

В. А. ФОК

ТЕОРИЯ  
ПРОСТРАНСТВА, ВРЕМЕНИ  
И ТЯГОТЕНИЯ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

МОСКВА 1955

*Фок Владимир Александрович*  
Теория пространства, времени и тяготения

Редактор *Ю. В. Новожилов.*

Техн. редактор *К. М. Волчок.*

Корректор *А. И. Исакова.*

---

Сдано в набор 5/VII 1955 г. Подписано к печати 11/X 1955 г. Бумага 60×92/16. Физ. печ. л. 31,5.  
Усл. печ. л. 31,5. Уч.-изд. л. 29,71. Тираж 8000 экз. Т-08408. Цена 16 р. 85 к. Заказ № 485.

---

Государственное издательство технико-теоретической литературы  
Москва, В-71, Б. Калужская ул., 15

---

Министерство культуры СССР Главное управление полиграфической промышленности.  
4-я типография им. Евг. Соколовой. Ленинград, Измайловский пр., 29.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	7
Введение . . . . .	9
<b>Глава I. Теория относительности</b>	
§ 1. Координаты и время . . . . .	17
§ 2. Положение тела в пространстве в данный момент времени в заданной системе отсчета . . . . .	18
§ 3. Закон распространения фронта электромагнитной волны . . . . .	20
§ 4. Уравнения для лучей . . . . .	23
§ 5. Инерциальные системы отсчета . . . . .	25
§ 6. Основные положения теории относительности . . . . .	26
§ 7. Преобразование Галилея и необходимость его обобщения. . . . .	29
§ 8. Доказательство линейности преобразования, связывающего две инерциальные системы . . . . .	31
§ 9. Определение коэффициентов линейного преобразования и масштабного множителя . . . . .	38
§ 10. Преобразование Лоренца . . . . .	40
§ 11. Определение расстояний и синхронизация часов в одной инерциальной системе отсчета . . . . .	46
§ 12. Последовательность событий во времени в разных системах отсчета . . . . .	49
§ 13. Сравнение промежутков времени в движущихся системах отсчета. Явление Допплера . . . . .	55
§ 14. Сличение показаний часов в движущихся системах отсчета . . . . .	58
§ 15. Сравнение расстояний и длин в движущихся системах отсчета . . . . .	63
§ 16. Относительная скорость . . . . .	65
§ 17. Пространство скоростей Лобачевского — Эйнштейна . . . . .	68
<b>Глава II. Теория относительности в тензорной форме</b>	
§ 18. Замечание о ковариантности уравнений . . . . .	76
§ 19. Определение тензора в трехмерном случае и замечание о ковариантных величинах . . . . .	77
§ 20. Определение четырехмерного вектора . . . . .	82
§ 21. Четырехмерные тензоры . . . . .	85
§ 22. Псевдо-тензоры . . . . .	89
§ 23. Бесконечно малое преобразование Лоренца . . . . .	91
§ 24. Закон преобразования электромагнитного поля и ковариантность уравнений Максвелла . . . . .	94

§ 25. Движение заряженной материальной точки в заданном внешнем поле . . . . .	101
§ 26. Приближенная постановка задачи о движении системы зарядов . . . . .	105
§ 27. Вывод законов сохранения в механике системы точек . . . . .	113
§ 28. Тензорный характер интегралов движения . . . . .	118
§ 29. Замечания по поводу обычной формулировки законов сохранения . . . . .	121
§ 30. Вектор потока энергии (вектор Умова) . . . . .	123
§ 31. Тензор массы . . . . .	127
§ 32. Примеры тензора массы . . . . .	132
§ 33. Тензор энергии для электромагнитного поля . . . . .	139
§ 34. Масса и энергия . . . . .	144
<b>Глава III. Общий тензорный анализ</b>	
§ 35. Допустимые преобразования координат и времени . . . . .	148
§ 36. Общий тензорный анализ и обобщенная геометрия . . . . .	155
§ 37. Определение вектора и тензора. Тензорная алгебра . . . . .	158
§ 38. Уравнения геодезической линии . . . . .	168
§ 39. Параллельный перенос вектора . . . . .	176
§ 40. Ковариантное дифференцирование . . . . .	181
§ 41. Примеры составления ковариантных производных . . . . .	185
§ 42. Закон преобразования скобок Кристоффеля и локально геодезическая система координат. Условия приводимости основной квадратичной формы к постоянным коэффициентам . . . . .	190
§ 43. Тензор кривизны . . . . .	195
§ 44. Основные свойства тензора кривизны . . . . .	199
<b>Глава IV. Формулировка теории относительности в произвольных координатах</b>	
§ 45. Свойства пространства-времени и координаты . . . . .	205
§ 46. Уравнения математической физики в произвольных координатах . . . . .	210
§ 47. Вариационное начало для системы уравнений Максвелла — Лоренца . . . . .	214
§ 48. Вариационный принцип и тензор энергии . . . . .	220
§ 49. Интегральная форма законов сохранения в произвольных координатах . . . . .	226
<b>Глава V. Основы теории тяготения</b>	
§ 50. Обобщенный закон Галилея . . . . .	230
§ 51. Квадрат интервала в ньютоновом приближении . . . . .	232
§ 52. Уравнения тяготения Эйнштейна . . . . .	235
§ 53. Характеристики уравнений Эйнштейна. Скорость распространения тяготения . . . . .	238
§ 54. Сравнение с постановкой задачи в теории Ньютона. Предельные условия . . . . .	241
§ 55. Решение уравнений тяготения Эйнштейна в первом приближении и определение постоянной . . . . .	245
§ 56. Уравнения тяготения в статическом случае . . . . .	251
§ 57. Строгое решение уравнений тяготения для одной сосредоточенной массы . . . . .	255

§ 58. Движение перигелия планеты . . . . .	263
§ 59. Отклонение луча света, проходящего мимо Солнца . . . . .	270
§ 60. Вариационный принцип для уравнений тяготения . . . . .	273
§ 61. О локальной эквивалентности полей ускорения и тяготения . . . . .	278
§ 62. О парадоксе часов . . . . .	284

## Глава VI. Закон тяготения и законы движения

§ 63. Уравнения свободного движения материальной точки и их связь с уравнениями тяготения . . . . .	288
§ 64. Общая постановка задачи о движении системы масс . . . . .	292
§ 65. Расходимость тензора массы во втором приближении . . . . .	295
§ 66. Приближенный вид тензора массы для упругого тела при учете поля тяготения . . . . .	298
§ 67. Приближенные выражения для скобок Кристоффеля и для некоторых других величин . . . . .	301
§ 68. Приближенная форма уравнений тяготения . . . . .	307
§ 69. Связь между расходимостью тензора массы и величинами $\Gamma^{\nu}$ . . . . .	313
§ 70. Уравнения движения и условия гармоничности . . . . .	317
§ 71. Внутренняя и внешняя задачи механики системы тел. Ньютоновы уравнения для поступательного движения . . . . .	322
§ 72. Ньютоновы уравнения вращательного движения . . . . .	328
§ 73. Внутренняя структура тела. Уравнение Ляпунова . . . . .	334
§ 74. Вычисление некоторых интегралов, характеризующих внутреннюю структуру тела . . . . .	337
§ 75. Преобразование уравнений движения, написанных в интегральной форме . . . . .	341
§ 76. Вычисление количества движения во втором приближении . . . . .	346
§ 77. Вычисление силы . . . . .	351
§ 78. Уравнения поступательного движения в лагранжевой форме . . . . .	358
§ 79. Интегралы уравнений движения системы тел . . . . .	361
§ 80. Дополнительные замечания к задаче о движении системы тел. Явная форма интегралов движения для случая невращающихся масс . . . . .	369
§ 81. Задача двух тел конечной массы . . . . .	374

## Глава VII. Приближенные решения, законы сохранения и некоторые принципиальные вопросы

§ 82. Потенциалы тяготения для невращающихся масс (пространственные компоненты) . . . . .	382
§ 83. Потенциалы тяготения для невращающихся масс (смешанные и временная компоненты) . . . . .	389
§ 84. Потенциалы тяготения на больших расстояниях от системы тел (пространственные компоненты) . . . . .	395
§ 85. Потенциалы тяготения на больших расстояниях от системы тел (смешанные и временная компоненты) . . . . .	400
§ 86. Решения волнового уравнения в волновой зоне . . . . .	407
§ 87. Потенциалы тяготения в волновой зоне . . . . .	410
§ 88. Общие замечания о законах сохранения . . . . .	417
§ 89. Формулировка законов сохранения . . . . .	419
§ 90. Излучение гравитационных волн и его роль в балансе энергии . . . . .	426
§ 91. Связь между законами сохранения для поля и интегралами механики . . . . .	430

§ 92. Теорема единственности для волнового уравнения . . . . .	435
§ 93. О единственности гармонической координатной системы . . .	441
§ 94. Пространство Фридмана — Лобачевского . . . . .	447
§ 95. Теория красного смещения . . . . .	455
§ 96. Развитие теории тяготения и теории движения масс (критический обзор) . . . . .	465
<b>Заключение</b> . . . . .	473
<i>Добавление А.</i> К выводу преобразования Лоренца . . . . .	475
<i>Добавление Б.</i> Преобразование тензора Эйнштейна . . . . .	483
<i>Добавление В.</i> Характеристики обобщенного уравнения Даламбера .	493
<i>Добавление Г.</i> Интегрирование уравнения фронта волны . . . . .	496
<i>Добавление Д.</i> Необходимое и достаточное условие евклидовости трехмерного пространства . . . . .	500
<b>Литература</b> . . . . .	503