Добавление к третьему изданию

В этом (1918) году в издании Шпрингера появилась обстоятельная монография по общей теории относительности, написанная Г. Вейлем: «Пространство. Время. Материя» («Raum. Zeit. Materie»), которую я рекомендую математикам и физикам.

I. О специальной теории относительности

§ 1. Физическое содержание геометрических теорем

Вероятно и ты, дорогой читатель, еще в юности познакомился со стройным зданием геометрии Евклида и, быть может, скорее с уважением, чем с любовью вспоминаешь об этом величественном сооружении, по ступеням которого многие часы водили тебя добросовестные учителя. По-видимому, вспоминая об этом прошлом, ты с презрением отнесешься ко всякому, кто посмел бы объявить неверным хотя бы самое незначительное положение этой науки. Но, быть может, это чувство гордой уверенности и покинет тебя, если тебя спросят: «Что понимаешь ты под утверждением, что эти положения истинны?» Коротко остановимся на этом вопросе.

Геометрия исходит, во-первых, из определенных основных понятий: плоскости, точки, прямой, с которыми мы связываем более или менее ясные представления, и, во-вторых, из определенных простейших положений (аксиом), которые мы склонны считать «истинными», основываясь на указанных представлениях. Все остальные положения сводятся к этим аксиомам, т. е. доказываются на основе логического метода, справедливость которого мы чувствуем себя вынужденными признать. Предложение считается правильным или «истинным», если оно выводится из аксиом привычным путем. Таким образом, вопрос об «истинности» отдельных геометрических положений сводится к вопросу об «истинности» аксиом. Однако давно известно, что последний вопрос не только не может быть решен с помощью методов геометрии, но вообще сам по себе не имеет смысла. Нельзя ставить вопрос об истинности того, что через две точки проходит только одна прямая. Можно лишь сказать, что евклидова геометрия имеет дело с объектами, которые называются «прямыми» и которые она наделяет свойством однозначно определяться двумя своими точками. Понятие «истины» неприменимо к заключениям чистой геометрии, поскольку под словом «истина» в последнем счете мы всегда подразумеваем соответствие «реальному» предмету; однако геометрия занимается не отношением ее понятий к предметам опыта, а лишь логической связью этих понятий между собой.

Нетрудно объяснить, почему тем не менее мы считаем положения геометрии «истинными». Геометрическим понятиям более или менее точно соответствуют предметы природы; при этом последние несомненно являются единственной причиной возникновения указанных понятий. Хотя геометрия и отвлекается от этого, чтобы придать своим построениям возможно бо́льшую логическую законченность, все же, например, привычка считать за отрезок кратчайшее расстояние между двумя заданными точками на практически твердом теле глубоко коренится в навыках нашего мышления. Далее, мы привыкли считать три точки находящимися на одной прямой, если при подходящем выборе пункта наблюдения одним глазом кажущиеся места этих точек могут быть приведены в совпадение.

Если теперь, следуя навыкам мышления, присоединим к теоремам евклидовой геометрии одно единственное утверждение, а именно, что двум точкам практически твердого тела всегда соответствует одно и то же расстояние (отрезок), какие бы изменения положения тела не происходили, то теоремы евклидовой геометрии превращаются в теоремы о возможных относительных положениях практически твердых тел[1].

Дополненную таким образом геометрию следует рассматривать как область физики. Теперь уже с полным правом можно поставить вопрос об «истинности» геометрических теорем, интерпретируемых указанным образом; в самом деле, можно спросить, справедливы ли теоремы для тех реальных предметов, которые мы связали с геометрическими понятиями. Выражаясь несколько неточно, мы можем также сказать, что под «истинностью» некоторого положения геометрии в этом смысле мы понимаем его справедливость при построении с помощью циркуля и линейки.

Убеждение в «истинности» положений геометрии в этом смысле основывается, конечно, исключительно на весьма несовершенном опыте.

[1]Этим понятие прямой связывается с реальным предметом природы. Три точки A, B и C неизменяемого тела лежат на одной прямой, если при заданных точках A и C точка B избрана так, что сумма расстояний $\overline{AB}$ и $\overline{BC}$ становится возможно меньшей. Этого дополнительного указания в данном случае достаточно.

Мы допустим сначала такую истинность положений геометрии, чтобы в последней части наших рассуждений (при рассмотрении общей теории относительности) установить, как и насколько эта истинность должна быть ограничена.

§ 2. Система координат

На основании указанной физической интерпретации расстояния мы получаем также возможность установить путем измерений расстояние между двумя точками твердого тела. Для этого нам необходима раз навсегда определенная длина (линейка S), которая будет применяться в качестве единичного масштаба. Пусть A и B — две точки твердого тела; тогда соединяющая их прямая может быть построена по законам геометрии. Далее на этой прямой будем откладывать длины S, начиная от точки A, до тех пор, пока не достигнем B. Число укладывающихся на этом отрезке длин и будет числом, измеряющим длину отрезка $\overline{AB}$. На этом основано всякое измерение длины[1].

Всякое пространственное описание места какого-либо события или предмета основано на том, что указывается точка некоторого твердого тела (тела отсчета), с которой совпадает данное событие, причем это относится не только к научному описанию, но и к повседневной жизни. Например, анализируя задание места: «в Берлине, на Потсдамской площади», мы находим, что это означает следующее. Твердым телом, к которому относится указанное место, является Земля, а «Потсдамская площадь в Берлине», — отмеченная на этом теле точка с данным названием, с которой пространственно совпадает рассматриваемое событие[2].

Подобный примитивный способ задания места пригоден лишь для мест на поверхности твердых тел и связан с наличием различных точек на этой поверхности. Проследим, как человеческое мышление освобождается от обоих этих ограничений, не меняя сущности способа задания места! Если, например, над Потсдамской площадью проплывает облако, то его положение по отношению к земной поверхности может быть

[1] При этом предполагается, что измерительная линейка укладывается целое число раз, т. е. в результате получается целое число. В общем случае это затруднение можно преодолеть, пользуясь разделенным масштабом, введение которого не вносит ничего нового.

[2] Здесь нет нужды в дальнейшем исследовании того, что означает «пространственное совпадение»; это понятие настолько ясно, что в каждом отдельном частном случае вряд ли могут возникнуть сомнения в его применимости.