

Возлюбить, возненавидеть
Мирозданья скрытый смысл.
Чет и печет мертвых числ.,
(А. Блок)

ВВЕДЕНИЕ

Проблема теоретического описания гравитационных волн, тесно связанная с задачами их экспериментального исследования, стала одной из наиболее актуальных и интересных проблем не только гравитации, но и современной физики вообще. Возникшая почти одновременно с созданием теории тяготения Эйнштейна (первый анализ этой проблемы был проведен самим Эйнштейном в 1916—1918 гг.), она и в настоящее время не имеет еще вполне удовлетворительного решения.

За последние полтора десятилетия (примерно с 1957 г.) интерес к ней существенно возрос благодаря разработке нового мощного математического аппарата — классификации полей тяготения Петрова, давшей начало ряду новых подходов к решению проблемы в теоретическом плане. С другой стороны, достигнутый в последние годы прогресс эксперимента, в частности опыты Вебера, открывает перспективы лабораторного детектирования гравитационных волн.

Усилившийся интерес к проблеме гравитационных волн привел к появлению многочисленных журнальных публикаций; количество их исчисляется сейчас сотнями. Эти работы можно разделить на несколько групп, отражающих различные направления исследований.

Работы авторов первого направления имеют целью дать строгое определение понятия гравитационных волн, т. е. сформулировать в общековариантном виде необходимые и достаточные условия, которым должна удовлетворять метрика пространства — времени для того, чтобы она описывала волновое гравитационное поле. К этому

направлению относятся исследования Пирани [69, 262, 263], Лихнеровича [62, 87—90, 264], Беля [56, 68, 75—80], Дебеве [66, 81, 109, 265—268], Траутмана [55, 269, 270], Петрова [271], Элерса и Сакса [185, 272—274], Хэли [111—117], Роя и Радхакришны [96], Захарова [94, 100, 101, 275, 276], Старускевича [277], Паризе [278], Зунда и Левина [118—120], Мизры и Сингха [127, 128], Малдыбаевой [121, 123, 279], Соколика и Коноплевой [92, 93, 124], Айхельбурга [280], Лукашевича [281], Кобюрна [282], Ядава [283], Николаенко [126].

Исследователи этого направления рассматривают определение гравитационных волн в чисто геометрическом аспекте на основе алгебраических свойств полей тяготения, определяемых классификацией Петрова [57, 64, 65]. К ним примыкают авторы второго направления, которые, однако, в определении гравитационных волн отправляются от предварительно выбранного определения энергии гравитационного поля. Их работы, физические по характеру подхода, в отличие от геометрических работ первой группы, представлены исследованиями Инфельда [8, 284—287], Синга [83], Переса и Розена [288—290], Арновитта, Дезера и Мизнера [291—293], Гейслера — Тредера — Папапетру [294], Араки [295], Брилла [296], Меллера [297—299], Гутмана [300—302], Широкова и Будько [303—305], Петрова [306], Ву Тхань Кхиета [307], Денисова [308], Синьер [309—311], Айзексона [38], Родичева и Дозморова [312—314], Захарова [315, 316]. Следует отметить, что, например, Синг, Ву Тхань Кхиет, Меллер (1961 г.), Родичев и Дозморов, Денисов, Гутман, Айзексон используют общековариантное (или тетрадное) определение энергии гравитационного поля. В этом смысле (ковариантность критерия) их подход можно отнести и к первому направлению. Традиционный «псевдотензорный» подход использовали Перес, Розен, Меллер (1958 г.) и др. Наконец, Араки, Брилл, Гейслер, Тредер и Папапетру определяют энергию поля тяготения в специальном образом выделенной системе координат.

Третье направление составляют работы, в которых исследуются либо волны конкретного вида (плоские, сферические), либо гравитационное излучение островных систем источников. Сюда следует отнести исследования плоских волн Розена [155], Бордмана и Бергманна [156], Бонди, Пирани и Робинсона [143], Кундта и Элерса [137, 145—147], Вебера и Зипоя [95, 317], Керра и Гольд-

берга [318], Аве [157], Ньюмэна [150], Пенроуза [144], Шевретона [149], Иохари [154]; сферических волн Робинсона и Траутмана [129, 131], Каэна и Лероя [319, 320], Фостера и Ньюмэна [138], Мардера [321]; излучения островных систем Бонди [20, 171, 322—325], Стэхеля [188, 203], Джениса, Ньюмэна, Торренса и Куча [182, 326], Хокинга [202], Бичака [327, 328], Ван дер Бурга [329], Айзексона, Винукура и Дерри [330], Ле Данма [331], Мадора [45, 46], Персидеса [197], Холидея и Джениса [332], а также работы Сакса [110], Ньюмэна и Тамбурино [333], Сзекереса [134], Унти и Торренса [334], Коллинсона и Френча [335—336].

Четвертое направление образуют исследования, посвященные отысканию точных или приближенных решений уравнений Эйнштейна, описывающих гравитационные волны в смысле того или иного критерия. Известные сейчас точные волновые решения и их анализ можно найти в работах Эйнштейна и Розена [187, 337, 338], Такено [102, 153, 163, 168, 339—347], Петрова [57, 97, 348], Вебера и Уилера [193], Мардера [190—192, 349], Лихнеровича [89], Гейслера и Тредера [350—352], Компанейца [189, 353, 354], Переса [108, 160], Робинсона и Траутмана [129, 130], Пандья и Вайдья [164, 355—357], Сьямы [358], Боннора [359, 360], Фридлендера [361—363], Нордтведта и Пагельса [104], Кришны и Пандея [194—196, 364, 365], Харрисона [366], Лероя [367], Уаймэна и Троллопа [72, 73], Захарова [91, 101, 103, 105, 107, 170, 368], Иохари [154, 369], Мизры [370, 371], Бартрума [135], Фостера и Ньюмэна [138], Лала и Прасада [372], Дангву [159, 373], Гофмана [374], Дозморова [375—377], Сзекереса [378], Айхельбурга [379].

Приближенные волновые решения исследованы в работах Розена и Шамира [19], Боннора [11, 12, 17, 380—382], Пирани [383], Переса [384], Лиас [385], Мера, Вайдья и Кушваа [386], Меренбилда и Троллопа [387]. Общий метод построения приближенных волновых решений дается в работах Шоке — Брюа [388, 389].

Пятое направление составляют исследования, в которых гравитационные волны рассматриваются методами приближений: либо путем линеаризации уравнений тяготения (Эйнштейн [1, 2], Эддингтон [23], Матте [82], Дирак [390], Вавилов [391], Герценштейн и Пустовойт [392, 393], Боннор [6], Кармели [394], Куперсток [24, 243, 395], Ротенберг [21, 25, 29], Кэмпбелл [22]), либо путем

представления уравнений тяготения в приближенной форме заданного порядка малости (Боннор [11, 12, 17, 396], Фок [9, 397], Инфельд [8, 398], Папапетру [399—401], Тоннела [402, 403], Айзексон и Виникур [37, 38, 44], Тредер [404], Куперсток [405], Унт [406, 407], Зерилли [408], Вишвешвара [179], Куч, Киннерсли и Торренс [180, 181]), либо, наконец, путем вывода волнового уравнения из видоизмененных («максвеллизированных») уравнений тяготения (Румер [409], Кроки [410], Мавридес [411, 412], Синг [413], Бергер [414]).

В исследованиях шестого направления рассматривается гравитационное излучение элементарных частиц. К ним относится прежде всего монография Станюковича [415], суммирующая ряд предыдущих работ автора в этой области (см. [416—419]), а также работы де Витта [420], Кундта и Томсона [186], Гальперна, Лорана и Дебранда [254, 421]. Ввиду того, что теория тяготения Эйнштейна неприменима к описанию микроскопических систем, Станюкович в своих работах заменяет уравнения Эйнштейна другими, с переменной «константой» тяготения. Как мы уже отмечали, работы этого направления не затрагиваются в тексте книги.

Работы седьмого направления посвящены вопросам экспериментального исследования гравитационных волн, в первую очередь задаче их обнаружения. В этой области работают Вебер [31, 95, 212, 227—229, 422—429], Брагинский, Руденко, Рукман [213, 237, 430—434], Герценштейн и Пустовойт [435, 436], Копвиллем и Нагибаров [247—251, 255, 256], Башков [437, 438], Мироновский [241, 439], Петров [306], Форвард и Берман [215], Хейнтцман [242], Винтерберг [244], Зипой и Бертотти [245], Дайсон [258, 259], Слабкий [440], Водяницкий и Диманштейн [465], Лаврентьев [252, 253], Докур [441], Мелош [225], Вик [442], Папини [443], Бокалетти, де Саббата, Гуальди и Фортини [444].

В ряде работ этого направления обсуждаются оценки мощности гравитационного излучения космических источников и перспективы его лабораторного исследования; это работы Уилера [36], Фаулера [445], Зельдовича и Новикова [34], Торна [30, 218—222, 446], Куперстока [32, 33], Кармели [35], Вебера [31], Бокалетти, де Саббаты, Гуальди и Фортини [239, 240], Вайнберга [447], Шкловского [216], Гринштейна [230], Кафки [232, 233, 448], Сьямы, Филда и Риса [231, 234, 235, 449], Кауфмана [450],

Петерса [451], Аладдина и Састри [452], Чандрасекара [453—455], Езавы [456], Чоу и Хенриксена [457, 458].

Чисто астрофизический аспект задачи, в частности роль гравитационного излучения в балансе энергии космических объектов, получил в книге ограниченное освещение. Детальное изложение этого специального астрофизического вопроса стояло бы особняком в общем плане книги, посвященной прежде всего принципиальным теоретическим сторонам проблемы гравитационных волн. Сжатый обзор экспериментальных результатов и проблематики седьмого направления дан в заключительной главе 13.

Отдельную группу составляют работы, где обсуждается вопрос о скорости распространения гравитационных волн,— работы Финци [59], Арифова [459], Крживоблоцкого [460], Мицкевича [461]. Различным сторонам проблемы гравитационных волн посвящены обзоры Пирани [70, 71, 262], Сакса [148], Траутмана [131], Петрова [462], Бонди [463, 464] и др. (например, обзорная часть в работе [165]).

Отметим, наконец, что в основном список литературы включает работы, опубликованные до 1971 г.