

также является фронтом световой волны, но каждая из его точек взята в свой момент времени.

Итак, кажущаяся противоречивость постулатов Эйнштейна устраняется, если отказаться от представления об абсолютном времени и *считать одновременность пространственно разобщенных событий относительной*, т. е. связывать пространственные координаты и время в движущихся друг относительно друга системах отсчета не преобразованиями Галилея, а иными преобразованиями, удовлетворяющими постулатам Эйнштейна. Как выяснится, таковыми являются преобразования Лоренца.

§ 66. ОБЩИЕ СВОЙСТВА ПРОСТРАНСТВА-ВРЕМЕНИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОДНОВРЕМЕННОСТИ

Для вывода преобразований Лоренца нам понадобятся некоторые общие представления о свойствах пространства и времени.

Пространство и время суть формы существования материи. Эти формы являются *всеобщими*: никакая материя не существует вне пространства и времени, как и пространство и время немислимы без материи. Поэтому, говоря о свойствах пространства и времени, необходимо иметь в виду, что они являются отражением наиболее общих свойств материи и законов, управляющих ее движением. Опираясь на законы, лежащие в основе механики и электродинамики и не вызывающие в настоящее время сомнения, можно выделить следующие наиболее общие свойства пространства: *трехмерность, изотропность и однородность*. Важнейшим же свойством времени является его *однородность**.

Для пояснения этих свойств отметим, что наглядно пространство изображается *координатной сеткой*, служащей для регистрации всех возможных положений, которые могут занимать материальные объекты. Координатная сетка может быть привязана к некоторому избранному материальному телу, называемому *телом отсчета*. Если тело отсчета абсолютно жесткое, то его точки могут считаться изображающими точки координатной сетки. Для нумерации последних используются три числа — координаты (в простейшем случае — декартовы), что и является выражением *трехмерности пространства*. Равноправие всех трех декартовых координат отражает *изотропию пространства*, а произвольность выбора начала координат — его *однородность*.

Отвлеченным изображением времени может служить упорядоченная от прошедшего к будущему последовательность моментов времени, которые могут отсчитываться некоторыми идеальными (стандартными) часами. В каждой пространственной точке могут быть установлены свои часы, отсчитывающие время в данной точке. При этом все идеальные часы считаются тождественными, т. е.

* Из механики известно, что перечисленные свойства пространства-времени проявляются в законах сохранения энергии, импульса и момента импульса замкнутых систем.

ритм их хода при переносе часов в одну и ту же пространственную точку должен быть одинаковым. Свобода выбора начала отсчета времени является отражением его *однородности*.

Координатная сетка, связываемая с избранным телом отсчета, и упорядоченные последовательности моментов времени, сопоставляемые каждой точке пространства и отсчитываемые помещенными туда стандартными часами, образуют в своей совокупности то, что называют *системой отсчета*. При этом само тело отсчета (или их набор) совместно с установленными в каждой пространственной точке стандартными часами образуют *базис системы отсчета**. Среди всевозможных систем отсчета физически выделяются *инерциальные системы отсчета*, движущиеся по закону инерции, т. е. связываемые с телами отсчета, на которые не действуют никакие внешние силы (практически такие тела отсчета могут быть реализованы лишь приближенно).

Выбрав некоторую инерциальную систему отсчета, исследуем понятие одновременности событий. Как было замечено раньше, понятие одновременности относительно, поэтому необходимо дать строгое его определение, согласованное с постулатами Эйнштейна. При этом речь будет идти о пространственно разобщенных событиях, поскольку для событий, происходящих в одной точке, одновременность не отличается от галилеевской.

При определении одновременности пространственно разобщенных событий воспользуемся конкретным физическим процессом — распространением света в вакууме, скорость которого, согласно второму постулату Эйнштейна, постоянна и равна c . Пусть имеется два события, происходящие в точках M_1 и M_2 соответственно. Для синхронизации часов C_1 и C_2 , помещенных в этих точках, пусть световой сигнал из точки M_1 в момент времени t_1 (по часам C_1). Предположим, что этот сигнал пришел в точку M_2 в момент t_2 (по часам C_2), мгновенно отразился и возвратился в точку M_1 в момент t'_1 (по часам C_1).

Очевидно, что время, затрачиваемое на путь туда или обратно, должно быть одинаковым (вследствие постоянства скорости света). Поэтому необходимо считать, что $t_2 - t_1 = t'_1 - t_2$, или

$$t_2 = (t_1 + t'_1)/2. \quad (66.1)$$

* Следует особо различать систему отсчета и систему координат. Последняя, включающая в себя координатную сетку и способ отсчета моментов времени и не включающая тела отсчета, имеет вспомогательный характер и в значительной мере может быть выбрана произвольно, хотя, конечно, существуют и привилегированные системы координат, наиболее просто и точно отражающие свойства рассматриваемого явления. Этот вопрос особенно важен в общей теории относительности (Фок В. А. Теория пространства, времени и тяготения. М., 1955. § 1—2). Отметим, что, выбрав некоторую систему отсчета, привязанную к реальному телу отсчета, можно рассмотреть другое, воображаемое, тело отсчета с заданным законом движения и связать с ним новую систему отсчета (однако в общей теории относительности принято систему отсчета связывать только с реальными телами).

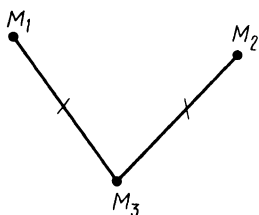


Рис. 66.1

Иначе говоря, часы C_2 должны быть установлены так, чтобы в момент прихода сигнала в точку M_2 их показание было t_2 [в соответствии с (66.1)]. Такого рода световая синхронизация часов и была положена Эйнштейном в основу *определения одновременности пространственно разобщенных событий*.

Очевидно, что возможны и другие способы синхронизации часов. Например, световой сигнал может высылаться в точки M_1 и M_2 из некоторой равноудаленной от них точки M_3 (рис. 66.1). Тогда время, показываемое часами C_1 и C_2 в момент прихода сигнала, должно быть одинаковым*.

§ 67. ВЫВОД ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ЛОРЕНЦА—ЭЙНШТЕЙНА

При выводе преобразований Лоренца будем считать принятыми следующие положения:

1) *однородность пространства и времени*, означающая, что вид преобразований не должен зависеть от выбора начала отсчета пространственных координат или времени;

2) *изотропность пространства*, т. е. равноправие всех пространственных направлений;

3) *принцип относительности*, т. е. полное равноправие всех инерциальных систем отсчета;

4) *постулат постоянства скорости света*, т. е. одинаковость скорости света во всех инерциальных системах отсчета.

Рассмотрим две инерциальные системы отсчета Σ и Σ' , с которыми свяжем декартовы системы координат. Систему отсчета Σ условно назовем неподвижной, а систему Σ' (также условно)—движущейся в системе Σ со скоростью v . Если рассматривать пространственно-временное описание некоторого материального процесса в системах Σ и Σ' , то эти описания должны быть эквивалентными, т. е. связанными между собой. Иначе говоря, в различных системах отсчета лишь по-разному изображается один и тот же пространственно-временной континуум, свойства которого являются отражением свойств материи. Поэтому должны существовать формулы преобразования от одной системы отсчета к другой, которые мы сначала запишем в самом общем виде:

$$t' = \varphi(t, \mathbf{r}); \quad \mathbf{r}' = \mathbf{f}(t, \mathbf{r}), \quad (67.1)$$

где φ и \mathbf{f} —некоторые неизвестные функции. Для определения их конкретного вида воспользуемся сформулированными выше четырьмя требованиями.

* Нетрудно убедиться, что подобную синхронизацию часов можно осуществить и с помощью частиц равной массы, выбрасываемых из точки M_3 , если только обеспечить равенство их импульсов.