

ОПИСЫВАЮТ ЛИ УРАВНЕНИЯ МАКСВЕЛЛА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ?

Д.т.н., проф. В.А. Эткин

Вскрыта причина нарушения закона сохранения энергии в теории электромагнитного поля Максвелла и неприменимости его уравнений к этому полю. Показано, что эфирная теория поля излучений лучше соответствует накопившимся экспериментальным данным

Введение. В любом учебнике по электротехнике и радиотехнике утверждается, что радиоволна, свет или жесткое рентгеновское излучение представляют собой электромагнитную волну, в которой электрическое и магнитное поля периодически превращаются друг в друга и тем самым поддерживают её распространение. Для наглядности это обычно изображают в виде «цепочки Брэгга», демонстрационный макет которой приведен на рис.1.

Между тем М. Фарадей еще в 1831 году опытным путем установил, что магнитные и электрические поля синфазны, т.е. векторы напряженности электрического \mathbf{E} и магнитного \mathbf{H} поля изменяются синхронно и одновременно достигают узлов и пучностей этих волн. Этот факт «сопряженности» электрической и магнитной волны обычно трактуется как доказательство их неразделимой электромагнитной природы. Между тем такая трактовка электромагнитного поля (ЭМП) приводит к противоречию с законом сохранения энергии в нем.



Рис.1. Макет, демонстрирующий «цепочку Брэгга»

Последнее становится особенно очевидным, если энергию электромагнитного поля E представить в виде суммы $E = \epsilon_0 \mathbf{E}^2/2 + \mu_0 \mathbf{H}^2/2$, где ϵ_0 и μ_0 – постоянные величины, именуемые диэлектрической и магнитной проницаемостью вакуума. Из этого выражения следует, что энергия, покинувшая излучающее тело и еще не достигшая приемника излучений, не сохраняется в процессе её перехода. Указанное противоречие до сих пор не получило удовлетворительного объяснения. Это побуждает к более внимательному анализу аргументов, послуживших основой для трактовки уравнений Максвелла как уравнений электромагнитного поля.

1. Уравнения Максвелла для вещества. Уравнения Максвелла считаются не выводимыми из каких-либо первичных принципов, и повсеместно трактуются как математическое выражение опытов Фарадея и Ампера, дополненное введением токов смещения [1]. Это делает неясными аргументы, послужившие основой для их трактовки как уравнений электромагнитного поля. В этом отношении весьма важным подспорьем является термодинамический вывод этих уравнений для системы, обладающей электрической и магнитной степенью свободы, исходя из закона сохранения энергии в ней [2,3].

Чтобы не повторять этот вывод целиком, рассмотрим одно из звеньев той самой цепочки Брэгга (рис.1), которая иллюстрирует процесс преобразования электрической энергии в магнитную в электромагнитной системе. Звено состоит из замкнутого электрического контура произвольной длины l_e и переменного (в общем случае) сечения f_e , охватывающего замкнутый же магнитопровод длиной l_m с переменным по длине сечением f_m .

Для такой системы в отсутствие объемной деформации, химических реакций и массобмена справедливо объединенное уравнение 1-го и 2-го начал термодинамики, имеющее вид [4]:

$$dU = TdS + \mathbf{E} \cdot d\mathbf{D} + \mathbf{H} \cdot d\mathbf{B}, \quad (1)$$

где U – внутренняя энергия системы; T, S – абсолютная температура и энтропия»; \mathbf{E} и \mathbf{H} – напряженности соответственно электрического и магнитного \mathbf{H} поля; $\mathbf{D} = \mathbf{D}(\mathbf{E}, \mathbf{P})$, $\mathbf{B} = \mathbf{B}(\mathbf{H}, \mathbf{M})$ – векторы электрической и магнитной индукции как функции соответственно поля \mathbf{E} или \mathbf{H} и векторов поляризации \mathbf{P} и намагничивания \mathbf{M} рассматриваемой системы.

Пусть в такой системе возникает колебательный процесс, связанный с обратимым взаимопревращением электрической энергии в магнитную. Тогда $dU = 0$, $TdS = 0$, и сумма двух последних членов этого соотношения, характеризующих соответственно элементарную обратимую работу поляризации $\mathbf{E} \cdot d\mathbf{D}$ и намагничивания $\mathbf{H} \cdot d\mathbf{B}$, равна нулю:

$$\mathbf{E} \cdot d\mathbf{D} + \mathbf{H} \cdot d\mathbf{B} = 0. \quad (2)$$

Очевидно, что при $\mathbf{E}, \mathbf{H} > 0$ векторы \mathbf{D} и \mathbf{B} изменяются противоположным образом, и имеет место баланс мощностей $N_e = \mathbf{E} \cdot d\mathbf{D}/dt = -N_m = \mathbf{H} \cdot d\mathbf{B}/dt$.

Этому простому соотношению можно придать форму уравнений Максвелла, если ввести понятие потока векторов электрической и магнитной индукции Φ_e и Φ_m , традиционно представив их числом силовых линий, пронизывающих сечения электрического контура f_e и магнитопровода f_m

$$\Phi_e = \int \mathbf{D} \cdot d\mathbf{f}_e; \quad \Phi_m = \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{f}_m, \quad (3)$$

а также понятия электродвижущей и магнитодвижущей силы (ЭДС и МДС), определяемых циркуляцией векторов \mathbf{E} и \mathbf{H} вдоль замкнутого электрического и магнитного контуров:

$$X_e = \int \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l}_e; \quad X_m = \int \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l}_m, \quad (4)$$

где $d\mathbf{f}_e, d\mathbf{f}_m$ – векторные элементы сечения упомянутых контуров; $d\mathbf{l}_e, d\mathbf{l}_m$ – векторные элементы их длины [2,3].

Если теперь перейти на основании теоремы Стокса в выражении силы X_m от криволинейного интеграла по замкнутому магнитному контуру длиной l_m к интегралу от ротора вектора \mathbf{H} по поверхности f_m , натянутой на электрический контур, и от интеграла от вектора \mathbf{E} по замкнутому электрическому контуру длиной l_e в выражении X_e – к интегралу от ротора \mathbf{E} по сечению f_m магнитопровода, то после некоторых преобразований с учетом баланса $N_e = -N_m$ получим [2,3]:

$$\text{rot } \mathbf{H} = d\mathbf{D}/dt, \quad (5)$$

$$\text{rot } \mathbf{E} = -d\mathbf{B}/dt. \quad (6)$$

От общепринятой формы 1-го и 2-го уравнений Максвелла в форме, предложенной Герцем и Хэвисайдом, эти соотношения отличаются лишь тем, что в них, как, впрочем, и в оригинальных уравнениях Максвелла [1, §541], фигурируют не частные, а полные производные по времени от векторов электрической и магнитной индукции как функций радиус-вектора точки поля \mathbf{r} и времени t : $\mathbf{B} = \mathbf{B}(\mathbf{r}, t)$ и $\mathbf{D} = \mathbf{D}(\mathbf{r}, t)$. Эти производные имеют вид

$$d\mathbf{D}/dt = (\partial\mathbf{D}/\partial t) + (\mathbf{v} \cdot \nabla)\mathbf{D}, \quad (7)$$

$$d\mathbf{B}/dt = (\partial\mathbf{B}/\partial t) + (\mathbf{v} \cdot \nabla)\mathbf{B}, \quad (8)$$

т.е. включает в себя наряду с локальной составляющей $(\partial\mathbf{D}/\partial t)$ и $(\partial\mathbf{B}/\partial t)$ дополнительную «конвективную» составляющую $(\mathbf{v} \cdot \nabla)\mathbf{D}$ и $(\mathbf{v} \cdot \nabla)\mathbf{B}$, обусловленную перемещением свобод-

ных и связанных зарядов или магнитных полюсов со скоростью v , т.е. сумму токов проводимости \mathbf{j}_e и смещения \mathbf{j}_e^c в случае электрических зарядов или поток магнитного смещения \mathbf{j}_m^c в случае магнетика. Наличие тока проводимости \mathbf{j}_e в уравнениях Максвелла недвусмысленно указывает на то, что они относятся именно к веществу, а не полю, и описывают реальные, а не обратимые процессы, как это предполагалось равенством (2). Но в таком случае уравнения (2) и (5) должны обратиться в неравенства!

Таким образом, соотношения (2) принимают вид уравнений Максвелла тогда, когда рассматриваются замкнутые электрические и магнитные контура, в которых имеет место незатухающий колебательный процесс превращения электрической энергии в магнитную и наоборот. Однако в уравнениях Максвелла присутствует ток проводимости, что указывает на необратимость процесса и противоречит исходному соотношению (2). Это относится и к антеннам типа диполя Герца, где ток проводимости отсутствует, но часть энергии затрачивается на излучение, так что исходное равенство (2) также нарушается. Таким образом, уравнения Максвелла не свободны от внутренних противоречий [2].

2. Уравнения Максвелла и ЭМП. Поставим теперь вопрос, насколько уравнения (5) и (6) применимы к электромагнитному полю? Известно, что между четырьмя параметрами \mathbf{E} , \mathbf{H} , \mathbf{D} и \mathbf{B} , фигурирующими в уравнениях Максвелла, в эфире или ЭМП существуют 3 уравнения связи: $\mathbf{D} = \epsilon_0 \mathbf{E}$; $\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H}$ и $\mathbf{H} = \mathbf{H}(\mathbf{E})$ ¹⁾. Это означает, что если эфир описывать теми же параметрами, что и рассматриваемая система, то из 4-х параметров независимым для него является лишь один из них. Иными словами, даже если эфир или ЭМП как световая среда обладала бы электрической или магнитной степенью свободы, то только одной из них, так что никакого преобразования в нем электрической энергии в магнитную (после того как она покинула антенну-излучатель) быть не могло. Последнее и объясняет, почему несохранение суммы $E = \epsilon_0 E^2/2 + \mu_0 H^2/2$ не означает нарушения закона сохранения энергии в ЭМП. Просто энергия E , получена полем излучения от антенны излучателя, переносится им и передается затем приемнику излучения. Однако, как подчеркивал Н.Тесла, «было бы большой ошибкой полагать, что излучаемая энергия распространяется в виде электромагнитных волн» (цит. по [7]).

Таким образом, нет никаких оснований распространять уравнения (5) и (6) на электромагнитное поле в «пустоте». Отсутствие у эфира электрической и магнитной степени свободы (не говоря уже о процессах поляризации и намагничивания вакуума) недвусмысленно указывают на то, что в данном случае мы имеем дело не с переносом электромагнитной энергии от одного тела к другому через разделяющую их среду (как бы мы её ни называли – эфиром, электромагнитным полем или физическим вакуумом), а с процессом превращения энергии из одной (электромагнитной) формы в колебания иной, неэлектромагнитной природы, которые и распространяются в этой среде со свойственной ей скоростью c . Здесь весьма уместно привести высказывание самого Фарадея, который так комментировал свои опыты: «Я уже давно придерживался мнения, что различные формы и силы материи настолько близки и родственны, что могут превращаться друг в друга. Это твердое убеждение побудило меня произвести много изысканий с целью открыть связь между светом и электричеством. Однако результаты оказались отрицательными...» [8].

Теперь, когда стало ясно, что уравнения Максвелла действительно отражают процессы преобразования электрической энергии в магнитную в материальных системах, с которыми проводили опыты Фарадей, Ампер и др., и не имеют никакого отношения к свету, следует внимательней рассмотреть вопрос о физической природе поля излучений.

3. О природе поля излучений. Как справедливо заметил Г. Герц, «в действительно понятной и правильной теории следует проводить различие между величинами, характеризующими состояние эфира, и величинами, характеризующими весомую материю» (цит.

¹⁾ Последнее обусловлено синфазностью изменений напряженностей электрического и магнитного полей в электромагнитной волне.

по [5]). То, что ни сам Герц, ни другие последователи Максвелла этого не сделали, можно объяснить лишь инерцией мышления. Подтверждением может служить то обстоятельство, что даже сейчас отрицательные результаты опытов по обнаружению магнитной составляющей ЭМП выдаются за подтверждение их существования [6]. Речь идет об экспериментах группы голландских физиков под руководством М. Буррези из Института атомной и молекулярной физики в Амстердаме. В их установке, основанной на идее Герца, для детектирования частот, более характерных для оптического диапазона, в роли детектора выступало металлическое покрытие на кончике зонда сканирующего микроскопа с прорезью шириной всего 40 нм. Ученые опустили зонд в 20 нм от волновода, где распространялся лазерный луч с длиной волны 1550 нм. В результате довольно сложной методики измерений исследователи пришли к выводу, что им будто бы удалось обнаружить ничтожные признаки вторичной магнитной стоячей волны в детекторе, возбужденной колебаниями эфира в окрестности волновода. Однако, как и в опытах Герца, это было фактически не поле световой волны, а магнитное поле, наведенное ею в детекторе! Из этих экспериментов вовсе не следовало, что эти волны порождают микроскопические токи в эфире, как это предполагал Максвелл [1]. Более того, даже если бы измерения отражали процессы в самом ЭМП, они никак не подтверждали равенство мощностей процессов превращения электрической энергии в магнитную и обратно, как это следовало из уравнений Максвелла! Как видим, стремление выдать желаемое за действительное оказалось сильнее фактов, свидетельствующих об электронейтральности световой волны. Между тем это следует также и из квантовой теории излучения, поскольку фотоны, как известно, не обладают ни зарядом, ни магнитным моментом.

Итак, мы приходим к выводу, что электромагнитного поля как некоей материальной сущности, обладающей электрическими и магнитными свойствами и противопоставляемой веществу, не существует. С позиций энергодинамики, продолжающей классическую линию развития науки и избегающей модельных представлений в основаниях теории, материальна среда, заполняющая всё пространство и взаимодействующая с веществом путем излучения и поглощения волн в неограниченном диапазоне частот. Эта среда, именуемая для краткости эфиром, отличающаяся от вещества («до поры до времени») только отсутствием структуры (сплошностью). Поле же характеризует только распределение какого-либо свойства (параметра) в пространстве и является объектом сугубо математическим. Соответственно и существующее деление материи на вещество и поле несостоятельно.

Пониманию этого обстоятельства способствует нахождение в энергодинамике электрических, магнитных, гравитационных, механических и т.п. сил и их полей именно как следствия неоднородного распределения в пространстве масс, зарядов, токов, импульсов частиц и моментов их вращения. Это подтверждают и сами законы Кулона и Ньютона. Действительно, достаточно положить в этих законах один из двух взаимодействующих зарядов или масс равным нулю, как сила их взаимодействия также обратится в нуль. Следовательно, наличие заряда или массы еще не является причиной возникновения поля. Это особенно очевидно, если этот заряд или массу равномерно распределить по всему пространству. Таким образом, силовое поле является свойством материи, а не её разновидностью.

Сказанное в полной мере относится и к эфиру, если отвлечься от какой-либо из множества его моделей. Как и любая материальная среда, эфир обладает плотностью ρ , колебание которой приводят к появлению в нем поля излучений. В отличие от нестационарных полей температуры, давления, электрических, химических, гравитационных и т.п. скалярных потенциалов, это поле характеризуется неограниченным диапазоном частот колебаний плотности эфира. Эти колебания воспринимаются разными структурными элементами вещества по-разному. Часть этих колебаний с длиной волны от 0,4 до 4 мк, воспринимаемая телами в форме тепла, т.е. рассеиваемого ими, называется *тепловым* излучением. Другая часть, воздействующая на орбитальные электроны атомов тел, вызывает электромагнитные явления в телах и на тех же основаниях может называться электромаг-

нитным. Таким же образом мы различаем радиоволновое, инфракрасное, рентгеновское и т.п. излучение. Следовательно, дело не в различной природе этих излучений, а в различном восприятии телами излучений одной и той же природы, но разной частоты.

Сам по себе факт существования волн света означает, что эфир является внутренне неравновесной (пространственно неоднородной) средой и, как всякая неравновесная среда, обладает упорядоченной энергией¹⁾. Плотность E_B этой упорядоченной энергии определяется единым для волн любой природы выражением [9]:

$$E_B = \rho A_B^2 \omega^2 / 2, \text{ Дж/м}^3 \quad (7)$$

где A_B – амплитуда волны; ω – её круговая частота.

Поскольку эфир обладает непрерывным спектром частот, он представляет собой систему с бесконечным числом степеней свободы. Это оправдывает существующие представления о заключенном в эфире «океане энергии» и обуславливает возможность использования его энергии в различного рода устройствах при нарушении их равновесия с ним [2,10]. Для этого необходимо прежде всего убедиться в силовом характере взаимодействия эфира с веществом. Поскольку амплитуда одиночной волны A_B является функцией пространственной координаты (радиус-вектора точки поля \mathbf{r} и времени t , т.е. $A_B = A_B(\mathbf{r}, t)$, то и энергия волны имеет определенный градиент ($\partial E_B / \partial \mathbf{r}$), характеризующий силу её воздействия на взаимодействующее с ним вещество в её обычном (ньютоновском) понимании:

$$\mathbf{F}_B = - (\partial E_B / \partial \mathbf{r}). \quad (8)$$

Существование силы \mathbf{F}_B для волны любой частоты ω вскрывает единство и множественность сил эфирного происхождения. Эта их множественность и обуславливает избирательное (резонансное) взаимодействие эфира с теми частицами вещества, собственная частота колебаний которых близка к соответствующему участку спектра поля излучений. Такой характер взаимодействия лежит в основе всех наблюдаемых явлений и служит основанием для классификации этих сил по характеру того или иного процесса [2,11].

Энергодинамический подход вскрывает единство всех видов энергообмена между телами через разделяющую их среду (эфир). Чтобы найти движущую силу процесса переноса энергии в эфире (лучистого энергообмена), рассмотрим полную производную от энергии волны $E_B(\mathbf{r}, t)$ по времени t :

$$dE_B(\mathbf{r}, t) / dt = (\mathbf{c}_B \cdot \nabla) E_B + (\partial E_B / \partial t)_r, \text{ Вт} \quad (9)$$

где $\mathbf{c}_B = d\mathbf{r} / dt$ – скорость распространения волны в данной среде.

Первое слагаемое в правой части (9) характеризует процесс переноса энергии эфирной волной. Сопоставляя его с выражением (7), находим, что его можно представить в едином для всех процессов переноса виде, принятом в термодинамике необратимых процессов [2,12]:

$$(\mathbf{c}_B \cdot \nabla) E_B = - A_B \omega \mathbf{c}_B \cdot \mathbf{X}_B = \mathbf{j}_B \cdot \mathbf{X}_B, \quad (10)$$

¹⁾ С позиций энергодинамики, рассматривающей в качестве объекта исследования всю интересующую исследователя совокупность взаимодействующих (взаимно движущихся) тел или частиц (вплоть до изолированных систем), вся его энергия является внутренней (собственной), так что её деление на внешнюю и внутреннюю, принятое в термодинамике и механике, утрачивает смысл, уступая место делению её на упорядоченную (неравновесную) E и неупорядоченную (равновесную) часть U .

где $\mathbf{j}_в = \rho A_в \omega \mathbf{c}_в$ – плотность потока носителя данной формы энергии (монохроматической волны); $\mathbf{X}_в = \mathbf{F}_в / A_в \omega = -\nabla \psi_в$ – удельная движущая (термодинамическая) сила, выраженная в данном случае отрицательным градиентом «потенциала волны» $\psi_в = A_в \omega$, названного нами «амплитудно-частотным» потенциалом [2,12]. Согласно этому выражению, любая (в том числе эфирная) волна распространяется в поглощающей среде в направлении убывания её потенциала, что связано с рассеянием части их энергии в форме тепла в процессе поглощения и последующего «переизлучения» волны. Именно это и происходит в процессе распространения «реликтового» излучения, порождая как ослабление света, так и его «красное смещение», которое в настоящее время целиком приписывается «разбеганию» Вселенной. Таким образом, силовой характер поля излучений также является следствием неоднородного распределения энергии в волне.

Непротиворечивость такого описания показана нами на примере термодинамического обоснования закона излучения Планка [2,13]. Такой вывод свободен от постулатов квантово-механического характера и основан на взаимодействии эфирной волны с электроном атома. При этом вместо противоречащего классической механике постулата о лишенной длительности «перескоке» электрона с одной устойчивой орбиты на другую использовано классическое представление об ускорении и торможении электрона в его орбитальном движении силами поля $\mathbf{F}_в$.

Детерминистский подход позволил дать новое, классическое обоснование фотоэффекта [2,14] и уравнения Шрёдингера [2,15], получить законы формирования спектральных серий [2,16] и найти параметры орбит электронов, что выходит за рамки квантовой механики. С этих позиций становится очевидной тщетность поиска каких-то особых гравитационных волн, а также особого «обменного» взаимодействия. Кроме того, такой подход облегчает построение единой теории поля, утверждая единство природы всех взаимодействий и предлагая при этом единый метод нахождения явно различимых сил [2,17].

Особого внимания заслуживает ответ на вопрос о трении в эфире. С точки зрения энергодинамики трение есть следствие необратимого процесса, связанного с затратой некоторой работы на разрыв взаимосвязей движущегося относительно некоторой среды тела с атомами (молекулами) этой среды и последующим неупорядоченным образованием новых связей с другими атомами или молекулами этой же среды. Этот процесс сопровождается превращением части упорядоченной потенциальной энергии указанной среды в неупорядоченную энергию её теплового движения, т.е. диссипацией энергии. Однако такой процесс отсутствует в средах, не обладающих тепловой формой движения, например, в эфире с присущим ему упорядоченным колебательным движением. Это снимает проблему сопротивления эфира движению сквозь него материальных тел.

Невозможность исключить существование в эфире продольных и поперечных волн с различной поляризацией и скоростью распространения колебаний позволяет объяснить экспериментально обнаруженные факты существования сверхсветовых скоростей [18].

С предложенных позиций становится вполне естественным существование множества «невидимых» излучений, проникающих через экраны, непрозрачные для электромагнитных волн [19]. К сожалению, «лишь теперь мы начинаем сознавать их разнообразие и понимать отрывочность и неполноту наших представлений об окружающем нас в биосфере мире излучений» [20].

Как видим, все это связано с устоявшимся заблуждением относительно принадлежности уравнений Максвелла к уравнениям электромагнитного поля. Преодоление этого заблуждения может открыть новые страницы во многих областях науки и техники, о которых сейчас можно только догадываться.

ЛИТЕРАТУРА

1. Максвелл Дж.К. Трактат об электричестве и магнетизме (*Treatise on Electricity and Magnetism*), London, 1873.
2. Эткин В.А. Энергодинамика (синтез теорий переноса и преобразования энергии).- СПб: Наука, 2008, 409 с.
3. Эткин В.А. Термодинамический вывод уравнений Максвелла. <http://sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7628.html> 7 июля 2004
4. Базаров И.П. Термодинамика. – М.: Высшая школа. Изд. 4-е, 1994.
5. Уиттекер Э. История теории эфира и электричества. – Ижевск, 2001. -513 с.
6. Буррези М. и др. Сетевой ресурс <http://www.itlicorp.com/news/2839/>, 2009.
7. Тесла Н. Лекции и статьи.- М., 2003.
8. Фарадей М. Экспериментальные исследования по электричеству. В 3 томах. - М.: Изд. АН СССР, 1959.
9. Крауфорд Ф. Волны – М.: Наука, 1974 г.
10. Эткин В.А. Конверторы энергии полей излучения. <http://www.alt-tech.org/>. 01.04.2011
11. Эткин В.А. Об избирательном энергообмене. // http://zhurnal.lib.ru/e/etkin_w_a/shtml. 27/06/2012.
12. Эткин В.А., О потенциале и движущей силе лучистого энергообмена. // Вестник Дома Ученых Хайфы, 2010.-Т.2, с.2-6.
13. Эткин В.А. О законе излучения Планка. / Вестник Дома Ученых Хайфы, 2008.-Т.16, с.12-17.
14. Эткин В.А. Классическая интерпретация фотоэффекта. <http://sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/5905.html>. 26 августа 2003
15. Эткин В.А. Термодинамический вывод уравнения Шредингера. http://zhurnal.lib.ru/e/etkin_w_a/.
16. Эткин В.А. Классическое объяснение спектральных серий. <http://sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/6079.html> 16.09.2003
17. Эткин В.А. О единстве и многообразии сил в природе. http://zhurnal.lib.ru/editors/e/etkin_w_a/ 01/08/2009, изменен: 01/08/2009.
18. Лаврентьев ММ., Еганова ИЛ., Луцет М.К., Фоминых С.Ф. //ДАН, 1990, т.314, №2.
19. Эткин В.А. О неэлектромагнитной природе света. (<http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/9816.html>). 3.08.2009
20. Вавилов С.И. Собрание сочинений, т. 2. — М., 1952—1956.