

# Ошибка Максвелла и её следствия для физики

[Виктор Кулигин, Мария Корнева, Галина Кулигина](#)

Анализ ошибок в теориях современной физики привёл нас к важному выводу. Существуют исходные («застарелые») ошибки, которые затем «генерируют» спектр вторичных ошибок (ошибочных следствий). Нами была обнаружена ошибка, допущенная Максвеллом при математическом оформлении исследований Фарадея. При обобщении экспериментов Фарадея Максвелл «потерял» мгновенное действие на расстоянии. В работе приведено доказательство и рассмотрены некоторые следствия для физических теорий. Например, мы должны рассматривать поля зарядов и поля электромагнитных волн как самостоятельные поля, имеющие разные (взаимоисключающие) свойства.

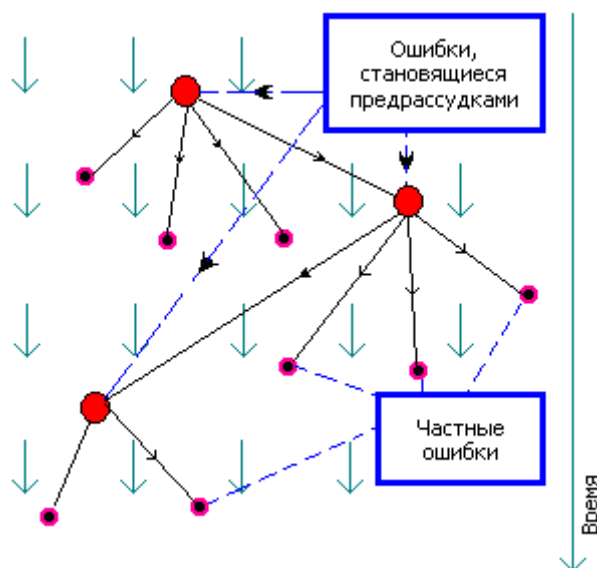
## Введение

Читая общие курсы и спецкурсы, мы постоянно сталкивались с «нестыковками» в физических теориях. Чтобы читать лекции, необходимо знать больше и глубже, чем дано в учебниках. Мы постоянно сталкивались с противоречиями в теориях и явными ошибками. Желание дать студентам чёткое, непротиворечивое изложение материала привело к необходимости анализа проблем физики. Постепенно у нас сложилась картина «размножения» ошибок.

Любой грамотный физик прекрасно знает [принцип Оккама](#): «Не приумножай сущностей сверх необходимости». Но в Средние века жил и другой философ [Дунс Скотт](#), который сформулировал не менее интересное правило: «Из правильных посылок получают правильные заключения. Из ложных посылок могут вытекать как ошибочные, так и правильные заключения».

Из этого правила следует, что на определённом этапе своего развития даже теория с ошибками в основании может «предсказывать» правильные результаты. Лишь много позже наступает кризис, теория превращается в догму, которую потом реформируют или заменяют новой теорией.

То же с «подтверждением» теории экспериментом. В природе нет «чистого» эксперимента. Любой эксперимент «нагружен теорией», как говорят философы. Любой эксперимент требует теоретического объяснения, интерпретации. И здесь встречаются подгонки под «нужную точку зрения». Это хорошо видно по гипотезам исследователей. Каждый из них строит гипотезу для устранения противоречий в стандартных теориях, но так, чтобы «уложиться в эксперименты».



**Рис. 1.** Развитие ошибок в науке

Часто говорят о «торжестве науки», указывая на успехи промышленного производства. Это не совсем так. У людей есть план: изготовить к сроку определённое изделие. Расхождение теории и результата оправдывают многими причинами (неучтённые условия, ошибки в изготовлении, погрешности измерений и т.д.). План есть план. Здесь редко исследуют истинные причины несоответствия теории практике.

Развитие науки никогда не обходится без ошибок. Обычно ошибки быстро исправляются. В иных случаях ошибка может остаться «не замеченной». И вот здесь возникает драматическая ситуация: к этой исходной ошибке привыкают, и она превращается в предрассудок (догму). Ошибка порождает веер последующих частных (вторичных) ошибок. Происходит «цепная реакция», представленная на рис. 1.

Исследователи без пользы тратят много сил, чтобы исправить следствия (вторичные ошибки). Но это «сизифов труд». Пока исходный предрассудок живёт, он будет постоянно тиражировать новые и новые ошибки. Примером может служить «кризис физики» на рубеже XIX – XX веков.

«Кризис физики», который относят к рубежу XIX – XX веков, возник гораздо раньше. Он появился из-за нескольких исходных допущенных где-то в XIX столетия. За полтора столетия неисправленные ошибки превратились в предрассудки. Таких застарелых, 150-летних ошибок в физике и математике мы можем назвать, по крайней мере, три.

В этой работе мы покажем одну «ошибку», допущенную [Максвеллом](#). Эта ошибка «предсказала» существование электромагнитных волн, но «выбросила» из физики «мгновенное действие на расстоянии». Мгновенное действие составляло фундамент ньютоновской механики, фундамент теории тяготения. Теория тяготения и механика имели солидное экспериментальное подтверждение и более, чем двухсотлетнее практическое применение. Устранение мгновенного действия породило трудности и последующие ошибки в теориях.

Если отследить эту цепочку, то получим:

**Первая ошибка.** отождествление полей зарядов и полей электромагнитных волн. Запрет на мгновенные действия на расстоянии. Некорректное описание явлений электродинамики.

**Вторая ошибка** (следствие). Неверное философское истолкование причинности и взаимодействия. Появление ошибочного (бессодержательного) понятия «скорость распространения взаимодействий».

**Третья ошибка.** Неправильное объяснение сущности преобразования Лоренца и т.д.

## 1. «Рождение» уравнений Максвелла

Проф. Карцев пишет о работе Максвелла с исследованиями [Фарадея](#) [1]: «Вчитываясь в страницы «Экспериментальных исследований», Максвелл увидел, что упреки «в нематематичности воззрений» Фарадея были несправедливыми.

«Когда я стал углубляться в изучение работ Фарадея, – писал Максвелл, – я заметил, что метод его понимания тоже математичен, хотя и не представлен в условной форме математических символов. Я также нашёл, что метод может быть выражен в обычной математической форме и таким образом может быть сопоставлен с методами признанных математиков».

Итак, и Ампер, и Фарадей считали, что каждый электрический ток окружён магнитным полем. Максвелл решает записать этот тезис в форме уравнения:

$$\operatorname{rot} \mathbf{H} = \mathbf{j} \quad (1.1)$$

Здесь:  $\mathbf{H}$  – вектор напряжённости магнитного поля;  $\mathbf{j}$  – вектор плотности электрического тока, в который Максвелл включает и никем пока не наблюдавшийся «ток смещения»;  $c$  – некоторая постоянная.

Максвелл видит, что из уравнения (1.1) не вытекает закон сохранения заряда. Он долго перебирал варианты, пока не ввёл «ток смещения» (производную напряжённости электрического поля).

$$\operatorname{rot} \mathbf{H} = \varepsilon \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \mathbf{j}; \quad \operatorname{rot} \mathbf{E} = -\mu \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t}; \quad \operatorname{div} \mathbf{E} = \frac{\rho}{\varepsilon}; \quad \operatorname{div} \mu \mathbf{H} = 0. \quad (1.2)$$

Можно предположить, что у Максвелла возникли сомнения. Электрическое и магнитное поля в уравнениях (1.2) получились запаздывающими. Это противоречило закону Кулона, объяснение которого опиралось на мгновенное действие на расстоянии, и существующему закону всемирного тяготения Ньютона.

Это казалось странным для современников Максвелла. Но постепенно к этому привыкли, а мгновенное действие на расстоянии стало «изгоем» в физических теориях.

## 2. Потенциал заряда

Напомним старый анекдот про физиков-теоретиков. Один физик-теоретик перебрался, наконец, из общежития в квартиру. На новоселье он пригласил двух друзей тоже физиков-теоретиков. Пришедшие друзья застали коллегу за странным занятием.

Тот стоял на стуле и, приставив гвоздь шляпкой к стене, бил по острию молотком. Гвоздь гнулся. Он его выбрасывал и брал новый. На вопрос удивлённых коллег он ответил, что хочет забить гвоздь, чтобы повесить картину.

Первый физик-теоретик подобрал согнутый гвоздь и приставил его шляпкой к стене.

– У гвоздя неправильная конструкция, – заявил гость. – Остриё гвоздя должно быть с противоположной стороны!

– Не-е-т! – возразил другой коллега. Он взял свежий гвоздь, прижал его шляпкой к стене и затем понёс гвоздь от стены перпендикулярно. Гвоздь остриём воткнулся в противоположную стенку.

– Вот видите! – воскликнул он. – Этот гвоздь вот от этой стены! Я сразу сообразил!

Я привёл этот анекдот, чтобы проиллюстрировать следующий факт. Физики иногда «варятся в собственном соку», забывая о том, что многие вопросы уже решены аналитически математиками и, если есть теория с похожим математическим формализмом, то они бывают проверены экспериментально.

Этим мы и воспользуемся. Классическая механика (и её раздел – Аналитическая механика) является фактически разделом математики и развивалась трудами математиков и физиков: [Пуассона](#), [Лагранжа](#), [Лапласа](#), [Грина](#), [Остроградского](#), [Гамильтона](#), [Гаусса](#), [Неймана](#), [Гельмгольца](#), [Кирхгофа](#), и других. К моменту формулировки Максвеллом своих уравнений основы аналитической механики были уже достаточно хорошо развиты. Почему Максвелл не воспользовался её результатами? Этого никто не узнает.

Попробуем устранить этот недостаток. Будем последовательны и прежде выполним рутинную часть:

1. Отметим аналогию между квазистатическими явлениями электродинамики и ньютоновской теорией всемирного тяготения. Говоря о квазистатических явлениях электродинамики, мы можем провести прямую и глубокую аналогию с теорией тяготения, поскольку потенциалы этих полей описываются [уравнением Пуассона](#).
2. Покоящееся заряженное тело создаёт вокруг себя электростатическое поле (пропорциональное заряду), которое обладает энергетическими и силовыми свойствами. Это есть образная физическая *модель* (как отражение фрагмента реальности), позволяющая нам дать умозрительное представление (на основе аналогии) и нарисовать картину физических явлений и процессов взаимодействия.

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

**Напряжённость 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 отсчёта наблюдателя*.

Выделенное курсивом, как будет показано, весьма важный момент. Отсутствие в определении слова «покоящийся» привело к противоречиям в объяснении магнитных явлений, что позволило релятивистам сделать вывод о неспособности классических теорий объяснить магнитные явления и заявить об «ошибочности» классических представлений.

Движение заряженной частицы можно представить в виде суммы *поступательного* и *вращательного*. При поступательном движении тело движется так, что все точки тела при движении по кривой линии в каждый момент имеют одинаковый вектор скорости (зависящий, в общем случае, от времени). При вращательном движении центр масс тела покоится, а тело вращается вокруг оси, проходящей через центр масс.

В физике имеет место **закон сохранения заряда**. Точечный заряд не «расползается» в пространстве, поэтому  $\text{div } \mathbf{v} = 0$ , где  $\mathbf{v}$  – есть скорость точечного заряда. Помимо этого, если точечный заряд *вращается вокруг своей оси*, вокруг него не возникает движения скалярного потенциала и, соответственно, магнитного поля (поступательное движение точечного заряда).

При движении заряда поле движется всегда только *поступательно*. Каждая точка потенциала в пространстве имеет одинаковый с точечным зарядом вектор скорости. Иными словами, все точки потенциала имеют *один и тот же вектор скорости*. Потенциал заряда не совершает вращательного движения относительно своего центра масс.

Теперь, закончив формальную сторону, мы можем насладиться математикой.

### 3. Фарадей, Максвелл и аналитическая механика

Рассматривая условно потенциал как некую «среду» мы можем использовать результаты механики сплошных сред [2].

**Первое.** Мы можем использовать – уравнение непрерывности скалярного потенциала:

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

Это известное уравнение. Далее мы можем ввести векторный потенциал  $\mathbf{A}$ .

Пусть:

$$\mathbf{A} = \phi \mathbf{v} / c^2, \quad (3.2)$$

тогда мы можем записать новую форму уравнения непрерывности, которая связывает векторный и скалярный потенциалы:

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial \phi}{\partial t} + \text{div } \mathbf{A} = 0 \quad (3.3)$$

Напомним, что для точечного заряда все точки потенциала  $\phi$  имеют *всегда одну и ту же скорость* в силу поступательного характера движения скалярного потенциала.

**Второе.** Мы можем использовать уравнение сохраняемости векторных трубок и их интенсивности. Для некоторого произвольного вектора  $\mathbf{a}$  это уравнение имеет вид [2]:

$$\partial \mathbf{a} / \partial t + \mathbf{v} \text{ div } \mathbf{a} + \text{rot } [\mathbf{a} \times \mathbf{v}] = 0.$$

Если мы заменим вектор  $\mathbf{a}$  вектором электрического поля  $\mathbf{E} = -\text{grad } \phi$ , то сможем записать:

$$\partial \text{grad } \phi / \partial t + \mathbf{v} \Delta \phi + \text{rot } [\text{grad } \phi \times \mathbf{v}] = \partial \text{grad } \phi / \partial t + \mathbf{v} \Delta \phi + \text{rot } (\phi \mathbf{v}) = 0.$$

Окончательная форма полученного уравнения имеет вид:

$$\text{rot } \mathbf{H} = \varepsilon \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \mathbf{j}, \quad (3.4)$$

где:

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

**Третье.** При движении скалярного потенциала поля заряда относительно неподвижного наблюдателя наблюдатель обнаружит «добавку» к напряжённости поля. Эта добавка есть *сторонняя ЭДС* и, соответствующая ей, напряжённость стороннего поля равна:

$$\mathbf{E}_{\text{ст.}} = -\partial \mathbf{A} / \partial t \quad (3.5)$$

Сторонней она является потому, что она не может быть заменена градиентом потенциала электростатического поля, т.е. она *не имеет электростатического происхождения*. Сторонняя ЭДС есть результат движения поля скалярного потенциала относительно *покоящегося* пробного заряда в системе отсчёта наблюдателя.

Следовательно, теперь можно записать ещё одно тождество:

$$\operatorname{rot}(\mathbf{E} + \mathbf{E}_{\text{ст.}}) = -\mu \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t}. \quad (3.6)$$

В его справедливости можно убедиться, подставив соответствующие скалярный и векторный потенциалы.

Итак, используя только математику, мы получили систему уравнений квазистатической электродинамики. Вот она:

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \mathbf{H} &= \varepsilon \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \mathbf{j}; & \operatorname{rot}(\mathbf{E} + \mathbf{E}_{\text{ст.}}) &= -\mu \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t}; \\ \operatorname{div} \mathbf{E} &= -\frac{\rho}{\varepsilon}; & \operatorname{div} \mu \mathbf{H} &= 0, \end{aligned} \quad (3.7)$$

где:  $\mathbf{E} = -\operatorname{grad} \phi$ ;  $\mathbf{E}_{\text{ст.}} = -\partial \mathbf{A} / \partial t$ ;  $\mu \mathbf{H} = \operatorname{rot} \mathbf{A}$ .

Вы сами сможете указать отличия системы уравнений (3.7) от уравнений Максвелла (1.2). Всё же для сравнения уравнений (1.2) с уравнениями (3.7) сведём уравнения в табл. 1.

Таблица 1

Сравнение систем уравнений

Уравнения Максвелла	Квазистатические уравнения
$\operatorname{rot} \mathbf{H} = \varepsilon \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \mathbf{j}$	$\operatorname{rot} \mathbf{H} = \varepsilon \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \mathbf{j}$
$\operatorname{rot} \mathbf{E} = -\mu \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t}$	$\operatorname{rot} (\mathbf{E} + \mathbf{E}_{\text{ст.}}) = -\mu \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t}$
$\operatorname{div} \varepsilon \mathbf{E} = \rho;$ $\operatorname{div} \mu \mathbf{H} = 0$	$\operatorname{div} \varepsilon \mathbf{E} = \rho;$ $\operatorname{div} \mu \mathbf{H} = 0$
$\mathbf{E} = -\operatorname{grad} \phi - \partial \mathbf{A} / \partial t;$ $\mu \mathbf{H} = \operatorname{rot} \mathbf{A};$ $\mathbf{A} = \phi \mathbf{v} / c^2$	$\mathbf{E} = -\operatorname{grad} \phi; \mathbf{E}_{\text{ст.}} = -\partial \mathbf{A} / \partial t;$ $\mu \mathbf{H} = \operatorname{rot} \mathbf{A};$ $\mathbf{A} = \phi \mathbf{v} / c^2$

Удивительно, как похожи эти системы уравнений. Отличие лишь в содержании вектора электрического поля  $\mathbf{E}$ . Мы уже давно имели этот результат, но нам не приходило в голову провести сравнение. Сейчас мы это сделаем.

Несмотря на внешнее сходство системы уравнений различны. Главное различие содержится в уравнениях для ротора  $\mathbf{H}$  (первая строка в табл. 1). В уравнении Максвелла в правой части присутствует частная производная  $-\partial \mathbf{A} / \partial t$  от векторного потенциала  $\mathbf{A}$ . В уравнении для квазистатики эта частная производная ( $\mathbf{E}_{\text{ст.}} = -\partial \mathbf{A} / \partial t$ ) не входит в правую часть (отсутствует).

Казалось бы, что отличие небольшое, но это только «казалось бы». На самом деле радикально изменился характер *функциональной зависимости* решений. Вместо потенциалов, описывавших мгновенное действие на расстоянии, у Максвелла уравнения стали описывать поля запаздывающих потенциалов!

У нас нет никаких оснований считать, что запаздывающие потенциалы появились у Максвелла *закономерно*. Ампер, Фарадей и другие учёные могли экспериментально изучать только квазистатические, а не волновые явления. Только много позже [Герц](#), зная о волновом

характере решений уравнений Максвелла, дал *качественное* экспериментальное подтверждение существования таких волн.

Итак, Максвелл сделал «фатальную» ошибку, записав некорректно ток смещения. Он ввёл не только член  $\mathbf{j} = -\varepsilon(\partial \text{grad}\phi / \partial t)$ , но и член  $\mathbf{j}_{\text{ст.}} = -\varepsilon(\partial^2 \mathbf{A} / \partial t^2)$ , который логически не должен был входить в уравнения.

Но это была «гениальная ошибка». Максвелл, сам того не ведая, «открыл дорогу» новым научно-техническим направлениям и, прежде всего, радиотехнике, радиолокации и т.д. Это был громадный шаг вперёд.

Вместе с тем, эта ошибка нанесла удар по материалистическому мировоззрению и физике:

- поля зарядов и электромагнитные волны были отождествлены, несмотря на различие свойств;
- мгновенное действие на расстоянии стали рассматривать, как «анахронизм», как предрассудок, не отвечающий физике;
- классические теории (механика, ньютоновская теория тяготения и т.д.) стали предметом насмешек.

Так родился в физике предрассудок или догма.

#### 4. Поля зарядов и поля электромагнитных волн

А правильно ли мы поступили, считая математический подход более оправданным, чем анализ Максвелла? Правильно ли мы сделали, обвинив Максвелла в непредумышленной ошибке? У нас есть перед Максвеллом одно преимущество: мы имеем более полную теоретическую и экспериментальную информацию. Давайте сравним некоторые свойства полей зарядов и свойства полей электромагнитных волн. Для этого их основные свойства сведём в табл. 2.

Таблица 2

Сравнение свойств волновых и квазистатических полей

	<b>Квазистатические поля заряда</b>	<b>Волновые поля</b>
1.	Поля заряда <b>E</b> и <b>H</b> всегда «привязаны» к заряду и не могут существовать без заряда.	После излучения волна (поля <b>E</b> и <b>H</b> ) распространяется и уже не зависит от источника излучения.
2.	Магнитное поле заряда <b>H</b> зависит от скорости перемещения заряда. Если заряд покоится, магнитное поле равно нулю.	Магнитное поле волны <b>H</b> всегда жёстко связано с электрическим полем <b>E</b> . Эти поля не могут существовать раздельно.
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 [3], [4].	Плотности энергии электромагнитной волны нельзя поставить в соответствие плотность инерциальной массы. Плотность массы покоя электромагнитной волны всегда равна нулю [4].
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 и кинетической энергией полей заряда описывается законом Умова и законом Ленца [4], [5], [6] и др.	Связь между плотностью энергии и плотностью импульса электромагнитной волны определяется законом сохранения Пойнтинга [4], [5], [6] и др.

Уже приведённого достаточно, чтобы установить, что поля заряда и поля электромагнитных волн это принципиально различные поля, т.е. поля, имеющие разные (взаимоисключающие) свойства и, соответственно, различную физическую природу. По этой причине поля должны описываться самостоятельными группами уравнений.

## 5. Есть ли путь (предельный переход) от запаздывающих потенциалов к квазистатическим потенциалам?

Опираясь на результаты табл. 2, можно сказать, что перехода от волновых полей (запаздывающие потенциалы) к квазистатическим полям зарядов (мгновенное действие) в рамках уравнений Максвелла не существует. Свойства этих полей несовместимы. Проверим этот вывод.

В современных учебниках утверждается, что уравнения для описания квазистатических явлений можно легко получить, например, если устремить скорость света к бесконечности, поскольку «запаздывание» в этом случае исчезает. При предельном переходе решение волнового уравнения для полей должно переходить в решение уравнения Пуассона для этих же полей.

Увы! Это застарелый предрассудок. Проверим этот вариант.

Исключая последовательно  $\mathbf{E}$  или  $\mathbf{H}$  из уравнений Максвелла, запишем отдельные уравнения для этих векторов:

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \operatorname{rot} \mathbf{E} + \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} &= -\mu \frac{\partial \mathbf{j}}{\partial t}; & \operatorname{div} \mathbf{E} &= \frac{\rho}{\varepsilon}; \\ \operatorname{rot} \operatorname{rot} \mathbf{H} + \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \mathbf{H}}{\partial t^2} &= \operatorname{rot} \mathbf{j}; & \operatorname{div} \mu \mathbf{H} &= 0. \end{aligned}$$

К этим уравнениям мы для анализа должны добавить силу Лоренца, описывающую взаимодействие зарядов:

$$\mathbf{F} = e\mathbf{E} + e\mathbf{v} \times \mathbf{B} = e\mathbf{E} + e\mathbf{v} \times \mu\mathbf{H}.$$

Теперь вспомним, как определяется скорость света в уравнениях электродинамики:

$$c = (\varepsilon \cdot \mu)^{-1/2}.$$

Итак, чтобы обратить скорость света в бесконечность, мы должны либо устремить к нулю  $\varepsilon$ , либо устремить к нулю  $\mu$ .

Испытаем оба варианта.

1)  $\varepsilon \rightarrow 0$ .

Мы сразу же сталкиваемся с «неприятностью»:

$$\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \operatorname{div} \mathbf{E} = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\rho}{\varepsilon}$$

не существует!

Нарушается также закон Кулона:

$$\mathbf{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon} \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

(силы взаимодействия между зарядами становятся бесконечными!) и т.д.

2)  $\mu \rightarrow 0$ .

И здесь получаем несуразную систему уравнений:

$$\operatorname{rot} \operatorname{rot} \mathbf{E} = 0; \operatorname{div} \mathbf{E} = \rho / \varepsilon; \operatorname{rot} \operatorname{rot} \mathbf{H} = \operatorname{rot} \mathbf{j}; \mathbf{F} = e\mathbf{E}.$$

Здесь токи смещения отсутствуют, а взаимодействие зарядов сводится к электростатическому взаимодействию. Взаимодействие через магнитное поле «исчезает».

Иными словами, в обоих случаях мы не получаем систему квазистатических уравнений и правильное описание взаимодействий зарядов. Это какие-то «куцые огрызки» уравнений квазистатики.

Итак, предельный переход от волновых полей к квазистатическим полям зарядов *принципиально* невозможен. Эти поля должны описываться *независимыми* уравнениями.

## 6. Как могли проникнуть «волновые процессы» в уравнения квазистатики?

Теперь, следуя за Максвеллом и учитывая полученные нами результаты, ответим на вопрос: откуда могли взяться волновые процессы в максвелловских уравнениях? Вернёмся к уравнениям квазистатики (3.7):

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \mathbf{H} &= \varepsilon \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \mathbf{j}; & \operatorname{rot}(\mathbf{E} + \mathbf{E}_{\text{ст.}}) &= -\mu \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t}; \\ \operatorname{div} \mathbf{E} &= -\frac{\rho}{\varepsilon}; & \operatorname{div} \mu \mathbf{H} &= 0. \end{aligned}$$

Мы ранее (см. табл. 1) ввели обозначения:

$$\mathbf{E} = -\operatorname{grad} \phi; \quad \mathbf{E}_{\text{ст.}} = -\partial \mathbf{A} / \partial t; \quad \mu \mathbf{H} = \operatorname{rot} \mathbf{A}. \quad (6.1)$$

Чтобы уравнения (3.7) начали содержать не только мгновенно действующие поля, но и поля *запаздывающих* потенциалов, введём добавочные новые поля, включив их в (6.1).

Пусть новые дополнительные поля  $\mathbf{E}^*$  и  $\mathbf{H}^*$  создаются некоторым векторным потенциалом  $\mathbf{A}^*$ , который описывает поперечную электромагнитную волну ( $\operatorname{div} \mathbf{A}^* = 0$ ).

Добавим к старому электрическому полю заряда  $\mathbf{E} = -\operatorname{grad} \phi$  новое поле  $\mathbf{E}^* = -\partial \mathbf{A}^* / \partial t$ , а к индукции магнитного поля заряда  $\mu \mathbf{H} = \operatorname{rot} \mathbf{A}$  добавочную индукцию магнитного поля  $\mu \mathbf{H}^* = \operatorname{rot} \mathbf{A}^*$ .

Итак:

$$\mathbf{E}' = -\operatorname{grad} \phi - \partial \mathbf{A}^* / \partial t; \quad \mathbf{E}_{\text{ст.}} = -\partial \mathbf{A} / \partial t; \quad \mu \mathbf{H}' = \operatorname{rot} \mathbf{A} + \operatorname{rot} \mathbf{A}^*; \quad \mathbf{A} = \phi \mathbf{v} / c^2. \quad (6.2)$$

Подставим выражения (6.2) в систему уравнений квазистатики (3.7):

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \mathbf{H}' &= \varepsilon \frac{\partial \mathbf{E}'}{\partial t} + \mathbf{j}; & \operatorname{div} \mu \mathbf{H}' &= 0; \\ \operatorname{rot}(\mathbf{E}' + \mathbf{E}_{\text{ст.}}) &= -\mu \frac{\partial \mathbf{H}'}{\partial t}; & \operatorname{div} \mathbf{E}' &= -\frac{\rho}{\varepsilon}. \end{aligned}$$

Далее мы проведём разделение уравнений, выделив и сохранив полученную нами систему уравнений квазистатики. Образуются две группы уравнений.

**Первая группа** – группа уравнений квазистатики, известная нам:

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \mathbf{H} &= \varepsilon \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \mathbf{j}; & \operatorname{rot}(\mathbf{E} + \mathbf{E}_{\text{ст.}}) &= -\mu \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t}; \\ \operatorname{div} \mathbf{E} &= -\frac{\rho}{\varepsilon}; & \operatorname{div} \mu \mathbf{H} &= 0. \end{aligned} \quad (6.3)$$

**Вторая группа** состоит из двух однородных уравнений:

$$\operatorname{rot} \operatorname{rot} \mathbf{A}^* + \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \mathbf{A}^*}{\partial t^2} = 0; \quad \operatorname{div} \mathbf{A}^* = 0. \quad (6.4)$$

Мы видим, что волновое уравнение, описывающее *поперечные* электромагнитные волны, не содержит источников поля в правой части. Это не «промах», а свидетельство *неполноты* уравнений Максвелла и экспериментов Фарадея. Фарадей и другие исследователи изучали *квазистатические* поля. Их эксперименты не могли «засечь» электромагнитную волну и её источники в силу малости эффекта излучения электромагнитных волн и несовершенства приборов.



Уже гораздо позже существование электромагнитных волн (запоздывающие потенциалы) было экспериментально подтверждено с *качественной* стороны Г. Герцем.

*Количественных* измерений с целью детальной проверки уравнений Максвелла *не проводилось* до настоящего времени. Всем казалось, что уравнения Максвелла корректны и не нуждаются в специальной экспериментальной проверке.

Анализ уравнений Максвелла в калибровке Лоренца показал [5], что заряженные частицы *не излучают* непосредственно электромагнитных волн при ускорении. Волны излучаются *специфическими* токами [5]. Даже сейчас учёные не имеют полного описания процессов излучения (проблема калибровок) и реакции этого излучения на заряды («самоускорение» заряда). Эти проблемы подробно обсуждаются в [5] и других наших работах [4], [6] и т.д.

## 7. Кризис в физике и ошибка Максвелла

Философ это одна из самых древних профессий, как и некоторые другие. Поэтому, цитируя философов, мы не сможем обойтись без комментариев. Итак, рассмотрим кризис в физике в начале XX века. Вот, что писали Дышлевый и Канак в [7] на стр. 112...113 (выделение жирным шрифтом наше – *авт.*):

В конце XIX – начале XX вв. в связи с новыми открытиями... приверженцев механицизма ждали новые испытания. Их выдержали не все. Некоторые покинули позиции механицизма. Возникло две школы физиков: «**механическая**»... и «**критическая**»...

...Приверженцы «механической школы» придерживались **материалистического взгляда** на смысл и цели познания природы... Отстаивая механицизм, они полагали, что отстаивают также **материализм**... Отказ от механики, как основы теоретической физики, им представлялся отказом от материалистического взгляда на сущность и цели познания...

Представители «критической школы» отрицали принципы механики не столько потому, что всё больше обнаруживалась ограниченность этих принципов, сколько потому, что с признанием их объективности и неизбежности связывалась **уверенность в объективности теоретического знания**... В «критической школе» реальная естественно-научная проблема... с самого начала была смещена в **область ревизии** философской, материалистической по существу, **механики Ньютона**.

Поясним: в чём же принципиальное различие между этими школами? Оно отражено в принципах познания, заложенных и провозглашаемых «критической школой» ([Пуанкаре](#), [Мах](#), [Дюгем](#), [Оствальд](#), [Ранкин](#) и др.). Перечислим некоторые «точки размежевания»:

- отрицание «критиками» кумулятивного характера знаний (каждая новая теория отвергает свою предшественницу; теории умирают, когда умирают их апологеты и т.д.);
- нарушение законов логики (логически-противоречивый «корпускулярно-волновой дуализм»; логические противоречия в СТО «парадоксы» и т.д.);
- отрицание многообразия форм причинно-следственных отношений (сведение причинности только к последовательности взаимосвязанных событий и т.д.) и т.д.

Фактически «критическая школа» являлась одной из форм субъективного идеализма (позитивизм). Материализм один и един. Специальных «материализмов» (отдельно для классических теорий, отдельно для релятивистских теорий, отдельно для квантовых) не существует. Следовательно, если мы признаём классические теории материалистическими теориями (механику Ньютона, например), то должны признать квантовые теории и релятивистские теории субъективно-идеалистическими.

Именно здесь ошибка Максвелла сыграла свою роль. Вот, что пишет в конце XIX века профессор О.Д. Хвольсон в своём «Курсе физики» [8] (§4. Actio in distans):

Термином «actio in distans», т.е. «действие на расстоянии» обозначается одно из наиболее **вредных** учений, когда-либо господствовавших в физике и тормозивших её развитие: это учение, допускавшее возможность непосредственного действия чего либо (А) на что либо другое (В), находящееся от него на определённом и столь большом расстоянии, что соприкосновения между А и В происходить не может...

...Ученик Ньютона, Cotes, в предисловии ко второму изданию «Principia», которого Ньютон не читал до его написания, впервые ясно выразил мысль об «actio in distans», о том, что тела непосредственно взаимно притягиваются. С одной стороны уверенность, что взгляд, высказанный в предисловии к его книге, одобряется Ньютоном, с другой – грандиозное развитие небесной механики, целиком основанной на законе всемирного тяготения, как на факте, и не нуждавшейся в каких либо его разъяснениях, заставили учёных забыть о чисто описа-

тельном характере этого закона и видеть в нём законченное выражение действительно происходящего физического явления.

...Идея о действии в даль, господствовавшая в прошлом столетии, получила новую пищу, ещё более окрепла, когда, в конце столетия, из опытов Кулона оказалось, что и магнитные и электрические взаимодействия могут быть сведены к взаимодействиям особых гипотетических веществ (два электричества и два магнетизма), происходящим непосредственно в даль и по законам, вполне аналогичным закону Ньютона. ...В первой половине текущего столетия (XIX века – прим. наше) *actio in distans* **полновластно господствовала в науке.**

...В настоящее время успело сделаться общим достоянием убеждение, что *actio in distans* не должна быть допущена ни в одну область физических явлений. **Но как её изгнать из учения о всемирном тяготении?**

Вы видите, что благодаря ошибке Максвелла «мгновенное действие на расстоянии» оказалось изгнанным из электродинамики. Осталось его изгнать из механики Ньютона и теории тяготения.

Классическая механика стала рассматриваться, как анахронизм только из-за того, что она опиралась на дальноедействие. И это, несмотря на то, что она была подтверждена двухвековым опытом практического применения. Пуанкаре гордо писал примерно следующее: «То, что осталось от классической физики после создания теории относительности, представляло собой ещё здание, по сравнению с тем, что осталось от неё после создания квантовых теорий!» [7]. Это отношение к классической механике сохраняется и сегодня.

## 8. Взаимодействие и мгновенное дальноедействие

Представьте себе, что у вас оторвали от рубашки клочок материи. Вы должны как-то заштопать дыру. Это можно сделать, вставив и пришив оторванный клочок. Но можно коряво стянуть края дыры «на живую нитку». Точно так же и в физике. Ошибка Максвелла «вырвала» мгновенное действие на расстоянии из объяснения ряда физических явлений. Это негативно отразилось на изменении содержания понятий в физических теориях и на обилии постулатов в теориях.

Постулат играет «странную» роль, роль догмата. Он подобен дорожному указателю (типа «кирпич»). Вы должны подчиняться этому знаку и не имеете права «заглядывать» за него и искать ответ на вопросы: почему «нельзя» и что за ним дальше? Если вы нарушаете, вас ожидают «санкции». Таких запретов много, например, «в природе нет абсолютно жёстких тел» или «нельзя двигаться со сверхсветовой скоростью» и т.д.

«Утрата» мгновенного действия на расстоянии привела к некорректным объяснениям и искажению содержания некоторых терминов. Мы рассмотрим в качестве примера определение фундаментального понятия «взаимодействие» в физике. Процитируем БСЭ:

**Взаимодействие в физике** – воздействие тел или частиц друг на друга, приводящее к изменению состояния их движения. В механике Ньютона взаимное действие тел друг на друга **количественно** характеризуется силой. Более общей характеристикой В. является **потенциальная** энергия. Первоначально в физике утвердилось представление о том, что В. между телами может осуществляться непосредственно через пустое пространство, к-рое не принимает никакого участия в передаче В.; при этом В. перемещается мгновенно... В этом состояла т.н. **концепция дальногодействия.**

Заметим, что взаимодействие характеризуется не «потенциальной энергией». Оно имеет две стороны, две грани: силовое взаимное влияние и энергетическое (энергия взаимодействия, которая зависит от относительного расстояния и относительной скорости [5]). Продолжим:

...Было **доказано**, что В. электрически заряженных тел осуществляется **не мгновенно** и перемещение одной заряженной частицы приводит к изменению сил, действующих на др. частицы, не в тот же момент, а лишь спустя конечное время. ... Соответственно имеется **«посредник»**, осуществляющий В. между заряженными частицами. Этот посредник был назван электромагнитным полем. ...Возникла новая концепция – **концепция близкодействия**, к-рая затем была распространена на любые другие В.

В БСЭ пишется: «было доказано». На самом деле никаких эмпирических данных нет, а теоретические предпосылки опираются на уравнения Максвелла, в которых мы усмотрели ошибку. Посмотрите, что писал Лаплас по этому поводу. В [теории гравитации Ньютона](#) *скорость гравитации* не входит ни в одну формулу, считаясь **бесконечно большой**. В своём знаменитом «Изложении системы мира» в 1797 г. Лаплас писал: «Скорость распространения гравитации, которую я высчитал, анализируя движение Луны, её так называемые вековые ускорения, не менее чем в 50 миллионов раз превышает скорость света!»

Превышает в  $50 \cdot 10^6$  с (!), если таковая скорость, вообще говоря, имеется. Никаких точных данных, опровергающих мгновенное действие на расстоянии, не существует. Более того, именно оно позволяет решить проблему электромагнитной массы («электромагнитная масса имеет все свойства обычной инерциальной массы») и проблему взаимодействия зарядов. Нет причин отказывать мгновенному действию на расстоянии в праве на существование.

Продолжим анализ далее. Рассмотрим «мордобойный» (извините за выражение) пример: «Пусть Вася и Петя поссорились. Вася размахнулся и стукнул Петю кулаком в нос!» Рассмотрим это «взаимодействие» с точки зрения определения БСЭ.

Итак, «скорость распространения взаимодействия» (скорость кулака, по-видимому?) не может превышать скорости света. Это очевидно. Разъяснения требует следующий вопрос: «Взаимодействие это Васин кулак»? Видимо, так это следует понимать. Конечно, можно предположить, что кулак распространяется (движется) и переносит кинетическую (потенциальную?) энергию в сторону Пети со «скоростью распространения взаимодействий».

А теперь допустим, что Вася «промазал». Куда делось взаимодействие (Васин кулак сохранился!)? Вернулось к Васе?

Отождествление взаимодействия с материальным объектом, энергией или информацией есть *философское невежество*, есть непонимание сути определяемого понятия. Вы видите, сколько нелепостей может следовать из некорректного определения, данного академически мужами! А виноваты те, кто отбросил мгновенное действие на расстоянии, как «нефизическое». Вот и «штопают дыры» в теории.

Теперь наша очередь определить понятие «физическое взаимодействие». Для любого взаимодействия (взаимного действия объектов) необходимы:

- **два объекта**, имеющих общее свойство для возникновения взаимодействия;
- **контакт между ними** непосредственный или опосредованный;
- **взаимное воздействие** (одновременное влияние) объектов друг на друга.

Полезно рассмотреть физическую модель взаимодействия на расстоянии. Представьте себе, что с горки спускается платформа, и после разгона упруго ударяет другую, стоящую на её пути. Такое соударение относится к «точечному» контактному типу. Такой же тип взаимодействия имеет место между шарами в рассмотренном выше примере.

Теперь поместим между тележками упругую пружину. Если пружина обладает массой, то при ударе движущейся тележки по пружине вдоль пружины будет распространяться волна сжатия. Скорость этой волны будет зависеть от жёсткости и массы пружины.

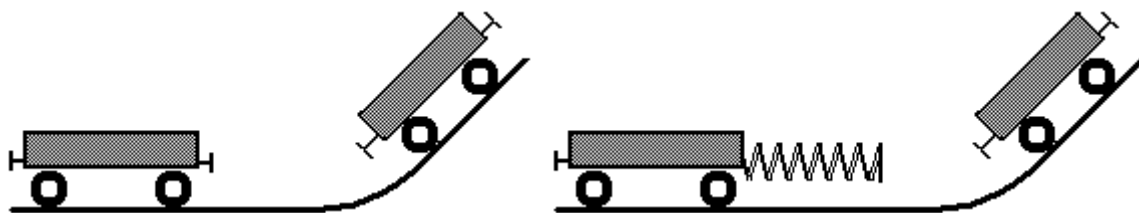


Рис. 2. Столкновение тележек

Допустим теперь, что масса пружины равна нулю. В пределе скорость распространения волны от движущейся тележки к неподвижной и обратно будет бесконечной (мгновенное действие на расстоянии). Соударение тележек уже не будет «точечным», поскольку тележки разделены пружиной. Однако взаимодействие сохранит свой контактный характер. Такое взаимодействие мы назвали контактным взаимодействием точечного типа.

Теперь можно рассмотреть случай взаимодействия электрических или гравитационных зарядов. Здесь возможны два варианта объяснения. Электромагнитная масса покоящегося заряда определяется формулой:

$$m = \int \frac{\rho \varphi}{2c^2} dV.$$

Согласно такому подходу инерциальная масса заряда сосредоточена в самом заряде. Как следствие, электрическое поле, окружающее заряд, не имеет **инерциальных** свойств. Оно подобно безынерциальной пружине, рассмотренной ранее. Аналог этого поля – силовые линии, которые обладают упругими свойствами. Они определяют контактный характер взаимодействия. Таким образом, мгновенное действие на расстоянии не противоречит принципу причинности и имеет своим аналогом взаимодействие контактного типа.

Итак, физическое взаимодействие это не тело или информация и т.д. Взаимодействие есть *процесс контактного типа*. Он обычно сопровождается обменом энергией и импульсом между двумя объектами взаимодействия и изменением их состояний.

Контактный характер взаимодействия отвергает посредников. Любую сложную причинно-следственную цепь можно разложить на последовательность взаимодействий контактного типа. Мгновенное действие на расстоянии (соответственно, законы Кулона, Ампера, всемирного тяготения и др.) не противоречит принципу причинности [9].

Ещё раз следует повторить. Взаимодействие есть *процесс контактного типа*. Понятие «скорость распространения взаимодействий» – пустое, бессодержательное понятие. Возвращение в физику мгновенного действия на расстоянии влечёт за собой необходимость ревизии некоторых физических теорий и необходимость новых, корректных объяснений физических явлений.

## 8. Шаг вперёд в решении проблем

Рассмотрим, какие проблемы уже удалось решить, опираясь на мгновенное дальнее действие. Рассмотрим коротко некоторые результаты.

Наиболее важным шагом является строгое решение проблемы электромагнитной массы [3], [4], [5], [6]. В этих работах были сформулированы законы сохранения энергии.

- **Закон сохранения энергии Умова**. Было доказано, что при движении поля заряда возникает поток энергии, имеющий *конвективный характер*. Этот поток переносит энергию поля заряда со скоростью движения заряда.
- **Закон сохранения Ленца** (баланс кинетической энергии). Этот закон устанавливает, что при ускорении (замедлении) заряда внешними силами возникает противодействующее электрическое поле, которое, воздействуя на заряд, стремится сохранить неизменной скорость его движения. Работа, совершаемая этим полем изменяет кинетическую энергию частицы (энергию магнитного поля).
- Законы сохранения показывают, что электромагнитная масса заряженной частицы обладает всеми *стандартными свойствами* обычной инерциальной массы. Следует отметить независимость этих законов от закона сохранения Пойнтинга.

Вторым важным результатом можно считать установление *классического* характера полевого взаимодействия зарядов между собой. Важно отметить следующее.

- Взаимодействие зарядов **не зависит** от выбора системы отсчёта наблюдателем и от числа наблюдателей.
- Взаимодействие зарядов **инвариантно** по отношению к преобразованию Галилея.
- Законы сохранения энергии, импульса, момента импульса системы взаимодействующих зарядов, величины работы, совершаемой зарядами, также **инвариантны** относительно преобразования Галилея. Они носят **сущностный** характер. Взаимодействие зарядов превосходно вписывается в рамки классической аналитической механики.

Третьим важным результатом явилось разделение уравнений для независимого описания полей зарядов и полей электромагнитных волн. Это имеет важные следствия.

- Преобразование Лоренца справедливо **только** для электромагнитных волн. Поэтому нужна новая интерпретация преобразования Лоренца, которая предложена в [4], [5], [6]. «Парадоксы» СТО (логические противоречия) исчезают в рамках нового объяснения явлений.
- Противоречий между преобразованием Лоренца и преобразованием Галилея не существует, т.к. преобразование Лоренца **инвариантно** по отношению к преобразованию Галилея [4], [5], [6]. Оно зависит от **скорости относительного движения** инерциальных систем, которая, как известно, инвариант преобразования Галилея.

Четвёртым результатом является установление ошибочности «калибровочной инвариантности». Мгновенное действие на расстоянии не устранимо ни из электродинамики, ни из теории тяготения. Мы не будем показывать ошибочность доказательств калибровочной инвариантности. Формально доказательство выглядит правильным. Однако оно имеет следующие допущения, которые незаконны.

- Доказательство (явно или скрыто) опирается на **единственность решения** задачи Коши для уравнений Максвелла. Следовательно, при заменах полей электромагнитными потенциалами мы должны формулировать и преобразовывать соответствующие начальные условия для потенциалов и полей. Этого не делается.
- Как было показано, мгновенное действие на расстоянии в электродинамике устранить невозможно. Поэтому любой потенциал необходимо представлять в виде суммы **функционально различных** частей (мгновенно действующий потенциал + запаздывающий (опережающий) потенциал и т.д.). В «доказательствах» функциональное разделение потенциалов отсутствует.

Заметим, что в учебнике Ландау и Лифшица «Теория поля» вы не найдёте упоминания о кулоновской калибровке, хотя она неявно широко ими пользуется. Видимо авторы понимали или чувствовали сомнительность процедуры «калибровочной инвариантности» и старались избегать упоминания о ней. Но у них есть правильное и важное замечание о *градиентной инвариантности*.

Можно было бы продолжить это список дальше. Очевидно одно: восстановление в правах в физике мгновенного действия на расстоянии приведёт неизбежно к ревизии ряда научных теорий и, прежде всего, теорий микромира (КЭД, теория элементарных частиц, теория атомного ядра и т.д.), а также СТО и ОТО. Различие полей зарядов и полей электромагнитных волн ставят под сомнение гипотезу о «корпускулярно-волновом дуализме». Суть физических явлений оказывается сложнее и разнообразнее, чем существующие объяснения.

## Заключение

Исследуя проблемы электродинамики, мы поняли, что источником многих ошибок являются предрассудки, т.е. старые «закостенелые» ошибки. Они «не бросаются в глаза», но следствия их мешают развитию физики. Предрассудки рожают всё новые и новые ошибочные результаты, направляя теорию по ложному пути. Они формируют догматизм в науке. В силу этого, новым идеям и гипотезам невозможно найти путь для опубликования в «толстых журналах».

Отсюда следует важный вывод о настоятельной необходимости постоянной проверки и перепроверки теоретических основ физики и фундаментальных экспериментов. Перепроверка экспериментов это проведение известных фундаментальных экспериментов на более высоком научном и техническом уровне с целью их более точного и глубокого подтверждения или опровержения.

Анализ ошибок современных физических теорий привёл к интересным результатам.

1. Для нас, например, оказалось неожиданным фактом, что принципы Н. Бора (принцип ответственности для математического формализма теорий и принцип дополненности) в их современной формулировке нацелены не на разрешение противоречий, а на то, чтобы их скрыть. Бор не единственный, кто, заблуждаясь (в отличие от Р. Фейнмана), старался создать иллюзию физики, как целостной науки, а не как сумму различных теорий, плохо согласующихся между собой. Это же замечание относится практически ко всем стандартным учебникам физики.
2. Для нас оказалось неожиданным то обстоятельство, что некоторые неисправленные ошибки в физических теориях превращаются со временем в предрассудки, которые могут «жить» в науке столетиями. Ошибка Максвелла есть пример такой ошибки и притом не единственный. Со времён Лобачевского существует ошибка в определении (дефиниции) «внутренней кривизны пространства». Её исправление также ведёт к неожиданным результатам. Например, современная космология и ОТО превращаются в схоластику, а модные понятия (тёмная материя, чёрные дыры, кротовые норы, струны и т.д.) становятся пригодными только для псевдонаучной фантастики [10].

3. Ошибок в физике было бы намного меньше, если бы философы владели материалистической теорией познания научной истины [11]. Материалистическая теория познания не позволила бы «вольному» обращению физиков с формальной логикой и математикой. Она заставила бы, например, «перетряхнуть» СТО на предмет устранения в ней логических противоречий («парадоксов»).

**Источники информации:**

1. Карцев В.П. Приключения великих уравнений. М.: Знание, 1986. [Электронная версия книги. НиТ](#), 2001.
2. Кочин Н.Е. Векторное исчисление и начала тензорного исчисления. М.: «Наука», 1963.
3. Кулигин В.А., Корнева М.В., Кулигина Г.А. [Кризис релятивистских теорий. НиТ](#), 2001.
4. Корнева М.В., Кулигин В.А., Кулигина Г.А. [Ошибки, предрассудки и заблуждения в современной электродинамике. SciTecLibrary](#), 2012.
5. Кулигин В.А. [Гимн математике или авгиевы конюшни теоретической физики. SciTecLibrary](#), 2014.
6. Кулигин В.А., Корнева М.В., Кулигина Г.А. Анализ ошибок и заблуждений в современной электродинамике. [ISBN-13: 978-3-659-32667-7; ISBN-10: 3659326674; EAN: 9783659326677]. – Berlin: «LAP», 2012.
7. Дышлевый И.С., Канак Ф.М. Материалистическая философия и развитие естествознания. Киев: «Вища школа», 1977.
8. Хвольсон О.Д., [Курс физики. Том первый, избранное \(Конститутивы механики и измерения\)](#). Издание К.Л. Риккера, 1897.
9. Кулигин В.А. [Причинность и взаимодействие в физике. НиТ](#), 2001.
10. Кулигин В.А. [Чёрные дыры тёмной материи. SciTecLibrary](#), 2015.
11. Кулигин В.А. Корнева М.В., Кулигина Г.А. [Физика и философия физики. НиТ](#), 2001.

**См. также:**

Храмов Ю.А. Летопись познания. [Период классической науки. НиТ](#), 2000.

**Дата публикации:**

7 июня 2015 года

**Электронная версия:**

© [«Наука и техника»](#), 2015