

УДК 521.1+523.4

ББК 22.62

Е60

Емельянов, Николай Владимирович.

Е60 Динамика естественных спутников планет на основе наблюдений / Н. В. Емельянов ; Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова ; Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга. — Эл. изд. — 1 файл pdf : 578 с. — Москва : ДМК Пресс, 2022. — Систем. требования: Adobe Reader XI либо Adobe Digital Editions 4.5 ; экран 10". — Текст : электронный.

ISBN 978-5-89818-207-6

Представлен обширный набор методов и результатов изучения движения естественных спутников планет. Основное внимание уделено задаче уточнения параметров движения спутников на основе наблюдений. Дается множество фактических сведений об орбитах и физических свойствах естественных спутников больших планет Солнечной системы. Главы книги снабжены обширной библиографией работ, на которых основаны представленные в книге сведения.

Материал, изложенный в книге, предназначен для исследователей в широкой области динамики Солнечной системы, для специалистов, осуществляющих проекты по подготовке миссий к другим планетам. Книга предназначена также для использования в учебном процессе в классических университетах.

Она будет полезна и популяризаторам науки.

УДК 521.1+523.4

ББК 22.62

Электронное издание на основе печатного издания: Динамика естественных спутников планет на основе наблюдений / Н. В. Емельянов ; Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова ; Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга. — Москва : ДМК Пресс, 2022. — 575 с. — ISBN 978-5-89818-107-9. — Текст : непосредственный.

В соответствии со ст. 1299 и 1301 ГК РФ при устранении ограничений, установленных техническими средствами защиты авторских прав, правообладатель вправе требовать от нарушителя возмещения убытков или выплаты компенсации.

ISBN 978-5-89818-207-6

© Век 2, 2019

© Переиздание. ДМК Пресс, 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие автора	12
Глава 1. Цели, задачи и общий подход к изучению динамики спутников	15
1.1. Введение	15
1.2. Небесная механика — основа изучения динамики спутников планет	17
1.3. Цели изучения динамики спутников планет	18
1.4. Основные понятия небесной механики и астрометрии	19
1.5. Общий подход к изучению динамики планет и спутников	25
1.6. Особые свойства необходимых наблюдений	28
Глава 2. Спутники планет	33
2.1. Спутники планет — объекты Солнечной системы	34
2.2. Классификация и номенклатура спутников планет	35
2.3. Открытие Нептуна и его спутника Тритона	39
2.4. История открытия спутника Плутона Харона	41
2.5. Орбитальные и физические параметры планет	49
2.6. Орбитальные параметры спутников планет	53
Литература к Главе 2	55
Глава 3. Уравнения движения и аналитические теории	59
3.1. Уравнения движения и системы координат	60
3.2. Модель кеплеровского движения	63
3.2.1. Основные формулы кеплеровского движения	63
3.2.2. Вычисление координат в эллиптическом кеплеровском движении	71
3.2.3. Вычисление скорости в эллиптическом кеплеровском движении	71

3.2.4.	Частные производные от координат и компонент скорости	71
3.2.5.	Формулы кеплеровского движения относительно элементов Лагранжа	74
3.2.6.	Примеры использования элементов Лагранжа .	77
3.3.	Силовая функция притяжения несферичной планеты	77
3.3.1.	Разложение силовой функции	77
3.3.2.	Притяжение в моделях и для реальных тел . . .	79
3.4.	Приближенный учет влияния главных спутников на движение далеких	83
3.5.	Подходы и методы построения моделей движения . . .	84
3.6.	Обобщенная задача двух неподвижных центров	87
3.7.	Методы теории возмущений	90
3.7.1.	Общая схема теории возмущений	90
3.7.2.	Применение методов теории возмущений	92
3.7.3.	Уравнения относительно элементов промежуточной орбиты	98
3.7.4.	Решение уравнений методом малого параметра	105
3.7.5.	Решение уравнений способом Пуассона	109
3.8.	Разложение возмущающей функции относительно элементов промежуточной орбиты	112
3.9.	Определение возмущений	117
3.10.	Постоянное возмущение большой полуоси	123
3.11.	Прецессирующий эллипс	127
3.12.	Возмущенное движение при малых эксцентриситетах .	129
3.12.1.	Формулировка проблемы	129
3.12.2.	Круговое возмущенное движение	130
3.12.3.	Переход к элементам кеплеровской орбиты . .	132
3.12.4.	Оскулирующие элементы в возмущенном движении при малых эксцентриситетах	135
3.13.	Построенные аналитические теории движения спутников планет	142
3.13.1.	Аналитическая теория движения Тритона	142
3.13.2.	Модели прецессирующих эллипсов для близких спутников Юпитера	149
3.13.3.	Специальные аналитические теории главных спутников больших планет	152
3.14.	Влияние приливов в вязко-упругих телах планеты и спутника	155

3.14.1. Постановка задачи о влиянии приливов	155
3.14.2. Уравнения в прямоугольных координатах	157
3.14.3. Решение уравнений в прямоугольных координатах	160
3.14.4. Переход к элементам кеплеровской орбиты	164
3.14.5. Некоторые важные выводы	176
Литература к Главе 3	178
Глава 4. Методы численного интегрирования	183
4.1. Цели решения уравнений движения небесных тел	184
4.2. Общие свойства методов численного интегрирования	185
4.3. Метод Рунге-Кутты	190
4.4. Алгоритм решения задач методами численного интегрирования	192
4.5. Инструкция к программе Эверхарта	194
4.6. Программа интегрирования М.В. Беликова	200
4.7. Сравнение процедур численного интегрирования	202
4.8. Аппроксимация рядами по полиномам Чебышева	202
4.9. Обзор методов. Книга В.А. Авдюшева	205
Литература к Главе 4	206
Глава 5. Наблюдения спутников планет	208
5.1. Общие принципы наблюдений	208
5.2. Определение топоцентрических положений	210
5.3. Наблюдения планеты	211
5.4. Наблюдения спутника планеты	214
5.5. Наблюдения двух спутников планеты	215
5.6. Определение угловых измеряемых величин	217
5.7. Угловое расстояние и позиционный угол	220
5.8. Определение тангенциальных координат	221
5.9. Определение разности координат в случае наблюдений взаимных затмений спутников	222
5.10. Заключение относительно измеряемых величин	225
5.11. Моменты видимых сближений спутников	225
5.12. Средства и техника наземных наблюдений	228
5.13. Источники данных наблюдений	231
5.14. Шкалы времени и системы координат	233
Литература к Главе 5	239

Глава 6. Построение моделей движения небесных тел на основе наблюдений	241
6.1. Метод дифференциального уточнения параметров. Применение МНК	242
6.2. Плохая обусловленность и неоднозначность решения .	254
6.3. Обзор сведений об алгоритмах фильтрации	257
6.4. Вычисление измеряемых величин и частных производных	259
6.4.1. Общий порядок вычислений	259
6.4.2. Дифференциальные уравнения для изохронных производных в задаче трех тел	263
6.4.3. Дифференциальные уравнения для изохронных производных. Уточнение массы возмущающего тела	266
6.4.4. Дифференциальные уравнения для изохронных производных в задаче о движении спутника сжатой планеты	267
6.4.5. Построение условных уравнений при угловых измерениях	270
6.5. Назначение весов наблюдениям	275
6.6. Вычисление статистических характеристик невязок .	278
6.7. Проблема отбраковки грубых наблюдений	280
Литература к Главе 6	281
Глава 7. Получение астрометрических данных из наблюдений взаимных покрытий и затмений спутников планет	282
7.1. Описание явлений	283
7.2. Метод получения астрометрических данных	286
7.3. Упрощенный вариант модели	290
7.4. Фотометрические модели явлений	293
7.4.1. Общие фотометрические характеристики . . .	293
7.4.2. Фотометрическая модель взаимного покрытия спутников	295
7.4.3. Фотометрическая модель взаимного затмения спутников	297
7.5. Законы рассеяния света для спутников планет	299
7.5.1. Закон рассеяния света Ломмеля–Зеелигера . .	299
7.5.2. Закон Хапке для гладкой поверхности	300
7.5.3. Закон Хапке для шероховатой поверхности . .	301

7.5.4. Параметры закона Халке для Галилеевых спутников Юпитера	302
7.6. Фотометрические характеристики спутника, интегральные по диску	303
7.7. Фотометрические модели взаимных покрытий и затмений главных спутников Сатурна и Урана	306
7.7.1. Фотометрическая модель спутников Сатурна	306
7.7.2. Фотометрическая модель для спутников Урана	311
7.8. Соотношение точности наблюдений различных типов	312
7.9. Всемирные кампании наблюдений	313
7.10. Препятствия перед улучшением точности	313
7.11. Периоды явлений в будущем	320
Литература к Главе 7	321
Глава 8. Оценка точности эфемерид спутников планет	326
8.1. Факторы, определяющие точность эфемерид	327
8.2. Вариация ошибок наблюдений методом Монте-Карло	329
8.3. Вариация состава наблюдений «бутстреп»-выборками	332
8.4. Оценка точности методом вариации параметров	335
8.5. Точность эфемерид далеких спутников	337
Литература к Главе 8	342
Глава 9. Вращение спутников планет	344
9.1. Общие свойства вращения спутников планет	344
9.2. Основные понятия о вращении планет и спутников	347
9.3. Вращение Нептуна и орбита Тритона	349
9.4. Теория вращения Фобоса	353
9.5. Вращение Галилеевых спутников Юпитера, спутников Сатурна и Плутона	357
9.6. Хаотическое вращение спутников планет. Вращение Гипериона	359
Литература к Главе 9	366
Глава 10. Эволюция орбит спутников планет	370
10.1. Воздействие различных факторов на эволюцию орбит спутников планет	371
10.2. Эволюция орбит спутников от сжатия планеты	372
10.3. Эволюция орбит спутников планет под действием притяжения Солнца	376
10.3.1. Осреднение возмущающей функции	376
10.3.2. Частный случай — задача Хилла	381

10.3.3. Анализ при дважды осредненной возмущающей функции в случае Хилла	382
10.3.4. Эволюция при дважды осредненной возмущающей функции в случае Хилла	392
10.3.5. Применения для реальных спутников планет	400
10.4. Уточненные модели эволюции. Численно-аналитический метод	401
10.5. Эволюция орбит при совместном влиянии различных факторов	405
10.6. Классификация орбит спутников по свойствам эволюции орбит	409
10.7. Эволюция орбит и сближения далеких спутников	411
10.7.1. Современные знания об эволюции орбит далеких спутников планет	411
10.7.2. Сближения далеких спутников планет	415
10.7.3. Аналитическое описание эволюции орбит	416
10.7.4. Определение минимальных расстояний между орбитами	417
10.7.5. Интернет-ресурс по эволюции орбит и сближений далеких спутников	419
10.7.6. Примеры вычислений	420
10.7.7. Заключение	423
10.8. Уточнение теории вековых возмущений Лапласа – Лагранжа	424
Литература к Главе 10	425
Глава 11. Физические параметры спутников планет	432
11.1. Введение	433
11.2. Справочник по физическим параметрам спутников	434
11.3. Детектирование вулканов на спутнике Юпитера Ио	435
11.4. Оценки физических параметров далеких спутников планет	436
11.4.1. Особенности далеких спутников планет	436
11.4.2. Обзор имеющихся фотометрических данных	438
11.4.3. Фотометрическая модель для далеких спутников	442
11.4.4. Определение фотометрических параметров по результатам фотометрии	444
11.4.5. Исходные данные и результаты	446
11.4.6. Сравнение результатов разных авторов	450

11.4.7. Выводы об оценках фотометрических параметров	453
11.5. Определение массы Гималии по астрометрическим наблюдениям	454
Литература к Главе 11	459
Глава 12. Информационные ресурсы по естественным спутникам планет	464
12.1. Варианты и смена версий теорий движения	465
12.2. Доступ к базам данных и эфемеридам спутников . . .	468
12.3. Возможности сервера эфемерид MULTI-SAT	475
12.4. Теории и модели в сервере эфемерид MULTI-SAT . . .	481
12.5. Теории и модели в сервере эфемерид JPL	486
12.6. Спутники планет в виртуальных обсерваториях	488
12.7. Стандарты фундаментальной астрономии	488
Литература к Главе 12	491
Приложение 1. Номенклатура спутников планет	495
Приложение 2. Орбитальные параметры спутников	510
Приложение 3. Специальные функции в небесной механике	524
Приложение 4. Шкалы времени	530
Приложение 5. Декомпозиция Холецкого. Программа	536
Приложение 6. Параметры вращения планет и спутников	538
Приложение 7. Физические параметры спутников планет	556
Предметный указатель	572