

В. Д. Захаров

**ГРАВИТАЦИОННЫЕ
ВОЛНЫ**

в

**ТЕОРИИ
ТЯГОТЕНИЯ**

Эйнштейна



URSS

В. Д. Захаров

**ГРАВИТАЦИОННЫЕ
ВОЛНЫ
В ТЕОРИИ ТЯГОТЕНИЯ
ЭЙНШТЕЙНА**

Предисловие
академика АН УССР
А. З. Петрова

Издание второе



URSS
МОСКВА

Захаров Валерий Дмитриевич

Гравитационные волны в теории тяготения Эйнштейна /

Предисл. А. З. Петрова. Изд. 2-е, стереотип. — М.: ЛЕНАНД, 2020. — 200 с.

Книга представляет собой современный обзор исследований по проблеме гравитационных волн в общей теории относительности. Центральное место в ней занимает изложение математически строгих подходов к проблеме, прежде всего определений и критериев, выделяющих волновые поля тяготения из всех гравитационных полей, даваемых решениями уравнений Эйнштейна. Вводная глава 1 содержит обзор приближенных методов описания гравитационных волн. Необходимый для постановки вопроса о строгих (общеквариантных) волновых критериях математический аппарат — проблема Коши для уравнений тяготения и классификация полей тяготения Петрова — излагается в главах 2 и 3. В главах 4–8 описываются известные общеквариантные критерии гравитационных волн Пирани, Беля, Лихнеровича, Зельманова и др. По содержанию к ним примыкает глава 12, посвященная хронометрически инвариантному анализу гравитационно-инерциальных волн. В главе 9 рассмотрена теория распространения гравитационных волн и дается их классификация по характеру волнового фронта (плоские и сферические волны). В главе 10 рассматривается специальный случай пространств с плоскими гравитационными волнами, именно пространств, допускающих абсолютно параллельное векторное поле. В главе 11 излагаются исследования асимптотического поведения волновых гравитационных полей, порождаемых островными распределениями источников, а заключительная глава 13 представляет собой краткий обзор вопроса экспериментального детектирования гравитационных волн и основных результатов, достигнутых экспериментом.

Книга рассчитана прежде всего на студентов старших курсов и аспирантов физико-математических вузов, а также на всех специалистов по гравитации, которым она может быть полезна как справочное руководство.

На 1-й странице обложки использована иллюстрация: Designed by Freepik

ООО «ЛЕНАНД». 117312, Москва, пр-т Шестидесятилетия Октября, д. 11А, стр. 11.
Формат 60×90/16. Печ. л. 12,5. Зак. № 149205.

Отпечатано в АО «Т 8 Издательские Технологии».
109316, Москва, Волгоградский проспект, д. 42, корп. 5.

ISBN 978–5–9710–7413–7

© ЛЕНАНД, 2020

27819 ID 259395



Все права защищены. Никакая часть настоящей книги не может быть воспроизведена или передана в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами, будь то электронные или механические, включая фотокопирование и запись на магнитный носитель, а также размещение в Интернете, если на то нет письменного разрешения владельца.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие к первому изданию	7
Предисловие автора к первому изданию	13
Введение	17
Глава 1. Приближенные методы исследования гравитационных волн	22
1. Линейное приближение (22). 2. Приближения высших порядков (27). 3. Критика методов приближений (34).	
Глава 2. Задача Коши для уравнений Эйнштейна	40
1. Уравнения Эйнштейна как система гиперболического типа (40). 2. Разрыв Адамара (42). 3. Характеристические гиперповерхности уравнений Эйнштейна (46). 4. Теорема Лере (47). 5. Выхарактеристики уравнений тяготения (48). 6. Задача Коши для уравнений Эйнштейна — Максвелла (50). 7. Фронт гравитационной волны и «лучи» тяготения (52).	
Глава 3. Содержание проблемы гравитационных волн	53
1. Различные аспекты проблемы (53). 2. Алгебраическая классификация полей тяготения. Пространства Эйнштейна (57). 3. Классификация полей тяготения общего вида (61). 4. Классификация Петрова и изотропные векторные поля (62).	
Глава 4. Критерий Пирани	64
1. Изотропное электромагнитное поле (64). 2. Главные векторы Римана. Следование за гравитационным полем (66). 3. Пример. Волновые поля тяготения Уаймена — Троллопа (67).	

Глава 5. Критерии Беля	68
1. Тензор суперэнергии (68). 2. Энергия и импульс гравитационного поля (71). 3. Эквивалентность критериев Пираяни и Беля (73). 4. Инварианты тензора кривизны в пустом пространстве (74). 5. Векторы Дебеве и второй критерий Беля (75).	
Глава 6. Критерий Лихнеровича	76
1. Билинейная вырожденная форма тензора Максвелла (76). 2. Двойная вырожденная форма тензора Римана (77). 3. Критерий Лихнеровича и классификация Петрова (79). 4. Конформное отображение волновых гравитационных полей (81).	
Глава 7. Критерий Зельманова	83
1. Обобщенный волновой оператор (83). 2. Характеристики обобщенного волнового уравнения (84). 3. Критерий Зельманова и классификация Петрова (86). 4. Связь между критериями Зельманова и Лихнеровича. Примеры (88).	
Глава 8. Другие критерии гравитационных волн	91
1. Критерий Дебеве (91). 2. Гравитационные волны интегрируемого типа (критерии Хэли и Зунда — Левина) (92). 3. Критерий Малдыбаевой (94). 4. Критерий Мизры и Сингха (96).	
Глава 9. Распространение гравитационных волн	98
1. Гравитационная геометрическая оптика (98). 2. Сферические гравитационные волны. Примеры (100). 3. Плоские гравитационные волны. Определение Кундта (104). 4. Плоские гравитационные волны. Определение Бонди — Пираяни — Робинсона (106). 5. Монохроматические гравитационные волны. Определение Аве (107).	
Глава 10. Плоские гравитационные волны, определяемые абсолютно параллельным векторным полем .	111
1. Плоские волны в пустом пространстве — времени (111). 2. Абсолютно параллельное векторное поле в непустом пространстве — времени (116).	
Глава 11. Асимптотические свойства полей гравитационного излучения	118
1. Гравитационное излучение аксиально симметричных изолированных систем. Функция информации Бонди (118). 2. Формализм Ньюмана — Пенроуза (123). 3. Гравитационное излучение произвольных изолированных систем. Метрика Сакса (127). 4. Геодезические лучи. Теорема расщепления (129). 5. Общая алгебраическая структура тензора Римана (132). 6. Асимптотические симметрии. Группа Бонди — Метцнера (134). 7. Асимптотические свойства полей Эйнштейна — Максвелла (135).	
Глава 12. Гравитационные волны и хронометрические инварианты	137
1. Хронометрические инварианты (137). 2. Хронометрически инвариантное определение гравитационно-инерциальных волн (141). 3. Физические условия существования гравитационно-инерциальных волн (147).	

Глава 13. Проблема гравитационных волн и физический эксперимент	159
1. Геодезическое отклонение пробных частиц (159). 2. Возможные источники гравитационных волн (161). 3. Средства лабораторного детектирования гравитационных волн (166). 4. Связь теоретического и экспериментального аспектов проблемы гравитационных волн (175).	
Приложение I	177
Приложение II	181
Литература	185