

Г. Я. Мякишев, А. З. Сияков

# ФИЗИКА

---

## ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

---

УГЛУБЛЁННЫЙ УРОВЕНЬ

Учебник

Допущено  
Министерством просвещения  
Российской Федерации

*12-е издание, стереотипное*

Москва  
«Просвещение»  
2024

А

10  
11  
классы

УДК 373.167.1:53+53(075.3)  
ББК 22.3я721  
М99

Учебник допущен к использованию при реализации имеющих государственную аккредитацию образовательных программ начального общего, основного общего, среднего общего образования организациями, осуществляющими образовательную деятельность, в соответствии с Приказом Министерства просвещения Российской Федерации № 254 от 20.05.2020 (в редакции Приказа № 766 от 23.12.2020).

В соответствии с Приказом Министерства просвещения Российской Федерации № 858 от 21.09.2022 г. в отношении учебника установлен предельный срок использования.

Издание выходит в pdf-формате.

Методический аппарат учебника разработан  
*О. А. Крысановой, Н. В. Ромашиной*

**Мякишев, Геннадий Яковлевич.**

**М99** Физика. Электродинамика : 10—11-е классы : углублённый уровень : учебник : издание в pdf-формате / Г. Я. Мякишев, А. З. Синяков. — 12-е изд., стер. — Москва : Просвещение, 2024. — 476, [4] с. : ил.

ISBN 978-5-09-119782-2 (электр. изд.). — Текст : электронный.

ISBN 978-5-09-113708-8 (печ. изд.).

В учебнике на современном уровне изложены фундаментальные вопросы школьной программы, представлены основные применения законов физики, рассмотрены методы решения задач.

Книга адресована учащимся физико-математических классов и школ, слушателям и преподавателям подготовительных отделений вузов, а также читателям, занимающимся самообразованием и готовящимся к поступлению в вуз.

Учебник соответствует Федеральному государственному образовательному стандарту среднего общего образования. Включён в Федеральный перечень учебников в составе завершённой предметной линии.

**УДК 373.167.1:53+53(075.3)**  
**ББК 22.3я721**

ISBN 978-5-09-119782-2 (электр. изд.) © АО «Издательство «Просвещение», 2021

ISBN 978-5-09-113708-8 (печ. изд.) © Художественное оформление.

АО «Издательство «Просвещение», 2021  
Все права защищены

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Введение</b> .....	<b>3</b>
Роль электромагнитных сил в природе и технике ...	3
Электрический заряд и элементарные частицы .....	8
<b>Глава 1. Электростатика</b> .....	<b>14</b>
§ 1.1. Заряженные тела. Электризация тел .....	14
§ 1.2. Основной закон электростатики — закон Кулона .....	19
§ 1.3. Единицы электрического заряда .....	23
§ 1.4. Взаимодействие неподвижных электрических зарядов внутри однородного диэлектрика .....	26
§ 1.5. Оценка предела прочности и модуля Юнга ионных кристаллов .....	28
§ 1.6. Примеры решения задач .....	31
Упражнение 1 .....	37
§ 1.7. Близкодействие и действие на расстоянии ....	40
§ 1.8. Электрическое поле .....	42
§ 1.9. Напряжённость электрического поля. Принцип суперпозиции полей .....	48
§ 1.10. Линии напряжённости электрического поля .	52
§ 1.11. Теорема Гаусса .....	57
§ 1.12. Поле заряженной плоскости, сферы и шара ..	63
§ 1.13. Проводники в электростатическом поле ....	68
§ 1.14. Диэлектрики в электростатическом поле ....	71
§ 1.15. Поляризация диэлектриков .....	75
§ 1.16. Примеры решения задач .....	79
Упражнение 2 .....	87
§ 1.17. Потенциальность электростатического поля .....	91
§ 1.18. Потенциальная энергия заряда в однородном электрическом поле. Энергия взаимодействия точечных зарядов .....	92

§ 1.19. Потенциал электростатического поля и разность потенциалов .....	98
§ 1.20. Связь между напряжённостью электростатического поля и разностью потенциалов. Эквипотенциальные поверхности .....	102
§ 1.21. Измерение разности потенциалов .....	106
§ 1.22. Экспериментальное определение элементарного электрического заряда .....	109
§ 1.23. Примеры решения задач .....	112
Упражнение 3 .....	117
§ 1.24. Электрическая ёмкость .....	121
§ 1.25. Конденсаторы .....	125
§ 1.26. Различные типы конденсаторов. Соединения конденсаторов .....	131
§ 1.27. Энергия заряженных конденсаторов и проводников. Применения конденсаторов .....	134
§ 1.28. Примеры решения задач .....	139
Упражнение 4 .....	145
<b>Глава 2. Постоянный электрический ток .....</b>	<b>151</b>
§ 2.1. Что такое электрический ток? .....	151
§ 2.2. Плотность тока. Сила тока .....	154
§ 2.3. Электрическое поле проводника с током. ....	159
§ 2.4. Закон Ома для участка цепи. Сопротивление проводника .....	165
§ 2.5. Зависимость электрического сопротивления от температуры .....	173
§ 2.6. Сверхпроводимость .....	177
§ 2.7. Работа и мощность тока. Закон Джоуля—Ленца .....	182
§ 2.8. Электрические цепи. Последовательное и параллельное соединения проводников .....	185
§ 2.9. Измерение силы тока, напряжения и сопротивления .....	191
§ 2.10. Примеры решения задач .....	197
Упражнение 5 .....	208
§ 2.11. Электродвижущая сила .....	213
§ 2.12. Гальванические элементы .....	217
§ 2.13. Аккумуляторы .....	224
§ 2.14. Закон Ома для полной цепи .....	227
§ 2.15. Закон Ома для участка цепи, содержащего ЭДС .....	230
§ 2.16. Работа и мощность тока на участке цепи, содержащем ЭДС .....	232

§ 2.17. Расчёт сложных электрических цепей . . . . .	234
§ 2.18. Примеры решения задач . . . . .	236
Упражнение 6 . . . . .	248

## Глава 3. Электрический ток в различных средах . . . . . 253

§ 3.1. Электрическая проводимость различных веществ . . . . .	253
§ 3.2. Электронная проводимость металлов . . . . .	256
§ 3.3. Почему справедлив закон Ома? . . . . .	258
§ 3.4. Электрический ток в растворах и расплавах электролитов . . . . .	264
§ 3.5. Закон электролиза . . . . .	268
§ 3.6. Техническое применение электролиза . . . . .	271
§ 3.7. Электрический ток в газах . . . . .	274
§ 3.8. Несамостоятельный и самостоятельный разряды . . . . .	278
§ 3.9. Различные типы самостоятельного разряда и их техническое применение . . . . .	283
§ 3.10. Плазма . . . . .	291
§ 3.11. Электрический ток в вакууме . . . . .	295
§ 3.12. Двухэлектродная электронная лампа — диод . . . . .	297
§ 3.13. Трёхэлектродная электронная лампа — триод . . . . .	301
§ 3.14. Электронные пучки. Электронно-лучевая трубка . . . . .	304
§ 3.15. Электрический ток в полупроводниках . . . . .	308
§ 3.16. Примесная электропроводность полупроводников. . . . .	311
§ 3.17. Электронно-дырочный переход ( $n-p$ -переход) . . . . .	313
§ 3.18. Полупроводниковый диод . . . . .	316
§ 3.19. Транзистор . . . . .	319
§ 3.20. Термисторы и фоторезисторы . . . . .	323
§ 3.21. Примеры решения задач . . . . .	327
Упражнение 7 . . . . .	332

## Глава 4. Магнитное поле токов. . . . . 338

§ 4.1. Магнитные взаимодействия . . . . .	338
§ 4.2. Магнитное поле токов . . . . .	342
§ 4.3. Вектор магнитной индукции . . . . .	347
§ 4.4. Линии магнитной индукции. Поток магнитной индукции . . . . .	352
§ 4.5. Закон Био—Савара—Лапласа . . . . .	358
§ 4.6. Закон Ампера . . . . .	363
§ 4.7. Системы единиц для магнитных взаимодействий . . . . .	367

§ 4.8. Применения закона Ампера. Электроизмерительные приборы .....	371
§ 4.9. Действие магнитного поля на движущийся заряд. Сила Лоренца .....	375
§ 4.10. Применение силы Лоренца. Циклический ускоритель .....	379
§ 4.11. Примеры решения задач .....	384
Упражнение 8 .....	392
<b>Глава 5. Электромагнитная индукция .....</b>	<b>397</b>
§ 5.1. Открытие электромагнитной индукции .....	397
§ 5.2. Правило Ленца .....	401
§ 5.3. Закон электромагнитной индукции .....	404
§ 5.4. Вихревое электрическое поле .....	406
§ 5.5. ЭДС индукции в движущихся проводниках ...	410
§ 5.6. Индукционные токи в массивных проводниках	413
§ 5.7. Самоиндукция. Индуктивность .....	415
§ 5.8. Энергия магнитного поля тока .....	419
§ 5.9. Примеры решения задач .....	422
Упражнение 9 .....	427
<b>Глава 6. Магнитные свойства вещества .....</b>	<b>432</b>
§ 6.1. Магнитная проницаемость — характеристика магнитных свойств вещества .....	432
§ 6.2. Три класса магнитных веществ .....	434
§ 6.3. Объяснение пара- и диамагнетизма .....	438
§ 6.4. Основные свойства ферромагнетиков .....	440
§ 6.5. О природе ферромагнетизма .....	445
§ 6.6. Применения ферромагнетиков .....	449
<b>Заключение .....</b>	<b>452</b>
<b>Темы проектов .....</b>	<b>453</b>
<b>Обобщающие проекты. ....</b>	<b>453</b>
<b>Информационные ресурсы. ....</b>	<b>454</b>
<b>Ответы к упражнениям .....</b>	<b>455</b>