

А.Н. Матвеев

МЕХАНИКА И ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

УЧЕБНИК ДЛЯ ВУЗОВ



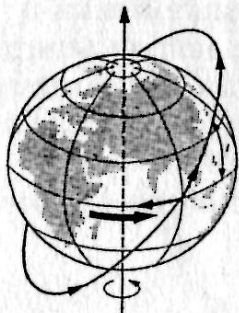
*Посвящается 250-летию
Московского государственного университета
им. М. В. Ломоносова*

А. Н. Матвеев

МЕХАНИКА И ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Учебник для студентов
высших учебных заведений

3-е издание



Москва
«ОНИКС 21 век»
«Мир и Образование»
2003

Тверской государственный университет



Научная библиотека

00320602

013

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	13
Глава 1. ВВЕДЕНИЕ	15
1. Задачи и методы физики	15
Задачи физики. Абстракции и ограниченность моделей. Методы физики	
2. Физические величины и их измерение	18
Различие и сравнение. Сравнение и измерение. Измерение. Единицы измерения. Число единиц измерения	
3. Об определении понятий и величин в физике ...	22
Две категории понятий, используемых в физике. Два пути определения физических величин. О философских понятиях	
4. Системы единиц физических величин	24
Основные и производные единицы. Размерность физической величины. Выбор основных единиц. Число основных единиц. Условность выбора системы единиц. Система единиц СИ	
Глава 2. КИНЕМАТИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ И ТВЕРДОГО ТЕЛА	30
5. Системы координат	30
Пространство и геометрия. Геометрия и опыт. Материальная точка. Материальное тело. Расстояние между точками. Абсолютно твердое тело. Система отсчета. Системы координат. Число измерений пространства. Важнейшие системы координат. Преобразование координат	

6. Векторы	40
Определение вектора. Сложение векторов и умножение вектора на число. Скалярное произведение. Векторное произведение. Представление векторов с помощью единичного вектора. Преимущества векторных обозначений. Радиус-вектор. Компоненты вектора в декартовой системе координат. Соотношение между векторами i, j, k . Вычисление компонент вектора. Выражение векторных операций в координатах. Преобразование декартовых координат. Преобразование компонент векторов	
7. Время.	50
Понятие времени. Периодические процессы. Синхронизация часов	
8. Перемещение, скорость и ускорение материальной точки	55
Способы описания движения. Описание движения в координатной форме. Описание движения в векторной форме. Описание движения с помощью параметров траектории. Вектор перемещения. Скорость. Ускорение	
9. Движение точки по окружности	63
Угловая скорость. Центробежное ускорение. Угловое ускорение. Векторы угловой скорости и углового ускорения	
10. Движение твердого тела	66
Степени свободы. Число степеней свободы твердого тела. Движение твердого тела, закрепленного в точке. Углы Эйлера. Поступательное движение. Плоское движение. Вращательное движение. Мгновенная ось вращения	
Глава 3. ПРЕОБРАЗОВАНИЯ КООРДИНАТ	76
11. Принцип относительности	76
Геометрические преобразования координат. Физические преобразования координат. Инерциальные системы отсчета и принцип относительности. Ложное и истинное в физике. Физическое содержание принципа относительности	

12. Преобразования Галилея	81
Преобразования Галилея. Инварианты преобразований. Инвариантность длины. Абсолютный характер понятия одновременности. Инвариантность интервала времени. Сложение скоростей. Инвариантность ускорения	
13. Постоянство скорости света	84
Развитие взглядов на скорость света. Определение скорости света Ремером. Абберрация света. Различные трактовки скорости света. Идея так называемого Мирового эфира и Абсолютной скорости. Идея измерения так называемой Абсолютной скорости. Идея и схема опыта Майкельсона—Морли. Расчет разности хода лучей. Результат опыта Майкельсона—Морли. Интерпретация результатов опыта Майкельсона—Морли в рамках представлений об эфире. Баллистическая гипотеза. Несостоятельность баллистической гипотезы. Несовместимость постоянства скорости света с привычными представлениями. Идея опыта Физо. Вычисление разности хода лучей. Результат опыта Физо. Постулативный характер постоянства скорости света	
14. Преобразования Лоренца	100
Постулаты. Линейность преобразования координат. Преобразования для y и z . Преобразования для x и t . Преобразования Лоренца. Преобразования Галилея как предельный случай преобразований Лоренца	
Глава 4. СЛЕДСТВИЯ ИЗ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ЛОРЕНЦА	106
15. Относительность одновременности	106
Относительность одновременности. Относительность одновременности и причинность. Инвариантность интервала. Пространственноподобные и времениподобные интервалы	
16. Длина движущегося тела	111
Определение длины движущегося тела. Формула сокращения длины движущегося тела. Изменение формы движущихся тел. Оценка величины сокращения. О реальности сокращения движущихся тел. О сокращении и абсолютной твердости тел	

17. Темп хода движущихся часов. Собственное время	116
Замедление хода движущихся часов. Собственное время. Экспериментальное подтверждение замедления времени. Темп хода ускоренно движущихся часов	
18. Сложение скоростей и преобразование ускорений	123
Формула сложения скоростей. Аберрация. Интерпретация опыта Физо. Преобразование ускорения	
Глава 5. ДИНАМИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ	127
19. Силы.	127
Происхождение понятия силы. Взаимодействия. Измерение силы	
20. Законы Ньютона.	129
Сколько независимых законов Ньютона существует? Масса. О третьем законе Ньютона	
21. Релятивистское уравнение движения	136
Продольная и поперечная массы. Релятивистское уравнение движения. Несовпадение направлений силы и ускорения в релятивистском случае	
22. Уравнение моментов	142
Момент импульса. Момент силы. Уравнение моментов	
23. Уравнение движения системы материальных точек.	143
Система материальных точек. Импульс системы. Момент импульса системы. Момент силы, действующей на систему. Уравнение движения системы материальных точек. Центр масс. Неприменимость понятия центра масс в релятивистском случае. Уравнение моментов	
Глава 6. ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ	149
24. Значение и содержание законов сохранения	149
Содержание законов сохранения. Уравнения движения и законы сохранения. Математическая сущность механических законов сохранения	

25. Закон сохранения импульса	151
Изолированная система. Закон сохранения импульса для изолированной системы. Законы сохранения для отдельных компонент импульса. Применение закона сохранения импульса	
26. Закон сохранения момента импульса	154
Формулировка закона. Закон сохранения для отдельных компонент. О применениях закона	
27. Закон сохранения энергии	155
Работа сил. Потенциальные силы. Математический критерий потенциальности поля. Работа в потенциальном поле. Нормировка потенциальной энергии. Энергия взаимодействия. Применения закона	
28. Законы сохранения и симметрии пространства и времени	169
Полная энергия и энергия покоя. Кинетическая энергия. Соотношение между массой и энергией. Экспериментальная проверка соотношения между массой и энергией. Инертность потенциальной энергии. Энергия связи. Законы сохранения и симметрии пространства и времени	
Глава 7. ДВИЖЕНИЕ В ПОЛЕ ТЯГОТЕНИЯ	178
29. Силы, известные в природе	178
Четыре типа сил, известных в природе. Гравитационное взаимодействие. Электромагнитные взаимодействия. Сильные взаимодействия. Слабые взаимодействия	
30. Свойства сил тяготения	183
Неподвижный точечный источник сил. Силы, убывающие обратно пропорционально квадрату расстояний. Сила тяготения, действующая на материальную точку со стороны шарообразного тела. Сила со стороны шарового слоя. Сила в шаровой полости. Поле вблизи поверхности Земли. Гравитационная энергия. Гравитационная энергия шарообразного тела. Гравитационный радиус. Размеры Вселенной. «Черные дыры»	

31. Движение планет и комет.	195
Уравнение движения. Уравнение моментов. Плоскость движения. Второй закон Кеплера. Первый закон Кеплера. Третий закон Кеплера. Вращение перигелия Меркурия. Движение комет. Отклонение лучей света в поле тяготения Солнца. Межпланетные перелеты	
32. Движение искусственных спутников Земли.	213
Отличие законов движения искусственных спутников Земли от законов Кеплера. Трасса спутника. Форма Земли. Атмосферное торможение	
33. Проблема двух тел.	218
Приведенная масса. Переход в систему центра масс. Приливы	
Глава 8. ДВИЖЕНИЕ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЯХ	224
34. Свойства электромагнитных полей.	224
Потенциальность электростатического поля. Сила Лоренца. Уравнение движения	
35. Движение в стационарном магнитном поле	227
Неизменность абсолютного значения скорости. Движение в однородном магнитном поле. Движение в поперечном неоднородном магнитном поле	
36. Движение в стационарном электрическом поле.	232
Закон сохранения энергии. Движение в продольном поле. Движение в поперечном поле. Случай малого отклонения	
37. Дрейф заряженных частиц.	235
Дрейф в скрещенных электрическом и магнитном полях. Дрейф в неоднородном магнитном поле. Дрейф, обусловленный кривизной линии магнитной индукции	
38. Адиабатическая инвариантность магнитного момента	241
Магнитный момент. Адиабатическая инвариантность магнитного момента. Магнитные зеркала. Радиационные пояса Земли	

39. Движение заряженной частицы в поле электромагнитной волны	249
Плоская электромагнитная волна. Уравнение движения. Анализ движения	
40. Движения в переменном электрическом и постоянном магнитном полях	251
Постановка задачи. Анализ различных случаев движения. Циклотронный резонанс	
41. Ускорители заряженных частиц	254
Резонансный метод ускорения. Индукционный метод ускорения. Циклотрон. Вертикальная устойчивость движения частиц в циклотроне. Бетатрон. Синхротрон. Принцип автофазировки. Фазотрон. Синхрофазотрон. Принцип сильной фокусировки. Линейные ускорители	
Глава 9. СТОЛКНОВЕНИЯ	270
42. Характеристика процессов столкновения	270
Определение понятия столкновения. Изображение процессов столкновений с помощью диаграмм. Законы сохранения при столкновениях. Закон сохранения импульса. Закон сохранения энергии. Закон сохранения момента импульса. Упругие и неупругие столкновения. Система центра масс	
43. Упругие столкновения	276
Столкновения двух частиц в нерелятивистском случае. Лобовое столкновение. Замедление нейтронов. Комптон- эффект	
44. Неупругие столкновения.	283
Общая характеристика неупругих столкновений. Неупругие столкновения двух частиц. Поглощение фотона. Испускание фотона	
45. Реакции между субатомными частицами	285
Пороговая энергия. Энергия активации. Переход в лабораторную систему. Порог рождения π^0 -мезонов. Порог рождения пары протон — антипротон	

Глава 10. ДИНАМИКА ТЕЛ ПЕРЕМЕННОЙ МАССЫ...	289
46. Нерелятивистские ракеты.	289
Реактивное движение. Уравнение Менцера. Формула Циолковского. Характеристическая скорость	
47. Релятивистские ракеты.	294
Уравнение движения. Зависимость конечной массы от скорости. Фотонные ракеты	
Глава 11. ДИНАМИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА.	298
48. Уравнения движения.	298
Система уравнений. Замкнутость системы уравнений. Выбор системы координат	
49. Момент инерции	300
Тензор инерции. Главные оси тензора инерции. Нахождение главных осей. Вычисление момента инерции относительно оси. Теорема Гюйгенса	
50. Кинетическая энергия вращающегося твердого тела.	307
Вычисление в координатах. Кинетическая энергия вращения	
51. Плоское движение. Маятники.	311
Особенности динамики плоского движения. Скатывание цилиндра с наклонной плоскости. Маятник Максвелла. Физический маятник	
52. Движение твердого тела, закрепленного в точке. Гироскопы	317
Уравнения Эйлера. Свободные оси. Нутация. Гироскопы. Прецессия гироскопа. Направление и скорость прецессии. Гироскопический маятник. Яйцеобразный волчок. Несвободный гироскоп. Ларморова прецессия	
Глава 12. ДВИЖЕНИЕ ПРИ НАЛИЧИИ ТРЕНИЯ	332
53. Силы трения	332
Сухое трение. Жидкое трение. Трение качения. Работа сил трения	

54. Движение при наличии сухого трения	335
Явление застоя. Явление заноса	
55. Движение при наличии жидкого трения	339
Предельная скорость. Формула Стокса. Приближение к предельной скорости. Падение тел в воздухе	
56. Трение качения	344
Доказательство существования. Механизм возникновения. Самодвижущиеся средства транспорта	
Глава 13. КОЛЕБАНИЯ	348
57. Гармонические колебания	348
Роль гармонических колебаний в природе. Уравнение гармонических колебаний. Гармонические функции. Амплитуда, частота, фаза. Представление гармонических колебаний в комплексной форме. Сложение гармонических колебаний одинаковой частоты. Сложение гармонических колебаний с близкими частотами. Биения	
58. Собственные колебания	358
Определение. Начальные условия. Энергия. Соотношение между смещением, скоростью и ускорением. Нелинейные колебания	
59. Затухающие колебания	365
Трение. Уравнение движения. Частота и декремент затухания. Логарифмический декремент затухания. Случай большого трения. Расчет затухания исходя из потерь энергии на трение	
60. Вынужденные колебания. Резонанс	370
Внешняя сила. Уравнение движения. Переходный режим. Установившиеся вынужденные колебания. Амплитудная резонансная кривая. Добротность. Фазовая резонансная кривая. Периодическая, но не гармоническая сила. Важное свойство гармонических функций. Непериодическая сила. Резонанс при нелинейных колебаниях	

61. Автоколебания и параметрические колебания .	381
Определение. Автоколебания маятника. Релаксационные колебания. Параметрическое возбуждение колебаний	
62. Колебания связанных систем	385
Системы со многими степенями свободы. Связанные системы. Нормальные колебания. Колебания связанных систем	
Глава 14. НЕИНЕРЦИАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОТСЧЕТА.	391
63. Силы инерции	391
Определение неинерциальных систем. Время и пространство в неинерциальных системах отсчета. Силы инерции. О реальности существования сил инерции. Нахождение сил инерции	
64. Неинерциальные системы, движущиеся прямолинейно-поступательно.	394
Выражение для сил инерции. Маятник на тележке. Маятник Любимова	
65. Невесомость. Принцип эквивалентности.	397
Невесомость. Гравитационная и инертная массы. Принцип эквивалентности. Красное смещение	
66. Неинерциальные вращающиеся системы координат	402
Кориолисово ускорение. Выражение для кориолисова ускорения. Силы инерции во вращающейся системе координат. Равновесие маятника на вращающемся диске. Движение тела вдоль вращающегося стержня. Неинерциальная система координат, связанная с поверхностью Земли. Маятник Фуко. Законы сохранения в неинерциальных системах	
67. Гироскопические силы	412
ЗАДАЧИ	416
ПРИЛОЖЕНИЕ	430