

Электродинамика полей

... К истоку возвращаясь своему ...

Бекбудов Р.С.

Предложена концепция электродинамики полей на основе свойств пространства как материальной среды. Выполнен анализ основных формул, касающихся структуры, свойств и пространственной геометрии полей. Представлены расширенная трактовка вектора Умова-Пойнтинга и интерпретация уравнений Максвелла как процесса трансформации структур физических полей. Приведена обобщенная форма уравнений Максвелла, которая описывает весь спектр электродинамических полей. Дано объяснение таким релятивистским эффектам, как сплющивание формы движущегося электрического поля и красное/синее смещение, без привлечения аппарата СТО. Отличие полученных результатов от общепринятых даёт повод для переосмысления некоторых устоявшихся воззрений. Материал ориентирован на студентов и преподавателей вузов, интересы которых выходят за рамки традиционного изложения курса электродинамики.

Введение

В рамках данной статьи рассматриваются вектор Умова-Пойнтинга и уравнения Максвелла, которые составляют ядро электродинамики – электродинамику полей. Основой рассматриваемых полей, каковыми являются электрическое, магнитное и электромагнитное, является электрический заряд. На сегодня заряд трактуется как физическая величина [1], хотя сама физическая величина истолковывается как свойство, характеристика, поэтому сводить заряд к свойству не совсем справедливо. Здесь налицо смешение таких понятий как *сущность и явление* [2], во избежание чего заряд всё же следует воспринимать как сущность – фундаментальное свойство природы, а его свойства или характеристики как явление.

Еще в конце XIX века Мах высказал мнение, что заряд — это не физическая реальность, а удобное понятие. Спустя уже десятилетия Фейнман подчёркивал: «Мы не знаем, что такое заряд — мы знаем, как он работает».

Аналогичная ситуация и с полем: поле представляется некоторой динамической физической величиной. С другой стороны, правда на правах иллюстрации, предлагается представлять поле как возмущение (отклонение от равновесия, движение) некоторой гипотетической или просто воображаемой сплошной среды, заполняющей всё пространство. Исторически такая среда называлась эфиром, однако впоследствии термин

практически полностью вышел из употребления, а его подразумеваемая физически содержательная часть слилась с самим понятием поля [3,4].

Основной причиной, по которой физическое понятие эфира было отвергнуто, стал тот факт, что после разработки специальной теории относительности это понятие оказалось излишним. Позже, после создания общей теории относительности (ОТО), её автор предложил возобновить применение термина, изменив его смысл, а именно — понимать под эфиром физическое пространство ОТО [5]

Эйнштейновский вакуум впоследствии вынужден был уступить место физическому вакууму, который используется в квантовой физике [6]. Дальнейшее развитие этого понятия привело к появлению его многочисленных моделей, что свидетельствует лишь об отсутствии единого подхода в этом вопросе [7].

В настоящее время устоявшегося понятия вакуума, к сожалению, нет, что делает затруднительным изложение материала по взаимодействию полей в рамках классической физики. Это приводит к необходимости введения понятия, которое отражает свойства той материальной среды, где происходят взаимодействия полей.

Принимая всё это во внимание, становится понятным, что без философского аспекта, который опирается на такое фундаментальное понятие как материя, здесь не обойтись. Весь окружающий нас мир представляет собой движущуюся Материю в её бесконечно разнообразных формах и проявлениях, со всеми её свойствами, связями и отношениями. "Материя (лат. *materia* - вещество), "...философская категория для обозначения объективной реальности, которая дана человеку в ощущениях его, которая копируется, фотографируется, отображается нашими ощущениями, существуя независимо от них" [8].

Если заряд сущность, то формируемые им поля — это явления, которые регистрируются (отображаются) с помощью приборов. Поля возникают в пространстве, в среде, где проявляется сущность заряда, что позволяет рассматривать пространство как материальную среду. Именно пространство и является той материальной средой, которая рассматривается в данной работе.

Исходя из вышеизложенного, с целью обоснования предлагаемого подхода к вводится *положение о пространстве*:

Положение.

1. *Пространство* представляет собой *универсальную материальную среду*. Пространство однородно, изотропно и находится в состоянии динамического покоя на энергетическом минимуме, т. е. *не возмущено*.
2. *Возмущение* — это превышение энергетического минимума пространства, которое проявляется в виде *физического поля*. Тип возмущения диктуется его природой и характером изменения: статический или динамический.

3. *Поле* — это реакция пространства на возмущение в его ограниченной области, где пространство переходит в возмущенное состояние. Природа поля определяется свойствами возмущения. Область распространения поля зависит не только от величины возмущения, но и свойств пространства, которые проявляется через его постоянные: электрическая ε_0 , магнитная μ_0 , электромагнитная $\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}$ и гравитационная γ_0 .
4. В зависимости от природы и характера возмущения пространство способно породить три вида полей различной структуры: градиентное, вихревое и гибридное. Последнее поле представляет собой комбинацию первых двух. Все эти поля рассматриваются как *формы отображения* пространством *энергии возмущения*, которая заключена в поле.
5. *Перемещение* статического возмущения в пространстве — это нарушение его динамического покоя, что ведет к возникновению вторичного поля, которое уже имеет динамическую природу. При этом в соответствии с законом сохранения энергии происходит преобразование части энергии первичного поля в энергию вторичного поля, способствующее устранению причины нарушения состояния динамического покоя.
6. *Динамическое* возмущение переводит пространство в возбужденное состояние, что ведет к появлению *третичного* поля. Третичное поле имеет гибридную структуру, причем его природа подобна природе первичного поля. Данное поле оказывает компенсирующее воздействие на первичное поле, тем самым способствуя сохранению состояния пространства на энергетическом минимуме.
7. Изотропность пространства как *симметрия распространения энергии* физических полей по направлениям обладает *инвариантностью*. Инвариантность проявляется в сохранении изотропности как в статике, так и в динамике. Механизм обеспечения инвариантности состоит либо в перераспределении энергии поля между его компонентами, либо в создании компенсирующего воздействия, устраняющего возникающую асимметрию полей как анизотропию пространства.

Данное положение определяет свойства пространства, которые в отличие от других определений делают его *активной средой*. Именно это обстоятельство даёт возможность для полного раскрытия взаимодействия полей с учетом его свойств.

1. Градиентное поле

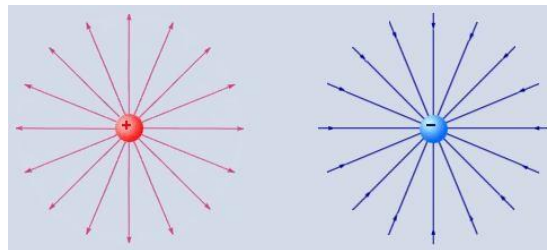
Согласно Положению, возмущения носят энергетический характер, что проявляется в пространстве в виде поля. Для описания такого объекта как физическое поле необходимо наличие его математической модели. В отличие от физики, в математике понятие поля четко определено в рамках векторного анализа, и его использование предоставляет достаточные возможности для описания существующих физических полей.

Положение определяет три типа полей, которые относятся к векторным полям, где в каждой точке пространства задан вектор, направленный по касательной к силовым линиям поля.

Силловые линии позволяют не только наглядно представить распространение поля в пространстве [9], но и определяют области возможного силового взаимодействия полей.

Физическое поле электрического заряда представляет собой *статическое поле*, что предполагает неизменность его энергетического уровня во времени и пространстве. С точки зрения математики для описания такого поля подходит *градиентное поле* \mathbf{g} .

Почему именно градиентное поле? По определению оно является потенциальным полем, характерной особенностью которого является *независимость от времени*. В пространстве поле заряда имеет форму сферы, условное изображение которого представлено на рис.1 в виде расходящихся лучей



<https://students-library.com/files/113/2925/image016.jpg>

Рис.1. Изображения электрического поля заряда

С целью количественного описания пространственных полей общепринято использование таких характеристик как *поток*, *потенциал*, *напряженность*. Анализ этих характеристик удобнее провести на примере электрического поля, как наиболее известного представителя *градиентного* поля. Первичной характеристикой поля можно считать **поток**, который является проявлением сущности заряда в пространстве через электрическую постоянную

$$\Phi_E = \frac{q}{\epsilon_0} \quad [ВМ] \quad (1)$$

Формула (1) представляет собой результат теоремы Гаусса [10], где к понятию потока поля Φ_E приходят через вектор напряженности \mathbf{E} поля точечного заряда q .

По мнению автора, такой подход недостаточно логичен; вернее будет обратный путь: от потока Φ_E – как первичному проявлению сущности возмущения – следует идти к производным характеристикам поля.

Понятие потока поля Φ_E заряда неразрывно связано с электрической постоянной ϵ_0 пространства, определяющей диэлектрическую проницаемость пространства – его способность “пропускать” электрическое поле. *Заряд* проявляет себя в пространстве исключительно через эту константу, т. е. в форме потока. Поскольку регистрации поддается именно, он выступает как явление, тогда как заряд – как его сущность [2]. Поэтому поток Φ_E следует рассматривать как *возмущение пространства*, а формулу (1) – как исходное описание этого возмущения.

Таким образом, поле берет начало с потока, от которого и следует переходить к характеристикам поля.

Так как электрическое поле в пространстве обладает сферической формой, представляется логичным переход к характеристикам, отражающим его геометрические свойства [10].

В этом случае приходим к следующему:

1. линейная плотность потока поля

$$\frac{d\Phi_E}{d\ell} \quad [B] \quad (2)$$

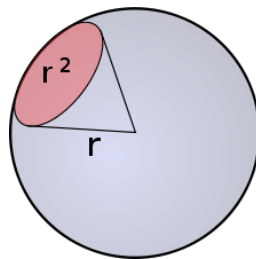
2. поверхностная плотность потока поля

$$\frac{d\Phi_E}{dS} \quad [B/м] \quad (3)$$

3. объемная плотность потока поля

$$\frac{d\Phi_E}{dV} \quad [B/м^2] \quad (4)$$

В силу изотропности пространства поток от точечного источника поля распространяется равномерно по всем направлениям, образуя поле шаровидной формы. В продолжение развития формул (2) - (4) имеет смысл рассмотреть удельный поток $d\Phi_E$ как поток в телесном угле $d\Omega=1$, т.е. $d\Phi_E = \Phi_E / 4\pi$. По определению, телесный угол в 1 стерадиан «вырезает» из сферы радиуса r поверхность площадью $dS = d\Omega \cdot r^2$ (рис.2)



<https://ru.wikipedia.org/wiki/Стерadian>

Рис.2 Стерadian

Объем пространства, заключенный в этом угле, составит $dV = d\Omega \cdot r^3 / 3$, тогда как выражение для дуги определяется соотношением $dl = d\Omega \cdot r$. Принимая во внимание изложенное и учитывая (1), приходим к следующему

$$\frac{d\Phi_E}{dl} = \frac{q}{\varepsilon_0 4\pi r} = \varphi \quad (5)$$

$$\frac{d\Phi_E}{dS} = \frac{q}{\varepsilon_0 4\pi r^2} = E \quad (6)$$

$$\frac{d\Phi_E}{dV} = \frac{q}{\varepsilon_0 4\pi r^3 / 3} = \rho_{\Phi_E} \quad (7)$$

где φ , E , ρ_{Φ_E} - общепринятые характеристики поля как потенциал, напряженность и плотность потока.

Формулы (5) – (7) определяют пространственные параметры *потока*, и именно они являются предметом рассмотрения.

Важно отметить, что эти формулы не подпадают под предельные переходы, так как величины dl, dS, dV не являются бесконечно малыми.

Все *скалярные* величины (5) - (7) получены на основе геометрии поля без привлечения таких понятий как *работа, сила, пробный заряд и бесконечность*. Это позволяет рассматривать потенциал и напряженность поля как характеристики, обусловленные исключительно пространственной геометрией поля. Подобное сокращения числа сущностей согласуется с принципом «Бритва Оккама», что делает предложенный подход заслуживающим внимания.

Потенциал φ представляет собой скалярное поле, поэтому применение оператора градиента ∇ вполне оправдано

$$\nabla \varphi = \frac{\partial \varphi}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial \varphi}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial \varphi}{\partial z} \vec{k} \quad (8)$$

Параметр « r » в формулах (5) – (7) следует рассматривать как модуль радиус-вектора \vec{r}

$$|\vec{r}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (9)$$

где x, y, z - проекции радиус-вектора \vec{r} на соответствующие оси.

Для получения частных производных в (8) имеет смысл воспользоваться правилом взятия производной от сложной функции

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x} = \frac{\partial \varphi}{\partial r} \frac{\partial r}{\partial x} \quad (10)$$

Подстановка (10) в (8) и взятие, к примеру, одной из частных производных с учетом (5) и (6), даёт

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x} = -\frac{q}{\varepsilon_0 4\pi r^2} \frac{x}{r} = -E \frac{x}{r} \quad (11)$$

По аналогии могут быть получены и остальные частные производные, подстановка которых в (8) с учетом (9) приводит к следующему

$$\nabla \varphi = -E \left\{ \frac{x}{r} \vec{i} + \frac{y}{r} \vec{j} + \frac{z}{r} \vec{k} \right\} = -E \cdot \{ \vec{r}_0 \} = -\vec{E} \quad (12)$$

где \vec{r}_0 - единичный радиус-вектор.

Формула (12) устанавливает связь между потенциалом φ и напряженностью \mathbf{E} поля.

Здесь важно отметить роль знака "-" в (12), который свидетельствует о том, что направления векторов \vec{E} и $\nabla \varphi$ противоположны.

С учетом (12) возможна следующая запись вектора \vec{E}

$$\vec{E} = E \frac{x}{r} \vec{i} + E \frac{y}{r} \vec{j} + E \frac{z}{r} \vec{k} = E_x \vec{i} + E_y \vec{j} + E_z \vec{k} \quad (13)$$

Вектор \vec{E} относится к силовым характеристикам градиентного поля, поскольку он дает представление о его силовых линиях. Но для полноты картины поля его недостаточно, поэтому вводится такая характеристика поля как дивергенция. Дивергенция служит для определения пространственной расходимости поля векторного поля, величину которой находят с помощью оператора ∇ . Дивергенция показывает, насколько расходится (сходится) векторное поле в данной точке.

Для векторного поля \mathbf{E} в качестве расходимости рассматривается поведение его силовых линий в направлении распространения поля.

Согласно формальному определению, дивергенция векторного поля \mathbf{E} представима в виде

$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} + \frac{\partial E_z}{\partial z} \quad (14)$$

С учетом (13) выражение для первого члена в (14) принимает вид

$$\frac{\partial E_x}{\partial x} = \frac{E}{r} \quad (15)$$

По аналогии с (15) могут быть получены остальные члены (14), что в итоге даёт

$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{3E}{r} = \rho_{\Phi_E} \quad (16)$$

Формула (16) позволяет перейти к общепринятому выражению, устанавливающему связь между интегральной характеристикой (дивергенция напряжённости поля) и локальной объемной плотностью потока. По сути, здесь отражена взаимосвязь между возмущением в виде потока и реакцией пространства на это возмущение.

Автор полагает, что представление $\nabla \cdot \vec{E} = \frac{3E}{r}$ в (16) является более корректным, поскольку в данном случае дивергенция выступает как функция, в то время как выражение ρ_{Φ_E} определяет величину, локализованную в пространстве.

С другой стороны, учет (12) позволяет представить дивергенцию векторного поля \mathbf{E} в виде

$$\nabla \cdot \vec{E} = \nabla \cdot (-\nabla \varphi) = -\nabla^2 \varphi \quad (17)$$

Выражение $\nabla^2 = \nabla \cdot \nabla$ в (17) представляет собой оператор Лапласа (скалярный лапласиан)

$$\nabla^2 \varphi = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} \quad (18)$$

Применительно к векторному полю \mathbf{E} , выражение лапласиана может быть получено в результате непосредственного взятия частных производных в (18). В частности, для первого члена в (18) выражение второй частной производной с учетом (11) имеет вид

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x} \right) = -\frac{E}{r} \quad (19)$$

Аналогичное получение вторых частных производных из (18) в итоге приводит к следующему

$$\nabla^2 \varphi = -\frac{3E}{r} = -\rho_{\Phi_E} \quad (20)$$

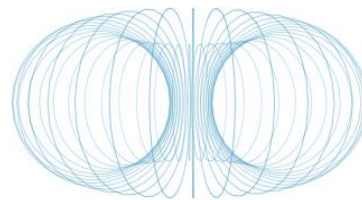
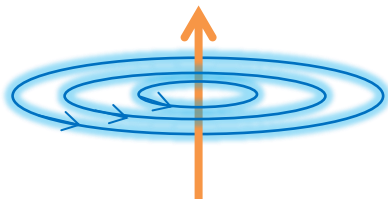
Значение оператора Лапласа в точке интерпретируется как объемная плотность истока (стока) поля, поэтому в данном контексте корректнее оперировать числовым значением, как это и представлено в (20). При положительном потоке поля Φ_E значение лапласиана отрицательно ($\nabla^2 \varphi < 0$), что указывает на наличие истока.

Физически это подтверждается отрицательным знаком производной напряжённости поля $\partial E / \partial r < 0$, характеризующим убывание интенсивности поля по мере его удаления от локализованного источника.

2. Вихревое поле

Согласно пункту 5 Положения, перемещение возмущения в пространстве ведет к появлению поля иной структуры. При этом часть потенциальной энергии возмущения переходит в динамическую, поэтому тип вновь образуемое поле должно быть *динамическим* и иметь другую структуру. Среди векторных полей этому требованию соответствует *вихревое* поле, структура которого отлична от градиентного. Вихревое поле по своей структуре является **планарным** (плоскостным): его силовые линии замкнуты и расположены в одной плоскости.

В существующей литературе наряду с термином «вихревое» поле используется термин «соленоидальное» поле, которые, однако, следует различать. Соленоидального поле — это объемное поле, представимое в виде пространственной совокупности плоскостных вихревых полей.



<https://www.queeness.com/resources/images/h5/4.jpg>

Рис.3 Изображения вихревого и соленоидального полей

Физическими примерами вихревого и соленоидального полей являются магнитные поля прямого проводника с током, соленоида и постоянного магнита.

Общепринятое толкование силовых линий исключает понятие потока [9], что не совсем верно. По мнению автора, силовые линии указывают на направление распространения *потока поля* в пространстве.

Так, для градиентного поля \mathbf{E} точечного заряда направление распространения потока его поля определяется вектором напряженности \vec{E} . Распространение такого подхода на вихревое поле ведет к необходимости введения характеристики поля, аналогичной вектору напряженности \vec{E} . Такой характеристикой является вектор \vec{B} , который представляет собой *напряжённость \mathbf{B}* магнитного поля, общепринято трактуемую как *индукция*.

По мнению автора, в пользу трактовки поля \mathbf{B} как напряжённости магнитного поля говорит и её размерность, что будет показано ниже. Кроме того, сам термин «напряжённость» характерен для случаев, описывающих поверхностную плотность потока.

Несмотря на общепринятое мнение о том, что источниками магнитного поля являются *электрические движущиеся заряды (токи) и изменяющееся во времени электрическое поле*,

автора полагает: источником магнитного поля выступает само **электрическое поле**, движение которого проявляется в виде магнитного поля.

Как отмечено в пункте 5 Положения, преобразование энергии первичного поля в энергию вторичного поля должно удовлетворять закону сохранения энергии. Магнитное поле вторично, имеет динамическую природу, поэтому связь между энергиями электрического и магнитного полей подобна связи между потенциальной и кинетической энергиями

$$W_E + W_B = const \quad (22)$$

где W_E, W_B - энергии электрического и магнитного полей.

Формула (22) устанавливает возможность перехода энергии из одной формы в другую, причем *степень преобразования* электрической энергии в магнитную можно определить через угол θ

$$W_E + W_B = W_{E_0} \cos^2 \theta + W_{E_0} \sin^2 \theta = const \quad (23)$$

где W_{E_0} - начальная энергия электрического поля;

Поскольку степень преобразования градиентной энергии в вихревую зависит от скорости v перемещения поля, то имеет смысл ввести следующее соотношение

$$\theta = \arcsin \beta \quad (24)$$

где $\beta = v/c$ - относительная скорость перемещения поля в пространстве; c - скорость света.

Тогда на основании (23) и (24) с учетом обобщения $W_E = W_{E_0}$ можно записать

$$W_E (1 - \beta^2) + W_E \beta^2 = const \quad (25)$$

где $0 \leq \beta \leq 1$.

Общепринято использование *объемных* плотностей энергий полей

$$w_E = \frac{1}{2} \varepsilon_0 E^2 \quad (a) \quad w_B = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0} \quad (b) \quad (26)$$

Поскольку переход к полным энергиям полей осуществляется посредством интегрирования плотностей энергий по объему, то с учетом независимости коэффициента β от интегрирования соотношение между полными энергиями в (25) сохранится и для их объемных плотностей из (26)

$$w_E = \frac{1}{2} \varepsilon_0 E^2 (1 - \beta^2) \quad \text{a)} \quad w_B = \frac{1}{2} \varepsilon_0 E^2 \beta^2 \quad \text{b)} \quad (27)$$

Принимая во внимание соотношение $\varepsilon_0 \mu_0 = 1 / c^2$, на основании 27 можно получить выражение для индукции магнитного поля

$$B = \frac{E \cdot \beta}{c} \quad [Bc / M^2] \quad (28)$$

Формула (28) выражает связь между характеристиками градиентного и вихревого полей зависимость от скорости перемещения поля. Из (28) видно, что размерность поля **B** соответствует размерности *поверхностной плотности*.

С другой стороны, учет (6) позволяет привести формулу (28) к виду

$$B = \frac{d\Phi_E}{dS} \frac{\beta}{c} = \frac{\mu_0 qv}{dS} \quad (29)$$

Формула (29) позволяет представить эту характеристику как поверхностную плотность магнитного потока Φ_B

$$B = \frac{d\Phi_B}{dS} \quad (30)$$

Тогда сравнение (29) и (30) позволяет получить выражение для магнитного потока

$$\Phi_B = \mu_0 qv \quad (31)$$

Несмотря на отличие от (1), соотношение (31) позволяет трактовать qv как возмущение пространства динамического типа, которое приводит к появлению магнитного поля. Однако эта трактовка может породить заблуждение о том, что источником магнитного поля является *движущийся заряд*.

Чтобы убедиться в обратном, достаточно обратить внимание на конфигурацию силовых линий магнитного поля. Конфигурация силовых магнитных линий такова, что в любой точке магнитного поля плотность входящего и выходящего потоков *неизменна*. Это означает отсутствие расходимости (сходимости) поля, что позволяет записать

$$\nabla \cdot B = 0 \quad (32)$$

Формула (32) является математическим описанием вихревого поля, свидетельствующим об *отсутствии точечного источника* магнитного поля. Это означает, что векторное поле **B**, в отличие от электрического, не содержит истоков или стоков.

Вихревое поле обладает такой векторной характеристикой как ротор. Как отмечено выше, в основе появления магнитного поля лежит электрическое поле \mathbf{E} , поэтому **формально** можно рассмотреть его ротор вдоль оси Z

$$\nabla_z \times E = \begin{pmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ E_x & E_y & E_z \end{pmatrix} = -\frac{\partial}{\partial z} (E_y \vec{i} - E_x \vec{j}) = \frac{\partial}{\partial z} \left\{ E_{xy} \left(\frac{E_x}{E_{xy}} \vec{j} - \frac{E_y}{E_{xy}} \vec{i} \right) \right\} \quad (33)$$

Из (33) видно, что выражение в круглых скобках описывает единичный вектор \vec{r} , производная от которого представляет собой вектор скорости $\vec{\tau} = \partial \vec{r} / \partial t$ [$1/c$]. Опережение этого вектора по отношению к исходному вектору \vec{E}_{xy} на угол $\pi/2$ свидетельствует о положительном направлении вращения, что позволяет записать

$$\nabla_z \times E = \frac{E_{xy}}{v_z} \vec{\tau} \quad (34)$$

Вектора \vec{E} может быть представлен в виде двухкомпонентного вектора $\vec{E} = \{ \vec{E}_\perp, \vec{E}_\parallel \}$.

С учетом этого, а также того, что движение происходит вдоль продольной оси $v_\parallel = v_z$, получаем

$$\nabla_\parallel \times E = \frac{E_\perp}{v_\parallel} \vec{\tau} \quad (35)$$

Умножение обеих частей (35) на коэффициент β_\parallel / c с учетом (28) приводит к следующему

$$\nabla_\parallel \times B = \frac{E_\perp}{c^2} \vec{\tau} \quad (36)$$

Анализ (36) показывает, что появление вихревого поля \mathbf{B} связано с вращением поперечного поля E_\perp . Необходимая для этого энергия выделяется из энергии поля E_\parallel как её составная часть. Именно эта доля и представляет собой энергию вихревого магнитного поля.

Таким образом, появление магнитного поля свидетельствует о вращении поля \mathbf{E} . Энергия магнитного поля \mathbf{B} представляет собой часть энергии поля E_\parallel , расходуемую на приведение во вращение электрического поля E_\perp . Величина данной части определяется скоростью

перемещения поля \mathbf{E} . В результате градиентное поле E_{\parallel} меняет свой статус на гибридное, степень которого зависит от соотношения градиентной и вихревой составляющих.

3. Гибридное поле

Из классической теории поля следует существование трех видов векторных полей: градиентное \mathbf{g} , вихревое \mathbf{r} и гибридное \mathbf{h} (смешанное). В соответствии с теоремой Гельмгольца последнее в общем случае может быть представлено в виде композиции безвихревого (градиентного) и вихревого полей [11]

$$\mathbf{h} = \mathbf{g} + \mathbf{r} \quad (37)$$

Согласно (37) композиция градиентного и вихревого полей в плоскости рисунка приводит к гибриднему полю следующего вида (рис.4)

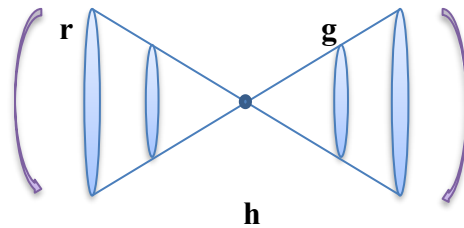


Рис.4 Гибридное поле \mathbf{h} вдоль одной оси

Появление гибридного поля связано с наличием вихревой составляющей, возникающей исключительно при движении градиентного поля. Как отмечено выше, проявление магнитного поля сопряжено с преобразованием части электрического поля E_{\parallel} , поэтому целесообразно обратиться к представлению энергии поля \mathbf{E} в (26а) через двухкомпонентный вектор $\vec{E} = \{\vec{E}_{\parallel}, \vec{E}_{\perp}\}$

$$W_E = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2\} = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \{E_{\parallel}^2 + E_{\perp}^2\} \quad (38)$$

где E_{\parallel} - продольная компонента (вдоль оси движения); E_{\perp} - поперечная компонента.

При движении поля часть энергии электрического поля E_{\parallel} преобразуется в магнитную, тогда как электрическая энергия поперечной компоненты E_{\perp} поля остается неизменной.

Представление (38) позволяет привести (28) к виду

$$B = \frac{E_{\parallel} \cdot \beta_{\parallel}}{c} \quad (39)$$

где β_{\parallel} - относительная скорость вдоль оси перемещения.

Из (38) видно, что при движении вдоль одной из координат вплоть до 1/3 полной электрической энергии поля может быть преобразована в энергию магнитного поля.

Несмотря на то, что при движении продольная компонента E_{\parallel} градиентного поля убывает, закон сохранения энергии выполняется, так как убывающая энергия возвращается, но уже в виде энергии магнитного поля. В этом проявляется механизм обеспечения инвариантности энергетической симметрии поля, зафиксированный в пункте 7 Положения.

В результате поле в продольном направлении становится гибридным: возникает комбинация электрической и магнитной компонент, меняющая геометрию силовых линий.

Как следствие, меняется траектория распространения поля в пространстве: вместо *расходящихся* лучей, присущих исключительно градиентному полю, она становится *винтовой*. Это приводит к тому, что при *неизменной* скорости распространения поля его скорость v_{\parallel} в продольном направлении уменьшается ($v_{\parallel} < c$), что отражается на форме поля – оно принимает форму эллипсоида, то есть «сплющивается». Физически такую форму имеет поле движущегося заряда (рис.5)

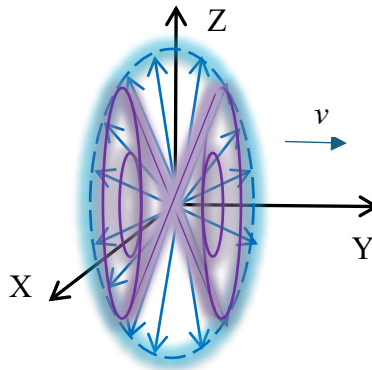


Рис.5 Сжатие формы градиентного поля при движении вдоль оси Y

Благодаря этому реальному физическому процессу удастся сохранить энергетическую симметрию поля, что следует рассматривать как свойство пространства - инвариантность энергетической симметрии. В основе данного механизма лежит закон сохранения энергии, поэтому само свойство пространства тоже носит характер фундаментального.

Этот защитный механизм, реализующий стремление пространства к сохранению своего состояния динамического покоя, следует рассматривать как расширение первого закона Ньютона на материальную среду - пространство.

По аналогии с (33) можно *формально* рассмотреть ротор от ротора электрического поля

$$\nabla \times \nabla \times E = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ (\nabla \times E)_x & (\nabla \times E)_y & (\nabla \times E)_z \end{vmatrix} \quad (40)$$

Рассмотрим z-компоненту ротора (40)

$$\nabla_z \times \nabla \times E = -\frac{\partial}{\partial z} \left[(\nabla \times E)_y \cdot \vec{i} - (\nabla \times E)_x \cdot \vec{j} \right] \quad (41)$$

Из (41) видно, что выражение в квадратных скобках представляет собой компоненты элементарного ротора, который подобен радиус-вектору, вращающегося в поперечной плоскости XY. С учетом перестановки в векторном произведении по аналогии с (34) можно получить

$$\nabla \times \nabla_z \times E = \frac{\partial}{\partial z} \left[(\nabla \times E)_{xy} \cdot \vec{r} \right] \quad (42)$$

Использование подстановки $\frac{\partial}{\partial z} = \frac{1}{v_z} \frac{\partial}{\partial t}$ наряду с переходом к продольной и поперечной компонентам дает

$$\nabla \times \nabla_{\parallel} \times E = \frac{1}{v_{\parallel}} \frac{\partial}{\partial t} \left[(\nabla \times E)_{\perp} \cdot \vec{r} \right] \quad (43)$$

Умножение обеих частей (43) на коэффициент β_{\parallel} / c с учетом (28) приводит к следующему

$$\nabla \times \nabla_{\parallel} \times B = \frac{1}{c^2} \frac{\partial}{\partial t} (\nabla \times E)_{\perp} \vec{r} \quad (44)$$

Левая часть (44) описывает прецессию ротора $\nabla \times B$, которая становится возможной при наличии 2-х векторов: статического продольного вектора и динамического, который вращается в поперечной плоскости. Правая часть (44) представляет собой элементарный ротор $(\nabla \times E)_{\perp}$, вращающийся по окружности (рис. 6)

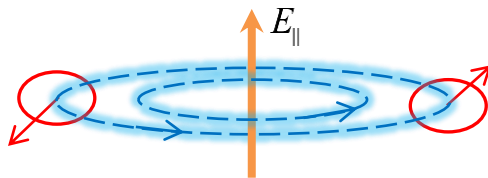


Рис.6 Вращающийся элементарный ротор $(\nabla \times E)_{\perp}$

Таким образом, возбуждение электрического поля ($\partial E / \partial t = \text{var}$) приводит к появлению вихревого поля, третичного по отношению к первичному градиентному полю \mathbf{E} . Силовые линии этого поля связаны с силовыми линиями вторичного поля \mathbf{V} : они как бы «нанизаны» на них. Возникающее при этом поле носит динамический характер, а его природа подобна природе первичного поля, что соответствует пункту 6 Положения.

В этом случае меняется картинка гибридного поля, которую можно получить исходя из рис.4 путем аналогичных построения в двух других плоскостях (рис.7)

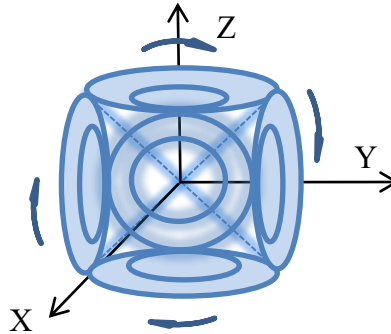


Рис.7 Динамическое гибридное поле

Учитывая одинаковость направление вращения полей, композиция полей на рис.7 принимает форму шара (рис.8)

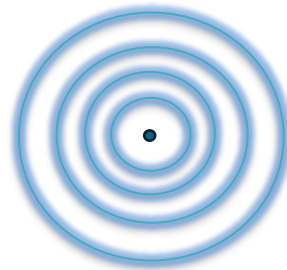


Рис.8 Шарообразное поле

4. Вектор Умова-Пойнтинга

В создании гибридного поля движущегося заряда участвуют векторные поля \mathbf{E} и \mathbf{V} , вектора которых \vec{E} и \vec{V} взаимно-перпендикулярны. Это позволяет рассмотреть векторное произведение этих векторов в виде вектора \vec{S} , что ведет в появлению векторного поля \mathbf{S} . Формальное произведение размерностей векторов \vec{E} и \vec{V} имеет размерность $[B^2 \text{ c} / \text{m}^3]$, что лишено физического смысла. Если же добавить к векторному произведению векторов

$\vec{E} \times \vec{B}$ множитель $\varepsilon_0 c^2$, то поле \mathbf{S} приобретает физический смысл поверхностной плотности мощности. Следование этому позволяет представить вектор \vec{S} в виде

$$\vec{S} = \varepsilon_0 c^2 [\vec{E} \times \vec{B}] \quad [\text{ВА/м}^2] \quad (44)$$

Формула (44) может быть приведена к общепринятому виду [12] путем использования соотношения $\varepsilon_0 \mu_0 = 1 / c^2$

$$\vec{S} = \frac{1}{\mu_0} [\vec{E} \times \vec{B}] = [\vec{E} \times \vec{H}] \quad (45)$$

По мнению автора, при рассмотрении полей имеет смысл использовать формулу (44), поскольку возникающее в результате трансформации электрического поля магнитное поле характеризуется индукцией \mathbf{B} . Формула (44) описывает известный вектор **Умова-Пойнтинга**, определяющий плотность потока энергии, переносимого полем \mathbf{S} .

По своей структуре поле \mathbf{S} является *градиентным полем*. Вектор \vec{S} указывает направление переноса потока энергии, а его модуль определяет поверхностную плотность мощности этого потока. Чтобы убедиться в этом достаточно представить в (44) поле \mathbf{E} в виде двухкомпонентного вектора

$$\vec{S} = \varepsilon_0 c^2 [(\vec{E}_\perp + \vec{E}_\parallel) \times \vec{B}] \quad (46)$$

Первое векторное произведение $\vec{E}_\perp \times \vec{B}$ дает вектор, который параллелен оси движения, что соответствует процессу убыли энергии. Второе векторное произведение $\vec{E}_\parallel \times \vec{B}$ определяет направление к центру электрического поля \vec{E}_\perp , что скорее связано с притоком энергии извне, чем с её переносом. По сути, имеем два вектора, один из которых \vec{S}_\parallel направлен вдоль оси движения поля, тогда как другой \vec{S}_\perp расположен в поперечной плоскости и направлен к оси движения. Принимая всё это во внимание, формула (37) может быть переписана как

$$\vec{S}_\parallel = \varepsilon_0 c^2 [\vec{E}_\perp \times \vec{B}] \quad \text{а)} \quad \vec{S}_\perp = \varepsilon_0 c^2 [\vec{E}_\parallel \times \vec{B}] \quad \text{б)} \quad (47)$$

Формула (47) позволяет расширить общепринятое толкование вектора Умова-Пойнтинга в отношении направления переноса энергии. Согласно (47), вектор \vec{S}_\parallel указывает на направление убыли энергии вдоль оси движения, тогда как вектор \vec{S}_\perp определяет приток энергии в плоскости, перпендикулярной оси движения.

Величина вектора \vec{S}_{\parallel} определяется через модуль векторного произведения, который с учетом (39) определяется следующим выражением

$$|\vec{S}_{\parallel}| = \varepsilon_0 c E_{\perp} E_{\parallel} \beta_{\parallel} \quad (48)$$

Картина пространственного расположения векторов \vec{E}_{\perp} , \vec{B} и \vec{S} для наглядности приведена на рис.9.

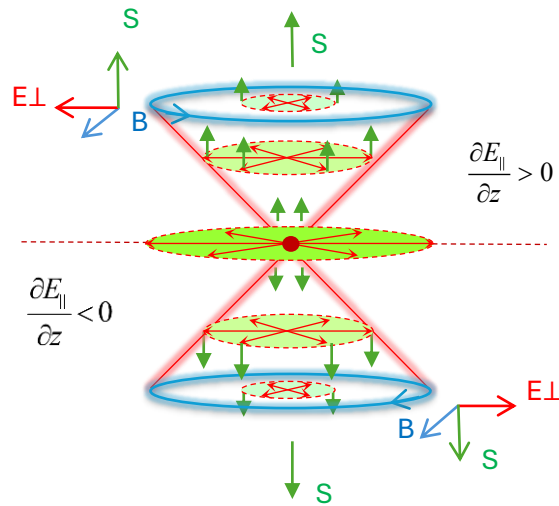


Рис.9 Пространственное расположение векторов \vec{E}_{\perp} , \vec{B} и \vec{S}_{\parallel}

Принимая во внимание, что вектор $\vec{E} = \{ \vec{E}_{\parallel}, \vec{E}_{\perp} \}$, возможна следующая запись

$$E_{\parallel} = E \sin \varphi \quad E_{\perp} = E \cos \varphi \quad (49)$$

где $E = |\vec{E}|$, $0 \leq \varphi \leq \pi$ - угол, образуемый вектором \vec{E} с плоскостью XY.

Учет (49) позволяет представить (48) в виде

$$|\vec{S}_{\parallel}| = \varepsilon_0 c E^2 \beta_{\parallel} \cos \varphi \sin \varphi = w_E v_{\parallel} \sin 2\varphi \quad (50)$$

где $w_E = \frac{1}{2} \varepsilon_0 E^2$, v_{\parallel} - скорость вдоль оси движения.

Данная формула позволяет условно оценить пространственное распределение поля вектора \vec{S}_{\parallel} Умова-Пойнтинга (рис.10)

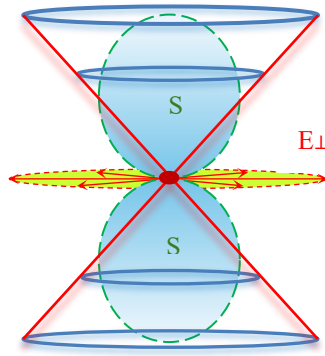


Рис.10 Пространственное распределение поля вектора \vec{S}_{\parallel}

В отношении вектора \vec{S}_{\perp} его величина определяется следующим выражением

$$|\vec{S}_{\perp}| = \varepsilon_0 c E_{\parallel}^2 \beta_{\parallel} = w_E v_{\parallel} (1 - \cos 2\varphi) \quad (51)$$

Анализ формул (50) и (51) показывает, что их максимальные значения достигаются при одном и том же значении угла $\varphi = \pi / 4$, причем $|\vec{S}_{\parallel}| = |\vec{S}_{\perp}| = w_E v_{\parallel}$.

Формула (50) получена при относительной скорости перемещения источника $\beta_{\parallel} = const$. В случае, когда скорость перемещения меняется по синусоидальному закону $\beta_{\parallel} = \sin \omega t$, соотношение (25) с учетом перехода к объёмным плотностям энергий, примет вид

$$w_E + w_B = w_{E_0} \cos^2 \omega t + w_{E_0} \sin^2 \omega t = const \quad (52)$$

где $w_{E_0} = \varepsilon_0 E_0^2 / 2$, ω - угловая частота.

Тогда из соотношения (52) можно получить

$$E = E_0 \cos \omega t \quad (a) \quad B = \frac{E_0}{c} \sin \omega t \quad (b) \quad (53)$$

Формула (53) подтверждает ранее приведенное высказывание о фазовом сдвиге между векторами в \vec{E} и \vec{B} на угол $\pi/2$. Таким образом, эти вектора сдвинуты относительно друг друга не только в пространстве, но и во времени на тот же угол $\pi/2$ (рис.11)

К сожалению, многочисленные иллюстрации, приводимые как в литературе, так и в интернете, не отражают наличия фазового сдвига между векторами \vec{E} и \vec{B} , образующими вектор Умова-Пойнтинга.

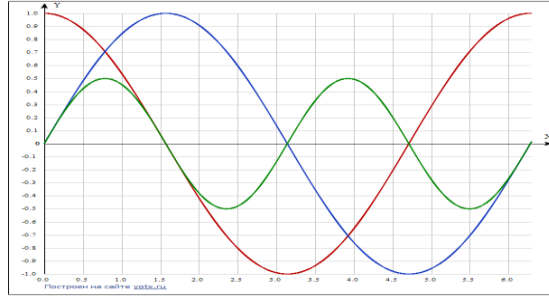


Рис. 11 Временные соотношения векторов $E(-)$, $B(-)$ и $S(-)$

С учетом (53) по аналогии с (50) можно получить

$$|\vec{S}| = c\epsilon_0 E_0^2 \cos \omega t \sin \omega t = c w_E \sin 2\omega t \quad (54)$$

Из (54) видно, что модуль вектора Умова-Пойнтинга изменяется с удвоенной частотой — в отличие от модулей векторов \vec{E} и \vec{B} , как это и показано на рис.11.

5. Интерпретация уравнений Максвелла

Уравнения Максвелла составляют основу классической электродинамики. Сформулированные Максвеллом и преобразованные в дальнейшем Хэвисайдом, эти уравнения остаются неизменными и по сей день, несмотря на то что физические представления о материи за прошедшие 150 лет изменились. Ниже приведены уравнения Максвелла [13] для случая изотропной и однородной среды без дисперсии, каковой и является пространство

$$\nabla \times \vec{B} = \frac{\vec{j}}{c^2 \cdot \epsilon_0} + \frac{1}{c^2} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (a) \quad (55)$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (b)$$

$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (c) \quad \nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (d)$$

Несмотря на общепринятую приверженность классической форме (55), автор тем не менее склоняется к мнению, что с позиций сегодняшнего дня возможна интерпретация уравнений Максвелла, основанная на свойствах пространства как материальной среды.

Дабы убедиться в этом, обратимся к Положению.

Согласно Положению, возмущения пространства вызывают трансформацию структур векторных полей. Именно эта особенность пространства позволяет рассматривать предложенные Максвеллом уравнения как описание *преобразования* структур этих полей.

С этой целью воспользуемся одним из уравнений векторного анализа, приведенным в [14]

$$\Delta \mathbf{h} = \nabla(\nabla \cdot \mathbf{h}) - \nabla \times (\nabla \times \mathbf{h}) \quad (56)$$

Данная формула является определением **векторного лапласиана**. Согласно (56), происходит двухстадийная трансформация исходного векторного поля \mathbf{h} . Для проведения дальнейшего анализа представим выражение (56) иначе

$$\nabla \times (\nabla \times \mathbf{h}) = \nabla(\nabla \cdot \mathbf{h}) - \Delta \mathbf{h} \quad (57)$$

где Δ - векторный лапласиан.

Поскольку член $(\nabla \times \mathbf{h})$ в (57) представляет собой вихревое поле \mathbf{r} , то, согласно Положению, это соответствует первой стадии трансформации первичного поля \mathbf{h}

$$\mathbf{r} = \nabla \times \mathbf{h} \quad (58)$$

Следует отметить, что первый член в правой части (57) будет отличен от нуля тогда и только тогда, когда $\nabla \cdot \mathbf{h} \neq 0$. Это говорит о том, что поле \mathbf{h} представляет собой первичное градиентное поле \mathbf{g}

$$\nabla(\nabla \cdot \mathbf{h}) = \nabla(\nabla \cdot \mathbf{g}) \quad (59)$$

Остается открытым вопрос в отношении поля, описываемого членом $\Delta \mathbf{h}$. Векторный лапласиан $\Delta \mathbf{h}$ можно представить в виде [14]

$$\Delta \mathbf{h} = (\nabla^2 h_x) \vec{i} + (\nabla^2 h_y) \vec{j} + (\nabla^2 h_z) \vec{k} \quad (60)$$

где ∇^2 - скалярный лапласиан; h_x, h_y, h_z - скалярные компоненты векторного поля \mathbf{h} .

Представление (60) формально описывает операции с абстрактными векторными полями, частным случаем которых являются поля физические. Последним присущи ограничения, вытекающие из их природы. Эти условия могут быть реализованы через свойства оператора (60), в связи с чем представляется целесообразным наложить ограничения на сами операторы преобразования, тем самым модифицировав исходное выражение.

Пусть свойства физических полей таковы, что для оператора (60) выполняется условие

$$\left. \frac{\partial^2 h_i}{\partial j^2} \right|_{i \neq j} = 0 \quad (61)$$

Ограничение (61) приводит к тому, что векторный лапласиан (60) вырождается

$$\bar{\Delta}h = \frac{\partial^2 h_x}{\partial x^2} \vec{i} + \frac{\partial^2 h_y}{\partial y^2} \vec{j} + \frac{\partial^2 h_z}{\partial z^2} \vec{k} \quad (62)$$

Члены в (62) можно представить иначе, что, к примеру, для одной из координат приводит к следующему

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} = \frac{1}{v_x^2} \frac{\partial^2 h}{\partial t^2} \quad (63)$$

где v_x - скорость распространения поля вдоль координаты X .

Из (62) видно, что для существования поля $\bar{\Delta}h$ необходимо наличие частных производных второго порядка. Данное обстоятельство, с учетом (63), позволяет отнести это поле к третичному, а вырожденный векторный лапласиан $\bar{\Delta}h$ рассматривать как двухстадийную трансформацию: первичное \rightarrow вторичное \rightarrow третичное. С учетом вышесказанного формула (55) окончательно принимает вид

$$\nabla \times r = \nabla(\nabla \cdot g) - \bar{\Delta}h \quad (64)$$

где $\bar{\Delta}h$ - вырожденный векторный лапласиан.

Согласно (37), формула (64) описывает структурную трансформацию векторных полей, вызванную возмущением пространства. По мнению автора, именно это **обобщенное уравнение** является основой общепринятых уравнений Максвелла.

С целью привязки обобщенного уравнения (64) к полям физическим достаточно произвести замены абстрактных полей на их физические аналоги. Пусть первичное векторное поле \mathbf{h} в (57) представлено электрическим градиентным полем \mathbf{E} . Тогда с учётом (58) и свойств операторов ротор и дивергенция формула (62) предстает в виде

$$\nabla \times \nabla \times E = \nabla(\nabla \cdot E^g) - \bar{\Delta}E \quad (65)$$

В целях дальнейшего анализа примем во внимание следующее соотношение

$$\frac{\partial E}{\partial z} = \frac{1}{g_z} \frac{\partial E}{\partial t} \quad (66)$$

С учетом (66) выражение для элементарного ротора $\nabla_x \times E$ принимает вид

$$\nabla_x \times E = \left(\frac{\partial E_z}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial z} \right) \vec{i} = \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{E_z}{v_y} - \frac{E_y}{v_z} \right) \vec{i} \quad (67)$$

Принимая во внимание (28) и учитывая, что изотропность пространства предполагает равенство скоростей распространения поля по всем направлениям ($v_x = v_y = v_z = c$), выражение (67) приводится к виду

$$\nabla_x \times E = \frac{\partial}{\partial t} (B_z - B_y) \vec{i} = \frac{\partial}{\partial t} \vec{B}_{zy} \quad (68)$$

Аналогично могут быть получены выражения и для остальных элементарных роторов, что позволяет записать

$$\nabla \times \nabla \times E = \frac{\partial}{\partial t} \nabla \times B \quad (69)$$

где $\vec{B} = \vec{B}_{yx} + \vec{B}_{xz} + \vec{B}_{zy}$.

В результате действия оператора $\bar{\Delta}$ над первичным полем E^g в (65) появляется динамическое вихревое поле E^r , природа которого идентична первичному полю. С учетом этого подстановка (63) в (62) и переход к полю E дают

$$\bar{\Delta} E = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} [E_x \vec{i} + E_y \vec{j} + E_z \vec{k}] = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}^r}{\partial t^2} \quad (70)$$

Для определенности в отношении члена $\nabla(\nabla \cdot E^g)$ в (64) раскроем одну из компонент

$$\nabla_x(\nabla \cdot E^g) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial E_x^g}{\partial x} + \frac{\partial E_y^g}{\partial y} + \frac{\partial E_z^g}{\partial z} \right) \vec{i} = \left(\frac{\partial^2 E_x^g}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E_y^g}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 E_z^g}{\partial x \partial z} \right) \vec{i} \quad (71)$$

Введем ограничение для градиентных полей физической природы, аналогичное (61)

$$\left. \frac{\partial^2 E_i^g}{\partial i \partial j} \right|_{i \neq j} = 0 \quad (72)$$

Учет (72) и распространение (71) на все компоненты поля g приводят к следующему

$$\nabla(\nabla \cdot E^g) = \frac{\partial^2 E_x^g}{\partial x^2} \vec{i} + \frac{\partial^2 E_y^g}{\partial y^2} \vec{j} + \frac{\partial^2 E_z^g}{\partial z^2} \vec{k} \quad (73)$$

Применение (66) к (73) позволяют получить

$$\nabla(\nabla \cdot E^g) = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} [E_x^g \vec{i} + E_y^g \vec{j} + E_z^g \vec{k}] = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}^g}{\partial t^2} \quad (74)$$

Тогда подстановка (69), (70) и (74) в (65) дает

$$\frac{\partial}{\partial t} \nabla \times B = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}^g}{\partial t^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}^r}{\partial t^2} \quad (75)$$

Избавление от одной операции дифференцирования в обеих частях позволяет придать (75) следующий вид

$$\nabla \times B = \frac{1}{c^2} \frac{\partial}{\partial t} (\vec{E}^g - \vec{E}^r) \quad (76)$$

Посредством третичного поля \mathbf{E}^r вихревой структуры пространство стремится сохранить свое невозбужденное состояние, создавая *компенсирующее воздействие*. Эта компенсация реализуется через взаимодействие третичного поля с первичным полем возмущения по принципу отрицательной обратной связи, что и подтверждается формулой (76).

Формула (76) наглядно описывает правило Ленца. При этом в силу естественной неполноты компенсации разность членов правой части всегда положительна, что означает *правостороннюю* ориентацию ротора поля \mathbf{B} .

Первый член в правой части (76) отличается от общепринятой редакции (55с), но если воспользоваться (16), то придем к такому же результату

$$\nabla(\nabla \cdot E^g) = \nabla(\rho_{\Phi_E}) = \frac{j}{\epsilon_0 c^2} \quad (77)$$

В отношении поля \mathbf{B} ситуация упрощается: учет (58) и того, что дивергенция $\nabla \cdot B = 0$, позволяют из (64) получить

$$\nabla \times \nabla \times B = -\bar{\Delta} B \quad (78)$$

По аналогии с (70) вырожденный лапласиан $\bar{\Delta} B$ представляется в виде

$$\bar{\Delta} B = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} \quad (79)$$

В отношении левой части (78) можно воспользоваться формулой (44), распространив её действие на все координаты

$$\nabla \times \nabla \times B = \frac{1}{c^2} \frac{\partial}{\partial t} \nabla \times E^r \quad (80)$$

Тогда подстановка (79) и (80) в (78) с последующим избавлением от одной операции дифференцирования в обеих частях и переносом знака «-» приводит к следующему

$$-\nabla \times E^r = \frac{\partial}{\partial t} \vec{B} \quad (81)$$

Перенос знака «минус» в левую часть здесь оправдан, поскольку это согласуется с особенностью данного вихревого электрического поля: его ротор имеет левостороннюю ориентацию.

Полученные формулы (81) и (86) дают математическое описание трансформации структуры полей, которая происходит согласно пунктов 5–7 Положения. С целью получения картины происходящих трансформаций рассмотрим следующие варианты:

1. $\frac{\partial}{\partial t} \vec{E}^g = 0$ - отсутствует движение первичного градиентного поля E^g , как следствие, вторичное вихревое поле B тоже отсутствует ($\nabla \times B = 0$).

2. $\frac{\partial}{\partial t} \vec{E}^g = const$ - возникает постоянное вихревое поле B_- ($\nabla \times B = const$). В этом случае $\frac{\partial}{\partial t} \vec{B} = 0$, следовательно, вихревое поле E^r отсутствует ($\nabla \times E^r = 0$).

3. $\frac{\partial}{\partial t} \vec{E}^g = var$ - возникает переменное вихревое поле B_- , т. е. $\nabla \times B = var$. Поскольку $\frac{\partial}{\partial t} \vec{B} = var$, то возникает вихревое поле E^r ($\nabla \times E^r \neq 0$), причем ротор $\nabla \times E^r$, в отличие от ротора $\nabla \times B$, имеет левостороннее вращение.

4. Появление вихревого поля E^r сопряжено с наличием производной $\frac{\partial}{\partial t} \vec{E}^r \neq 0$, которая появляется в (76), где её знак «минус» обусловлен левосторонней ориентацией (или левым направлением вращения) поля E^r .

5. В результате происходит компенсация полей E^g и E^r по принципу отрицательной обратной связи, что в итоге ведет к уменьшению динамического поля B_- .

Исходя из сказанного, трансформация структур полей, определяемых Положением, может быть записана в виде системы уравнений

$$\nabla \times B = \frac{1}{c^2} \frac{\partial}{\partial t} (\vec{E}^g - \vec{E}) \quad (a)$$

$$-\nabla \times E^r = \frac{\partial}{\partial t} \vec{B} \quad (b) \quad (82)$$

где $\nabla \cdot E^g \neq 0$; $\nabla \cdot B = \nabla \cdot E^r = 0$.

Система уравнений (82), представляющая собой уравнения Максвелла, получена на основе вырожденного лапласиана и свойств пространства как материальной среды.

Отличие (82) от традиционных уравнений Максвелла (55) проявляются в следующем:

1. изменении представления первого члена в (82a) и наличие знака «-» у второго члена;
2. переносе знака «минус» в левую часть (82b);
3. добавлении равенства $\nabla \cdot E^r = 0$ и замене общепринятого уравнения $\nabla \cdot E = \rho / \epsilon_0$ на неравенство $\nabla \cdot E^g \neq 0$.

Отказ от общепринятой формы представления первого члена в (82a) продиктован стремлением отразить трансформационные свойства пространства, определяемые Положением. Кроме того, наличие знака «минус» у второго члена в (82a) демонстрирует отрицательную обратную связь, соответствующую известному правилу Ленца.

Перенос знака « - » в левую часть (82b) позволяет отразить тот факт, что возникающее при этом вихревое поле обладает левосторонней ориентацией. Как будет показано ниже, это имеет принципиальное значение для переноса энергии электромагнитного поля.

Добавление равенства $\nabla \cdot E^r = 0$ указывает на вихревую структуру поля E^r . Это позволяет разделить компоненты электрического поля, участвующие в преобразовании, что не находит отражения в традиционных уравнениях Максвелла.

Замена общепринятого уравнения $\nabla \cdot E = \rho / \epsilon_0$ на неравенство $\nabla \cdot E^g \neq 0$ лишь подчеркивает различие в структурах полей E^g и E^r . Конкретное же значение дивергенции в данном контексте не существенно; принципиально лишь то, что эта структура является *градиентной*.

6. Перенос энергии электромагнитным полем

С целью выявления процесса переноса энергии электромагнитным полем примем, что в локальной точке пространство возникает возмущение в виде электромагнитной энергии объёмной плотности w

$$w = w_E + w_B = \epsilon_0 \frac{\vec{E}^2}{2} + \frac{1}{\mu_0} \frac{\vec{B}^2}{2} = const \quad (83)$$

В силу природы электромагнитной энергии в данной точке происходит изменение плотности энергий, что с учетом (83) приводит выражение к виду

$$\frac{\partial w_E}{\partial t} + \frac{\partial w_B}{\partial t} = \varepsilon_0 \vec{E} \cdot \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \frac{1}{\mu_0} \vec{B} \cdot \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = 0 \quad (84)$$

Анализ (84) предполагает два возможных варианта.

Вариант 1. $\beta_{\parallel} = const$ - происходит возмущение пространства путем перемещение электрического поля, когда $\frac{\partial E}{\partial t} = const$, $\frac{\partial B}{\partial t} = 0$.

В соответствии с этим электрическая компонента в (84) представима в виде

$$\frac{\partial w_E}{\partial t} = \varepsilon_0 (\vec{E}_{\perp}^g + \vec{E}_{\parallel}^g) \cdot \frac{\partial \vec{E}^g}{\partial t} = 0 \quad (85)$$

Принимая во внимание, что в соответствии с (82) $\nabla \times B = \frac{1}{c^2} \frac{\partial \vec{E}^g}{\partial t}$, получаем

$$c^2 \varepsilon_0 (\vec{E}_{\perp}^g + \vec{E}_{\parallel}^g) \cdot \nabla \times B = 0 \quad (86)$$

Применяя правило перестановки векторов ∇ и \mathbf{E} в смешанном произведении (86), с учетом (47) можно получить

$$\nabla \cdot \vec{S}_{\parallel}^g + \nabla \cdot \vec{S}_{\perp}^g = 0 \quad (87)$$

Выражение (85) будет справедливо только в том случае, если дивергенции имеют разные знаки. С учетом направленности векторов \vec{S}_{\parallel}^g и \vec{S}_{\perp}^g это обстоятельство позволяет сделать следующую запись

$$\frac{\partial w_{E_{\parallel}}}{\partial t} = \nabla \cdot \vec{S}_{\parallel}^g \quad \text{a)} \quad \frac{\partial w_{E_{\perp}}}{\partial t} = -\nabla \cdot \vec{S}_{\perp}^g \quad \text{b)} \quad (88)$$

Формула (88a) подтверждает убыль электрической энергии поля \vec{E}_{\parallel}^g в направлении, указываемом вектором Умова-Пойнтинга в виде (47a). Формула (88b), совпадающая с общепринятой формулой (47b) вектора Умова-Пойнтинга, напротив подтверждает приток энергии поля \vec{E}_{\parallel}^g в плоскость электрического поля \vec{E}_{\perp}^g (рис.12).

Таким образом, убыль энергии поля \vec{E}_{\parallel}^g происходит одновременно с притоком энергии в плоскость поля \vec{E}_{\perp}^g , т. е. происходит *перенос* энергии из поля \vec{E}_{\parallel}^g в поле \vec{E}_{\perp}^g .

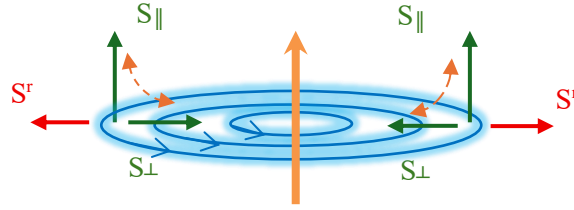


Рис.12 Перенос энергии между полями $E_{||}^g$ и E_{\perp}^g

Вариант 2. $\beta_{||} = \text{var}$ - происходит возбуждение пространства, $\frac{\partial B}{\partial t} \neq 0$. В этом случае, согласно (84), добавляются ещё два члена

$$\frac{\partial w_E}{\partial t} = c^2 \varepsilon_0 \vec{E}^r \frac{\partial}{\partial t} \vec{E}^r \quad \text{a)} \quad \frac{\partial w_B}{\partial t} = \frac{1}{\mu_0} \vec{B} \frac{\partial}{\partial t} \vec{B} \quad \text{b)} \quad (89)$$

Принимая во внимание, что $\nabla \times \vec{B} = -\frac{1}{c^2} \frac{\partial}{\partial t} \vec{E}^r$, получаем

$$\frac{\partial w_E}{\partial t} = -c^2 \varepsilon_0 \vec{E}^r \cdot \nabla \times \vec{B} = c^2 \varepsilon_0 \nabla \cdot \vec{E}^r \times \vec{B} \quad (90)$$

Аналогичные действия в отношении второго члена приводят к следующему

$$\frac{\partial w_B}{\partial t} = -\frac{1}{\mu_0} \vec{B} \cdot (\nabla \times \vec{E}^r) = -\frac{1}{\mu_0} \nabla \cdot (\vec{E}^r \times \vec{B}) \quad (91)$$

На основании (90) и (91) приходим к следующему

$$\frac{\partial w_E}{\partial t} = \nabla \cdot \vec{S}_{E^r} \quad \text{a)} \quad \frac{\partial w_B}{\partial t} = -\nabla \cdot \vec{S}_B \quad \text{b)} \quad (92)$$

Сравнение (92) с (88) показывает, что в данном случае также происходит перенос энергии, но уже из поля \vec{E}^r в порождаемое им поле \vec{B} . Таким образом, осуществляется перенос энергии вовне в виде формирования поля на основе векторов \vec{S}^r (рис.12).

Важно отметить, что при возбуждении пространства, в отличие от его возмущения, часть энергии уносится вовне. Это может рассматриваться как свойство пространства по сохранению своего невозбужденного состояния в локальной области путем сброса энергии возбуждения за его пределы.

Схематическая картина переноса энергии электромагнитным полем в виде формирования поля вектора \vec{S}^r приведена на рис. 13

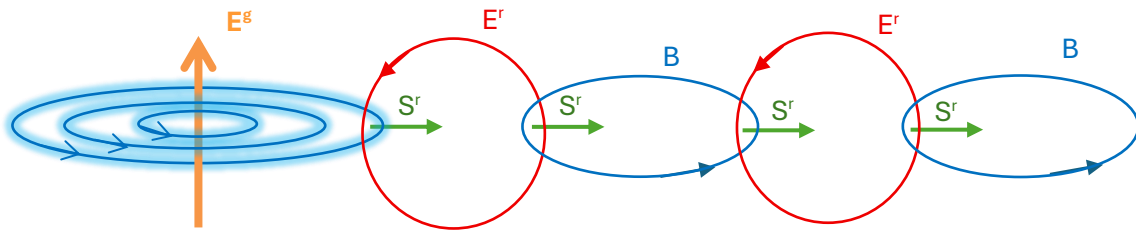
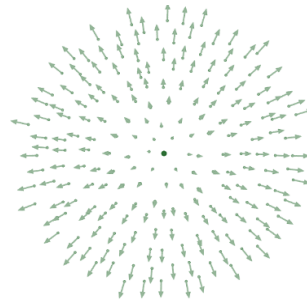


Рис.13 Формирование электромагнитного поля S^r

Из рис.13 видно, что перенос энергии описывается векторным полем S^r , образующимся вследствие взаимосвязанного чередования компонент электрического E^r и магнитного B полей. Однако образуемое при этом поле в виде комбинации вихревых динамических E^r и B полей не отражает истинной сущности электромагнитного поля.

Сущность электромагнитного поля заключается в переносе энергии, описание которого требует привлечения соответствующих физических характеристик.

Как это видно из рис.13, каждая пара элементарных вихрей E^r и B формирует вектор Умова-Пойнтинга \vec{S}^r , имеющий энергетическую основу. образуемое при этом поле S^r , в отличие от полей векторов $\vec{S}_{||}$ и \vec{S}_{\perp} , является динамическим и обладает градиентной структурой. Оно предполагает наличие потока и распространяется в пространстве подобно градиентному электрическому полю E^g (рис.14)



<https://commons.wikimedia.org/wiki/>

Рис.14 Динамическое градиентное поле

По сути, *скорость* формирования этого динамического градиентного поля S^r определяет скорость движения электромагнитного поля в пространстве.

И если в основе электрического поля лежит поток $\Phi_E = q / \epsilon_0$ заряда, то основу электромагнитного поля по аналогии должен составлять поток Φ_w энергии w_s поля

$$\Phi_w = \frac{w_S}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} = w_S c \quad [Bm / m^2] \quad (93)$$

где w_S - объемная плотность электромагнитной энергии; $\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}$ - электромагнитная постоянная пространства.

Важно отметить, что $\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}$ следует воспринимать как среднее геометрическое постоянных ε_0 и μ_0 , которое является константой пространства по распространению электромагнитной энергии. Формула (93) свидетельствует о том, поток энергии Φ_w имеет ту же размерность, что и вектор Умова-Пойнтинга.

Из сравнения (54) с (93) следует, что $\Phi_w = \max \{ |\vec{S}^r| \}$.

Ввиду подобия структур полей E^g и S^r , по аналогии можно принять, что S^r является *напряженностью* электромагнитного поля.

Поскольку градиентное поле S^r перемещается в пространстве, то, согласно Положению, возникает поле иной структуры - вихревое поле R . С учетом этого комбинация вихревого R и градиентного S^r динамических полей дает шарообразное поле слоистой структуры, как это показано на рис.8.

Для характеристики вихревого динамического поля может быть использована напряженность R , которая аналогична индукции B магнитного поля. Тогда, принимая во внимание закономерность (82) преобразования градиентного поля в вихревое, можно предложить следующую запись

$$\nabla \times R = \frac{1}{c^2} \frac{\partial}{\partial t} S^r \quad (94)$$

где R – напряжённость вихревой компоненты электромагнитного поля.

Согласно (94), размерность R составляет [Дж/м³], что не лишено здравого смысла. Кроме того, напряженности S^r и R связаны между собой аналогичным соотношением, что E^g и B , то есть $R = S^r / c$.

Таким образом, электромагнитное поле представляет собой *суперпозицию динамических полей*: градиентного S^r и вихревого R . Описание этих полей традиционно осуществляется посредством напряжённостей: *градиентной* \vec{S}^r и *вихревой* \vec{R} .

В классических уравнениях (55) Максвелла электромагнитное поле отсутствует, поэтому будет логично добавить (94) в уравнения (82), тем самым обеспечивая полноту картины преобразования полей

$$\nabla \times B = \frac{1}{c^2} \frac{\partial}{\partial t} (E^g - E^r) \quad (a)$$

$$-\nabla \times E^r = \frac{\partial}{\partial t} B \quad (b) \quad (95)$$

$$\nabla \times R = \frac{1}{c^2} \frac{\partial}{\partial t} S^r \quad (c)$$

где $S^r = \varepsilon_0 c^2 [E^r, B]$; $\nabla \cdot E^g \neq 0$; $\nabla \cdot S^r \neq 0$; $\nabla \cdot B = \nabla \cdot E^r = \nabla \cdot R = 0$.

Все операторы дивергенции в (95) используется только для описания свойств полей, участвующих в преобразованиях.

Таким образом, система уравнений (95) дает полную картину преобразование структур существующих электродинамических полей, обусловленных их движением в пространстве.

Представление электромагнитного поля как движущегося градиентного поля на основе векторов \vec{S}^r Умова-Пойнтинга позволяет объяснить такие релятивистские эффекты, как красное и синее смещения, при которых длина волны излучения (света, радиоволн и т. д.) изменяется вследствие движения источника [15].

Причина этих физических явлений та же, что и в случае сплющивания движущегося электрического поля – изменение траектории распространения поля, точнее, её параметров.

Ввиду гибридности структуры электромагнитного поля (рис.7) даже при отсутствии движения источника излучения траектория распространения поля носит *винтовой* характер. Данное обстоятельство предполагает наличие поперечной (тангенциальной) скорости \vec{v}_\perp , которая вместе с продольной скоростью \vec{v}_\parallel перемещения электромагнитного поля определяют вектор скорости \vec{c} движения в пространстве его градиентного поля S^r

$$\vec{c} = \vec{v}_\parallel + \vec{v}_\perp \quad (96)$$

Данное обстоятельство позволяет отображать электромагнитное поле в следующем виде

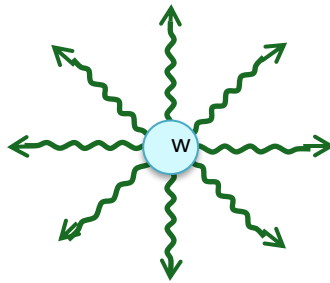


Рис.15 Изображение электромагнитного поля

Для понимания смещения спектра излучения движущегося объекта, воспринимаемого на приемной стороне, может быть использована формула, аналогичная (22)

$$W_S + W_R = const \quad (97)$$

где W_S, W_R - градиентная и вихревая энергии электромагнитного поля.

Перемещение объекта излучения в пространстве с постоянной скоростью приводит к перераспределению энергии между компонентами поля

$$(W_S \mp \Delta W) + (W_R \pm \Delta W) = const \quad (98)$$

Изменение вихревой энергии в (98) влечет за собой изменение ротора $\nabla_{\parallel} \times R$ поля \mathbf{R} :

при совпадении направленности $\nabla_{\parallel} \times R$ с вектором скорости движения его значение увеличивается, тогда как в противоположном направлении — уменьшается. В обоих случаях происходит изменение параметров траектории распространения поля: сжатие ведет к синему смещению, тогда как растяжение дает красное смещение.

Деформация (сжатие или растяжение) винтовой траектории влияет на исходную длину λ_0 волны излучения, которая изменяется вдоль оси движения ($\lambda_{\parallel} \neq \lambda_0$). На стороне приёмника это регистрируется как смещение частоты $\Delta f = c / \lambda_{\parallel} - f_0$ относительно её исходного значения f_0 . Знак Δf определяет тип смещения: в направлении движения ($\Delta f > 0$) оно проявляется как **синее смещение**, а в противоположном ($\Delta f < 0$) — как **красное**.

Для наглядности имеет смысл рассмотреть процесс перемещения вектора \vec{S}^r в пространстве. Следует отметить, что перемещение вектора \vec{S}^r строго в направлении оси движения происходит не непрерывно во времени, а скачками, т. е. дискретно (рис.16)

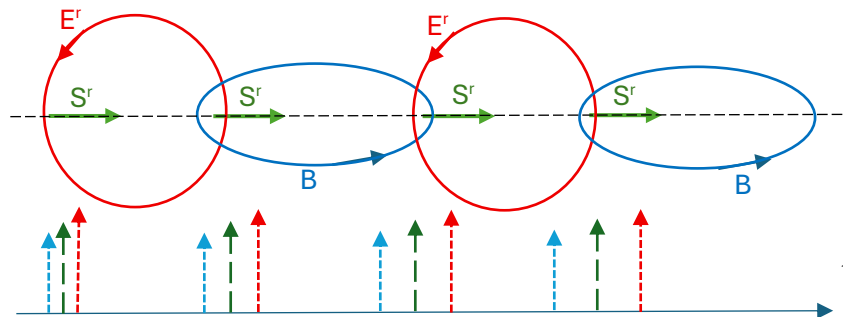


Рис.16 Дискретное перемещение вектора \vec{S}^r

В случае изменения параметров траектории перемещения вектора \vec{S}^r меняется период Δt дискретности, что сказывается на *частоте* перемещения вектора в пространстве. Это ведет к смещению линии спектра вектора \vec{S}^r от начальной частоты f_0 источника излучения.

Важно отметить, что несмотря на изменение амплитуды вектора \vec{S}^r (рис.16) как по направлению движения, так и в противоположную сторону, закон сохранения энергии выполняется. Это обеспечивается тем, что среднее значение вектора \vec{S}_{cp}^r за период дискретности остается неизменным независимо от вариаций его мгновенной величины Δt_i

$$\vec{S}_{cp}^r = \frac{1}{\Delta t_i} \int_0^{\Delta t_i} |\vec{S}^r|(t) = const \quad (99)$$

Математически перемещение вектора \vec{S}^r в пространстве можно представить в виде последовательности δ -импульсов с амплитудой S и периодом дискретности Δt (рис.17)

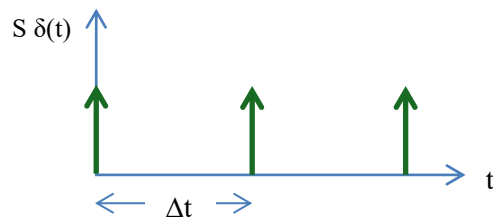


Рис.17 Модель возбуждения

Воздействие такого δ -импульса кратковременно переводит пространство в возбужденное состояние, что влечет за собой реакцию пространства как физической среды. В общем случае для описания поведения пространства как физического объекта может быть использовано колебательное звено второго порядка с передаточной функцией [16]

$$W(p) = \frac{1}{T^2 p^2 + 2\zeta T p + 1} \quad (100)$$

где p – оператор Лапласа; T - период затухания свободных колебания; ζ - параметр затухания ($0 \leq \zeta < 1$).

Для краткости изложения можно воспользоваться выкладками, приведенными в [17].

В соответствии с ними *возможная* реакция пространства как звена (100) на воздействие временного импульса $S \cdot \delta(t)$ может быть описана функцией вида $S^r(x)$

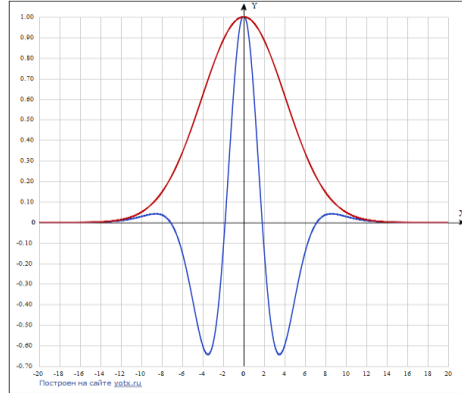


Рис. 8 Пространственная функция $S^r(x)$ и её огибающая (-)

Учитывая то, что последовательность импульсов $S \cdot \delta(t)$ квантована по амплитуде и дискретна по времени, можно представить электромагнитное излучение как «порционную доставку» энергии с помощью колоколообразных импульсов мощности через пространство.

Зависимость смещения спектра излучения от скорости может приводить к такому явлению как «невидимость» объекта: при высокой скорости источника спектр излучения на стороне приёмника смещается за пределы оптического диапазона, вследствие чего объект перестает быть видимым.

Изложенное позволяет пересмотреть понимание **скорости света**. Традиционно считается, что она неизменна и определяется через постоянные пространства $c = 1 / \sqrt{\epsilon_0 \mu_0}$. Данное значение скорости соответствует скорости распространения *динамического градиентного поля* S^r , формируемого векторами \vec{S}^r Умова-Пойнтинга. Именно это поле служит основой для электромагнитного поля в целом, которое представляет собой суперпозицию двух динамических полей: градиентного S^r и вихревого R .

Наличие вихревой компоненты в виде динамического поля R влияет на скорость распространения полного поля. В силу этого обстоятельства его скорость будет определяться продольной скоростью $\vec{v}_{||}$ поля, которая на основании (96) оказывается *меньше* ($v_{||} < c$) принятого значения скорости света.

По мнению автора, необходимо разграничивать скорости распространения в пространстве динамического градиентного поля S^r и электромагнитного поля в целом. Во избежание путаницы предлагается интерпретировать **скорость света** как скорость *формирования* электромагнитного поля, а не как скорость его *перемещения*. Такой подход позволит в дальнейшем избежать разночтения в понимании физической сути скорости света.

Заключение

1. Пространство является **активной** материальной средой, свойства которой определены Положением. Данное положение базируется на законе сохранения энергии и основных законах материалистической диалектики: единство и борьба противоположностей, переход количества в качество и отрицание отрицания. Положение не просто постулирует наличие полей, а выводит их как *иерархическую цепочку реакций* среды.

2. Активность пространства проявляется в стремлении сохранить свое невозмущенное состояние динамического покоя. Это достигается путем преобразования структуры и формы первичного поля, что создает препятствия для его возмущения. По сути, описывается первый закон Ньютона в приложении к материи как таковой.

3. Изменение формы градиентного электрического поля с шарообразной на эллипсоидную при движении в пространстве обусловлено активностью пространства по сохранению его энергетической симметрии — инвариантностью изотропности пространства. Проявление этого свойства в статике и динамике подтверждает всеобщность закона сохранения энергетической симметрии поля.

4. Как в статике, так и в динамике существует три типа структур электродинамического поля: градиентное, вихревое и гибридное. Трансформация этих полей из одной структуры в другую описывается уравнениями Максвелла, представленными в (95). По мнению автора, именно такая трактовка этих уравнений наиболее полно отвечает их физической сути.

5. Предлагаемая формулировка (95) уравнений Максвелла описывает весь спектр электродинамических полей, включая электромагнитное, которого нет в классической форме их представления. Приведенные там операторы дивергенции используются только для описания свойств полей, участвующих в преобразованиях.

6. Уравнение (95a) наглядно описывает правило Ленца, тогда как уравнение (95b) по-прежнему соответствует закону Фарадея, хотя знак «-» перенесен в левую часть. Это сделано с целью показать, что ротор $-\nabla \times E^r$ описывает левостороннее вращение, в отличие от других уравнений, представленных в системе уравнений (95).

7. Традиционно представление вектор Умова-Пойнтинга сводилось к вектору \vec{S}_\perp , который расположен в плоскости электрического поля \vec{E}_\perp и направлен к его истоку. Предлагаемое расширение сводится к добавлению ещё двух векторов: вектора \vec{S}_\parallel , направленного вдоль оси движения поля, и вектора \vec{S}^r , указывающего на направление распространения электромагнитного поля в пространстве.

8. При перемещении градиентного электрического поля E^g между его компонентами \vec{E}_\parallel^g и \vec{E}_\perp^g происходит обмен энергией, который отражен с помощью векторов Умова-Пойнтинга \vec{S}_\parallel и \vec{S}_\perp . Вектор \vec{S}_\parallel свидетельствует об убыли энергии из поля \vec{E}_\parallel^g , тогда как наличие

вектора \vec{S}_\perp следует воспринимать как приток энергии в плоскость поля \vec{E}_\perp^g , которая расходуется на приведение последнего во вращение. Наличие вращения электрического поля \mathbf{E} проявляется в виде магнитного поля \mathbf{B} .

8. Вектор Умова-Пойнтинга \vec{S}^r составляет основу динамического градиентного поля \mathbf{S}^r . Это поле вследствие своего движения в пространстве формирует динамическое вихревое поле \mathbf{R} . Суперпозиция этих двух полей в итоге дает динамическое гибридное поле – **электромагнитное**.

9. В Положение следует добавить пункт, относящейся к возбуждению пространства:

8. *Пространство стремится сохранить свое невозбуждённое состояние в локальной области путем сброса энергии возбуждения в виде динамического гибридного поля. Распространением этого поля пространство стремится предотвратить накопление избыточной энергии в локальной области, чтобы удержать своё состояние энергетического минимума.*

10. Ввиду винтовой траектории распространения электромагнитного поля в пространстве его продольная скорость $v_{||}$ меньше принятой скорости света $v_{||} < c$, тогда как скорость формирования самого электромагнитного поля остается неизменной $c = 1/\sqrt{\epsilon_0\mu_0}$.

Таким образом, представленная концепция пространства и полей носит натурфилософский характер. Это позволяет успешно объединить классическую физику полей, законы сохранения и диалектическую логику, подтверждая её объективность. Концепция дает ответ на вопрос «почему возникают поля?», определяя их как форму существования энергии возмущения в активной среде — пространстве. Предложенное понимание пространства не противоречит существующим фундаментальным законам: они сохраняются, меняется лишь **интерпретация** их физической сути.

В рамках концепции дано объяснение релятивистским эффектам без применения аппарата СТО и введения её специфических постулатов. Отказ от избыточных сущностей вполне соответствует методологическому принципу «Бритва Оккама», что подтверждает целесообразность данной концепции и заслуживает внимания.

Обобщение изложенного позволяет расширить трактовку первого закона Ньютона: **пространство стремится сохранить свое состояние динамического покоя путем создания полей, способствующих удержанию этого состояния на энергетическом минимуме.**

Источники:

- [1] https://ru.wikipedia.org/wiki/Электрический_заряд
- [2] <https://esperanto.mv.ru/wiki/Марксизм/СущностьИЯвление>
- [3] [https://ru.wikipedia.org/wiki/Эфир_\(физика\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Эфир_(физика))
- [4] [https://ru.wikipedia.org/wiki/Поле_\(физика\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Поле_(физика))
- [5] https://ru.wikipedia.org/wiki/Эйнштейновский_вакуум
- [6] <https://ru.wikipedia.org/wiki/Вакуум>
- [7] <http://shipov-vacuum.com/>
- [8] Ленин В. И. Материализм и эмпириокритицизм. Полное собрание сочинений, 5 изд., т. 18. М.: Политиздат, 1968.
- [9] https://ru.wikipedia.org/wiki/Силовые_линии_векторного_поля
- [10] Иродов И.Е. Электромагнетизм. Основные законы. 6-е изд., испр. – М.: Лаборатория знаний, 2007.
- [11] https://ru.wikipedia.org/wiki/Теорема_разложения_Гельмгольца
- [12] https://ru.wikipedia.org/wiki/Вектор_Умова_—_Пойнтинга
- [13] Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике, т. 6, Электродинамика. М.: Мир, 1977.
- [14] Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. М.: Наука, 1981.
- [15] https://ru.wikipedia.org/wiki/Красное_смещение
- [16] Бесекерский В. А., Попов Е. П. Теория систем автоматического регулирования. "Наука", главная редакция физико-математической литературы, 1972.
- [17] Бекбудов Р.С. Левитационная модель атома.
http://www.sciteclibrary.ru/yabb26/Attachments/Model_of_atom.pdf