



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
Дубна

3625/82

9/8-82

P2-82-330

В.Н.Стрельцов

О ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОМ
ОПИСАНИИ СОБЫТИЙ

1982

1. ВВЕДЕНИЕ

Проблема определения времени /одновременности/ в удаленной от данного наблюдателя точке, конвенциональный характер этого понятия достаточно широко обсуждалась в последнее время*. Напомним, что обычно одновременность в специальной теории относительности определяется на основе следующего опыта. Наблюдатель /находящийся в точке А/ посылает в удаленную от него точку В в момент времени t_1 световой сигнал; сигнал отражается в В и возвращается назад в А в момент времени t_2 . При этом моменту отражения сигнала приписывается время

$$t_B = t_1 + \epsilon(t_2 - t_1), \quad /1/$$

где $\epsilon = 1/2$. На основе явного учета конвенционального характера определения одновременности, т.е. при условии

$$t_{AB}^c = 2\epsilon(t_2 - t_1) = 2\epsilon t_{AB}, \quad t_{BA}^c = 2(1 - \epsilon)t_{AB}, \quad /1a/$$

где $0 < \epsilon < 1$, были введены обобщенные преобразования Лоренца. Они включают обычные преобразования Лоренца ($\epsilon = 1/2$), а при $\epsilon \neq 1/2$ допускают "временную анизотропию", приводящую к анизотропии скоростей распространения физических сигналов.

Однако неравенство скоростей физических сигналов в двух противоположных направлениях может быть обусловлено не только "временной анизотропией". Дело в том, что рассмотренный опыт может быть использован также /в соответствии с радиолокационным методом измерения расстояний/ для определения понятия расстояния от т.А до т.В. Поскольку непосредственным результатом данного опыта являются моменты времени t_1 и t_2 , то сумма расстояний, пройденных светом в прямом (X_{AB}^c) и обратном (X_{BA}^c) направлениях, должна быть равна заданной величине $c(t_2 - t_1)**$.

* См., например /1,2/, где можно найти ссылки на другие работы по этому вопросу.

**Здесь скорость света c следует фактически трактовать как масштабный коэффициент, поскольку в принципе можно измерять расстояние в единицах времени, т.е. полагать $c = 1(X_{AB}^c = t_{AB})$, что мы и будем делать в дальнейшем.

$$X_{AB}^c + X_{BA}^c = t_2 - t_1 = 2X_{AB}. \quad /2/$$

Мы не войдем в противоречие с опытом, если допустим, что

$$X_{AB}^c = 2\epsilon_1 X_{AB}, \quad X_{BA}^c = 2(1 - \epsilon_1) X_{AB}, \quad /2a/$$

где $0 < \epsilon_1 < 1$. Очевидно, что в случае отличия ϵ_1 от традиционного значения $1/2$ допускается пространственная анизотропия.

Ниже в рамках /1+1/-пространства мы рассмотрим общий случай, когда допускается как временная, так и пространственная анизотропия. С другой стороны, мы коснемся подхода, в котором отмеченные условные соглашения не имеют места.

2. АНИЗОТРОПНОЕ ПРОСТРАНСТВО-ВРЕМЯ

С учетом /1a/ и /2a/ в общем случае для скоростей распространения света в прямом и обратном направлениях будем иметь

$$c_1 = \frac{\epsilon_1}{\epsilon}, \quad c_2 = \frac{1 - \epsilon_1}{1 - \epsilon}. \quad /3/$$

Чтобы ввести соответствующие скорости v_1 и v_2 для материального тела, необходимо удовлетворить следующим трем условиям:

$$\frac{1}{v_1} - \frac{1}{c_1} = \frac{1}{v_2} - \frac{1}{c_2}. \quad /4/$$

$$\frac{X_{AB}^m}{v_1} - \frac{X_{AB}^c}{c_1} = \frac{X_{BA}^m}{v_2} - \frac{X_{BA}^c}{c_2}, \quad /5/$$

$$\frac{X_{AB}^c}{c_1} + \frac{X_{BA}^c}{c_2} = v \left(\frac{X_{AB}^m}{c_1} + \frac{X_{BA}^m}{v_2} \right), \quad /6/$$

где X^m - расстояние, пройденное материальным телом. Первое условие является следствием принципа относительности, а второе и третье, связывающие времена распространения света и материального тела, - следствием опыта.

Ранее при обсуждении вопроса о возможной анизотропии пространства /3/ мы полагали, что $X_{AB(BA)}^c = X_{AB(BA)}^m$. Однако, как отметил Р.Г.Зарипов /2/, это равенство не является необходимым. Поэтому ниже вместо него мы будем требовать только равенства соответствующих суммарных расстояний:

$$X_{AB}^m + X_{BA}^m = X_{AB}^c + X_{BA}^c. \quad /7/$$

При этом, подчеркнем снова, что будучи выраженными через c_1 , c_2 , v_1 и v_2 обобщенные преобразования Лоренца сохраняют свой

прежний вид. Однако наряду с /2a/ и /3/ изменятся соответствующие формулы для X_{AB}^m , X_{BA}^m , v_1 , v_2 и т.д.

Складывая и вычитая /5/ и /6/, после подстановки в них /3/ найдем:

$$X_{AB}^m = X_{AB} v_1 \left(\frac{1}{v} + 2\epsilon - 1 \right), \quad /8a/$$

$$X_{BA}^m = X_{AB} v_2 \left(\frac{1}{v} - 2\epsilon + 1 \right). \quad /8b/$$

Привлекая /7/ и /4/ с учетом /3/, после несложных выкладок придем, например, к следующему квадратному уравнению для $1/v_1$:

$$2v \frac{1}{v_1^2} - 2(1 + av) \frac{1}{v_1} + a(1 + \delta v) = 0, \quad /9/$$

где $a = (\epsilon - \epsilon_1) / [\epsilon_1(1 - \epsilon_1)]$, $\delta = 2\epsilon - 1$. В качестве физически приемлемого решения найдем

$$\frac{2}{v_1} = \frac{1}{v} + a + \sqrt{\frac{1}{v^2} + a^2 - 2\delta a}. \quad /10/$$

На основании /10/ легко получим

$$v_{1/2} = \frac{1}{1 \pm \delta v} \left(v \pm \frac{1}{a} \mp \sqrt{v^2 + \frac{1}{a^2} - 2\frac{\delta v^2}{a}} \right) \quad /11/$$

и

$$\frac{X_{AB}^m}{v_1} - \frac{X_{AB}^c}{c_1} = \frac{1}{av} \mp \sqrt{1 + \frac{1}{a^2 v^2} - 2\frac{\delta}{a}}. \quad /12/$$

Таким образом, неравенство скоростей физических процессов в двух противоположных направлениях может быть обусловлено как временной, так и пространственной анизотропией, а также совместным действием этих факторов. При этом для интервалов изменения, например, величины c_1 будем иметь соответственно $1/2 < c_1 < \infty$, $0 < c_1 < 2$ и $0 < c_1 < \infty$. В случае, если отмеченные анизотропии одинаковы ($\epsilon = \epsilon_1$), скорости физических сигналов в двух противоположных направлениях будут равны.

3. ВРЕМЕННОЕ ОПИСАНИЕ СОБЫТИЙ

Как мы уже отмечали выше, существование элементов условного соглашения в выборе величин ϵ и ϵ_1 при определении понятий одновременности и расстояния связано с тем, что непосредственно измеряемыми величинами /в рассмотренном опыте/ являются моменты времени t_1 и t_2 . Очевидно, что мы избавимся от отмеченных условных соглашений, если перейдем от t и x к временам отправления и возвращения светового сигнала /4/, которые ниже мы будем

обозначать t_- и t_+ соответственно. Математически это означает просто замену переменных

$$t_+ = t + x, \quad t_- = t - x. \quad /13/$$

Платой за такой переход является непривычность вводимого "временного описания" событий. Преимущество же нового описания должно заключаться в непосредственной измеримости и других соответствующих кинематических и динамических величин.

На основании /13/ для квадрата интервала найдем

$$dr^2 = dt^2 - dx^2 = dt_+ dt_-. \quad /14/$$

При этом для компонент ковариантной скорости будем иметь

$$u_{\pm} = u_0 \pm u_1, \quad /15/$$

где $u_0 = dt/dr$ и $u_1 = dx/dr$, или

$$u_+ = \frac{dt_+}{dr} = \sqrt{\frac{dt_+}{dt_-}}, \quad u_- = \frac{dt_-}{dr} = u_+^{-1}.$$

Нетрудно видеть, что u_+ здесь представляет собою по сути дела k -коэффициент Бонди ^{1/5}, а $u_- = k^{-1}$.

В соответствии с /15/ вместо плотности ρ и тока j найдем

$$\rho_{\pm} = \rho \pm j. \quad /16/$$

На традиционном языке ρ_+ (ρ_-) будет определять, например, число частиц на единице длины ($\Delta x = 1$), взятых в /разные/ моменты времени, удовлетворяющие условию $\Delta t = \Delta x$. Это означает просто, что счет частиц на данном отрезке производится с помощью посылки, скажем, из начала отрезка светового луча. Таким образом, в отличие от $\rho * \rho_+$ (ρ_-) также является непосредственно измеряемой величиной. Аналогичным образом вместо энергии и импульса будем иметь

$$E_{\pm} = E \pm p = mk, \quad E_- = E - p = mk^{-1}. \quad /17/$$

В качестве производных от E_+ и E_- по r вместо мощности и силы получим

$$F_{\pm} = F_0 \pm F. \quad /18/$$

* Когда необходимо провести синхронизацию часов в различных точках пространства, чтобы обеспечить выполнение условия $\Delta t = 0$.

В общем случае /1+3/-пространства в данном подходе удобнее всего пользоваться сферическими координатами.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ радиолокационного метода измерения расстояний позволил установить существование конвенции в определении этого понятия. Тем самым устранено определенное "неравноправие" между временной и пространственной координатами. Указанный факт допускает возможность введения анизотропного пространства, а в общем - анизотропного пространства-времени.

С другой стороны, использование непосредственно измеряемых /но непривычных/ величин позволяет не вводить отмеченных условных соглашений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стрельцов В.Н. ОИЯИ, P2-12699, Дубна, 1979; P2-80-266, Дубна, 1980.
2. Зарипов Р.Г. В сб.: Гравитация и теория относительности. Изд-во КГУ, Казань, 1980, вып.17, с.43.
3. Стрельцов В.Н. ОИЯИ, P2-11984, Дубна, 1977.
4. Nikolenko V.G. JINR, E4-80-845, Dubna, 1981; E4-81-357, Dubna, 1981.
5. Бонди Г. Относительность и здравый смысл. "Мир", М., 1967.

Рукопись поступила в издательский отдел
6 мая 1982 года.

Стрельцов В.Н.
О пространственно-временном описании событий

P2-82-330

Обсуждается конвенциональный характер понятий одновременности и расстояния в специальной теории относительности. Отмечается возможность введения в рамках указанной конвенции анизотропного пространства-времени, характеризующегося в общем анизотропией скоростей физических процессов. Приводятся выражения для однопутевых скоростей, расстояний и т.д. С другой стороны, обсуждается возможность "временного описания" событий, в рамках которого отмеченные условные соглашения не имеют места, а фигурируют только непосредственно измеряемые величины.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Streltsov V.N.
On Space-Time Description of Events

P2-82-330

Conventional character of concepts of simultaneity and distance in a special relativity is discussed. The possibility is pointed out of introducing (within the mentioned convention) anisotropic space-time that is characterized, in general, by anisotropy of velocities of physical processes. The expressions are given for one-way velocities, distances, etc. On the other hand, the possibility is discussed of time description of events in the framework of which the conditional conventions do not take place, and only direct measuring values are considered.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982

Перевод автора.