

---

## «СВЕТНОСТЬ БЫТИЯ»: ОБ ЭЛЕКТРОМАГНИТНО-ПОЛЕВОЙ ПРОГРАММЕ В ФИЗИКЕ

В.П. Визгин

*Институт истории естествознания и техники РАН*

Рассматривается возникновение и эволюция электромагнитно-полевой программы в 1880–1910-е годы. Физической основой программы стала концепция электромагнитной массы Дж. Дж. Томсона и О. Хевисайда. Обсуждаются различные варианты этой программы, представленные в работах Х.А. Лоренца, Дж. Лармора, Э. Вихерта, а также ее радикальная версия – в работах М. Абрагама и В. Кауфмана. Отмечена роль электромагнитно-полевой программы в возникновении и утверждении специальной теории относительности, которая привела к релятивистской программе, пришедшей вместе с квантовой программой на смену программе Абрагама–Кауфмана. Определенное возрождение электромагнитно-полевой программы оказалось связанным с нелинейной электродинамикой Г. Ми, которую для построения своей единой теории поля использовал Д. Гильберт. Эта теория стала исходным пунктом в возникновении геометрической полевой программы.

**Ключевые слова:** электромагнитно-полевая программа, электромагнитная масса, теория М. Абрагама, опыты В. Кауфмана, специальная теория относительности, электромагнитные теории гравитации, нелинейная электродинамика Г. Ми, единая теория поля Д. Гильберта, геометрическая полевая программа.

Я свет, я тем и знаменит,  
Что сам бросаю тень.  
Я жизнь Земли, ее зенит,  
Ее начальный день.

*Б. Пастернак [1. С. 66].*

### Введение

Представление о единстве природы восходит к истокам научного мышления. Оно было присуще и физикам со времен Галилея и Кеплера и привело в конечном счете к понятию физической картины мира. Его эквивалентами были также понятия «научного мировоззрения» и, несколько позже, «глобальной исследовательской программы» [2]. Понятия «картины мира» и «мировоззрения» в физике впервые начал использовать М. Планк в начале XX века в отношении первой такой картины, которая опиралась на классическую механику [3; 4]. Но развернутое представление о механистическом мировоззрении в физике встречалось уже у П.С. Лапласа (его программа «молекулярной механики») [5]. А во второй половине и даже в конце XIX века его так или иначе придерживались чуть ли не все ведущие физики:

Г. Гельмгольц, Дж.К. Максвелл, В. Томсон, Г. Кирхгоф, Л. Больцман, Г. Герц и др. И.С. Алексеев приводит блистательное и эмоциональное изложение «механистического мировоззрения» русского физика Б.Б. Голицына (1893), заканчивающееся так: «В конце концов Физика станет не чем иным, как частью, главой Механики. Физика, иными словами, стремится к самоубийству. Это ее последнее стремление, последняя цель; она работает для этого и жертвует бескорыстно собою для торжества одной общей и величественной цели» [6. С. 132].

Эти слова прозвучали в то время, когда, благодаря Дж. Дж. Томсону (1881), а затем О. Хевисайду (1889), уже возникло понятие «электромагнитной массы» заряженной сферы, которое в 1890–1900-е годы привело к рождению электромагнитно-полевой картины мира и, соответственно, электромагнитно-полевой программы, пришедшей на смену механистическому мировоззрению.

### **Дальние истоки электромагнитно-полевой программы**

После того как в 1860-е годы Максвелл построил первую единую эфирно-полевую теорию электричества, магнетизма и света и, тем самым, сделал оптику частью электродинамики, снова (благодаря электромагнитно-полевой картине мира) появилась возможность рассматривать свет как первичную сущность. Снова – потому, что задолго до возникновения физики такая роль приписывалась свету, прежде всего Р. Гроссетестом (ок. 1175–1253), автором трактата «О свете, или О начале форм» (1225–1228). В этом трактате, пишет исследователь его творчества А.М. Шишков, «сводя все многообразие естественной науки к принципам действия света... Гроссетест заявляет, что "...телесное движение [то есть собственно предмет физики по Аристотелю] есть умножающая сила света". Именно благодаря свету, этому "телесному духу" осуществляется движение всех более отягощенных материей тел (Spiritus corporeussivelux, quomediomotomovelconsequentercorporugrossioru)» [7. С. 179].

Тут уместно вспомнить также о том, сколь огромную роль сыграли оптика и оптический эксперимент в развитии кризиса механистического мировоззрения и в подготовке квантово-релятивистского прорыва. Тут и эксперимент Майкельсона-Морли, и проблема распределения энергии в спектре абсолютно черного тела, и гравитационные эффекты – красное смещение и отклонение света, и гигантский спектроскопический материал и др.

Другой отдаленный исток электромагнитно-полевой программы связан не столько со светом, сколько с электродинамикой дальнего действия, предшествовавшей электродинамике ближнего действия Фарадея–Максвелла и конкурировавшей с ней еще в 1870–1880-е годы. Речь идет, в первую очередь, об электродинамике В. Вебера, основанной на предложенном им в 1846 году основном законе взаимодействия движущихся зарядов, зависящего от их скоростей. Позже, особенно в 1870-е годы, он попытался развить дальней-

ствующий аналог будущей электромагнитно-полевой программы. «В течение 1870-х годов он (Вебер. – *В.В.*), – отмечал автор наиболее обстоятельного исторического исследования электромагнитно-полевой картины мира Р. Мак-Кормак, – разработал электрическую картину природы... Он достиг законченного образа природы: единственными конститuentами физического мира были электрические частицы двух знаков, движущиеся в соответствии с единым динамическим законом» [8. Р. 472].

Концепцию Вебера поддерживали видные, прежде всего немецкие, теоретики: Ф. и К. Нейманы, Б. Риман, Р. Клаузиус и др. Но веберовская программа к концу 1880-х годов, не успев развернуться, вынуждена была уступить первенство фарадей-максвелловской полевой концепции близкодействия, особенно после открытия Г. Герцем электромагнитных волн. Тем не менее она оставила весьма заметный след в истории физики, существенно повлияв на разработку Х.А. Лоренцем электронной теории, которая вместе с максвелловской теорией электромагнитного поля легла в основу электромагнитно-полевой программы: «Лоренц, который восхищался электродинамикой Вебера, построил ее аналог, объединенную картину природы, основанную как на электромагнитном поле, так и на электрических частицах» [Там же].

### **Первые варианты электромагнитно-полевой программы**

Логику рождения электромагнитно-полевой картины мира кратко и выразительно раскрыл А. Эйнштейн в 1920-е годы. Описав появление понятия электромагнитного поля и, соответственно, теории Максвелла, он продолжает: «Вначале физики еще не отдавали себе полного отчета в революционизирующем характере теории поля. Сам Максвелл еще был убежден в том, что электродинамические процессы можно рассматривать как движение эфира, и даже использовать механику при выводе уравнений поля. Однако со временем стали все более отчетливо понимать, что сведение уравнений электромагнитного поля к уравнениям механики невозможно. В этих условиях стремление к созданию единого фундамента всей физики заставило изменить подход к проблеме на прямо противоположный и сводить уравнения механики к электромагнитным уравнениям. Это стремление стало еще сильнее после того, как Дж. Дж. Томсон открыл, что существует электромагнитная инерция электрически заряженных тел, а Абрагам показал, что инерция электронов допускает чисто электромагнитное толкование. Сведение инерции к электромагнитным процессам означало полный переворот в основах физики, по крайней мере в принципиальном отношении. Место материальной точки как элемента реальности заняло электромагнитное поле. Оно стало фундаментальным понятием во всех построениях теоретической физики» [9. С. 56].

Эйнштейн упомянул двух основоположников электромагнитно-полевого мировоззрения: Дж. Дж. Томсона и М. Абрагама. Мы уже назвали

и третью ключевую фигуру – Х.А. Лоренца. К ним также примыкает не менее десятка известных «электромагнитчиков»: британцев О. Хевисайда, Дж. Фицджеральда, О. Лоджа, Дж. Лармора, немцев Э. Вихерта, В. Кауфмана, В. Вина, Г. Ми и др. Идеи этой программы во многом разделяли в 1900-е годы и П. Ланжевен, и А. Зоммерфельд, и известные русские физики О.Д. Хвольсон, И.И. Боргман, А.А. Эйхенвальд и др.

Дж. Дж. Томсон впервые (в 1881 году) показал, что взаимодействие заряженного шарика с создаваемым им полем порождает силу, противодействующую ускорению шарика. Это можно было толковать также как появление добавочной массы у шарика, пропорциональной квадрату его заряда и обратно пропорциональной его радиусу  $a$ . Томсоновское значение этой массы ( $\mu = \frac{4}{15} \frac{e^2}{ac^2}$ , где  $c$  – скорость света) на основе более строгого расчета уточнил в 1889 году О. Хевисайд:  $\mu = \frac{2}{3} \frac{e^2}{ac^2}$ .

Эффект Томсона–Хевисайда наводил на мысль о возможности полного сведения механической массы электрона, открытого в 1897 году, к массе чисто электромагнитного происхождения. Эта возможность несколько позже и была реализована М. Абрагамом (1902–1904) [8; 10; 11].

Первые варианты электромагнитной картины мира были предложены в 1890-е годы Дж. Лармором и Э. Вихертом [8]. Немецкий вариант опирался на представление о том, что электромагнитный эфир является единственной первичной реальностью. Сгущения эфира, или его возбуждения, проявляют себя как заряженные частицы, масса которых имеет чисто электромагнитное происхождение. Вещество же мыслилось состоящим из заряженных частиц. В английском варианте вещество также предполагалось состоящим из отрицательно и положительно заряженных частиц, которые интерпретировались как своего рода вихри, или центры вращательного напряжения, в эфире. Но у Лармора эфир мыслился механистически: он обладал свойствами инерции и упругостью. Так что у Лармора была своеобразная комбинация механистической и электромагнитной картин мира.

Вообще, до создания специальной теории относительности электромагнитно-полевая программа была, скорее, эфирно-электромагнитной. Диапазон же представлений об эфире и способах порождения им заряженных частиц был достаточно широк. Один из главных создателей электронной теории Х.А. Лоренц также разделял электромагнитно-полевое мировоззрение, но в его умеренном варианте. Этот вариант был дуалистическим: в мире не было ничего, кроме электромагнитных полей и электронов. Правда, электромагнитные поля еще рассматривались как состояния непрерывной среды, эфира. Электроны же двигались в соответствии с законами классической механики.

## Электромагнитно-полевая программа и специальная теория относительности

Лавина экспериментальных открытий, последовавших за открытием в 1896 году рентгеновских лучей (радиоактивность – А. Беккерель, 1896; эффект Зеемана – 1896; электрон – Дж. Дж. Томсон, Э. Вихерт и др., 1897), работала на электромагнитно-полевую программу и связанную с ней электронную теорию. Так, на этой основе Лоренц объяснил эффект Зеемана (1897), а Э. Рикке разработал электронную теорию электропроводности металлов (1898). В 1900 году Лоренц в своем докладе «Электромагнитные теории физических явлений» в Лейдене описал успехи этой программы и указал на ее блестящие перспективы в объяснении проблем строения вещества, отметив, впрочем, что пока все попытки включить гравитацию в рамки электромагнитного мировоззрения, в том числе и его собственные (об этом ниже), оказались неудачными [8; 11]. Лоренц в эти годы (начиная с 1892 года) интенсивно развивал электродинамику движущихся тел, стремясь на основе представлений о покоящемся эфире и гипотезе сокращения движущихся тел (гипотеза Фицджеральда–Лоренца) объяснить отрицательный результат опыта Майкельсона–Морли. Но только в 1904 году он пришел к известной (совпадающей с релятивистской) зависимости массы электрона от скорости.

За несколько лет до этого в лидеры электромагнитной картины мира вышли два геттингенских физика: экспериментатор В. Кауфман и теоретик М. Абрагам. Первый экспериментировал с катодными лучами и уже в 1897 году до открытия электрона сам был близок к этому открытию [12]. Спустя четыре года после этого он опубликовал результаты своих экспериментов с  $\beta$ -лучами и сделал вывод о зависимости массы электронов от скорости, что, по его мнению, свидетельствовало об электромагнитной природе этой массы. Абрагам, хорошо знакомый с этими результатами, получил на основе радикального варианта электромагнитно-полевой программы выражение для электромагнитных энергии и импульса электронов. На 74-й сессии общества испытателей природы, проходившей в Карлсбаде в сентябре 1902 года, Кауфман и Абрагам рассказали о своих работах, и Абрагам сделал вывод: «Отныне становится необходимым с самого начала строить динамику электрона на основе электромагнетизма» (цит. по [12. С. 154]).

Аналогичные формулы, полученные Лоренцом и совпавшие позже со спецрелятивистскими, отличались от абрагамовских и, казалось, не подтверждались опытами Кауфмана. Поэтому Лоренц, выступая в 1904 году на заседании электротехнического общества, признал успех электромагнитно-полевой программы в ее радикальном (абрагамовском) варианте: «На этом основании (то есть на основании опытов Кауфмана. – *В.В.*) следует принять, что отрицательные электроны не имеют истинной массы, а имеют только электромагнитную массу, что они представляют собой, так сказать, только заряды без материи...» [13. С. 27].

В 1904–1905 годах Лоренц, Пуанкаре и Эйнштейн создают специальную теорию относительности [12; 14], в которой выражение для релятивистских энергии, импульса и массы совпадают с лоренцевскими. В 1906 году М. Планк разрабатывает релятивистскую механику и вновь обращается к сравнению теории Лоренца–Эйнштейна, с одной стороны, и теории Абрагама – с другой, с результатами опытов Кауфмана. Кстати, Кауфман в 1906 году уточнил полученные ранее данные своих экспериментов и заключил: «Результаты измерений несовместимы с постулатом Лоренца–Эйнштейна. Уравнение Абрагама и уравнение Бухерера в равной степени хорошо совпадают с результатами наблюдений» (цит. по [12. С. 156]). Упомянутый здесь А. Бухерер, так же как Лоренц, опирался на модель протяженного деформируемого электрона в соответствии с лоренцевым сокращением, но с постоянным объемом. Он также экспериментировал с быстрыми электронами, но уже в 1908 году пришел к выводу о правильности формул Лоренца–Эйнштейна [12].

1906 год в некотором смысле был критическим как в отношении специальной теории относительности, так и в отношении электромагнитно-полевой программы в ее радикальном варианте. Многие физики в это время были склонны признать победу «электромагнитчиков», тем более что репутация Кауфмана как экспериментатора была безупречной, а теоретические доводы Абрагама также выглядели убедительно. Это противостояние особенно ярко проявилось в дискуссии об экспериментах Кауфмана на одном из заседаний Немецкого общества естествоиспытателей и врачей в 1906 году, на котором М. Планк был чуть ли не единственным, кто продолжал отстаивать релятивистские формулы [11–15]. Даже такой сторонник теории относительности, как А. Зоммерфельд, отказался от нее в пользу теории Абрагама и, соответственно, радикальной версии электромагнитно-полевой картины мира. О том, что сам Лоренц готов был отказаться от гипотезы деформируемого электрона и соответствующих формул для энергии и импульса, мы уже говорили. В своей знаменитой монографии «Теория электронов и ее применения к явлениям света и теплового излучения» (1909) он писал: «Эксперименты, очевидно, противоречат идее сокращения в том виде, как я ее предложил. Хотя весьма вероятно, что от этой идеи придется полностью отказаться, я считаю целесообразным еще подумать над ней» (цит. по [12. С. 156]).

Эйнштейн же в своей знаменитой статье, законченной в декабре 1907 года и содержащей первое изложение принципа эквивалентности, уделив серьезное внимание опытам Кауфмана, все-таки сделал вывод в пользу теории относительности. Признав, что теории Абрагама и Бухерера «дают кривые, согласующиеся с экспериментальной кривой значительно лучше, чем кривая, соответствующая теории относительности», он заключил: «Однако, по нашему мнению, эти теории вряд ли достоверны, поскольку их основные предположения о массе движущегося электрона не вытекают из теоретической системы, охватывающей более широкий круг явлений»

[16. С. 92]. Уже в 1908 году начался переход физиков на позиции теории относительности. Во-первых, новые эксперименты Бухерера лучше согласовались с формулами Лоренца–Эйнштейна и сам он отказался от своей электромагнитной модели электрона [12. С. 150]. А во-вторых, теория относительности, в отличие от электромагнитно-полевой программы в ее радикальной, абрагамовской форме, продолжала прогрессировать. Важную роль в этом прогрессе играла геометрическая четырехмерная формулировка теории геттингенца Г. Минковского (1908–1909), который был в восторге от экспериментальных результатов Бухерера. Впрочем, окончательно вопрос об экспериментальном подтверждении релятивистских формул для энергии, импульса и массы в опытах с быстрыми электронами был решен только в 1914–1918 годах [12; 14; 17]. Таким образом, электромагнитно-полевая программа вначале сыграла существенную роль в развитии электронной теории и электродинамики движущихся тел и тем самым в генезисе специальной теории относительности. После ее создания эта программа также способствовала утверждению и экспериментальному подтверждению этой теории, поскольку конкуренция между двумя концепциями стимулировала соответствующие эксперименты и их обсуждение.

### **Электромагнитно-полевая программа и гравитация**

Трудной проблемой для электромагнитно-полевой программы была гравитация. В 1900 году сам Лоренц попытался свести гравитацию к электромагнетизму. Он рассмотрел два варианта этого сведения. Первый был в духе известной концепции Лесажа, только место мельчайших частиц, пронизывающих пространство, заняли короткие волны типа рентгеновских. Но этот вариант пришлось сразу отвергнуть, прежде всего, по энергетическим причинам. Тяготеющие тела должны были катастрофически нагреваться, что вступало в противоречие с законом сохранения энергии.

Второй вариант, казалось, мог стать более жизнеспособным. Он был основан на гипотезе Моссотти–Цельнера–Вебера, но в ее электромагнитно-полевом воплощении: предполагалось, что притяжение между разноименными зарядами несколько сильнее, чем отталкивание одноименных. Для того чтобы это различие приводило к наблюдаемому притяжению, оно должно было составлять примерно  $10^{-35}$ . Предполагалось также, что нейтральные частицы вещества состоят из одинакового числа положительно и отрицательно заряженных частиц (электроны только что были открыты). Масса этих заряженных частиц, в соответствии с электромагнитно-полевой программой, имела электромагнитное происхождение. «Таким образом, – резюмировал сторонник гипотезы Лоренца П. Ланжевен, – гипотеза, согласно которой вся инерция материи имеет электромагнитное происхождение, сразу же объясняет пропорциональность, существующую между обычной механической массой, или коэффициентом инерции, и массой астрономической, или коэффициентом ньютоновского притяжения. Оба коэффициента оказы-

ваются здесь пропорциональными числу заключенных в атоме корпускул» [19. С. 71]. Естественно, что теория Лоренца приводила к обратной квадратичной зависимости силы притяжения от расстояния между притягивающимися телами, а также к конечной скорости распространения гравитации, равной скорости света, и к ее согласованности с электродинамикой движущихся тел Лоренца, а впоследствии, как отмечал А. Пуанкаре, и с принципом относительности, то есть с теорией относительности.

Но сам Лоренц не был удовлетворен этой теорией, поскольку она не объясняла аномальное движение перигелия Меркурия и приводила к ряду дополнительных трудностей. Конечно, сохранялась и принципиальная «энергетическая» проблема, отмеченная еще Дж.К. Максвеллом и ведущая к тому, что пустое пространство (без гравитации) должно было обладать громадной внутренней энергией [10. С. 54–59]. Последующие попытки усовершенствовать теорию Лоренца в духе той, которая была предпринята Р. Гансом (1905), также не справлялись с названными трудностями [Там же. С. 60–63].

После открытия специальной теории относительности возникло два направления ее учета для построения теории гравитации. Первое – было связано с принятием во внимание релятивистской зависимости массы тяготеющих тел от скорости (Ф. Вакер, А. Вилкенс, 1906–1909). Они объясняли примерно только шестую часть наблюдаемого аномального смещения перигелия Меркурия. Второе направление – это попытки непосредственного лоренц-инвариантного обобщения ньютоновского закона тяготения. Этот подход был реализован в классических работах А. Пуанкаре и Г. Минковского (1906–1909).

Детальный анализ этих теорий провел В. де Ситтер в 1911 году. В частности, он показал, что эти теории также приводят к 6–7 для аномалии Меркурия, вместо нужных 40–45. Но здесь мы уже выходим за рамки электромагнитно-полевой программы, хотя Г. Минковский имел свой взгляд на нее, считая специальную теорию относительности подлинным фундаментом именно электронно-полевой картины мира: «Мне хочется верить, что не имеющая исключений справедливость мирового постулата (т.е. принципа относительности, а точнее, именно специальной теории относительности. – *В.В.*) является истинной основой электромагнитной картины мира, основой, которая была найдена Лоренцом, очищена далее Эйнштейном и которая теперь (благодаря ему самому! – *В.В.*) предстала пред нами во всей ясности» [20. С. 203]. Тут налицо совсем другое понимание электромагнитно-полевой программы, ядром которой Минковский считал теорию относительности. По-видимому, он связывал эту теорию, в первую очередь, с уравнениями Максвелла, а соответствующую группу симметрии (группу Лоренца или группу Пуанкаре) рассматривал как группу симметрии этих уравнений. Кроме того, в теории относительности особую роль играла скорость света (или скорость распространения электромагнитного взаимодействия).



## **Нелинейные обобщения уравнений Максвелла – новый вариант электромагнитно-полевой программы**

Теория Абрагама и основанный на ней радикальный вариант электромагнитно-полевой картины мира к концу 1900-х годов как будто утратили свою привлекательность, как и свое превосходство в отношении экспериментального подтверждения. Специальная же теория относительности, напротив, быстро развивалась. Вскоре к ней присоединились недавние «электромагнитчики», такие как А. Бухерер, А. Зоммерфельд и др. Утверждению и признанию теории способствовали и выдающиеся работы М. Планка (в это время главного редактора “Annalen der Physik”) по релятивистской механике и термодинамике, и Г. Минковского по ее четырехмерной теоретико-инвариантной формулировке. В 1911 году появляется первая обстоятельная монография по теории относительности, принадлежащая М. Лауэ, которую обычно считают свидетельством победы теории относительности и завершением ее полного признания. За 5–6 лет, прошедших со времени создания теории, она распространилась чуть ли не на всю физику, функционируя, фактически как глобальная исследовательская программа, а именно релятивистская программа, которая к концу 1900-х годов отбросила радикальный вариант электромагнитно-полевой программы на обочину научного развития. Единственной проблемой, с которой она не справилась, как и электромагнитно-полевая программа, была гравитация. И это стало понятно Эйнштейну уже к концу 1907 года, когда он открыл физическую основу будущей релятивистской теории тяготения – принцип эквивалентности. Но разработать на его основе такую теорию ему не удавалось достаточно долго, вплоть до 1913 года, когда вместе с М. Гроссманом он построил первый вариант тензорно-геометрической теории.

Хотя теория относительности одержала верх над абрагамовским вариантом электромагнитной картины мира, она сохраняла дуализм поля и материи, свойственный электронной теории Лоренца. В 1912–1913 годах немецкий теоретик Г. Ми осуществил новую попытку свести вещество к полю, точнее, свести электрон к электромагнитному полю, но не конкурируя с теорией относительности, а опираясь на нее. При этом Ми стремился сохранить понятие эфира. Вот некоторые из его «эфирно-электромагнитных» высказываний, относящихся к 1910–1911 годам:

«Согласно электронной теории, инерция материальной частицы представляет собой не что иное, как инерцию магнитного поля... Согласно этому воззрению, механика, всегда рассматривавшая понятие инерции как элементарное, простейшее понятие, должна потерять свое положение основной науки. Не эфир следует объяснять механически, но материю – электромагнетизмом» (цит. по [11. С. 35]). Математически строгой разработке теории предшествовала наглядное модельное представление о заряженных частицах как об особенностях, своего рода узлах напряжения в эфире: «...Элементарные материальные частицы... – не что иное, как особенные

места в эфире, где сходятся линии электрических напряжений эфира, короче говоря – узлы электрических полей в эфире...» [Там же]. Эта приверженность эфирно-электромагнитным идеям удивительным образом сочеталась с принятием Г. Ми теории относительности, изложение которой он включил в свой учебник «Курс электричества и магнетизма» (1910). «Принцип относительности, – говорилось там, – замечателен тем, что он утверждает существование внутренней связи между всеми свойствами материи и всеми физическими явлениями» [11. С. 35]. Поэтому его нельзя игнорировать при построении любой теории, включая и новый вариант электромагнитно-полевой программы.

Его знаменитая статья «Основы теории материи», первая часть которой датирована 31 октября 1912 года, начинается как раз с той самой эфирно-электромагнитной картины, о которой он писал ранее: «В моей теории электрон... не является строго ограниченной частью пространства в эфире, напротив, он состоит из ядра, непрерывно переходящего в атмосферу электрического заряда, которая распространяется на бесконечность, но даже вблизи ядра является настолько разряженной, что ее нельзя обнаружить экспериментально каким-либо способом» [21. S. 512].

Кратко обсудим основные особенности теоретической конструкции Ми. Прежде всего, он исходил из того, что электромагнитно-полевое (или эфирно-полевое) описание заряженных частиц должно опираться на такое обобщение уравнений Максвелла, которое вне этих частиц совпадает с обычными, линейными уравнениями Максвелла и которые только внутри этих частиц отличаются от них наличием некоторого нелинейного дополнительного члена. При этом в основу теории был положен лоренц-инвариантный вариационный принцип со стандартным электродинамическим лагранжианом  $(\frac{1}{2} F_{ik} F^{ik})$ , дополненным нелинейным членом, зависящим от потенциала  $\varphi_i$ , т.е. в виде функции  $w(\sqrt{\varphi_i} \varphi^i)$ .

Вычисления, проделанные для статического случая, приводили к значениям для заряда и массы заряженной частицы (электрона):

$$q = [r^2 \frac{d\varphi}{dr}]_0^\infty, \quad m = \frac{4\pi}{c^2} \int_0^\infty r^2 [w(\varphi) + \frac{1}{2} \varphi w'(\varphi)] dr.$$

При подходящем выборе функции  $w(\varphi)$ , значения заряда  $q$  и массы  $m$  будут определяться только статическим потенциалом и будут конечными.

Нелинейная электродинамика Ми вернула электромагнитно-полевой программе право на жизнь. Г. Ми стал в 1910-е годы признанным лидером электромагнитно-полевой картины мира, хотя в эти годы на передний край «физического фронта» выходят релятивистская и квантовая программы. Но теорию Ми берет на вооружение Д. Гильберт, попытавшийся соединить ее с тензорно-геометрической теорией гравитации. Г. Вейль в своей замечательной монографии «Пространство. Время. Материя» [22] также уделил ей значительное внимание, так же как и Паули в блистательной энциклопедиче-

ской статье, фактически монографии, «Теория относительности», опубликованной в 1921 году [17].

«Мы можем, таким образом, – подчеркивал Вейль, – *на основе законов природы рассчитать массу и заряд электрона, атомные веса и атомные заряды существующих элементов* (курсив Вейля. – *V.V.*), в то время как до сих пор эти последние кирпичи материи считались заданными» [22. С. 273]. Правда, тут же он отмечал важный изъян теории Ми: «Все это, впрочем, остается только *программой*, до тех пор, пока мы не знаем, какова мировая функция  $L$  (то есть лагранжиан теории. – *V.V.*). Гипотеза (74), (то есть  $L = \frac{1}{4} F_{ik} F^{ik} + w(\sqrt{-\varphi_i \varphi^i})$ . – *V.V.*), положенная в основу нашего рассмотрения, служит лишь для того, чтобы ясно показать, какое глубокое и фундаментальное, основанное на законах природы, понимание материи и ее строения открыло бы нам обнаружение функции действия». И добавлял: «Обсуждение такого рода произвольных гипотез не может, правда, привести к прогрессу. Необходимы новые физические воззрения и принципы, чтобы найти правильный путь для определения гамильтоновой функции» (то есть лагранжиана  $L$ . – *V.V.*) [Там же]. В. Паули же отмечал, что, хотя «обсуждавшиеся до сих пор предположения о виде  $L$  (то есть лагранжиана теории. – *V.V.*) приводят нас к противоречащему опыту результату о возможности существования элементарных частиц с произвольным полным зарядом», электродинамика Ми не должна быть отброшена, «так как еще не доказано, что нельзя найти мировой функции (то есть  $L$ . – *V.V.*), приводящей к существованию *определенных* (курсив Паули. – *V.V.*) элементарных частиц» [17. С. 277]. Более важным недостатком теории Ми Паули считал ее калибровочную неинвариантность, связанную с тем, что и в лагранжиан, и в уравнения поля входили абсолютные значения потенциалов «поэтому, – заключал он, – материальные частицы оказываются неспособными к существованию в постоянном внешнем потенциальном поле» [17. С. 278].

Позже, в 1930-е годы, М. Борну, а затем Борну и Л. Инфельду удалось построить калибровочно-инвариантное обобщение нелинейной электродинамики, которое продолжало обсуждаться и в 1940–1950-е годы, хотя тогда уже никто не думал о возможности электромагнитно-полевого объяснения сильно разросшегося многообразия элементарных частиц [23–26].

Возвращаясь к 1910-м годам, подчеркнем, что и сам Ми понимал лишь проектность или программный характер своей теории и видел, с какими трудностями она сталкивается. Так, ему не удалось включить в нее гравитацию; выбор лагранжиана был неоднозначен и физически не обоснован. Теория и, соответственно, электромагнитно-полевая программа получила бы, по мнению Ми, реальный импульс для своего развития, если бы удалось «в очень сильных электрических или магнитных полях или даже областях, где напряженность полей равна нулю, но имеются очень большие значения потенциалов, найти какие-либо отклонения от максвелловских законов...» [21. С. 64].

### Гильбертовская модификация «теоретико-полевого идеала единства» физики

Нелинейно-электродинамические модели Г. Ми (а позже и М. Борна и др.), несмотря на их несовершенство, по крайней мере, открывали перспективу сведения заряженных частиц к электромагнитному полю. Но они оказались совершенно бесплодными в отношении электромагнитного объяснения гравитации. Не удавалось включить гравитацию в релятивистскую программу, основанную на специальной теории относительности. Потребовалось перейти к расширенной релятивистской программе, основанной на обнаруженном в конце 1907 года Эйнштейном принципе эквивалентности. В 1913 году это привело Эйнштейна (вместе с М. Гроссманом) к тензорно-геометрической концепции гравитации и затем, после почти трехлетних блужданий, найти правильные общековариантные уравнения гравитационного поля.

На заключительном этапе к решению этой проблемы подключился Д. Гильберт, который попытался соединить тензорно-геометрическую концепцию гравитации Эйнштейна–Гроссмана с теорией Ми и тем самым реализовать, как он говорил впоследствии, «теоретико-полевого идеала единства» физики [10; 11]. Работа, в которой это было сделано, называлась «Основания физики». Она претендовала на создание единой полевой теории, в которой первичной, фундаментальной реальностью оказывалось тензорное гравитационное поле, из уравнений которого, в свою очередь, в качестве следствия получались обобщенные на основе теории Ми уравнения Максвелла. Из этих же последних, как полагал Гильберт, можно было получить в качестве решений электроны и в конечном счете все вещество. Кстати говоря, на этом пути Гильберт вывел и правильные уравнения гравитации, полученные из открытого им гравитационного лагранжиана, совпавшего со скалярной кривизной риманова пространства-времени.

В этом построении электромагнитное поле уступило свое первенство гравитационному полю. В результате физическая реальность имела трехслойную структуру: первичный слой (или наиболее фундаментальная сущность) физического мира – это гравитационное поле, второй, тоже полевой, слой – электромагнитное поле, описываемое нелинейным обобщением уравнений Максвелла на основе теории Ми, и, наконец, третий слой – это материальные заряженные частицы, из которых состоит все вещество. Добавим, что Гильберт использовал модельный лагранжиан теории Ми в виде

$$L = \alpha Q + \beta q^3,$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  – постоянные, а  $Q$  и  $q$  выражаются формулами

$$Q = \sum M_{mn} M_{lk} g^{mk} g^{nl}, \text{ а } q = \sum q_k q_l g^{kl}.$$

Гильберт таким образом уточнил и усложнил полевою картину мира, введя электромагнитно-полевою концепцию в рамки более фундаментальной геометрической полевою программы, поскольку в теории Эйнштейна–Гроссмана и затем в общей теории относительности гравитация отождествлялась с геометрией. «Теоретико-полевою идеал единства» Гильберта реализовался путем двойной редукции: все вещество сводилось к электромагнетизму, а электромагнетизм, в свою очередь, сводился к гравитации (или геометрии).

Редукционный характер классико-механической и электромагнитно-полевою программы отмечался ранее [6; 27]. У Гильберта же была двойная редукция. Электромагнитно-полевою программа (в виде концепции Ми) сохранялась, но, отдавая первенство геометризованной гравитации, оставалась теперь на вторых ролях.

Трактовка электромагнетизма как следствие тяготения в теории Гильберта основана фактически на частном случае 2-й теоремы Нетер об инвариантных вариационных задачах и не является однозначной и безупречной, так же как и теория Ми, которую использовал Гильберт для сведения вещества к полю. Эта часть теории была подвергнута критике и не получила дальнейшего развития, несмотря на те надежды, которые возлагал на нее сам Гильберт. Как он писал в конце работы 1915 года, о своей уверенности в том, что «при помощи составленных здесь уравнений будут разъяснены сокровеннейшие, до сих пор скрытые явления внутри атома, и на их основе должно оказаться возможным вообще свести все физические постоянные к математическим постоянным» [28. С. 598].

Теория Гильберта модифицировала «теоретико-полевою идеал единства» физики, став своего рода переходным этапом от электромагнитно-полевою программы к геометрической полевою программе, начало которой было положено единой теорией гравитационного и электромагнитного полей, развитой учеником Гильберта Г. Вейлем (1918). В рамках этой программы гравитация и электромагнетизм, уступая свое первенство геометрии пространства-времени, истолковывались как разные проявления геометрии пространства-времени, являющейся тем или иным обобщением четырехмерной псевдоримановой геометрии. Вскоре геометрическая полевою программа увлекла и Эйнштейна, который почти в течение тридцати последующих лет, переходя от одной геометрии к другой, искал разумный способ объединения гравитации и электромагнетизма, который бы, наподобие электромагнитно-полевою программы (и в частности теории Ми), позволил бы получить частицы вещества как решения соответствующих уравнений единого поля [11]. И эта программа не привела к успеху.

Согласно электромагнитно-полевою программе, просуществовавшей примерно 15–20 лет, первичной реальностью было электромагнитное поле. В теории Гильберта место первичной реальности перешло к гравитационному полю, материя мыслилась как электромагнитный феномен, а электромагнитное – получалось как следствие гравитации. В единых теориях поля, ос-

нованных на геометрической полевой программе, оба поля рассматривались наравне как различные проявления той или иной геометрии пространства-времени. Первичной же реальностью оказывалась геометрия пространства-времени, являющаяся тем или иным обобщением четырехмерной псевдоримановой геометрии.

### Заключительные замечания и выводы

Максвелловская теория электромагнитного поля, став мощным синтезом электричества, магнетизма и оптики и породив чуждое механистической картине мира понятие поля, на первых порах прекрасно уживалась с этой картиной мира, главным образом, через посредство эфира. Открытие электрона позволило Лоренцу развить электронную теорию и соединить ее с теорией Максвелла. Возникновение и последующая разработка концепции электромагнитной массы заряженных частиц в 1880–1890-е годы (Дж. Дж. Томсон, О. Хевисайд, Э. Вихерт) создали возможность полного сведения массы электрона к электромагнитному полю. Эта возможность была реализована М. Абрагамом в начале 1900-х годов, а соответствующая формула для энергии, импульса и массы электрона была подтверждена опытами В. Кауфмана. Формулы Абрагама были близки к формулам электродинамики движущихся тел Лоренца, совпавшим с соответствующими выражениями специальной теории относительности. Но опыты Кауфмана все-таки лучше согласовывались с теорией Абрагама. И в течение нескольких лет, а именно с 1902 по 1907 год, электромагнитно-полевая картина мира в ее радикальном варианте (Абрагама–Кауфмана) выглядела более перспективной. Теория Абрагама и этот вариант электромагнитно-полевой программы опирались на модель электрона в виде жесткого шарика. Даже такому приверженцу теории относительности, как Зоммерфельд, «жесткая идеальная сфера с поверхностным зарядом как модель электрона казалась в 1906 году замечательно естественным элементом электромагнитной картины мира» [29. С. 20].

Свет, ставший со времен Максвелла самым ярким примером, представлявшим электромагнитного поля, именно электромагнитные волны, как бы символизировал электромагнитно-полевую реальность. Именно в этот момент можно было говорить о «светности бытия», что означало признание электромагнитного поля в качестве некоей «первоматерии»<sup>1</sup>. Об этом же говорит и пастернаковское четверостишие о свете (к нему мы вернемся чуть

---

<sup>1</sup> Нобелевский лауреат Ф. Вильчек, поясняя название своей книги по истории современной физики элементарных частиц “The lightness of being”, замечает: «Главная мысль этой книги заключается в том, что мир вышел за пределы привычного древнего противопоставления небесного света и земной материи. В современной физике существует только одна материя – и речь идет скорее о традиционной концепции света, а не традиционной концепции материи. И получается не только легкость, но и светность бытия» (цит. по [30. С. 154]). Выражение «the lightness of being» имеет двойной перевод: и «легкость бытия» и «светность бытия».

позже). Возникшая с теорией относительности релятивистская программа опиралась лишь на принцип относительности, понимаемый как требование лоренц-ковариантности, и принцип соответствия (то есть на требование, чтобы лоренц-ковариантные обобщения классических понятий и соотношений при малых скоростях сводились к последним). Релятивистская программа прогрессировала, а электромагнитно-полевая программа оказалась подорванной и отягощенной эфирными представлениями. Кроме того, в эти же годы Планк и Эйнштейн вводят в физику кванты, которые никак не согласовывались с электромагнитно-полевой программой. Постепенно формируется квантовая программа, которая приводит к успеху не только в теории излучения, но и в теории атома (теория атома водорода Н. Бора, 1913).

Тем не менее как раз в 1912–1913 годах электромагнитно-полевая программа возрождается на основе нелинейной электродинамики Г. Ми. На этот раз она сама опирается на специальную теорию относительности; модификации же подлежали уравнения Максвелла, которые за счет нелинейных членов давали возможность получить заряд и массу электрона. Правда, это достигалось благодаря введению в лагранжиан теории и, соответственно, в уравнения поля выражений, явно зависящих от потенциалов. Но этот недостаток казался преодолемым, и, действительно, в начале 1930-х годов М. Борн и Л. Инфельд нашли калибровочно-инвариантное нелинейное обобщение электродинамики. «В нелинейной теории, – отмечали впоследствии Д.Д. Иваненко и А.А. Соколов, – свойство суперпозиции нарушается, ввиду чего эта теория приводит к характерным эффектам, в частности, к рассеянию света на свете, нелинейному рассеянию света на зарядах, отражению света от света...» [23. С. 202]. Тут уместно вернуться к эпиграфу («Я свет, я тем и знаменит. Что сам бросаю тень...» – как будто, речь идет как раз о рассеянии света на свете или отражении света от света). Поразительно, что это одно из самых ранних стихотворений Пастернака написано как раз в 1913 году, почти тогда же, когда появилась нелинейная электродинамика Ми. Эта теория была взята на вооружение Д. Гильбертом, который, соединив ее с тензорно-геометрической теорией гравитации Эйнштейна–Гроссмана, создал новый проект единой теории поля. В нем первичной реальностью было не электромагнитное, а геометризованное гравитационное поле, порождающее «нелинейный электромагнетизм», на основе которого, как надеялся Гильберт, можно было не только получить заряженные частицы, но и объяснить квантовые особенности излучения и вещества.

Тем самым был проложен путь к геометрически-полевой программе, в которой оба поля – и электромагнитное, и гравитационные – рассматривались как проявление геометрии пространства-времени. Хотя эта модификация электромагнитно-полевой программы до сих пор жива<sup>2</sup>, она уже к началу 1930-х годов уступает первенство квантовой программе, точнее квантово-полевой программе. Поначалу электродинамика, точнее квантовая электро-

<sup>2</sup> Могу сослаться, например, на работу 2017 года [30].

динамика, и в этой программе была своеобразной образцовой ее частью. Но, в конце концов, равный статус с теорией электромагнитного поля получили квантово-полевые теории слабого и сильного взаимодействий, которые обрели единство в так называемой стандартной модели сильных и электрослабых взаимодействий, основы которой были заложены С. Глэшоу, А. Саламом и С. Вайнбергом в 1960–1970-е годы [31; 32]. Проблема включения гравитации в эту модель до сих пор остается нерешенной.

Золотыми годами электромагнитно-полевой картины мира были полтора-два десятилетия с конца 1890-х до середины 1910-х годов, хотя еще и в 1930-е обсуждались ее варианты в духе Г. Ми. Сначала релятивистская и квантовая программы нанесли ей серьезный урон, вытеснив ее на обочину магистрального развития фундаментальной физики, связанного с геометрической полевой в 1920-е годы, а затем с квантово-полевой картинами мира.

Несмотря на то что нынешний статус электромагнетизма такой же, как статус сильного и слабого взаимодействий, электромагнитные силы (и в том числе свет) следует выделить, по крайней мере, по трем причинам. Во-первых, «человекоразмерная» физика, а именно физика атомов, молекул, твердого тела, фактически вся прикладная физика, химия, биофизика и т.д. почти полностью исчерпывается электромагнетизмом. Сильные и слабые силы господствуют в микромире высоких энергий, а гравитация царит в астрономии и космологии. Во-вторых, согласно Вильчеку, в современной физике реализуется «светность бытия» в том смысле, что давнее противостояние «небесного света» и «земной материи» закончилось в пользу «традиционной концепции света» (квантово-полевой картины мира). И, наконец, в-третьих, свет, оптика в квантово-релятивистской революции конца XIX – первой трети XX века сыграли первостепенную роль как в области эксперимента, так и в области теории.

Возможен ли на пути к манящему единству ныне дуалистичной картины мира (стандартная модель, с одной стороны, и общерелятивистская гравитация – с другой) некий реванш электромагнитно-полевой программы? Такой реванш кажется маловероятным, но подобного рода возвращения, казалось бы, навсегда оставленных концепций история физики знает. Можно привести только два примера. Первый пример – это определенный возврат корпускулярной оптики Ньютона и Лапласа после почти векового господства волновой теории. Речь идет о квантовой теории излучения Планка и Эйнштейна и затем квантовой электродинамике. Второй пример – это возвращение в космологию отброшенной в 1920–1930-е годы космологической постоянной. Наконец, с середины и конца 1990-х годов несколько неожиданно возродился интерес к теории Борна–Инфельда, правда, для скалярных полей.

*Я выражаю благодарность Юрию Сергеевичу Владимирову, побудившему меня написать эти беглые заметки о приключениях электромагнитно-полевой концепции в физике.*



## ЛИТЕРАТУРА

1. *Пастернак Б.Л.* Стихотворения и поэмы. Библиотека поэта. Большая серия. – М.-Л.: Советский писатель, 1965.
2. *Визгин В.П.* Математика в квантово-релятивистской революции // Физика XIX–XX века в общенаучном и социокультурном контекстах: Физика XX века и ее связь с другими разделами естествознания / отв. ред. Г. М. Идлис. – М.: Янус-К, 1997. – С. 7–30.
3. *Планк М.* Единство физической картины мира // Планк М. Избранные труды. – М.: Наука, 1975. – С. 613–633.
4. *Планк М.* Отношение новейшей физики к механистическому мировоззрению // М. Планк. Избранные труды. – М.: Наука, 1975. – С. 634–648.
5. *Визгин В. П.* Математика в классической физике // Физика XIX–XX веков в общенаучном и социокультурном контекстах: Физика XIX века / отв. ред. В.П. Визгин и Л.С. Полак. – М.: Наука, 1995. – С. 6–72.
6. *Алексеев И. С.* Единство физической картины мира как методологический принцип // Методологические принципы физики / отв. ред. Б.М. Кедрови, Н.Ф. Овчинников. – М.: Наука, 1975. – С.128–203.
7. *Шишков А. М.* Метафизика света. Очерк истории. – СПб.: Алетейя, 2012.
8. *Ms. Cormtach R.H.* H.A. Lorentz and the electromagnetic view of nature // Isis. – 1970. – V. 61. – P. 459–497.
9. *Эйнштейн А.* О современном кризисе теоретической физики (1922) // Эйнштейн А. Собрание научных трудов / под ред. И.Е. Тамма, Я.А. Смородинского, Б.Г. Кузнецова. – Т. IV. – М.: Наука, 1967. – С. 55–60.
10. *Визгин В.П.* Релятивистская теория тяготения (истоки и формирование (1909–1915 гг.)) – М.: Наука, 1981.
11. *Визгин В.П.* Единые теории поля в квантово-релятивистской революции: Программа полевого геометрического синтеза физики. – Изд. 2-е, испр. – М.: КомКнига, 2006. (1-е изд. выходило под заглавием «Единые теории поля в первой трети XX века» в 1985 г.).
12. *Пайс А.* Научная деятельность и жизнь Альберта Эйнштейна. – М.: Наука, 1989.
13. *Лоренц Г.А.* Электронная теория. – СПб.: Образование, 1910.
14. *Goldberg S.* Understanding Relativity. – Oxford: Clarendon Press, 1984.
15. *Puenson L.R.* The young Einstein: The advent of relativity. – Bristol and Boston: Adam Hilger Ltd, 1985.
16. *Эйнштейн А.* О принципе относительности и его следствиях (1907) // Эйнштейн А. Собрание научных трудов / под ред. И.Е. Тамма, Я.А. Смородинского, Б.Г. Кузнецова. Т. 1. – М.: Наука, 1965.
17. *Паули В.* Теория относительности. – М.-Л.: ГИТТЛ, 1941. – 300 с.
18. *Lorentz H. A.* Considerations de la pesanteur (1900) // Lorentz H.A. Collected papers. – Vol. 5. – The Hague, 1937. – P. 198–216.
19. *Ланжевен П.* Исследования в области ионизированных газов (1903) // Ланжевен П. Избранные труды. – М.: Изд. АН СССР, 1960. – С. 7–196.
20. *Минковский Г.* Пространство и время // Принцип относительности / под ред. В.К. Фредерикса и Д. Д. Иваненко. – Л.: ОНТИ, 1935. – С. 181–203.
21. *Mie G.* Die Grundlageneiner Theorie der Materie // Annalen der Physik. – 1912. – Bd. 37. – S. 511–524; Bd. 39. – S. 1–40; Bd. 1–40; 1913. – Bd. 40. – S. 1–66.
22. *Вейль Г.* Пространство. Время. Материя: лекции по общей теории относительности. – М.: УРСС; ЛЕНАНД, 2015.

23. *Иваненко Д.Д., Соколов А.А.* Классическая теория поля (новые проблемы). – М.-Л.: ГИТТЛ, 1949.
24. *Зоммерфельд А.* Электродинамика. – М.: Изд. иностр. лит., 1958.
25. *Тоннела М.-А.* Основы электромагнетизма и теории относительности. – М.: Изд. иностр. лит., 1962.
26. *Поллак Л.С.* Вариационные принципы механики, их развитие и применения в физике. – М.: ГИФМЛ, 1960.
27. *Овчинников Н.Ф.* Принципы теоретизации знания. – М.: Агро-принт, 1966.
28. *Гильберт Д.* Основания физики (первое сообщение) // Гильберт Д. Избранные труды. Т. II. Анализ. Физика. Проблемы. Personalia. – М.: Факториал, 1998. – С. 367–378.
29. *Кобзарев И.Ю., Манин Ю.И.* Элементарные частицы. Диалоги физика и математика. – М.: ФАЗИС, 1997.
30. *Kharuk N.V., Paston S.A., Sheykin A.A.* Classical electromagnetic potential as a part of gravitational connection; ideas and history. Doi: [arXiv.org> gr – qs > arXiv: 1709.02284 \(submitted 7 sept. 2017\)](https://arxiv.org/abs/1709.02284).
31. *Pais A.* Inward bound. Of matter and forces in the physical world. – Oxford: Clarendon Press; N.Y., Oxford University press, 1986.
32. *Степанянц К.В.* Классическая теория поля. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009.

## **“LIGHTNESS OF BEING”: ON THE ELECTROMAGNETIC FIELD PROGRAM IN PHYSICS**

**V.P. Vizgin**

The appearance and evolution of the electromagnetic field program in the 1880s and the 10s is considered. The physical basis of the program was the concept of the electromagnetic mass of J.J. Thomson and O. Heaviside. Various versions of this program are discussed, presented in the works of H. A. Lorentz, J. Larmor, E. Wiechert, as well as its radical version – in the works of M. Abraham and V. Kaufman. The role of the electromagnetic field program in the emergence and adoption of the special theory of relativity, which led to the relativistic program, which came with the quantum program to replace the program of Abraham-Kaufman, was noted. A definite revival of the electromagnetic field program turned out to be connected with the nonlinear electrodynamics of G. Mi, which was used by D. Hilbert to construct his uniform field theory. This theory became the starting point in the emergence of a geometric field program.

**Key words:** electromagnetic field program, electromagnetic mass, M. Abraham's theory, V. Kaufmann's experiments, special theory of relativity, electromagnetic theory of gravity, nonlinear electrodynamics G. Mi, uniform field theory of D. Hilbert, geometric field program.