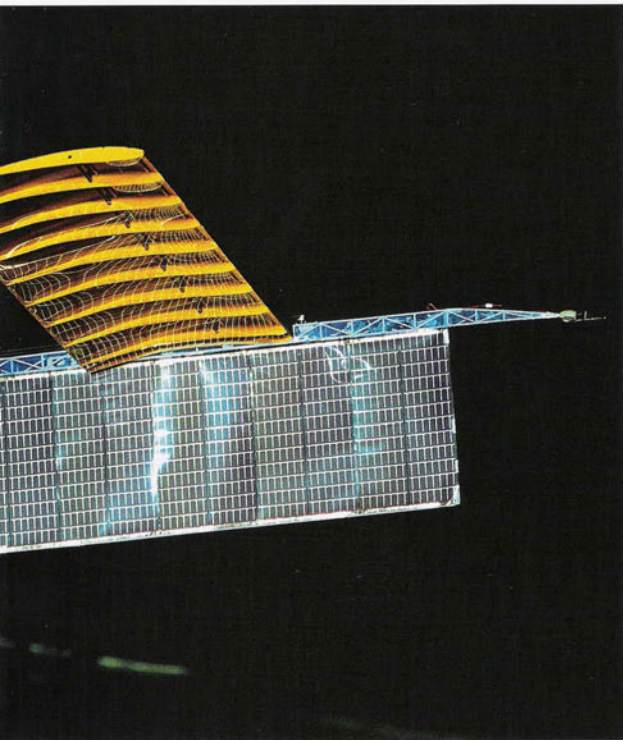
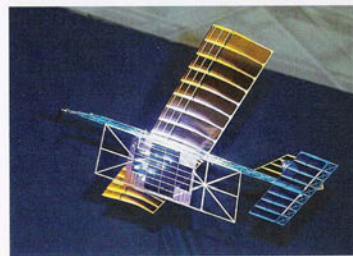


НА СВЯЗИ, НО НЕ НА ПРИВЯЗИ

Сегодня слово «беспроводное» — едва ли не главный символ прогресса в электронике. Но если задача бесконтактной передачи информации в основном решена, то с передачей энергии все оказалось не так просто. А между тем, избавившись от электрических проводов, можно было бы поставлять на Землю из космоса экологически чистую энергию Солнца и экономить миллионы тонн меди на линиях электропередачи. И разумеется, мобильник можно было бы заряжать прямо в кармане, ликвидировав на столе хаос кабелей зарядных устройств.



Прожектор передает энергию для пропеллера радиоуправляемой модели самолета (NASA, 2002 год). Но из нескольких киловатт мощности прожектора солнечная батарея принимает и пускает в дело лишь десятки ватт



Год спустя вместо прожектора уже использовался лазер, благодаря чему удалось повысить КПД и сократить размер солнечной батареи

Алексей Паевский

Когда речь заходит о беспроводной передаче энергии, необходимо сделать важную оговорку. С точки зрения физики выпущенный из орудия линкора снаряд, который топит другой корабль, тоже переносит на расстояние энергию — кинетическую и химическую. И, заметьте, совсем без проводов! Так что, когда мы говорим о проблеме беспроводной передачи энергии, мы имеем в виду только передачу электроэнергии.

Причем передача эта должна осуществляться достаточно эффективно, чтобы энергию имело смысл использовать в повседневных целях. Человечество уже сотни лет успешно передает электроэнергию на расстояние при помощи радиоволн. Передатчик их излучает, приемник снова переводит в электричество, и мы слушаем, к примеру, джаз. Другое дело, что КПД этой передачи ничтожно мал. Принятой по радио энергии не хватает даже для работы наушников, из-за чего нам приходится регулярно менять батарейки в приемниках. Энергия радиоволн способна донести информацию с границ Солнечной системы, от летящего там зонда «Вояджер», но ей не под силу зажечь даже обыкновенную лампочку.

И наконец, в разговоре о беспроводной передаче энергии выделяются две существенно различные задачи: в одном случае цель в том, чтобы избавиться от надоевших проводов, которые путаются под ногами, а в другом — передать энергию туда, куда тянуть кабель крайне накладно, а то и просто невозможно. ▶

ТОМ ТЕХНОЛОГИИ/NASA (3)

КОСМИЧЕСКИЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Вопрос энергетической безопасности человечества стоит довольно остро. Запасы угля, нефти и даже урана с торием сокращаются. Перспективы термоядерной энергетики пока туманны. Между тем есть прекрасный и совершенно бесшумный термоядерный реактор, рассеивающий энергию направо и налево, — Солнце, и гелиоэнергетика развивается очень бурно. Однако на Земле, где бы ни построить солнечную электростанцию, есть как минимум одна проблема — ночь, а еще облака, пыль и прочие неудобства.

Направляется логичный вывод — следует перенести электростанцию в космос, где Солнце светит круглые сутки. Например, «подвесить» их на геостационарную орбиту. Первую идею солнечной космической электростанции (СКЭС), поставляющей энергию на Землю, высказал в 1968 году американский ученый чешского происхождения Питер Глейзер, создатель лунного отражателя-дальномера, оставленного на нашем естественном спутнике экспедицией «Аполлон-11». Опубликовав идею в журнале *Science*, он, как истинный американец, запатентовал свою концепцию. В те годы казалось, что воплощение этой идеи — дело ближайшего будущего. Но срок действия патента давно истек, а престарелый Глейзер только сейчас стал получать обнадеживающие сообщения о возможной реализации своей идеи.

В начале 2009 года американская корпорация Solaren подписала с калифорнийской энергетической компанией контракт о поставке 200 мегаватт электроэнергии космического производства с начала 2016 года. То есть всего через шесть лет фирма, где сейчас работают лишь около десятка человек, обещает не только построить электростанцию на геостационарной орбите, но и обеспечивать энергетические потребности четверти миллиона человек (200 МВт — это примерно пятая часть мощности Нижнекамской ГЭС, которая входит в десятку крупнейших ГЭС в России)! В том же 2009 году шестнадцать японских компаний, включая такого гиганта, как Mitsubishi, подписали соглашение о создании к 2030 году своей космической электростанции мощностью 1 ГВт.

Так что на бумаге (точнее, в Интернете) перспектива выглядит радужной. Но возьмем публикацию 30-летней

давности — обзор В.А. Ванке, В.М. Лопухина и В.Л. Савина «Проблемы солнечных космических электростанций», вышедший в журнале «Успехи физических наук» в 1977 году. О советских проектах в нем не упоминается, обсуждаются американские и японские: «...предполагается срок реализации — 90-е годы текущего столетия (эксперименты в космосе к 1985 году, прототип СКЭС к 1992 году, коммерческие экземпляры в 1997 году)». Выходит, ожидаемые сроки внедрения за три десятилетия так и не изменились и по-прежнему убегают за двадцатилетний горизонт. В космической энергетике, как и в термоядерной, научные и инженерные проблемы оказались более серьезными, чем представлялось первоначально. И самый сложный вопрос — доставка энергии на Землю. Ни провода, ни аккумуляторы для этого не годятся. Поэтому именно в контексте проектирования космических электростанций были впервые глубоко изучены проблемы беспроводной передачи энергии при помощи электромагнитных волн. Потери при этом происходят трижды: при переводе электричества в излучение, при прохождении излучения через атмосферу Земли и при обратном преобразовании его в электричество.

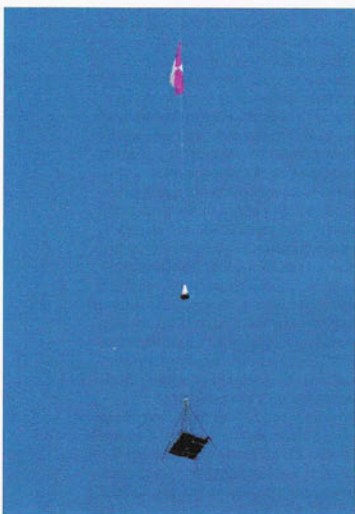
Для большинства видов электромагнитных волн земная атмосфера непрозрачна, поэтому широкого выбора у физиков

Даже идеально сформированный лазерный луч на пути от геостационарной орбиты к Земле расширится до нескольких сотен метров в диаметре

не было. Направленная передача больших потоков энергии на большие расстояния возможна при помощи лазерного луча или пучка радиоволн сверхвысокой частоты (СВЧ). У обоих способов есть серьезные недостатки, причем лазер пока проигрывает соревнование.

ЛАЗЕРЫ ПРЯМОЙ НАВОДКОЙ

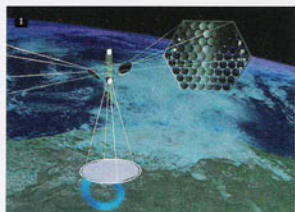
Казалось бы, лазер идеально подходит для передачи энергии на расстояние: он дает когерентный, почти не расходящийся пучок света с большой плотностью энергии, что облегчает прием луча и его преобразование в электричество. ▶



Прототип космического лифта получает по лазерному лучу около киловатта энергии и с КПД 20% использует ее для подъема по свисающему с вертолета километровому тросу. В ноябре 2009 года на пятих ежегодных гонках космических лифтов этот аппарат, созданный компанией LaserMotive из Сизлта, преодолел зачетный 900-метровый отрезок за 3 минуты 48 секунд (со средней скоростью 3,95 м/с), выиграв приз 900 000 долларов. Беспроводное питание — принципиальное условие соревнований, проводимых под эгидой Spaceward Foundation и NASA

Однако именно высокая концентрация энергии делает эту технологию небезопасной. Конечно, не стоит представлять себе бьющий из космоса лазерный луч этакой невидимой (или даже, наоборот, пылающей) энергетической нитью, способной разрезать пополам случайно налетевший на нее самолет. Путь от геостационарной орбиты неблизкий — 36 тысяч километров, и даже идеально сформированный луч, пройдя такое расстояние, будет уже диаметром в пару сотен метров. Третий он будет в десятки раз сильнее полуденного Солнца, но реактивный самолет подвергнется такому облучению лишь на секунду и, скорее всего, выдержит (а вот пассажиры вполне могут получить ожог сетчатки). Иное дело — птица, случайно влетевшая в зону действия луча. Ее

Он настраивается на частоту крайне слабого сигнала, чтобы тот, попав строго в резонанс, «раскачал» переменный ток в антенной цепи. Потом этот ток усиливается за счет батареек, и из него извлекают информацию (например, звук или телевизионное изображение). Ректенна, напротив, рассчитана на сильный сигнал. Каждая приходящая электромагнитная волна с силой толкает электроны в диполе то в одну, то в другую сторону. Однако диод обладает различной проводимостью в зависимости от направления электрического тока и позволяет току, который возникает под воздействием СВЧ-излучения, идти только в одну сторону. Получается пульсирующий постоянный ток, причем в него переходит большая часть энергии излучения.



Энергией с орбиты можно было бы снабжать и Землю, и космические корабли. Нужно только научиться формировать узкие пучки излучения и эффективно превращать их в электричество

судьбе не позавидуешь, как и тем существам, по кому этот луч скользнет при малейшей ошибке в ориентации космической электростанции, например, из-за попадания метеорита или сбоя автоматики.

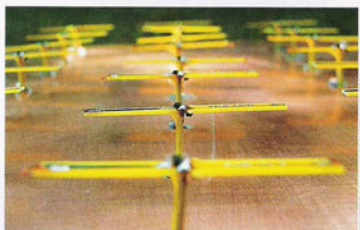
Но с проблемами безопасности можно было бы справиться, умея лазер эффективно передавать энергию. Не так давно японцы добились преобразования солнечного света в лазерное излучение с довольно приличным КПД — 42%. Существуют и приемники с неплохим КПД, превращающие лазерный свет в электричество. Но, увы, эффективные передатчики и приемники работают в разных спектральных диапазонах и совместно применения не могут. Добавьте к этому невозможность использования лазерной передачи в пасмурную погоду — и перспективы этой технологии для космической энергетики станут еще более туманными. Зато лазерный канал можно использовать на Земле. Например, в японском Университете Кинки смогли 20 минут питать лазерный двигатель мотодельтапланчика с размахом крыла около метра. Аналогичные работы проводились и в NASA.

НЕЖНАЯ РЕКТЕННА

Другой возможный способ доставки энергии на Землю — это радиоволны сверхвысоких частот (СВЧ) в диапазоне от 2,45 до 5,8 ГГц. Они почти не поглощаются атмосферой, не отражаются ионосферой и вдобавок эффективно преобразуются в электричество. Выполняет это преобразование так называемая ректенна — от английских слов *rectifying antenna* (выпрямляющая антенна). К обычной дипольной антенне размером несколько сантиметров (порядка длины волны излучения) подключают быстродействующий диод Шоттки. Множество таких антенн собирают в решетку, покрывающую достаточно большую площадь, и соединяют между собой, чтобы суммировать выработанный в них электрический ток. Обычный радиоприемник можно сравнить с качелями.

Еще в 1964 году американский физик Уильям Браун на телеканале CBS продемонстрировал модель вертолета с такой ректенной. Энергию он получал от микроволнового излучателя на Земле, и ее хватало, чтобы держать аппарат в воздухе. Позднее, изучая проект СКЭС в Лаборатории реактивного движения NASA, Браун смог передать 30 кВт на расстояние в одну милю с КПД 84%. Неясно, правда, имеется ли в виду КПД всей цепочки «электричество — СВЧ — электричество» или только второй ее половины, но результат все равно впечатляет.

Ректенна могла бы стать удачным решением проблемы беспроводной передачи энергии, если бы не одно обстоятельство: полупроводниковые диоды Шоттки — очень



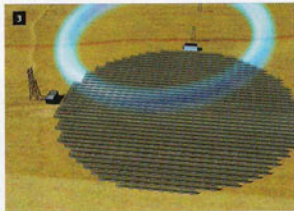
Лес СВЧ-ректенн. Размах «крыльев» этих небольших диполей сопоставим с длиной волны СВЧ-излучения — несколько сантиметров

нежные элементы и не выдерживают больших потоков энергии. Поэтому для создания мощного канала нужны большие площади ректенн с огромным числом маленьких диполов и диодов. Подсчитано, что для передачи с геостационарной орбиты пяти гигавайт мощности придется строить передатчик в космосе диаметром в 1 километр (!) и приемник на Земле поперечником в 10 километров. Зато при такой площади плотность потока энергии оказывается много меньшей, чем от Солнца, и опасности система не представляет. Вот только не выгоднее ли в таком случае построить обычную солнечную электростанцию, пусть даже она будет простаивать по ночам и в плохую погоду?

группой Аскарьяна, еще нельзя назвать технологией, но обнаруженный неожиданный эффект вполне может лечь в основу будущей системы беспроводной передачи энергии — по ряду параметров он еще никем не превзойден.

ИНДУКЦИОННАЯ ЗАРЯДКА

И все же проблемы космических электростанций и летательных аппаратов, «заправленных» лучом лазера, не касаются непосредственно жизни большинства людей. Иное дело — ноутбуки, мобильники, навигаторы, наладонники, фотоаппараты, видеокамеры и прочие гаджеты, число которых с каждым годом растет. И все их нужно периодически заряжать или постоянно питать энергией. У автора этой статьи



Проект космической электростанции компании Solaren включает солнечные батареи общей площадью почти квадратный километр и направленный СВЧ-передатчик (1). Голубые кольца — импульсы СВЧ-излучения, идущие с орбиты на Землю (2). Поле приемных ректенн поперечником несколько сотен метров (3). Потребителям энергия доставляется традиционно — по проводам (4)

ЗАБЫТАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Добыть электричество из космоса — замысел очень привлекательный, так что попытки преобразовать «концентрированные» потоки СВЧ в электроэнергию делались постоянно. Однако первые работы в этой области давали удивительно низкий КПД — менее 0,1%. Удача улыбнулась группе из Физического института им. Лебедева (ФИАН) под руководством Гургена Аскарьяна (см. стр. 74), одного из самых оригинальных и интересных российских физиков.

Экспериментаторы использовали в качестве антенны помещенный в вакуум металлический стержень, вблизи которого с помощью искры или лазера создавалась плазма. Через окно вакуумной камеры подавались короткие, но мощные импульсы СВЧ, порождавшие между стержнем и корпусом камеры электрический ток, от которого даже удалось зажечь лампочку. Фактически роль хрупких диодов Шоттки в эксперименте Аскарьяна играла плазма, окружающая стержень. Она не разрушалась сильными токами, доходившими до 200 ампер и напряжениями до 1500 вольт. «Показана возможность эффективного преобразования энергии радиоволн в энергию тока с КПД > 10%», отмечалось в небольшой заметке, напечатанной в 1979 году в академическом ежемесячнике «Письма в журнал экспериментальной и теоретической физики», предназначенном для оперативной публикации кратких сообщений о наиболее интересных научных результатах.

В дальнейшем Аскарьян и его коллеги планировали проверить этот эффект для того, чтобы с Земли по СВЧ-каналу подзаряжать аккумуляторы спутников, используя в качестве «заправки» существующие наземные станции слежения. Они подсчитали, что это будет выгоднее установки солнечных батарей на борту. Но Советский Союз распался, и проект остался нереализованным. Конечно, результат, полученный

на рабочем месте стоит «пилот» на 12 гнезд, и все заняты. Можете себе представить, какой там хаос проводов. «На связи, но не на привязи» — так можно перевести на русский язык девиз нового направления в развитии гаджетов — *linked, not tied*. Первый шаг в этом направлении сделан давно. Быть может, вы пользовались электрической зубной щеткой с индукционной зарядкой? Почистил зубы — и поставил на базу. Никаких открытых контактов там нет — как-никак

Российский физик Гурген Аскарьян предлагал

заряжать аккумуляторы на спутниках не солнечными батареями, а пучком СВЧ-излучения с Земли

прибор ставится в ванной, а щетка тем не менее заряжается. Отгадку стоит поискать в школьном курсе физики: помните, проходили такое явление, как электромагнитная индукция? Ток, идущий по одной катушке (в нашем случае она спрятана)



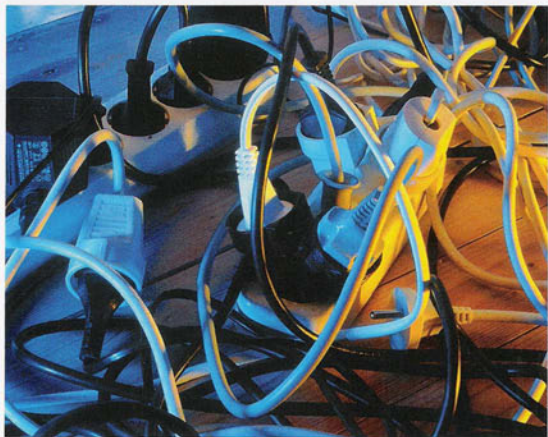
Нелетальное СВЧ-оружие тоже основано на направленной передаче энергии, только вместо преобразования в электричество она подогревает изнутри тела участников беспорядков или солдат противника

в подставке для щетки), порождает переменное магнитное поле, которое вызывает ток в другой катушке, расположенной очень близко, в идеале внутри первой (в самой щетке).

Следующий шаг — это широкая платформа, на которую можно просто положить любой гаджет и оставить заряжаться. В 2002 году такую технологию анонсировала компания Splashpower. Здесь тоже использовалась электромагнитная индукция, с той лишь разницей, что в гаджеты внедрялся чип-индуктор, который, с одной стороны, передавал информацию для настройки платформы именно под нужное устройство, а с другой — служил второй катушкой, принимающей электроэнергию и передающей ее в аккумулятор гаджета. Выход технологии на рынок обещали в 2003–2004 годах. Оказалось, поторопились. В 2008 году компания объявила о банкротстве и вхождении в состав корпорации Fulton Innovation, которая обещает то же самое, причем одной и той же электрической «доской» питать можно будет хоть

одной катушке через посредство магнитного поля вызывают вынужденные колебания в другой. Но работает это только на малом расстоянии, стоит немного отодвинуть вторую катушку, как она перестает «подчиняться диктату» первой и получать от нее энергию. В радиоприемнике все наоборот: слабые электромагнитные волны на огромном расстоянии от источника раскачивают колебания в контуре антенны, когда его собственная частота совпадает с частотой волны. Однако большая часть излучения радиостанции при этом впустую рассеивается в окружающем пространстве, так что для передачи энергии этот метод не годится.

Резонансное магнитное связывание объединяет достоинства обоих устройств. Как и в трансформаторе, используются две магнитные катушки. Как и в радиосвязи, они включаются в приемный и передающий контуры, настроенные в резонанс друг с другом. Обычный связь между катушками трансформатора быстро ослабевает при удалении, а при удалении



Индукционные зарядные панели (справа) уже выпускаются, но до полного избавления от электрических проводов еще далеко

мобильник, хоть кофеварку. Вся рекламируемая технология получила название eCoupled Intelligent Wireless Power.

Оба эти подхода (зарядка для одного прибора или универсальная) хоть и избавят нас от проводов, но не совсем. Да, провод не связывает гаджет с розеткой, но есть провод от розетки к док-станции. А хотелось бы, входя в квартиру, не думать о том, что телефон надо класть на зарядную платформу. Он должен сам начать заряжаться, как только вы откроете дверь. Что же, первые шаги к этому уже сделаны.

ГИБРИД ТРАНСФОРМАТОРА С РАДИОПРИЕМНИКОМ

В 2006 году команда исследователей во главе с Марином Соляичем из знаменитого Массачусетского технологического института (MIT) предложила новый способ передачи энергии на расстояние, тогда еще только теоретически. История этого изобретения началась с того, что Соляич в шестой раз за месяц был разбужен под утро мобильным телефоном, который именно в это время самого сладкого сна напоминал о том, что его пора заряжать. Надо ли говорить, что каждый раз Соляич оставлял телефон не в спальне, а на кухне. В итоге молодой профессор MIT задумался о том, как научить телефон самостоятельно заботиться о своей зарядке.

Метод назвали резонансным магнитным связыванием (resonant magnetic coupling). Если описать его в двух словах, то можно сказать, что это гибрид трансформатора с радиоприемником. В трансформаторе колебания тока в

радиоприемника от источника сигнала быстро падает КПД передачи энергии. Но при одновременном использовании магнитной и резонансной связи, как показало компьютерное моделирование, падение КПД и индуцированного в приемнике тока происходит гораздо более плавно. На расстоянии в несколько радиусов катушки «резонансный» ток по компьютерным расчетам оказывался сильнее «нерезонансного» в миллион раз. Экспериментаторы из MIT сначала даже не верили собственным вычислениям: так просто — и никто до сих пор не попробовал это сделать!

КТО ЗАПЛАТИТ ЗА ВАЙТРИСИТИ?

Опубликовав свои расчеты в журнале *Science*, авторы занялись экспериментальными исследованиями. Год спустя они уже передавали на 2 метра 15 сантиметров поток энергии в 60 ватт с КПД в 40% — достаточно, чтобы зажечь лампочку. По словам авторов, уже сейчас можно достичь того, чтобы ноутбук начинал заряжаться при вносе в комнату, оборудованную системой, которую они, готовясь к выходу на рынок, назвали WiTricity (вайтрисити) — от слов *wireless electricity* (беспроводное электричество).

Прошло еще два года, и подобные технологии стали анонсировать гиганты мировой электроники. В октябре 2009 года Sony продемонстрировала 22-дюймовый ЖК-телевизор, который питается беспроводным способом на расстоянии 50 сантиметров от передатчика. «Если



COMBIS/PHOTO SA

Башня «Уорденклифф» (1902) — символ неудачной попытки Николая Тесла подступиться к проблеме беспроводной передачи энергии

использовать специальные «пассивные расширители», то можно и все 80 сантиметров», — говорится в пресс-релизе Sony. Правда, тут же дана сноска мелким шрифтом о том, что с телевизором эти самые расширители не тестировались. Но даже если их опробовали только с лампочкой — тоже неплохо. Главное, что разработки идут широким фронтом. Создан «Консорциум беспроводной энергии» (Wireless Power Consortium), в котором предлагают участвовать всем желающим (www.wirelesspowerconsortium.com), и он уже готовит к выпуску стандарт технологии WiTricity.

Технология WiTricity избавляет гаджеты от проводов, поставляя им электропитание «по воздуху», и уже готова к выходу на рынок

В ближайшем будущем нам обещают расширение радиуса действия до 5 метров, а это уже очень неплохо. Действительно, если разместить «катушку-передатчик» на потолке или под полом в центре комнаты, то в радиусе действия зарядки окажется все помещение. И, быть может, тогда хаос проводов на рабочем столе наконец-то удастся победить.

Долговременное воздействие на здоровье такого рода систем предстоит еще тщательно изучить. А вот то, что при существенном увеличении радиуса действия технологии возникнет серьезная юридическая коллизия, несомненно. Как регламентировать потребление энергии? Проще говоря, кто будет платить за электричество, которое берется «из воздуха»? Впрочем, понятно кто — владелец «зарядного устройства», тот, кто юридически считается покупателем подведенной к нему обычными проводами энергии. Что же касается тех, кто этим пользуется... Если зарядка действует внутри дома-офиса, это еще понятно и нормально. Но как заблокировать пользование энергией «со стороны»? Ворвавшийся сосед или просто посторонний человек, подойдя снаружи к стене вашей квартиры или дома, сможет бесплатно заряжать свои мобильники, ноутбуки или даже что-то посерьезнее, скажем, припаркованный у дома электрокар. Ведь в отличие от беспроводной передачи информации по Wi-Fi или Bluetooth пароль на энергию не поставишь. Если учесть, что, скорее всего, подобная технология в первые активно заработает в США, где граждане имеют обыкновение судиться с соседом по любому поводу, журналисты ждут занятные информационные поводы: смекалистых людей за океаном тоже хватает. ●

ГУРГЕН АШОТОВИЧ АСКАРЬЯН

1928–1997

Доктор физико-математических наук «Аскарьян всегда был «свободным художником», — рассказывает его коллега по Институту общей физики РАН Игорь Космий. — В мире современной физики это большая редкость». Беспроводная передача энергии на расстояние — не единственное направление, которым он занимался. На третьем курсе физфака МГУ Аскарьян придумал пузырьковую камеру для регистрации частиц, поделился соображениями с коллегами и... этим ограничился — не было еще опыта продвижения научных идей. Спустя несколько лет эту идею независимо предложил и реализовал американский физик Дональд Глейзер, за что позднее получил Нобелевскую премию.

Другой нобелиат, Чарльз Таунс, перетворил эффект самофокусировки света в нелинейной среде, показав преломления которой зависит от интенсивности поля, ранее уже предсказанный Аскарьяном. Когда Таунс узнал о приоритете физика из ФИАН, то даже написал ему извинительное письмо. Кстати, именно за это открытие Аскарьян получил в 1988 году Ленинскую премию. А вот докторскую диссертацию он защитил после всего этого в 64 года, будучи уже физиком с мировым именем, «по совокупности работ», из которых он отобрал 72 статьи, прокомментировав их так: «Не потому, что остальные хуже, а потому, что на сегодняшний день они автору больше нравятся». А завершая диссертацию... эпитацией:

Мир оставляю вам, а мне покой над миром, Вдали от суеты, позора и страсти.

Мир — ярмарка, а бог — владелец тира, В котором земли — мишени для людей...

Гурген Аскарьян умер в 69 лет, дома, работая до последнего часа. Сидя на пачке книг, используя другую как письменный стол.



ИНСТИТУТ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ РАН



ALAMY/PHOTOS

Бесконтактные карты и RFID-чипы оснащены спиральной антенной. Радиосигнал считывающего устройства возбуждает в ней ток, силы которого как раз хватает, чтобы питать кристалл-процессор, пока тот транслирует идентификационные данные