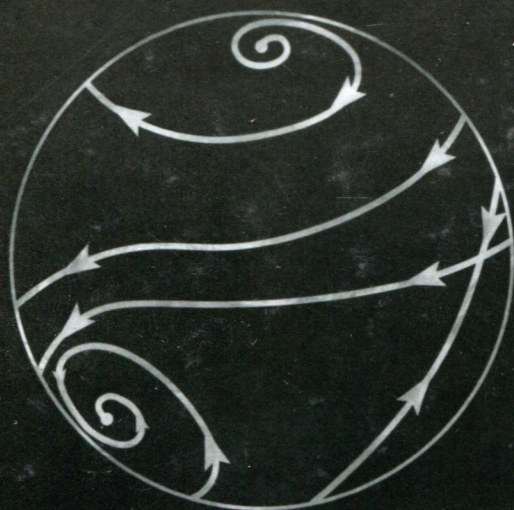


Ф. Л. Черноусько, Л. Д. Акуленко, Д. Д. Лещенко

Эволюция движений твёрдого тела относительно центра масс



Ф. Л. Черноусько, Л. Д. Акуленко, Д. Д. Лещенко

Эволюция движений твёрдого тела относительно центра масс



Москва ♦ Ижевск

2015

УДК 531
ББК 22.236.3
Ч 494



Издание осуществлено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований по проекту № 15-01-07013

Издание РФФИ не подлежит продаже

Черноусько Ф. Л., Акуленко Л. Д., Лещенко Д. Д.

Эволюция движений твердого тела относительно центра масс. — М.–Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2015. — 308 с.

ISBN 978-5-4344-0294-1

В данной монографии изложены результаты исследований авторов по динамике твердого тела относительно центра масс, в которых рассмотрена эволюция этих движений под действием различных возмущающих моментов сил. Основным методом, применяемым в этих исследованиях, является асимптотический метод усреднения Крылова–Боголюбова. Такие проблемы возникают в современных задачах динамики, ориентации и стабилизации естественных и искусственных небесных тел, гироскопии и в других областях механики.

Для всех случаев движения, рассмотренных в книге, приведены и проанализированы исходные уравнения, выполнена процедура усреднения и получены усредненные уравнения, которые, будучи существенно проще исходных, описывают движение на большом интервале времени. Приводятся оценки точности асимптотической процедуры. В результате анализа и решения полученных уравнений установлены количественные и качественные особенности движений, дано описание эволюций движения тела. Изложение иллюстрируется многочисленными примерами.

ISBN 978-5-4344-0294-1

© Ф. Л. Черноусько, Л. Д. Акуленко, Д. Д. Лещенко, 2015

© Ижевский институт компьютерных исследований, 2015

Оглавление

Предисловие	7
Обзор литературы	11
ГЛАВА 1. Основы динамики твердого тела с неподвижной точкой	27
§ 1. Определение положения тела. Углы Эйлера	27
§ 2. Геометрия масс. Моменты инерции	27
§ 3. Теорема об изменении кинетического момента	31
§ 4. Динамические уравнения Эйлера	33
§ 5. Кинематические уравнения Эйлера. Направляющие косинусы	34
§ 6. Уравнения движения тяжелого твердого тела вокруг неподвижной точки	37
ГЛАВА 2. Движение твердого тела по инерции. Случай Эйлера	41
§ 1. Первые интегралы	41
§ 2. Некоторые сведения из теории эллиптических функций Якоби	44
§ 3. Интегрирование динамических уравнений Эйлера. Исследование движения	45
§ 4. Частные случаи (регулярная прецессия, стационарные вращения)	51
ГЛАВА 3. Случай Лагранжа	55
§ 1. Интегрирование уравнений движения и его исследование	55
§ 2. Регулярная прецессия	62
§ 3. Быстро вращающийся волчок	65
ГЛАВА 4. Уравнения возмущенного движения твердого тела относительно центра масс	71
§ 1. Понятие возмущенного движения	71
§ 2. Основные понятия метода усреднения. Системы в стандартной форме. Системы с быстро вращающейся фазой	72

§ 3.	Системы, содержащие медленные и быстрые движения	76
§ 4.	Схема усреднения высших степеней в системах с быстрыми и медленными фазами	78
§ 5.	Уравнения возмущенного движения твердого тела, близкого к случаю Эйлера	82
§ 6.	Уравнения возмущенного движения спутника относительно центра масс	86
§ 7.	Процедура усреднения для тела с близкими моментами инерции	92
§ 8.	Уравнения возмущенного вращательного движения твердого тела, близкого к случаю Лагранжа	95
8.1.	Общий случай	95
8.2.	Случай различных порядков малости проекций вектора возмущающего момента	98
8.3.	Возмущающие моменты малы по сравнению с восстанавливающим	103
ГЛАВА 5. Возмущающие моменты сил, действующие на твердое тело		107
§ 1.	Гравитационные моменты, действующие на спутник	107
§ 2.	Твердое тело в среде с сопротивлением	112
§ 3.	Твердое тело с полостью, заполненной жидкостью большой вязкости	113
§ 4.	Случай подвижных масс, соединенных с телом упругими связями с вязким трением	117
§ 5.	Тело с упругими и диссипативными элементами	121
§ 6.	Вязкоупругое твердое тело	132
§ 7.	Влияние подвижной массы, соединенной с телом упругой связью с квадратичным трением	137
§ 8.	Момент сил светового давления	139
ГЛАВА 6. Движение спутника относительно центра масс под действием гравитационных моментов		141
§ 1.	Движение трехосного спутника с близкими моментами инерции	141
§ 2.	Быстрые вращения спутника с трехосным эллипсоидом инерции	147

§ 3. Резонансные явления при плоском движении спутника относительно центра масс	159
ГЛАВА 7. Движение твердого тела с полостью, заполненной вязкой жидкостью	175
§ 1. Уравнения движения тела с вязкой жидкостью в полости	175
§ 2. Плоское движение маятника с вязкой жидкостью	177
§ 3. Свободное пространственное движение тела с вязкой жидкостью	181
§ 4. О движении твердого тела, содержащего демпфер	191
§ 5. Устойчивость движения твердого тела с демпфером	198
ГЛАВА 8. Эволюция вращений твердого тела в среде	203
§ 1. Быстрое движение тяжелого твердого тела вокруг неподвижной точки	203
§ 2. Вращение тяжелого твердого тела вокруг неподвижной точки в вязкой среде	206
2.1. Постановка задачи и процедура усреднения	206
2.2. Исследование уравнения для k^2	212
2.3. Качественное исследование частных случаев движения твердого тела	215
2.4. Исследование устойчивости квазистационарных движений	217
2.5. Случай динамической симметрии	220
§ 3. Быстрое вращение спутника относительно центра масс под действием гравитационного момента в среде с сопротивлением	221
ГЛАВА 9. Движение твердого тела с внутренними степенями свободы	231
§ 1. Динамика твердого тела с подвижной внутренней массой	231
1.1. Случай полной симметрии тела	231
1.2. Движение динамически симметричного тела с подвижной массой	237
§ 2. О движении твердого тела с подвижной массой, соединенной с телом упругой связью с квадратичным трением	241

ГЛАВА 10. Влияние момента сил светового давления на движение спутника Солнца относительно центра масс	245
§ 1. Уравнения вращения спутника под действием момента сил светового давления	245
§ 2. Эволюция вращений спутника с близкими моментами инерции	247
2.1. Исходные предположения и постановка задачи	247
2.2. Преобразование выражения силовой функции, процедура усреднения и построение системы первого приближения	249
2.3. Исследование уравнений для углов нутации и собственного вращения	252
2.4. Учет нулевой и первой гармоник при аппроксимации момента сил светового давления	253
§ 3. Учет третьей и четных гармоник при аппроксимации момента сил светового давления	262
ГЛАВА 11. Возмущенные движения твердого тела, близкие к случаю Лагранжа	269
§ 1. Общие свойства процедуры усреднения по движению Лагранжа	269
§ 2. Возмущенное движение тела при линейных диссипативных моментах	272
§ 3. Эволюция вращений твердого тела в случае различных порядков малости проекций вектора возмущающего момента	275
3.1. Общий подход	275
3.2. Влияние внешних диссипативных моментов	279
3.3. Действие малого постоянного момента, приложенного вдоль оси симметрии	281
3.4. Случай тела, близкого к динамически симметричному	283
Литература	285