

Передача энергии на большие расстояния с помощью электронных пучков

© М.А. Кумахов

Институт рентгеновской оптики,
143005 Одинцово, Московская область, Россия
email: mkumakhov@mail.ru

(Поступило в Редакцию 13 декабря 2013 г.)

Для передачи энергии на большие расстояния предложено использовать обнаруженный недавно нашей группой эффект многократного бесконтактного прохождения электронов в наэлектризованном кольце. В экспериментах на кольце электроны проходят огромные расстояния $\geq 10^7$ km. Проведен анализ потерь электронов из-за излучения и из-за потерь на остаточном газе. Показано, что эти потери существенно меньше $10^{-4}\%$ на расстоянии $\geq 10^4$ km. Анализ сделан с учетом сложного профиля трассы. Сделана оценка электрической мощности, которую можно пропускать по такому каналу. Эта мощность больше 10^{13} W при диаметре канала в несколько миллиметров. Если каналы сделать в виде соленоида или тороида, то возникающие большие магнитные поля можно использовать для разных приложений, в том числе для магнитного удержания плазмы.

Введение

Техника традиционных средств транспортировки энергии на большие расстояния достигла весьма высокого уровня. Тем не менее потери на линиях электропередач еще большие. Например, в России они равны 7–8%, согласно данным, которые приводятся в [1].

Одним из важнейших путей решения этой важной проблемы современной энергетики является использование в будущем сверхпроводящих материалов [2].

В 50-х г. прошлого столетия известный советский физик Г.Н. Будкер предложил использовать для этого сильноточные релятивистские электронные пучки. При этом предполагалось компенсировать кулоновское расталкивание электронов с помощью ионов [3].

Такой „стабилизированный“ пучок предполагалось поместить в металлическую топливную трубу.

Идея Будкера до недавнего времени вызывала серьезный интерес (см., например, [4,5]).

По оценке экспертов преобразование энергии жидкого или газообразного топлива в энергию электронного пучка с последующим его транспортированием может оказаться экономически более выгодным, чем транспортирование самого топлива к месту потребления с последующим получением электроэнергии [6].

К сожалению, идея Г.Н. Будкера оказалась не реализуемой из-за неустойчивостей, возникающих в таком пучке [5].

В настоящей работе также предлагается использование электронных пучков для передачи энергии на большие расстояния. Но идеология этой статьи не связана с идеей Г.Н. Будкера.

Эксперименты по прохождению электронных пучков на сверхдальние расстояния

В настоящей работе для решения проблемы передачи энергии на большие расстояния предлагается новый подход, который основан на недавно обнаруженном новом физическом эффекте [7,8]. В работе [7] был предложен и обоснован новый механизм бесконтактного поворота заряженных части (электронов, ионов) в полой трубе с наэлектризованными стенками. Эксперименты [8] подтвердили этот эффект.

При достаточно хорошем вакууме $\sim 10^{-8}$ – 10^{-9} Pa пучки электронов с энергией ~ 20 – 40 keV удерживаются в трубе с радиусом ~ 10 – 20 cm в течение 5–10 min. Диаметр полого канала примерно несколько миллиметров.

При этом электроны проходят огромные расстояния.

Например, электрон с энергией 100 eV (скорость $1.64 \cdot 10^{10}$ cm/s) за 100 s проходит путь $\sim 1.64 \cdot 10^7$ km, что превышает длину экватора ($\sim 40\,000$ km) более чем в 400 раз.

Путь длиной 10^3 – 10^4 km электрон проходит за 10^{-2} – 10^{-1} s.

Потери энергии электронов

Потери энергии электронов могут быть обусловлены ионизационными потерями на остаточном газе, поэтому важен высокий вакуум. По нашим данным электроны с энергией ~ 100 keV проходят расстояния в 10^4 km при вакууме 10^{-9} Pa без потерь.

Возможно, это связано с тем, что первые порции электронов ионизируют остаточный газ. При этом положительные ионы сразу садятся на отрицательно заряжен-

ную стенку, т.е. происходит своеобразное „очистение“ канала.

Второй механизм потерь энергии электронов связан с их излучением при поворотах пучков, так как электронный пучок должен повторять профиль трассы.

При повороте электрона на радиус R мощность излучения W равна [9]

$$W(\text{eV/s}) = \frac{2}{3} \frac{e^2 \beta^4 c}{R}, \quad (1)$$

где $\beta = v/c$, v — скорость электрона, c — скорость света, e — заряд электрона.

Для электронов с энергией 100 keV и радиусом $R = 100 \text{ cm}$

$$W = 2.52 \cdot 10^{-2} \text{ eV/s}. \quad (2)$$

Если предположить, что на длине 10^4 km имеем один миллион поворотов с радиусом $R = 10^2 \text{ cm}$ и длиной каждого поворота $\approx 3 \cdot 10^2 \text{ cm}$, то получим, что электрон теряет на всех этих поворотах $9.2 \cdot 10^{-3} \text{ eV}$. Таким образом, доля потерь энергии η равна

$$\eta = \frac{9.2 \cdot 10^{-3} \text{ eV}}{10^5 \text{ eV}} = 9.2 \cdot 10^{-8}. \quad (3)$$

Эта доля меньше одной миллионной от энергии электрона. Таким образом, этими потерями можно пренебречь.

Мощность электронного пучка, которую пропускает канал

Предполагаем, что транспортный канал для электронного пучка представляет собой вакуумный канал с диаметром несколько миллиметров, окруженный наэлектризованной диэлектрической стенкой, толщиной в несколько миллиметров. Электризация делается с помощью внешнего поля, которое индуцирует заряд на поверхности внутренней стенки. При этом на поверхность внешней стенки наносится (или напыляется) тонкая металлическая пленка. Все это помещается в трубу с необходимыми техническими параметрами (жесткость, устойчивость к влаге, температурным перепадам и т.д.).

Объем канала длиной 10^4 km и диаметром, например, 2 mm равен $\sim 30 \text{ m}^3$.

Для современной вакуумной техники не составляет труда получение высокого вакуума в таком объеме.

Важным с точки зрения приложений является вопрос: какую мощность электронного пучка можно транспортировать по такому каналу.

Плотность электронного пучка $n(\text{cm}^{-3})$ в канале с радиусом 1 cm можно оценить по формуле [7]

$$n = \frac{1}{4} \left(\frac{2U_b}{e^2 l} \right)^{3/2}, \quad (4)$$

где U_b — потенциальный барьер стенки (в eV), e — заряд электрона. При типичном значении $U_b = 10^5 \text{ eV}$ и $l = 10^{-1} \text{ cm}$ получаем $n \approx 10^{19} \text{ cm}^{-3}$.

Канал длиной 10^4 km электрон с энергией 100 keV проходит за время $\Delta t = 6.1 \cdot 10^{-2} \text{ s}$. При этом за 1 s по такому каналу можно пропустить $\approx 5 \cdot 10^{27}$ электронов. Учитывая, что энергия одного электрона равна 10^5 eV , получаем, что мощность W электронного пучка, которую теоретически можно пропустить по такому каналу, равна $W = 5 \cdot 10^{27} \cdot 10^5 = 5 \cdot 10^{32} \text{ eV/s}$, т.е. мощность равна $\approx 8.3 \cdot 10^{13} \text{ W}$. Таким образом, по каналу можно за 1 s пропустить энергию, равную $8.3 \cdot 10^{13} \text{ J}$. Если принять, что в среднем 1 атомный реактор вырабатывает 10^9 J/s (на самом деле эта энергия несколько меньше), то получается, что транспортируемая за 1 s энергия существенно превышает энергию, которую вырабатывали бы 10^4 атомных реакторов за то же время.

Сравнение со сверхпроводящими системами

Сверхпроводники при низких температурах проводят высокие токи. Например, материал NbTi при температуре 4.2 K проводит $(3-8) \cdot 10^4 \text{ A/cm}^2$ [10]. Предлагаемая нами система может проводить ток $\approx 8 \cdot 10^5 \text{ kA/3mm}^2$, т.е. на многие порядки больше, чем сверхпроводники. Очевидно, что предлагаемая система также на порядки дешевле. Магнитные поля, создаваемые в тороидальных катушках для удержания плазмы, пропорциональны току, текущему по катушке. То же самое справедливо и для магнитных полей в соленоидах. Поэтому использование предлагаемой технологии в будущем вместо сверхпроводников может оказаться перспективным.

Этот вопрос необходимо исследовать экспериментально.

Некоторые другие возможности

Укажем кратко на некоторые другие применения.

Предлагаемая транспортная система электронных пучков может использоваться как для постоянных, так и переменных по времени пучков. В настоящее время существует множество возможностей как для получения постоянных, так и переменных импульсных пучков электронов.

При этом есть как небольшие, так и мощные источники электронов.

Например [11], существуют импульсные электронные пучки с запасаемой энергией в несколько сотен килоджоулей с длительностью импульса $< 1 \text{ ns}$ и с энергией электронного пучка до 10 MeV.

Имеются плазменные источники электронов значительно большей мощности [12].

В предлагаемую транспортную систему можно включить как в начале, так и в любом другом месте не один, а множество источников электронов.

Кроме того, из транспортной системы в любом месте можно выводить как один пучок, так и множество пучков.

В связи с возможностью получения больших токов вокруг проводящего контура будет возникать большое магнитное поле. Эти поля, как указывалось, возможно использовать для множества применений, в том числе для создания магнитно-резонансных томографов.

Заключение

Предлагаемая система передачи энергии с помощью электронных пучков основана на экспериментах [8], где наблюдалось в вакууме на уровне 10^8 Pa прохождение электронов на расстояния $> 10^7$ km.

В настоящее время существует большое число газопроводов и нефтепроводов. Они имеют большое сечение, так что легко в них можно уместить предлагаемую транспортную систему. Для использования системы в космосе электронный пучок необходимо нейтрализовать ионами. Так как в космосе высокий вакуум, систему можно использовать для накопления и аккумуляции энергии.

Список литературы

- [1] Интервью с Ю.Г. Шакарян, научным руководителем ОАО „НТУ ФСК ЕЭС“. // В мире науки. № 6. 2013. С. 104–107.
- [2] Кенфильд П., Будько С. // В мире науки. 2005. № 7. С. 59–65.
- [3] Будкер Г.Н. Атомная энергия. 1956.Т. 1.
- [4] Алфёров Ж., Велихов Е. Энергия без границ. Россия в глобальной политике. № 1, январь–март. 2003.
- [5] Рудаков Л.Н. // Соросовский образовательный журн. 1996. № 2.
- [6] Велихов Е. Мост Россия–Азия. Лукойл-пресс, сентябрь 1999.
- [7] Кумахов М.А. Пат. РФ № 2011122945. 08.06.2011. РСТ/RU2012, Wo 2012/169932A2/.
- [8] Кумахов М.А., Тегаев Р.И. // ЖТФ. 2013. Т. 83. Вып. № 6. С. 147–150.
- [9] Соколов А.А., Тернов И.М. Релятивистский электрон. М.: Наука, 1974.
- [10] <http://ru.wikipedia.org>.
- [11] Вавилов С.П. Импульсная рентгеновская техника. М.: Энергия, 1981.
- [12] Рухадзе А.А. и др. Физика сильноточных релятивистских электронных пучков. М.: Атомиздат, 1980.