

# НАУКА ЗА РУБЕЖОМ

ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ РАЗВИТИЯ НАУКИ РАН

## К ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ БЕСПРОВОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ



**Наука за рубежом**

№44, сентябрь 2015

Ежемесячное обозрение

Электронное издание:

[www.issras.ru/global\\_science\\_review](http://www.issras.ru/global_science_review)

Рубрики «Аэроавиатика и космос», «Информационные и телекоммуникационные технологии и вычислительная техника», «Энергетика и транспорт»

Обзор выполнил **Н. А. Трофимов**

Выпускающее подразделение: **Сектор анализа зарубежной науки**

Руководитель проекта **Л. К. Пипия**

Редактор **О. Е. Осипова**

Верстка: **Н. В. Шашкова**

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	4
1. История технологии беспроводной передачи энергии и радиосигнала на дальние расстояния: вклад Теслы .....	4
2. Современные достижения в области технологий дальней радиосвязи и беспроводной передачи энергии .....	11
ПРИЛОЖЕНИЕ .....	15
Рис. 1. Никола Тесла (1856–1943) в возрасте 36 лет .....	15
Рис. 2. Рентгенографический снимок человеческой ступни в ботинке .....	15
Рис. 3. Наземная станция-излучатель, прототип 1995 г. ....	16
Рис. 4. БПЭ с использованием пленочных микроэлектромеханических систем .....	16
Рис. 5. Круговое расположение резонаторов Теслы, обеспечивающих работу лампочки мощностью 14 Вт .....	17
Табл. Некоторые изобретения Теслы и их современное применение .....	17

*Первоначальный импульс развитию технологий беспроводной передачи энергии и дальней радиосвязи был придан изобретениями Николы Теслы, которые датируются 1890–1891 гг. Однако за несколько последующих десятилетий научно-технологический прогресс в этой области замедлился из-за отсутствия финансирования, с одной стороны, и медленного распространения идей Теслы – с другой. Вместе с тем успешное развитие данных технологий способно радикально трансформировать современную энергетику, систему и инфраструктуру транспортных сообщений, а также технологическую базу авиации и освоения космоса.*

## **Введение**

Не будет большим преувеличением сказать, что минувшее столетие бурного технологического прогресса во многом стало возможным благодаря изобретениям выдающегося сербского ученого Николы Теслы (рис. 1). Не существует, пожалуй, ни одной области физики и электротехники, к развитию которой Тесла, хотя бы косвенно, не приложил силы (табл. 1). Беспроводная передача энергии (БПЭ), радиосвязь, многофазные двигатели переменного тока, высокочастотные антенны, излучатели и трансформаторы, излучатели в рентгеновском диапазоне, радиоуправляемые машины, логические устройства, генераторы электрического тока и мощных магнитных полей, искусственные шаровые и линейные молнии – вот далеко не полный перечень областей специализации Теслы, автора нескольких сотен патентов, зарегистрированных в США и Европе [1].

### **1. История технологии беспроводной передачи энергии и радиосигнала на дальние расстояния: вклад Теслы**

Никола Тесла родился в семье священника Сербской православной церкви Милутина и дочери сербского же православного священника Георгины. Ему на роду было предначертано пойти по стопам отца и деда, однако с отроческих лет он мечтал стать ученым. Отец был против. Однажды Тесла тяжело заболел и, находясь в критическом состоянии, вновь попросил

отца разрешить ему учебу в университете. Лишь тогда Милутин Тесла скрепя сердце ради скорейшего выздоровления сына пообещал устроить его в «лучшее учебное заведение Европы». Так с Высшего технического училища в австрийском Граце началась блистательная и полная удивительных поворотов карьера ученого-изобретателя.

В отличие от большинства ученых, исповедующих эмпирический метод проб и ошибок, Никола Тесла, напротив, полагался в изобретательской деятельности на моменты озарения, во время которых он представлял свои будущие изобретения в мельчайших деталях, и только после этого приступал к разработке прототипов [1]. Еще одной его отличительной особенностью было неумение и нежелание работать в коллективе ученых. Тесла избегал посещения университетов и академий и не стремился принимать участие в научных дискуссиях, все свои открытия он совершал самостоятельно в полнейшем одиночестве.

В 1888 г. Тесла получил патент на изобретение многофазных электрических машин. Патент также содержал описания устройства асинхронных электродвигателей и системы передачи электроэнергии посредством многофазного переменного тока. Первые образцы электромеханических генераторов высоких частот, в том числе индукторного типа, были запатентованы изобретателем в 1889–1890 гг. В 1891 г. Тесла изобрел высокочастотный трансформатор, способный возбуждать высоковольтные высокочастотные колебания, который назван в честь него трансформатором Теслы, положив начало высокочастотной и СВЧ-электронике.

В рамках сотрудничества с компанией «Вестингауз» в 1891 г. Тесла работал для запуска в серийное производство генератор переменного тока со статором из 348 магнитных полюсов, который давал возможность получать ток с частотой 10 кГц. Спустя год он сконструировал генератор с частотой более 25 кГц. Несмотря на немалую по тем временам оплату труда, он испытывал постоянную фрустрацию из-за разногласий и споров с инженерами компании по поводу оптимальной конфигурации промышленного электродвигателя, пригодного для коммерциализации.

Тесла – пионер в области создания искусственных шаровых и линейных молний высоких энергий. В своей лаборатории в Колорадо Спрингс он имел

возможность синтезировать линейные разряды, достигающие десятков метров в длину, а работа его башни Уорденклиф, по воспоминаниям очевидцев, не единожды «зажигала» ночное небо над Нью-Йорком. Время от времени побочным эффектом этих опытов становились шаровые молнии.

Шаровая молния по сей день остается явлением, не имеющим общепринятого научного объяснения. Удовлетворяющая критериям научности и целостности теория должна как минимум объяснять следующие наблюдаемые явления: а) удивительную длительность этого феномена, б) природу «плавающих» передвижений шаровых молний, в) неожиданное исчезновение шаровой молнии, которому предшествует то взрыв, то имплозия, то медленное затухание, то разделение молнии на несколько меньших светящихся сфер. Поразительно также свойство шаровых молний преодолевать физические препятствия и просачиваться сквозь маленькие отверстия безо всякого внешнего изменения своей структуры [2]. Несмотря на то что многие видные ученые занимались изучением этого загадочного феномена<sup>1</sup>, никому, кроме Теслы, не удавалось воспроизводить и наблюдать устойчивые шаровые молнии<sup>2</sup> высокой энергии. Сам изобретатель рассматривал шаровые молнии как весьма нежелательный эффект своих экспериментов по передаче энергии через эфир<sup>3</sup> и через резонансные «окна» земного шара и не считал должным отвлекаться от работы над БПЭ ради специального изучения этих явлений.

Порой Тесла высказывал настолько фантастические идеи и предположения, что трудно было отличить его пророческое чутье от реальных и доступных ему технологий. В 1898 г. ученый объявил, что он, помимо других потрясающих воображение современников изобретений<sup>4</sup>, может с легко-

---

<sup>1</sup> Например, лауреат Нобелевской премии по физике (1978) Петр Леонидович Капица.

<sup>2</sup> Имеются в виду шаровые молнии, живущие от нескольких десятков секунд до нескольких минут.

<sup>3</sup> Тесла был сторонником так называемой теории эфира – некой физической среды, пронизывающей все вокруг. Аналогичные представления сегодня отражены в теории суперструн.

<sup>4</sup> Например, известны датированные разными периодами времени громкие заявления Теслы о том, что он знает, как мгновенно передать заряд любой мощности в любую точку планеты, или его предложения о создании генератора «лучей смерти». Позже некоторые из казавшихся фантастичными идей Теслы легли в основу известной программы «Стратегическая оборонная инициатива», которая была реализована без особого успеха оборонными структурами США в 1980-е годы.

стью удаленно управлять автоматизированными объектами – «телеавтоматами» практически на любом расстоянии. Как это часто бывало, его заявления воспринимались со скептицизмом, так как слава мистификатора-чернокнижника опережала любые поступки ученого. На этот раз честолюбие Теслы возымело верх. При огромном скоплении народа в нью-йоркском «Медисон Сквер Гарден» он продемонстрировал первый прототип радиоуправляемого самоходного робота – модель лодки со встроенным блоком автономного электропитания и системой электромеханического радиоуправления [1]. Тесла предвидел, что на смену удаленно управляемым электромеханическим роботам должны прийти машины с искусственным интеллектом, и рассматривал свои опыты как первый шаг в этом направлении [3].

Когда заходит речь об открытии так называемых неизвестных лучей – «лучей икс», лишь немногие вспоминают о Тесле<sup>5</sup>. Между тем он не только изобрел излучатели в рентгеновском диапазоне, но и первым сделал рентгенографические снимки (рис. 2). Еще в 1896 г. Тесла справедливо предположил, что на качество и четкость снимков влияет расстояние до объекта и время экспозиции, а толщина стенок вакуумной трубки коррелирует с проходящей способностью рентгеновского излучения. К тому же он объяснил и описал вероятное негативное воздействие на здоровье людей и предупредил о том, что врачам-хирургам необходимо держаться на значительном расстоянии от излучателя, минимизировать время экспозиции и использовать металлические защитные экраны [4].

Однако настоящим увлечением Теслы была передача радиосигнала и энергии без проводов на дальние расстояния. В 1891 г. на открытой лекции в Американском институте инженеров-электриков в Нью-Йорке ученый продемонстрировал принципы БПЭ. Этому предшествовала его работа по созданию электромеханического осциллятора, позже названного в его честь. Таким образом, открытие принципов радиосвязи можно условно датировать 1890–1891 гг. В 1895 г. Тесла собирался продемонстрировать технологию БПЭ на расстоянии 50 миль. Эксперименту помешал внезапный пожар, уничтоживший оборудование в его лаборатории под Нью-Йорком.

---

<sup>5</sup> Первооткрывателем в этой области признан немецкий физик Вильгельм Рентген, который в 1901 г. получил за это открытие Нобелевскую премию. При этом умалчивается, что без изобретений Теслы Рентген, вероятно, не только не смог бы зафиксировать этот новый тип излучения, но даже и сконструировать необходимые для проведения опытов излучатели.

В 1899 г. Тесле удалось передать переменный ток в 100 млн вольт на расстояние 26 миль с заявленной эффективностью 95%. В основе метода лежало использование резонансных частот Земли при передаче энергии с помощью электрического осциллятора, настроенного на частоту 7,8 Гц [5]. Вполне вероятно, что в ходе последующих экспериментов Тесле удалось передать энергию и на значительно большие расстояния, однако документальных свидетельств об этом не сохранилось.

1899 г. можно также считать годом зарождения радиоастрономии. Именно тогда Тесла заявил о своих экспериментах по улавливанию и изучению космического радишума. По мнению ученого, некоторые зарегистрированные им сигналы были упорядоченными и могли свидетельствовать о наличии внеземных цивилизаций. Антеннами служили высокочастотные трансформаторы Теслы, настроенные на резонансную частоту 18 кГц, которая позже использовалась и при проведении эксперимента LOFTI-1<sup>6</sup>. Чувствительность системы находилась в диапазоне 30–300 мВ, а усиление сигнала достигало значения +66 дБ. При этом сами детекторы и антенны, применяемые Теслой, были значительно чувствительнее, а ограничения были связаны с избирательной направленностью антенн и наземными помехами [6].

В своих теоретических воззрениях Тесла пытался расширить идеи Джеймса Максвелла о нерадиационных магнитных «вихрях» [7]. Не только Земля представлялась ему проводящим энергию каналом с собственным зарядом и резонансной частотой магнитного поля, но и все пространство, так называемый вакуум или эфир, он считал сложно структурированным вихреобразным континуумом, через который изначальный сигнал можно не только передавать в неизменном виде, но и усиливать многократно в узловых точках.

Несмотря на все успехи Теслы, его опыты в области БПЭ не получили распространения. Изобретателем радио был признан итальянец Гульельмо Маркони, хотя, как известно, в своей работе он использовал десятки патентов других изобретателей, и прежде всего Теслы, без их разрешения.

---

<sup>6</sup> LOFTI-1 – стартовавший в конце 50-х годов прошлого столетия по заказу военно-морских сил США эксперимент, направленный на изучение передачи сигналов низкой частоты через ионосферу.



Выдающийся русский физик Александр Степанович Попов в 1900 г. заявил, что передача и прием радиосигналов итальянцем Маркони не является чем-то новым, поскольку еще в 1893 г. знаменитый физик Никола Тесла проводил аналогичные эксперименты. Сам Попов создал свой прототип «прибора для обнаружения и регистрирования электрических колебаний» в начале 1895 г., однако лишь в 1897 г. ему удалось достичь дальности радиосвязи 600 м.

В 1900 г. Маркони получил отказ американского патентного ведомства признать его изобретателем радио, мотивированный абсурдностью попыток заявителя сделать вид, будто ему неизвестно об осцилляторе Теслы [8]. Однако спустя всего несколько лет, в 1904 г., патентное ведомство США пересмотрело свое решение в пользу Маркони, что впоследствии никак не комментировалось, и остается только догадываться, помогли ли Маркони семейные связи с британской аристократией или же растущие котировки его радиотелеграфной компании на американских и английских биржах.

В 1909 г. Маркони, а не Тесла удостоился Нобелевской премии за изобретение радио. Парадоксальность ситуации заключалась еще и в том, что Маркони в большей мере был предпринимателем, нежели ученым-физиком, – он даже не имел специального образования.

Тесла на протяжении долгих лет тяжело переживал этот несправедливый поворот судьбы. В 1915 г., возмущенный повторными нарушениями своих прав со стороны сверхприбыльной радиотелеграфной корпорации Маркони, он подал против нее иск в суд США. Однако финансовая несостоятельность Теслы не позволила ему продолжить судебные тяжбы, и вскоре разбирательство сошло на нет. Несмотря на разочарование и отсутствие финансирования, Тесла, в буквальном смысле не отдыхая ни единого дня, продолжал свои опыты с радиосвязью. Так, например, в 1917 г. Тесла впервые предложил принцип действия устройства для радиообнаружения подводных лодок.

Итог противостояния Маркони и Теслы аллегоричен: непризнанный изобретатель радио умер в бедности и одиночестве. Нобелевский лауреат Гульельмо Маркони ушел из жизни, будучи видным ученым, общественным

деятелем и состоятельным предпринимателем. По указу Муссолини его похоронили с государственными почестями.

Приоритет Теслы как первооткрывателя принципов радиосвязи суд США признал лишь спустя девять месяцев после его смерти, в самый разгар Второй мировой войны. На тот момент компания Маркони претендовала на выплату отчислений за использование ее патентов для нужд армии США во время Первой мировой войны.

На протяжении всей жизни Тесла неоднократно возвращался к своей первоначальной идее о передаче больших объемов энергии и радиосигналов на дальние расстояния через эфир, принципы которой были продемонстрированы им в далеком 1891 г. В 1919 г. в статье «The True Wireless»<sup>7</sup> [9] он с некоторой досадой и разочарованием отметил:

*«Я дал миру беспроводную систему с потенциалом, далеко превосходящим предыдущие достижения науки и техники. Я ясно и неоднократно заявлял, что я имел возможность наблюдать передачу энергии без проводов, совершенно не ограниченную ни расстояниями, ни мощностью заряда. Но даже преодолев все препятствия на моем пути, которые казались непреодолимыми, найдя элегантные решения всех проблем, с которыми я сталкивался, все же по сей день большинство экспертов по-прежнему слепы и не видят тех возможностей, которые могли бы быть легко воплощены в жизнь. Моя уверенность в том, что сигнал можно с легкостью передавать в любую точку планеты, была подкреплена открытием «вращающейся кисти»<sup>8</sup>, удивительного явления, в деталях описанного мною в Лондоне в 1892 г. перед аудиторией Института инженеров-электриков».*

Сербскому ученому так и не было суждено осуществить при жизни свою мечту о доступной повсюду на планете, безопасной для окружающей среды и человека и недорогой электроэнергии. Однако идея беспроводной

---

<sup>7</sup> Название этой статьи можно перевести как «Действительно беспроводная передача энергии».

<sup>8</sup> Так называемая вращающаяся кисть (от англ. Rotating brush) – незапатентованный чувствительный детектор магнитного возмущения среды, позволяющий наблюдать причудливые проявления эфира.

передачи энергии не умерла вместе с Теслой и по-прежнему продолжает вдохновлять ученых и инженеров в их попытках провести экстравагантные и зачастую рискованные исследования и разработки, направленные на «поиск Святого Грааля».

## **2. Современные достижения в области технологий дальней радиосвязи и беспроводной передачи энергии**

Своеобразный ренессанс технологии БПЭ произошел спустя десятилетия после окончания Второй мировой войны. Ключом к современным разработкам в области БПЭ послужило появление мощных излучателей в микроволновом диапазоне. Все эксперименты осуществлялись исключительно в военных целях и были направлены на передачу мощных сигналов в гигагерцовом диапазоне с наземных станций в атмосферу на летательные аппараты. Первые эксперименты, проведенные корпорацией Raytheon в США, датируются 1963–1964 гг. В 1970-е годы эксперименты были расширены, сигналы передавались уже между наземными станциями и орбитальными аппаратами [10].

В то время как в опытах Теслы использовались преимущественно нерадиационные методы<sup>9</sup> передачи заряда, в современной «реинкарнации» беспроводных технологий высокой мощности применяется исключительно радиационная<sup>10</sup> передача сигнала. На сегодняшний день известны различные способы БПЭ с помощью излучения СВЧ-диапазона с Земли в космос и из космоса на Землю, а также между космическими аппаратами. Разработано много концепций тепловых ракетных двигателей, разгоняемых с помощью лазера, мазера<sup>11</sup> или их комбинации, микроволновых ракетных двигателей с показателем удельного импульса (*Isp*), как минимум вдвое превышающим аналогичный показатель для традиционных ракетносителей. Химические ракетные двигатели и связанная с их устройством необходимость

---

<sup>9</sup> При нерадиационной БПЭ происходит электромагнитное взаимодействие проводящих контуров. Сейчас энергию таким способом удастся передавать на сравнительно небольшие расстояния.

<sup>10</sup> Радиационным способом энергия передается в виде электромагнитных волн, полученных в результате высокочастотного возбуждения источника.

<sup>11</sup> От англ. Maser (microwave amplification by stimulated emission of radiation) – генератор мощного микроволнового пучка энергии.

многоступенчатого запуска космических аппаратов крайне неэффективна<sup>12</sup> и подвержена аварийным ситуациям. Конвенциональные жидкостные и твердотопливные системы вряд ли позволят когда-либо достичь показателя соотношения затрат на килограмм полезной массы, выведенной на орбиту, примерно 1000 долл. США<sup>13</sup> [11]. Концепции наземных станций, основанных на мощных гиротронах, были продемонстрированы еще в 1990-е годы (рис. 3). Спустя десятилетие на рынке появились гиротроны мощностью более 1 МВт с рабочей частотой около 100 ГГц. Трехсот таких излучателей хватило бы для выведения на низкую орбиту аппарата весом в одну тонну.

Концепция орбитальных солнечных электростанций<sup>14</sup> начала активно развиваться в 1970-е годы. В самой идее о размещении на геостационарной орбите крупных солнечных электростанций, передающих энергию на Землю, нет ничего принципиально нового. Узкое место подобных планов по-прежнему заключается в технологиях БПЭ. НАСА осуществила несколько поисковых исследовательских программ в этой области<sup>15</sup>. Эффективность предложенных в рамках концепции конвертеров dc-RF превышает 80%. Наземные приемники микроволнового сигнала (ректенны)<sup>16</sup> также достигают показателей эффективности более 80% [12].

Одно из направлений в области БПЭ, достигшее за последние десятилетия значительного прогресса, – передача малой энергии на малые расстояния с использованием гибких микроэлектромеханических систем (МЭМС). Достижение стало возможным благодаря миниатюризации и автоматизации производства в микроэлектронике. БПЭ на малые расстояния становится все актуальнее вследствие распространения так называемых вездесущих электронных устройств<sup>17</sup>, таких, например, как сенсорные сети или осветительные приборы. Современные прототипы МЭМС производятся на тонких пластиковых пленках и позволяют передавать энергию мощностью в несколько

<sup>12</sup> Показатель полезной нагрузки не превышает 5%, равно как затруднено многократное использование ракетоносителя (его составных частей).

<sup>13</sup> В настоящее время этот показатель вырос до 5 тыс. долл. США.

<sup>14</sup> От англ. SPS – solar power satellite.

<sup>15</sup> Например, программа SSP SERT в 2000 г., на основе итогов которой стартовало еще несколько инициатив, в частности сфокусированных на технологиях микроволновой БПЭ.

<sup>16</sup> От англ. Rectenna – выпрямляющая антенна.

<sup>17</sup> От англ. Ubiquitous electronics.

десятков ватт через предметы толщиной 5 мм, что достаточно для встраивания устройств БПЭ в поверхность столов, напольных и настенных покрытий (рис. 4) [13]. Современные прототипы, использующие эффект «связующего» резонансного магнитного поля<sup>18</sup> в килогерцовом диапазоне, позволяют достичь 75% эффективности при нерадиационной передаче энергии мощностью 100 Вт максимально на расстояние до нескольких метров [10].

Важнейшей проблемой по-прежнему остается невысокая эффективность передачи сигнала, как правило не превышающая 80% для систем «ближнего поля»<sup>19</sup> и 90% для мощных микроволновых систем дальнего действия. В попытке воссоздать устройство, описанное в одном из патентов Теслы<sup>20</sup>, авторам эксперимента удалось передать энергию на расстояние 2 м с эффективностью около 70% [7]. Заявленная Теслой эффективность БПЭ, превышающая 95%, в настоящее время остается практически недостижимой. В качестве одного из способов увеличения расстояния передачи предложена система резонаторов Теслы, расположенных последовательно друг за другом как коаксиально, так и по кругу (рис. 5) [14]. Эффективность таких систем БПЭ не превышает на практике 80%.

Во многом забытые опыты Теслы в области радиоастрономии получили продолжение совсем недавно. Технологии дальней радиосвязи – одна из важнейших предпосылок развития проектов SETI<sup>21</sup>. В одном только Университете Беркли (США) сейчас разрабатывается семь таких проектов. Телескоп-спектрометр «Глаз мухи»<sup>22</sup>, функционирующий на базе «решетки» из 42 спутниковых антенн-тарелок АТА<sup>23</sup>, на сегодня обнаружил три пульсара<sup>24</sup> и уловил серию мощных пульсирующих сигналов из Крабовидной туманности. Отличить распределенные космические сигналы от радиочастотной интерференции не всегда возможно автоматически, поэтому эффективность таких проектов зависит от робастности методов последующего процессинга

<sup>18</sup> От англ. Magnetic coupling.

<sup>19</sup> От англ. Near-field communication.

<sup>20</sup> В 1900 г. Тесла запатентовал систему передачи электроэнергии (от англ. The System of Transmission of Electrical Energy).

<sup>21</sup> От англ. Search for Extraterrestrial Intelligence – сокращенное название исследований и разработок, направленных на поиск и изучение возможностей для контактов с внеземными цивилизациями.

<sup>22</sup> От англ. Fly's Eye.

<sup>23</sup> От англ. Allen Telescope Array.

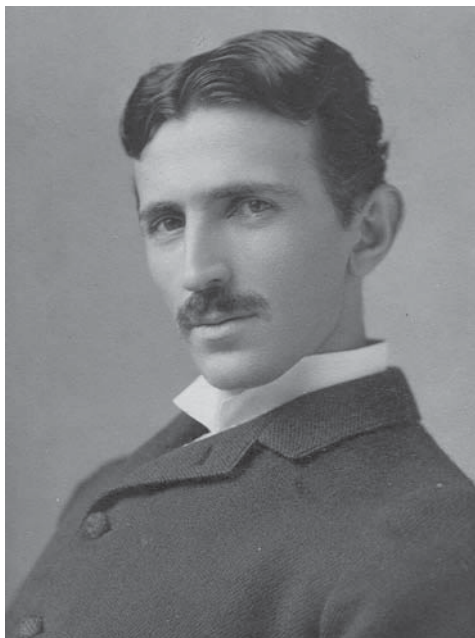
<sup>24</sup> В0329+54, В0355+54 и В0950+08.

информации. Существенным недостатком «Глаза мухи» является его низкая чувствительность, которая компенсируется хорошим полем обзора небесной сферы – 100 квадратных градусов [15].

Многие проекты SETI предполагают разработку систем радиосвязи, способных передавать сигнал через различные материальные и ионосферные барьеры [6]. Ионосфера определяется как «обусловленная магнитными полями магнито-ионная среда». Распространение в магнитоактивной ионизированной среде обыкновенных радиоволн, воздействие магнитного поля на которые признается несущественным, отличается от распространения необыкновенных волн, активно взаимодействующих с заряженными частицами, вращающимися в окружающем магнитном поле. Согласно теоретическим предположениям, наибольшую вероятность преодоления множества ионосферных барьеров демонстрируют право-поляризованные низкочастотные необыкновенные волны. Однако это относится к обычной передаче радиосигнала, в то время как Тесла, по-видимому, проводил эксперименты и по передаче сигнала при одновременном искусственном магнитно-резонансном возбуждении слоев ионосферы.

## Приложение

Рисунок 1. **Никола Тесла (1856–1943) в возрасте 36 лет**



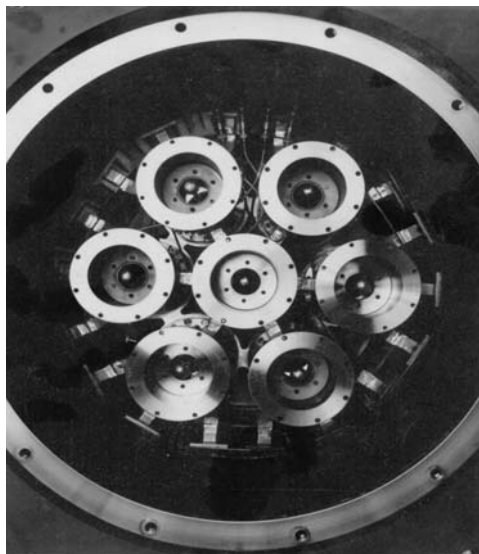
Фотография находится в Музее Теслы в Белграде, Сербия. Номер документа MNT,VI/V,10.

Рисунок 2. **Рентгенографический снимок человеческой ступни в ботинке**



Изображение получено Теслой в 1896 г. с использованием излучателя собственного изготовления. Фотография находится в Музее Теслы в Белграде, Сербия. Номер документа MNT,VI/II,122.

Рисунок 3. **Наземная станция-излучатель, прототип 1995 г.**



Наземная станция мощностью 30 МВт, оснащенная 3 тыс. гиротронов, работающих на частоте 245 ГГц.

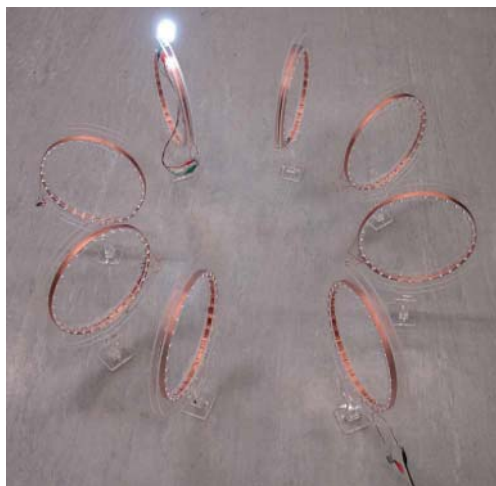
Рисунок 4. **БПЭ с использованием пленочных микрорелектромеханических систем**



Электроэнергия мощностью 2 Вт передается беспроводным способом на искусственную рождественскую елку, питающую светодиодные лампочки.



**Рисунок 5. Круговое расположение резонаторов Теслы, обеспечивающих работу лампочки мощностью 14 Вт**



**Таблица. Некоторые изобретения Теслы и их современное применение**

Изобретения	Примеры современных технологий и области применения изобретений
Радиосвязь, логические и радиоуправляемые устройства	Беспроводная коммуникация, дистанционное наведение, радиоуправление, компьютеры
Беспроводная передача энергии на дальние расстояния	<i>Эксперименты Теслы не получили дальнейшего успешного развития</i>
Электрический двигатель переменного тока	Промышленная электроника, транспорт
Рентгенография	Ядерные исследования, медицина
Генератор электроэнергии	Гидроэнергетика
Генерирование и управление мощными магнитными полями	Магнитное удержание плазмы – пример технологии, используемой при попытках разработать прототипы термоядерных реакторов
Искусственные шаровые и обычные (линейные) молнии высоких энергий	<i>Эксперименты Теслы не получили дальнейшего успешного развития</i>

Обзор выполнен на основе следующих публикаций:

1. Roguin A. Nikola Tesla: the man behind the magnetic field unit // J. Magn. Reson. Imaging. 2004. V. 19(3). P. 369–374.
2. Donoso J.M., Trueba J.L., Ranada A.F. The riddle of ball lightning: A review // The Scientific World Journal. 2006. V. 6. P. 254–278.
3. Vukobratovic M. Tesla and robotics // Serbian Journal of Electrical Engineering. 2006. V. 3. № 2. P. 163–175.
4. Hrabak M. et al. Scenes from the past Nikola Tesla and the discovery of X-rays // RadioGraphics. 2008. V. 28. P. 1189–1192.
5. Bhutkar R., Sapre S. Wireless energy transfer using magnetic resonance // Second International Conference on Computer and Electrical Engineering. 2009.
6. Fields D.E. et al. Interplanetary radio transmission through serial ionospheric and material barriers // Acta Astronautica. 2013. V. 82. № 2. P. 251–256.
7. Tucker C.A., Warwick K., Holderbaum W. A contribution to the wireless transmission of power // Electrical Power and Energy Systems. 2013. V. 47. P. 235.
8. Brenner P. Tesla against Marconi: The dispute for the radio patent paternity. EUROCON-2009. IEEE DOI: 10.1109/EUROCON.2009.5167761
9. Tesla N. The true wireless // Electrical Experimenter. May 1919.
10. Garnica J., Chinga R.A., Lin J. Wireless power transmission: from far field to near field // Proceedings of the IEEE. 2013. V. 101. № 6.
11. Benford J. Space applications of high power microwaves // IEEE Transactions on Plasma Science. 2008. V. 36. № 3. P. 569–581.

12. McSpadden J.O., Mankins J.C. Space solar power programs and microwave wireless power transmission technology // IEEE Microwave Magazine. 2002. V. 3. № 4. P. 46–57.

13. Zhong W., Lee C.K., Hui S.Y.R. General analysis on the use of tesla's resonators in domino forms for wireless power transfer // IEEE Trans. Ind. Electron. 2013. V. 60. № 1. P. 261–270.

14. Secitani T. et al. A large-area wireless power-transmission sheet using printed organic transistors and plastic MEMS switches // Nature Materials. 2007. V. 6. – [www.nature.com/naturematerials](http://www.nature.com/naturematerials)

15. Siemion A. et al. New SETI sky surveys for radio pulses // Acta Astronautica. 2010. V. 67. № 11–12. P. 1342–1349.

## **Тематические рубрики ежемесячного обзора**

### ***Аэронавтика и космос***

Биотехнологии и генетика. Сельское хозяйство, пищевая и химическая промышленность

### ***Информационные и телекоммуникационные технологии и вычислительная техника***

Исследования в области ядерной и квантовой физики

Медицинские технологии и оборудование

Нанотехнологии и новые материалы, микроэлектроника

Социальные и экономические науки и статистика

### ***Энергетика и транспорт***