

# «Механические» основы уравнений Максвелла

(аналитическое исследование)

**Аннотация.** В статье дан логический и исторический анализ развития электродинамики. Показана связь между квазистатической электродинамикой и классической механикой. Показано, что Максвелл неосознанно ввел мгновенные потенциалы в свои уравнения. Незнание этого факта привело к фатальной ошибке, которая в дальнейшем положила начало кризису физики (XIX – XX в.). Этот факт был обнаружен недавно. Исправление ошибки позволяет разделить электродинамику на две независимые ветви. Первая ветвь есть квазистатическая электродинамика. Показано, что решение проблемы электромагнитной массы существует только в квазистатической электродинамике. Вторая ветвь есть волновая электродинамика. Показано, что в общем случае решение может содержать продольные и поперечные волны. Найдено условие, при котором продольные волны в решениях не возникают. Из условия следует, что электромагнитные волны излучаются виртуальными зарядами. Масса покоя виртуальных зарядов равна нулю. Ставится проблема взаимодействия инерциальных зарядов с электромагнитной волной в рамках классических теорий.

## Оглавление

- Введение
- От экспериментов Фарадея к уравнениям Максвелла
- Свойства непрерывных полей зарядов
- Гениальное решение Максвелла
- Фатальная ошибка физиков 19 века
- Квазистатическая ветвь электродинамики
- Волновая ветвь электродинамики
- Виртуальные заряды в электродинамике
- Заключение
- Приложение 1
- Приложение 2

## 1. Введение

Ученые стремятся вперед, к новым открытиям. Но иногда полезно остановиться и повторно проанализировать путь, пройденный наукой. Спешка, возникающая из желания исследователя сделать «открытие», не всегда ведет к желаемым результатам. Здание науки должно строиться на *прочном* основании. Поэтому проверка корректности оснований науки и логической

непротиворечивости ее содержания есть *необходимое условие* ее поступательного развития. Мы проведем краткий анализ электродинамики от Максвелла до наших дней.

## 2. От экспериментов Фарадея к уравнениям Максвелла

Максвелл совершил научный подвиг, описав явления электродинамики в своих уравнениях. История скрывает много загадок. Прошло много времени. Сейчас нам трудно восстановить логику суждений Максвелла, его мысли и сомнения. Но есть математические теории (теория потенциала, например), которые открывают возможность анализа и косвенно могут пролить свет на исторические события.

Перед Максвеллом стояла сложная задача. Ему были известны работы Эрстеда, законы Кулона, законы Ампера и исследования Фарадея. Это очень мало, если учесть, что Фарадей практически не использовал математику, ограничиваясь словесными описаниями экспериментов и выводами. Мы должны заметить, что в тот период ученые имели дело с квазистатическими явлениями. Измерительные приборы не позволяли уловить запаздывание электромагнитных полей.

Мы выбрали путь, который в определенном смысле «параллелен» рассуждениям Максвелла. Прежде всего, отметим важную аналогию между квазистатическими явлениями электродинамики и теорией тяготения, поскольку потенциалы этих полей описываются уравнением Пуассона. Это позволяет нам использовать классическую теорию потенциала, развитую для теории тяготения Ньютона.

Итак, покоящееся заряженное тело создает вокруг себя электростатическое поле. Поле есть образная физическая *модель* (отражение фрагмента реальности), позволяющая нам дать умозрительное представление и на основе аналогии представить картину физических явлений и процессов. Это поле обладает *энергетическими* и *силовыми* свойствами.

**Определение 1.** Потенциал электрического поля *покоящегося* заряда в данной точке пространства это энергетическая характеристика поля **покоящегося** заряда в этой точке. Потенциал численно равен работе, которую мы должны совершить, чтобы переместить пробный (единичный, положительный, точечный) заряд из бесконечности в данную точку пространства.

**Определение 2.** Напряженность электрического поля *неподвижного* заряда в некоторой точке пространства есть силовая характеристика поля. Она численно равна силе, которая будет действовать на пробный (единичный, положительный, точечный) заряд, **покоящийся** в данной точке пространства **в системе отсчета наблюдателя**.

Выделенные слова отражают весьма важный момент. Отсутствие слова «покоящийся» в старых определениях приводило к противоречиям и позволяло релятивистам сделать ошибочный вывод о неспособности классических теорий объяснить магнитные явления.

Теория потенциала часто использует понятие *точечного* заряда. Это заряженное тело, которое в условиях рассматриваемой физической задачи имеет пренебрежимо малый размер. Отметим, что заряженное тело «точечного размера» имеет конечную инерциальную массу покоя и величину электрического заряда.

В физике и в теории потенциала имеет место *закон сохранения заряда*. Точечный заряд не исчезает и не возникает. Он не «расползается» в пространстве под действием расталкивающих кулоновских сил. Кулоновские силы «уравновешены» силами не электростатического происхождения. Эти силы обеспечивают заряду устойчивость. Если заряженное точечное тело движется со скоростью  $\mathbf{v}$ , то  $\operatorname{div} \mathbf{v} = 0$ .

Помимо этого, если *точечное* заряженное тело *вращается вокруг своей оси*, вокруг него не возникает движения скалярного потенциала и, соответственно, не возникает магнитного поля, т.е.  $\operatorname{rot} \phi = 0$ .

Это свидетельство важного факта. При движении заряда его поле движется только **поступательно** независимо от характера и кривизны траектории. Каждая точка потенциала точечного заряда в пространстве **всегда имеет одинаковый с зарядом вектор скорости**. Иными словами, все точки потенциала имеют *один и тот же вектор скорости* одновременно

независимо от траектории движения заряда. Потенциал заряда не совершает *вращательного* движения относительно своего центра масс. Это утверждение справедливо для любой **безграничной** среды.

Теперь, закончив формальную сторону, мы можем насладиться математикой.

### 3. Свойства непрерывных полей зарядов

Как и Максвелл, мы на первом этапе не будем считать, что поля являются запаздывающими. Как уже мы говорили выше, у нас для этого нет достаточных оснований. *Условно* мы можем рассматривать потенциал заряженной частицы как некую «среду» и можем воспользоваться результатами механики сплошных сред [1].

**Замечание.** Обычные «материальные среды» (твердые протяженные тела, объемы жидкостей или газовые среды) состоят из элементарных частиц, в состав которых входят заряженные частицы со своими полями. Отрывать эти скалярные и векторные поля от самих частиц есть глупость. Поэтому преобразование Лоренца, как и преобразование Галилея применимо к сплошным средам и к квазистатическим потенциалам заряженных частиц. Позже мы обсудим *предрассудок*, утверждающий, что все без исключения поля являются в рамках релятивистских представлений *запаздывающими* и покажем его ошибочность. Мгновенные потенциалы есть неизбежный элемент *любой* материальных сред.

Итак, скалярный потенциал заряженного тела, как известно, удовлетворяет уравнению Пуассона:

$$\Delta\phi = -\rho/\epsilon$$

**Уравнение непрерывности для скалярного потенциала.** Уравнение непрерывности скалярного потенциала имеет вид:

$$\frac{\partial\phi}{\partial t} + \operatorname{div}\mathbf{v}\phi = 0 \quad (3.1)$$

Это известное уравнение. Мы можем ввести векторный потенциал  $\mathbf{A}$ . Пусть  $\mathbf{A} = \phi\mathbf{v}/c^2$ , тогда мы можем записать новую форму уравнения непрерывности:

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial\phi}{\partial t} + \operatorname{div}\mathbf{A} = 0 \quad (3.2)$$

В электродинамике это условие обычно называют условием калибровки Лоренца. Мы напоминаем, что потенциал поля точечного заряда движется всегда поступательно, т.е. все точки потенциала  $\phi$  имеют *одну и ту же скорость*.

**Уравнение сохраняемости векторных трубок и их интенсивности** [1]. Для некоторого произвольного вектора  $\mathbf{a}$  это уравнение имеет вид:

$$\frac{\partial\mathbf{a}}{\partial t} + \mathbf{v}\operatorname{div}\mathbf{a} + \operatorname{rot}[\mathbf{a} \times \mathbf{v}] = 0 \quad (3.3)$$

Если мы заменим вектор  $\mathbf{a}$  векторным потенциалом  $\mathbf{E}_q = -\operatorname{grad}\phi$ , то можем записать:

$$\frac{\partial\operatorname{grad}\phi}{\partial t} + \mathbf{v}\Delta\phi + \operatorname{rot}[\operatorname{grad}\phi \times \mathbf{v}] = \frac{\partial\operatorname{grad}\phi}{\partial t} + \mathbf{v}\Delta\phi + \operatorname{rot}(\phi\mathbf{v}) = 0. \quad (3.4)$$

Мы введем следующие обозначения:

$$\mathbf{H} = \frac{1}{\mu} \operatorname{rot}\mathbf{A}; \quad \mathbf{E}_q = -\operatorname{grad}\phi; \quad \mathbf{j} = \rho\mathbf{v}$$

где:  $\mathbf{E}_q = -\operatorname{grad}\phi$  есть кулоновское электрическое поле.

Окончательная форма уравнения (3.4) имеет вид:

$$\operatorname{rot}\mathbf{H} = \varepsilon \frac{\partial \mathbf{E}_q}{\partial t} + \mathbf{j}; \quad (3.5)$$

**Стороннее электрическое поле** (фарадеевское поле) [2]. При движении скалярного потенциала относительно неподвижного наблюдателя наблюдатель обнаружит «добавку» к напряженности поля. Эта добавка есть *стороннее электрическое поле*. Напряженность стороннего поля равна:

$$\mathbf{E}_f = -\frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t}. \quad (3.6)$$

Сторонним это поле является потому, что оно не может быть выражено в форме градиента потенциала электростатического поля  $\mathbf{E}_q$ , т.е. поле  $\mathbf{E}_f$  не имеет электростатического происхождения. Сторонняя ЭДС есть результат движения поля скалярного потенциала относительно покоящегося пробного заряда в системе отсчета наблюдателя. Нетрудно показать, что имеет место тождество:

$$\operatorname{rot}\mathbf{E}_f = -\mu \operatorname{rot} \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} = -\mu \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} \quad (3.7)$$

Это тождество получило название «закон Фарадея». Обычно к фарадеевскому полю  $\mathbf{E}_f$  добавляют кулоновское поле  $\mathbf{E}_q$ . Мы этого делать не будем, поскольку такой шаг не вносит новой информации и нарушает общую логику объяснения.

Если бы Максвелл следовал законам теории потенциала и механики сплошных сред, он записал бы следующую систему уравнений:

$$\operatorname{rot}\mathbf{H} = \varepsilon \frac{\partial \mathbf{E}_q}{\partial t} + \mathbf{j}; \quad \operatorname{rot}\mathbf{E}_f = -\mu \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t}; \quad \operatorname{div}\mathbf{E}_q = -\frac{1}{\varepsilon} \Delta\phi = \frac{\rho}{\varepsilon} \quad (3.8)$$

$$\text{где: } \mathbf{H} = \frac{1}{\mu} \operatorname{rot}\mathbf{A}; \quad \mathbf{E}_q = -\operatorname{grad}\phi; \quad \mathbf{E}_f = -\frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t}; \quad \mathbf{j} = \rho\mathbf{v}$$

Система уравнений (3.8) превосходно описывает квазистатические явления. Все поля и потенциалы имеют мгновенно действующий характер. В первое уравнение (3.8) входит ток смещения  $\mathbf{j}_q = \varepsilon \frac{\partial \mathbf{E}_q}{\partial t}$ , который создается кулоновским полем. Ток смещения  $\mathbf{j}_f = \varepsilon \frac{\partial \mathbf{E}_f}{\partial t}$  отсутствует. В тот период механика сплошных сред находилась в стадии становления, и Максвеллу пришлось самостоятельно решать задачу введения токов смещения, опираясь на логику и интуицию.

## 4. Гениальное решение Максвелла

Рассмотрим хронологию событий.

**1855 г.** Джеймс Максвелл дал первую математически обоснованную формулировку теории электромагнетизма **без учета токов смещения**.

**1861—1862 г.** Джеймс Максвелл опубликовал статью в 2 частях «О физических силовых линиях» [3], в которых он впервые ввел ток смещения.

Обратите внимание на период 6 лет. Максвелл долго искал окончательную формулировку своих уравнений. Проблема была действительно сложная.

В одной стороны, на него влиял авторитет механики Ньютона (мгновенное действие на расстоянии). Чтобы реализовать мгновенное действие в уравнениях, он мог бы ввести только «кулоновский» ток смещения  $\mathbf{j}_{bc} = \mathbf{j}_q = \varepsilon \frac{\partial \mathbf{E}_q}{\partial t}$ . В этом случае он получил бы систему

квазистатических уравнений (3.8). С другой стороны, он должен был учитывать мнение Фарадея, который считал, что поля распространяются в пространстве с конечной скоростью. Мнение Фарадея оказалось более сильным. Максвелл записал ток смещения как сумму кулоновского и фарадеевского токов смещения

$$\mathbf{j}_{bc} = \mathbf{j}_q + \mathbf{j}_f = \varepsilon \frac{\partial \mathbf{E}_q}{\partial t} + \varepsilon \frac{\partial \mathbf{E}_f}{\partial t}. \quad (4.1)$$

Благодаря работам Хевисайда, Лоренца и других ученых сейчас уравнения Максвелла в калибровке Лоренца для электромагнитных потенциалов имеют следующий вид:

$$\Delta \mathbf{A} - \frac{\partial^2 \mathbf{A}}{\partial (ct)^2} = -\mu \mathbf{j}; \quad \Delta \phi - \frac{\partial^2 \phi}{\partial (ct)^2} = -\frac{\rho}{\varepsilon}; \quad \mathbf{j} = \rho \mathbf{v}; \quad \operatorname{div} \mathbf{A} + \frac{1}{c^2} \frac{\partial \phi}{\partial t} = 0$$

$$\mathbf{E} = -\operatorname{grad} \phi - \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t}; \quad \mathbf{H} = \operatorname{rot} \mathbf{A} \quad (4.2)$$

**Первое заблуждение.** Волновая форма уравнений (4.2) для электромагнитных потенциалов обманчива. Ученые, даже не задумываясь, приходят к следующему выводу. Потенциалы  $\mathbf{A}$  и  $\phi$  являются решениями волновых уравнений, и они **всегда** являются запаздывающими потенциалами. Это *заблуждение* имеет место даже сейчас.

На самом деле Максвелл, сохранив кулоновский ток смещения  $\mathbf{j}_{bc} = \mathbf{j}_q + \mathbf{j}_f$ , тем самым сохранил *мгновенное действие на расстоянии* в «скрытой форме». Ни он сам, ни его последователи так и *не осознали* этого. Мы покажем, что *непонимание этого факта* способствовало с одной стороны бурному развитию радиосвязи, с другой стороны оно спровоцировало кризис физики в начале XX века.

**Второе заблуждение.** Это заблуждение связано с предельным переходом от волновых уравнений (4.2) к квазистатическим уравнениям. Считается, что уравнения квазистатической электродинамики достаточно легко получить из (4.2), если в уравнениях устремить скорость света  $c$  к бесконечности. С формально-математической точки зрения это утверждение справедливо. Уравнение (4.2) получает «квазистатическую» форму:

$$\Delta \mathbf{A} = -\mu \mathbf{j}; \quad \Delta \phi = -\frac{\rho}{\varepsilon}; \quad \mathbf{j} = \rho \mathbf{v}; \quad \operatorname{div} \mathbf{A} + \frac{1}{c^2} \frac{\partial \phi}{\partial t} = 0; \quad \mathbf{E} = -\operatorname{grad} \phi - \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t}; \quad \mathbf{H} = \operatorname{rot} \mathbf{A}$$

Но это утверждение является ошибочным для физики. Действительно, мы хорошо знаем, что  $c^2 = 1/\varepsilon\mu$ . Следовательно, мы можем получить предел  $c \rightarrow \infty$  двумя способами.

- Если  $\varepsilon \rightarrow 0$ , тогда  $c \rightarrow \infty$ . Однако, мы «теряем» закон Кулона, без которого невозможно описать квазистатические явления.
- Если  $\mu \rightarrow 0$ , тогда  $c \rightarrow \infty$ . Однако, мы «теряем» закон Фарадея, без которого также невозможно описать квазистатические явления.

Таким образом, хотя предельный переход  $c \rightarrow \infty$  существует, он неприменим с точки зрения описания физических явлений. Это косвенно свидетельствует о *независимости* волновых полей и квазистатических полей зарядов. В Приложении 1 дана сравнительная таблица свойств запаздывающих полей и мгновенных полей. Остается удивляться: почему эти факты физики игнорируют?

## 5. Фатальная ошибка физиков XIX века

Начиная с середины 19 века обстановка в науке начала кардинально меняться.

1. Развитие промышленной механики способствовало общему техническому прогрессу. Стала интенсивно развиваться техника эксперимента и расширилась база измерительных приборов.
2. Сообщество ученых пополнилось молодыми энергичными учеными, которые искали славы и жаждали новых открытий. Юношеский максимализм не позволял им искать компромиссы. Это состояние поддерживалось революционными настроениями в обществе и в среде молодежи, порожденными в тот период революционной теорией Маркса.
3. Развитие техники эксперимента привело к новым многочисленным экспериментальным открытиям.

Вот некоторые из этих открытий:

- **1881 г.** Американский физик Майкельсон провел измерение скорости «эфирного ветра». Позже Майкельсон и Эдвард Морли повторили опыт несколько раз с возрастающей точностью, но результат был неизменно отрицательным — «эфирного ветра» не существовало.
- **1888 г.** Г. Герц. Экспериментальное обнаружение электромагнитных волн и подтверждение уравнений Максвелла.
- **1895 г.** Открытие рентгеновского излучения (В. К. Рентген)
- **1896 г.** Открытие радиоактивности (А. А. Беккерель). Эффект Зеемана.
- **1896 г.** А. Попов, Маркони. опыты по передаче и приему электромагнитных волн.
- **1897 г.** Открытие Дж. Дж. Томсоном электрона.
- **1898 г.** Открытие радия (П. и М. Кюри)
- **1899 г.** Разделение радиоактивного излучения на компоненты: альфа-, бета- и гамма-излучение (П. Виллар, Э. Резерфорд).
- **1911 г.** Открытие сверхпроводимости металлов (Х. Камерлинг-Оннес).
- **1919 г.** Искусственная ядерная реакция, открытие протона (Э. Резерфорд)
- **1921 г.** Открытие ядерной изомерии (О. Ган) и др.

Следует отметить, что в тот период шла ожесточенная и бескомпромиссная борьба между сторонниками близкодействия и сторонниками мгновенного действия на расстоянии. Открытие Г.Герца и последующее широкое использование электромагнитных волн в радиосвязи склонило чашу весов на сторону теории близкодействия.

Старая классическая физика в руках молодых и неопытных ученых не позволяла дать объяснение новым экспериментальным результатам. Молодые ученые «увидели» главную причину в том, что старая классическая механика использует мгновенное действие на расстоянии. Они быстро признали классическую механику «устаревшей» из-за мгновенного действия на расстоянии. Коллективными усилиями мгновенное действие на расстоянии было изгнано из физики, как *ошибочное представление*.

Этот шаг стал одной из главных **фатальных ошибок**, которые спровоцировали кризис в физике на границе XIX – XX веков. Ошибок не избежали СТО, ОТО и другие теории. Ученые полагали, что новейшие теории, которые они начали создавать, помогут «исправить» классические теории и обеспечат прогресс в области научных исследований.

Этим надеждам не удалось сбыться. Сами новейшие теории (квантовые теории, теория элементарных частиц, КЭД и др.) не могли решить главные проблемы классической электродинамики: проблему электромагнитной массы и проблему «самоускорения» излучающего электрона. Новые теории сами столкнулись с проблемами. Оказалось, что многие проблемы в «новых теориях» имеют «классические корни» [4]. Поэтому часть ученых начала периодически обращаться к анализу старой физики, чтобы понять причины и устранить их.

До кризиса строгая старая физика напоминала красивого Аполлона. Она опиралась на материалистическое мировоззрение. После изгнания мгновенного действия на расстоянии философия материализма была вытеснена из физики *позитивистскими философиями*. Физика стала похожа на Аполлона с ампутированной ногой.

## 6. Квазистатическая ветвь электродинамики

**Скрытый мгновенный потенциал.** В четвертом параграфе мы установили, что мгновенные потенциалы в уравнениях Максвелла присутствуют в «скрытой» форме. Другими словами, мы можем задать такие условия, при которых решение системы уравнений (4.2) будет содержать мгновенные потенциалы. Это удобно показать, если записать потенциалы уравнения Максвелла в форме 4-потенциалов [5].

$$\frac{\partial^2 A_i}{\partial x_i^2} = -\mu j_i \quad (6.1); \quad \frac{\partial A_i}{\partial x_i} = 0 \quad (6.2); \quad \frac{\partial j_i}{\partial x_i} = 0 \quad (6.3)$$

где:  $u_i = dx_i / ds$ ;  $j_i = c r u_i$ ;  $A_i = \phi u_i / c$ .

Уравнения Максвелла описываются выражением (6.1); условие калибровки Лоренца – выражение (6.2); уравнение непрерывности для 4-вектора тока – (6.3). Это стандартная запись употребляется во многих учебниках.

Нас будут интересовать два выражения: условие (6.2) и 4-вектор  $A_i$ . Классические аналоги этих выражений имеют вид:

$$\operatorname{div} \mathbf{A}_0 + \frac{1}{c^2} \frac{\partial \phi_0}{\partial t} = 0 \quad (6.4); \quad \mathbf{A}_0 = \phi_0 \mathbf{v} / c^2 \quad (6.5)$$

Чтобы избежать путаницы, мы будем присваивать мгновенным потенциалам индекс «0». Выражение (6.5) закрепляет «жесткую связь» между скалярным и векторным потенциалами. Напомним, что мгновенный скалярный потенциал способен совершать только поступательное (прямолинейное или криволинейное) движение в пространстве.

Легко убедиться, что при подстановке выражения (6.5) в условие калибровки Лоренца (6.4) мы получим уравнение непрерывности для скалярного потенциала  $\phi_0$ .

$$c^2 \operatorname{div} \mathbf{A}_0 + \frac{\partial \phi_0}{\partial t} = \operatorname{div} \mathbf{v} \phi_0 + \frac{\partial \phi_0}{\partial t} = 0 \quad \text{или} \quad \frac{\partial \phi_0}{\partial t} + \operatorname{div} \mathbf{v} \phi_0 = 0 \quad (6.6)$$

Теперь мы можем исключить частные производные из уравнений Максвелла. Для иллюстрации рассмотрим скалярный потенциал точечного инерционного заряда, который перемещается вдоль оси  $x$  со скоростью  $\mathbf{v}$ . Используя (6.6), можно найти следующие выражения<sup>1</sup>:

---

<sup>1</sup> См. параграф 2.

$$\frac{\partial \phi_0}{\partial t} = -\operatorname{div} \mathbf{v} \phi_0 = -v \frac{\partial \phi_0}{\partial x};$$

$$\frac{\partial^2 \phi_0}{\partial t^2} = -\frac{\partial}{\partial t} \left( v \frac{\partial \phi_0}{\partial x} \right) = -v \frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial \phi_0}{\partial t} - \frac{\partial \phi_0}{\partial x} \frac{\partial v}{\partial t} = v^2 \frac{\partial^2 \phi_0}{\partial x^2} - \frac{\partial \phi_0}{\partial x} \frac{\partial v}{\partial t} \quad (6.7)$$

Если заряд движется с постоянной скоростью  $\mathbf{v}$ , тогда выражение (6.7) можно упростить

$$\frac{\partial^2 \phi_0}{\partial t^2} = v^2 \frac{\partial^2 \phi_0}{\partial x^2} \quad (6.8)$$

Используя (6.8), приведем *волновое уравнение* для скалярного потенциала к уравнению пуассоновского (*эллиптического*) типа

$$\frac{\partial^2 \phi_0}{\partial x^2} \left( 1 - \frac{v^2}{c^2} \right) + \frac{\partial^2 \phi_0}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi_0}{\partial x^2} = -\frac{q}{4\pi\epsilon a^2 \sqrt{1 - (v/c)^2}} \delta(x - vt; y; z) \quad (6.9)$$

Решением уравнения (6.9) является скалярный потенциал  $\phi_0$ :

$$\phi_0 = \frac{q}{4\pi\epsilon \sqrt{(x - vt)^2 + (1 - v^2/c^2)(y^2 + z^2)}} \quad (6.10)$$

Этот потенциал  $\phi_0$  является мгновенным. Мы обращаем внимание на то, что выражение (6.10) мы можем получить другим путем. Мы можем, например, применить преобразование Лоренца к потенциалу покоящегося заряда. Аналогичные выражения можно получить для векторного потенциала  $\mathbf{A}_0$ , если примем во внимание замечания, изложенные в параграфе 3.

**Электромагнитная масса заряда.** В электродинамике существовали две нерешенные проблемы. Первая проблема есть проблема электромагнитной массы. Оказывается, что проблема электромагнитной массы имеет корректное решение при использовании мгновенных потенциалов. Мы приведем без доказательства закон сохранения энергии Умова [5]. Закон вытекает из уравнений Максвелла (6.1) – (6.3) при условии *жесткой связи* скалярного и векторного потенциалов. Закон Умова имеет стандартный вид:

$$\operatorname{div} \mathbf{S}_u + \frac{\partial w_0}{\partial t} = 0 \quad (6.11)$$

где:  $w_0 = \frac{\rho_0 \phi_0}{2\sqrt{1 - (v/c)^2}}$  - плотность энергии поля заряда;  $\mathbf{S}_u = \mathbf{v} w_0$  - плотность потока энергии

поля скалярного потенциала (поток Умова).

Отсюда вытекают следующие результаты:

$$m_e = \int \frac{1}{c^2} w_0 dV = \int \frac{\rho_0 \phi_0}{2c^2 \sqrt{1 - (v/c)^2}} dV = \frac{m_0}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} \text{ есть электромагнитная масса релятивистского}$$

заряда, «зависящая от скорости;  $m_0 = \int \frac{\rho_0 \phi_0}{2c^2} dV$  - электромагнитная масса покоящегося заряда.

$$\mathbf{P}_e = \int \frac{\mathbf{S}_u}{c^2} dV = \int \frac{\rho_0 \phi_0 \mathbf{v}}{2c^2 \sqrt{1 - (v/c)^2}} dV = \frac{m_0 \mathbf{v}}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} \text{ есть электромагнитный импульс заряда.}$$

Итак, электромагнитная масса поля заряда  $m_e$  обладает всеми свойствами обычной инерциальной массы.

**Замкнутая система инерциальных зарядов.** Выявление независимой квазистатической ветви в классической электродинамике было плодотворным не только для решения проблемы



электромагнитной массы. Оказалось, что можно построить последовательную (без гипотез) релятивистскую теорию взаимодействия инерциальных зарядов [5].

Более того, была обнаружена ошибка в учебниках по современной электродинамике, например в [6]. Эта ошибка связана с некорректным переходом от релятивистской функции Лагранжа, описывающей взаимодействие двух зарядов к нерелятивистской функции Лагранжа.

Мы покажем это. Мы рассмотрим взаимодействие двух зарядов и введем индексы в скобках для обозначения величин, относящихся к первому и второму зарядам. Считается [6], что функция  $L_{\text{int}} = e_1 u_i^{(1)} A_i^{(2)}$  имеет пределом классическую функцию  $L_{\text{int}} = -e_1 \phi_2 + e_1 \mathbf{v}_1 \mathbf{A}_2$ . Это неверный результат. Более того, он не инвариантен даже относительно преобразования Галилея!

Правильный результат имеет следующий вид:

$$L_{\text{int}} = e_1 c u_i^{(1)} A_i^{(2)} = e_1 u_i^{(1)} \phi_2 u_i^{(2)} = \frac{e_1 e_2}{4\pi\epsilon R_{12}} u_i^{(1)} u_i^{(2)} \approx -\frac{e_1 e_2}{4\pi\epsilon R_{12}} \left[ 1 + \frac{(\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_2)^2}{2c^2} \right] \quad (6.11)$$

Мы не обвиняем ученых в «невежестве». Мы виним их за стремление «спрятать» от читателя проблемы и трудности в научных теориях!

Оказывается, что в силу инвариантности выражения (6.11) относительно преобразования Галилея замкнутая система заряженных частиц прекрасно «вписывается» в классическую механику. Благодаря этому магнитные явления имеют непротиворечивое объяснение. Найдено решение многих парадоксов. В том числе последовательное объяснение получило явление униполярной индукции Фарадея [5] и других магнитных.

Эти благоприятные результаты привели к необходимости поставить по-новому проблему излучения. Как известно, замкнутая консервативная система электрических зарядов не излучает и не поглощает энергию электромагнитных волн. Другими словами, **замкнутая система зарядов не может непосредственно взаимодействовать с электромагнитными волнами**. Это подтверждается экспериментами (См. Приложение 2). Следовательно, возникает проблема описания взаимодействия зарядов с электромагнитными волнами. О ней мы поговорим ниже.

**Принцип причинности.** Много ошибок в объяснении явлений физики связано с незнанием, непониманием или неумением использовать для анализа философские категории. Как следствие, у ученых возникают ложные представления, мешающие правильному развитию физики (заблуждения). Принцип причинности есть одна из малоизвестных категорий. Как показано в [7], имеют место две модели причинных связей.

Первая модель называется *диалектической моделью* причинности. Она справедлива, когда рассматриваются парные взаимодействия. Причиной является взаимодействие двух объектов. Следствие есть изменение состояния (импульс, кинетическая энергия, траектория и т.д.) обоих объектов.

Взаимодействие связано с непосредственным или опосредованным контактом между объектами. Если нет контакта, взаимодействие отсутствует. Мгновенное действие на расстоянии не противоречит диалектической модели причинности.

Вторая модель называется *эволюционной моделью* причинности. Она широко распространена среди ученых и ошибочно считается «единственной» моделью причинной связи. Эволюционная модель не рассматривает взаимодействие как причину. Модель рассматривает цепочку связанных между собой и обусловленных явлений. Первое явление считается «причиной». Фактически первое явление цепи может оказаться *поводом* для последующих явлений. Следствием считается явление, замыкающее причинную цепь.

**Скорость распространения взаимодействий.** Это понятие было введено Эйнштейном. Он опирался на преобразование Лоренца, в которое входил множитель  $1/\sqrt{1-(v/c)^2}$ .

Эйнштейновский «постулат» не корректен по следующим причинам. Атрибутом парного взаимодействия является непосредственный или опосредованный (через поля) *контакт*.

1. Если нет контакта, нет и взаимодействия.

2. Область контакта принадлежит обоим взаимодействующим объектам одновременно.
3. Следовательно, термин «скорость распространения взаимодействий» принадлежит не одному из взаимодействующих объектов, а именно этой области. Если контакта нет, тогда нет взаимодействия и бессмысленно говорить о скорости его распространения.

Термин «скорость распространения взаимодействий» есть *эмоциональное*, но не научное понятие. Поэтому в учебниках вы обнаружите массу попыток иллюстрировать постулат, но не найдете ни одного строгого определения этого понятия.

Мы дадим новое определение идеи Эйнштейна:

***В рамках преобразования Лоренца скорости инерциальных систем, физических объектов, материальных сред и мгновенных потенциалов не могут превышать скорость света.***

**Преобразование Лоренца и мгновенные потенциалы.** Теперь мы должны вернуться к параграфу 3 и продолжить обсуждение мгновенного действия на расстоянии. Преобразование Лоренца есть обычное алгебраическое преобразование. Оно не способно «превратить» мгновенные потенциалы в запаздывающие и обратно. Как мы убедились, преобразование Лоренца прекрасно преобразует скалярный кулоновский потенциал.

Итак, мгновенный скалярный потенциал мы можем рассматривать на законных основаниях как гипотетическую среду, которая вписывается в релятивистские представления. Скорость заряда не может превышать скорость света. Как мы ранее установили, каждая точка потенциала имеет скорость, равную скорости заряда. Ученым необходимо избавиться от предрассудка («постулата»), связанного с некорректной интерпретацией А. Эйнштейном одного из аспектов преобразования Лоренца.

## 7. Волновая ветвь электродинамики

В предыдущих параграфах мы выполнили важную работу. Мы показали, что мгновенные потенциалы прекрасно описывают явления квазистатической электродинамики. Но есть еще более важный результат. Фактически мы реабилитировали классические теории, например, классическую механику и сделали законным мгновенное действие на расстоянии. Как и в далеком прошлом, классическая механика вновь обрела статус фундаментальной науки. Теперь без боязни совершить ошибку мы можем использовать ее методы. Мы будем использовать их при описании волновой ветви электродинамики.

**Три вида волн.** Вернемся к уравнениям Максвелла в калибровке Лоренца (4.2). Нетрудно видеть, что волновая электродинамика имеет дело с тремя различными потенциалами:

- Вихревой векторный потенциал  $\mathbf{A}_1$ ; ( $\text{div}\mathbf{A}_1 = 0$ )
- Безвихревой векторный потенциал  $\mathbf{A}_2$ ; ( $\text{rot}\mathbf{A}_2 = 0$ ).
- Скалярный потенциал  $\phi$ .

Векторный потенциал  $\mathbf{A}$  в уравнениях (4.2) мы представили как сумму  $\mathbf{A} = \mathbf{A}_1 + \mathbf{A}_2$ .

Соответственно плотности токов мы должны записать как сумму  $\mathbf{j} = \mathbf{j}_1 + \mathbf{j}_2$ , где  $\text{div}\mathbf{j}_1 = 0$ ;  $\text{rot}\mathbf{j}_2 = 0$

Каждый из этих потенциалов удовлетворяет волновому уравнению и описывает поток энергии, переносимый в пространстве в виде волн. Как показано в [5], для каждого потенциала справедлива обобщенная теорема Пойнтинга:

$$\operatorname{div}\mathbf{S} + \frac{\partial w}{\partial t} + p = 0 \quad (7.1)$$

где:  $\mathbf{S}$  - плотность потока энергии Пойнтинга;  $w$  – плотность энергии волны;  $p$  – плотность мощности сторонних сил.

Для удобства перечисленные величины занесены в Таблицу 2

**Таблица 1.1.** Энергетические компоненты волновых полей

Поперечные волны векторного потенциала		
$\mathbf{S}_1 = -\frac{1}{\mu} \frac{\partial \mathbf{A}_1}{\partial t} \times \operatorname{rot} \mathbf{A}_1$	$w_1 = \frac{1}{2\mu} [(\operatorname{rot} \mathbf{A}_1)^2 + (\frac{\partial \mathbf{A}_1}{\partial ct})^2]$	$p_1 = -\mathbf{j}_1 \frac{\partial \mathbf{A}_1}{\partial t}$
Продольные волны векторного потенциала		
$\mathbf{S}_2 = -\frac{1}{\mu} \frac{\partial \mathbf{A}_2}{\partial t} \operatorname{div} \mathbf{A}_2$	$w_2 = \frac{1}{2\mu} [(\operatorname{div} \mathbf{A}_2)^2 + (\frac{\partial \mathbf{A}_2}{\partial ct})^2]$	$p_2 = -\mathbf{j}_2 \frac{\partial \mathbf{A}_2}{\partial t}$
Продольные волны скалярного потенциала		
$\mathbf{S}_3 = \varepsilon \frac{\partial \phi}{\partial t} \operatorname{grad} \phi$	$w_3 = -\frac{\varepsilon}{2} [(\operatorname{grad} \phi)^2 + (\frac{\partial \phi}{\partial ct})^2]$	$p_3 = \rho \frac{\partial \phi}{\partial t}$

Здесь мы обнаруживаем следующие интересные факты.

**Во-первых**, плотность энергии  $w_1$  и  $w_2$  и плотность потоков  $\mathbf{S}_1$  и  $\mathbf{S}_2$ , образованных векторным потенциалом, *А*, *положительны*, а плотность энергии  $w_3$  и плотность потока  $\mathbf{S}_3$ , созданного скалярным потенциалом  $\phi$ , *отрицательны*. Это отнюдь *не новый факт*. Он известен специалистам по КЭД, но *мало известен* физикам, которые специализируются в других направлениях. В КЭД по этой причине используется кулоновская калибровка!

**Во-вторых**, в [5] показано также, что *в свободном пространстве* плотности потоков и плотности энергий удовлетворяют следующим уравнениям (обобщенный закон Пойнтинга):

$$\operatorname{div}\mathbf{S} + \frac{\partial w}{\partial t} = 0 \quad \operatorname{grad} w + \frac{1}{c^2} \frac{\partial \mathbf{S}}{\partial t} = 0$$

Поэтому  $\mathbf{S}$  и  $w$  должны удовлетворять волновому уравнению и сами образуют «продольные волны».

$$\Delta \mathbf{S} - \frac{\partial^2 \mathbf{S}}{\partial (ct)^2} = 0; \quad \Delta w - \frac{\partial^2 w}{\partial (ct)^2} = 0 \quad (7.2)$$

**В-третьих**, решение проблемы электромагнитной массы в рамках запаздывающих потенциалов невозможно, поскольку электромагнитная масса будет иметь *отрицательный* знак ( $w_3$  отрицательна), а ее кинетическая энергия должна быть *положительной*! Это не соответствует ни классическим, ни релятивистским представлениям!

**Продольные и поперечные волны.** Поперечные электромагнитные волны нашли широкое применение на практике. К сожалению, мы не знаем ничего о существовании продольных электромагнитных волн. Возможно, они возникают в природе. Однако продольные волны не обнаружены экспериментально до настоящего времени. Поэтому мы должны наложить такие

условия на заряды и токи, при которых в решениях волновых уравнений (4.2) продольные волны не появлялись.

Как показано в [6], для уравнений Максвелла справедливо условие *градиентной инвариантности*<sup>2</sup>. Это условие позволяет исключить из уравнений Максвелла одно уравнение.

Очевидно, что продольные волны  $S_2$  и  $S_3$  могут гасить друг друга, поскольку плотности потоков  $S_2$  и  $S_3$  плотности энергий  $w_2$  и  $w_3$  имеют противоположные знаки.

Как показано в [5] продольные волны будут отсутствовать только тогда, когда плотности зарядов и плотности токов в правых частях уравнений будут удовлетворять условию:

$$\Delta\rho - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \rho}{\partial t^2} = 0; \quad \Delta\mathbf{j}_2 - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \mathbf{j}_2}{\partial t^2} = 0 \quad (7.3)$$

## 8. Виртуальные заряды в электродинамике

Всем известно, что для электромагнитных полей должны всегда выполняться граничные условия. Например, на поверхности идеального проводника эти условия имеют следующий вид:

$$\rho_{surf} = (\mathbf{n}\mathbf{E}_s); \quad \mathbf{j}_{surf} = [\mathbf{n} \times \mathbf{H}_s] \quad (8.1)$$

где:  $\rho_{surf}$  - поверхностная плотность зарядов;  $\mathbf{j}_{surf}$  - поверхностная плотность тока;  $\mathbf{E}_s$  - электрическое поле вблизи поверхности;  $\mathbf{H}_s$  - магнитное поле вблизи поверхности;  $\mathbf{n}$  - единичная нормаль к поверхности металла.

У любознательного исследователя всегда возникает вопрос: почему граничные условия выполняются практически мгновенно?

- Чтобы препятствовать проникновению электрического поля внутрь металла, на поверхности металла должны появляться «избыточные заряды»  $\rho_{surf}$ . Учитывая закон сохранения заряда, это явление трудно объяснить. Куда и с какой скоростью уходят «ненужные» заряды одного знака, чтобы остались только избыточные заряды другого знака?
- Мы хорошо знаем, что средняя скорость электронов при протекании тока в проводнике составляет величину порядка 10 миллиметров за секунду. Электроны обладают большой инерцией. Почему на поверхности металла мгновенно возникают большие поверхностные токи  $\mathbf{j}_{surf}$ ? Куда исчезает «инерция» электронов?

В учебной и научной литературе эти вопросы стараются не комментировать.

**Виртуальные заряды** (*Заряды без инерции*). Итак, мы нашли условие, когда в излучении отсутствуют продольные волны. Мы показали, что заряды  $\rho$  и токи  $\mathbf{j}_2$  в выражении (7.3) должны удовлетворять волновому уравнению.

Они подобно запаздывающим потенциалам распространяются со скоростью света. В силу этого масса покоя виртуальных зарядов должна равняться нулю, инерция и кинетическая энергия у виртуальных зарядов отсутствует. Мы имеем дело с *новым видом проводимости*, который существует одновременно с электронной, ионной и другими видами проводимости. Отсутствие инерции, как мы говорили, способствует быстрому выполнению граничных условий.

---

<sup>2</sup> Теперь решения уравнений Максвелла имеют новое функциональное содержание (мгновенные и запаздывающие потенциалы). Поэтому различные «доказательства» справедливости *калибровочной инвариантности* следует считать ошибочными, например в [9].

Здесь нам следует рассмотреть отдельно виртуальные токи  $\mathbf{j}_1$  ( $\text{div}\mathbf{j}_1 = 0$ ) и  $\mathbf{j}_2$  ( $\text{rot}\mathbf{j}_2 = 0$ ).

**Виртуальные токи  $\mathbf{j}_2$  ( $\text{rot}\mathbf{j}_2 = 0$ ).** Виртуальные токи  $\mathbf{j}_2$  существуют на всех частотах, начиная от самых низких, кончая световыми волнами. Эти токи интересны тем, что они не излучают и не поглощают (продольных и поперечных) электромагнитных волн, хотя активно участвуют в выполнении граничных условий и взаимодействуют с инерциальными зарядами. Экспериментальные исследования на низких частотах позволили выявить много необычных свойств у этих токов [9].

- Токи не всегда подчиняются законам Кирхгофа.
- Под воздействием внешних факторов заряды возникают и исчезают, игнорируя закон сохранения зарядов.
- Виртуальные заряды не имеют инерции, поэтому виртуальные токи не создают падения напряжения на резисторах, включенных в цепь и т.д.

Сейчас мы можем дать объяснение следующему явлению. Почему при замыкании электрической цепи ток в цепи возникает практически «мгновенно»? Как протекает процесс возникновения тока?

В момент замыкания электрической цепи в ней возникают виртуальные заряды и токи, связанные с изменением граничных условий. Скорость виртуальных зарядов равна скорости света. Виртуальные токи, взаимодействуя с электронами проводимости проводника, начинают передавать им свой импульс, вызывая их движение. Постепенно виртуальные токи замещаются электронными токами.

Мы пока не имеем достаточной экспериментальной информации, чтобы построить теорию виртуальных зарядов. Исследование виртуальных зарядов и их свойств есть очередная проблема классической электродинамики.

**Виртуальные токи  $\mathbf{j}_1$  ( $\text{div}\mathbf{j}_1 = 0$ ).** Источниками поперечных электромагнитных волн служат только вихревые токи  $\mathbf{j}_1$ . Эти токи не только участвуют в выполнении граничных условий, но излучают и поглощают поперечные электромагнитные волны. Подобно токам  $\mathbf{j}_2$  они активно взаимодействуют с электронами проводника.

Сейчас наступило время вернуться к результатам параграфа 6. Мы показали, что система замкнутая инерциальных зарядов является консервативной системой. Такая система не может поглощать или излучать электромагнитные волны. «Классическая проблема излучения» предстает перед нами в новом аспекте.

Мы уже дали объяснение граничным условиям [9]. Условия будут всегда выполняться независимо от того, какие поля (квазистатические поля, электромагнитные волны) воздействуют на металл или диэлектрик. Здесь мы можем утверждать, что виртуальные токи и заряды всегда взаимодействуют с инерциальными зарядами. Виртуальные вихревые токи  $\mathbf{j}_1$  являются посредником между инерциальными зарядами и поперечными электромагнитными волнами. Они играют роль, подобную «диссипативной функции» Релея.

Это новая постановка «проблемы излучения», которую нужно решить.

## 9. Заключение

Мы уже сказали о фатальной ошибке, допущенной физиками в начале XX века. Эта ошибка явилась следствием отказа от материалистического мировоззрения. Вместо детального анализа уравнений Максвелла они вынесли необоснованный приговор мгновенному действию на расстоянии и классической физике. В силу этого развитие новейших теорий было обречено на трудности и неудачи. Ученым теперь предстоит переосмыслить эксперименты и дать им новое объяснение.

Мы подведем итоги нашему анализу.

1. Мы показали ошибку, которая спровоцировала кризис физики в начале XX столетия.
2. Было установлено, что электродинамика имеет две независимые ветви. Первая ветвь описывает квазистатические явления электродинамики и опирается на мгновенные потенциалы. Это позволило решить проблему электромагнитной массы.
3. Мы показали, что мгновенное действие на расстоянии вопреки сложившимся предрассудкам отвечает физическим явлениям.
4. Вторая ветвь описывает волновые явления электродинамики. Потенциалы здесь имеют запаздывающий характер. Оказалось, что уравнения Максвелла могут описывать продольные и поперечные волны. Получено условие, при котором в решениях продольные волны отсутствуют.
5. Мы показали, что электромагнитные волны излучаются виртуальными зарядами. Масса покоя этих зарядов равна нулю.
6. Было установлено, что инерциальные заряды не могут взаимодействовать с поперечной волной непосредственно. Волны излучаются и поглощаются виртуальными зарядами, которые не имеют инерции. Масса покоя виртуальных зарядов равна нулю.

Многие результаты могут оказаться новыми и неожиданными, но они не являются гипотезами и имеют строгое математическое обоснование.

## Приложение 1. Поля зарядов и поля электромагнитных волн

Мы предлагаем сравнить некоторые свойства полей зарядов и свойства полей электромагнитных волн. Для этого основные свойства сведем в Таблицу 2.

Таблица 2

	Квазистатические поля заряда	Волновые поля
1	Поля <b>E</b> и <b>H</b> заряда всегда «привязаны» к заряду и не могут существовать без заряда.	После излучения волна распространяется и уже не зависит от источника излучения
2	Магнитное поле заряда зависит от скорости перемещения заряда. Если заряд покоится, магнитное поле равно нулю.	Магнитное поле волны всегда жестко связано с электрическим полем. Эти поля не могут существовать отдельно.
3	Электрическое поле заряда обладает инерциальными свойствами, т.е. имеется электромагнитная масса (масса покоя), импульс и кинетическая энергия. Электромагнитная масса обладает всеми свойствами обычной (механической) инерциальной массы	Плотности энергии электромагнитной волны нельзя поставить в соответствие плотности инерциальной массы. Плотность массы покоя электромагнитной волны всегда равна нулю.
4	Скорость перемещения полей заряда всегда равна скорости движения заряда и может быть равна нулю.	Скорость перемещения электромагнитной волны в свободном пространстве постоянна и всегда равна $c$ .
5	Связь между электромагнитной массой, электромагнитным импульсом описывается законом Умова.	Связь между плотностью энергии и плотностью импульса электромагнитной волны определяется законом сохранения Пойнтинга.

## Приложение 2. Об излучении ускоренного электрона

Мы обратимся к исследованию [10]. Автор пишет:

*«Ускорение, которое испытывают электроны у катода электронной пушки кинескопа современного телевизора, на два порядка превышают максимальные нормальные ускорения в циклических ускорителях, но излучение в рентгеновском диапазоне вблизи телевизоров не наблюдается....»*

Исследователи и разработчики кинескопов утверждают, что основное излучение создается электронами при торможении (столкновение с экраном). Вблизи катода излучение отсутствует.

В циклических ускорителях, по мнению автора [10], источником синхротронного излучения являются не сами заряженные частицы, но возбуждаемые ими атомы газа (азот N, аргон Ar), часть которых неизбежно остается в камере прибора после его промывки и вакуумирования (при разряде  $10^{-13}$  мм. рт. ст. в  $1 \text{ см}^3$  содержится 4000 атомов газа).

Он пишет [10]:

«..... Однако элементарный расчет показывает, что СИ (синхротронное излучение) не может являться следствием нормального ускорения частиц, так как последнее на ускорителях различного диаметра варьируется на два порядка и более, что показано в приведенной ниже таблице, тогда как параметры СИ на всех ускорителях достаточно близки.... (см. Таблицу 3).

**Таблица 3.**

Место установки		$W$	$R$	$a_n = v^2/R$ при $v \rightarrow c$	$s$	Наблюдаемое излучение
		(ГэВ)	(м)	(м/сек <sup>2</sup> )		
Циклические ускорители	Дубна	10	36	$2,5 \cdot 10^{15}$	<b>1</b>	Мягкий рентген $\nu \geq 10^{18} \text{ сек}^{-1}$
	Серпухов	76	236	$3,8 \cdot 10^{14}$	<b>0,15</b>	
	Женева	400	1100	$8,1 \cdot 10^{13}$	<b>0,03</b>	

...В таблице  $s = a_n/a_{n(\text{дубна})}$  есть отношение нормального ускорения ускорителей к нормальному ускорению ускорителя в Дубне...».

Итак, как видно из таблицы, изменение ускорения в **30** раз ( $0,03 \leq s \leq 1$ ) не влияет существенно на характер синхротронного излучения. Излучение действительно определяется ионизацией атомов остаточного газа N и Ar ускоренными электронами.

### Ссылки.

1. Н.Е. Кочин Векторное исчисление и начала тензорного исчисления, Наука, М. 1963
2. И.Е. Тамм Основы теории электричества, М.: ФИЗМАТЛИТ, Россия. 2003, ISBN 5-9221-0313-X
3. Maxwell, J. C. (1861). "On physical lines of force". *Philosophical Magazine*. **90**: 11–23. Bibcode:2010PMag...90S..11M. doi:10.1080/14786431003659180
4. Lee Smolin. *The Trouble With Physics: The Rise of String Theory, The Fall of a Science, and What Comes Next*. Publisher: Mariner Books; Reprint edition (September 4, 2007), Language: English, , ISBN-10: 061891868X, ISBN-13: 978-0618918683
5. В.А. Кулигин, М.В. Корнева. Обсудим книгу Ландау и Лифшица «ТЕОРИЯ ПОЛЯ» <http://www.trinitas.ru/rus/doc/0016/001e/00162877.htm>
6. Ландау и Лифшиц. Теория поля. Физматгиз М.: 1961
7. Кулигин В.А. Причинность и взаимодействие в физике. Сборник Воронежского госуниверситета: «Детерминизм в современной науке». Воронеж, 1987. (Collective book "Determinism in modern science", University Press, Voronezh, Russia)
8. J.D. Jackson Classical Electrodynamics **Publisher:** John Wiley & Sons; 3rd Edition (1 Dec. 1998)



**ISBN-10:** 047130932X **ISBN-13:** 978-0471309321

9. В.А. Кулигин. Виртуальные заряды и токи Тесла в электродинамике  
<http://www.trinitas.ru/rus/doc/0016/001f/00163694.htm>
10. Сахаров Ю.К. Противоречия современных концепций излучения заряженных частиц и строения атома. //Проблемы пространства, времени и тяготения. Материалы IV международной конференции в С.-Петербурге, Политехника С.-П., 1997. С 79 – 89.