

<https://doi.org/10.5281/zenodo.7395939>
УДК 530.1

К ВОПРОСУ УНИВЕРСАЛЬНОСТИ УРАВНЕНИЙ МАКСВЕЛЛА

А.А. Хазанов,
инженер департамента Энергетических систем
Е.Н. Гончаров,
инженер департамента Энергетических систем
Н.В. Силин,
проф.,
ДВФУ,
г. Владивосток

Аннотация: В статье рассматриваются вопросы, связанные со 150-летней годовщиной издания трактата об электричестве и магнетизме Максвелла. Дана краткая характеристика этого выдающегося труда, приведены мнения современников. Особое внимание уделяется универсальности уравнений Максвелла. Приведены воззрения и взгляды ученых, направленных на расширение физического понимания энергетических процессов, аналогии гравитационного и электромагнитного полей, возможности вывода соотношений специальной теории относительности из уравнений Максвелла. Дана оценка изменения скорости распространения электромагнитной волны в сильном гравитационном поле

Ключевые слова: трактат Максвелла, электромагнитное поле, поле гравитации, уравнения поля, аналогия полей, универсальность уравнений

TO THE QUESTION OF UNIVERSALITY OF MAXWELL'S EQUATIONS

A.A. Khazanov,

Engineer of power department,
FEFU,

Y.N. Goncharov,

Engineer of power department

N.V. Silin,

Professor,

FEFU,

Vladivostok

Annotation: The article deals with issues related to the 150th anniversary of the publication of a treatise on electricity and magnetism by Maxwell. A brief description of this outstanding work and the opinions of contemporaries are given. Particular attention is paid to the universality of Maxwell's equations. The views of scientists aimed at expanding the physical understanding of energy processes, the analogy of gravitational and electromagnetic fields, the possibility of deriving the relations of the special theory of relativity from Maxwell's equations are discussed. An estimate of the change in the speed of propagation of an electromagnetic wave in a strong gravitational field is given.

Keywords: Maxwell's treatise, electromagnetic field, gravitational field, field equations, universality of equations

Введение.

В 2023 году исполняется 150 лет со времени опубликования Джеймсом Клерком Максвеллом (1831-1879), шотландского физика, одного из самых выдающихся теоретиков XIX столетия, монографии «Трактат об электричестве и магнетизме» ((A Treatise on Electricity and Magnetism). Двухтомный труд Максвелла, содержащий сведения о последних достижениях в области физики электричества и магнетизма, трактовку электромагнетизма с единых фарадеевских позиций, уравнения электромагнитного поля по свидетельству современников были представлены в сложной и не очень

привлекательной форме и прохладно приняты такими учеными как Стоксом, Эйри, Томсоном.

Ученые со всего мира посвятили немало научных трудов объяснению основных положений теории поля, физических представлений о двенадцати уравнениях электромагнитного поля, представлению их в форме, доступной широкому кругу специалистов. Генрих Герц и Оливер Хевисайд переписали уравнения электромагнитного поля через векторы электрического и магнитного поля, получив в итоге четыре уравнения в современной форме, справедливых для любых сред, постоянных и переменных во времени полей, а именно:

в интегральной форме

$$\oint_L \vec{H}_{ЭП} d\vec{l} = \int_S \left(\gamma_{ЭЛ} \vec{E}_{ЭЛ} + \frac{\partial \vec{D}_{ЭЛ}}{\partial t} + \rho_{ЭЛ} \vec{\nu} \right) d\vec{S}; \quad \oint_L \vec{E}_{ЭЛ} d\vec{l} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}_{ЭЛ}}{\partial t} d\vec{S}; \quad \oint_S \vec{D}_{ЭЛ} d\vec{S} = q; \quad \oint_S \vec{B}_{ЭЛ} d\vec{S} = 0;$$

в дифференциальной форме

$$\text{rot } \vec{H}_{ЭЛ} = \gamma_{ЭЛ} \vec{E}_{ЭЛ} + \frac{\partial \vec{D}_{ЭЛ}}{\partial t} + \rho_{ЭЛ} \vec{\nu};$$

$$\text{rot } \vec{E}_{ЭЛ} = - \frac{\partial \vec{B}_{ЭЛ}}{\partial t}; \quad \text{div } \vec{D}_{ЭЛ} = \rho_{ЭЛ}; \quad \text{div } \vec{B}_{ЭЛ} = 0;$$

уравнения связи

$$\vec{D}_{ЭЛ} = \epsilon_{ЭЛ} \vec{E}_{ЭЛ}; \quad \vec{B}_{ЭЛ} = \mu_{ЭЛ} \vec{H}_{ЭЛ}; \quad \vec{J}_{ЭЛ} = \gamma_{ЭЛ} \vec{E}_{ЭЛ};$$

Хевисайд [1] впервые отметил симметрию уравнений Максвелла. Непосредственным следствием этих уравнений стало предсказание существования электромагнитных волн, экспериментально открытых Герцем в 1887-1888 годах. Кроме того, Хевисайд предлагал описать гравитационное поле системой уравнений, похожих на уравнения Максвелла. Работы, посвященные математической аналогии дифференциальных уравнений в области электродинамики, гидродинамики, термодинамики и т.д. направлены на разработку единой математической модели полей. За основу современные ученые предлагают взять уравнения Максвелла.

Целью данной работы является расширение у читателя физического понимания энергетических процессов в электромагнитном и гравитационном полях, уяснения

универсальности уравнений Максвелла путем изложения воззрений и взглядов российских ученых.

Электромагнитное поле как вид материи.

Русские ученые внесли весомый вклад в разъяснение учения о магнитных и электрических явлениях, основанного на фарадеевско-максвелловской точке зрения, экспериментального подтверждения теоретических положений.

Академик Владимир Федорович Миткевич в своем докладе [2], представленном в торжественном годовом собрании Академии Наук СССР 2 февраля 1933 г., – «Основные воззрения современной физики» большое внимание уделил объяснению физической реальности, участвующей в каком-либо физическом явлении в качестве носителя свойств, обнаруживаемых в этом явлении. Например, материальная точка, являющаяся объектом изучения в области теоретической механики, есть не что иное, как математическая абстракция, совершенно необходимая при анализе законов движения, но ни в коем случае не могущая быть рассматриваемой в качестве некоторого реального объекта физического эксперимента, так как объем, занимаемый материальной точкою равен нулю. По мнению В.Ф. Миткевича всякая физическая реальность в целом или сколь угодно малая ее часть обязательно занимает некоторый объем нашего трехмерного пространства. Материальная точка в виде центра тяжести не есть такая реальность, с которою мы можем непосредственно иметь дело в каком-либо физическом эксперименте. Действительно, мы не можем, например, подвесить кольцо за центр тяжести. В.Ф. Миткевич пишет: «Я считаю точку зрения фарадеевско-максвелловскую единственно приемлемой в самом широком смысле этого слова; точку же зрения действия на расстоянии рассматриваю как допустимую только в области формально-математических построений».

По определению, приведенному в учебнике по теоретическим основам электротехники [3] электромагнитное поле есть вид материи, определяющийся во всех точках двумя векторными величинами, которые характеризуют две его стороны, «электрическое поле» и «магнитное поле», оказывающий силовое воздействие на заряженные частицы, зависящие от их скорости и значения их заряда. В учебнике отмечается, что мы не можем указать точной границы между частицей

с электрическим зарядом и ее электромагнитным полем. Предполагается, что частица и ее электрический заряд сосредоточены в весьма малой области пространства, для которой характерна та форма движения материи, с которой связывается понятие об электрически заряженной частице. В пространстве, окружающем эту область существует связанное с обладающей зарядом частицей электромагнитное поле. К области пространства, в котором существует электромагнитное поле, но в которой отсутствуют известные нам частицы материи применяется термин «пустота». Этот термин относится к понятию о пространстве как форме существования материи в виде поля (электромагнитного и гравитационного), но не происходящим в этом пространстве физическим процессам. Существенно отметить, что обладающую зарядом элементарную частицу вещества нельзя мыслить без электромагнитного поля, в то время как электромагнитное поле может существовать в свободном состоянии, отделенное от частицы. Экспериментально доказано, что электромагнитное поле в свободном состоянии распространяется в пустоте со скоростью света, причем при наличии сильных гравитационных полей эта скорость уменьшается.

Как уже отмечалось физические представления о природе электромагнитных явлений базируются прежде всего на взглядах М. Фарадея и Д.К. Максвелла и прежде всего на одном из фундаментальных законов природы – законе электромагнитной индукции.

В 2008 году в издательстве ООО «Комтех-Принт» вышла книга Камо Сероповича Демирчяна «Движущийся заряд в четырехмерном пространстве по Максвеллу и Эйнштейну» [4]. В этой работе рассматривается сущность теории электромагнитного поля Максвелла и физические представления М. Фарадея Д.К. Максвелла в свете современных взглядов на строение материи и способов учета конечной скорости распространения электромагнитных волн в Пространстве. Показано, что классическая электродинамика Максвелла при учете зависимости эквивалентного заряда от скорости дает возможность на разумной, физически понятной основе разъяснить положения специальной теории относительности (СТО).

Известно, что установление взаимосвязи вещественной массы m с энергией W через скорость света стало наиболее важным

результатом СТО. Вывод этого закона получен в предположении роста значения электрического потенциала движущегося заряда вследствие роста напряженности электрического поля до бесконечности. По мнению К.С. Демирчяна эти положения не соответствуют физической картине явлений и противоречат теории электромагнитного поля Максвелла. В чем же заключается истинный физический смысл закона $W = mc^2$. Для объяснения этих непростых вопросов в книге К.С. Демирчяна приведен вывод этой формулы не прибегая к сложным хитросплетениям теории относительности, а исходя из законов механики Ньютона и электродинамики движущегося заряда по Максвеллу при учете свойств четырехмерных систем координат.

Еще одно следствие расширенного толкования закона $W_0 = m_0c^2$ и его распространения на массу любой природы в виде $W = mc^2$ будет обоснованным в предложении, что электромагнитной является сама природа вещественной массы. Исходя из этого, можно обоснованно утверждать, что любое неподвижное тело с вещественной массой m_0 также обладает энергией покоя $W_0 = m_0c^2$. Если такое тело оказывается заряженным и ускоряется при помощи стороннего электрического поля, то оно приобретает от стороннего источника энергии еще и кинетическую энергию.

Гравитационные и электромагнитные взаимодействия.

Обобщенные неоднородные векторные волновые уравнения для векторов напряженности электрического и магнитного полей известны и имеют следующий вид [5].

$$\begin{aligned} \nabla^2 \vec{H}_{Эл} &= \gamma_{Эл} \mu_{Эл} \frac{\partial \vec{H}_{Эл}}{\partial t} + \varepsilon_{Эл} \mu_{Эл} \frac{\partial \vec{H}_{Эл}}{\partial t} - rot(\rho_{Эл} \vec{v}); \nabla^2 \vec{E}_{Эл} \\ &= \gamma_{Эл} \mu_{Эл} \frac{\partial \vec{E}_{Эл}}{\partial t} + \varepsilon_{Эл} \mu_{Эл} \frac{\partial^2 \vec{E}_{Эл}}{\partial t^2} + \mu_{Эл} \frac{\partial}{\partial t} rot(\rho_{Эл} \vec{v}) \\ &+ grad \frac{\rho}{\varepsilon_{Эл}}; \end{aligned}$$

Для сравнения и определения связи гравитационного взаимодействия с электромагнитным взаимодействием используют законы и уравнения механики сплошной среды. Механика сплошной среды является основой для развития термодинамики, теории электромагнетизма, гидродинамики, газовой динамики и многих других разделов механики и физики [6]. Она посвящена движению

газообразных, жидких и твердых деформируемых тел, которые заполняют пространство непрерывно, сплошным образом, и расстояния между точками которых во время движения меняются.

Исходя из подобия законов тяготения и Кулона, сохранения массы и заряда, а также уравнений непрерывности ученые приходят к выводам о наличии аналогии гравитационного поля ускорений с электрическим полем. Кроме электрического поля движущиеся или изменяющиеся во времени заряды создают вокруг себя магнитное поле. Можно предположить, что при движении или изменении во времени масс вокруг них образуется второе гравитационное поле, напряженность которого характеризует импульсное поле. Импульс тела – величина векторная. Величина вектора напряженности импульсного гравитационного поля определяет значение импульса, действующего на единицу поверхности, то есть на один квадратный метр. Импульсное поле совместно с полем ускорений образуют единое гравитационное поле. С введением второго векторного поля в гравитации проявилась полная аналогия между электрическим полем и полем ускорений, между магнитным полем и импульсным полем, то есть аналогия между гравитацией и электромагнетизмом. Гравитационное поле подчиняется законам, подобным законам электромагнитного поля (то есть уравнениям Максвелла), а также распространяется в виде поперечных волн со скоростью света. Уравнения, аналогичные уравнениям Максвелла, для гравитационного поля записываются в следующем виде [7, 8].

Интегральная форма

$$\oint_L \vec{H}_{ГР} d\vec{l} = \int_S \left(\gamma_{ЭЛ} \vec{E}_{ГР} + \frac{\partial \vec{D}_{ГР}}{\partial t} - \rho_{ГР} \vec{v} \right) d\vec{S}; \quad \oint_L \vec{E}_{ГР} d\vec{l} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}_{ГР}}{\partial t} d\vec{S};$$

$$\oint_S \vec{D}_{ГР} d\vec{S} = -q_{ГР}; \quad \oint_S \vec{B}_{ГР} d\vec{S} = 0;$$

Дифференциальная форма

$$rot \vec{H}_{ГР} = \gamma_{ГР} \vec{E}_{ГР} + \frac{d\vec{D}_{ГР}}{dt} - \rho_{ГР} \vec{v}; \quad rot \vec{E}_{ГР} = - \frac{d\vec{B}_{ГР}}{dt}; \quad div \vec{D}_{ГР} = -\rho_{ГР}; \quad div \vec{B}_{ГР} = 0;$$

К этим уравнениям добавляются уравнения связи:

$$\vec{D}_{ГР} = \epsilon_{ГР} \vec{E}_{ГР}; \quad \vec{B}_{ГР} = \mu_{ГР} \vec{H}_{ГР}; \quad \vec{J}_{ГР} = \gamma_{ГР} \vec{E}_{ГР};$$

Исходя из известных значений постоянной тяготения Кавендиша и скорости распространения гравитационных волн были определены гравитационные проницаемости:

$$\varepsilon_{ГР} = 1,19 \cdot 10^9 \frac{\text{кг} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^3}; \mu_{ГР} = 9,35 \cdot 10^{-2} \frac{\text{м}}{\text{кг}};$$

Известно, что при наличии весьма сильных гравитационных полей скорость распространения электромагнитного поля меньше величины c . Исходя из предположения, что электрические и гравитационные токи создают вокруг себя вихри магнитного и импульсного полей, а переменные во времени потоки магнитного и импульсного полей – вихри электрического поля и поля ускорений соответственно, запишем уравнения Максвелла, отображающие связи между векторами поля в пространстве:

$$\begin{aligned} \text{rot } \vec{H}_{ЭЛ} &= \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}_{ЭЛ}}{\partial t} + \varepsilon_{ГР} \frac{\partial \vec{E}_{ЭЛ}}{\partial t}; \text{rot } \vec{E}_{ЭЛ} = -\mu_0 \frac{\partial \vec{H}_{ЭЛ}}{\partial t}; \text{rot } \vec{E}_{ГР} \\ &= -\mu_0 \frac{\partial \vec{H}_{ЭЛ}}{\partial t}; \end{aligned}$$

Применим операцию ротации и выполнив преобразования, получим неоднородные дифференциальные уравнения второго порядка:

$$\begin{aligned} \Delta \vec{H}_{ЭЛ} &= (\varepsilon_0 \mu_0 + \varepsilon_{ГР} \mu_{ГР}) \frac{\partial^2 \vec{H}_{ЭЛ}}{\partial t^2}; \Delta \vec{E}_{ЭЛ} = (\varepsilon_0 \mu_0 + \varepsilon_{ГР} \mu_{ГР}) \frac{\partial^2 \vec{E}_{ЭЛ}}{\partial t^2}; \\ \Delta \vec{E}_{ГР} &= (\varepsilon_0 \mu_0 + \varepsilon_{ГР} \mu_{ГР}) \frac{\partial^2 \vec{E}_{ЭЛ}}{\partial t^2}; \end{aligned}$$

Скорость распространения электромагнитной волны:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0 + \varepsilon_{ГР} \mu_{ГР}}}$$

Подставив в вышеприведенную формулу значения электрических и гравитационных проницаемостей, получим значение $c = 2,12 \cdot 10^8$ м/с. Таким образом, в области сильных гравитационных полей наблюдается существенное уменьшение скорости распространения волн.

Список литературы

- [1] Хэвисайд О. Электромагнитная теория. / О. Хэвисайд – Нью-Йорк, 1883. 165 с.
- [2] Миткевич В.Ф. Физические основы электротехники. / В.Ф. Миткевич – М.: КУБУЧ, 1933. 459 с.
- [3] Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники. / К.С. Демирчян, Л.Р. Нейман, Н.В. Коровкин, В.Л. Чечурин – СПб.: Питер, 2003. 576 с.
- [4] Демирчян К.С. Движущийся заряд в четырехмерном пространстве по Максвеллу и Эйнштейну. / К.С. Демирчян – М.: Комтех-Принт, 2008. 144 с.
- [5] Ландау Л.Д. Теория поля. / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц – М.: Наука, 1967. 224 с.
- [6] Седов Л.И. Механика сплошной среды. / Л.И. Седов – М.: Наука, 1976. 356 с.
- [7] Федоров В.В. Единая теория поля. / В.В. Федоров – СПб.: ЭЛМОР, 1993. 124 с.
- [8] Федоров В.В. Единая теория поля. / В.В. Федоров // Изд.5-е, доп. – СПб.: Издательско-полиграфический центр СПб ГЭТУ, 2001. 136 с.

Bibliography (Transliterated)

- [1] Heaviside O. Electromagnetic theory. / O. Heaviside – New York, 1883. 165 p.
- [2] Mitkevich V.F. Physical foundations of electrical engineering. / V.F. Mitkevich – M.: KUBUCH, 1933. 459 p.
- [3] Demirchyan K.S. Theoretical foundations of electrical engineering. / K.S. Demirchyan, L.R. Neiman, N.V. Korovkin, V.L. Chechurin – St. Petersburg: Peter, 2003. 576 p.
- [4] Demirchyan K.S. A moving charge in four-dimensional space according to Maxwell and Einstein. / K.S. Demirchyan – M.: Komtekh-Print, 2008. 144 p.
- [5] Landau L.D. Field theory. / L.D. Landau, E.M. Lifshits – M.: Nauka, 1967. 224 p.

[6] Sedov L.I. Continuum mechanics. / L.I. Sedov – М.: Nauka, 1976. 356 p.

[7] Fedorov V.V. Unified field theory. / V.V. Fedorov – St. Petersburg: ELMOR, 1993. 124 p.

[8] Fedorov V.V. Unified field theory. / V.V. Fedorov // 5th edition, add. – St. Petersburg: Publishing and Printing Center of St. Petersburg GETU, 2001. 136 p.

© *А.А. Хазанов, Е.Н. Гончаров, Н.В. Силин, 2022*

Поступила в редакцию 14.11.2022

Принята к публикации 20.11.2022

Для цитирования:

Хазанов А.А., Гончаров Е.Н., Силин Н.В. К вопросу универсальности уравнений Максвелла // Инновационные научные исследования. 2022. № 11-3(23). С. 61-70. URL: <https://ip-journal.ru/>