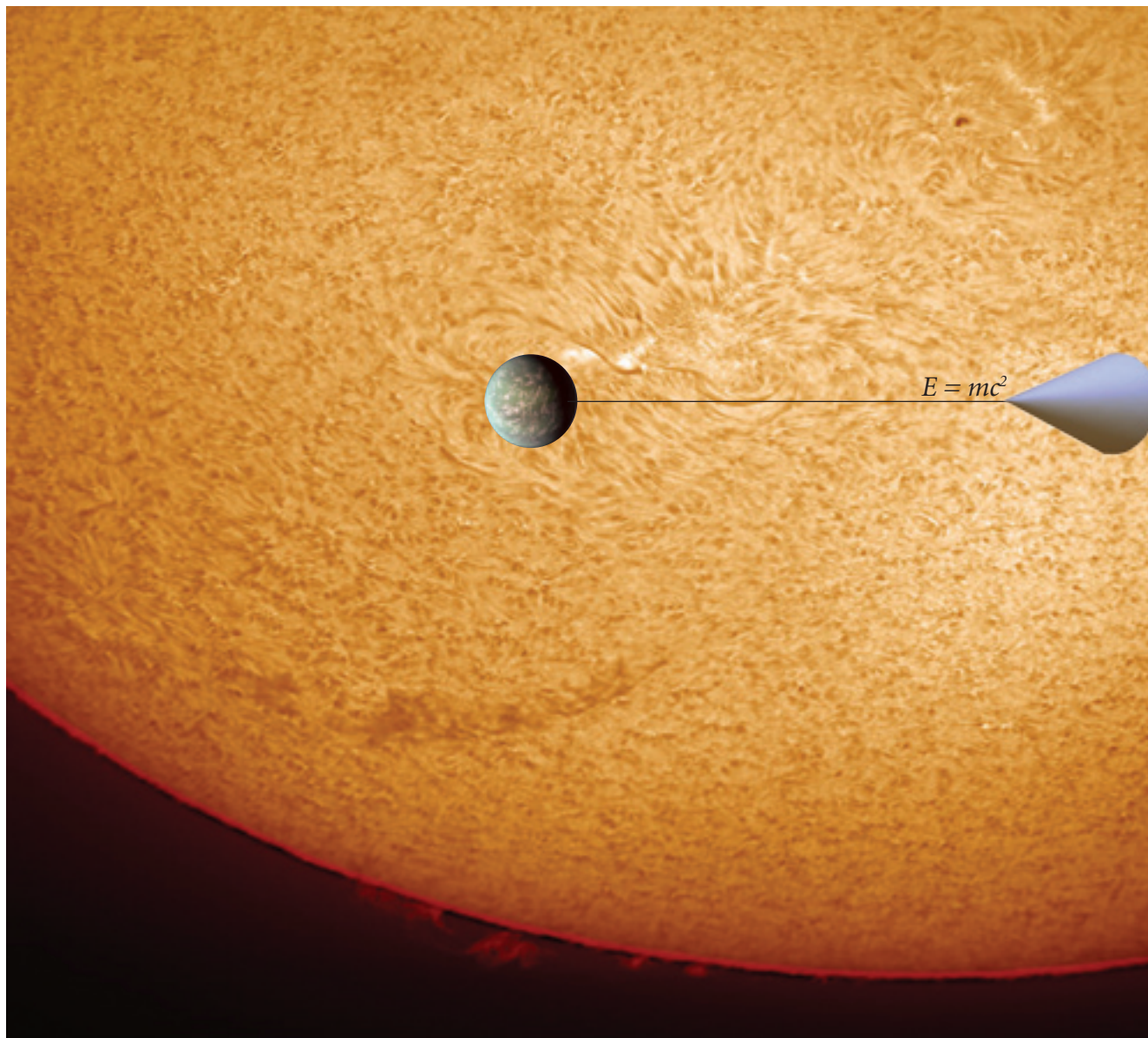


# Энергетическая сингулярность: от ограниченности к изобилию

Х.Л. Кордейро\*



Начавшийся недавно переход от невозобновляемых ресурсов к альтернативным источникам энергии, очевидно, будет непростым. Тем не менее, ряд ученых убеждены, что освоение энергии Солнца и космического пространства откроет доступ к безграничным запасам практически бесплатной энергии. В основе этой точки зрения лежит принцип «ускоряющегося ускорения», наблюдаемый в других секторах, таких как информационные технологии.

В статье анализируются возможности его приложения к энергетике. По мнению автора, достижение «энергетической сингулярности» (энергулярности) поставит окончательную точку в решении проблем глобального энергопотребления и выведет цивилизацию на радикально новый уровень развития.

\* Хосе Луис Кордейро — консультант по энергетике, Университет сингулярности (Singularity University) в Кремниевой долине (Калифорния, США); председатель, Венесуэльский узел Millennium Project.  
E-mail: jose.cordeiro@singularityu.org

Адрес: NASA Research Park, Building 20, S. Akron Rd., MS 20-1 Moffett Field CA 94035-0001, USA.

---

#### Ключевые слова

энергетика;  
альтернативные источники энергии;  
сингулярность;  
развитие цивилизации;  
шкала Кардашева

«Суть жизни — это энергия разума».  
Аристотель, ок. 350 г. до н.э.

## Человек и энергия

Существует множество теорий, объясняющих отличие человека от иных биологических видов. Среди всех млекопитающих ему присущи максимальные значения соотношения масс головного мозга и тела, а также коэффициента энцефализации. В чем причина этого факта? Одни ученые обосновывают его способностью человека передвигаться на двух ногах, другие — наличием лингвистической коммуникации и умением пользоваться инструментами, изобретать технологии. Однако вышеперечисленные характеристики свойственны и некоторым животным, включая большинство приматов, по крайней мере, на самом примитивном уровне. Хотя, в отличие от человека, ни одно животное не может пользоваться огнем — первой формой энергии, добытой из внешнего источника (экстрасоматическая энергия).

Доказано, что почти 2 млн лет назад «ранний» человек уже использовал огонь для приготовления пищи, но управлять им он научился лишь около 500 тыс. лет назад. Этот «навык» радикально изменил его образ жизни: огонь давал свет, тепло, возможность готовить еду с полезными свойствами, защищал от хищников.

Освоение огня стало фундаментальным событием, определившим дальнейшее развитие цивилизации. С тех пор уровень энергопотребления растет почти экспоненциально. Вплоть до XVIII в., помимо огня, использовались такие формы экстрасоматической энергии, как тяговая сила животных, ветряные мельницы, гидроэнергия, различные типы биомассы. Источники менялись в зависимости от времени и географической локации.

В последние два столетия перемены в сфере производства и потребления энергии существенно ускорились. Показательный пример — США, где до конца XVIII в. большую ее часть добывали путем сжигания дерева и другой биомассы. С распространением угольной промышленности в XIX в. ситуация начала постепенно меняться. Последовало развитие нефтяной индустрии в XX в., сменившееся «волной» относительного роста газового сектора в XXI столетии.

Поскольку переход на новые источники происходил все быстрее, каждая волна была короче предыдущей (рис. 1). Подобные энергетические циклы прослеживаются и в других регионах мира. Они иллюстрируют

тенденцию к «декарбонизации» — переходу от топлива с высоким содержанием углерода к ресурсам с повышенной долей водорода (на начальном этапе — древесина, далее уголь, нефть, газ и, наконец, вероятно, — водородная и солнечная энергия).

В основе солнечной энергии лежит ядерный синтез водорода и гелия. Из известных элементов водород является самым легким и распространенным (на его долю приходится почти 75% совокупной массы химических элементов и свыше 90% в терминах количества отдельных атомов). Таким образом, энергетическую эволюцию можно рассматривать не только как «декарбонизацию», но и как «гидрогенизацию».

В последние два десятилетия солнечная энергетика развивается по экспоненте. На отдельных рынках она уже достигает « сетевого паритета» (grid parity), ввиду более привлекательной цены по сравнению с ископаемыми топливами даже в районах со сравнительно низким уровнем солнечного излучения. Согласно большинству прогнозов, этот тренд продолжится и в дальнейшем радикально преобразует структуру энергобаланса, в котором Солнце будет единственным «поставщиком». Процесс развития солнечной энергетике продемонстрирован на рис. 2.

Переход от дефицитных ископаемых топлив к возобновляемым и широко распространенным ресурсам уже начался, однако он будет не простым. Эпоха углеводородов, скорее всего, подходит к концу — по словам саудовского политика А. Заки-Ямани, «каменный век закончился не потому, что не осталось камня, и нефтяная эра завершится задолго до того, как будут исчерпаны мировые запасы нефти»<sup>1</sup>.

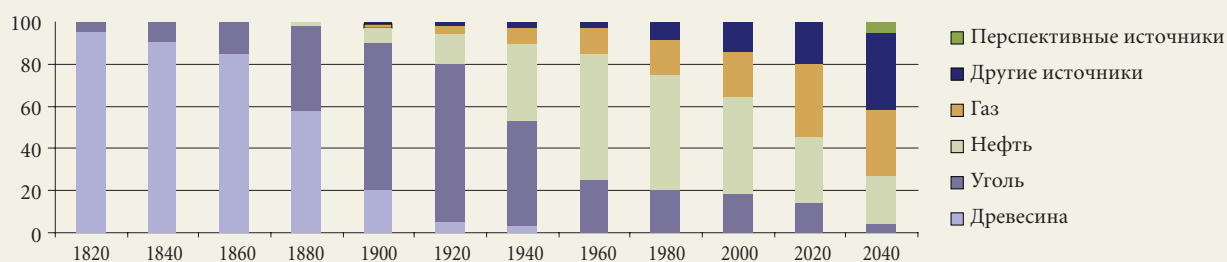
## Энернет

«Мы овладеем не только атомной энергией; настанет день, когда нам подчинятся приливы, отливы и солнечные лучи».

Т. Эдисон, 1921 г.

В середине XX в. Р. Фуллер выразил убеждение, что следует говорить не об энергетическом кризисе, а скорее о кризисе невежества. Проведенные им исследования продемонстрировали возможность полного удовлетворения энергетических потребностей без использования ископаемого топлива и атомной энергии [Fuller, 1981]. Фуллер разработал концептуальное понятие — «энергетические рабы» (energy slaves), иллюстрирующее стремительное улучшение качества жизни за счет расширенного

Рис. 1. Энергетические «волны» в США: ретроспективная динамика и прогноз структуры энергопотребления (%)



Источник: составлено автором по материалам [Glenn, Gordon, 2010].

<sup>1</sup> См., например: The future of energy: The end of the Oil Age // Economist.com (23 October). Режим доступа: <http://www.economist.com/node/2155717> (дата обращения 01 ноября 2012 г.).

Рис. 2. Рост индустрии солнечной энергетики\*



\* Расчеты произведены исходя из ежегодного прироста производства в размере 35% и кривой роста производительности 18%. Затраты на фотовольтаику основаны на значениях коэффициента полезного действия (18%) и учетной ставки (7%).

Источник: [Sachs, Serdy, 2006].

доступа к дешевым и распространенным источникам энергии, а также замену человеческого труда технологиями в производстве товаров и услуг. Так, в 1950 г. одного человека в среднем обслуживали 38 подобных «рабов», и с развитием технологий их количество будет расти, что является ключевым аспектом фуллеровской идеи «ускоряющегося ускорения» (accelerating acceleration). Фуллер в 1970-е гг. первым разработал концепцию глобальной энергетической сети, которая должна связывать распределенные возобновляемые ресурсы, «подключая» к ним все население планеты и способствовать тем самым повышению уровня жизни. Многие ученые поддержали эту идею, в том числе Р. Меткалф, предложивший для обозначения такой сети термин «Энернет» (по аналогии с Интернетом), отметив в качестве ее ключевых свойств многослойную архитектуру, стандарты и потенциал для аккумуляции энергии [Metcalf, 2007]. Интернет обладает гигантским потенциалом хранения данных, чего нельзя сказать о действующих энергосетях. Именно этот фактор является основным препятствием для развития Энернета и «умных энергосетей». Вместо концентрации усилий на выработке энергии приходится уделять внимание ее аккумуляции [Maryniak, 2012]. Задачу аккумуляции на ближайшие 20 лет способны решить новые, легко тиражируемые разработки, вроде жидкометаллических батарей.

Такие возобновляемые источники, как солнце и ветер, позволяют создавать более децентрализованные системы, в которых основным активом остаются местные накопители. Подобно Интернету, Энернет может произвести колоссальный сетевой эффект. Обладая высоким аккумуляционным потенциалом, он обеспечит баланс энергопотребностей различных регионов, преобразит производство, потребление, хранение и утилизацию энергии, содействуя переходу к «чистой» энергии и возобновляемым источникам [Metcalf, 2007]. Первые «умные» энергосети уже продемонстрировали

повышенную эффективность и надежность передачи энергии. Предполагается, что развитие технологий вне сет вклад в дальнейшее совершенствование всех стадий энергетического цикла — от генерации до использования.

Китай, например, уже разрабатывает «умные» сети; не исключено, что вскоре за ним последует Индия. Поскольку обе страны являются крупнейшими энергетическими рынками, они становятся первопроходцами в данном направлении.

На смену традиционным «производителям» нефти и соответствующих инфраструктур придут новые игроки, а вместо «чистых» производителей энергии появятся так называемые «протребители» (prosumers), обладающие более широкими возможностями в управлении энергией.

В табл. 1 сформулированы основные преимущества Энернета по сравнению с традиционными энергосистемами.

Согласно Меткалфу, удешевление информации и расширение способов ее передачи стало возможным за счет «консервирования», путем сжатия данных, пакетной коммутации, мультиплексных и буферных терминалов, что позволило оказывать онлайн-услуги практически бесплатно. Спустя десятилетия темпы эксплуатации коммуникационных каналов только увеличились, а пропускная способность выросла в миллион раз. Аналогично, Энернет способен обеспечить экспоненциальный рост энергопотребления. Решение проблемы энергоснабжения приведет к избытку энергии. Сегодня все еще сложно предположить наличие избыточного количества почти бесплатной энергии, но именно так произошло со многими предметами потребления. Люди все время опасаются истощения природных ресурсов. Парадоксально, но технологическая ретроспектива доказывает обратное — все сырьевые ресурсы становятся все более доступными [Simon, 1996].



Табл. 1. Сравнительные характеристики Энернета и традиционных энергосетей

	Традиционные энергосети	Энернет
Общая характеристика энергосети	«Примитивная»	«Умная»
Сосредоточенность источников	Централизованные	Распределенные
Производительность систем	Неэффективные	Эффективные
Устойчивость	Низкая	Высокая
Потенциал аккумулирования	Низкий потенциал	Высокий
Качество энергии	«Грязная»	«Чистая»
Оперативность реагирования	Медленное	Быстрое
Энергоресурсы	Ископаемое топливо	Возобновляемые источники
Актеры	Традиционные «большая нефть» и коммунальные системы	Новые игроки и предприниматели
Контролирующие субъекты	Производители	«Протребители»
Доступность энергоресурсов	Ограниченная (вынуждает экономить)	Изобилие
Стоимость энергии	Дорогая	Дешевая

Источник: составлено автором по материалам [Metcalfe, 2007].

Заслуживает внимания и сравнение энергетики с индустрией связи. В начале XIX в. высокой стоимостью характеризовался телеграф, а к концу того же столетия — телефоны: первоначально цена нескольких минут трансатлантических разговоров превышала 100 долл. В настоящее время, благодаря Skype и другим подобным сервисам звонить можно практически бесплатно. По словам шведского предпринимателя Н. Зеннстрема, ставшего одним из основателей Интернет-телефонии на базе Skype, «Телефон — технология столетней давности... Пришло время перемен. Брать плату за телефонные звонки — это прошлый век» [Lasica, 2004].

Тарифы на телефонную связь снижались очень быстро, причем на фоне постоянного роста потребления телекоммуникационных услуг. Подобный процесс сравним с долгосрочным падением цен на энергию (напомним, ее потребление, как и информации, характеризуется экспоненциальным ростом).

Так, У. Нордхаус рассчитал историческую динамику стоимости освещения, выраженной в рабочих часах на 1000 люмен-часов<sup>2</sup> [Nordhaus, 1997]. Сравнив примерную стоимость костров в пещерах «пекинского человека» (сжигание дерева), ламп неолитического (животный жир и растительное масло) и вавилонского (кунжутное масло) периодов и проанализировав трудозатраты на производство и эксплуатацию свечей, масляных, керосиновых ламп, газового и электрического освещения, он сделал вывод, что цены на освещение неуклонно уменьшались по экспоненте, особенно в последние 100 лет. Однако стандартные индексы не учитывают отдельные случаи их радикального снижения [DeLong, 2000]. Рис. 3 демонстрирует колоссальное (до 10 тыс. раз) падение затрат на освещение в течение всей истории. В предыдущем столетии подобные изменения были более значительными, хотя рост производства энергии также носил экспоненциальный характер.

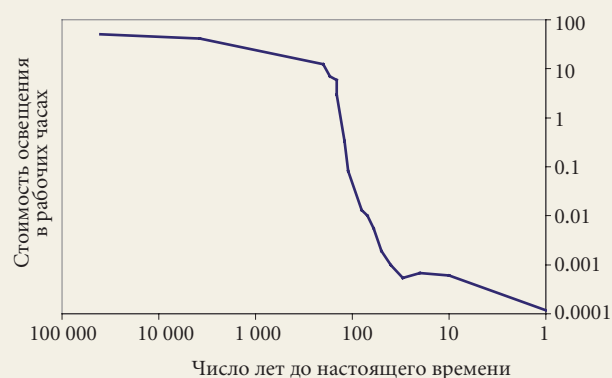
Аналогичные стремительные перемены характеризуют производство полупроводников. Экспоненциальный рост мощности и сопутствующее снижение затрат здесь описывают законом Мура<sup>3</sup>, который гласит, что удвоение числа транзисторов на компьютерной микросхеме

имеет место каждые два года (хотя в последнее время этот период сократился до 18 месяцев). На рис. 4 приведена кривая, иллюстрирующая закон Мура. С конца 1990-х гг. прослеживается дальнейшее ускорение такой тенденции.

Закон Мура и аналогичные предположения, которые на самом деле отнюдь не являются законами физики, применимы ко многим другим процессам, включая:

- снижение удельных затрат на производство транзисторов;
- увеличение плотности при минимальных затратах на один транзистор;
- повышение производительности вычислений при сокращении себестоимости единицы продукции;
- уменьшение потребления энергии в новых моделях полупроводников;
- экспоненциальный рост затрат на хранение единицы информации на жестком диске;
- ускорение роста мощности оперативной памяти;
- быстрое наращивание пропускной способности сети;
- экспоненциальное снижение удельной стоимости одного пикселя.

Рис. 3. Стоимость освещения (рабочих часов на 1000 люмен-часов)



Источник: составлено автором по материалам [Nordhaus, 1997; DeLong, 2000].

<sup>2</sup> Люмен — единица измерения светового потока.

<sup>3</sup> См. сноску 5 к статье Д. Касти «Экстремальные события как детерминанты шестой кондратьевской волны» в настоящем номере (с. 69). — Прим. ред.

Рис. 4. Закон Мура



В частности, в производстве флэш-памяти USB справедлив закон Хванга (Hwang's Law)<sup>4</sup>, согласно которому объем памяти подобных устройств удваивается каждые 12 месяцев [Kim, 2008]. Закон Мура, предположительно, будет актуален еще минимум 20 лет, пока транзисторы не уменьшатся до одного нанометра.

Благодаря распространению «мирного атома» начиная с 1950-х гг. производство и потребление энергии в развитых странах резко увеличилось при одновременном снижении ее стоимости.

В свое время Л. Стросс, тогдашний председатель Комиссии по атомной энергии США (US Atomic Energy Commission), отмечал: «Нашим детям электричество будет обходиться настолько дешево, что не понадобятся счетчики» [Cohn, 1997], имея в виду водородные термоядерные реакторы, планы по развитию которых пока еще не воплотились. Его прогноз опередил свое время, однако имеется вероятность, что вскоре он сбудется.

## «Энергулярность»

«Важно понять, что природа энергии современной физике неизвестна».

Р. Фейнман, 1964

Идея сингулярности известна науке на протяжении многих лет. Так, существуют математические (деление на ноль) и физические сингулярности (черная дыра). Концепция «технологической сингулярности» (скачкообразное развитие интеллекта) определяется как достижение превосходства искусственного интеллекта над естественным. Над этой темой работали И. Гуд в 1960-е гг. [Good, 1965] и В. Виндж в 1980-е гг., предсказавший, что «в течение тридцати лет появятся технологии создания сверхчеловеческого интеллекта» [Vinge, 1993].

Учение о технологической сингулярности было популяризировано с выходом бестселлера Р. Курцвайля

«На пороге сингулярности: люди выходят за пределы биологии» [Kurzweil, 2005], где была описана новая эра — слияния технологий и человеческого интеллекта. Автор прогнозирует, что к 2029 г. искусственный интеллект пройдет «тест Тьюринга» (Turing Test), а в 2045 г. наступит эпоха технологической сингулярности, в которой искусственный интеллект по проникаемости сравняется с человеческим, а затем превзойдет его благодаря ускоренному развитию информационных технологий и способности машин мгновенно обмениваться знаниями. Интеллектуальные нанороботы будут внедрены в человеческий организм и окружающую среду, что позволит решать сложные социальные и экологические проблемы. Радикально увеличится продолжительность жизни; чувства будут погружены в виртуальную реальность, а человеческий разум станет значительно мощнее. В результате люди, создающие технологии, тесно переплетутся с самим процессом технологической эволюции.

Курцвайль применил закон Мура не только к современным и будущим компьютерным технологиям, но и к неинформационным. Выведенный им «Закон ускорения отдачи» (Law of Accelerating Returns) предполагает экспоненциальное ускорение технологического прогресса в целом: «Как только та или иная технология приблизится к определенному барьеру, появляется новая, позволяющая его преодолеть» [Kurzweil, 1999].

Подобные сдвиги парадигмы, отмечает Курцвайль, станут обычным явлением, а смена технологий — настолько быстрой и радикальной, что в корне перевернет ход человеческой истории: «Анализ истории технологий показывает, что технологическое развитие осуществляется не «интуитивно линейно», а экспоненциально. При современных темпах в течение XXI в. столетие прогресса будет равнозначно предыдущим двадцати тысячам лет. Экспоненциальный рост характерен для скорости обработки информации, экономической эффективности и темпов самого экспоненциального роста... Последствиями этого станут слияние биологического и искусственного интеллекта, появление бессмертных программируемых индивидуумов со сверхспособностями...» [там же].

О. де Грей выдвинул идею «мафусаильности» (methuselahry)<sup>5</sup> — биogerонтологического эквивалента сингулярности, который возникнет, когда медицинские технологии получат настолько стремительное развитие, что продолжительность жизни ежегодно будет увеличиваться больше, чем на один год. Методики омоложения позволят решить проблему старения, а темпы устранения поломок в организме опередят процесс их появления. Необходимые темпы развития де Грей определил как «скорость высвобождения долголетия» (longevity escape velocity), достижение которой и приведет к «мафусаильности» [de Gray, 2008].

По аналогии с технологической сингулярностью и мафусаильностью можно предложить термин «энергетическая сингулярность» («энергулярность», energularity), описывающий экспоненциальный характер роста энергопотребления. Пользуясь шкалой российского астрофизика Н. Кардашева, мы определяем «энергулярность» как момент достижения человечеством

<sup>4</sup> Назван в честь вице-президента Samsung.

<sup>5</sup> Мафусаил — библейский персонаж, прославившийся своим долголетием: он прожил 969 лет. — Прим. ред.

уровня «цивилизации первого типа»<sup>6</sup>. В табл. 2 приведены значения мощности различных источников энергии (от минимальных до максимальных) и их соответствие шкале Кардашева. Хотя указанные значения характеризуют мощность, это не должно вызывать проблем, поскольку мощность представляет собой количество энергии, приходящееся на единицу времени: один

ватт (Вт, стандартная единица мощности в системе СИ) определяется как один джоуль (Дж, стандартная единица энергии СИ) в секунду<sup>7</sup>.

В соответствии со шкалой Кардашева цивилизация первого типа располагает примерно  $174 \times 10^{15}$  Вт энергии; второго —  $385 \times 10^{24}$  Вт; а третьего —  $5 \times 10^{36}$  Вт. Цифры сильно варьируют, поскольку планеты, солнечные

Табл. 2. Энергетическая шкала и типы цивилизаций Кардашева

Пример	Мощность	Экспоненциальное представление
Мощность радиосигнала космического зонда Galileo, переданного с Юпитера	10 зВт	$10 \times 10^{-21}$ Вт
Минимальный различимый сигнал для радиоприемника диапазона FM	2.5 фВт	$2.5 \times 10^{-15}$ Вт
Среднее энергопотребление клетки человеческого организма	1 пВт	$1 \times 10^{-12}$ Вт
Примерное энергопотребление кварцевых наручных часов	1 мкВт	$1 \times 10^{-6}$ Вт
Лазер в CD-ROM приводе	5 мВт	$5 \times 10^{-3}$ Вт
Ориентировочное энергопотребление человеческого мозга	30 Вт	$30 \times 10^0$ Вт
Мощность типичной домашней осветительной лампы накаливания	60 Вт	$60 \times 10^0$ Вт
Среднее энергопотребление организма взрослого человека	100 Вт	$100 \times 10^0$ Вт
Пиковое энергопотребление процессора Pentium 4	130 Вт	$130 \times 10^0$ Вт
Выходная мощность (работа плюс тепло) активно работающего человека	500 Вт	$500 \times 10^0$ Вт
Мощность типичной микроволновой печи	1.1 кВт	$1.1 \times 10^3$ Вт
Мощность, получаемая от Солнца на орбите Земли, на 1 м <sup>2</sup>	1.366 кВт	$1.366 \times 10^3$ Вт
Среднедушевое энергопотребление в мире в 2010 г.	2.3 кВт	$2.3 \times 10^3$ Вт
Средняя выходная мощность фотосинтеза на 1 км <sup>2</sup> поверхности океана	3.3–6.6 кВт	$3.3\text{--}6.6 \times 10^3$ Вт
Среднедушевое энергопотребление в США в 2010 г.	12 кВт	$12 \times 10^3$ Вт
Средняя выходная мощность фотосинтеза на 1 км <sup>2</sup> поверхности суши	16–32 кВт	$16\text{--}32 \times 10^3$ Вт
Примерный диапазон выходной мощности типичного автомобиля	40–200 кВт	$40\text{--}200 \times 10^3$ Вт
Пиковая выходная мощность голубого кита	2.5 МВт	$2.5 \times 10^6$ Вт
Механическая выходная мощность дизельного локомотива	3 МВт	$3 \times 10^6$ Вт
Среднее энергопотребление самолета Boeing 747	140 МВт	$140 \times 10^6$ Вт
Пиковая выходная мощность авианосца высшего класса	190 МВт	$190 \times 10^6$ Вт
Электрическая выходная мощность типичной атомной электростанции	1 ГВт	$1 \times 10^9$ Вт
Мощность, получаемая от Солнца на орбите Земли, на 1 км <sup>2</sup>	1.4 ГВт	$1.4 \times 10^9$ Вт
Электрическая выходная мощность электростанции «Три ущелья» (Three Gorges) в Китае	18 ГВт	$18 \times 10^9$ Вт
Энергопотребление первой ступени ракеты Saturn V	190 ГВт	$190 \times 10^9$ Вт
Потребление электроэнергии в США в 2010 г.	0.5 ТВт	$0.5 \times 10^{12}$ Вт
Потребление электроэнергии в мире в 2010 г.	2.0 ТВт	$2.0 \times 10^{12}$ Вт
Валовое энергопотребление в США в 2010 г.	3.7 ТВт	$3.7 \times 10^{12}$ Вт
Совокупное энергопотребление в мире в 2010 г.	16 ТВт	$16 \times 10^{12}$ Вт
Средний совокупный тепловой (геотермальный) поток из недр Земли	44 ТВт	$44 \times 10^{12}$ Вт
Суммарный мировой объем производства энергии путем фотосинтеза	75 ТВт	$75 \times 10^{12}$ Вт
Тепловая энергия, высвобождаемая ураганом	50–200 ТВт	$50\text{--}200 \times 10^{11}$ Вт
Совокупный объем энергии ветра (оценка)	870 ТВт	$870 \times 10^{12}$ Вт
Самый мощный в мире лазерный импульс	1.2 ПВт	$1.2 \times 10^{15}$ Вт
Тепловой поток, транспортируемый Гольфстримом (оценка)	1.4 ПВт	$1.4 \times 10^{15}$ Вт
Валовая мощность, получаемая Землей от Солнца (подвластна цивилизации I типа)	174 ПВт	$174 \times 10^{15}$ Вт
Световая мощность Солнца (управляется цивилизацией II типа)	385 ИВт	$385 \times 10^{24}$ Вт
Примерная световая мощность галактики Млечный путь (доступна для использования цивилизацией III типа)	$5 \times 10^{36}$ Вт	$5 \times 10^{36}$ Вт
Примерная световая мощность квазара	$1 \times 10^{40}$ Вт	$1 \times 10^{40}$ Вт
Ориентировочная световая мощность локального сверхскопления	$1 \times 10^{42}$ Вт	$1 \times 10^{42}$ Вт
Примерная световая мощность вспышки гамма-излучения	$1 \times 10^{45}$ Вт	$1 \times 10^{45}$ Вт
Приблизительная световая мощность всех звезд в известной нам вселенной	$2 \times 10^{49}$ Вт	$2 \times 10^{49}$ Вт
Планковская мощность (базовая единица мощности в планковских единицах)	$3.63 \times 10^{52}$ Вт	$3.63 \times 10^{52}$ Вт

Источник: составлено автором по материалам [Cordeiro, 2006].

<sup>6</sup> Шкала Кардашева измеряет технологическое развитие цивилизации на основе количества энергии, которое цивилизация может использовать для своих нужд [Kardashev, 1964]. Шкала является лишь гипотетической и, с точки зрения современной цивилизации, очень спекулятивной. Вместе с тем, она отражает энергопотребление всей цивилизации в космической перспективе. В ней выделены три категории, называемые соответственно тип I, II и III. Цивилизация I типа использует все доступные ресурсы, имеющиеся на ее родной планете; цивилизация II типа — контролирует всю энергию своей звезды; III типа — собственной галактики.

<sup>7</sup> Поскольку можно руководствоваться показателями как мощности, так и энергии, то вместо «энергичности» применимо и определение «мощнолярности» (powergularity), однако первый термин представляется более предпочтительным и поэтому используется в настоящей статье.

## Образы будущего

системы и галактики радикально отличаются по световой мощности, размеру и иным параметрам. С большой натяжкой можно заключить, что в распоряжении цивилизации первого типа имеется около  $10^{16}$  Вт, второго —  $10^{26}$  Вт и третьего —  $10^{36}$  Вт (степень может различаться на один-два порядка в ту или иную сторону). В свою очередь, К. Саган [Sagan, 1973, 1977] в качестве альтернативы классификации Кардашева предложил пользоваться логарифмической шкалой. Согласно ей, в настоящее время человечество находится примерно в точке 0.72, а значение 1.0 соответствует статусу цивилизации I типа, который, по прогнозам М. Каку, реально достижим через 100–200 лет [Kaku, 2005]. В работе последнего упоминаются различные системы двигателей, доступные разным цивилизационным уровням (табл. 3).

Очевидно, что космическое пространство таит в себе практически безграничные запасы энергии. Достижение «энергулярности» и переход к цивилизации первого типа позволит освоить солнечную систему, галактику, а затем и более далекие пространства Вселенной. На данном этапе космос все еще воспринимается как пустынное, враждебное пространство, и тем не менее, это — неосвоенная территория, потенциал которой побудит человечество к очередной фундаментальной созидательной трансформации [Zubrin, 1999].

Другие авторы расширяют концепцию Кардашева. Например, цивилизация четвертого типа может контролировать энергию сверхскопления галактик (примерно  $10^{42}$  Вт) [Moorcock, 1976; Parkin, 2005; Swirski, 2006], пятого — всей Вселенной, шестого — нескольких вселенных (практически бесконечное количество энергии). Наконец, цивилизация седьмого типа будет иметь возможность произвольно создавать вселенные и использовать их в качестве источников энергии [Cohen, Stewart, 2002, и др.]. Отметим, что подобные сценарии для современной научной мысли воспринимаются как фантастика.

### За гранью «энергулярности»

«Каждая звезда в небе напоминает: термоядерную энергию можно получить из водорода и других легких элементов, что является обыденной реальностью для галактики Млечного пути».

К. Саган, 1991 г.

Изначально «энергулярность» и типы цивилизаций Кардашева определялись на основе совокупного

количества доступной энергии. Солнце постоянно доставляет на Землю в 10 тыс. раз больше энергии, чем потребляется сегодня: 174 ПВт ( $1.74 \times 10^{17}$  Вт) против 16 ТВт ( $1.6 \times 10^{13}$  Вт). Солнечная энергия — несомненный «лидер», но далеко не единственный среди внешних доступных источников, способствующих достижению «энергулярности».

В табл. 4 продемонстрировано энергетическое содержание (удельная энергия, измеренная в мега-джоулях на килограмм, МДж/кг) некоторых материалов. Гидроэнергия была одним из первых «экстрасоматических» источников, освоенных человеком, но ее содержание крайне невелико: всего 0.001 МДж/кг для воды, находящейся на высоте 100 метров. Жмых, навоз животных и древесина оказались гораздо эффективнее: их энергетическое содержание варьирует от 10 до 16 МДж/кг. Затем пришла очередь угля, содержание энергии в котором, в зависимости от типа и качества, составляет 22–30 МДж/кг.

Сегодня основным источником энергии по-прежнему является углеводородное топливо, чье энергетическое содержание находится в диапазоне от 22 до 55 МДж/кг (например, метанол и метан). С середины XX в.

Табл. 4. Примерное энергетическое содержание различных материалов

Вид топлива	Энергетическое содержание (МДж/кг)
Вода, находящаяся за плотиной на высоте 100 м (гидроэнергия)	0.001
Свинцово-кислотная батарея	0.14
Ионно-литиевая батарея	0.7
Ионно-литиевая батарея с нанопроводами	2.5
Жмых (сахарного тростника)	10
Навоз животных	12–14
Древесное топливо ( $C_6H_{10}O_5$ ) <sub>n</sub>	14–16
Сахар ( $C_6H_{12}O_6$ , глюкоза)	16
Метанол ( $CH_3OH$ )	22
Уголь (антрацит, лигнит и т. п.)	22–30
Этанол ( $CH_3CH_2OH$ )	30
Сжиженный нефтяной газ	32–34
Бутанол ( $CH_3(CH_2)_3OH$ )	36
Биодизель	38
Оливковое масло ( $C_{18}H_{34}O_2$ )	40
Сырая нефть (средние значения)	42–44
Бензин	46
Дизель	48
Метан ( $CH_4$ , газообразное топливо, в зависимости от степени сжатия)	55
Водород ( $H_2$ , газообразное топливо, в зависимости от степени сжатия)	140
Ядерные изомеры (Ta-180m изомер)	41 340
Ядерные изомеры (Hf-178m2 изомер)	1 326 000
Ядерное деление (природный уран в реакторе на быстрых нейтронах)	86 000 000
Термоядерный синтез (водород, H)	300 000 000
Энергия связи гелия (He)	675 000 000
Эквивалентность массы и энергии (уравнение Эйнштейна $E = mc^2$ )	89 880 000 000
Аннигиляция материи и антиматерии	180 000 000 000

Источник: составлено автором по материалам [Cordeiro, 2006].

Табл. 3. Типы двигателей, доступные различным уровням цивилизаций

Уровень цивилизации по шкале Кардашева	Типы двигателей
0	<ul style="list-style-type: none"> <li>Химические ракеты</li> <li>Ионные двигатели</li> <li>Приводы на основе ядерного деления</li> <li>Электромагнитные двигатели (рельсотроны)</li> </ul>
I	<ul style="list-style-type: none"> <li>Прямоточные воздушно-реактивные двигатели</li> <li>Фотонные приводы</li> </ul>
II	<ul style="list-style-type: none"> <li>Приводы на основе антиматерии</li> <li>Нанозонды фон Неймана</li> </ul>
III	<ul style="list-style-type: none"> <li>Двигатели на основе планковской энергии</li> </ul>

Источник: [Kaku, 2005].



некоторые страны используют атомную энергию; отдельные реакторы-размножители обеспечивают энергетическое содержание урана до 86 млн МДж/кг. Вероятно, в недалеком будущем, по мере приближения к «энергулярности» и статусу цивилизации I типа, главным источником станет ядерное деление, а затем и синтез.

Согласно Н. Кардашеву, наша цивилизация пока остается в статусе нулевого типа, но уже в следующем веке может произойти переход на первый уровень, а в ближайшие десятилетия появится возможность управлять термоядерной реакцией.

Для получения большего количества энергии предстоит полностью овладеть энергетическим содержанием материи и научиться конвертировать ее в энергию в соответствии с уравнением Эйнштейна.

Об энергетическом потенциале нашей планеты свидетельствуют следующие показатели: масса Земли равняется  $5.98 \times 10^{24}$  кг, что в теории дает энергетическое содержание в  $5.37 \times 10^{41}$  Дж. Одних лишь океанских вод достаточно для снабжения энергией цивилизации первого типа в течение длительного геологического периода. Гигантские запасы энергии на многие миллиарды лет содержит и Солнце, чья масса оценивается в  $1.99 \times 10^{30}$  кг,

или в теоретическом эквиваленте —  $1.79 \times 10^{47}$  Дж. Что касается доступной для наблюдения Вселенной, ее совокупная энергия массы достигает примерно  $4 \times 10^{69}$  Дж. Другими словами, недостатка энергии массы не наблюдается.

Согласно современным представлениям, обычная материя составляет лишь около 4% совокупной энергетической плотности известной части космоса; помимо нее имеется 22% темной материи и 74% темной энергии. С научной точки зрения, материя и энергия неуничтожимы, они лишь преобразуются в иные формы, следовательно, достижение «энергулярности» откроет доступ к практически неограниченному количеству энергии.

Для этого, несомненно, потребуются колоссальные инвестиции, смелое воображение, творчество и определенный уровень научно-технического развития. Наша цивилизация все еще пребывает в начальной стадии развития, и, если не произойдет непредвиденных событий вроде геополитических кризисов, ядерных войн, био-катастроф и т. п., наука и технологии продолжат расширять границы доступности Вселенной. Как сказал К.Э. Циолковский, «Земля — колыбель человечества, но нельзя вечно оставаться в колыбели».

F

- British Telecom (2005) Technology Timeline. London: British Telecom. Режим доступа: [www.bt.com/technologytimeline](http://www.bt.com/technologytimeline) (дата обращения 06 ноября 2012 г.).
- Chaisson E. (2005) *Epic of Evolution: Seven Ages of the Cosmos*. New York, NY: Columbia University Press.
- Clarke A. (1984) *Profiles of the Future: An Inquiry into the Limits of the Possible*. New York, NY: Henry Holt and Company.
- Cohen J., Stewart I. (2002) *Evolving the Alien: The Science of Extraterrestrial Life*. Ebury Press.
- Cohn S. (1997) *Too cheap to meter: An economic and philosophical analysis of the nuclear dream*. SUNY series in Radical Social and Political Theory. New York, NY: State University of New York Press.
- Cordeiro J. (2006) *Energy 2020: A Vision of the Future // Creating Global Strategies for Humanity's Future* / Ed. Timothy C. Mack. Bethesda, MD: World Future Society. P. 227–241.
- Cordeiro J. (2010) *The Future of Energy and the Energy of the Future*. San Francisco, CA: Singularity Institute for Artificial Intelligence.
- de Gray A. (2008) *The Singularity and the Methuselahity: Similarities and Differences*. Lorton, VA: Methuselah Foundation.
- DeLong J. (2000) *Cornucopia: The Pace of Economic Growth in the Twentieth Century*. NBER Working Paper 7602. Cambridge, MA: NBER.
- Dyson F. (1966) *The Search for Extraterrestrial Technology // Perspectives in Modern Physics*. New York, NY: John Wiley & Sons. P. 641–655.
- Foundation for the Future (2002) *The Next Thousand Years*. Bellevue, WA: Foundation for the Future.
- Foundation for the Future (2007) *Energy Challenges: The Next Thousand Years*. Bellevue, WA: Foundation for the Future.
- Fuller R. (1981) *Critical Path*. New York, NY: W.W. Norton & Company.
- Glenn J., Gordon T. (2010) *State of the Future 2010*. Washington, DC: The Millennium Project. Режим доступа: [www.StateOfTheFuture.org](http://www.StateOfTheFuture.org) (дата обращения 26 сентября 2012 г.).
- Good I. (1965) *Speculations Concerning the First Ultrainelligent Machine // Advances in Computers*. Vol. 6. Burlington, MA: Academic Press. P. 31–84.
- Hawking S. (2002) *The Theory of Everything: The Origin and Fate of the Universe*. New York, NY: New Millennium Press.
- Kahn H. et al. (1976) *The Next 200 Years: A Scenario for America and the World*. New York, NY: William Morrow and Company.
- Kaku M. (2005) *Parallel Worlds: The Science of Alternative Universes and Our Future in the Cosmos*. New York, NY: Doubleday.
- Kardashev N. (1964) *Transmission of Information by Extraterrestrial Civilizations // Soviet Astronomy*. Vol. 8. № 2. P. 217–221.
- Kim Y. (2008) *Hwang's Law Phased Out // The Korea Times* (09 September). Режим доступа: [http://www.koreatimes.co.kr/www/news/biz/2008/09/123\\_30944.html](http://www.koreatimes.co.kr/www/news/biz/2008/09/123_30944.html) (дата обращения 4 декабря 2012 г.).
- Kurian G., Molitor G. (1996) *Encyclopedia of the Future*. New York, NY: Macmillan.
- Kurzweil R. (1999) *The Age of Spiritual Machines*. New York, NY: Penguin Books.
- Kurzweil R. (2005) *The Singularity is Near: When Humans Transcend Biology*. New York, NY: Viking.
- Lasica J.D. (2004) *The Engadget Interview: Niklas Zennstrom of Skype* (08 November). Режим доступа: <http://www.jdlasica.com/tag/skype/> (дата обращения 5 декабря 2012 г.).
- Maryniak G. (2012) *Storage, Not Generation, is the Challenge to Renewable Energy // Forbes.com*. Режим доступа: <http://www.forbes.com/sites/singularity/2012/07/20/storage-not-generation-is-the-challenge-to-renewable-energy/> (дата обращения 24 ноября 2012 г.).
- Metcalf R. (2007) *The Enernet* (unpublished presentation). Режим доступа: [gigaom.com/cleantech/bob-metcalf-welcome-to-the-enernet-1](http://gigaom.com/cleantech/bob-metcalf-welcome-to-the-enernet-1) (дата обращения 18 января 2012 г.).
- Moorcock M. (1976) *Tales From the End of Time*. Berkley Publishing.
- Nordhaus W. (1997) *Do Real Output and Real Wage Measures Capture Reality? The History of Lighting Suggests Not // The Economics of New Goods*. Chicago, IL: University of Chicago. P. 27–70.
- Parkin L. (2005) *The Gallifrey Chronicles*. BBC Books.
- Romm J. (2011) *Solar Power Much Cheaper to Produce Than Most Analysts Realize, Study Finds // ThinkProgress.org*. Режим доступа: <http://thinkprogress.org/climate/2011/12/11/387108/solar-power-much-cheaper-than-most-realize-study/> (дата обращения 24 ноября 2012 г.).
- Sachs E., Serdy J. (2006) *Light Capture from Solar Cell Bus Bars*. Paper presented at the Proceedings of the IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Waikoloa, HI, May 2006.
- Sagan C. (1973) *The Cosmic Connection*. New York, NY: Doubleday.
- Sagan C. (1977) *The Dragons of Eden: Speculations on the Evolution of Human Intelligence*. New York, NY: Random House.
- Simon J. (1996) *The Ultimate Resource 2*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Swirski P. (2006) *The art and science of Stanislaw Lem*. McGill-Queen's Press.
- Vinge V. (1993) *The Coming Technological Singularity // Whole Earth Review* (Winter issue). P. 88–95.
- Wells H. (1902) *The Discovery of the Future // Nature*. Vol. 65. P. 326–331.
- Zubrin R. (1999) *Entering Space: Creating a Spacefaring Civilization*. New York, NY: Jeremy P. Tarcher/Putnam.



# Energy Singularity: From Scarcity to Abundance

José Luis Cordeiro

Energy Advisor and Lecturer, Singularity University in Silicon Valley (California, USA), and Chair, Venezuela Node of The Millennium Project. Address: NASA Research Park, bld. 20, S. Akron Rd., MS 20-1 Moffett Field CA 94035-0001, USA.  
E-mail: jose.cordeiro@singularityu.org

## Abstract

The ability to extract and use energy played a decisive role in the development of human civilization. Energy consumption is growing exponentially, thus the only way to avoid future energy crisis is to explore renewable, more abundant sources.

It is known that some technology fields, particularly information and communication technologies, develop according to the “accelerating acceleration” principle. This paper analyzes the applicability of this pattern to energy production and consumption. It assumes that the development of advanced storage technologies and “smart” power distribution will lead to the creation of “global energy network” (Enernet). With the Enernet, energy

and power will become abundant and basically free, just like information and bandwidth are today thanks to the Internet. This creates the prerequisites for coming “energy singularity” (“energularity”), which could happen in the next century – in result the humanity will gain full control over all energy available on the planet, and will reach a new level of development (type I according to the Kardashev scale).

“Energularity” is similar in some ways to the concepts of the “technological singularity” (intelligence explosion) and “methuselarity” (annual longevity extension for more than one year). Achieving “energularity” seems fundamental to improving the global quality of life and to exploring the universe.

## Keywords

energy; alternative energy sources; singularity; development of civilization; Kardashev scale

## References

- British Telecom (2005) *Technology Timeline*. London: British Telecom. Available at: [www.bt.com/technologytimeline](http://www.bt.com/technologytimeline) (accessed 06 November 2012).
- Chaisson E. (2005) *Epic of Evolution: Seven Ages of the Cosmos*, New York, NY: Columbia University Press.
- Clarke A. (1984) *Profiles of the Future: An Inquiry into the Limits of the Possible*, New York, NY: Henry Holt and Company.
- Cohen J., Stewart I. (2002) *Evolving the Alien: The Science of Extraterrestrial Life*, Ebury Press.
- Cohn S. (1997) *Too cheap to meter: An economic and philosophical analysis of the nuclear dream* (SUNY series in Radical Social and Political Theory), New York, NY: State University of New York Press.
- Cordeiro J. (2006) Energy 2020: A Vision of the Future. *Creating Global Strategies for Humanity's Future* (ed. Timothy C. Mack), Bethesda, MD: World Future Society, pp. 227–241.
- Cordeiro J. (2010) *The Future of Energy and the Energy of the Future*, San Francisco, CA: Singularity Institute for Artificial Intelligence.
- de Gray A. (2008) *The Singularity and the Methuselarity: Similarities and Differences*, Lorton, VA: Methuselah Foundation.
- DeLong J. (2000) *Cornucopia: The Pace of Economic Growth in the Twentieth Century* (NBER Working Paper 7602), Cambridge, MA: NBER.
- Dyson F. (1966) The Search for Extraterrestrial Technology. *Perspectives in Modern Physics*, New York, NY: John Wiley & Sons, pp. 641–655.
- Foundation for the Future (2002) *The Next Thousand Years*, Bellevue, WA: Foundation for the Future.
- Foundation for the Future (2007) *Energy Challenges: The Next Thousand Years*, Bellevue, WA: Foundation for the Future.
- Fuller R. (1981) *Critical Path*, New York, NY: W.W. Norton & Company.
- Glenn J., Gordon T. (2010) *State of the Future 2010*, Washington, DC: The Millennium Project. Available at: [www.StateOfTheFuture.org](http://www.StateOfTheFuture.org) (accessed 26 September 2012).
- Good I. (1965) Speculations Concerning the First Ultraintelligent Machine. *Advances in Computers*, vol. 6, Burlington, MA: Academic Press, pp. 31–84.
- Hawking S. (2002) *The Theory of Everything: The Origin and Fate of the Universe*, New York, NY: New Millennium Press.
- Kahn H. et al. (1976) *The Next 200 Years: A Scenario for America and the World*, New York, NY: William Morrow and Company.
- Kaku M. (2005) *Parallel Worlds: The Science of Alternative Universes and Our Future in the Cosmos*, New York, NY: Doubleday.
- Kardashev N. (1964) Transmission of Information by Extraterrestrial Civilizations. *Soviet Astronomy*, vol. 8, no 2, pp. 217–221.
- Kim Y. (2008) Hwang's Law Phased Out. *The Korea Times* (09 September). Available at: [http://www.koreatimes.co.kr/www/news/biz/2008/09/123\\_30944.html](http://www.koreatimes.co.kr/www/news/biz/2008/09/123_30944.html) (accessed 4 December 2012).
- Kurian G., Molitor G. (1996) *Encyclopedia of the Future*, New York, NY: Macmillan.
- Kurzweil R. (1999) *The Age of Spiritual Machines*, New York, NY: Penguin Books.
- Kurzweil R. (2005) *The Singularity is Near: When Humans Transcend Biology*, New York, NY: Viking.
- Lasica J.D. (2004) *The Engadget Interview: Niklas Zennstrom of Skype* (08 November). Available at: <http://www.jdlasica.com/tag/skype/> (accessed 5 December 2012).
- Maryniak G. (2012) Storage, Not Generation, is the Challenge to Renewable Energy. *Forbes.com*. Available at: <http://www.forbes.com/sites/singularity/2012/07/20/storage-not-generation-is-the-challenge-to-renewable-energy/> (accessed 24 November 2012).
- Metcalf R. (2007) *The Enernet* (unpublished presentation). Available at: [gigaom.com/cleantech/bob-metcalf-welcome-to-the-enernet-1](http://gigaom.com/cleantech/bob-metcalf-welcome-to-the-enernet-1) (accessed 18 January 2012).
- Moorcock M. (1976) *Tales From the End of Time*, Berkley Publishing.
- Nordhaus W. (1997) Do Real Output and Real Wage Measures Capture Reality? The History of Lighting Suggests Not. *The Economics of New Goods*. Chicago, IL: University of Chicago, pp. 27–70.
- Parkin L. (2005) *The Gallifrey Chronicles*, BBC Books.
- Romm J. (2011) Solar Power Much Cheaper to Produce Than Most Analysts Realize, Study Finds. *ThinkProgress.org*. Available at: <http://thinkprogress.org/climate/2011/12/11/387108/solar-power-much-cheaper-than-most-realize-study/> (accessed 24 November 2012).
- Sachs E., Serdy J. (2006) *Light Capture from Solar Cell Bus Bars*. Paper presented at the Proceedings of the IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Waikoloa, HI, May 2006.
- Sagan C. (1973) *The Cosmic Connection*, New York, NY: Doubleday.
- Sagan C. (1977) *The Dragons of Eden: Speculations on the Evolution of Human Intelligence*, New York, NY: Random House.
- Simon J. (1996) *The Ultimate Resource 2*, Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Swirski P. (2006) *The art and science of Stanislaw Lem*, McGill-Queen's Press.
- Vinge V. (1993) The Coming Technological Singularity. *Whole Earth Review* (Winter issue), pp. 88–95.
- Wells H. (1902) The Discovery of the Future. *Nature*, vol. 65, pp. 326–331.
- Zubrin R. (1999) *Entering Space: Creating a Spacefaring Civilization*, New York, NY: Jeremy P. Tarcher/Putnam.