

Введение

Важность понятия “пространство-время” в физической картине мира не вызывает сомнений. Пространственно-временные отношения находят свое выражение в геометрических конструкциях. Эволюция научных представлений о свойствах пространства-времени отражается в эволюции концепции ассоциированного с ним геометрического пространства. Современная геометрия в своём развитии достигла высокой степени абстракции. Тот факт, что возникла она как теория измерений, остался за пределами чистой математики. В физике же наше внимание уже не раз возвращалось к проблеме измерений. И всякий раз это вело к новому пониманию свойств пространства-времени.

Анализ проблемы измерений обычно производится на фоне определённых гипотез о геометрии реального мира, принятых явно или, гораздо чаще, неявно на основе каких-либо интуитивных соображений. В этой работе мы пытаемся выявить все такие неявные идеи, сформулировать явно их и их следствия, т.е. понять причины, заставляющие привлекать те или иные математические конструкции для описания реального мира.

Центральным вопросом при этом становится не вопрос “как устроен мир, каковы его законы?”, а вопрос “почему мы описываем мир так а не иначе?”.

На протяжении всего изложения, и в особенности в конце каждой главы, уделяется внимание связи возникающего описания мира с общепринятыми теориями физики, обсуждаются их общие черты и отличия.

Две первых главы этой книги посвящены выяснению причин и допущений, позволяющих описывать мир такой математической конструкцией, как пространство аффинной связности. Пространство аффинной связности возникает из нашего представления о мире как о целостности и непрерывности и является квинтиссенцией базовой цели физики — желания создать адекватное описание мира, такое, чтобы каждой части мира, каждому явлению соответствовал бы один и только один образ в теории. При этом изображение мира строится с помощью различных процедур измерений. Те из них, которые способны дать адекватное описание мира определяются как идеальные. Важнейшая структура такого описания, поле аффинной связности не вводится формально, а строится как скорость относительных изменений от точки к точке объектов, используемых в качестве измерительных масштабов. Это является всего лишь математически строгой записью

допущения, что в наиболее общем случае масштабы любого эксперимента меняются от точки к точке, и изменения эти измеряются самими же масштабами. В этих главах вводятся также другие важнейшие геометрические структуры, возникающие из аффинной связности. Их рассмотрение пока остаётся чисто формальным, математическим, хотя объект связности и отождествляется с комплексом потенциалов единого физического поля. Это утверждение обосновывается в следующих главах.

Однако, прежде чем приступить к отождествлению различных полей, порождаемых связностью на пространстве-времени с известными в физике полями, необходимо было уяснить отличия реализуемых процедур измерения от идеальных. Этому посвящена третья глава, в которой вводятся фундаментальные понятия события и ограниченности существования объекта. В ней подробно обсуждается, каким образом из этих понятий следует необходимость описания пространства-времени в малом как псевдоевклидова. Симметричная часть тензора Риччи интерпретируется как *естественный (нормальный)* метрический тензор для любого пространства аффинной связности, в том смысле, что он ассоциирует со всяким вектором (в том числе и с вектором бесконечно малого смещения из точки) вполне определённый инвариант, который может быть назван нормой вектора и может быть использован в этом качестве. Выясняется физический смысл скалярных параметров на траектории частицы как результатов измерения объекта, существующего на ней самим собой или некоторой произвольно выделенной своей частью, вводятся сами понятия классической, реальной и виртуальной частиц. Отождествление физического действия частицы со специальным параметром на её траектории, считающим события, естественным образом объясняет, почему действие и именно действие является базовой квантованной величиной в физике. В этой главе также вводится и обсуждается общее понятие о двух типах симметрий, присутствующих в описании мира.

В следующей главе обсуждается описание относительного движения на пространстве-времени, которое даёт аргументы в пользу интерпретации тензора кривизны как тензора напряжённостей единого поля. Несмотря на то, что уравнения для двух классических полей, не связанные с источниками являются при этом структурными тождествами, оказывается существует и ряд функционалов, для которых эти уравнения являются уравнениями Лагранжа. Т.е. некоторые плотности Лагранжа на пространстве-времени дают эти уравнения, если формирующие эти плотности поля (потенциалы) рассматриваются и

варьируются как коэффициенты аффинной связности. Всё это приводит к постановке вопроса о наличии, смысле и роли принципа стационарности действия в развиваемой теории. Этот принцип, и именно в форме, употребляемой в физике, оказывается необходимым следствием отождествления действия с естественным скалярным параметром, считающим события. Далее в этой главе обсуждается, каким образом единое поле в классическом приближении распадается на два — гравитационное и электромагнитное поля и затрагивается вопрос о количестве измерений пространства-времени.

Если электромагнитное поле (его потенциал и тензор напряженностей) появляются как неотъемлемая часть пространства аффинной связности общего вида, то классическая метрика Общей Теории Относительности является идеальной структурой, вообще говоря искусственной, которая была введена как смягчённый, более гибкий вариант абсолютного *вмещающего* пространства Ньютоновой теории мира. Поэтому проблеме введения классической метрики как способа описания гравитационного поля, выяснению причин её использования и условий, при которых она может быть определена непротиворечивым образом, уделено специальное внимание в пятой главе. Введение классической метрики как образа классической распределённой системы отчёта вместо локализованного на траектории масштаба приводит к необходимости использования наряду с локализованным на траектории вектором энергии-импульса также и распределения в области энергии-импульса, т.е. плотности тензора, след которой на метрике должен давать плотность действия в области. Поскольку плотности всех скаляров, построенных из тензора Риччи оказываются в силу его сингулярных свойств пропорциональны плотности собственного действия масштабов, содержащихся в области, принцип стационарности действия может быть применён и к функционалу от плотности следа тензора Риччи на классической метрике. Этот выбор функционала действия является одним из постулатов ОТО и сразу ведёт к известным уравнениям Эйнштейна, связывающим кривизну пространства-времени и плотность тензора энергии-импульса материи. Классическое выражение для плотности тензора энергии-импульса изолированной частицы записывается как плотность сингулярного распределения, которое после его свёртки с метрикой и интегрирования по области даёт в точности интеграл от метрического интервала по содержащейся в этой области траектории (после умножения на массу частицы — действие вдоль траектории). При его подстановке в уравнения решение Шварцшильда для изолированного масштаба с заданной массой выво-

дится обычным путём. При этом получаются такие, подтверждённые экспериментально результаты ОТО, как вековое смещение перигелия Меркурия и зависимость собственного времени от величины гравитационного потенциала, которые, естественно, имеют место когда классическая метрика может быть введена как дополнительная структура, отражающая определённые свойства связности. Кроме того, притягивающий характер гравитационного взаимодействия является необходимым следствием развиваемого способа описания мира, в отличие от ОТО, где знак гравитационного потенциала выбирается из опыта, как и величина и размерность гравитационной постоянной. Здесь размерность гравитационной постоянной навязывается способом введения классической метрики, в то время как её величина остаётся опытным фактом. Связано это с тем, что в классическом приближении она вычислена быть не может.

Шестая глава посвящена описанию классического электромагнитного поля. Тензор напряжённостей электромагнитного поля существует независимо от классической метрики. Однако описание этого поля в классической физике в значительной степени опирается на наличие классической метрики, поскольку она (метрика) является образом классической системы отсчёта, распространённой с локализованного масштаба на область пространства-времени. Введение классической метрики в присутствии электромагнитного поля оказывается тесно связанным с процедурой калибровки масштабов, которая обычно не рассматривается в классической теории пространства-времени. Обсуждению этого важного вопроса посвящён первый параграф главы. В следующем параграфе показано как возникает сохраняющийся относительно классической системы отсчёта вектор электромагнитного тока и записывается вторая группа уравнений Максвелла (первая группа уравнений является структурным тождеством тензора напряжённостей). Далее рассматриваются тензор энергии-импульса электромагнитного поля и сила Лоренца, описывающая отклонение траектории заряженной частицы от геодезической метрической связности под действием электромагнитного поля. Затем приводится известное решение Рейснера-Нордстрёма для классической метрики заряженной классической частицы как пример возможности её введения и в присутствии электромагнитного поля.

Таким образом, оба классических поля, гравитационное и электромагнитное, и только они, оказываются проявлениями симметричной части связности, рассматриваемой как единое поле в (почти) идеальном описании мира. Оказывается также прозрачным и то, что клас-

сические поля являются приближённым описанием мира. Кроме того выясняется и область применимости этих приближений.

В следующей главе кратко рассматриваются вопросы возможного существования ещё одного классического поля, которое до настоящего момента не является общепризнанным предметом классической физики — поля кручения. Приводятся основные соотношения для потенциалов и напряжённостей этого поля, затем получены те уравнения, которым это поле должно подчиняться при описании с точки зрения классической системы отсчёта, т.е. при введении классической метрики. Для поля кручения существует тензор напряжённостей, являющийся буквальным аналогом тензора напряжённостей электромагнитного поля, поскольку подчиняется той же самой системе уравнений Максвелла (но со своим зарядом). Поэтому определённая часть проявлений поля кручения в классическом приближении оказывается подобна электромагнитным явлениям.

В заключении кратко суммируется пройденный путь, на котором в процессе анализа и уточнения применяемых в процедурах измерений понятий возникло изображение мира единым полем скоростей изменения масштабов (пространство аффинной связности), содержащее как квантовые представления (в этой части книги затронутые лишь в их основах), так и оба базовых поля сил, гравитационное и электромагнитное, вместе с их классическими теориями.