

3. Кравцов Ю.А. Геометрическая оптика неоднородных сред / Ю.А. Кравцов, Ю.И. Орлов. - М: Наука, 1980.
4. Шубин М.А. Лекции об уравнениях математической физики 2-е изд., испр. / М.А. Шубин. - М.: МЦНМО, 2003. — 303 с.
5. Журавлев В.М. Принцип суперпозиции и точные решения уравнения нелинейной диффузии / В.М. Журавлев // ТМФ. - 2015. - № 183(1). - С.36-50.

MULTIVALUED SOLUTIONS OF MULTIDIMENSIONAL PARABOLIC EQUATIONS

V.M. Morozov, V.M. Zhuravlev

The work is dedicated to the task of finding solutions to some of multivariate linear operators of parabolic type. Particular attention was paid to the two-dimensional parabolic operators, which shows the complete procedure for finding solutions and shows the appearance of a specific degeneration associated with many-valued solutions.

Keywords: exact solutions of multidimensional parabolic equations, degeneration of eigenfunctions, multivalued solutions, two-dimensional quantum oscillator.

УДК 53.02/608.3

НЕЛИНЕЙНОСТИ В ПЕРЕДАЧЕ ЭНЕРГИИ

И.С. Нурғалиев¹

¹ *ildus58@mail.ru*; Всероссийский научно - исследовательский институт электрификации сельского хозяйства, Москва

Рассматривается проблема передачи энергии на расстояния с минимальными потерями. Приведены несколько подходов для решения такой задачи.

Ключевые слова: нелинейности, передача энергии, экономия энергии.

Нобелевская премия этого года по физике была вручена за “за теоретические открытия топологических фазовых переходов и топологических фаз материи”. Несмотря на то, что это может быть не всем заметно, это направление имеет прямое отношение к теме нашей конференции. Не только потому, что Дэвиду Таулесу, Дункану Халдейну и Майклу Костерлитцу удалось до товарного вида довести то, что начато в советско-российской школе теоретической физики. Трое ученых, имена которых объявили в Стокгольме, при помощи математических формул описали необычные физические эффекты, происходящие при таких явлениях, как сверхпроводимость, сверхтекучесть, и в тонких магнитных пленках, которые благодаря перестройке внутренней геометрии приобретаются как следствие возникающих новых нелинейностей.

В таких состояниях как поведение материи, так и процессы, например, передача энергии на расстояния, демонстрирует свойства, присущие непривычным нам механизмам в трехмерном, в двумерном или, даже, в одномерном пространстве, таким как единичный провод.

Массо- и энергообмен в сельском хозяйстве в виде разнообразных процессов вещественных и энергетических превращений и перемещений в пространстве представляет собой, во-первых, саму суть сельского хозяйства. А с другой стороны он

представляет собой физическую природу многих технологических процессов, в частности, генерации, преобразования, передачи к месту потребления энергии, в том числе - электрической. По этой фундаментальной причине постановка задачи правильного понимания, описании и моделирования потоков является наиглавнейшей в направлении повышения эффективности использования возобновляемых источников энергии сельском хозяйстве. На кафедре ЮНЕСКО проведены поисковые теоретические исследования по описанию потоков с использованием методов аффинной геометрии, а также векторного и тензорного исчисления. Как оказалось, использование этих методов в более последовательно, чем это традиционно делается, решает многие традиционные проблемы описания процессов, представляющих собой поток. К таковым относятся такие представленные в повестке ВИЭСХ направления как основы вихревой энергетики, передача электромагнитной энергии без проводов и вдоль одиночного провода, организация фото-активируемой культивации микроводорослей для нужд биоэнергетики, поддержка горения газожидкостных композиционных топлив.

Самые краткие замечания основ найденного подхода заключаются в следующем. Поле вектора скорости V_α следует для использования в физическом конфигурационном пространстве радиусов-векторов R^β сначала проектировать в это пространство с векторного (касательного к конфигурационному):

$$V_\alpha = H_{\alpha\beta} R^\beta \quad (1)$$

Тензор H в (1) с координатами $H_{\alpha\beta}$ назовем тензором адвекции-дисторсии-завихренности. Его расщепляем в три части: в диагональная (след), симметричная бесследовая и антисимметричная, которые отвечают соответственно скоростям расширения, $\theta\delta_{\alpha\beta}/3$, сдвига $\sigma_{\alpha\beta}$ и завихренности $\omega_{\alpha\beta}$:

$$H_{\alpha\beta} = \theta\delta_{\alpha\beta}/3 + \sigma_{\alpha\beta} - \omega_{\alpha\beta}. \quad (2)$$

Такое расширение приводит при его использовании для выражения законов (баланса) сохранения в многокомпонентной реагирующей среде, каковыми являются потоки в самом сельском хозяйстве и в технологических процессах сельского хозяйства, в частности процессах энергогенерации, энергопередачи и энергопотребления, подчиняются следующему уравнению

$$\frac{\partial x_i}{\partial t} = f_i(\{x_j\}) + \nabla_k D^k_j(r) \nabla^j x_i. \quad (3)$$

Уравнение (3) уместно назвать уравнением нелинейной диффузии реакции многокомпонентной среды для дидактического сопоставления его с другими, ранее известными фундаментальными уравнениями.

Мы являемся свидетелями одного из механизмов генерации нелинейностей в динамических уравнениях. В данном случае это учет композиционной организации потока и взаимодействий, ранее неучтенных, в процессе функционирования энергетической системы. Такой путь, приводит к раскрытию как количественных, так и качественных новых свойств функционирования систем. Классический пример - обнаружение сверхпроводимости.

Изучение вопросов передачи электроэнергии по одному проводу имеет довольно длинную историю. Несмотря на это и несмотря на актуальность вопроса со все

возрастающей остротой в теории описания явления нет единодушия. В данной работе предпринята попытка понять причину проблемы и привнести маленький вклад в копилку существующих моделей. Начнем с того, что такое собственно понимание. Авторы придерживаются собственной версии определения понимания как ощущения достаточно тесного соответствия (говоря математически, гомеоморфизма) между тем, что надо понять и тем, что уже понятно. Как авторам кажется, такое определение прослеживается и в том, как возникла теория электромагнетизма. Классики оперировали понятными им образами гидродинамики.

Прибегнем к такому методу и мы. Дело в том, что работа однопроводной линии в значительной степени связана с поверхностными процессами. Однако многие попытки понять ее функционирование базируются на интуиции выработанных на изучении волновой передачи энергии в толще среды. Поверхностные волны имеют другую природу во многих аспектах физики процесса. Представим, что мы находимся на границе двух сред, так как это имеет место, когда мы купаемся, и на поверхности воды на некотором расстоянии произошел небольшой взрыв или иное возмущение. Если мы внимательны, мы должны признать, что мы об этом событии получим сигнал, а следовательно, и некоторую энергию, как минимум шестью волнами. А именно: две акустические по двум средам, две электромагнитные по двум средам и две поверхностные - акустическую и электромагнитную. Это утверждение ново и достойно осмысления. Те, кто изучал школьную физику с увлечением, вспомнят качественную задачу в о спасающемся из терпящего крушение корабля, который, нырнув в воду и вынырнув, был уверен, что взрыва было два.

Заметим, как разительно отличается от двух акустических волн поверхностная волна по физике процесса. Так же сильно по физике процесса отличается поверхностная электромагнитная волна от свободных волн в однородной среде.

Простые аналогии с гидродинамикой находятся и для волноводного характера единичного провода для цилиндрической поверхностной волны вдоль провода. Дачники и деревенские жители к стоку под краем крыши привязывают либо провод, либо веревку для придания более фокусированного характера стекающей струе дождевой воды и уменьшить ее разбрызгивание. Провод и веревка, хотя и не пропускают воду через себя, смачиваясь, однако, служат как направляющие для потока. Тем самым просто и эффективно обеспечивают сфокусированность потока, каналируя его в бочку. Эта функция аналогична роли однопроводной линии для электромагнитного поля. Несмотря на наивность гидродинамических моделей, они помогают понять физику процесса.

Часто дискуссия о энергопередаче затруднена еще из-за банальной подмены понятий. Волна чего? Что является носителем? Как с ними связана энергия? Передается ли она? А если волна стоячая, переносится ли энергия, и т.д. В год юбилея Михаила Васильевича Ломоносова уместно будет упомянуть, что законы сохранения не содержат суждений о количестве каналов переноса энергии-материи. Их может быть от нуля до скольких угодно. И, например, возможно, что ни один из них не представляет собой металлический провод. Причем, если требуется поиск второго провода, то им является остальная часть Вселенной (на Земле - Земля).

Из методических соображений уместно сказать несколько слов о толковании самого термина энергия. Здесь также поможет аналогия как инструмент понимания.

Энергия аналогична деньгам. Как известно, попытки применить деньги не как инструмент мены и меры, а, для практического применения может привести к досадному фиаско. Т.е. деньги очень бесполезный объект, если пытаться их применить напрямую, как физический объект. Другое дело, их можно обменять на товар или услугу. Так и с энергией. Она не есть наше самое ценное. Мы ее тратим для совершения работы, приближающей нас к цели [2]. Текущая задача человечества заключается в том, чтобы вписаться в поток поступающей от Солнца и рассеивающейся в космос энергии, переставая пользоваться запасами природных ресурсов, а ограничиваясь только запасами буферного характера для надежного энергообеспечения. Поэтому неправильно от однопроводной линии добиваться лишь высокого КПД передачи (еще одно понятие дискурса, нуждающееся в методической очистке) как ее единственного достоинства. Основное ее достоинство в том, чтобы решать проблему последней мили (снова аналогия, теперь с интернетизацией или с проводной телефонизацией).

Для описания функционирования однопроводной линии передачи электроэнергии предложены

1. упомянутая выше много-, например, трехволновая модель (все три компоненты электромагнитные),
2. модель акустического гофрирования, основанная на взаимодействии акустической, электронно-токовой и электромагнитно-полевой волн.

Среди выводов такого рассмотрения: направляющим, может служить цилиндрическая (точнее - осесимметричная с еще одной дискретной симметрией) граница, т.е. металличность провода необязательна. Ток можно пропускать вдоль границы двух сред. Если эффективность контура обеспечивается резонансной настройкой умной сети. Это совершенно новый канал повышения энергоэффективности.

Электрическая сеть всегда ранее строилась как система однонаправленной передачи. Она состояла из одной или нескольких очень мощных генерирующих станций, связанных с потребителями энергии при заданных заранее параметрах. Переход к возобновляемым источникам энергии и появление новых интеллектуальных устройств позволяют, точнее, диктуют иного подхода - строительства самонастраивающейся интеллектуальной сети (Smart Grid). К примеру, сегодня на крышах домов чаще устанавливаются солнечные батареи, а многие домовладельцы все чаще пользуются собственными небольшими генераторами. Это значит, что генераторы и потребители то и дело могут меняться местами в зависимости где и кому в текущий момент нужна энергия, и энергия и информация должны идти в обоих направлениях. Инфраструктура энергообеспечения приобретает новые компоненты. Заметно, что кроме обеспечения энергоэффективности и экономии мы получаем новые требования на систему с точки зрения безопасности, мониторинга и принятия решений (автоматизированных и не автоматизированных).

Таким образом, например, коммунальные службы могли бы превратиться частично в информационные компании и передавать не только электричество, но и данные. Нужна сильно разветвленная, как бы капиллярная, сеть, резко повышающая востребованность однопроводной линии с экономией металла. Автоматизированные системы оценки ситуации энергопотребления и принятия оптимального

решения участниками рынка энергопотребления должны были бы в реальном времени оценивать спрос и адаптировать к нему свое предложение, если они экономически поставлены в такие условия, если их благополучие зависело бы от экономии. При этом они могли бы в реальном времени передавать пользователям ценную информацию, чтобы регулировать спрос, а точнее предлагать им разнообразие тарифных планов. Используемая с однопроводной линией резонансная технология позволяет использовать предсказываемые автором на основе многоволнового описания дополнительные “окна прозрачности” как информационный канал. Так мы делаем еще один шаг к экономике знаний. Данные методические соображения являются аннотацией к дополнительному методическому приложению к отчету технического характера с целью объяснения явления более широкому кругу лиц, таких как, например, инвесторы, а также как вводный материал для студентов, желающих пройти на кафедре ЮНЕСКО ознакомительную практику.

Остановимся на конкретном предложении технической реализации генерации нелинейностей и использования их для передачи с минимальными потерями электромагнитной энергии без проводов. Такой способ встречается как содержание патента RU 2143775. Недостатком способа, защищенного патентом RU 2143775, является основанность на фотоионизации и ударной ионизации, как на основном способе формирования передающего канала, что требует большую мощность для формирования и поддержания канализированных ионных токов проводимости. Тем временем, минимальные значения токов проводимости и есть основное преимущество представленного данным способом передачи электромагнитной энергии, когда носителем энергии является не электрический ток (ни ионный, ни электронный, которые отключаются, если возникли на этапе формирования канала), а электромагнитная волна, которую можно назвать ведомой.

Существует два способа передачи электрической энергии: проводящий канал формируют со стороны источника электрической энергии или со стороны приемника. Еще в одном варианте способа передачи электрической энергии проводящий канал формируют с помощью генератора излучения в импульсивном режиме, но необязательно с синхронной подачей на проводящий канал электрических импульсов от высоковольтного высокочастотного трансформатора Тесла, как это предусмотрено патентом RU 2143775. Возникший при импульсе направляющий канал далее может сохранять свои направляющие свойства в режиме самофокусировки или, другими словами, в режиме самоволноводного распространения (Аскарьян Г. А., Эффект самофокусировки, “УФН”, 1973, т. 111, в. 2, с.249-260). При избыточной интенсивности лазерного луча наступает режим фото- и ударной ионизации с недостатками механизма, описанного патентом RU 2143775.

Эффекты самовоздействия электромагнитной волны обусловлены зависимостью свойств среды (показателя преломления) от интенсивности электромагнитной волны, то есть нелинейностью. Такая зависимость может обеспечиваться разными физическими механизмами - электрострикцией, эффектом Керра (ориентационным и электронным), тепловыми эффектами и т.д. в зависимости свойств среды.

Для направленной передачи электромагнитной энергии на разные расстояния представляет интерес использование ограниченных пучков. В этом случае возникает так называемая нелинейная рефракция, то есть в поле ограниченного пучка

однородная нелинейная среда становится неоднородной; мощный луч электромагнитного излучения, проходя сквозь вещество, изменяет его свойства, и тем самым, например, искривляет путь самого луча. Поэтому в зависимости от того, увеличивается или уменьшается показатель преломления в поле пучка (то есть в зависимости от знака нелинейности), наблюдается, соответственно, концентрация энергии или, наоборот, ее рассеяние.

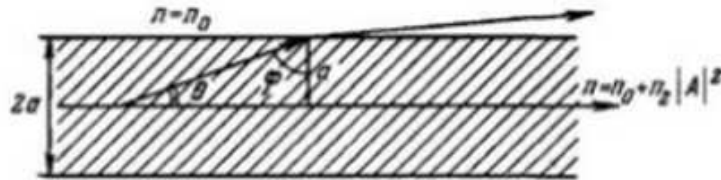


Рис. 1. К выводу условия самофокусировки

Рассмотрим пучок электромагнитного излучения радиуса a , распространяющийся в среде с кубической (керровской) нелинейностью (см. рис. 1):

$$n = n_0 + n_2 |A|^2, \quad \text{или} \quad \varepsilon = \varepsilon_0 + \varepsilon_2 |A|^2,$$

где $\varepsilon_0 = n_0^2$ - линейная часть диэлектрической проницаемости, $\varepsilon_2 = 2n_2\varepsilon_0/n_0$ - коэффициент нелинейности, A - амплитуда световой волны. В общем случае, как известно, коэффициент нелинейности является, вообще говоря, комплексным $\varepsilon_2 = \varepsilon_2' + i\varepsilon_2''$, то есть имеет место нелинейное поглощение.

Пусть для простоты ε_2'' . Самофокусировка наблюдается в том случае, если $\varepsilon_2' > 0$, так что внутри пучка показатель преломления возрастает, а на его границе поэтому, в частности, возможно полное внутреннее отражение лучей. Его критический угол находится по формуле $\theta_0 = \arccos\left(\frac{n_0}{n_0 + n_2 |A|^2}\right)$. Лучи, идущие под углом $\theta > \theta_0$, покидают пучок, а те, для которых $\theta < \theta_0$, отклонятся в сторону оси пучка. Угол расхождения лучей в пучке с плоским фазовым фронтом определяется соотношением $\theta_d = \frac{0,61\lambda_0}{n_0 a}$, где λ_0 - длина волны в вакууме. В зависимости от соотношения углов θ_0 и θ_d возможны следующие физические ситуации:

- если $\theta_0 < \theta_d$, пучок расплывается, но медленнее, чем в линейной среде;
- если $\theta_0 = \theta_d$, дифракционное расплывание вне пределов канала отсутствует и полностью компенсируется нелинейной рефракцией. Формируется своеобразный, можно сказать, нелинейный волновод, по которому пучок распространяется без расходимости. Этот режим можно называть самоканализацией пучка. Критическая мощность излучения, при которой возникает этот эффект, можно выразить как $P_c = \frac{(1,22)^2 \lambda_0^2 c}{256 n_2}$.
- Если $\theta_0 > \theta_d$ (или $P > P_c$), лучи отклоняются к оси пучка - происходит как раз явление самофокусировки. Нелинейная среда действует подобно собирающей линзе, эффективное фокусное расстояние которой можно оценить, если ввести так называемую дифракционную длину $R_d = \frac{k_0 a^2}{2} \approx \frac{a}{\theta_d}$ ($k_0 = 2\pi/\lambda_0$ - волновое

число). Тогда условие $\theta_0 = \theta_d$ эквивалентно $R_d = \frac{a}{2} \sqrt{\frac{n_0}{n_2|A|^2}} = R_{nl}$, где R_{nl} называется нелинейной дифракционной длиной, или длиной самофокусировки. В случае большой мощности ($P \gg P_c$) поведение пучка может быть описано в приближении геометрической оптики. В случае $\varepsilon'_2 < 0$ (уменьшение показателя преломления в поле пучка) имеет место самодефокусировка электромагнитной волны.

Литература

1. Стребков Д.С. Резонансные методы передачи электрической энергии. - 3-е издание, дополненное./ Стребков Д.С., Некрасов А.И. - Москва, 2008. - 352 с.
2. Нурғалиев И.С. Вихри новых рисков требуют стратегий развития./И.С. Нурғалиев // “Экономические стратегии”. 2011.-№6 - С. 56-60.
3. 3. Нурғалиев И.С. Геометрический подход в теории принятия диагностических решений/ И.С.Нурғалиев // Лобачевский и современная геометрия: тезисы докладов Международной научной конференции. - Казань, 1992. - Часть 2. - С.44-45.
4. 4. Стребков Д.С. Физика передачи электроэнергии по одному проводу/ Д.С.Стребков , И.С.Нурғалиев // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: труды 8 международной научно-технической конференции. - Москва: ВИЭСХ, 2012. - Ч.1. - С.136-140.

NONLINEARITIES IN ENERGY

I.S. Nurgaliev

The problem of effective energy transfer is considered. A few approaches are proposed for solving this task.

Keywords: nonlinearities, energy transfer, energy saving.

UDC 5530.12+531.51

EFFECT OF SELF-ACTION IN THE WORMHOLE SPACETIMES

A.A. Popov¹

¹ *apopov@kpfu.ru; Kazan Federal University*

We consider the problem of computing the self-force on a scalar or electric charge at rest in the wormhole spacetimes.

Keywords: effect of self-action, wormhole spacetime.

The motion of a charged point-like object in a fixed background spacetime, is affected by the coupling between the object's own charge, and the field that this charge induces. This coupling results in a self-force acting on the object. At leading order, the object's acceleration due to this self-force (in the absence of non-gravitational external interactions) is proportional to q^2/M , where q and M denotes the object's charge and mass, respectively. This leading order is obtained by treating the particle's field as a linear perturbation over a fixed curved background spacetime.