

Д.К. Максвелл

**Трактат об электричестве и
магнетизме**

Том 2. Классики науки

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 53
ББК 22.3
Д11

Д11 **Д.К. Максвелл**
Трактат об электричестве и магнетизме: Том 2. Классики науки / Д.К. Максвелл – М.: Книга по Требованию, 2016. – 438 с.

ISBN 978-5-458-33153-1

Выпуск в свет перевода «Трактата об электричестве и магнетизме» Д. К. Максвеля — необходимое (хотя и несколько запоздалое) пополнение русской научной библиотеки. С точки зрения научной информации мировое сообщество становится все менее и менее многоязычным, и уже сейчас представитель любой страны оказывается в состоянии принимать полноценное участие в научно-образовательном и творческом процессе, опираясь всего лишь на два-три языка, к числу которых относится и русский. «Трактат» Максвеля составляет непременную часть этого наследия: он принадлежит к тем выдающимся произведениям цивилизации, которые, подобно «Началам» Ньютона, произвели крупномасштабные изменения в развитии естествознания и не только в части проникновения в тайны мироздания, но и в отношении совершенствования способов мышления, принципов «понимания понимания», новых подходов к методам познания природы.

ISBN 978-5-458-33153-1

© Издание на русском языке, оформление

«YOYO Media», 2016

© Издание на русском языке, оцифровка,

«Книга по Требованию», 2016

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, кляксы, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

СОДЕРЖАНИЕ

ЧАСТЬ III МАГНЕТИЗМ

ГЛАВА I

ЭЛЕМЕНТАРНАЯ ТЕОРИЯ МАГНЕТИЗМА

ГЛАВА II

МАГНИТНАЯ СИЛА И МАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

395. Магнитная сила, определенная через магнитный потенциал..	39
396. Магнитная сила в цилиндрической полости магнита, однородно намагниченного параллельно оси цилиндра..	40
397. Приложение к произвольному магниту..	40
398. Вытянутый цилиндр. Магнитная сила	40
399. Тонкий диск. Магнитная индукция	41
400. Связь между магнитной силой, магнитной индукцией и намагниченностью..	41
401. Линейный интеграл от магнитной силы, или магнитный потенциал	42
402. Поверхностный интеграл от магнитной индукции..	42
403. Соленоидальное распределение магнитной индукции..	43
404. Поверхности и трубы магнитной индукции..	44
405. Вектор-потенциал магнитной индукции..	44
406. Соотношения между скалярным потенциалом и вектор-потенциалом..	46

ГЛАВА III

МАГНИТНЫЕ СОЛЕНОИДЫ И ОБОЛОЧКИ

407. Определение магнитного соленоида..	47
408. Определение сложного соленоида и выражение для его потенциала в произвольной точке..	48
409. Потенциал магнитной оболочки в произвольной точке есть произведение ее мощности на телесный угол с вершиной в этой точке, опирающийся на границу оболочки..	48
410. Другой метод доказательства..	49
411. Потенциал в точке на положительной стороне оболочки мощности Φ превышает потенциал ближайшей точки на отрицательной стороне на $4\pi\Phi$	49
412. Слоистое распределение магнетизма..	50
413. Сложное слоистое распределение магнетизма..	50
414. Потенциал соленоидального магнита..	50
415. Потенциал слоистого магнита..	50
416. Вектор-потенциал слоистого магнита..	51
417. О телесном угле с вершиной в данной точке, опирающемся на замкнутую кривую..	52
418. Телесный угол, выраженный через длину кривой на сфере.. . . .	52
419. Телесный угол, найденный двойным линейным интегрированием....	53
420. Π , выраженное как определитель..	54
421. Телесный угол является циклической функцией..	54
422. Теория вектор-потенциала замкнутой кривой..	55
423. Потенциальная энергия магнитной оболочки, помещенной в магнитное поле..	56

ГЛАВА IV

ИНДУЦИРОВАННАЯ НАМАГНИЧЕННОСТЬ

424. Когда тело под действием магнитной силы само становится намагниченным, это явление называется магнитной индукцией..	57
425. Магнитная индукция в различных веществах..	58

ГЛАВА V ЧАСТНЫЕ ЗАДАЧИ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

431. Теория полой сферической оболочки..	67
432. Случай, когда χ велико..	68
433. . . , когда $i=1$	68
434. Соответствующий случай в двух измерениях. (Рис. XV)..	69
435. Случай твердой сферы, коэффициенты намагниченности которой различны в разных направлениях..	70
436. Девять коэффициентов, сведенные к шести. (Рис. XVI)..	71
437. Теория эллипсоида, на который действует постоянная магнитная сила..	72
438. Случаи очень плоского и очень длинного эллипсоидов..	75
439. Постановка задач, решенных Нейманом, Кирхгофом и Грином.. .	77
440. Метод приближения к решению общей задачи, когда коэффициент χ очень мал..	78
441. О кобальтальном магнетизме	78

ГЛАВА VI

ВЕБЕРОВСКАЯ ТЕОРИЯ ИНДУЦИРОВАННОГО МАГНЕТИЗМА

ГЛАВА VII

МАГНИТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

ГЛАВА VIII

465. Элементы магнитной силы..	119
466. Сопоставление результатов магнитного обзора по стране..	121
467. Вывод разложения магнитного потенциала Земли по сферическим гармоникам..	122
468. Определение земных магнитных полюсов. Они не расположены на концах магнитной оси. Ложные полюса. На земной поверхности их нет..	123
469. Вычисление Гаусса 24-х коэффициентов первых четырех гармоник	123
470. Отделение внешних источников магнитной силы от внутренних	123
471. Солнечные и лунные вариации..	124
472. Периодические вариации..	124
473. Возмущения и их 11-летний период..	125
474. Их влияние на магнитные исследования..	125

ЧАСТЬ IV

ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

ГЛАВА I

475. Открытие Эрстедом действия электрического тока на магнит..	126
476. Пространство около электрического тока является магнитным полем	126
477. Действие вертикального тока на магнит..	126
478. Доказательство того, что сила, обусловленная прямым током сколь угодно большой длины, меняется обратно пропорционально расстоянию..	127
479. Электромагнитное измерение тока ..	127
480. Потенциальная функция, обусловленная прямым током. Она является многозначной функцией..	127
481. Сравнение действия такого тока с действием магнитной оболочки, имеющей бесконечную прямую кромку и простирающейся по одну сторону от этой кромки до бесконечности..	128
482. Небольшой контур действует на больших расстояниях подобно магниту..	128
483. Отсюда вывод формулы для действия замкнутого контура произвольной формы и размера на любую точку, не лежащую на самом токе..	129
484. Сравнение контура и магнитной оболочки..	129
485. Магнитный потенциал замкнутого контура..	129
486. Условия непрерывного вращения магнита вокруг тока..	130

487. Форма магнитной эквипотенциальной поверхности, обусловленной замкнутым контуром. (Рис. XVIII)..	131
488. Взаимодействие между произвольной системой магнитов и замкнутым током..	131
489. Реакция на контур..	131
490. Сила, действующая на провод, несущий ток и помещенный в магнитное поле..	132
491. Теория электромагнитных вращений..	134
492. Действие одного электрического контура на другой или на его часть	135
493. Наш метод исследования является методом Фарадея..	135
494. Иллюстрация метода в приложении к параллельным токам..	136
495. Размерность единицы тока..	136
496. На провод действует сила, направленная с той стороны, где его действие усиливается магнитную силу, в ту сторону, где оно противоположно магнитной силе..	136
497. Действие бесконечного прямого тока на произвольный ток, лежащий в его плоскости..	137
498. Формулировка законов электромагнитной силы. Магнитная сила, обусловленная током..	137
499. Универсальность этих законов..	138
500. Сила, действующая на контур, помещенный в магнитное поле	138
501. Электромагнитная сила — это механическая сила, действующая на проводник, а не на сам ток..	139

ГЛАВА II

ИССЛЕДОВАНИЯ АМПЕРА ПО ВЗАИМОДЕЙСТВИЮ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТОКОВ

502. Исследование Ампером закона силы между элементами электрических токов..	139
503. Его метод экспериментирования..	140
504. Весы Ампера..	140
505. Первый опыт Ампера. Равные, но противоположные токи нейтрализуют друг друга..	141
506. Второй опыт. Изогнутый проводник эквивалентен прямому проводнику, несущему такой же ток..	141
507. Третий опыт. Действие замкнутого тока на элемент другого тока перпендикулярно этому элементу..	141
508. Четвертый опыт. Равные токи в геометрически подобных системах создают равные силы..	142
509. Во всех этих опытах действующий ток является замкнутым..	142
510. Оба контура, однако, можно для математических целей считать состоящими из элементарных частей, а действие токов рассматривать как результирующее действие этих элементов..	143
511. Необходимая форма связей между элементарными участками линий	144
512. Геометрические свойства, которые определяют их относительное положение..	144
513. Форма составляющих их взаимного действия..	145
514. Разложение на проекции в трех направлениях, параллельных соответственно линии, их соединяющей, и самим элементам..	146
515. Общее выражение для действия некоторого конечного тока на элемент другого..	147

516. Условие, вытекающее из третьего амперовского случая равновесия	148
517. Теория директрисы и определителей электромагнитного действия	148
518. Выражение для определителей через составляющие вектор-потенциала тока..	149
519. Часть силы, которая не определена, может быть выражена через пространственную производную от потенциала..	150
520. Полное выражение для действия между двумя конечными токами	150
521. Взаимный потенциал двух замкнутых токов..	150
522. Уместность введения кватернионов в этом исследовании..	151
523. Определение вида функций из четвертого амперовского случая равновесия..	151
524. Электродинамическая и электромагнитная единицы токов..	151
525. Полное выражение для действия между двумя конечными токами	152
526. Четыре допустимых разновидностей теории..	152
527. Из них следует предпочтость теории Ампера..	153

ГЛАВА III

ОБ ИНДУКЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТОКОВ

528. Открытие Фарадея, сущность его методов..	153
529. Метод, принятый в этом трактате, основан на методе Фарадея..	155
530. Явление магнитоэлектрической индукции..	156
531. Общий закон индукции токов..	157
532. Иллюстрации направления индуцированных токов..	157
533. Индукция из-за движения Земли..	158
534. Электродвижущая сила, обусловленная индукцией, не зависит от материала проводника..	158
535. Она не проявляет тенденции двигать проводник..	159
536. Опыты Феличи по законам индукции..	159
537. Использование гальванометра для определения интеграла по времени от электродвижущей силы..	160
538. Сопряженные положения двух катушек..	161
539. Математическое выражение для полного тока индукции..	162
540. Фарадеевская концепция электротонического состояния..	162
541. Его метод формулировки законов индукции с помощью линии магнитной силы..	163
542. Закон Ленца и неймановская теория индукции..	165
543. Вывод индукций Гельмгольцем из механического действия токов при помощи закона сохранения энергии..	165
544. Томсоновское приложение того же принципа..	166
545. Вклад Вебера в науку об электричестве..	167

ГЛАВА IV

О САМОИНДУКЦИИ ТОКА

546. Удар, создаваемый электромагнитом	167
547. Кажущийся импульс (количество движения) электричества.. . .	168
548. Различие между этим случаем и случаем трубы, содержащей поток воды..	168
549. Если здесь и возникает импульс, то он не является импульсом движущегося электричества..	186

550. Тем не менее явления полностью аналогичны явлениям, связанным с импульсом..	168
551. Электрический ток обладает энергией, которую можно назвать электрокинетической энергией	169
552. Это приводит нас к виду динамической теории электрических токов	169

ГЛАВА V

ОБ УРАВНЕНИЯХ ДВИЖЕНИЯ СВЯЗАННОЙ СИСТЕМЫ

553. Лагранжев метод получения соответствующих идей для изучения высших динамических наук..	170
554. Эти идеи должны быть переведены с математического языка на динамический..	170
555. Степени свободы связанной системы..	171
556. Обобщенное значение скорости..	172
557. Обобщенное значение силы..	172
558. Обобщенное значение импульса (количество движения) и импульса силы..	172
559. Работа, совершаемая малым импульсом..	173
560. Кинетическая энергия, выраженная через импульсы..	173
561. Гамильтоновы уравнения движения..	174
562. Кинетическая энергия, выраженная через скорости и импульсы	175
563. Кинетическая энергия, выраженная через скорости..	176
564. Соотношения между T_p и T_q , p и q	176
565. Моменты, произведения инерции и подвижности..	177
566. Необходимые условия, которым должны удовлетворять эти коэффициенты..	178
567. Связь между математическими, динамическими и электрическими представлениями..	178

ГЛАВА VI

ДИНАМИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМА

568. Электрический ток обладает энергией..	179
569. Ток есть явление кинетическое..	180
570. Работа, совершаемая электродвижущей силой..	180
571. Наиболее общее выражение для кинетической энергии системы, содержащей электрические токи..	181
572. Электрические переменные не появляются в этом выражении.. .	181
573. Механическая сила, действующая на проводник..	182
574. Часть, зависящая от произведений обычных скоростей на силы токов, не существует..	183
575. Другая экспериментальная проверка..	185
576. Обсуждение электродвижущей силы..	186
577. Если бы существовало члены, включающие произведения скоростей и токов, они бы вводили электродвижущие силы, которые не наблюдаются..	187

ГЛАВА VII

ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОНТУРОВ

578. Электрокинетическая энергия системы линейных контуров..	188
579. Электродвижущая сила в каждом контуре..	189
580. Электромагнитная сила..	189
581. Случай двух контуров..	190
582. Теория индуцированных токов..	190
583. Механическое действие между контурами..	191
584. Все явления взаимодействия двух контуров зависят от единственной величины — потенциала двух контуров..	191

ГЛАВА VIII

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯ
ПРИ ПОМОЩИ ВТОРИЧНОГО КОНТУРА

585. Электрокинетический импульс вторичного контура..	191
586. . . выраженный в виде линейного интеграла..	192
587. Пронзольная система смежных контуров эквивалентна контуру, образованному их внешней границей..	192
588. Электрокинетический импульс, выраженный в виде поверхностного интеграла..	193
589. Изогнутый участок контура эквивалентен прямому участку..	193
590. Электрокинетический импульс в точке, выраженный в виде вектора \mathcal{J}	194
591. Его связь с магнитной индукцией Ψ . Уравнения (A)..	195
592. Оправдание этих наименований..	196
593. Соглашения относительно знаков перемещения и вращений..	196
594. Теория скользящего участка..	197
595. Электродвижущая сила, обусловленная движением проводника	198
596. Электромагнитная сила, действующая на скользящий участок.. .	198
597. Четыре определения линии магнитной индукции..	198
598. Общие уравнения электромагнитной силы (B)..	199
599. Анализ электродвижущей силы..	201
600. Общие уравнения, отнесенные к движущимся осям..	202
601. Движение осей не меняет ничего, кроме кажущегося значения электрического потенциала..	203
602. Электромагнитная сила, действующая на проводник..	203
603. Электромагнитная сила, действующая на элемент проводящего тела. Уравнения (C)..	204

ГЛАВА IX

ОБЩИЕ УРАВНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

604. Резюме..	205
605. Уравнения намагниченностей (D)..	206
606. Связь между магнитной силой и электрическими токами..	207
607. Уравнения электрических токов (E)..	208
608. Уравнения электрического смещения (F)..	209
609. Уравнения электрической проводимости (G)..	209
610. Уравнения полных токов (H)..	210

611. Токи, выраженные через электродвижущую силу (I)..	210
612. Объемная плотность свободного электричества (J)..	210
613. Поверхностная плотность свободного электричества (K)..	210
614. Уравнения магнитной проницаемости (L)..	210
615. Теория магнитов Ампера..	211
616. Электрические токи, выраженные через электрокинетический импульс..	211
617. Вектор-потенциал электрических токов..	212
618. Кватернионные выражения для электромагнитных величин..	213
619. Кватернионные уравнения электромагнитного поля..	214

**ГЛАВА X
РАЗМЕРНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН**

620. Две системы единиц	215
621. Двенадцать первичных единиц..	215
622. Пятнадцать связей между этими величинами..	216
623. Выражение через e и m	217
624. Свойства взаимности двух систем..	217
625. Электростатическая и электромагнитная система..	217
626. Размерности двенадцати величин в двух системах..	218
627. Шесть производных единиц..	219
628. Отношение соответствующих единиц в двух системах	219
629. Практическая система электрических единиц. Таблица практических единиц..	220

**ГЛАВА XI
ОБ ЭНЕРГИИ И НАПРЯЖЕНИИ
В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ**

630. Электростатическая энергия, выраженная через свободное электричество и потенциал..	221
631. Электростатическая энергия, выраженная через электродвижущую силу и электрическое смещение..	221
632. Магнитная энергия, выраженная через намагниченность и магнитную силу..	222
633. Магнитная энергия, выраженная через квадрат магнитной силы	222
634. Электрокинетическая энергия, выраженная через электрический импульс и электрический ток..	223
635. Электрокинетическая энергия, выраженная через магнитную индукцию и магнитную силу..	223
636. Метод, принятый в трактате..	224
637. Сравнение магнитной энергии и электрокинетической энергии..	224
638. Сведение магнитной энергии к электрокинетической..	225
639. Сила, действующая на частицу вещества, обусловленная ее намагниченностью..	226
640. Электромагнитная сила, обусловленная прохождением электрического тока через нее..	226
641. Объяснение этих сил при помощи гипотезы напряжения в среде	227
642. Общий характер напряжения, необходимого для создания явления	228

643. В отсутствии намагниченности напряжение является натяжением в направлении линий магнитной силы, объединенным с давлением во всех направлениях, перпендикулярных этим линиям; величина натяжения и давления при этом равна $(1/8\pi)\mathbf{h}$, где \mathbf{h} есть магнитная сила..	229
644. Сила, действующая на проводник с током..	230
645. Теория напряжения в среде в формулировке Фарадея..	230
646. Численное значение Магнитного напряжения..	231

ГЛАВА XII
ТОКОВЫЕ ЛИСТЫ

647. Определение токового листа..	231
648. Функция тока..	232
649. Электрический потенциал..	232
650. Теория постоянных токов..	232
651. Случай однородной проводимости..	232
652. Магнитное действие токового листа с замкнутыми токами..	233
653. Магнитный потенциал, обусловленный токовым листом..	233
654. Индукция токов в листе с бесконечной проводимостью..	234
655. Такой лист непроницаем для магнитного действия..	234
656. Теория плоского токового листа..	235
657. Магнитные функции, выраженные как производные от одной функции..	235
658. Действие переменной магнитной системы на лист..	236
659. В отсутствии внешнего действия токи затухают и их магнитное действие уменьшается, как если бы лист удалялся с постоянной скоростью R	238
660. Токи, возбуждаемые мгновенным введением магнитной системы, производят действие, эквивалентное изображению этой системы	238
661. Это изображение удаляется от первоначального положения со скоростью R	239
662. Последовательность изображений, формируемая магнитной системой при непрерывном движении..	239
663. Математическое выражение для действия индуцированных токов	239
664. Случай однородного движения магнитного полюса..	240
665. Величина силы, действующей на магнитный полюс..	241
666. Случай криволинейного движения..	241
667. Случай движения вблизи кромки листа..	241
668. Теория вращающегося диска Араго..	242
669. Последовательность изображений в виде спирали..	244
670. Сферические токовые листы..	245
671. Вектор-потенциал..	246
672. Как создать поле постоянной магнитной силы внутри сферической оболочки..	246
673. Как создать постоянную силу, действующую на подвешенную катушку..	247
674. Токи, параллельные плоскости..	248
675. Плоский электрический контур. Сферическая оболочка. Эллипсоидальная оболочка..	248
676. Соленоид..	249