

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
КАЗАНСКИЙ ФИЛИАЛ
Казанский физико-технический институт

У.Н. ЗАКИРОВ

МЕХАНИКА РЕЛЯТИВИСТСКИХ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТОВ

Ответственный редактор
доктор физико-математических наук
В.А. БРУМБЕРГ



ИЗДАТЕЛЬСТВО "НАУКА"
МОСКВА 1984

Закиров У.Н. Механика релятивистских космических полетов. М.: Наука, 1984.

В книге систематически излагается релятивистская механика искусственного космического тела переменной массы покоя. Даны основные теоретические результаты и их приложения, возможные после создания ракет со скоростью движения 30 000–90 000 км/с.

Для специалистов в области теории относительности и механики космических полетов.

Табл. 31. Ил. 47. Библиогр. 94 назв.

Урал Нуриевич Закиров

МЕХАНИКА РЕЛЯТИВИСТСКИХ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТОВ

Утверждено к печати Казанским физико-техническим институтом Казанского филиала АН СССР

Редактор *М.Б. Липовенко*. Редактор издательства *С.С. Матвеев*
Художник *Д.А. Шпаков*. Художественный редактор *Н.Н. Власик*
Технический редактор *Г.И. Астахова*. Корректор *О.А. Разуменко*

Набор осуществлен в издательстве на наборно-печатающих автоматах

ИБ № 27555

Подписано к печати 07.02.84. Т—03544. Формат 60 X 90 1/16. Бумага офсетная № 1
Гарнитура Универс. Печать офсетная. Усл. печ. л. 9,5. Усл. кр.-отт. 9,8. Уч.-изд. л. 9,6
Тираж 850 экз. Тип. зак. 1100. Цена 1 р. 40 к.

Издательство "Наука", 117864 ГСП—7, Москва В—485, Профсоюзная ул., д. 90.
Ордена Трудового Красного Знамени 1-я типография издательства "Наука"
199034, Ленинград В—34, 9-я линия, 12

ОГЛАВЛЕНИЕ

Основные обозначения и сокращения	3
Предисловие	5
Часть I	
ВВЕДЕНИЕ В НЬЮТОНОВСКУЮ МЕХАНИКУ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТОВ И ОБОСНОВАНИЕ ПЕРЕХОДА К РЕЛЯТИВИСТСКОЙ МЕХАНИКЕ	7
<i>Глава 1</i>	
Элементы ньютоновской механики космических полетов и переход к релятивистской механике	7
1. Уравнения движения космического аппарата в неподвижной невращающейся системе отсчета	7
2. Плоское движение с постоянным радиально направленным реактивным ускорением	8
3. Плоское движение с постоянным трансверсальным реактивным ускорением	8
4. Плоское движение с постоянным касательным (тангенциальным) ускорением	9
5. Уравнения движения космического аппарата во вращающейся системе отсчета	10
<i>Глава 2</i>	
Обоснование перехода к релятивистской механике космических полетов	11
1. Погрешности классической формулы для определения массы при скоростях движения порядка скорости света и выходах энергии порядка выхода от термоядерных реакций	11
Часть II	
НЕВОЗМУЩЕННОЕ РЕЛЯТИВИСТСКОЕ ДВИЖЕНИЕ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА	13
<i>Глава 3</i>	
Элементы геометрии Лобачевского и Римана и теории относительности	13
1. Пример, иллюстрирующий использование элементов геометрии Лобачевского	13
2. Краткие сведения о геометрии Лобачевского	14
3. Теорема о совпадении относительной скорости двух точек в специальной теории относительности	15
4. Постулат специальной теории относительности	17
5. Постулат общей теории относительности	17
6. Элементы геометрии Римана	17
<i>Глава 4</i>	
Общие преобразования Лоренца. Релятивистская кинематика	18
1. Элементы специальной теории относительности	18
2. Общие преобразования Лоренца по Тоннела	20
3. Оператор пространственного преобразования, связанного с осями космического аппарата	22
4. Коэффициенты преобразования Лоренца	22
5. Релятивистское сложение скоростей	26

6. Выражение квадрата относительной скорости двух точек в общем виде . . .	27
7. Формулы преобразования основных динамических и кинематических величин в рамках специальной теории относительности	29
8. Теорема о нелинейной зависимости массы покоя от собственного времени в случае переменной скорости истечения в режиме постоянной тяги	30
9. Кинематические характеристики движения космического аппарата в режиме постоянной тяги и постоянной скорости истечения	31
10. Кинематика движения космического аппарата с постоянным собственным ускорением	32
11. Основные соотношения кинематики релятивистского космического аппарата с постоянной мощностью реактивной струи	33
12. Пример кинематики слаборелятивистского движения при заданном законе изменения скорости истечения	34
13. Кинематика движения фотонного космического аппарата по Зенгеру	35
14. Пример, иллюстрирующий кинематику фотонного космического аппарата	37

Глава 5

Основные теоремы релятивистской механики космического аппарата в сферически-симметричных гравитационных полях	40
1. Теорема о пассивном движении космического аппарата постоянной массы в гравитационном поле как движении по геодезической	40
2. Теорема об уравнении геодезической как следствии параллельного переноса вектора на поверхности риманова пространства	41
3. Доказательство теоремы Фока о том, что геодезические суть решение уравнений, получающихся из уравнения движения сплошной среды путем предельного перехода к случаю сосредоточенной массы	43
4. Вывод уравнения геодезической из условия равенства нулю расходимости тензора масс	45
5. Конкретный пример движения космического аппарата в поле Шварцшильда	46
6. Получение уравнения траектории космического аппарата в поле Шварцшильда с помощью метода Гамильтона—Якоби	47
7. Классификация релятивистских траекторий	48
8. Конкретный пример релятивистской траектории вблизи притягивающего центра	52
9. Релятивистская поправка к задаче Ламберта (определение времени перелета космического аппарата по заданным двум положениям в пространстве) . . .	53
10. Случай вращающейся системы отсчета в поле Шварцшильда	56
11. Уравнения относительного движения двух космических аппаратов в поле Шварцшильда	56

Часть III

РЕЛЯТИВИСТСКОЕ ДВИЖЕНИЕ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ПРИ НАЛИЧИИ РЕАКТИВНОЙ ТЯГИ	58
--	-----------

Глава 6

Ковариантные уравнения пространственной ракетодинамики в предпосылках специальной теории относительности. Оптимизация межзвездных траекторий. Обратные криволинейные релятивистские задачи	58
1. Основные предположения и допущения	58
2. Вывод уравнений изменения энергии-импульса точки переменной массы покоя ковариантным методом Лагранжа	59
3. Доказательство второго способа вывода уравнений движения покоя по методу В.А. Фока (без учета присоединения масс)	62
4. Приведение уравнений движения точки переменной массы покоя к виду уравнений механики космического полета	63
5. Решение Аккерета	65
6. Коэффициент полезного действия релятивистского космического двигателя	65
7. Решение Станюковича	66
8. Новое решение с учетом переменности скорости истечения и дозаправки в космосе	66
9. Определение оптимального числа ступеней релятивистского КА при заданных конечной скорости разгона и конструктивном параметре ступеней	71
10. Определение оптимального соотношения масс топлива по ступеням реля-	

тивистской ракеты, обеспечивающего максимальное значение конечной скорости полета	75
11. Решение одномерного релятивистского уравнения в случае забора внешней среды	79
12. Движение космического аппарата с постоянной мощностью струи в рамках специальной теории относительности	79
13. Оптимизация межзвездных траекторий по Андерсону	84
14. Релятивистский прием масс относительно системы отсчета, связанной с космическим аппаратом (по Зенгеру)	88
15. Релятивистский прием масс относительно системы отсчета внешнего наблюдателя	89
16. Релятивистская отдача масс относительно системы отсчета, связанной с космическим аппаратом	94
17. Адиабатическое ускорение масс относительно системы отсчета, связанной с космическим аппаратом	95
18. Неадиабатическое ускорение масс относительно системы отсчета, связанной с космическим аппаратом	98
19. Релятивистская отдача масс относительно системы отсчета внешнего наблюдателя	99
20. Динамика двигателя в системе отсчета, связанной с космическим аппаратом	99
21. Динамика двигателя в системе отсчета внешнего наблюдателя	101
22. Обратная криволинейная задача релятивистской механики	103
23. Движение космического аппарата по логарифмической спирали	105
24. Движение космического аппарата по овалу лемнискаты	106

Глава 7

Ковариантные уравнения пространственной ракетодинамики в предпосылках ОТО. Релятивистская механика космического аппарата в гравитационном поле Шварцшильда	109
1. Системы отсчета и вывод уравнений движения и энергии космического аппарата в предпосылках общей теории относительности	109
2. Конкретизация уравнений движения и энергии космического аппарата в поле Шварцшильда	111
3. Уравнения для определения оскулирующих элементов движения космического аппарата в поле Шварцшильда с учетом релятивистских поправок	115
4. Точное решение задачи движения космического аппарата с постоянным радиальным ускорением в поле Шварцшильда. Первые интегралы движения. Эффективная потенциальная энергия	117
5. Аппроксимация геодезической равноускоренного движения космического аппарата в гравитационном поле	120
6. Приближенный расчет траектории движения космического аппарата с постоянным ускорением в релятивистском аналоге задачи Тзяна	123
7. Вывод уравнений движения космического аппарата с тангенциальным реактивным ускорением в гравитационном поле Шварцшильда	131
8. Пример, иллюстрирующий появление новых типов траектории в сферически-симметричных гравитационных полях	134

Глава 8

Введение в теорию межзвездного перелета на базе слаборелятивистской микротермоядерной ракеты	137
1. Звезды как объекты исследования	137
2. Проект полета космического зонда к планетной системе звезды	142
Литература	147