

М. А. КОЛОСОВ, А. В. ШАБЕЛЬНИКОВ

**РЕФРАКЦИЯ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН
В АТМОСФЕРАХ ЗЕМЛИ,
ВЕНЕРЫ И МАРСА**



МОСКВА «СОВЕТСКОЕ РАДИО» 1976

Колосов М. А., Шабельников А. В. Рефракция электромагнитных волн в атмосферах Земли, Венеры и Марса. М., «Сов. радио», 1976, 220 с.

Обобщаются исследования по рефракции оптических, субмиллиметровых и ультракоротких волн в атмосферах Земли, Венеры и Марса. Основу обобщения составляют экспериментальные и теоретические результаты исследования по рефракции электромагнитных волн, полученные за последнее время. С учетом современной электрической модели земной атмосферы даются методы расчета и таблицы углов рефракции в атмосфере Земли во всем диапазоне видимых зенитных углов. Оценены рефракционные погрешности координат источников излучения, находящихся внутри преломляющей атмосферы и за ее пределами. Даны инженерные методы расчета погрешностей координат источников излучения. Приведены данные о рефракции электромагнитных волн в атмосферах Венеры и Марса, полученные на основе экспериментальных исследований атмосфер этих планет одним из авторов монографии с помощью космических аппаратов «Венера-4, 5, 6, 7, 8» и «Марс-2, 3».

Книга рассчитана на научных работников радиофизического, астрономического и геофизического профиля, инженеров и конструкторов, занимающихся разработкой систем связи, локации, навигации и т. д.

Рис. 39, табл. 16, назв. библиограф. 187.

**Редакция литературы
по вопросам космической радиоэлектроники**

К $\frac{30402-080}{046(01)-76}$ 41-76

Оглавление

Предисловие	3
Введение	5
Глава 1. Электрические свойства земной атмосферы	13
1.1. Состав и строение земной атмосферы	13
1.2. Электрические свойства земной атмосферы	15
1.3. Пространственные и временные изменения электрических параметров атмосферы	26
1.4. Электрическая модель земной атмосферы	32
Глава 2. Теоретические основы рефракции электромагнитных волн в атмосфере Земли	35
2.1. Решение уравнений Максвелла в неоднородной атмосфере методом геометрической оптики	35
2.2. Применение метода геометрической оптики для расчета траекторий электромагнитных волн в неоднородной атмосфере	39
2.3. Применение принципа Ферма для определения уравнения траектории луча в неоднородной атмосфере	41
2.4. Радиус кривизны траектории луча	46
2.5. Эквивалентный радиус Земли и модифицированный показатель преломления воздуха	48
2.6. Различные типы и виды рефракции электромагнитных волн в земной атмосфере	50
Глава 3. Регулярная рефракция оптических волн в земной атмосфере (Рефракция I типа)	53
3.1. Ньютонова теория астрономической рефракции и ее дальнейшее развитие	53
3.2. Теорема Лапласа и границы ее применимости в теории астрономической рефракции	59
3.3. Пулковские таблицы углов астрономической рефракции	63
3.4. Метод расчета углов регулярной астрономической рефракции	65
Глава 4. Регулярная рефракция радиоволн в земной атмосфере (Рефракция I типа)	72
4.1. Методы расчета рефракции радиоволн в тропосфере и стратосфере	72
4.2. Методы расчета радиорефракции в ионосфере	74
4.3. Рефракция радиоволн в атмосфере. Общий случай	79
4.4. Теорема Лапласа и границы ее применимости при расчете рефракции радиоволн в земной атмосфере	85
4.5. Экспериментальные методы исследования рефракции радиоволн в атмосфере по космическим источникам	86
Глава 5. Рефракция электромагнитных волн при расположении излучателя и приемника внутри преломляющей атмосферы (Рефракция II, III и V типа)	91
5.1. Рефракция электромагнитных волн ($\lambda \leq 5$ см) в земной атмосфере при различных высотах излучателя и приемника	91

5.2. Рефракция электромагнитных волн ($\lambda < 5$ см) в земной атмосфере при близких или равных высотах излучателя и приемника	99
5.3. Рефракция радиоволн ($5 \text{ см} < \lambda < 3 \text{ м}$) в земной атмосфере при различных высотах излучателя и приемника	102
5.4. Рефракция радиоволн ($5 \text{ см} < \lambda < 3 \text{ м}$) в земной атмосфере при близких или равных высотах излучателя и приемника	114
Глава 6. Планетная рефракция электромагнитных волн (рефракция VI типа)	117
6.1. Планетная рефракция электромагнитных волн диапазона $\lambda < 5$ см в земной атмосфере	117
6.2. Планетная рефракция радиоволн диапазона $5 \text{ см} < \lambda < 3 \text{ м}$ в земной атмосфере	125
6.3. Определение электрических свойств атмосферы Земли методом планетной рефракции	127
Глава 7. Рефракция электромагнитных волн при наличии слоистых неоднородностей в атмосфере Земли	130
7.1. Слоистые неоднородности нейтросферы и их влияние на вертикальную рефракцию радиоволн	130
7.2. Слоистые неоднородности ионосферы и их влияние на вертикальную рефракцию радиоволн	135
7.3. Влияние горизонтальных градиентов показателя преломления атмосферы на рефракцию электромагнитных волн	140
Глава 8. Флуктуации углов рефракции электромагнитных волн в атмосфере Земли	145
Глава 9. Погрешности координат источников излучения, обусловленные рефракцией электромагнитных волн в атмосфере Земли	150
9.1. Погрешности в определении угла места источника излучения	150
9.2. Рефракционные погрешности при определении дальности между источником излучения и приемником	151
9.3. Рефракционные погрешности при определении высоты источника излучения	156
Глава 10. Рефракция электромагнитных волн в атмосфере Венеры	157
10.1. Состав и строение атмосферы Венеры	157
10.2. Электрическая модель атмосферы Венеры	168
10.3. Виды рефракции электромагнитных волн в атмосфере Венеры. Эквивалентный радиус Венеры	170
10.4. Методы расчета рефракции электромагнитных волн I и II типов в атмосфере Венеры	173
10.5. Планетная рефракция электромагнитных волн в атмосфере Венеры и методы ее расчета	177
Глава 11. Рефракция электромагнитных волн в атмосфере Марса	180
11.1. Состав и строение атмосферы Марса	180

11.2. Электрическая модель атмосферы Марса . . .	182
11.3. Виды рефракции электромагнитных волн в атмосфере Марса. Эквивалентный радиус Марса . . .	184
11.4. Методы расчета рефракции электромагнитных волн I и II типов в атмосфере Марса . . .	184
11.5. Планетная рефракция электромагнитных волн в атмосфере Марса и методы ее расчета . . .	187
Приложение	189
Список литературы	205
Указатель	215