

ЭЛЕМЕНТАРНЫЙ УЧЕБНИК ФИЗИКИ

под редакцией академика
Г.С. Ландсберга

I

МЕХАНИКА
ТЕПЛОТА
МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА



ОГЛАВЛЕНИЕ

От издательства	10
Из предисловия к первому изданию	12
Введение	16

РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ МЕХАНИКА

Глава I. Кинематика	20
§ 1. Движение тел (20) § 2. Кинематика. Относительность движения и покоя (22) § 3. Траектория движения (23) § 4. Поступательное и вращательное движения тела (24) § 5. Движение точки (26) § 6. Описание движения точки (27) § 7. Измерение длины (31) § 8. Измерение промежутков времени (34) § 9. Равномерное прямолинейное движение и его скорость (35) § 10. Знак скорости при прямолинейном движении (38) § 11. Единицы скорости (38) § 12. Графики зависимости пути от времени (41) § 13. Графики зависимости скорости от времени (45) § 14. Неравномерное прямолинейное движение. Средняя скорость (46) § 15. Мгновенная скорость (48) § 16. Ускорение при прямолинейном движении (50) § 17. Скорость прямолинейного равноускоренного движения (52) § 18. Знак ускорения при прямолинейном движении (53) § 19. Графики скорости при прямолинейном равноускоренном движении (54) § 20. Графики скорости при произвольном неравномерном движении (55) § 21. Нахождение пути, пройденного при неравномерном движении, при помощи графика скорости (57) § 22. Путь, пройденный при равнопеременном движении (57) § 23. Векторы (60) § 24. Разложение вектора на составляющие (63) § 25. Криволинейное движение (66) § 26. Скорость криволинейного движения (67) § 27. Ускорение при криволинейном движении (68) § 28. Движение относительно разных систем отсчета (71) § 29. Кинематика космических движений (73)	

Глава II. Динамика

76

§ 30 Задачи динамики (76) § 31. Закон инерции (76) § 32 Инерциальные системы отсчета (79) § 33 Принцип относительности Галилея (80) § 34 Силы (80) § 35 Уравновешивающиеся силы. О покое тела и о движении по инерции (82) § 36. Сила — вектор. Эталон силы (84) § 37 Динамометры (86). § 38. Точка приложения силы (88). § 39 Равнодействующая сила (89) § 40. Сложение сил, направленных по одной прямой (89). § 41 Сложение сил, направленных под углом друг к другу (90) § 42. Связь между силой и ускорением (92). § 43. Масса тела (94) § 44 Второй закон Ньютона (96) § 45 Единицы силы и массы (99) § 46. Системы единиц (100). § 47. Третий закон Ньютона (101) § 48 Примеры применения третьего закона Ньютона (104) § 49 Импульс тела (107) § 50 Система тел. Закон сохранения импульса (108) § 51. Применения закона сохранения импульса (109) § 52 Свободное падение тел (111) § 53 Ускорение свободного падения (112). § 54. Падение тела без начальной скорости и движение тела, брошенного вертикально вверх (113). § 55. Вес тела (115) § 56 Масса и вес (117) § 57 Плотность вещества (118). § 58. Возникновение деформаций (119). § 59 Деформации в покоящихся телах, вызванные действием только сил, возникающих при соприкосновении (120). § 60 Деформации в покоящихся телах, вызванные силой тяжести (121) § 61. Деформации тела, испытывающего ускорение (123) § 62 Исчезновение деформаций при падении тел (125). § 63. Разрушение движущихся тел (127). § 64. Силы трения (129). § 65. Трение качения (132). § 66 Роль сил трения (133). § 67. Сопротивление среды (134). § 68 Падение тел в воздухе (135).

Глава III. Статика

138

§ 69 Задачи статики (138). § 70 Абсолютно твердое тело (139) § 71 Перенос точки приложения силы, действующей на твердое тело (140) § 72 Равновесие тела под действием трех сил (142) § 73. Разложение сил на составляющие (143) § 74 Проекции сил. Общие условия равновесия (146). § 75. Связи. Силы реакции связей. Тело, закрепленное на оси (149) § 76 Равновесие тела, закрепленного на оси (151). § 77. Момент силы (152). § 78 Измерение момента силы (154). § 79 Пара сил (156) § 80. Сложение параллельных сил. Центр тяжести (157) § 81. Определение центра тяжести тел (159). § 82. Различные случаи равновесия тела под действием силы тяжести (162). § 83 Условия устойчивого равновесия под действием силы тяжести (165) § 84. Простые машины (169) § 85. Клин и винт (175)

Глава IV. Работа и энергия

180

§ 86. «Золотое правило» механики (180) § 87 Применения «золотого правила» (181) § 88. Работа силы (182) § 89. Работа при перемещении, перпендикулярном к направлению силы (184) § 90 Работа силы, направленной под любым углом к перемещению (184) § 91. Положительная и отрицательная работа (185).

§ 92. Единица работы (186). § 93. О движении по горизонтальной плоскости (187). § 94. Работа силы тяжести при движении по наклонной плоскости (187). § 95. Принцип сохранения работы (188). § 96. Энергия (190). § 97. Потенциальная энергия (192). § 98. Потенциальная энергия упругой деформации (194). § 99. Кинетическая энергия (196). § 100. Выражение кинетической энергии через массу и скорость тела (196). § 101. Полная энергия тела (198). § 102. Закон сохранения энергии (199). § 103. Силы трения и закон сохранения механической энергии (203). § 104. Превращение механической энергии во внутреннюю энергию (204). § 105. Всесообщий характер закона сохранения энергии (206). § 106. Мощность (207). § 107. Расчет мощности механизма (208). § 108. Мощность, быстрота действия и размеры механизма (210). § 109. Коэффициент полезного действия механизма (210).

Глава V. Криволинейное движение 213

§ 110. Возникновение криволинейного движения (213). § 111. Ускорение при криволинейном движении (214). § 112. Движение тела, брошенного в горизонтальном направлении (215). § 113. Движение тела, брошенного под углом к горизонту (218). § 114. Полет пули и снарядов (221). § 115. Угловая скорость (222). § 116. Силы при равномерном движении по окружности (224). § 117. Возникновение силы, действующей на тело, движущееся по окружности (226). § 118. Разрыв маховиков (228). § 119. Деформация тела, движущегося по окружности (230). § 120. «Американские горки» (232). § 121. Движение на закруглениях пути (234). § 122. Движение подвешенного тела по окружности (236). § 123. Движение планет (238). § 124. Закон всемирного тяготения (241). § 125. Искусственные спутники Земли (245).

Глава VI. Движение в неинерциальных системах отсчета и силы инерции 253

§ 126. Роль системы отсчета (253). § 127. Движение относительно разных инерциальных систем отсчета (254). § 128. Движение относительно инерциальной и неинерциальной систем отсчета (255). § 129. Поступательно движущиеся неинерциальные системы (257). § 130. Силы инерции (257). § 131. Эквивалентность сил инерции и сил тяготения (260). § 132. Невесомость и перегрузки (262). § 133. Является ли Земля инерциальной системой отсчета? (265). § 134. Вращающиеся системы отсчета (266). § 135. Силы инерции при движении тела относительно вращающейся системы отсчета (268). § 136. Доказательство вращения Земли (270). § 137. Приливы (272).

Глава VII. Гидростатика 275

§ 138. Подвижность жидкости (275). § 139. Силы давления (276). § 140. Измерение сжимаемости жидкости (278). § 141. «Несжимаемая» жидкость (279). § 142. Силы давления в жидкости передаются во все стороны (279). § 143. Направление сил давления (280). § 144. Давление (280). § 145. Мембранный манометр (280).

метр (281). § 146 Независимость давления от ориентации площадки (282). § 147. Единицы давления (283). § 148. Определение сил давления по давлению (284). § 149. Распределение давления внутри жидкости (285). § 150. Закон Паскаля (285). § 151. Гидравлический пресс (287). § 152 Жидкость под действием силы тяжести (288). § 153 Сообщающиеся сосуды (292). § 154. Жидкостный манометр (295). § 155. Устройство водопровода. Нагнетательный насос (296). § 156 Сифон (298). § 157. Сила давления на дно сосуда (299). § 158 Давление воды в морских глубинах (303). § 159. Прочность подводной лодки (306). § 160 Закон Архимеда (307). § 161. Измерение плотности тел на основании закона Архимеда (311). § 162. Плавание тел (312). § 163. Плавание неплывущих тел (315). § 164. Устойчивость плавания кораблей (317). § 165. Всплывание пузырьков (319). § 166. Тела, лежащие на дне сосуда (319).

Глава VIII. Аэростатика 320

§ 167. Механические свойства газов (320). § 168. Атмосфера (321). § 169. Давление атмосферы (322). § 170. Другие опыты, показывающие существование атмосферного давления (324). § 171. Разрежающие насосы (326). § 172. Влияние атмосферного давления на уровень жидкости в трубке (327). § 173. Максимальная высота столба жидкости (330). § 174. Опыт Торричелли. Ртутный барометр и барометр-анероид (332). § 175. Распределение атмосферного давления по высоте (334). § 176. Физиологическое действие пониженного давления воздуха (337). § 177. Закон Архимеда для газов (338). § 178. Воздушные шары и дирижабли (338). § 179. Применение сжатого воздуха в технике (341).

Глава IX. Гидродинамика и аэродинамика 344

§ 180. Давление в движущейся жидкости (344). § 181. Течение жидкости по трубам. Трение жидкости (346). § 182. Закон Бернулли (349). § 183. Жидкость в неинерциальных системах отсчета (352). § 184. Реакция движущейся жидкости и ее использование (354). § 185. Перемещение на воде (357). § 186. Ракеты (359). § 187. Реактивные двигатели (360). § 188. Баллистические ракеты (361). § 189. Вывод ракеты с Земли (363). § 190. Сопротивление воздуха. Сопротивление воды (364). § 191. Эффект Магнуса и циркуляция (368). § 192. Подъемная сила крыла и полет самолета (370). § 193. Турбулентность в потоке жидкости или газа (373). § 194. Ламинарное течение (374).

РАЗДЕЛ ВТОРОЙ

ТЕПЛОТА. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

Глава X. Тепловое расширение твердых и жидких тел 376

§ 195. Тепловое расширение твердых и жидких тел (376). § 196. Термометры (380). § 197. Формула линейного расширения (383). § 198. Формула объемного расширения (386). § 199. Связь между коэффициентами линейного и объемного

расширения (387). § 200 Измерение коэффициента объемного расширения жидкостей (388). § 201. Особенности расширения воды (388).

Глава XI Работа. Теплота. Закон сохранения энергии 390

§ 202 Изменения состояния тел (390). § 203. Нагревание тел при совершении работы (391). § 204. Изменение внутренней энергии тел при теплопередаче (393). § 205. Единицы количества теплоты (394). § 206. Зависимость внутренней энергии тела от его массы и вещества (395). § 207. Теплоемкость тела (396). § 208. Удельная теплоемкость (397). § 209. Калориметр. Измерение теплоемкостей (398). § 210. Закон сохранения энергии (401). § 211. Невозможность «вечного двигателя» (402). § 212. Различные виды процессов, при которых происходит передача теплоты (403).

Глава XII Молекулярная теория 408

§ 213. Молекулы и атомы (408). § 214. Размеры атомов и молекул (409). § 215. Микромир (410). § 216. Внутренняя энергия с точки зрения молекулярной теории (411). § 217. Молекулярное движение (412). § 218. Молекулярное движение в газах, жидкостях и твердых телах (414). § 219. Броуновское движение (415). § 220. Молекулярные силы (415).

Глава XIII Свойства газов 419

§ 221. Давление газа (419). § 222. Зависимость давления газа от температуры (421). § 223. Формула, выражающая закон Шарля (422). § 224. Закон Шарля с точки зрения молекулярной теории (423). § 225. Изменение температуры газа при изменении его объема. Адиабатические и изотермические процессы (424). § 226. Закон Бойля-Мариотта (426). § 227. Формула, выражающая закон Бойля-Мариотта (428). § 228. График, выражающий закон Бойля-Мариотта (429). § 229. Зависимость между плотностью газа и его давлением (430). § 230. Молекулярное толкование закона Бойля-Мариотта (431). § 231. Изменение объема газа при изменении температуры (432). § 232. Закон Гей-Люссака (433). § 233. Графики, выражающие законы Шарля и Гей-Люссака (434). § 234. Термодинамическая температура (435). § 235. Газовый термометр (437). § 236. Объем газа и термодинамическая температура (438). § 237. Зависимость плотности газа от температуры (438). § 238. Уравнение состояния газа (439). § 239. Закон Дальтона (441). § 240. Плотность газов (441). § 241. Закон Авогадро (442). § 242. Моль. Постоянная Авогадро (444). § 243. Скорости молекул газа (445). § 244. Об одном из способов измерения скоростей движения молекул газа (опыт Штерна) (450). § 245. Удельные теплоемкости газов (452). § 246. Молярные теплоемкости (453). § 247. Закон Дюлонга и Пти (455).

Глава XIV Свойства жидкостей 456

§ 248. Строение жидкостей (456). § 249. Поверхностная энергия (457). § 250. Поверхностное натяжение (462). § 251. Жидкостные пленки (465). § 252. Зависимость поверхностного натя-

жения от температуры (467) § 253. Смачивание и несмачивание (468). § 254. Расположение молекул у поверхности тел (471). § 255. Значение кривизны свободной поверхности жидкости (472). § 256. Капиллярные явления (477). § 257. Высота поднятия жидкости в капиллярных трубках (480). § 258. Адсорбция (481). § 259. Флотация (482). § 260. Растворение газов (484). § 261. Взаимное растворение жидкостей (487). § 262. Растворение твердых тел в жидкостях (488).

Глава XV. Свойства твердых тел. Переход тел из твердого состояния в жидкое 490

§ 263. Введение (490). § 264. Кристаллические тела (490). § 265. Аморфные тела (494). § 266. Кристаллическая решетка (495). § 267. Кристаллизация (499). § 268. Плавление и отвердевание (500). § 269. Удельная теплота плавления (501). § 270. Переохлаждение (503). § 271. Изменение плотности веществ при плавлении (506). § 272. Полимеры (506). § 273. Сплавы (509). § 274. Затвердевание растворов (511). § 275. Охлаждающие смеси (511). § 276. Изменения свойств твердого тела (512).

Глава XVI. Упругость и прочность 515

§ 277. Введение (515). § 278. Упругие и пластические деформации (515). § 279. Закон Гука (516). § 280. Растяжение и сжатие (517). § 281. Сдвиг (519). § 282. Кручение (521). § 283. Изгиб (523). § 284. Прочность (525). § 285. Твердость (526). § 286. Что происходит при деформации тел (527). § 287. Изменение энергии при деформации тел (525).

Глава XVII. Свойства паров 530

§ 288. Введение (530). § 289. Пар насыщенный и ненасыщенный (530). § 290. Что происходит при изменении объема жидкости и насыщенного пара (532). § 291. Закон Дальтона для пара (534). § 292. Молекулярная картина испарения (535). § 293. Зависимость давления насыщенного пара от температуры (536). § 294. Кипение (538). § 295. Удельная теплота парообразования (542). § 296. Охлаждение при испарении (545). § 297. Изменение внутренней энергии при переходе вещества из жидкого состояния в парообразное (547). § 298. Испарение при кривых поверхностях жидкости (548). § 299. Перегревание жидкости (549). § 300. Пересыщенные пары (550). § 301. Насыщенные пары при возгонке (551). § 302. Превращение газа в жидкость (552). § 303. Критическая температура (553). § 304. Сжижение газов в технике (557). § 305. Вакуумная техника (560). § 306. Водяной пар в атмосфере (562).

Глава XVIII. Физика атмосферы 565

§ 307. Атмосфера (565). § 308. Тепловой баланс Земли (566). § 309. Адиабатические процессы в атмосфере (568). § 310. Облака (569). § 311. Искусственные осадки (571). § 312. Ветер (572). § 313. Предсказание погоды (573).

Глава XIX. Тепловые машины	376
§ 314. Условия, необходимые для работы тепловых двигателей (576). § 315. Паросиловая станция (577). § 316. Паровой котел (578). § 317. Паровая турбина (579). § 318. Поршневая паровая машина (581). § 319. Конденсатор (582). § 320. Коэффициент полезного действия теплового двигателя (583). § 321. Коэффициент полезного действия паросиловой станции (584). § 322. Бензиновый двигатель внутреннего сгорания (586). § 323. Коэффициент полезного действия двигателя внутреннего сгорания (590). § 324. Двигатель Дизеля (591). § 325. Реактивные двигатели (593). § 326. Передача теплоты от холодного тела к горячему (593).	
Ответы и решения к упражнениям	597
Предметный указатель	601

От издательства

Двенадцатое издание «Элементарного учебника физики» под редакцией академика Г. С. Ландсберга воспроизводит текст предыдущего, одиннадцатого издания, выпускающегося в рамках Международной соросовской программы образования в области точных наук Института «Открытое общество» для соросовских учителей.

Впервые учебник вышел в свет в 1948–1952 годах, так что многолетний труд авторов, положенный на его составление, содействует изучению физики уже в течение полувека. На протяжении всего этого времени непрерывно проводилась модернизация содержания учебника, однако принцип его построения и принятый в нем метод изложения основ физики, сформулированные в предисловии к «Элементарному учебнику физики» его инициатором и организатором Г. С. Ландсбергом (1890–1957), оставались неизменными.

Несомненный успех и столь долгая жизнь «Элементарного учебника физики», оказавшего существенное влияние на преподавание школьной физики и ставшего настольной книгой для многих школьников и абитуриентов, обусловлены прежде всего теми историческими условиями, в которых создавался этот учебник.

На физико-математическом (позднее на физическом) факультете Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова в двадцатых годах прошлого века сложились имеющие мировое признание научно-педагогические школы Л. И. Мандельштама–Г. С. Ландсберга и С. И. Вавилова, во многом определившие развитие физической науки и совершенствование методов ее преподавания.

Успешному руководству школьным образованием способствовало органическое сочетание активной передовой научной работы представителей этих школ и многолетнее чтение ими университетских курсов физики, завершившееся созданием соответствующих учебников (см. списки литературы в конце каждого тома). Научно-педагогическая школа Л. И. Мандельштама–Г. С. Ландсберга сочла своим долгом внести вклад в дело изучения основ

физики, необходимых для всех учащихся независимо от их будущих специальностей.

Отличительной чертой созданного курса физики является то, что он содержит сравнительно мало формул и математических выкладок. Главное внимание в учебнике обращено на разъяснение сущности физических явлений, причем сделано это на высоком научном уровне и вместе с тем в форме, доступной школьнику. Достоинством курса следует признать описание большого числа применений физических законов к объяснению явлений природы и техники. В этом отношении, пожалуй, курс не имеет себе равных в мировой учебной литературе по физике.

В создании «Элементарного учебника физики» принимали участие М. А. Исакович, М. А. Леонтович, Д. И. Сахаров, С. Э. Хайкин (том I), С. Г. Калашников, Л. А. Тумерман (том II), Ф. С. Ландсберг-Барышанская, С. М. Рытов, М. М. Сушинский, Ф. Л. Шапиро, И. А. Яковлев (том III). Общее руководство авторским коллективом и редактирование учебника осуществлялось Г. С. Ландсбергом.

К модернизации курса со временем его первого выхода в свет привлекалось большое число специалистов в различных областях физики. Их труд во многом способствовал постоянному обновлению содержания учебника при переизданиях и продлению его жизни. Текст §§ 199, 200 тома III для одиннадцатого издания курса заново написан Б. М. Болотовским.

Подготовка «Элементарного учебника физики» к одиннадцатому изданию выполнена И. А. Яковлевым.

Глава I КИНЕМАТИКА

§ 1. Движение тел. Механическим движением тела называется *изменение с течением времени его положения по отношению к другим телам*.

Мы постоянно встречаемся с движением тел в повседневной жизни, в технике и науке. Мы наблюдаем движения людей, животных, движения воды в реках и морях, движения воздуха (ветер). Движения совершают различные средства транспорта, всевозможные механизмы, станки, приборы, снаряды и т. д. В мировом пространстве движутся Земля и другие планеты, кометы, метеорные тела (рис. 1). Луна, искусственные спутники Земли и космические корабли, посланные к другим планетам Солнеч-



Рис. 1. Метеор на ночном небе

ной системы, движется Солнце относительно других звезд и звезды друг относительно друга. Движутся молекулы, атомы, электроны, протоны, альфа-частицы (рис. 2) и другие элементарные частицы (мельчайшие частицы вещества). Практически все физические явления сопровождаются движениями тел. Поэтому

изучение физики мы начнем с изучения движения тел. Этот раздел физики называют механикой.

Слово «механика» произошло от греческого слова «механэ» — машина, приспособление. Уже в древности египтяне, а затем греки, римляне и другие народы строили различные машины, применявшиеся для транспорта, в строительстве, в военном деле (рис. 3). При действии этих машин происходило движение их частей: рычагов, колес, канатов и т. д., а также поднимаемых и перемещаемых грузов. Изучение действия этих машин и привело к зарождению науки о движении тел — механики.

К механике относят и нахождение условий, при которых тела остаются в покое, — условий равновесия. Такие вопросы играют решающую роль в строительном деле. Когда рассыпается домик, построенный из кубиков, или рухнет здание или мост, — это значит, что условия равновесия для этих тел были нарушены.

Двигаться могут не только материальные тела. Подобно тому как мы говорим о движении летящей пули или брошенного камня, можно говорить о движении солнечного зайчика, перемещающегося по стене при повороте зеркальца, или о движении тени, отбрасываемой освещенным предметом, и т. п.

Световые сигналы и радиосигналы затрачивают весьма малое время на прохождение даже значительных расстояний (например, они проходят путь от Земли до Луны и обратно всего за 2,5 секунды). Поэтому в обычных условиях на Земле при небольших расстояниях может показаться, что свет или радиосигнал пробегает расстояние между двумя пунктами мгновенно. Однако это неверно: свет, как и материальные тела, должен затратить на такой пробег какое-то определенное, хотя и малое время. Но обнаружить и измерить время, затрачиваемое светом на пробег тех или иных расстояний, очень трудно. Это удалось



Рис. 2. Быстро движущиеся альфа-частицы, пролетая в камере Вильсона, оставляют за собой туманный след из водяных капелек



Рис. 3. Метательное орудие древних греков

впервые сделать только в XVII веке, изучение же движения материальных тел и звуковых сигналов началось еще в древности.

Вопросы перемещения сигналов более сложны, чем вопросы перемещения материальных тел. Они будут изучаться в томе III.

§ 2. Кинематика. Относительность движения и покоя. Для изучения движения тел научимся прежде всего *описывать* движения. При этом вначале не будем выяснять, как возникают эти движения. Раздел механики, в котором движения изучаются без исследования причин, их вызывающих, называют *кинематикой*.

Движение каждого тела можно рассматривать по отношению к любым другим телам. По отношению к разным телам данное тело будет совершать различные движения: чемодан, лежащий на полке в вагоне идущего поезда, относительно вагона покоится, но относительно Земли движется. Воздушный шар, уносимый ветром, относительно Земли движется, но относительно воздуха покоится. Самолет, летящий в строю эскадрильи, относительно других самолетов строя покоится, но относительно Земли он движется с большой скоростью, например 800 километров в час, а относительно такого же встречного самолета он движется со скоростью 1600 километров в час.

В кинофильмах часто показывают одно и то же движение относительно разных тел: например, показывают поезд, движущийся на фоне пейзажа (движение относительно Земли), а

затем — купе вагона, за окном которого видны мелькающие деревья (движение относительно вагона).

Всякое движение, а также покой тела (как частный случай движения) *относительны*. Отвечая на вопрос, покоится тело или движется и как именно движется, необходимо указать, относительно каких тел рассматривается движение данного тела. Иначе никакое высказывание о его движении не может иметь смысла.

Тела, относительно которых рассматривается данное движение, называют *системой отсчета*. Выбор системы отсчета при изучении данного движения делают в зависимости от условий задачи. Так, чтобы попасть во вражеский самолет с земной поверхности, нужно установить прицел, исходя из скорости самолета в системе отсчета «Земля» (в нашем примере — 800 км/ч), а чтобы попасть в этот же самолет со встречного самолета, надо исходить из скорости цели в системе отсчета «встречный самолет» (1600 км/ч). При изучении движений на поверхности Земли обычно принимают за систему отсчета Землю (хотя, как сказано, можно выбрать за систему отсчета и поезд, и самолет, и любое другое тело). Изучая движение Земли в целом или движение планет, принимают за систему отсчета Солнце и звезды. Как увидим в гл. II, эта система особенно удобна при изучении законов динамики.

☞ 2.1. Будет ли развеваться флажок, укрепленный на корзине воздушного шара, уносимого ветром?

§ 3. Траектория движения. Для описания движения тела нужно указать, как меняется положение его точек с течением времени. При движении тела каждая его точка описывает некоторую линию — *траекторию движения*. Проводя мелом по доске, мы оставляем на ней след — траекторию движения кончика мела. Рукопись — это траектория кончика пера. Светящийся след метеорного тела на ночном небе (рис. 1), туманные следы альфа-частиц (рис. 2) — это траектории метеорного тела и альфа-частиц. В ожидании солнечного затмения астрономы заранее вычисляют траекторию движения лунной тени по поверхности Земли. На рис. 4 показана такая траектория для ближайшего полного затмения, которое будет видно в Москве.

Так как движение относительно, то *траектория может зависеть от выбора системы отсчета*. Например, в безветренную погоду струи дождя представляются вертикальными, если за ними следить из окна стоящего вагона; капли оставляют



Рис. 4. Траектория центра лунной тени во время затмения, которое произойдет 16 октября 2126 г.

на оконных стеклах вертикальные следы. Но если поезд тронулся, то по отношению к идущему вагону струи дождя представятся косыми, дождевые капли будут оставлять на стеклах наклонные следы, причем наклон будет тем больше, чем больше скорость поезда. На рис. 5 изображена траектория, которую



Рис. 5. Точка P на ободке катящегося колеса описывает относительно земной поверхности траекторию, изображенную на рисунке (циклоиду)

описывает относительно земной поверхности точка P на ободке колеса, катящегося по прямой дороге. Относительно телеги траекторией точки P будет, конечно, сама окружность обода.

§ 4. Поступательное и вращательное движения тела. Траектории разных точек тела могут быть различными. Это можно наглядно показать, например, быстро двигая в темной комнате тлеющую с двух концов лучинку. Глаз имеет свойство сохранять зрительное впечатление в течение примерно 0,1 секунды, поэтому мы воспримем траектории тлеющих концов как светящиеся линии и сможем сравнить обе траектории (рис. 6).

Наиболее простое движение тела — такое, при котором все точки тела движутся одинаково, описывая одинаковые траектории. Такое движение называется *поступательным*. Мы получим этот тип движения, двигая лучинку так, чтобы она все время оставалась параллельной самой себе. При поступательном движении траектории могут быть как прямыми (рис. 7, а),



Рис. 6. Траектории AA' и BB' тлеющих концов лутинки различны

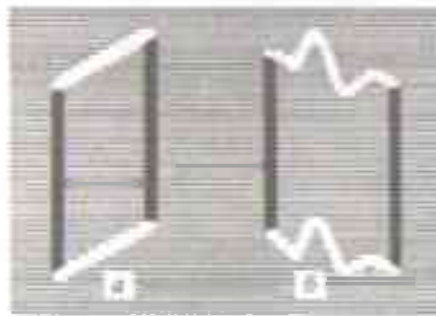


Рис. 7. Поступательное движение лутинки

так и кривыми (рис. 7, б) линиями. Можно доказать, что при поступательном движении любая прямая, проведенная в теле, остается параллельной самой себе. Этим характерным признаком удобно пользоваться, чтобы ответить на вопрос, является ли данное движение тела поступательным. Например, при качении цилиндра по плоскости прямые, пересекающие ось, не остаются параллельными самим себе: качение — это не поступательное движение. При движении рейсшины и угольника по чертежной доске любая прямая, проведенная в них, остается параллельной самой себе, значит, они движутся поступательно (рис. 8). Поступательно движется игла швейной машины, поршень в цилиндре паровой машины или двигателя внутреннего сгорания, кузов автомашины (но не колеса!) при езде по прямой дороге и т. д.

Другой простой тип движения — это вращательное движение тела, или вращение. При вращательном движении все точки тела движутся по окружностям, центры которых лежат

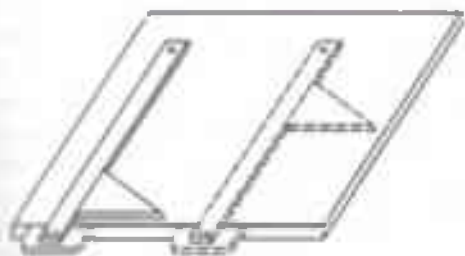


Рис. 8. Рейсшина и угольник движутся на чертежной доске поступательно

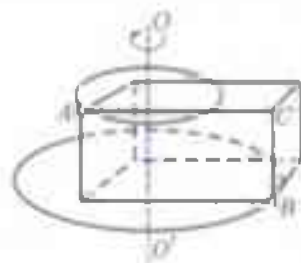


Рис. 9. Вращение бруска вокруг оси OX . Показаны траектории точек A и B

на прямой. Эту прямую называют *осью вращения* (прямая OO' на рис. 9). Окружности лежат в параллельных плоскостях, перпендикулярных к оси вращения. Точки тела, лежащие на оси вращения, остаются неподвижными. Вращение не является поступательным движением: при вращении остаются параллельными самим себе только прямые, параллельные оси вращения (например, прямая BC на рис. 9).

Суточное движение Земли — вращательное движение. Колебания маятника стенных часов — это тоже вращательное движение. Вращение весьма часто встречается в технике: вращаются колеса, блоки, валы и оси различных механизмов, кривошипные валы, пропеллеры самолетов, стрелки приборов и т. д.

☞ 4.1. Является ли поступательным движение педалей при езде на велосипеде (без свободного хода)?

§ 5. Движение точки. Для описания движения тела нужно, вообще говоря, знать, как движутся различные его точки. Но если тело движется поступательно, то все его точки движутся одинаково. Поэтому для описания поступательного движения тела достаточно описать движение какой-либо одной его точки. Если разные точки тела движутся по-разному, то иногда все же можно ограничиться описанием движения только одной точки: это касается случаев, когда нас интересует только изменение положения тела как целого, например при изучении полета пули, полета самолета, движения корабля в море, движения планеты вокруг Солнца и т. п. Так, изучая движение планеты вокруг Солнца, достаточно описать движение ее центра.

Таким образом, в ряде случаев описание движения тела сводится к описанию движения точки.

Разные движения точки различаются между собой в первую очередь по виду траектории. Если траектория — прямая линия, то движение точки называют *прямолинейным*, если траектория — кривая линия, то движение называют *криволинейным*. По отношению к движению тела в целом имеет смысл говорить о прямолинейном и криволинейном движении только в тех случаях, когда можно ограничиться описанием движения только одной точки тела. Вообще же говоря, некоторые точки тела могут двигаться прямолинейно, в то время как другие его точки движутся криволинейно.

Прямолинейное движение точки — наиболее простое. До § 25 мы будем изучать только прямолинейное движение.

Б.1. Какие точки цилиндра, катящегося по плоскости, движутся прямолинейно?

§ 6. Описание движения точки. Траектория движения указывает все положения, которые занимала точка; но, зная траекторию, еще ничего нельзя сказать о том, быстро или медленно проходила точка отдельные участки траектории, с остановками или без остановок и т. д. Чтобы получить такое полное описание движения, нужно еще знать, в какой момент точка занимала то или иное положение на траектории. Для этого достаточно каким-либо способом разметить все точки траектории и «привязать» каждую из них к моменту прохождения через нее движущейся точки.

На железных и шоссейных дорогах подобную разметку осуществляют, расставляя вдоль дороги километровые столбы, по которым легко определить, на каком расстоянии от начальной точки находится поезд или автомашина. Число, написанное на столбе, мимо которого проходит поезд, непосредственно дает расстояние x от начальной точки, за которую обычно выбирают большой город, лежащий на этой дороге.

Начнем с рассмотрения движения точки по прямолинейной траектории. В этом случае прямую, вдоль которой происходит движение, можно принять за ось x , поместив начало координат O в произвольной точке (рис. 10). Тогда положение точки на траектории будет определяться отрезком, отложенным от точки O до данной точки (см. отрезки OA и OB на рис. 10). Чтобы раз-



Рис. 10. Разметка прямолинейной траектории

личать точки, находящиеся по разные стороны от O , положение точек, для которых отрезок откладывается в направлении оси x , определяется длиной отрезка, взятой со знаком плюс (точка A на рис. 10), а положение точек, для которых отрезок откладывается в направлении, противоположном оси x , — длиной отрезка, взятой со знаком минус (точка B на рис. 10). Длина отрезка, взятая с соответствующим знаком, называется *координатой x* точки. Так, например, координата точки A на рис. 10 есть $x_A = 2,5$, а координата точки B есть $x_B = -3,5$.

Пусть точка в своем движении перешла из точки A в точку B (рис. 11). Отрезок AB , идущий от начальной точки к конечной,

называется *перемещением* точки ¹⁾. Длина отрезка всегда выражается положительным числом. Мы будем называть это число *модулем перемещения*.

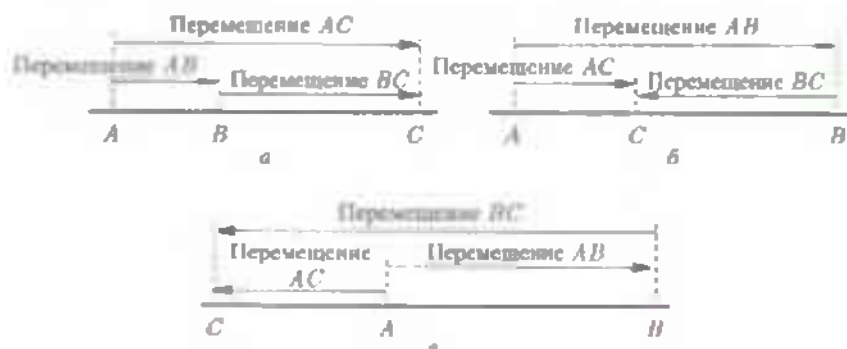


Рис. 11. Сложение перемещений: а) одинакового направления, б) и в) противоположных направлений

Если точка совершила последовательно два перемещения AB и BC , то ее результирующим перемещением будет AC . Из рис. 11 видно, что в случае, когда складываемые перемещения имеют одинаковое направление (рис. 11, а), направление результирующего перемещения совпадает с направлением слагаемых, а модуль результирующего перемещения равен сумме модулей слагаемых. Если же складываемые перемещения направлены в противоположные стороны (рис. 11, б и в), направление результирующего перемещения совпадает с направлением того из слагаемых, у которого модуль больше. Модуль же результирующего перемещения равен абсолютному значению разности модулей слагаемых:

$$\text{модуль } AC' = |\text{модуль } AB - \text{модуль } BC|.$$

Пройденное точкой расстояние, отсчитанное вдоль траектории, называется *путем*. Путь, обозначаемый обычно буквой s , всегда выражается положительным числом. Если в течение рассматриваемого промежутка времени направление движения не изменяется, то путь (в случае прямолинейного движения) совпадает с модулем перемещения. Если направление движения меняется, то нужно разбить рассматриваемый промежуток времени (например, время t_{AC} , за которое точка получила перемещение AC') на промежутки, в течение каждого из которых направ-

¹⁾ Более общее объяснение физических свойств перемещения см. в § 23.

ление движения оставалось неизменным, вычислить для каждого из этих промежутков пройденный точкой путь и затем сложить вместе все эти пути. Например, если в случае, изображенном на рис. 11, б, в ходе перемещений AB и BC направление движения не изменялось, то путь, пройденный за время t_{AC} , будет равен сумме модулей перемещений AB и BC .

Для «привязки» размеченных точек траектории к моментам прохождения через них движущейся точки выбирают какой-либо момент времени за начальный и для каждого положения движущейся точки на траектории замечают промежуток времени, прошедший от выбранного начального момента. Промежутки времени будем обозначать буквой t .

На железной дороге такую привязку может осуществить пассажир поезда, замечая по своим часам моменты прохождения поезда мимо километровых столбов. То же могут выполнить с дороги наблюдатели, отмечающие по станционным часам момент прохождения поезда мимо каждой станции. Спортивные судьи, «засекающие» по точным часам момент прохождения лыжником финишной черты на гонках или момент пролета самолета над контрольным пунктом, также осуществляют «привязку» положения движущегося тела на траектории к соответственному моменту времени; при этом за начальный момент принимается момент старта.

В школьных опытах для подобной привязки можно пользоваться капельницей (рис. 12), устанавливаемой на движущемся теле, например на тележке или заводном автомобиле. Чернильные капли, падающие через равные промежутки времени, отмечают положение тела на его траектории и моменты падения капель. Момент падения какой-либо определенной капли принимают за начальный момент времени.

При изучении движений иногда применяют стробоскопический метод наблюдений. Стробоскопом называют всякий прибор, дающий прерывистое освещение с короткими временами освещенности и одинаковыми промежутками времени между ними. Можно применить прибор, в котором через равные промежутки времени создаются короткие импульсы тока, вызывающие яркие вспышки света в специальной лампе. Непрозрачный диск с прорезью, вращающийся перед непрерывно горящей лампой, также создает стробоскопическое освещение.



Рис. 12 Капельница

Пусть, например, изучается движение шарика, скатывающегося по желобу. Если производить опыт в темноте и освещать шарик стробоскопом, то шарик будет виден только в тех положениях, в которых его освещает вспышка. Если вдоль желоба расположена линейка с делениями, то она также окажется освещенной, и можно зарегистрировать те положения шарика относительно линейки, которые он занимал в моменты вспышек (рис. 13). Чтобы зарегистрировать все положения шарика, получающуюся картину можно сфотографировать, открыв затвор фотоаппарата на все время движения шарика.

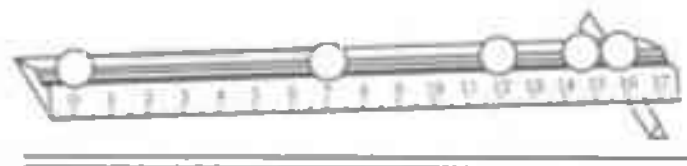


Рис. 13 Шарик, скатывающийся по желобу, видимый при стробоскопическом освещении (по фотографии)

При помощи стробоскопа можно увидеть одновременно ряд отдельных положений предмета, и не пользуясь фотографией. Если за 0,1 секунды происходит несколько последовательных вспышек стробоскопа, то, благодаря свойству глаза сохранять зрительное впечатление, мы будем видеть несколько последовательных положений шарика. Сходную картину мы увидим, размахивая блестящей палочкой, освещенной лампой дневного света или другой газоразрядной лампой: такие лампы, питаемые переменным током, дают сто вспышек в секунду, что позволяет видеть одновременно целый ряд последовательных положений палочки. Можно также увидеть несколько положений руки, размахивая ею в темном кинозале во время демонстрации фильма (24 вспышки в секунду).

«Привязав» каких-либо способом отдельные положения движущейся точки к соответственным моментам времени, мы получим полное описание движения точки. Это значит, что мы будем знать все положения точки и для каждого из этих положений сможем найти расстояние по траектории от начальной точки и промежутки времени, протекший от начального момента.

Таким образом, в основе всякого описания движения точки лежат измерения длин и промежутков времени. Заметим, что начальную точку на траектории и начальный момент времени можно выбирать как угодно, в зависимости от удобства рассмот-

рения данного движения. Движущаяся точка не обязательно должна находиться в положении $x = 0$ в момент времени $t = 0$.

§ 7. Измерение длины. Основной единицей длины служит метр (м). Первоначально за образец (эталон) метра было принято расстояние между двумя штрихами на специально изготовленном платино-иридиевом стержне длины 102 см, хранящемся в Международном бюро мер и весов в Париже (рис. 14). Материал и форма сечения стержня и условия его хранения были выбраны так, чтобы наилучшим образом обеспечить неизменность образца. В частности, были приняты меры для поддержания постоянной температуры стержня. Тщательно выполненные вторичные эталоны — копии этого образца — хранятся в институтах мер и весов разных стран.



Рис. 14. Первоначальный эталон метра (общий вид и сечение)

Предполагалось изготовить образец метра равным одной сорокатысячной части длины земного меридиана. Когда выяснилась недостаточная точность измерений на земной поверхности, то не стали заменять изготовленный образец или вносить поправки на основе более точных измерений, а решили сохранить сам образец в качестве единицы длины. Этот образец примерно на 0,2 мм меньше, чем $1/40\,000\,000$ часть меридиана.

Кроме этой основной единицы, применяют и другие единицы — десятичные кратные и дольные от метра ¹⁾:

¹⁾ Десятичные кратные и дольные единицы, а также их наименования и обозначения следует образовывать с помощью множителей и приставок, например, 10^9 — гига (Г), 10^6 — мега (М), 10^3 — кило (к), 10^2 — гекто (г), 10^{-1} — деци (д), 10^{-2} — санти (с), 10^{-3} — милли (м), 10^{-6} — микро (мк), 10^{-9} — нано (н).

ЭЛЕМЕНТАРНЫЙ УЧЕБНИК ФИЗИКИ

под редакцией академика
Г.С. Ландсберга

II

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО
И
МАГНЕТИЗМ



ОГЛАВЛЕНИЕ

Из предисловия к первому изданию.....	8
Глава I. Электрические заряды.....	9
§ 1. Электрическое взаимодействие (9) § 2. Проводники и диэлектрики (11). § 3. Разделение тел на проводники и диэлектрики (13). § 4. Положительные и отрицательные заряды (15). § 5. Что происходит при электризации? (17). § 6. Электронная теория (19). § 7. Электризация трением (21). § 8. Электризация через влияние (23) § 9. Электризация под действием света. Фотоэлектрический эффект (27) § 10. Закон Кулона (28). § 11. Единица заряда (30).	
Глава II. Электрическое поле.....	33
§ 12. Действие электрического заряда на окружающие тела (33). § 13. Понятие об электрическом поле (34) § 14. Напряженность электрического поля (36) § 15. Сложение полей (38) § 16. Электрическое поле в диэлектриках и в проводниках (40). § 17. Графическое изображение полей (41) § 18. Основные особенности электрических карт (44). § 19. Применение метода линий поля к задачам электростатики (45). § 20. Работа при перемещении заряда в электрическом поле (48). § 21. Разность потенциалов (электрическое напряжение) (51). § 22. Эквипотенциальные поверхности (54). § 23. В чем смысл введения равенности потенциалов? (55) § 24. Условия равновесия зарядов в проводниках (58). § 25. Электрометр (59) § 26. В чем различие между электрометром и электроскопом? (62). § 27. Соединение с Землей (63). § 28. Измерение разности потенциалов в воздухе. Электрический зонд (65). § 29. Электрическое поле Земли (66). § 30. Простейшие электрические поля (67). § 31. Распределение зарядов в проводнике. Клетка Фарадея (70). § 32. Поверхностная плотность заряда (74) § 33. Конденсаторы (75). § 34. Различные типы конденсаторов (80) § 35. Параллельное и последовательное соединение конденсаторов (82) § 36. Диэлектрическая проницаемость (85). § 37. Почему электрическое поле ослабляется внутри диэлектрика? Поляризация диэлектрика (88). § 38. Энергия заряженных тел. Энергия электрического поля (91).	

- Глава III. Постоянный электрический ток** 94
- § 39 Электрический ток и электродвижущая сила (94) § 40 Признаки электрического тока (100) § 41 Направление тока (103) § 42 Сила тока (103) § 43 «Скорость электрического тока» и скорость движения носителей заряда (105) § 44 Гальванометр (106) § 45 Распределение напряжения в проводнике с током (108) § 46 Закон Ома (109) § 47 Сопротивление проводов (111) § 48 Зависимость сопротивления от температуры (114) § 49 Сверхпроводимость (117) § 50 Последовательное и параллельное соединение проводников (119) § 51 Реостаты (122) § 52 Распределение напряжения в цепи. «Потери» в проводах (123) § 53 Вольтметр (126) § 54 Каким должно быть сопротивление вольтметра и амперметра? (127) § 55 Шунтирование измерительных приборов (128).
- Глава IV. Тепловое действие тока** 130
- § 56 Нагревание током. Закон Джоуля-Ленца (130) § 57 Работа, совершаемая электрическим током (131) § 58 Мощность электрического тока (132) § 59 Контактная сварка (134) § 60 Электрические нагревательные приборы. Электрические печи (135) § 61 Понятие о расчете нагревательных приборов (136) § 62 Лампы накаливания (138) § 63 Короткое замыкание. Плавкие предохранители (140) § 64 Электрическая проводка (142)
- Глава V. Прохождение электрического тока через электролиты** 144
- § 65 Первый закон Фарадея (144) § 66 Второй закон Фарадея (146) § 67 Ионная проводимость электролитов (148) § 68 Движение ионов в электролитах (151) § 69 Элементарный электрический заряд (151) § 70 Первичные и вторичные процессы при электролизе (153) § 71 Электролитическая диссоциация (155) § 72 Градуировка амперметров при помощи электролиза (157) § 73 Технические применения электролиза (158)
- Глава VI. Химические и тепловые генераторы тока** 161
- § 74 Введение. Открытие Вольты (161) § 75 Правило Вольты. Гальванический элемент (162) § 76 Как возникают э.д.с. и ток в гальваническом элементе? (165) § 77 Поляризация электродов (170) § 78 Деполяризация в гальванических элементах (172) § 79 Аккумуляторы (174) § 80 Закон Ома для замкнутой цепи (177) § 81 Напряжение на зажимах источника тока и э.д.с. (179) § 82 Соединение источников тока (182) § 83 Термоэлементы (187) § 84 Термоэлементы в качестве генераторов (189) § 85 Измерение температуры с помощью термоэлементов (190)
- Глава VII. Прохождение электрического тока через металлы** 194
- § 86. Электронная проводимость металлов (194) § 87 Структура металлов (197) § 88 Причина электрического сопротивле-

ния (196). § 89. Работа выхода (199). § 90. Испускание электронов накаливаемыми телами (201).

Глава VIII. Прохождение электрического тока через газы 204

§ 91. Самостоятельная и несамостоятельная проводимость газов (204). § 92. Несамостоятельная проводимость газа (205). § 93. Искровой разряд (208). § 94. Молния (211). § 95. Коронный разряд (213). § 96. Применения коронного разряда (214). § 97. Громоотвод (216). § 98. Электрическая дуга (217). § 99. Применения дугового разряда (220). § 100. Тлеющий разряд (221). § 101. Что происходит при тлеющем разряде? (222). § 102. Катодные лучи (224). § 103. Природа катодных лучей (225). § 104. Каналовые лучи (231). § 105. Электронная проводимость в высоком вакууме (231). § 106. Электронные лампы (232). § 107. Электронно-лучевая трубка (236).

Глава IX. Прохождение электрического тока через полупроводники 239

§ 108. Природа электрического тока в полупроводниках (239). § 109. Движение электронов в полупроводниках. Полупроводники с электронной и дырочной проводимостью (243). § 110. Полупроводниковые выпрямители (248). § 111. Полупроводниковые фотоэлементы (253).

Глава X. Основные магнитные явления 255

§ 112. Естественные и искусственные магниты (255). § 113. Полюсы магнита и его нейтральная зона (258). § 114. Магнитное действие электрического тока (260). § 115. Магнитные действия тока и постоянных магнитов (263). § 116. Присхождение магнитного поля постоянных магнитов. Опыт Кулона (269). § 117. Гипотеза Ампера об элементарных электрических токах (272).

Глава XI. Магнитное поле 275

§ 118. Магнитное поле и его проявления. Магнитная индукция (275). § 119. Магнитный момент. Единица магнитной индукции (277). § 120. Измерение магнитной индукции поля с помощью магнитной стрелки (276). § 121. Сложение магнитных полей (279). § 122. Линии магнитного поля (280). § 123. Приборы для измерения магнитной индукции (282).

Глава XII. Магнитные поля электрических токов 284

§ 124. Магнитное поле прямолинейного проводника и кругового витка с током. Правило буравчика (284). § 125. Магнитное поле соленоида. Эквивалентность соленоида и полосового магнита (287). § 126. Магнитное поле внутри соленоида. Напряженность магнитного поля (290). § 127. Магнитное поле движущихся зарядов (292).

Глава XIII. Магнитное поле Земли 295

§ 128. Магнитное поле Земли (295). § 129. Элементы земного магнетизма (297). § 130. Магнитные аномалии и магнитная разведка

полезных ископаемых (301). § 131. Изменение элементов земного магнетизма с течением времени. Магнитные бури (301).

- Глава XIV. Силы, действующие в магнитном поле на проводники с током** 303
- § 132. Введение (303). § 133. Действие магнитного поля на прямолинейный проводник с током. Правило левой руки (303). § 134. Действие магнитного поля на виток или соленоид с током (308). § 135. Гальванометр, основанный на взаимодействии магнитного поля и тока (314). § 136. Сила Лоренца (315). § 137. Сила Лоренца и полярные сияния (320).
- Глава XV. Электромагнитная индукция** 323
- § 138. Условия возникновения индукционного тока (323). § 139. Направление индукционного тока. Правило Ленца (329). § 140. Основной закон электромагнитной индукции (334). § 141. Электродвижущая сила индукции (336). § 142. Электромагнитная индукция и сила Лоренца (339). § 143. Индукционные токи в массивных проводниках. Токи Фуко (340).
- Глава XVI. Магнитные свойства тел** 345
- § 144. Магнитная проницаемость железа (345). § 145. Магнитная проницаемость различных веществ. Вещества парамагнитные и диамагнитные (349). § 146. Движение парамагнитных и диамагнитных тел в магнитном поле. Опыты Фарадея (351). § 147. Молекулярная теория магнетизма (353). § 148. Магнитная защита (355). § 149. Особенности ферромагнитных тел (357). § 150. Основы теории ферромагнетизма (362).
- Глава XVII. Переменный ток** 365
- § 151. Постоянная и переменная электродвижущая сила (365). § 152. Опытное исследование формы переменного тока. Осциллограф (369). § 153. Амплитуда, частота и фаза синусоидального переменного тока и напряжения (372). § 154. Сила переменного тока (375). § 155. Амперметры и вольтметры переменного тока (377). § 156. Самоиндукция (378). § 157. Индуктивность катушки (381). § 158. Прохождение переменного тока через конденсатор и катушку с большой индуктивностью (382). § 159. Закон Ома для переменного тока. Емкостное и индуктивное сопротивления (385). § 160. Сложение токов при параллельном включении сопротивлений в цепь переменного тока (388). § 161. Сложение напряжений при последовательном соединении сопротивлений в цепи переменного тока (392). § 162. Сдвиг фаз между током и напряжением (393). § 163. Мощность переменного тока (397). § 164. Трансформаторы (399). § 165. Централизованное производство и распределение электрической энергии (404). § 166. Выпрямление переменного тока (408).
- Глава XVIII. Электрические машины: генераторы, двигатели, электромагниты** 414
- § 167. Генераторы переменного тока (414). § 168. Генераторы постоянного тока (418). § 169. Генераторы с независимым возбужде-

нием и с самовозбуждением (426). § 170. Трехфазный ток (431). § 171. Трехфазный электродвигатель (436). § 172. Электродвигатели постоянного тока (445). § 173. Основные рабочие характеристики и особенности двигателей постоянного тока с параллельным и последовательным возбуждением (449). § 174. Коэффициент полезного действия генератора и двигателя (455). § 175. Обратимость электрических генераторов постоянного тока (456). § 176. Электромагниты (457). § 177. Применение электромагнитов (459). § 178. Реле и их применения в технике и автоматике (461).

Ответы и решения к упражнениям	464
Приложения	477
Предметный указатель	479

Из предисловия к первому изданию

Настоящий второй том «Элементарного учебника физики» содержит учение об электрических и магнитных явлениях. В него не вошли вопросы электромагнитных колебаний и волн, ибо по задуманной нами схеме эти вопросы связаны с общим учением о колебаниях и волнах и составляют содержание третьего тома вместе с вопросами акустики и оптики.

Общая установка, руководившая нами при составлении этого тома, отражена в предисловии к первому тому. Имея в виду, что материал этого тома изучается в десятом классе средней школы, мы рассчитывали на более высокий уровень развития учащихся. Математические выкладки и в этом томе занимают очень мало места и почти целиком сосредоточены в мелком шрифте.

В составлении этого тома принимали участие С. Г. Калашников и Л. А. Тумерман.

Москва, июнь 1949 г.

Гр. Ландсберг

Глава I. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЗАРЯДЫ

§ 1. Электрическое взаимодействие. Подвесим на шелковой нити легкий грузик, например бумажную гильзу. Потрем о шелковую материю стеклянную палочку и поднесем ее к грузику. Мы увидим, что гильза сначала притянется к палочке, но затем, после соприкосновения со стеклом, от него оттолкнется (рис. 1). Прикоснемся теперь той же натертой палочкой к другой такой же гильзе, уберем стекло и приблизим гильзы друг к другу. Они оттолкнутся друг от друга (рис. 2).

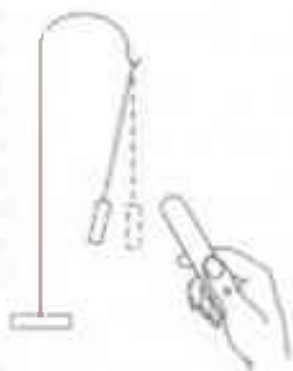


Рис. 1. Бумажная гильза отталкивается от зарядившей ее стеклянной палочки

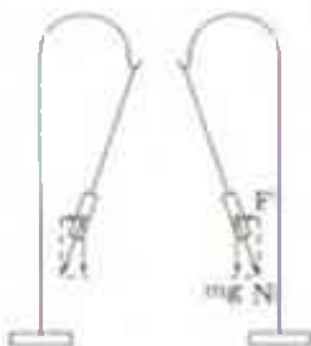


Рис. 2. Две подвешенные на шелковых нитях бумажные гильзы, заряженные от стеклянной палочки, отталкиваются друг от друга: mg — сила тяжести, действующая на гильзу. F — электрическая сила. N — сила, уравновешивающая силу натяжения нити

До соприкосновения с натертой стеклянной палочкой подвешенные грузики под действием силы тяжести и силы натяжения нити оказывались в равновесии в вертикальном положении. Теперь их положение равновесия иное. Следовательно, кроме уже упомянутых сил, на грузики действуют еще какие-то силы. Эти силы отличны от сил тяжести, от сил, возникающих при деформации тел, от сил трения и других сил, изучавшихся нами в ме-

ханике. В только что описанных простых опытах мы встречаемся с проявлением сил, которые получили название *электрических*.

Тела, которые действуют на окружающие предметы электрическими силами, мы называем наэлектризованными или заряженными и говорим, что на этих телах находятся электрические заряды.

В описанных опытах мы заряжали стекло посредством трения о шелк. Мы могли бы, однако, вместо стекла выбрать сургуч, эбонит, плексиглас, янтарь и заменить шелковую материю кожей, резиной и другими предметами. Опыт показывает, что посредством трения можно зарядить любое тело.

На явлении электрического отталкивания заряженных тел основано устройство электроскопа — прибора для обнаружения электрических зарядов. Он состоит из металлического стержня, к которому подвешен весьма тонкий алюминиевый или бумажный листок или два листка (рис. 3, а). Стержень укреплен при помощи эбонитовой или янтарной пробки внутри стеклянной банки, предохраняющей листки от движения воздуха.

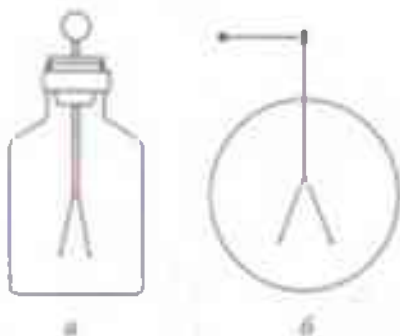


Рис. 3. Простой электроскоп
а) общий вид; б) условное изображение

Стержень укреплен при помощи эбонитовой или янтарной пробки внутри стеклянной банки, предохраняющей листки от движения воздуха. На рис. 3, б дано условное изображение электроскопа, которым мы и будем пользоваться в дальнейшем.

Коснемся стержня электроскопа заряженным телом, например натертой стеклянной палочкой. Листки оттолкнутся от стержня и отклонятся на некоторый угол. Если теперь удалить палочку, то листки останутся отклоненными, а это значит, что при соприкосновении с заряженным телом на стержень и листки электроскопа переходит некоторый заряд.

Зарядим электроскоп при помощи стеклянной палочки, заметим отклонение листков, коснемся электроскопа еще раз другим местом заряженного стекла и опять уберем палочку. Отклонение листков увеличится. После третьего касания оно будет еще больше и т. д. Мы видим, что электрические силы, обуславливающие отклонение листков, могут быть и больше, и меньше, а следовательно, и заряд на электроскопе может быть больше или меньше. Таким образом, можно говорить о заряде, находящемся на том или ином теле, в нашем примере — на электроскопе, как

о некоторой количественной мере, характеризующей определенные природные явления.

§ 2. Проводники и диэлектрики. Мы видели в предыдущих опытах, что, прикасаясь заряженным телом к незаряженным предметам, мы сообщаем им электрический заряд. Мы пользовались этим, когда заряжали электроскоп. Таким образом, электрические заряды могут переходить с одного тела на другое.

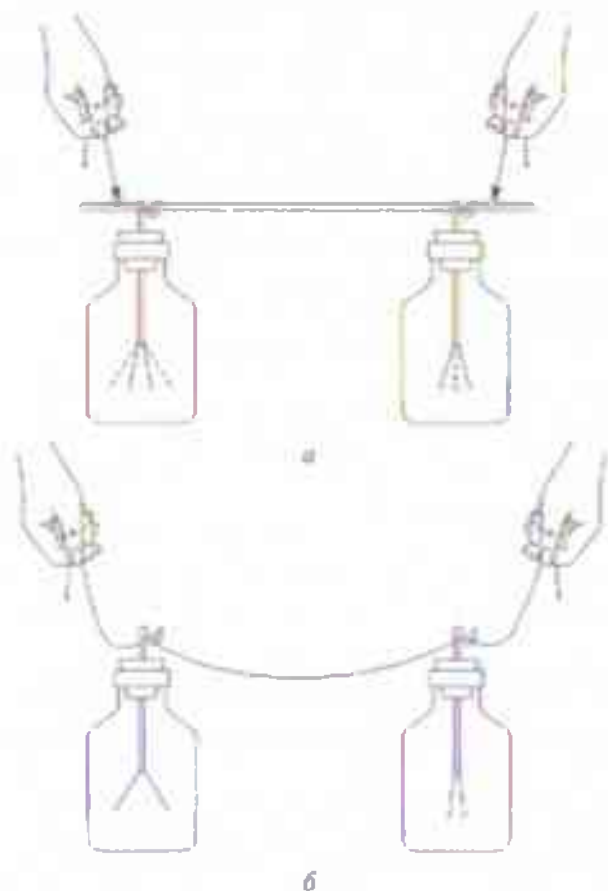


Рис. 1. Перемещение зарядов по различным телам: а) электрические заряды легко перемещаются по металлической проволоке; при соединении электроскопов проволокой заряд левого электроскопа уменьшается, а правого увеличивается. б) электрические заряды не проходят по шелковой нити; при соединении электроскопов шелковой нитью левый электроскоп сохраняет заряд, а правый остается незаряженным

Электрические заряды могут также и перемещаться по телу. Так, например, когда мы заряжали электроскоп, мы касались стеклянной палочкой верхнего конца металлического стержня. Тем не менее и нижний конец стержня и листки, прикрепленные к этому концу, оказывались заряженными; а это значит, что заряды перемещались вдоль стержня.

Однако перемещение зарядов по различным телам происходит по-разному. Рассмотрим следующий опыт: расположим на некотором расстоянии друг от друга два электроскопа, зарядим один из них и соединим стержни электроскопов куском медной проволоки, держа последнюю при помощи двух шелковых нитей (рис. 4, а). Отклонение листков заряженного электроскопа немедленно уменьшится, и одновременно с этим листки второго электроскопа отклонятся, обнаруживая появление заряда. Электрические заряды легко перемещаются вдоль медной проволоки.

Повторим теперь этот опыт, но используем вместо медной проволоки шелковую нить (рис. 4, б). При этом концы нити можно держать непосредственно в руках. Мы увидим, что в этом случае заряженный электроскоп будет долго сохранять неизменным свой заряд, а второй электроскоп будет оставаться по-прежнему незаряженным. Электрические заряды не могут перемещаться по шелковой нити. Проведя тот же опыт с обыкновенной (белой бумажной) ниткой, мы получим промежуточный результат: заряд будет переходить с одного электроскопа на другой, но очень медленно¹⁾.

Вещества, по которым электрические заряды легко перемещаются, мы называем *проводниками*. Вещества, не обладающие этим свойством, называются *диэлектриками* (или *изоляторами*).

Хорошими проводниками являются все металлы, водные растворы солей и кислот и многие другие вещества. Хорошей проводимостью обладают также раскаленные газы: если приблизить к заряженному электроскопу пламя свечи, то воздух вокруг электроскопа делается проводящим, заряд с электроскопа переходит на окружающие тела и листки быстро спадают (рис. 5).

Проводником, хотя и не очень хорошим, является также человеческое тело. Если прикоснуться к заряженному электроскопу, он разряжается и его листки опадают. Мы говорим при этом,

¹⁾ Если вместо белой нитки взять черную, то заряд будет переходить с одного электроскопа на другой гораздо быстрее, потому что черная краска, которой окрашена нитка, сама является веществом, в котором заряд перемещается довольно легко.

что заряд электроскопа через наше тело, пол и стены комнаты «уходит в землю». В §27 мы разберем подробнее, что при этом происходит.

Примерами хороших диэлектриков являются янтарь, фарфор, стекло, эбонит, резина, шелк и газы при комнатных температурах. Отметим, что многие твердые диэлектрики, например стекло, хорошо изолируют только в сухом воздухе и делаются плохими диэлектриками, если влажность воздуха велика. Это объясняется тем, что во влажном воздухе на поверхности диэлектриков может образоваться проводящая пленка воды. Осторожным нагреванием эту пленку можно удалить, после чего изолирующая способность снова восстанавливается.

Когда в каком-либо теле происходит перемещение зарядов, мы говорим, что в этом теле имеется электрический ток.

Так, например, при соединении электроскопов в медной проволоке (рис. 4, а) возникает кратковременный электрический ток, который принципиально ничем не отличается от тока в осветительной сети или в трамвайном проводе.

В современных применениях электричества и проводники и диэлектрики играют огромную роль. Металлические провода линии электропередачи представляют собой те «каналы», по которым мы заставляем двигаться заряды. При этом важно, чтобы в местах крепления проводов заряды не уходили с проводов в окружающие предметы. Поэтому провода всегда располагаются на специальных изолирующих креплениях — «изоляторах», без которых современные линии электропередачи были бы невозможны.

§3. Разделение тел на проводники и диэлектрики. Мы говорили, что стекло не проводит электричества. Однако это утверждение нельзя понимать безоговорочно. Тщательное наблюдение показывает, что через стекло, равно как и через всякий другой диэлектрик, могут проходить электрические заряды. Однако при одних и тех же условиях через тела, именуемые диэлектриками, проходит за тот же срок несравненно меньший электрический заряд, чем через проводники тех же размеров и формы. Когда мы говорим, что какое-либо вещество является диэлектриком,

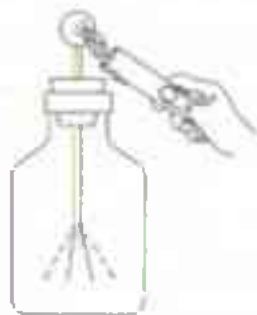


Рис. 5. Листки электроскопа быстро спадают при поднесении к его стержню пламени

то это значит только, что при данных его применениях мы можем пренебречь проходящими через него зарядами.

Так, например, через янтарную пробку электроскопа, несмотря на то что янтарь является наилучшим из известных диэлектриков, все же проходит некоторое количество электричества. Однако заряд, прошедший через пробку за время эксперимента, всегда бывает ничтожно мал по сравнению с полным зарядом электроскопа, и поэтому янтарь является подходящим диэлектриком для электроскопа. Совсем не то наблюдалось бы в электроскопе с изоляцией из фарфора. В этом случае заряды, утекающие через фарфоровую пробку за время опыта, были бы сравнимы с зарядом электроскопа, и мы увидели бы, что листки электроскопа заметно опадают. Фарфор является недостаточным диэлектриком для этих целей. Однако тот же фарфор оказывается прекрасным материалом для технических изоляторов, так как заряд, проходящий через такой изолятор за некоторый промежуток времени, ничтожно мал по сравнению с огромными зарядами, протекающими через провода за то же время. Мы видим, что *разделение на проводники и диэлектрики условно*. И может даже оказаться, что одно и то же вещество в одних случаях должно рассматриваться как диэлектрик, а в других случаях — как проводник.

До сравнительно недавнего времени в электротехнике применялись почти исключительно либо металлы, по которым заряд распространяется чрезвычайно легко, либо диэлектрики с очень высокими изолирующими свойствами — такие, как фарфор, стекло, эбонит, янтарь и т. п. Из металлов изготавливаются провода, из диэлектриков — опоры, предотвращающие утечку заряда с проводов. Попадающее большинство веществ природы не принадлежит, однако, ни к той, ни к другой группе; эти вещества являются так называемыми *полупроводниками*, т. е. по своим свойствам занимают промежуточное положение между очень хорошими проводниками и очень хорошими диэлектриками. Они мало пригодны поэтому и для изготовления проводов и для изолирующих опор. Однако в последние десятилетия обнаружен и изучен ряд совершенно особых свойств полупроводников, что открыло возможность чрезвычайно важных и многообещающих применений их в различных областях науки и техники. Подробнее об этих свойствах полупроводников будет сказано в гл. IX.

Изолирующие свойства вещества зависят также от его состояния и могут сильно изменяться. На рис. 6 изображен опыт, показывающий, что стекло совершенно утрачивает изолирующие свойства при высокой температуре. Разрежем один из прово-

дов, идущих к электрической лампочке, и, счистив изоляцию, прикрутим образовавшиеся концы к стеклянной палочке. При включении тока лампочка не светится, так как при комнатной

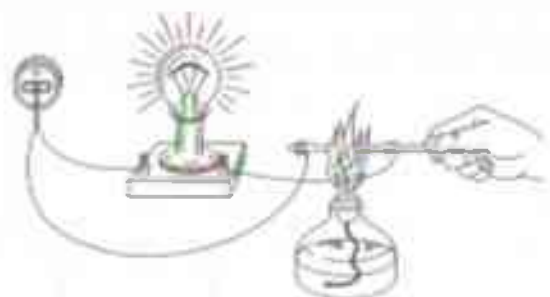


Рис. 6. При разогревании стекло становится проводником и лампочка начинает светиться

температуре стекло является достаточно хорошим диэлектриком. Если, однако, сильно нагреть стеклянную палочку при помощи горелки, лампочка начинает светиться, следовательно, через нагретую стеклянную палочку ток проходит. При этом можно наблюдать еще одно явление. Электрический ток, проходя через стеклянную палочку, сам нагревает ее, причем тем значительно, чем сильнее ток. Поэтому если взять лампочку достаточно мощную, т.е. такую, что через нее может проходить сильный электрический ток, то этот ток будет сильно разогревать палочку. Горелку можно будет убрать, а стекло останется горячим и хорошо проводящим; нагревание стекла все время увеличивается, и в конце концов стекло расплавится.

§ 4. Положительные и отрицательные заряды. Зарядим при помощи стеклянной палочки, потертой о шелк, легкую гильзу, подвешенную на шелковой нити, и поднесем к ней кусок сургуча, заряженного трением о шерсть. Гильза будет притягиваться к сургучу (рис. 7). Однако мы видели (§ 1), что эта же подвешенная гильза отталкивается от зарядившего ее стекла. Это показывает, что заряды, возникающие на стекле и сургуче, различаются по качеству.

Следующий опыт показывает это еще нагляднее. Зарядим два одинаковых электроскопа при помощи стеклянной палочки и соединим их стержни металлической проволокой, держа последнюю за изолирующую ручку. Если электроскопы вполне одинаковы, то после соединения отклонения их листков делаются равными, указывая этим на то, что полный заряд распределяется

ЭЛЕМЕНТАРНЫЙ УЧЕБНИК ФИЗИКИ

под редакцией академика
Г.С. Ландсберга

III

КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ
ОПТИКА
АТОМНАЯ И ЯДЕРНАЯ
ФИЗИКА



ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие к первому изданию 9

РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

Глава I. Основные понятия. Механические колебания 11

§1 Периодические движения. Период (11). §2 Колебательные системы. Свободные колебания (12). §3 Маятник; кинематика его колебаний (13). §4 Колебания камертона (15). §5 Гармоническое колебание. Частота (16). §6 Сдвиг фаз (20). §7 Динамика колебаний маятника (22). §8 Формула периода математического маятника (24). §9 Упругие колебания (27). §10 Крутильные колебания (29). §11. Влияние трения. Затухание (31). §12. Вынужденные колебания (34). §13. Резонанс (35). §14. Влияние трения на резонансные явления (37). §15. Примеры резонансных явлений (39). §16. Резонансные явления при действии негармонической периодической силы (41). §17. Форма периодических колебаний и ее связь с гармоническим составом этих колебаний (44).

Глава II. Звуковые колебания 49

§18. Звуковые колебания (49). §19. Предмет акустики (51). §20. Музыкальный тон. Громкость и высота тона (51). §21. Тембр (53). §22. Акустический резонанс (55). §23. Запись и воспроизведение звука (57). §24. Анализ и синтез звука (58). §25. Шумы (60).

Глава III. Электрические колебания 63

§26. Электрические колебания. Методы их наблюдения (63). §27. Колебательный контур (66). §28. Аналогия с механическими колебаниями. Формула Томсона (69). §29. Электрический резонанс (73). §30. Незатухающие колебания. Автоколебательные системы (76). §31. Ламповый генератор электрических колебаний (79). §32. Учение о колебаниях (82).

Глава IV. Волновые явления 87

§33. Волновые явления (87). §34. Скорость распространения волн (89). §35. Радиодифракция, гидроакустическая локация и зву-

кометрия (91). § 36 Поперечные волны в шнуре (94). § 37 Продольные волны в столбе воздуха (98). § 38 Волны на поверхности жидкости (101). § 39 Перенос энергии волнами (104). § 40 Отражение волн (107). § 41 Дифракция (110). § 42. Направленное излучение (111).

Глава V. Интерференция волн 115

§ 43. Наложение волн (115). § 44. Интерференция волн (116). § 45. Условия образования максимумов и минимумов (118). § 46. Интерференция звуковых волн (120). § 47. Стоячие волны (122). § 48. Колебания упругих тел как стоячие волны (124). § 49. Свободные колебания струны (125). § 50. Стоячие волны в пластинках и других протяженных телах (129). § 51. Резонанс при наличии многих собственных частот (132). § 52. Условия хорошего излучения звука (133). § 53. Бинауральный эффект. Звукопеленгация (135).

Глава VI. Электромагнитные волны 138

§ 54. Электромагнитные волны (138). § 55. Условия хорошего излучения электромагнитных волн (139). § 56. Вибратор и антенны (141). § 57. Опыты Герца по получению и исследованию электромагнитных волн. Опыты Лебедева (146). § 58. Электромагнитная теория света. Шкала электромагнитных волн (148). § 59. Опыты с электромагнитными волнами (152). § 60. Изобретение радио Поповым (160). § 61. Современная радиосвязь (163). § 62. Другие применения радио (168). § 63. Распространение радиоволн (171). § 64. Заключительные замечания (176).

РАЗДЕЛ ВТОРОЙ

ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА

Глава VII. Общая характеристика световых явлений 181

§ 65. Разнообразные действия света (181). § 66. Интерференция света. Цвета тонких пленок (183). § 67. Краткие сведения из истории оптики (185).

Глава VIII. Фотометрия и светотехника 188

§ 68. Энергия излучения. Световой поток (188). § 69. Точечные источники света (190). § 70. Сила света и освещенность (191). § 71. Законы освещенности (193). § 72. Единицы световых величин (195). § 73. Яркость источников (197). § 74. Задачи светотехники (199). § 75. Приспособления для концентрации светового потока (200). § 76. Отражающие и рассеивающие тела (201). § 77. Яркость освещенных поверхностей (205). § 78. Световые измерения и измерительные приборы (205).

Глава IX. Основные законы геометрической оптики 211

§ 79. Прямолинейное распространение волн (211). § 80. Прямолинейное распространение света и световые лучи (212). § 81. Законы отражения и преломления света (218). § 82. Обратимость световых лучей (223). § 83. Показатель преломления (225). § 84. Полное

внутреннее отражение (229). § 85 Преломление в плоскопараллельной пластинке (232) § 86 Преломление в призме (232).

Глава X. Применение отражения и преломления света для получения изображений 236

§ 87 Источник света и его изображение (236). § 88 Преломление в линзе. Фокусы линзы (237). § 89 Изображение в линке точек, лежащих на главной оптической оси. Формула линзы (243). § 90 Применения формулы тонкой линзы. Действительные и мнимые изображения (246). § 91 Изображение точечного источника и протяженного объекта в плоском зеркале. Изображение точечного источника в сферическом зеркале (250). § 92 Фокус и фокусное расстояние сферического зеркала (254). § 93 Связь между положениями источника и его изображения на главной оси сферического зеркала (255). § 94 Способы изготовления линз и зеркал (256). § 95 Изображение протяженных объектов в сферическом зеркале и линзе (258). § 96 Увеличение при изображении объектов в сферическом зеркале и линзе (259). § 97 Построение изображений в сферическом зеркале и линзе (261). § 98. Оптическая сила линз (268).

Глава XI. Оптические системы и их погрешности 270

§ 99 Оптическая система (270). § 100 Главные плоскости и главные точки системы (270). § 101 Построение изображений в системе (272). § 102 Увеличение системы (273). § 103 Недостатки оптических систем (274). § 104 Сферическая аберрация (275). § 105 Астигматизм (278). § 106 Хроматическая аберрация (279). § 107 Ограничение пучков в оптических системах (281). § 108 Светосила линзы (282). § 109 Яркость изображения (283).

Глава XII. Оптические приборы 287

§ 110 Проекционные оптические приборы (287). § 111 Фотографический аппарат (290). § 112 Глаз как оптическая система (293). § 113. Оптические приборы, вооружающие глаз (295). § 114 Лупа (297). § 115 Микроскоп (299). § 116 Разрешающая способность микроскопа (302). § 117 Зрительные трубы (302). § 118 Увеличение зрительной трубы (305). § 119 Телескопы (306). § 120 Яркость изображения для протяженных и точечных источников (310). § 121. «Почезрительная труба» Ломоносова (312). § 122 Зрение двумя глазами и восприятие глубины пространства. Стереоскоп (313).

ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ

ФИЗИЧЕСКАЯ ОПТИКА

Глава XIII. Интерференция света 318

§ 123 Геометрическая и физическая оптика (318). § 124. Опытное осуществление интерференции света (318). § 125. Объяснение цветов тонких пленок (322). § 126. Кольца Ньютона (324).

§ 127. Определение длины световой волны с помощью колец Ньютона (326)	
Глава XIV. Дифракция света	330
§ 128. Пучки лучей и форма волновой поверхности (330)	
§ 129. Принцип Гюйгенса (332)	§ 130. Законы отражения и преломления света на основе принципа Гюйгенса (333)
§ 131. Принцип Гюйгенса в толковании Френеля (335).	§ 132. Простейшие дифракционные явления (336).
§ 133. Объяснение дифракции по методу Френеля (339).	§ 134. Разрешающая сила оптических инструментов (341)
§ 135. Дифракционные решетки (344).	§ 136. Дифракционная решетка как спектральный прибор (347).
§ 137. Изготовление дифракционных решеток (348).	§ 138. Дифракция при косом падении света на решетку (348).
Глава XV. Физические принципы оптической голографии	351
§ 139. Фотография и голография (351).	§ 140. Запись голограммы с помощью плоской опорной волны (354).
§ 141. Получение оптических изображений по методу восстановления волнового фронта (357).	§ 142. Гипографирование по методу встречных световых пучков (360).
§ 143. Использование голографии в оптической интерферометрии (363).	
Глава XVI. Поляризация света и поперечность световых волн	368
§ 144. Прохождение света через турмалин (368).	§ 145. Гипотезы, объясняющие наблюдаемые явления. Понятие о поляризованном свете (369).
§ 146. Механическая модель явлений поляризации (370).	§ 147. Поляриды (371).
§ 148. Поперечность световых волн и электромагнитная теория света (372)	
Глава XVII. Шкала электромагнитных волн	374
§ 149. Способы исследования электромагнитных волн различной длины (374).	§ 150. Инфракрасное и ультрафиолетовое излучение (376).
§ 151. Открытие рентгеновских лучей (377).	§ 152. Различные действия рентгеновских лучей (378).
§ 153. Устройство рентгеновской трубки (379).	§ 154. Происхождение и природа рентгеновских лучей (381).
§ 155. Шкала электромагнитных волн (382)	
Глава XVIII. Скорость света	384
§ 156. Первые попытки определения скорости света (384)	§ 157. Определение скорости света Рёмером (385).
§ 158. Определение скорости света по методу вращающегося зеркала (386)	
Глава XIX. Дисперсия света и цвета тел	389
§ 159. Состояние вопроса о цвете тел до исследований Ньютона (389).	§ 160. Основное открытие Ньютона в оптике (389).
§ 161. Истолкование наблюдений Ньютона (391).	§ 162. Дисперсия показателя преломления различных материалов (392).
§ 163. Дополнительные цвета (393).	§ 164. Спектральный состав света

- малых источников (396). § 165. Свет и цвета тел (397).
 § 166. Коэффициенты поглощения, отражения и пропускания (397).
 § 167. Цветные тела, освещенные белым светом (398). § 168. Цветные тела, освещенные цветным светом (400). § 169. Маскировка и демаскировка (400). § 170. Насыщенность цветов (401).
 § 171. Цвет неба и зорь (403).

Глава XX. Спектры и спектральные закономерности 407

- § 172. Спектральные аппараты (407). § 173. Типы спектров испускания (408). § 174. Происхождение спектров различных типов (410). § 175. Спектральные закономерности (411).
 § 176. Спектральный анализ по спектрам испускания (413).
 § 177. Спектры поглощения жидких и твердых тел (416).
 § 178. Спектры поглощения атомов Линии Фраунгофера (416).
 § 179. Излучение накаливаемых тел. Абсолютно черное тело (418).
 § 180. Зависимость излучения накаливаемых тел от температуры. Лампы накаливания (419). § 181. Оптическая пирометрия (421).

Глава XXI. Действия света 423

- § 182. Действия света на вещество. Фотоэлектрический эффект (423). § 183. Законы фотоэлектрического эффекта (425).
 § 184. Понятие о световых квантах (428). § 185. Применение фотоэлектрических явлений (430). § 186. Фотолюминесценция. Правило Стокса (432). § 187. Физический смысл правила Стокса (435). § 188. Люминесцентный анализ (435). § 189. Фотохимические действия света (436). § 190. Роль длины волны в фотохимических процессах (437). § 191. Фотография (437).
 § 192. Фотохимическая теория зрения (441). § 193. Длительность зрительного ощущения (443).

ЧАСТЬ ЧЕТВЕРТАЯ

АТОМНАЯ И ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

Глава XXII. Строение атома 454

- § 194. Представление об атомах (454). § 195. Постоянная Авогадро. Размеры и массы атомов (455). § 196. Элементарный электрический заряд (458). § 197. Единицы заряда, массы и энергии в атомной физике (461). § 198. Измерение массы заряженных частиц. Масс-спектрограф (462). § 199. Особенности движения частиц при больших скоростях. Теория относительности (466). § 200. Закон Эйнштейна (468). § 201. Массы атомов; изотопы (470). § 202. Разделение изотопов. Тяжелая вода (473). § 203. Ядерная модель атома (475). § 204. Энергетические уровни атомов (479). § 205. Вынужденное излучение света. Квантовые генераторы (484). § 206. Атом водорода. Свообразие законов движения электрона в атоме (490). § 207. Микроэлектронные атомы. Происхождение оптических и рентгеновских спектров атомов (494). § 208. Периодическая система элементов Менделеева (496). § 209. Квантовые и волновые свойства фотонов (500). § 210. Понятие о квантовой (волновой) механике (507).

Глава XXIII. Радиоактивность	517
§ 211. Открытие радиоактивности. Радиоактивные элементы (517).	
§ 212 α -, β - и γ -излучение. Камера Вильсона (520)	
§ 213. Способы регистрации заряженных частиц (525)	
§ 214. Природа радиоактивного излучения (529)	
§ 215. Радиоактивный распад и радиоактивные превращения (533)	
§ 216. Применения радиоактивности (538)	
§ 217. Ускорители (539).	
Глава XXIV. Атомные ядра и ядерная энергия	545
§ 218. Понятие о ядерных реакциях (545).	
§ 219. Ядерные реакции и превращение элементов (547)	
§ 220. Свойства нейтронов (549)	
§ 221. Ядерные реакции под действием нейтронов (551)	
§ 222. Искусственная радиоактивность (553).	
§ 223. Позитрон (555).	
§ 224. Применение закона Эйнштейна к процессам аннигиляции и образования пар (556)	
§ 225. Строение атомного ядра (559).	
§ 226. Ядерная энергия. Источник энергии звезд (562)	
§ 227. Деление урана. Цепная ядерная реакция (566).	
§ 228. Применения незатухающей цепной реакции деления. Атомная и водородная бомбы (572).	
§ 229. Ядерные реакторы и их применения (575).	
Глава XXV. Элементарные частицы	584
§ 230. Общие замечания (584).	
§ 231. Нейтрино (587).	
§ 232. Ядерные силы. Мезоны (588)	
§ 233. Частицы и античастицы (592).	
§ 234. Частицы и взаимодействия (598).	
§ 235. Детекторы элементарных частиц (601).	
§ 236. Парадокс часов (605)	
§ 237. Космическое излучение (космические лучи) (606).	
Глава XXVI. Новые достижения в физике элементарных частиц	611
§ 238. Ускорители и экспериментальная техника (611).	
§ 239. Алроны и кварки (616)	
§ 240. Кварковая структура адронов (627)	
§ 241. Кварковая модель и процессы образования и распада адронов (630)	
§ 242. Лептоны. Промежуточные бозоны. Единство всех взаимодействий (634).	
Ответы и решения к упражнениям	639
Заключение	652
Предметный указатель	655
Список литературы	663

Предисловие к первому изданию

В третьем томе «Элементарного учебника физики» сосредоточены все вопросы, связанные с учением о колебаниях и волнах. Механические колебания и упругие волны заканчиваются рассмотрением вопросов акустики. Главы об электромагнитных колебаниях и волнах естественно приводят к рассмотрению важнейших применений этого круга проблем — к изложению основ радиофизики и радиотехники, начиная с изобретения радио А. С. Поповым, и к идее об электромагнитной природе света и изложению основ оптики волновой (физической) и лучевой (геометрической). Том заканчивается очерком явлений, связанных с современной теорией атома. Как и в предыдущих томах, в книге помещено довольно много задач, решение которых является важным моментом в усвоении материала учебника.

Главы, касающиеся механических и электромагнитных колебаний и вопросов акустики и радиофизики, написаны С. М. Рытовым, Геометрическая оптика написана М. М. Сушинским (при участии И. А. Яковлева), физическая оптика — Ф. С. Ландсберг-Барышанской, а раздел «Атомная и ядерная физика» — Ф. Л. Шапиро.

Как и в предшествующих томах, мы стремились к тому, чтобы учащийся понял физическую сущность илагаемых явлений. Математические выкладки и в этом томе занимают малое место. Число вопросов, выходящих за пределы программы средней школы, очень ограничено. Но в стремлении сделать излагаемое вполне ясным мы рассматривали многие вопросы с большей полнотой, чем обычно это делается в учебниках средней школы. Следует отметить также, что изложение явлений атомной и ядерной физики затрагивает больший круг вопросов, чем это делают в школьном преподавании. Допуская такое расширение, мы исходили из мысли о необходимости осветить эти вопросы достаточно полно, имен в виду наиболее интересующихся. С другой стороны, в этих разделах трудно вполне последовательно разъяснить все затронутые проблемы, так что этот раздел книги носит характер учебника в меньшей степени, чем остальные. Мы надеемся, однако, что он сможет способствовать

пробуждению серьезного интереса учащихся к этим важнейшим проблемам современной физики.

Настоящим томом заканчивается «Элементарный учебник физики». В составлении учебника приняло участие свыше десяти авторов. Это обстоятельство делало работу редактора особенно трудной и ответственной, ибо при полной согласованности относительно общих принципов, положенных в основу учебника, разнообразие подхода и манеры изложения у различных авторов неизбежно было очень велико. Несомненно, что, несмотря на все усилия редактора, это разнообразие отозвалось на характере изложения в большей степени, чем это, вероятно, желательно для учебника. Однако возможность опираться на широкий авторский коллектив представляет большие преимущества, позволяя воспользоваться сотрудничеством разнообразных специалистов, глубоко знающих сущность рассматриваемых проблем и трудности их изложения.

Поэтому я надеюсь, что, несмотря на все недостатки, этот труд принесет пользу нашей учащейся молодежи и будет способствовать повышению уровня понимания физических вопросов, а в связи с этим и повышению сознательного интереса к нашей науке. Выражением этой надежды я и позволю себе закончить многолетний труд, положенный на составление «Элементарного учебника физики».

Москва, март 1952 г.

Гр. Ландсберг

РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

Глава I. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ. МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ

§ 1. Периодические движения. Период. Среди всевозможных совершающихся вокруг нас механических движений часто встречаются повторяющиеся движения. Любое равномерное вращение является повторяющимся движением; при каждом обороте всякая точка равномерно вращающегося тела проходит те же положения, что и при предыдущем обороте, причем в такой же последовательности и с теми же скоростями. Если мы посмотрим, как раскачиваются от ветра ветви и стволы деревьев, как качается на волнах корабль, как ходит маятник часов, как движутся взад и вперед поршни и шатуны паровой машины или двигателя, как скачет вверх и вниз игла швейной машины; если мы будем наблюдать чередование морских приливов и отливов, перестановку ног и размахивание руками при ходьбе и беге, биения сердца или пульса, то во всех этих движениях мы заметим одну и ту же черту — многократное повторение одного и того же цикла движений.

В действительности не всегда и не при всяких условиях повторение совершенно одинаково. В одних случаях каждый новый цикл очень точно повторяет предыдущий (качания маятника, движения частей машины, работавшей с постоянной скоростью), в других случаях различие между следующими друг за другом циклами может быть заметным (приливы и отливы, качания ветвей, движения частей машины при ее пуске или остановке). Отклонения от совершенно точного повторения очень часто настолько малы, что ими можно пренебречь и считать движение повторяющимся вполне точно, т. е. считать его периодическим.

Периодическим называется повторяющееся движение, у которого каждый цикл в точности воспроизводит любой другой цикл.

Продолжительность одного цикла называется *периодом*.

Очевидно, период равномерного вращения равен продолжительности одного оборота.

§ 2. Колебательные системы. Свободные колебания. В природе, и особенно в технике, чрезвычайно большую роль играют тела и устройства, которые сами по себе способны совершать периодические движения. «Сами по себе» — это значит: не будучи принуждаемы к этому действием периодических внешних сил. Такие колебания называют поэтому *свободными* колебаниями в отличие от *вынужденных*, протекающих под действием периодически меняющихся внешних сил.

Если, например, периодически толкать дверь и тянуть ее обратно, то она будет открываться и закрываться, т. е. будет совершать периодическое вынужденное движение. Но сама по себе она не может двигаться периодически: если дверь толкнуть и предоставить самой себе, то движение не будет повторяющимся. Иное дело, если толкнуть или отклонить от вертикали висящий на веревке груз. Он начнет качаться, т. е. будет сам по себе совершать периодическое движение. Это и будут свободные колебания. Подобно этому в результате первоначального толчка будет периодически колебаться вода в стакане, груз, подвешенный на пружине, вагон или автомобиль на своих рессорах, качели, зажатая одним концом металлическая пластинка, натянутая струна, стрелка компаса и т. д. (рис. 1).

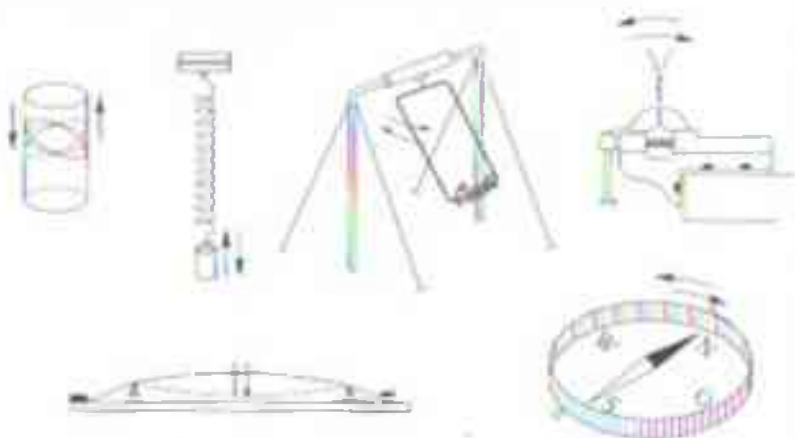


Рис. 1. Примеры свободных колебаний

Все такие тела или совокупности тел, которые сами по себе могут совершать периодические движения, или колебания, называются *колебательными системами*. Как сказано, колебания,

повернувшиеся в этих системах без воздействия внешних сил, являются свободными.

С колебательными системами приходится иметь дело не только в различных машинах и механизмах (в частности, часовых механизмах). Мы увидим далее, что колебательными системами является большинство источников звука, что распространение звука в воздухе возможно лишь потому, что сам воздух представляет собой своего рода колебательную систему. Более того, кроме механических колебательных систем, существуют электромагнитные колебательные системы, в которых могут совершаться электрические колебания, составляющие основу всей радиотехники. Наконец, имеется очень много смешанных — электромеханических — колебательных систем, используемых в самых различных технических областях.

Мы начнем наше изложение с изучения одной из простейших механических колебательных систем — маятника, при этом вплоть до § 12 мы будем иметь в виду свободные колебания.

§ 1. Маятник; кинематика его колебаний. *Маятником является всякое тело, подвешенное так, что его центр тяжести находится ниже точки подвеса. Молоток, висящий на гвозде, груз на веревке — все это колебательные системы, подобные маятнику стальных часов (рис. 2).*

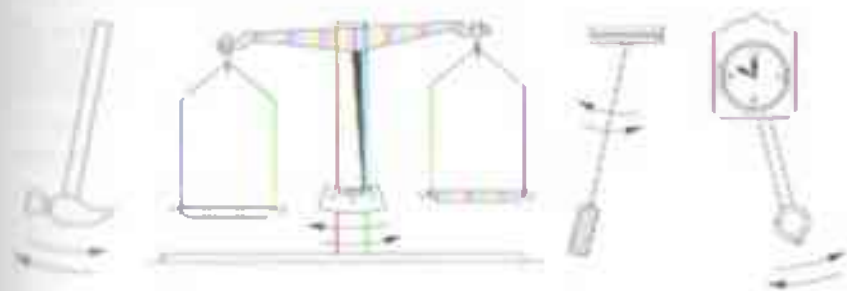


Рис. 2. Маятники

У всякой системы, способной совершать свободные колебания, имеется устойчивое положение равновесия. У маятника — это то положение, при котором центр тяжести находится на вертикали под точкой подвеса. Если мы выведем маятник из этого положения или толкнем его, то он начнет колебаться, отклоняясь то в одну, то в другую сторону от положения равновесия. Наибольшее отклонение от положения равновесия, до которого доходит маятник, называется *амплитудой* колебаний. Амплитуда определяется тем первоначальным отклонением

или толчком, которым маятник был приведен в движение. Это свойство — зависимость амплитуды от условий в начале движения — характерно не только для свободных колебаний маятника, но и вообще для свободных колебаний очень многих колебательных систем.

Прикрепим к маятнику волосок — кусочек тонкой проволоочки или упругой нейлоновой нити — и будем двигать под этим волоском закопченную стеклянную пластинку, как показано на рис. 3.

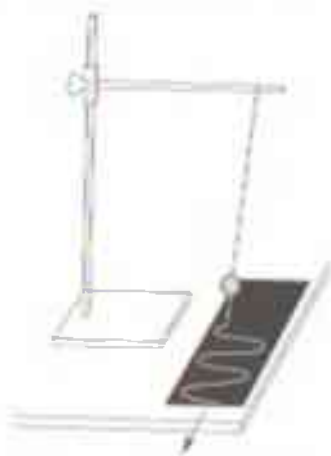


Рис. 3. Запись колебаний маятника на закопченной пластинке

Если двигать пластинку с постоянной скоростью в направлении, перпендикулярном к плоскости колебаний, то волосок прочертит на пластинке волнистую линию (рис. 4). Мы имеем в этом опыте простейший *осциллограф* — так называются приборы для записи колебаний. Кривые, которые записывает осциллограф, называются *осциллограммами*. Таким образом, рис. 4 представляет собой осциллограмму колебаний маятника. Амплитуда колебаний изображается на этой осциллограмме отрезком AB , дающим наибольшее отклонение волнистой кривой от прямой линии ab , которую волосок прочертил бы на пластинке при неподвижном маятнике (покоящемся в положении равновесия). Период изображается отрезком CD , равным расстоянию, на которое передвигается пластинка за период маятника.

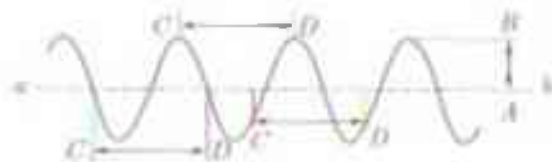


Рис. 4. Осциллограмма колебаний маятника: AB — амплитуда, CD — период

Так как мы двигаем закопченную пластинку равномерно, то всякое ее перемещение пропорционально времени, в течение которого оно совершалось. Мы можем сказать поэтому, что вдоль прямой ab в определенном масштабе (зависящем от скорости движения пластинки) отложено время. С другой стороны,

В направлении, перпендикулярном к ab , волосок отмечает на пластинке расстояния конца маятника от его положения равновесия, т. е. путь, пройденный концом маятника от этого положения¹⁾. Таким образом, осциллограмма есть не что иное, как график движения — график зависимости пути от времени.

Как мы знаем, наклон линии на таком графике изображает скорость движения (см. том I, § 19). Через положение равновесия маятника проходит с наибольшей скоростью. Соответственно этому и наклон волнистой линии на рис. 4 наибольший в тех точках, где она пересекает прямую ab . Наоборот, в моменты наибольших отклонений скорость маятника равна нулю. Соответственно этому волнистая линия на рис. 4 в тех точках, где она наиболее удалена от ab , имеет касательную, параллельную ab , т. е. наклон, равный нулю.

11. Колебания камертона. Мы уже отметили, что большинство источников звука является колебательными системами. Легко убедиться в том, что звучащий камертон колеблется, причем форма его колебаний такая же, как и у маятника.

В качестве осциллографа можно по-прежнему использовать заштрихованную пластинку, приклеив пинцетом волосок к ножке камертона.

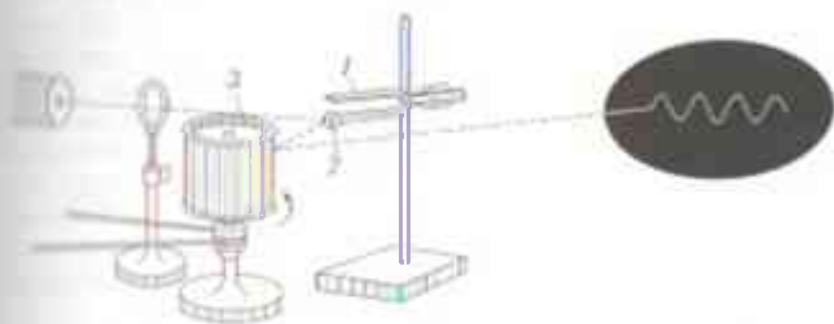


Рис. 5. Световой осциллограф с зеркальной разверткой

Из-за малости амплитуды и периода колебаний камертона в большинстве случаев удобнее применить осциллограф со световым указателем («зайчиком») и зеркальной разверткой, описанный ранее (см. том II, § 152). На рис. 5 показано, как это сделать.

¹⁾ Точнее, это не путь, а смещение маятника от положения равновесия. На длинных прямых отрезках между соседними крайними положениями кривая смещения совпадает с графиком пути и может быть использована для оценки скорости маятника.

К ножке камертона 1 приклеено легкое зеркальце 2. Световой луч, отразившись от этого зеркальца и от зеркального барабана 3, дает на стене светлое пятнышко (световой указатель). Если ударить камертон, то мы увидим, что пятнышко вытягивается в вертикальную полоску. Это происходит потому, что зеркальце 2 колеблется вместе с ножкой камертона.

Если теперь начать вращать барабан, то световому указателю будет сообщено горизонтальное перемещение, и полоска развернется в уже знакомую нам волнистую линию.

Амплитуда и период не дают полного представления о характере периодического движения. Можно представить себе



Рис. 6. Примеры колебаний одинакового периода, но разной формы

чрезвычайно разнообразные периодические движения, имеющие одинаковую амплитуду и период, но совершенно различные по форме колебаний (по виду осциллограмм). Несколько примеров осциллограмм таких движений, представляющих колебания некоторых механических и электрических колебательных систем, показано на рис. 6.

Однако среди разнообразных по форме колебаний колебания маятника или камертона имеют особенное значение. Форма этих колебаний характерна для очень большого числа колебательных систем. В частности, мы получим такую же осциллограмму, как и для маятника, если прикрепим пишущий волосок к колеблющейся металлической пластинке или к грузу, колеблющемуся на пружине. Ту же форму колебаний дает нам осциллограмма переменного тока (см. том II, § 153).

Поэтому необходимо подробнее ознакомиться с колебаниями указанной формы. В следующем параграфе мы увидим, что колебания такой формы, как у маятника, очень просто связаны с равномерным движением по окружности. Это даст нам и способ графического построения осциллограммы маятника.

§ 5. Гармоническое колебание. Частота. Прикрепим к равномерно вращающемуся диску шарик на стержне и осветим его сбоку (рис. 7). При вращении диска тень шарика будет колебаться на стене. Нетрудно построить графическое изображение этих колебаний. На рис. 8 отмечены и занумерованы 16 последова-

тельных положений шарика, взятых через каждую $1/16$ полного оборота. Теми же цифрами от 1 до 16 занумерованы положения тени на стене AB ; эти точки получены путем опускания на прямую AB перпендикуляров из точек окружности. Именно так проецируется тень на стену, если шарик освещать пучком параллельных лучей.

Для того чтобы развернуть колебания проекции шарика подобно тому, как это делает зеркальный барабан, построим ряд равноудаленных друг от друга прямых, параллельных AB . Последовательные положения проекции (тени) 1, 2, 3, ..., 16 мы будем теперь наносить не на одной и той же прямой, а на следующих друг за другом, как это показано в правой части рис. 8. Проведя через отмеченные таким способом точки непрерывную кривую, мы находим волнистую линию, указывающую

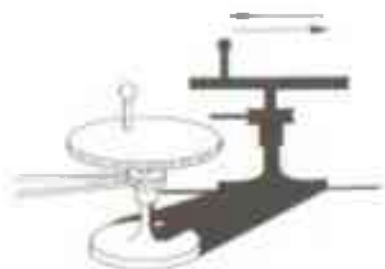


Рис. 7. Теневая проекция шарика, движущегося по окружности

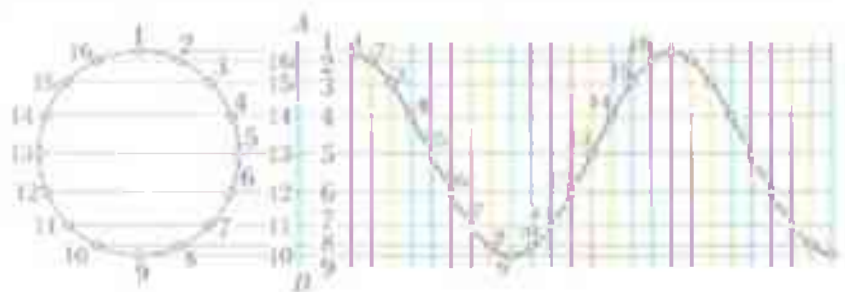


Рис. 8. Построение развертки гармонического колебания

последовательные положения тени шарика, т. е. график движения. Таким образом, мы получаем «осциллограмму» колебаний проекции шарика.

Колебание, какое совершает при равномерном движении точки по окружности проекция этой точки на какую-либо прямую, называется *гармоническим* (или простым) *колебанием*.

Гармоническое колебание является специальным частным видом периодического колебания. Этот специальный вид колебания очень важен, так как он чрезвычайно часто встречается в самых различных колебательных системах. Колебание груза на пружине, камертона, маятника,