

ШЕДЕВРЫ
НАУЧНО-ПОПУЛЯРНОЙ
ЛИТЕРАТУРЫ

Выпуск • 235

ФИЗИКА



Б. Н. Иванов

МИР ФИЗИЧЕСКОЙ ГИДРОДИНАМИКИ

ОТ ПРОБЛЕМ

ТУРБУЛЕНТНОСТИ

ДО ФИЗИКИ

КОСМОСА



URSS

НАУКУ – ВСЕМ!

Шедевры научно-популярной литературы (физика) • № 235

Б. Н. Иванов

**МИР
ФИЗИЧЕСКОЙ
ГИДРОДИНАМИКИ**

**От проблем турбулентности
до физики космоса**

Издание стереотипное



**URSS
МОСКВА**

БКК 22.253.3

Иванов Борис Николаевич

Мир физической гидродинамики: От проблем турбулентности до физики космоса. Изд. стереотип. — М.: Едиториал УРСС, 2021. — 240 с. (НАУКУ — ВСЕМ! Шедевры научно-популярной литературы (физика). № 235.)

Предлагаемая книга основана на общезначимых принципах классической гидродинамики. Обладая наглядностью понятий, она допускает обобщения на широкий круг явлений из различных областей. Так, например, рассматриваются квантовые сверхтекучие жидкости, замагниченная плазма, среды с высокой плотностью энергии. Гидродинамические модели в астрофизике и космологии позволяют осмыслить физику Солнца и звезд, механизм солнечно-земных связей, космические выбросы вещества и вспышки сверхновых, происхождение галактик и их скоплений и др. Изучение четырех глобальных стихий нашей планеты: магнитосферы Земли, ее атмосферы и океана, подкоркового расплава — мантии и жидкометаллического ядра, ведется в частности, с помощью методов физической гидродинамики. Среди общезначимых тем в работе уделено внимание проблемам неустойчивости и турбулизации движения нелинейным волновым процессам, кумулятивным явлениям.

Книга рассчитана на широкий круг лиц, интересующихся достижениями и развитием современного естествознания. Использование в книге новых идей последнего времени делает ее интересной также физикам, гидродинамикам, астрофизикам, геофизикам. Студенты и преподаватели соответствующих специальностей найдут в книге немало материала, полезного в учебном процессе.

Рецензент: член-корр. АН Украины, д-р физ.-мат. наук *В. П. Шелест*

Издательство «Едиториал УРСС».

117312, Москва, пр-т Шестидесятилетия Октября, д. 9.

Формат 60×90/16. Печ. л. 15.

Отпечатано в ООО «ЛЕНАНД».

117312, Москва, проспект 60-летия Октября, 11А, стр. 11.

ISBN 978-5-354-01689-1

(мягкий переплет)

ISBN 978-5-354-01690-7

(твердый переплет)

© Едиториал УРСС, 2002, 2020



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	8
Введение	10
§ 1. Неравновесные состояния сред	17
§ 2. Движение жидкости с высоты птичьего полета	18
§ 3. Течение «модельной» жидкости	21
3.1. Закон сохранения вещества в гидродинамике	21
3.2. Уравнение Бернулли возьмем за основу	23
3.3. Вихри и их свойства	25
§ 4. Течение реальной жидкости	28
4.1. Почему возникает торможение потока жидкости?	28
4.2. Пуазейлевское течение	30
4.3. Неравномерно нагретая жидкость	31
4.4. Задача, которую решал Фурье	32
4.5. Диффузия. Растворение кристалла в жидкости	33
§ 5. Взгляд изнутри: случайные процессы в газах	35
5.1. Пробег и сечение столкновения	36
5.2. Молекулярное рассмотрение процесса диффузии	38
5.3. Диффузия как задача о случайном блуждании частиц ..	40
5.4. Связь между случайными процессами переноса в газах .	41
§ 6. Законы сопротивления движению тел в жидкости	44
6.1. Метод подобия. Число Рейнольдса	44
6.2. Сопротивление при малых скоростях. Формула Стокса и опыты Милликена по определению элементарного электрического заряда	45
6.3. Сопротивление при больших (дозвуковых) скоростях. Вихревая цепочка Кармана	48
6.4. Подъемная сила крыла. Формула Жуковского	49
§ 7. Неустойчивости в гидродинамике	53
7.1. Когда слоистое правильное течение становится сильно запутанным?	53
7.2. Пограничный слой	55
7.3. Попытки как-то описать турбулентные движения	56
7.4. Переход от молекулярного к конвекционному переносу тепла. Солнечная грануляция	59
7.5. Течение Куэтта и тороидальные вихри Тейлора. Фейнман о возможностях гидродинамического описания	61
7.6. Детерминированный хаос и турбулентность	63

§ 8. Волны на воде	68
8.1. То глубоко, то мелко...	68
8.2. Волновая азбука	70
8.3. Пологие и крутые волны	72
8.4. Солисты в волновом хоре	73
8.5. Шторм на море остается загадкой	74
8.6. Волны звука в океане	74
8.7. Колебания заряженной капли или начало ядерной эры	76
§ 9. Сверхзвуковые потоки газа	81
9.1. Уравнение Бернулли и термодинамика	81
9.2. Когда среда становится сжимаемой?	82
9.3. То широко, то узко... ..	83
9.4. Сопло Лавала	84
§ 10. Гидродинамика и физико-химические процессы	86
10.1. Вводные замечания	86
10.2. Газовый поток и горение	87
10.3. Газовый поток как активная лазерная среда	89
10.4. Электризация грозовых облаков	91
10.5. Перемешивание жидкостей демонстрирует упорядоченный хаос	93
§ 11. Знакомьтесь с ударными волнами	96
11.1. С ними изредка встречаются все	96
11.2. Распространение возмущений в потоке сжимаемого газа	97
11.3. Общие соотношения для ударного скачка	99
11.4. Ударные волны в идеальном газе	102
11.5. Задача о сильном взрыве в атмосфере	104
§ 12. Эффекты гидродинамической кумуляции	106
12.1. Кумулятивные струи	106
12.2. Схлопывание пузырьков в жидкости	109
12.3. Сходящиеся сферические и цилиндрические ударные волны	110
12.4. Роль неустойчивостей в ограничении кумуляции. Создание сверхсильных магнитных полей	111
12.5. Выход ударной волны на поверхность звезды. Происхождение космических лучей	112
§ 13. Кавитация в жидкости	113
§ 14. Моделирование и опыт	116
14.1. Аэродинамические и плазменные трубы	116
14.2. Баллистические установки и ударные трубы	120
§ 15. Эксперимент на дисплее	124
15.1. Кратко об ЭВМ	124
15.2. Что такое численный эксперимент?	125

§ 16. За пределами гидродинамики	128
16.1. Походный термос и торможение спутников	128
16.2. Как можно накопить ядерное топливо	131
16.3. «Вакуум» в ... кристалле и гидродинамика фононов	132
16.4. Флуктуационные явления в гидродинамике	135
§ 17. Чудеса в лаборатории Капицы, или почему Ландау увлекся гидродинамикой	139
17.1. Жидкий гелий и квантовая механика	139
17.2. Жидкость, которая стоит и движется одновременно ...	143
17.3. Мысленный эксперимент Фейнмана: квантованные вихри	144
17.4. Сверхтекучесть в звездах и атомных ядрах	146
§ 18. Экзотические жидкости	149
18.1. О «неожиданных» свойствах классической жидкости. О квантовой турбулентности. О путях обобщения гидродинамики	149
18.2. Электронная жидкость металлов	151
18.3. Экситонная жидкость полупроводников	152
18.4. Течения полимерной жидкости	155
§ 19. Исследования по управляемому термоядерному синтезу (УТС) и магнитная гидродинамика. Турбулентное динамо Земли и Солнца. Нелинейные явления в плазме	159
19.1. Самостоячивающийся разряд и его гидродинамическая неустойчивость	159
19.2. Как возникают и «живут» магнитные поля звезд и планет	163
19.3. О «карнавале» колебаний и волн в магнитной гидродинамике	165
19.4. Нелинейные волновые эффекты в плазме и их аналоги в гидродинамике, акустике, оптике	166
19.5. Волновая турбулентность плазмы	169
§ 20. О солнечно-земных связях и геофизической гидродинамике ...	173
20.1. Вводные замечания	173
20.2. Солнце — плазменное образование и природный термоядерный реактор	174
20.3. Магнитосфера Земли	178
20.4. Атмосфера и океан. Задача о вращающейся жидкости ..	181
§ 21. Мир сверхвысоких плотностей энергии и релятивистская гидродинамика	187
§ 22. Крупномасштабная гидродинамика Вселенной	191
22.1. Основные этапы эволюции Вселенной	191
22.2. Иерархия структур во Вселенной	194
22.3. Гидродинамические процессы при формировании структур Вселенной	196

Приложение	199
Очерки к параграфам	200
Астрофизика	200
Космические выбросы вещества: объект SS 433 и его теоретическая модель. (К § 21)	200
Механизм гидромагнитного динамо в космических структурах. (К § 19.2)	205
Мазерный эффект в космосе. (К § 10.3)	207
О жидкой планете, похожей на звезду. (К § 20.4)	209
Геофизика и солнечно-земные связи	210
Торнадо: его топология, физика и гидродинамика. (К § 20.4)	210
О солнечной сейсмологии и акустическом зондировании океанов и мантии Земли. (К § 20.4)	212
Физика плазмы	215
Самоподдерживающийся режим «горения» термоядерной плазмы. (К § 19.1)	215
Кумулятивное сверхсжатие лазерной плазмы. (К § 19.1)	217
«Серфинг» на плазменной волне — новый метод ускорения частиц. (К § 19.5)	219
Физико-техническая область	221
Нелинейная среда становится антенной. (К § 19.4)	221
Пузырьковые камеры в физике частиц высоких энергий. (К § 13)	222
«Окна» для газодинамических лазеров. (К § 10.3)	223
Магнетогидродинамический генератор (МГД-генератор). (К § 9.4)	225
Роль «капельной физики» в эффективной работе газодинамических двигателей (ГД). (К § 10.2)	226
Ударные волны	229
К истории учения об ударных волнах. (К § 11.2)	229
Расчет ударного скачка в газе. (К § 11.4)	229
Задача о скорости звука (К § 21)	232
Литература	234
Общее руководство	234
Литература к параграфам	234
К § 6. Законы сопротивления...	234
К § 7. Неустойчивости в гидродинамике	234
К § 8. Волны на воде	234
К § 10. Гидродинамика и физико-химические процессы	235
К § 11. Ударные волны	235

К § 12. Гидродинамическая кумуляция	235
К § 13. Кавитация	235
К § 14. Моделирование и опыт	236
К § 15. Эксперимент на дисплее	236
К § 16. За пределами гидродинамики	236
К § 17. Сверхтекучая жидкость	236
К § 18. Экзотические жидкости	237
К § 19. Исследования по УТС и магнитная гидродинамика. Турбулентное геодинамо. Нелинейные явления в плазме	237
К § 20. О солнечно-земных связях и геофизической гидродинамике	238
К § 21. Мир сверхвысоких плотностей энергии и релятивистская гидродинамика	238
К § 22. Крупномасштабная гидродинамика Вселенной ..	239
Литература к Приложению	239