

УДК 621.31
ББК 31.2

С25

Сворень Р. А..
С25 Электричество шаг за шагом. – М.: ДМК Пресс, 2019. – 460 с.: ил.

ISBN 978-5-97060-604-9

В книге весьма подробно и в то же время очень доступно рассказано об электричестве и его использовании в энергетике и связи.

Используя 400 специально разработанных иллюстраций, автор рассказывает об истории изучения электричества, о сложившихся основных системах постоянного и переменного тока и о той важной роли, которая досталась электричеству в энергетике нашего мира.

Рудольф Анатольевич Сворень – автор многих популярных книг о физике и электронике, известный научный журналист, радиоинженер и кандидат педагогических наук, много лет проработавший в редакции журнала “Наука и жизнь” заместителем главного редактора.

УДК 621.31
ББК 31.2

Все права защищены. Любая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Материал, изложенный в данной книге, многократно проверен. Но поскольку вероятность технических ошибок все равно существует, издательство не может гарантировать абсолютную точность и правильность приводимых сведений. В связи с этим издательство не несет ответственности за возможные ошибки, связанные с использованием книги.

ISBN 978-5-97060-604-9

© Сворень Р. А., 2012
© Рисунки, Крупнов В. Н., Тарасова А. Л.,
Мельников Е. В., 2012
© Оформление, Фонд “Наука и жизнь”, 2012
© Издание, ДМК Пресс, 2019

Оглавление

ГЛАВА 1. Десять важных предупреждений	3
Т-1. Очень может быть, что читателю эта книга совершенно не нужна.	3
Т-2. В то же время есть немало людей, которым не обойтись без знакомства с электричеством, и книга поможет сделать в этом деле первые шаги.	4
Т-3. Многие получают от знакомства с электричеством реальную пользу, хотя напрямую с ним не связаны.	4
Т-4. Кое-что об электричестве полезно знать даже тем, кто терпеть не может точные науки и совершенно не интересуется техникой.	4
Т-5. Предлагаемая читателю книга, так сказать, многоэтажна, в ней, в частности, есть тематические этажи, разные по уровню сложности.	5
Т-6. Читатель может в различной последовательности знакомиться с разделами книги.	9
Т-7. Книга написана на нескольких разных языках, освоить их — значит сделать самый важный шаг в изучении электричества.	10
Т-8. Многое в книге излагается упрощённо, а кое-что очень упрощённо и, может быть, даже слишком упрощённо.	13
Т-9. Автор должен предупредить, что книга имеет серьёзный недостаток, его нельзя было избежать, но в будущем, надеюсь, удастся исправить.	14
Т-10. Читатель получает последнее и при этом самое важное предупреждение.	15
ГЛАВА 2. Где живёт и как действует янтарная сила	16
Т-11. Каждый человек встречался с электричеством, но далеко не каждый решится объяснить, что это такое.	16
Т-12. Мир, в котором мы живём, устроен намного сложнее, чем кажется с первого взгляда.	17

T-13. История человека и человечества в семи абзацах.	18
T-14. Люди не быстро выясняли, как что устроено в природе.	22
T-15. На сжатой в 30 миллионов раз шкале времени открытие Америки произошло примерно 8 минут назад.	23
T-16. Наряду с бессчётными вопросами, на которые можно ответить детально и конкретно, есть несколько «почему?», допускающих пока только один ответ: «Так устроен наш мир»....	25
T-17. Электричество — одна из важнейших важностей нашего мира, одна из действующих в нём главных сил.	27
T-18. При своём рождении наша Вселенная получилась такой, что практически у всех атомных частиц есть масса, а у некоторых к тому же есть ещё и электрический заряд.	30
T-19. Человек ищет помощников.	31
T-20. В природе есть несколько видов фундаментальных сил, электричество — одна из них.	31
T-21. К электричеству нужно просто привыкнуть, как мы от рождения привыкли к гравитации.	34
T-22. Электричество бывает двух видов, двух сортов, и придумали им такие названия: «положительное электричество» и «отрицательное электричество».	35
T-23. В наэлектризованных палочках у некоторых молекул чувствуется электрический заряд.	37
T-24. В поисках элементарного, то есть самого маленького в природе, электрического заряда мы разбираем молекулу на атомы.	39
T-25. Несколько похвальных слов моделям и моделированию.	40
T-26. Планетарная модель атома — в центре массивное ядро, вокруг него вращаются электроны.	41
T-27. Действующая модель атома водорода.	44
T-28. Атомные частицы электрон и протон содержат мельчайшие порции электрических зарядов.	44
T-29. Атомы разных химических элементов различаются числом протонов в ядре.	47
T-30. Положительный ион и отрицательный ион — атомы, у которых нарушено электрическое равновесие и каких-то зарядов (+ или -) в них больше.	49
T-31. Электрические силы могли бы работать в машинах.	51

ГЛАВА 3. Завод, где работают электроны 52

T-32. Много из того, что было и ещё будет рассказано, есть большая неправда, поскольку не упоминает о существовании квантовой механики.	52
T-33. Электроны и ионы могут находиться в свободном состоянии и перемещаться в межатомном пространстве.	54

Т-34. Участвующие в электрическом токе электроны и (или) ионы, могут создавать тепло и свет, а также перемещать вещество.	57
Т-35. Проводники, полупроводники, изоляторы — вещества с различным содержанием свободных электрических зарядов.	59
Т-36. Генератор и нагрузка — основные элементы электрической цепи	62
Т-37. Натёртые пластмассовая и стеклянная палочки в роли генератора, металлический проводник — в роли нагрузки.	63
Т-38. Наряду с веществом существует и такой вид материи, как поле	65
Т-39. Тот, кто хочет чувствовать себя свободно в электрическом королевстве, непременно должен научиться дополнять открывшуюся ему простую картину мира.	67
Т-40. Уже древние греки, продолжив свои опыты, могли бы создать в проводнике электрический ток — упорядоченное движение электронов.	69
Т-41. Химический генератор — первое знакомство.	72
Т-42. Карманный фонарик — простейшая реальная электрическая цепь.	74

ГЛАВА 4. Не нужно бояться вопроса «сколько?»..... 76

Т-43. Об электрической цепи иногда необходимо рассказывать не словами, а цифрами.	76
Т-44. Единица электрического заряда — кулон (К).	77
Т-45. Единица силы тока — ампер (А).	79
Т-46. Встречаясь со словом «сила», нужно помнить, что оно может иметь несколько разных значений.	81
Т-47. Система единиц — комплект взаимосвязанных единиц измерения, который наряду с принципиальными достоинствами позволяет упростить вычисления.	83
Т-48. Единица силы (веса) — ньютон (Н).	85
Т-49. Единица работы и энергии — джоуль (Дж).	86
Т-50. Единица мощности — ватт (Вт).	89
Т-51. Иногда работу или энергию указывают не в джоулях, а в ватт-секундах или киловатт-часах.	91
Т-52. Единица электродвижущей силы — вольт (В).	91
Т-53. Единица электрического сопротивления — ом (Ом).	93
Т-54. Единица электрического напряжения — вольт (В).	96
Т-55. Зная основную единицу измерения, можно легко получить более мелкие и более крупные единицы.	97

ГЛАВА 5. Конституция электрической цепи..... 98

Т-56. Закон Ома — один из очень простых, понятных и в то же время очень важных законов электрической цепи.	98
Т-57. О некотором отличии закона об охране авторских прав от закона всемирного тяготения.	99

T-58. Закон надо знать точно	100
T-59. Формулы — короткий и удобный способ записи влияния одних величин на другие.	101
T-60. Бегло взглянув на формулу, можно сразу увидеть, какая величина от какой и как зависит.	101
T-61. Из основной формулы закона Ома можно получить две удобные расчётные формулы для вычисления э.д.с. E и сопротивления R	105
T-62. Сопротивление (резистор) — деталь, основная задача которой оказывать определённое сопротивление электрическому току.	105
T-63. В виде резисторов (сопротивлений) на схемах часто отображают самые разные приборы, аппараты и элементы цепи.	107
T-64. Попытка заглянуть внутрь электрической цепи, чтобы понять обстановку на границах.	108
T-65. Во всех участках последовательной цепи сила тока одинакова.	109
T-66. Забыв на некоторое время об электричестве, мы берём санки и отправляемся на поиски пригодной для спуска снежной горки. ..	111
T-67. Созданные генератором избыточные заряды автоматически распределяются в последовательной цепи так, чтобы ток везде был одинаковым	112
T-68. Электродвижущая сила генератора делится между участками последовательной цепи, часть э.д.с., доставшаяся какому- нибудь из них, называется напряжением U на этом участке и измеряется в вольтах (В).	113
T-69. Работоспособность (в вольтах) в какой-либо точке электрической цепи или электрического поля часто называют её потенциалом.	114
T-70. На любом участке электрической цепи действует закон Ома, по сути, такой же, как закон Ома для всей цепи.	114
T-71. Напряжение U на участке цепи зависит от силы тока I , который проходит по этому участку, и от его сопротивления R	115

ГЛАВА 6. Думайте на языке электрических схем..... 116

T-72. Условное направление тока — от «плюса» к «минусу».....	116
T-73. Определяя силу тока, надо учитывать все движущиеся заряды.....	118
T-74. При параллельном соединении резисторов их общее сопротивление меньше наименьшего.....	120
T-75. Мощность в электрической цепи — произведение тока на напряжение.	121
T-76. Несколько полезных грамматических правил для языка электрических схем.....	125
T-77. Несколько полезных образов для языка электрических схем. ...	126

T-78. Последовательная цепь — делитель напряжения, параллельная — делитель тока.	129
T-79. Особые делители — шунт и добавочное сопротивление.....	130
T-80. Чтобы увеличить нагрузку, нужно уменьшить сопротивление нагрузки.....	131
T-81. Напряжение на выходе генератора всегда меньше, чем э.д.с., и оно падает с увеличением нагрузки.....	132
T-82. Электротехника — наука о контактах.	134
T-83. Вольтметр, амперметр и омметр — приборы для измерения э.д.с. (напряжения), тока и сопротивления.....	135
T-84. Сложная электрическая цепь — система из последовательно и параллельно соединённых элементов.....	137
T-85. Меняя какой-либо элемент сложной схемы, нужно понимать, как изменятся токи и напряжения на разных её участках.....	137
T-86. Рассматривая сложную электрическую схему, очень важно не терять уверенности в том, что во всём в итоге можно разобраться.....	138
T-87. Главная действующая сила недолго будет оставаться в тени.....	139

ГЛАВА 7. Рождённый движением 140

T-88. С магнитными силами, так же как с гравитационными и электрическими, проще всего познакомиться в простейших опытах.	140
T-89. Северный и южный полюсы магнита — два участка с особо сильно выраженными магнитными свойствами, но свойствами разного сорта.....	142
T-90. Поляризация — физическое явление, которое объясняет некоторые загадочные электрические и магнитные процессы.	143
T-91. Магнитное поле, оказывается, можно получить, размахивая натёртой пластмассовой палочкой.	147
T-92. Магнитное поле всегда замкнуто.	150
T-93. Нехитрое изобретение превращает проводник с током в стержневой магнит с явно выраженными полюсами — северным и южным.....	153
T-94. Катушка: ток последовательно проходит по нескольким виткам провода и их магнитные поля суммируются.	155
T-95. Ферромагнитные и парамагнитные вещества в разной степени усиливают магнитное поле, диамагнитные ослабляют его.	156
T-96. Основные характеристики магнитного поля — напряжённость H , магнитная индукция B и магнитный поток Φ	157
T-97. Путь, по которому замыкается магнитное поле, часто называют магнитной цепью.	161

T-98. В электрических приборах и аппаратах часто встречаются магнитные элементы.	163
T-99. Странное поведение ферромагнитного сердечника становится причиной некоторых неприятностей и в то же время основой для замечательных изобретений.	166

ГЛАВА 8. Парад великих превращений 170

T-100. Всё многообразие электродвигателей, все их неисчислимые количества берут начало с открытия, сделанного примерно 200 лет назад.	170
T-101. Правило левой руки позволяет узнать, куда движется проводник с током, помещённый в магнитное поле.	175
T-102. В проводнике, который движется в магнитном поле, индуцируется (наводится) электродвижущая сила.	180
T-103. Правило правой руки указывает направление э.д.с. и тока, которые появятся у проводника, если его двигать в магнитном поле.	183
T-104. Чем быстрее проводник пересекает магнитное поле, тем больше э.д.с., наведённая в этом проводнике.	184
T-105. Чтобы увеличить наведённую э.д.с., можно свернуть проводник в катушку или (и) быстрее менять магнитное поле.	185
T-106. Во многих процессах решающую роль играет не само значение какой-либо величины, а скорость её изменения.	186
T-107. Разновидность электромагнитной индукции — взаимоиндукция.	187
T-108. Ещё одна разновидность электромагнитной индукции — самоиндукция.	188

ГЛАВА 9. Краткая экскурсия по полям 190

T-109. Индуктивность L катушки говорит о том, насколько эффективно она создаёт магнитное поле с помощью протекающего по ней тока.	190
T-110. Катушка запасает энергию в своём магнитном поле.	191
T-111. Конденсатор запасает энергию в своём электрическом поле.	193
T-112. Электрическая ёмкость характеризует способность конденсатора, и вообще любого физического тела, накапливать электрические заряды. Единица ёмкости — фарад, Ф.	195
T-113. Конденсатор, объединившись с резистором, может стать элементом отсчёта времени.	199
T-114. Свободные электрические заряды, создавая ток, двигаются очень медленно, а вот электрическое и магнитное поля несутся со скоростью света.	202

- T-115. Проводник, пересекая магнитное поле, указывает прямой путь к созданию электрических генераторов.....203
- T-116. Любой энергетический агрегат, в том числе электрогенератор, сам ничего не создаёт, он лишь преобразует один вид энергии в другой.207

ГЛАВА 10. Постоянное непостоянство переменного тока..... 210

- T-117. Если в магнитном поле равномерно вращать проводник, то в нём наведётся переменная синусоидальная э.д.с.....210
- T-118. График — особый рисунок, наглядно показывающий, как одна какая-либо величина зависит от другой.213
- T-119. График переменной электродвижущей силы показывает, как она меняется с течением времени. 217
- T-120. Под действием переменной э.д.с. в цепи идёт переменный ток, а на всех её участках действуют переменные напряжения..... 220
- T-121. Переменный ток может работать так же хорошо, как постоянный.221
- T-122. Приятно всё же встречать технические термины в виде слов родного языка: частота говорит о том, насколько часто повторяется полный цикл переменного тока. Единица частоты — герц, Гц.....222
- T-123. «Мгновенное значение» и «амплитуда» сообщают о работоспособности переменного тока в какой-то определённый момент.223
- T-124. Для того чтобы оценить работоспособность переменного тока в среднем за длительное время, для него придумана характеристика «эффективное значение». 225
- T-125. Фазу и сдвиг фаз надо бы указывать, называя точное время, причём его принято указывать не в секундах, а в градусах.....227
- T-126. Активное сопротивление: ток и напряжение совпадают по фазе.....229
- T-127. Под действием переменного напряжения через катушку индуктивности идёт переменный ток.229
- T-128. Под действием переменного напряжения в цепи конденсатора идёт переменный ток.....230
- T-129. Замечательная математическая кривая синусоида была получена древними математиками как результат несложных геометрических построений. 231
- T-130. Родившаяся из чисто геометрических построений синусоида, как оказалось, описывает много самых разных процессов, в том числе электрических.233
- T-131. Скорость изменения синусоидального напряжения (э.д.с., тока) также изменяется по синусоидальному закону.....234

ГЛАВА 11. Ожидаемые неожиданности..... 236

- T-132. Синусоидальное напряжение создаёт синусоидальный ток через конденсатор; ток опережает напряжение (или, иначе, напряжение отстает от тока) на 90 градусов.236
- T-133. Ёмкостное сопротивление X_C , как и R , измеряется в омах и говорит о том, какой будет ток при данном напряжении, однако мощности X_C не потребляет.237
- T-134. Описание фазовых сдвигов нередко вызывает острую критику читателей, забывших, что такие сдвиги не просто есть, но они вполне объяснимы.240
- T-135. Индуктивное сопротивление X_L , как и обычное активное сопротивление R , говорит о том, какой будет ток при данном напряжении, однако, в отличие от R , мощности X_L не потребляет. 245
- T-136. Индуктивное сопротивление X_L катушки и её активное сопротивление R нельзя просто сложить, чтобы подсчитать их общее сопротивление.246
- T-137. Векторная диаграмма помогает представить себе и количественно оценить многие процессы, в том числе в цепях переменного тока.247

ГЛАВА 12. Семь простейших сложных цепей переменного тока 250

- T-138. Из семи включённых в список сложных цепей нам осталось познакомиться всего лишь с тремя. 250
- T-139. Напряжение, действующее на последовательных цепях RC или RL , можно найти с помощью векторных диаграмм.251
- T-140. При параллельном соединении элементов RC или RL векторная диаграмма строится на основе общего напряжения, а не общего тока.251
- T-141. На векторной диаграмме нетрудно учесть появление третьего элемента и образование последовательной или параллельной LCR -цепи.252
- T-142. Реактивные сопротивления X_L и X_C сильно зависят от частоты, и при её изменении в цепях с L или C меняются напряжения, токи и фазовые сдвиги.253
- T-143. В электрической цепи может одновременно протекать множество переменных токов разных частот, чтобы выделить или подавить какие-либо из них, используют фильтры.254

ГЛАВА 13. Описание неопишуемого..... 256

- T-144. Всё рассказанное о переменном токе относится только к одной его разновидности — к синусоидальному току.256

T-145. Спектр переменного тока сложной формы — это эквивалентный ему набор синусоидальных токов с разными частотами и амплитудами.	257
T-146. Посторонние переменные токи могут создавать помехи и искажать информацию, которую переносят электрические сигналы.	261
T-147. С помощью конденсаторов и катушек можно создавать фильтры — электрические цепи, которые по-разному пропускают токи разных частот.	263
T-148. Частотная характеристика — график, рассказывающий о том, как ведёт себя электрическая цепь на разных частотах.	265
T-149. Коэффициент передачи показывает, во сколько раз напряжение или ток на выходе больше или меньше, чем на входе.	266
T-150. Децибел — универсальная единица, показывающая, во сколько раз какая-либо величина больше или меньше другой.	266
ГЛАВА 14. В мире качающихся маятников	268
T-151. Вы тронули гитарную струну, и она запела гимн свободным колебаниям.	268
T-152. В колебательном контуре происходит обмен энергией между конденсатором C и катушкой индуктивности L	271
T-153. В последовательной LCR-цепи индуктивное сопротивление действует против ёмкостного.	274
T-154. На резонансной частоте сильно падает общее сопротивление последовательной LCR-цепи, и ток в ней резко возрастает.	275
T-155. На резонансной частоте сопротивление параллельной LCR-цепи резко возрастает.	276
T-156. Почему резонансную частоту называют резонансной?	277
ГЛАВА 15. Маленькие хитрости большой энергетики	278
T-157. Трансформатор передаёт энергию из одной электрической цепи в другую без непосредственного контакта между ними.	278
T-158. Трансформатор увеличивает либо напряжение, либо ток, ни в коем случае, однако, не увеличивая мощность.	281
T-159. Сопротивление нагрузки в цепи вторичной обмотки трансформатора определяет режим его первичной цепи — создаёт в ней вносимое сопротивление.	285
T-160. Температурный режим работающего трансформатора: «холодный» — «теплый» — «горячий» — «пошёл дым».	287
T-161. Удивительные профессии простого проводника — сверхпроводимость и скин-эффект.	290

T-162. «Генератор тока» и «генератор напряжения» — два варианта взаимоотношений между источником и потребителем электроэнергии.	294
T-163. Коэффициент полезного действия — цифра и символ.	296
T-164. Качество работы оценивает тригонометрия (косинус фи).	298
T-165. Трансформатор — машина для преодоления расстояний.	300
T-166. Трое в одной лодке и в общем магнитном поле.	301
T-167. Магнитное поле быстро вращается, перемещается по кругу, наполняя силой электрические мускулы планеты.	304
T-168. Электричество — незаменимый посредник.	305

ГЛАВА 16. Главное о главных 308

T-169. Требуются силачи.	308
T-170. Настоящий генератор: штрихи к портрету.	310
T-171. Электрические машины — всё очень просто и непросто.	313
T-172. Команда «Турбина» уверенно выигрывает у команды «Поршень».	315
T-173. Рождённый летать, как оказалось, прекрасно справляется с чисто наземными делами.	317
T-174. Гравитационные силы работают бесплатно, но платить всё же приходится.	319
T-175. Ядерная энергия создаёт электрическую энергию в основном с помощью старого проверенного мастера.	325
T-176. Отряд догоняющих — солнечная энергия, ветер, земное тепло, Луна.	327
T-177. Электростанция в чемодане и даже в кармане.	339
T-178. Аккумулятор и гальванический элемент — не кладовка, а химический комбинат.	340
T-179. Постоянный, переменный, пульсирующий — любой ток из любого.	345
T-180. Спецназ из цеха генераторов.	347

ГЛАВА 17. Миллион электрических профессий 348

T-181. Неутомимый работник — электрический двигатель.	348
T-182. Да будет свет!	353
T-183. Тепло согревающее, тепло соединяющее.	359
T-184. Электричество помогает электричеству.	362
T-185. Измерительные приборы рассказывают о невидимом и неуловимом.	365

ГЛАВА 18. Бригады прибывают по медному проводу 368

T-186. Незаменимый вклад реальности.	368
---	-----

T-187. Машины тысячекilометровых размеров — электрические сети и системы.....	371
T-188. При необходимости электричество можно передавать по обходным путям.	372
T-189. Вращение Земли как элемент технологии.....	373
T-190. Непростое электрическое хозяйство потребителя.	374
ГЛАВА 19. Электричество личного пользования	376
T-191. Электричество входит в ваш дом.	376
T-192. Парад домашних электрических работников.....	379
T-193. Закон строг, но справедлив.....	381
T-194. Электричество опасное и электричество безопасное.....	382
ГЛАВА 20. Фантастическая электроника	384
T-195. Шедевры доисторической электроники.....	384
T-196. Информатика выбирает электричество.....	386
T-197. Два вида электрических сигналов — аналоговый и цифровой.	388
T-198. Процессы линейные и нелинейные.	389
T-199. Вакуумный диод — прибор с односторонней проводимостью...390	
T-200. Первый электронный усилительный прибор — вакуумный триод	391
T-201. Транзистор — главный работник электроники.	393
T-202. Схемные блоки аналоговой аппаратуры.....	396
T-203. Усилитель.....	397
T-204. Генератор.	397
T-205. Модулятор.	398
T-206. Детектор.	399
T-207. Выпрямитель.	399
T-208. Преобразователь частоты и идея супергетеродинного приёмника.....	400
T-209. Строительные блоки для цифровых схем.	401
T-210. Ограничитель.	401
T-211. Генератор импульсов — мультивибратор.	402
T-212. Триггер: делитель на два и элемент, запоминающий один бит — минимальную порцию информации.....	403
T-213. Элементы логики — схемы И, ИЛИ, НЕТ.....	403
T-214. Сумматор — представитель рассуждающей электроники.....	404
T-215. Шифратор и дешифратор.....	405
T-216. Преобразование аналогового сигнала в цифровой и цифрового в аналоговый.	407
T-217. Миллион профессий электроники.....	409
T-218. Радио: из частотной хижины в дворцы.....	409
T-219. СВЧ — совсем другая радиотехника.....	410
T-220. Наследники первой электрической профессии.....	410

T-221. Сотовый телефон — важный шаг к всеобщей связи.....	411
T-222. На очереди свет.	413
T-223. Электроника — мир бесщётных превращений.	413
T-224. Две неперенные операции — принять и применить.	415
T-225. Передаётся картинка.....	416
T-226. Новая жизнь железной проволоки.	423
T-227. Инструменты для первооткрывателей.	425
T-228. Особая профессия — помощник врача.....	429
T-229. Бесшумные шаги минут.....	430
T-230. Главное дело электроники и её главный инструмент.....	431
T-231. Сумма технологий сделала электронику Электроникой.....	433

ГЛАВА 21. Задачи на послезавтра 438

T-232. Стратегия стрекозы: не нужно особо задумываться о будущем, когда появятся проблемы — что-нибудь придумаем	438
T-233. Бесплатное электричество из бесплатного света.	439
T-234. Атомная энергия — из претендентов в конкуренты.	440
T-235. Термоядерный синтез — сквозь тернии к звезде.	441
T-236. И снова водород, на этот раз как выгодный посредник.	443
T-237. Солнечную энергию можно, оказывается, использовать и старым способом.	444
T-238. Во всех случаях нужно помнить о главном.....	445

Напутствия с надеждой 446

Оглавление 448