

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 укладываемых на этом отрезке длин и будет числом, измеряющим длину отрезка  $\overline{AB}$ . На этом основано всякое измерение длины<sup>1</sup>.

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<sup>2</sup>.

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

<sup>1</sup>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.

<sup>2</sup>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.

определено следующим образом: на площади отвесно ставят шест, который достает до облака. Измеренная масштабom длина шеста вместе с указанием положения основания шеста полностью определяет в этом случае местонахождение облака. На этом примере мы видим, каким путем развивалось понятие места.

а) Неподвижное твердое тело, к которому относится указание места, будучи увеличено в размерах так, чтобы оно достигало предмета, местоположение которого надлежит определить.

б) Для характеристики положения, вместо отметки с названием, пользуются числом (в данном случае измеренной масштабom длиной шеста).

в) О высоте облака говорят и тогда, когда шеста, достигающего до облака, в действительности и нет. В нашем случае длину шеста можно найти, оптически определяя положение облака с различных точек земной поверхности, принимая во внимание законы распространения света.

Из изложенного выше ясно, что для описания места удобно отказаться от использования отметок на неподвижных твердых телах с особыми названиями и пользоваться числами. В физических измерениях это достигается применением декартовой системы координат.

Последняя состоит из трех взаимно перпендикулярных неподвижных плоскостей, связанных твердым телом. Место какого-либо события относительно системы координат определяется (в основных чертах) длиной трех перпендикуляров (или координат  $x, y, z$ ), которые могут быть опущены из этого места на указанные три плоскости. Длины этих трех перпендикуляров можно определить путем ряда манипуляций с твердыми масштабами, пользуясь теоремами и методами евклидовой геометрии.

На практике эти три плоскости, образующие систему координат, обычно не применяются, а сами координаты определяются без построений с твердыми масштабам. Однако, во избежание неясности в результатах и выводах физики и астрономии, всегда следует искать физический смысл определения места<sup>1</sup>.

Таким образом, мы приходим к следующему выводу. Всякое пространственное описание событий предполагает наличие твердого тела,

---

<sup>1</sup>Уточнение и видоизменение этих представлений потребуются нам лишь в связи с общей теорией относительности, которая рассматривается во второй части этой книги.

с которым события связаны пространственно. Эта связь предполагает, что «расстояния» подчиняются законам евклидовой геометрии, причем сами «расстояния» определяются физически двумя отметками на твердом теле.

### § 3. Пространство и время в классической механике

Если я без долгих размышлений и подробных разъяснений сформулирую задачу механики следующим образом: «механика описывает изменение положения тел в пространстве с течением времени», то этим я приму на свою совесть не один тяжкий грех; в этих грехах я и покаюсь прежде всего.

Неясно, что следует понимать здесь под словами «место» и «пространство». Я стою у окна равномерно движущегося железнодорожного вагона и выпускаю из рук на полотно дороги камень, не сообщая ему скорости. Тогда я увижу (отвлекаясь от сопротивления воздуха), что камень падает прямолинейно вниз. Прохожий, находящийся вблизи полотна железной дороги и наблюдающий одновременно со мной за падением камня, видит, что камень падает по параболе. Тогда я задаю вопрос: где «в действительности» находятся «места», через которые проходит камень при падении, — на прямой линии или на параболе? Далее, что означает при этом движение «в пространстве»? Ответ очевиден из соображений, высказанных в § 2. Прежде всего оставим в стороне неясное слово «пространство», под которым, признаемся, мы ничего определенного не подразумеваем; вместо этого мы рассмотрим «движение по отношению к практически твердому телу отсчета». В предыдущем параграфе мы дали определение понятия места относительно тела отсчета (железнодорожный вагон или поверхность Земли). Заменяя понятие «тело отсчета» понятием «система координат», полезным для математического описания, мы можем сказать: камень описывает прямую линию относительно системы координат, жестко связанной с вагоном, и параболу относительно системы координат, жестко связанной с поверхностью Земли. Из этого примера следует, что не существует траектории<sup>1</sup> самой по себе; всякая траектория относится к определенному телу отсчета.

Однако *полное* описание движения может быть дано лишь в том случае, если будет указано, как меняется положение тела со временем;

<sup>1</sup>Т. е. кривой, по которой движется тело.