. Звездные скопления. Рассеянные и шаровые скопления. Межзвездная среда. Галактические туманности; светлые и темные. Межзвездное поглощение света.

5. Теория галактического вращения. Спиральная структура Галактики. Свойства газа в облаках и межоблачном пространстве. Типы звездного населения и их кинематика.

6. Галактики и их классификация, методы определения расстояний в Метагалактике. Красное смещение.

7. Радиогалактики, квазары, активные ядра галактик. Унификация активных ядер галактик.

8. Скопления галактик. Видимая и скрытая масса. Горячий газ в скоплениях галактик. Эффект Сюняева-Зельдовича и определение постоянной Хаббла.

V. Теоретическая астрофизика.

1. Атомные спектры. Природа спектральных термов. Спектр атома водорода, линия 21 см. Пространственное квантование. Спин, тонкая структура. Спектр молекулы водорода. Спектры щелочных металлов. Спектры атомов и ионов с двумя электронами. Вероятности переходов. Сила осциллятора, коэффициенты Эйнштейна. Эффект Зеемана. Эффект Штарка. Изотопическое смещение. Сверхтонкая структура.

2. Молекулярные спектры. Вращательные и вращательно-колебательные полосы. Электронные спектры. Молекулярная радиоспектроскопия. Изотопические эффекты. Интенсивность линий. Вращательная температура. Мазерное излучение.

3. Теория звездных фотосфер. Непрерывный спектр. Основные понятия о теории излучения (коэффициенты поглощения и излучения, различные механизмы поглощения в континууме). Уравнение переноса. Эддингтоновское приближение. Гипотеза Л.Т.Р. Закон потемнения диска звезды к краю. Возбуждение и ионизация атомов в звездных атмосферах, рассеяние и истинное поглощение, свободно-свободные переходы, отрицательные ионы водорода. Отклонения от Л.Т.Р. (солнечная корона, планетарные туманности). Понятие серой атмосферы. Альbedo.

4. Образование линий поглощения в спектрах звезд. Уравнение переноса для консервативного случая. Учет истинного поглощения. Допплеровское уширение и истинное затухание. Эффекты давления, уширение линий вследствие столкновений атомов.

5. Основы теории кривых роста. Методы построения кривых роста по наблюдениям. Турбулентные скорости в атмосферах звезд, постоянная затухания. Влияние на профиль линий вращения звезд. Изменение контуров линий от центра к краю. Влияние ускорения силы тяжести (различие спектров гигантов и карликов).

6. Ионизация атомов излучением и электронным ударом. Основы теории ионизации солнечной короны. Корональные линии и их отождествление. Непрерывный спектр солнечной короны (F и K - компоненты).

7. Запрещенные линии в астрофизике. Механизм свечения планетарных туманностей. Метод Занстра для определения температур ядер планетарных туманностей. Поведение бальмеровских и запрещенных линий в планетарных туманностях. $L\epsilon$ и $L\alpha$ излучение и его диффузия в планетарных туманностях.

8. Области молекулярного, атомарного, ионизованного водорода и их излучение. Время рекомбинации и механизмы охлаждения областей III и IIII. Радиус Стрёмгрена. Нестационарность областей IIII.

9. Основные механизмы космического радиоизлучения и основные характеристики. Тормозное излучение, излучение оптически тонкой и оптически толстой плазмы. Синхронное излучение и практическое применение к источникам. Рекомбинационные радиолнии. Основы радио спектроскопии молекул, электронные, колебательные и вращательные переходы, мазерное излучение.

10. Понятие о внутреннем строении звезд и их эволюции. Вырожденный электронный газ. Строение звезд главной последовательности. Красные гиганты и белые карлики. Основы теории эволюции звезд с постоянной массой. Связь теории эволюции с наблюдаемыми диаграммами «спектр-светимость» в рассеянных и шаровых скоплениях.

VI. Специальные вопросы астрофизики.

1. Остатки вспышек сверхновых звезд. Их классификация. Крабовидная туманность (спектр, компоненты свечения, основы теории). Звездные остатки: нейтронные звезды и черные дыры. Пульсары. Предел устойчивости нейтронной звезды и определение массы компактного объекта в двойной системе по измерению доплеровского смещения спектральных линий.

2. Основы теории аккреции на нейтронные звезды и черные дыры. Сферически симметричная и дисковая аккреция. Пограничный слой аккреционного диска и слой растекания вещества по поверхности звезды. Горячие короны и спектр излучения аккреционного диска.

3. Релеевское рассеяние. Рассеяние, поглощение и ослабление малыми частицами.
 4. Межзвездная среда. Методы исследования газовой и пылевой компоненты. Молекулы в межзвездной среде. Космические лучи и магнитные поля в Галактике.
 5. Механизмы рентгеновского и гамма-излучения (тормозное и рекомбинационное излучение горячей оптически тонкой плазмы, синхротронное излучение, флуоресценция, обратный Комптон-эффект, распад π -мезонов). Взаимодействие рентгеновского и гамма-излучения с веществом (ионизационные потери, фотопоглощение, комптоновское рассеяние, рождение пар). Комптонизация и формирование спектров компактных рентгеновских источников.
 6. Классификация наблюдающихся компактных источников космического рентгеновского и гамма-излучения (остатки сверхновых, двойные рентгеновские источники, барстеры, рентгеновские пульсары, рентгеновские транзиенты и новые, кандидаты в черные дыры, мягкие гамма-повторители, магнетары).
- Изотропный рентгеновский и гамма-фон. Внегалактические источники рентгеновского излучения. Диаграмма $\log N$ - $\log S$. Космические гамма-всплески. Послесвечения гамма-всплесков. Нейтринная астрономия (Солнце и сверхновые).
7. Изучение пыли. ИК-излучение областей звездообразования молекулярно-пылевых облаков, зон III планетарных туманностей и околозвездных оболочек. Диффузное свечение плоскости и центра Галактики. ИК-избытки в спектрах звезд и активных галактик. Инфракрасный фон.
 8. Основы космологии. Наблюдательные основы космологии: однородность распределения материи в самых больших масштабах; закон Хаббла. Теория расширяющейся Вселенной (ньютоновские уравнения для однородной изотропной Вселенной, закон расширения, критическая плотность). Фридмановские модели расширяющейся Вселенной: кривизна 3-х мерного пространства (закрытый, открытый, плоский мир).
 9. Теория горячей Вселенной. Реликтовое излучение. Начальные этапы расширения. Понятие о раздувающейся Вселенной. Поведение излучения и вещества на ранних этапах расширения Вселенной. Рекомбинация вещества. Гравитационная неустойчивость. Возникновение структуры Вселенной. Тёмная материя и тёмная энергия. Ускоренное расширение Вселенной (методы измерения).

VII. ФИЗИКА ПЛАЗМЫ

1. Потенциал точечного заряда в плазме. Плазменный конденсатор. Сферический зонд в плазме. Двойной слой Ленгмюра.
2. Классификация видов плазмы. Степень ионизации. Формула Саха. Столкновения частиц в плазме. Энергия электростатического взаимодействия. Потери энергии частицей в плазме, время максвеллизации. Явления переноса в плазме.
3. Плазма в высокочастотном поле. Проникновение электромагнитной волны в плазму. Трансформация в плазменные колебания. Излучение плазмы.
4. Кинетическое уравнение для плазмы. Гидродинамическое описание плазмы.
5. Ионно-звуковые колебания в плазме. Кинетическая теория волн в плазме. ленгмюровские колебания. Пучковая неустойчивость. Квазилинейная теория колебаний плазмы. Параметрические неустойчивости плазмы
6. Движение частиц в магнитном поле. Виды дрейфов. Циклотронный резонанс и нагрев.

Диамagnetизм плазмы. Адиабатические инварианты. Точность сохранения. Магнитные ловушки.

7. Магнитная гидродинамика. Равновесие плазмы в магнитном поле. Понятие замороженности и магнитного числа Рейнольдса. Уравнения анизотропной гидродинамики.

8. Ветви колебаний плазмы в магнитном поле в рамках одножидкостной МГД. Альфвеновская, быстрая и медленная магнитозвуковые волны.

9. Тензор диэлектрической проницаемости и дисперсионные уравнения для холодной плазмы, помещенной в магнитное поле.

10. Фарадеевское вращение плоскости поляризации для электромагнитных и альфвеновских волн.

11. Неустойчивости плазмы в магнитном поле: дрейфовая, Рэлея-Тейлора, Кельвина-Гельмгольца, шланговая.

12. Нейтральные слои и разрывные неустойчивости.

VIII. ФИЗИКА СОЛНЦА И ГЕЛИОСФЕРЫ

1. Термоядерные реакции на Солнце. Термоядерные циклы. Современные эксперименты по регистрации нейтрино.

2. Строение Солнца. Зона энерговыделения, зона лучистого переноса, конвективная зона, хромосфера, фотосфера, корона. Потемнение диска Солнца к краю. Спектр и поляризация излучения короны. Гелиосейсмология. Солнечная постоянная.

3. Солнечная активность. Общее магнитное поле. 11 и 22 летние циклы. Спектр излучения Солнца в спокойные и активные периоды. Активные образования на Солнце. Солнечные вспышки. Энергетика солнечных вспышек. Радио, рентгеновское и гамма-излучение солнечных вспышек. Солнечные космические лучи.

4. Формирование солнечного ветра. Граница гелиосферы. Спокойный и высокоскоростной солнечный ветер. Спираль Паркера. Корональные дыры и корональные выбросы массы, коротирующие потоки. Долговременная и кратковременная модуляция галактических космических лучей, распространение солнечных космических лучей.

5. Взаимодействие планетного магнитного поля с солнечным ветром. Структура магнитосферы. Магнитное поле Земли. Радиационные пояса Земли. Динамика магнитосферы Земли. Магнитные бури. Полярные сияния. Понятие об особенностях магнитосфер планет.

IX. ПЛАНЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Строение Солнечной системы. Расстояние от Солнца и законы движения планет земной группы, планет-гигантов, малых тел и спутников. Орбиты Солнечной системы. Пояс астероидов, пояс Эджворта-Койпера, облако Оорта. Резонансы и устойчивость орбит.

2. Современные космогонические гипотезы формирования планет и планетных систем. Протопланетное облако. Этапы формирования планет и их ранней эволюции.

3. Внутреннее строение планет земной группы. Эндогенные процессы. Тектоника. Магнитное поле планет и его вероятное происхождение.

4. Атмосферы планет земной группы и спутников, обладающих газовой оболочкой. Атмосферы планет-гигантов, различия в распределении плотности и химического состава. Вертикальная структура атмосфер. Гидростатическое равновесие. Верхние атмосферы и

- диссипация атмосфер. Ионосферы. Свечение ночного неба Земли. Водородная геокорона.
5. Динамика планетных атмосфер. Уравнение движения атмосферных масс в гидростатическом приближении. Конденсация и испарение летучих. Преобразование энергии в планетарных процессах.
 6. Распределение энергии в непрерывном спектре планет и спектре черного тела. Сферическое альbedo. Энергетический баланс планет, обладающих атмосферами, парниковый эффект, эффективная и яркостная температура.
 7. Особенности излучения планет в различных областях спектра. Молекулярные спектры. Основные характеристики вращательных, колебательно-вращательных и электронных спектров.
 8. Лучистое равновесие и основные понятия теории переноса излучения. Рассеяние и поглощение. Индикатриса рассеяния. Механизмы доплеровского и столкновительного уширения спектральной линии.
 9. Дистанционные методы исследований планет (картирование, радиометрия, спектрометрия, поляриметрия, радиолокация, излучение в радиодиапазоне, лидар, радио- и солнечное просвечивание атмосфер, покрытия звезд). Прямые методы исследования поверхностей и атмосфер небесных тел.
 10. Общие представления о физических свойствах Меркурия и Луны (плотность, магнитное поле, особенности орбит, представления об их образовании и эволюции). Физические условия на поверхности безатмосферных небесных тел. Образование реголита.
 11. Венера. Строение и состав атмосферы, облачный слой, поверхность, перенос видимого и теплового излучения. Парниковый эффект. Суперротация атмосферы. Сходство и различия с Землей. Роль основных этапов космических миссий в исследованиях Венеры.
 12. Марс. Строение и состав атмосферы, сезоны, облака и пылевые бури, особенности рельефа, полярные шапки, циркуляция атмосферы, климат. Гипотезы об эволюции климата. Роль основных этапов космических миссий в исследованиях Марса.
 13. Общие представления о физических свойствах малых тел Солнечной системы (астероидов, кентавров, спутников Марса). Метеоритные рои. Метеориты. Транснептуны и пара Плутон-Харон (пояс Эджворта-Койпера). Кометы (классификация, ядра, атмосферы, пыль). Гипотезы об образовании и эволюции малых планет и комет.
 14. Планеты-гиганты (Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун). Наблюдаемые детали видимой поверхности облаков. Состав, строение и сведения о динамике атмосфер. Сравнение двух групп планет-гигантов (а) Юпитера и Сатурна и (б) «далеких гигантов» Урана и Нептуна: внутреннее строение, тепловые потоки, магнитное поле, радиационные пояса, радиоизлучение, наклон осей. Основные этапы космических миссий в исследованиях планет-гигантов.
 15. Спутники планет-гигантов Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна (орбиты, состав, плотности, внутреннее строение.) Природа галилеевых спутников Юпитера, спутников Сатурна Титан и Энцелад, спутника Нептуна Тритон. Кольца планет-гигантов.
 16. Экзопланеты. Методы поиска и обнаружения (динамический, фотометрический, астрометрический, гравитационное линзирование). Физические характеристики, модели атмосфер экзопланет.

ЛИТЕРАТУРА:

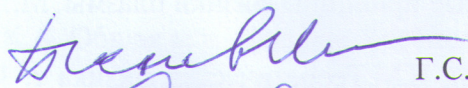
1. Акасофу С.П., Чепмен С. Солнечно-земная физика. Ч.1.М.:Мир, 1974.
2. Кононович Э.В., Мороз В.И. Общий курс астрономии. М.:УРСС, 2011.
3. Бисноватый-Коган Г.С. Физические вопросы теории звездной эволюции. М.: Наука, 1989.
4. Вайнберг С. Первые три минуты : Современный взгляд на происхождение Вселенной. М.: Энергоиздат, 1981.
5. Галактическая и внегалактическая радиоастрономия. Под ред. К.И. Каллермана и Г.Д. Верскера. М.: Мир, 1976.
6. Гинзбург В.Л. Распространение электромагнитных волн в плазме. М.: Наука, 1967.
7. Горбунов Д. С., Рубаков В. А. Введение в теорию ранней Вселенной: Теория Горячего большого взрыва. М.: Изд-во ЛКИ/URSS, 2008.
8. Горбунов Д. С., Рубаков В. А. Введение в теорию ранней Вселенной: Космологические возмущения. Инфляционная теория. М.: Изд-во Красанд/URSS, 2010.
9. Долгов А. Д., Зельдович Я. Б., Сажин М. В. Космология ранней Вселенной. М.: Изд-во МГУ, 1988.
10. Есепкина Н.А., Корольков Д.В., Парийский О.Н. Радиотелескопы и радиометры. М.: Наука, 1973.
11. Засов А.В., Постнов К.А. Общая астрофизика: Учебное пособие. М.: МГУ – Фрязино, 2011, 573 с.
12. Зельдович Я.Б., Новиков И.Д. Теория тяготения и эволюция звезд. М.: Наука, 1971.
13. Зельдович Я.Б., Новиков И.Д. Строение и эволюция Вселенной. М.: Наука, 1975.
14. Каплан С.А., Пикельнер С.Б. Физика межзвездной среды. М.: Наука, 1979.
15. Краус Д.Д. Радиоастрономия. М.: Сов.радио, 1973.
16. Мартынов Д.Я. Курс практической астрофизики. М.: Наука, 1977.
17. Москаленко Е.И. Методы внеатмосферной астрономии. М.: Наука, 1984.
18. Новиков И.Д. Эволюция Вселенной. М.: Наука, 1990.
19. Насельский П.Д., Новиков Д.И., Новиков И.Д. Реликтовое излучение Вселенной. М.: Наука, 2003.
20. Соболев В.В. Курс теоретической астрофизики. М.: Наука, 1975.
21. Физика космоса: Маленькая энциклопедия. Ред. Р. А. Сюняев. М.: Сов. Энциклопедия, 1986.
22. Шкловский И.С. Звезды: их рождение, жизнь и смерть. М.: Наука, 1984.

23. Шкловский И.С. Сверхновые звезды и связанные с ними проблемы. М.: Наука, 1976.
24. Шапиро С., Тьюколски С. Черные дыры, белые карлики и нейтронные звезды. М.: Мир, 1985.
25. Лонгейр М. Астрофизика высоких энергий. М.: Мир, 1984.
26. Кролл Н, Трайвелпис А. Основы физики плазмы. М.: «Мир», 1975.
27. Франк-Каменецкий Д.А. Лекции по физике плазмы. 3-е изд. Долгопрудный интеллект, 2008, 279 с.
28. Арцимович Л.А., Сагдеев, Р.З. Физика плазмы для физиков. М.: Атомиздат, 1979.
29. Кадомцев Б.В. Коллективные явления в плазме. М.: Наука, 1988.
30. Чен Ф. Введение в физику плазмы. М.: Мир, 1987.
31. Кингсеп А.С. Введение в нелинейную физику плазмы. М.: МФТИ, 1996.
32. Ахиезер А.И. и др. Электродинамика плазмы. М.: Наука, 1974.
33. Основы физики плазмы, под ред. А.А.Галеева. М.: Энергоатомиздат, Т.1 –1983, Т.2 – 1984.
34. Александров А.Ф. и др. Колебания и волны в плазменных средах. М.: МГУ, 1990.
35. Ишимару С. Основные принципы физики плазмы. М.: Атомиздат, 1975.
36. Ландау Л.Д., Лившиц Е.М. Теоретическая физика т. 10 Физическая кинетика. Изд. 2-е, исп., М.: Наука, 2007.
37. Ф. Клемоу Ф., Доэрти Дж. Электродинамика частиц и плазмы. М. Мир, 1996.
38. Трубников Б.А. Теория плазмы. М.: Энергоатомиздат, 1996.
39. Мартынов Д.Я. Курс общей астрофизики. М.: Наука, 1988, 640 с.
40. Солнечная и солнечно-земная физика. Иллюстрированный словарь терминов. М.: «Мир», 1980.
41. Ленг К. Астрофизические формулы, т. 1-2. М.: «Мир», 1978.
42. Бакал Дж. Нейтринная астрофизика. М.: «Мир», 1993.
43. Мурзин В.С. Введение в физику космических лучей. М.: МГУ, 1988.
44. Мурзин В.С. Астрофизика космических лучей, М.: МГУ, 2007.
45. Жарков В.Н. Внутреннее строение Земли и планет. М.: Наука, 1978.
46. Левантовский В.И. Механика космического полета. Физматлит, Наука, М.; 1980
47. Морозов А.Н., Светличный С.И. Основы фурье-спектрорадиометрии, М., Наука, 2006.

48. Тимофеев Ю.М., Васильев В.А. Теоретические основы атмосферной оптики. С-П. «Наука» 2003.
49. Трухин В.И., К.В. Показеев, В.Е. Куницын. Общая и экологическая геофизика. М. Физматлит 2005.
50. Чемберлен Дж. Теория планетных атмосфер. М., Мир, 1981.
51. de Pater I., Lissauer J.J. Planetary sciences. Cambridge U. Press, 2005.
52. Encyclopedia of the Solar system (second edition), edited by McFadden L.-A., Weissman P.R., Johnson T.V., Elsevier, 966, 2007.
53. Irwin P. Giant planets of our Solar system. Atmospheres, composition and structure. Springer, 403с., 2009 (2006 – first edition).
54. McBride N., Gilmour I., An introduction to the solar system, Cambridge University press, 412 с., 2004.
55. Sanchez-Lavega A., An Introduction to Planetary Atmospheres, CRC press: Taylor & Francis, 629 с., 2010.
56. Taylor F.W. Planetary atmospheres Oxford University Press, 261 с., 2010.
57. Barrie W. Jones. Discovering the Solar System, Second Edition, WILEY Ltd, England, 451 с., 2007.

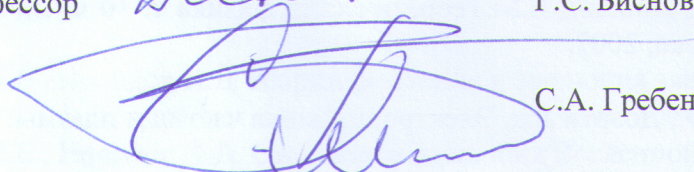
Составители:

д.ф.-м.н., профессор



Г.С. Бисноватый-Коган

д.ф.-м.н.



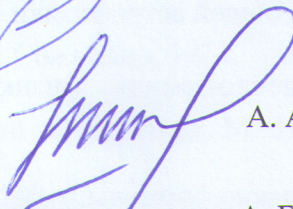
С.А. Гребенев

д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН



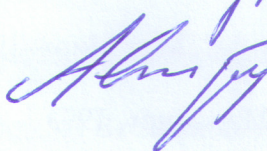
О.И. Кораблев

д.ф. – м.н., чл.-корр. РАН



А. А. Петрукович

д.ф. – м.н.



А. Б. Струминский