

Р.В.Полб

МЕХАНИКА, АКУСТИКА
И УЧЕНИЕ О ТЕПЛОТЕ

РОБЕРТ ВИХАРД ПОЛЬ

МЕХАНИКА, АКУСТИКА И УЧЕНИЕ О ТЕПЛОТЕ

Перевод с 16-го немецкого издания
К. А. ЛЕОНТЬЕВА и В. М. ЮЖАКОВА

Под редакцией
Н. П. СУВОРОВА



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА 1971

530.1

П 53

УДК 530.1(075.8)

MECHANIK • AKUSTIK
und
WÄRMELEHRE

VON
ROBERT WICHARD POHL

VERBESSERTE UND ERGÄNZTE AUFLAGE

SPRINGER-VERLAG
BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG · NEW YORK
1964

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| От редактора | 9 |
| Из предисловия автора к 1-му изданию | 9 |
| Из предисловия к 15-му изданию | 10 |
| Об употреблении уравнений | 11 |
| От редакции | 11 |

А. МЕХАНИКА

| | |
|---|----|
| I. Введение, измерение длины и времени | 13 |
| § 1. Введение (13). § 2. Измерение длины. Непосредственное измерение (14). § 3. Единица длины метр (16). § 4. Косвенное измерение длины при очень больших расстояниях (17). § 5. Измерение углов (18). § 6. Измерение времени. Прямое измерение. Регистрация (19). § 7. Часы, регистрация (20). § 8. Измерение периодических явлений. (22). § 9. Косвенное измерение времени (23). | |
| II. Описание движений, кинематика | 25 |
| § 10. Определение движения. Система отсчета (25). § 11. Определение скорости. Пример измерения скорости (25). § 12. Определение ускорения. Два предельных случая (28). § 13. Тангенциальное ускорение, прямолинейное движение (29). § 14. Постоянное радиальное ускорение. Круговой путь (32). § 15. Физические величины и их числовые значения (33). § 16. Основные и производные величины (34). | |
| III. Основы динамики | 37 |
| § 17. Предварительные замечания. Сила и масса (37). § 18. События измерения силы и массы. Основное уравнение механики (40). § 19. Единицы силы и массы. Соотношение размерностей (43). § 20. Тело и количество (43). § 21. Плотность ρ , концентрация N_n , удельный объем V_s и удельное число молекул N_m (44). § 22. Устранение внешнего трения, в частности, в модели атома (45). | |
| IV. Применения основного уравнения механики | 47 |
| § 23. Применение основного уравнения к равномерно-переменному прямолинейному движению (47). § 24. Применение основного уравнения к круговому движению. Радиальная сила (49). § 25. Принцип Даламбера (53). § 26. Синусоидальные колебания. Тяжелый маятник как частный случай (54). § 27. Центральные движения. Определение (58). § 28. Эллиптические пути, эллиптически поляризованные колебания (60). § 29. Фигуры Лиссажу (64). § 30. Кеп- | |

леров эллипс и закон тяготения (65). § 31. Гравитационная постоянная (66). § 32. Принцип измерения массы (68). § 33. Закон тяготения и небесная механика (68).

V. Вспомогательные понятия, работа, энергия, импульс 71

§ 34. Предварительное замечание (71). § 35. Работа и мощность (71). § 36. Энергия и закон сохранения энергии (75). § 37. Применение механического закона сохранения энергии (76). § 38. Импульс силы (77). § 39. Закон сохранения импульса (78). § 40. Применения закона сохранения импульса (79). § 41. Законы сохранения энергии и импульса при упругом соударении тел (80). § 42. Закон сохранения импульса при неупругом соударении двух тел и баллистический маятник (81). § 43. Косой удар (83). § 44. Баллистический маятник как прототип баллистических измерительных приборов. Баллистический гальванометр, измерение продолжительности удара (83). § 45. Движения в сопротивляющейся среде (85). § 46. Возбуждение сил без затраты и с затратой мощности (88). § 47. Заключительное замечание (89).

VI. Вращательные движения твердых тел 91

§ 48. Предварительное замечание (91). § 49. Вращательный момент и работа (91). § 50. Получение вращательных моментов. Определение коэффициента жесткости при кручении D^* . Угловая скорость ω как вектор (94). § 51. Момент инерции, крутильные колебания (96). § 52. Физический маятник и рычажные весы (100). § 53. Вращательный импульс (главный момент количества движения) (101). § 54. Свободные оси (105). § 55. Свободные оси у человека и животных (106). § 56. Определение волчка и его трех осей (107). § 57. Нутация незакрепленного волчка и его постоянный вращательный импульс (109). § 58. Волчок под действием вращательного момента; прецессия оси вращательного импульса (111). § 59. Конус прецессии с нутациями (115). § 60. Волчок с двумя степенями свободы (118). § 61. Заключительное замечание (120).

VII. Системы отсчета с ускорением 121

§ 62. Предварительное замечание. Силы инерции (121). § 63. Система отсчета с чисто тангенциальным ускорением (122). § 64. Система отсчета с чисто радиальным ускорением. Центробежная сила инерции и сила Кориолиса (125). § 65. Наши средства передвижения в системах отсчета с ускорением (131). § 66. Маятник в качестве отвеса в ускоренно движущемся самолете (134). § 67. Земля как система отсчета с ускорением. Центробежное ускорение неподвижных тел (135). § 68. Земля как система отсчета с ускорением. Кориолисово ускорение движущихся тел (137). § 69. Гироскопический компас на кораблях и его принципиально неустранимая погрешность (139).

VIII. Некоторые свойства твердых тел 140

§ 70. Предварительное замечание (140). § 71. Упругая деформация, текучесть и упрочнение. Высокополимерные вещества (142). § 72. Закон Гука и соотношение Пуассона (144). § 73. Сдвиг и коэффициент сдвига (146). § 74. Нормальное, касательное и главное напряжения (147). § 75. Изгиб и кручение (149). § 76. Временная зависимость деформации. Упругое последствие и гистерезис (153). § 77. Прочность на разрыв и удельная поверхностная работа твердых тел (155). § 78. Трение покоя и трение скольжения (158). § 79. Адгезия, склеивающие вещества, шлифовка и полировка (161). § 80. Польза от трения покоя и уменьшение трения скольжения (161). § 81. Трение качения (163). § 82. Роль трех видов трения в автотранспорте (163).

IX. О неподвижных жидкостях и газах 165

§ 83. Свободная подвижность молекул жидкости (165). § 84. Давление в жидкости, манометр (168). § 85. Всесторонняя передача давления и ее применение (169). § 86. Распределение давления в поле тяжести и подъемная сила (171). § 87. Сцепление в жидкостях, их прочность на разрыв, удельная поверхностная работа и поверхностное натяжение (174). § 88. Газы и пары как жидкости малой плотности без свободной поверхности. Закон Бойля—Мариотта (180). § 89. Модель газа. Давление газа как следствие беспорядочного движения («теплого движения») (182). § 90. Основное уравнение кинетической теории газов. Скорость газовых молекул (183). § 91. Воздушная оболочка Земли. Давление воздуха в демонстрационных опытах (185). § 92. Распределение давления газа в поле тяжести. Барометрическая формула (187). § 93. Статическая подъемная сила в газах (189). § 94. Газы и жидкости в системах отсчета с ускорением (191). § 95. Заключение. Что называется силой? (194). § 96. Сортировальные машины (дискриминаторы или спектральные аппараты) (195).

X. Движения в жидкостях и газах 198

Первая часть. Течение жидкости с трением и без трения (198). § 97. Три предварительных замечания (198). § 98. Внутреннее трение и пограничный слой (198). § 99. Слоистое движение жидкости, возникающее при сильном влиянии трения (201). § 100. Число Рейнольдса (202). § 101. Свободное от внутреннего трения движение жидкости. Уравнение Бернулли (205). § 102. Обтекание. Источники и стоки, безвихревое, или потенциальное, течение (210). § 103. Вращения жидкостей и их измерение. Безвихревое поле (212). § 104. Вихри и поверхности раздела в жидкостях, практически лишенных трения (216). § 105. Сопrotивление и формы линий тока (218). § 106. Динамическая подъемная сила (221).

Вторая часть. Применение динамической подъемной силы (224). § 107. Крыло как несущая поверхность и парус (224). § 108. Машины с вращающимися лопастями или с крыльями (226).

Б. АКУСТИКА

XI. Учение о колебаниях 229

Предварительное замечание 229
 Первая часть. О колебаниях вообще (229). § 109. Колебания и раскачивание (229). § 110. Представление несинусоидальных периодических процессов с помощью синусоидальных кривых (233). § 111. Спектральное изображение сложных форм колебаний (237). § 112. Амплитудная и фазовая модуляция (240). § 113. Общие свойства собственных упругих колебаний твердых тел произвольной формы (244). § 114. Упругие поперечные колебания напряженных линейных твердых тел (244). § 115. Упругие продольные и крутильные колебания напряженных линейных твердых тел (247). § 116. Упругие колебания в столбах жидкостей и газов (250). § 117. Собственные колебания жестких линейных тел. Колебания изгиба (253). § 118. Собственные колебания плоских и пространственно-протяженных фигур. Тепловые колебания (254). § 119. Вынужденные колебания (256). § 120. Резонансная отдача энергии (260). § 121. Незатухающие колебания с внешним и с автоматическим управлением (261). § 122. Положительная и отрицательная обратная

связь (264). § 123. Техника автоматического регулирования или управления (кибернетика) (265).

Вторая часть. Некоторые приложения вынужденных колебаний (267). § 124. Значение резонанса для обнаружения отдельных синусоидальных колебаний. Спектральные аппараты (267). § 125. Значение вынужденных колебаний для неискаженной передачи несинусоидальных колебаний. Регистрирующие аппараты (269). § 126. Два связанных маятника и их вынужденные колебания (271). § 127. Затухающие и незатухающие колебания при раскачиваниях (272).

XII. Бегущие волны и излучение. 275

Первая часть. Учение о волнах (275). § 128. Бегущие волны (275). § 129. Эффект Доплера (277). § 130. Интерференция (278). § 131. Интерференция от двух источников с близкими частотами (279). § 132. Стоячие волны (280). § 133. Распространение бегущих волн. (282). § 134. Отражение и преломление (284). § 135. Изображение (285). § 136. Полное отражение (286). § 137. Ударные волны при превышении волновой скорости (288). § 138. Принцип Гюйгенса (290). § 139. Модельные опыты по распространению волн (290). § 140. Количественные соотношения при дифракции от щели (292). § 141. Построение зон Френеля (295). § 142. Усиление интерференционных полос при помощи решетчатого расположения волновых центров (297). § 143. Интерференция волновых цугов ограниченной длины (299). § 144. Возникновение продольных волн. Их скорость (299). § 145. Продольные высокочастотные волны в воздухе. Звуковые индикаторы (300). § 146. Звуковое давление. Звуковой радиометр (303). § 147. Типовые опыты с пространственными волнами (305). § 148. Возникновение волн на поверхности жидкостей (311). § 149. Дисперсия и групповая скорость (314). § 150. Превращение непериодических процессов в волновые (318).

Вторая часть. Об акустике в узком смысле (320). § 151. Энергия звукового поля. Акустическое сопротивление (320). § 152. Источники звука (324). § 153. Непериодические излучатели звука и сверхзвуковая скорость (326). § 154. Приемники звука (327). § 155. О слухе (328). § 156. Фонометрия (331). § 157. Ухо (334).

V. УЧЕНИЕ О ТЕПЛОТЕ

XIII. Основные понятия. 338

§ 158. Предварительные замечания. Определение понятия «количество вещества» (338). § 159. Некоторые понятия из основ химии (339). § 160. Определение и измерение температуры (341). § 161. Определение понятия «теплота» (344). § 162. Удельная теплоемкость c_p , энтальпия J и внутренняя энергия U (346).

XIV. Первое начало и уравнение состояния идеальных газов 350

§ 163. Работа расширения и техническая работа (350). § 164. Термические параметры состояния (352). § 165. Внутренняя энергия U и первое начало (353). § 166. Функция состояния энтальпия J (355). § 167. Две удельные теплоемкости c_p и c_v (356). § 168. Термическое уравнение состояния идеальных газов. Абсолютная температура (359). § 169. Сложение парциальных давлений (363). § 170. Определение молекулярного веса (M) по плотности пара ρ (364). § 171. Кало-

рическое уравнение состояния идеальных газов. Дроссельный опыт Гей-Люссака (365). § 172. Изменения состояния идеальных газов (367). § 173. Примеры применения политропических и адиабатических изменений состояния. Измерения $\kappa = c_p/c_v$ (372). § 174. Пневматический двигатель и газовый компрессор (374).

XV. Реальные газы и пары 376

§ 175. Изменения состояния реальных газов и паров (376). § 176. Различие между газом и жидкостью (378). § 177. Уравнение состояния Ван дер Ваальса для реальных газов (381). § 178. Дроссельный опыт Джоуля—Томсона (382). § 179. Получение низких температур и сжижение газов в лабораторных условиях (384). § 180. Технические методы сжижения и разделения газов (386). § 181. Давление пара и температура. Тройная точка (387). § 182. Замедление фазового превращения жидкое \rightarrow твердое состояние. Переохлаждение жидкости (389). § 183. Замедление фазового превращения жидкое \rightarrow парообразное состояние. Прочность жидкостей на разрыв (390). § 184. Зародыши при изменении фазы (392).

XVI. Температура и кинетическая часть внутренней энергии 393

§ 185. Температура и хаотическое движение («тепловое движение») в идеальных газах (393). § 186. Отдача при отражении газовых молекул. Радиометрическая сила (396). § 187. Распределение скоростей и средняя длина свободного пробега молекул газа (397). § 188. Удельные теплоемкости в молекулярном представлении. Принцип равномерного распределения (399). § 189. Осмос и осмотическое давление (402). § 190. Физические молекулы. Экспериментальное определение постоянной Больцмана k и удельного числа молекул N_m (407). § 191. Определение постоянной Больцмана k при помощи броуновского движения (409). § 192. Тепловое движение и граница чувствительности измерительных приборов (410). § 193. Статистические флуктуации и число частиц (412). § 194. Теорема Больцмана (414).

XVII. Процессы переноса, в частности диффузия 416

§ 195. Предварительное замечание (416). § 196. Диффузия и смешение (416). § 197. Первый закон Фика и постоянная диффузии (417). § 198. Квазистационарная диффузия (419). § 199. Нестационарная диффузия (420). § 200. О теплопроводности и переносе тепла вообще (422). § 201. Стационарная теплопроводность (423). § 202. Нестационарная теплопроводность (424). § 203. Процессы переноса в газах и независимость их от давления (425). § 204. Определение средней длины свободного пробега (428). § 205. Взаимная связь процессов переноса в газах (430).

XVIII. Энтропия как функция состояния 433

§ 206. Обратимые процессы (433). § 207. Необратимые процессы (434). § 208. Энтропия S как функция состояния. Второе начало (437). § 209. Рассеянная работа и работоспособность (439). § 210. Молекулярное представление об энтропии (440). § 211. Примеры вычисления энтропии (442). § 212. Применение энтропии к обратимым изменениям состояния в замкнутых системах (445). § 213. JS - или Молье-диаграммы и их применения. Газовый поток со сверхзвуковой скоростью (446). § 214. Скачки уплотнения (449).

| | |
|---|------------|
| XIX. Превращение внутренней энергии в работу | 451 |
| § 215. Постановка вопроса и расположение материала (451). | |
| Первая часть. Теплосиловые машины и тепловые насосы (452). | |
| § 216. Идеальные теплосиловые машины (452). § 217. Круговой процесс Карно и двигатель с горячим воздухом (453). § 218. Двигатель с горячим воздухом (453). § 219. Тепловой насос (холодильная машина) (455). § 220. Термодинамическое определение температуры (458). | |
| Вторая часть. Изотермическое превращение внутренней энергии в работу (458). § 221. Двигатель, работающий на сжатом воздухе. Свободная и связанная энергия (458). § 222. Уравнение Гельмгольца (460). § 223. Примеры применения свободной энергии (462). § 224. Взгляд на роль энтропии при превращении внутренней энергии в работу (464). § 225. Внутренние часы (464). | |
| Третья часть. Технические теплосиловые машины и мускулы как двигатели (465). § 226. Технические теплосиловые машины (465). § 227. Человек как изотермическая силовая машина (466). | |
| Приложение. Размерности физических величин | 468 |

ТАБЛИЦЫ

| | |
|--------------------------------|-----|
| Важнейшие постоянные | 470 |
| Единицы длины | 470 |
| Единицы силы | 471 |
| Единицы давления | 471 |
| Единицы энергии | 471 |
| Предметный указатель | 472 |