Министерство образования и науки Российской Федерации
Российская академия наук
Объединенное физическое общество РФ
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
Московский физико-технический институт (государственный университет)
Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена
Волгоградский государственно-педагогический университет

ФИЗИКА В СИСТЕМЕ СОВРЕМЕННОГО ОБРАЗОВАНИЯ (ФССО-11)

Материалы XI Международной конференции

Волгоград 19-23 сентября 2011

Том 1

Волгоград
Издательство ВГСПУ
«Перемена»
2011

К определению области применения преобразований Лоренца

А.Ф. Потехин
Одесский национальный морской университет (Одесса, Украина)
a_potjekhin@osmu.odessa.ua

Известно, что все тела Солнечной системы движутся не только относительно гелиоцентрической (барицентрической) системы отсчёта, но и вовлекаются в переносное движение этой системы отсчёта. В результате все тела Солнечной системы перемещаются относительно удалённых звёзд как целое, замкнутая физическая система с её внутренними движениями тел относительно друг друга. В таком случае законы динамики, сформулированные в этой системе отсчёта, согласно динамическому принципу относительности Галилея, будут справедливыми во всех других замкнутых физических системах и привязанных к ним системах отсчёта, если только эти физические системы отсчёта будут перемещаться поступательно, равномерно и прямолинейно относительно гелиоцентрической системы отсчёта. Изменение скорости движения тел в каждой из таких систем отсчёта может быть обусловлено только и только силами, приложенными к этим телам. Такие системы отсчёта есть динамические инерциальные системы отсчёта для тел данной замкнутой физической системы.

В противоположность Коперниковской гелиоцентрической системе отсчёта, планеты и кометы Солнечной системы не вовлекаются в переносное движение Птолемеевой геоцентрической системы отсчёта. Изменение скорости этих небесных тел в геоцентрической системе отчёта обусловлено не только приложенными к ним силами, но и движением самой системой отсчёта относительно гелиоцентрической системы отсчёта. Системы отсчёта, которые обладают такими свойствами, есть кинематические системы отсчёта.

Однако эта же геоцентрическая система отсчёта будет (с известной точностью) динамической инерциальной для всех тел, вовлекаемых в переносное движение Земли, в том числе для Луны. И поскольку Земля вовлекается в переносное движение Солнечной системы, то геоцентрическая система отсчёта будет вложенной, вместе со всеми своими телами, в гелиоцентрическую инерциальную систему отсчёта.

Рассмотрим лабораторную систему отсчёта Σ, которая является инерциальной для всех тел, перемещающихся вместе с этой системой отсчёта. Рассмотрим также систему отсчёта Σ' тележки, которая движется вместе с лабораторной системой отсчёта Σ и одновременно относительно неё поступательно, равномерно и прямолинейно со скоростью $u = const$. Тогда для всех тел, участвующих в переносном движении тележки, система отсчёта Σ' является инерциальной. При этом инерциальная система отсчёта Σ' – вложенная в инерциальную систему отсчёта Σ. Пусть заряд ρ_e движется вместе с инерциальной для него системой отсчёта тележки Σ' и одновременно относительно этой системы отсчёта со скоростью $\bar{v}'$. Электродинамические уравнения Максвелла в Σ' имеют вид

$$div\bar{E}' = \frac{1}{\varepsilon_0}\rho_e, \qquad 1)$$

$$rot\,\bar{E}' == -\frac{\partial}{\partial t'}\bar{B}', \qquad (2)$$

$$div\,\bar{B}' = 0, \qquad (3)$$

$$rot\,\bar{B}' = \mu_0\rho_e\bar{v}' + \frac{1}{c^2}\frac{\partial}{\partial t'}\bar{E}'. \qquad (4)$$

Для этого же заряда инерциальной является и лабораторная система отсчёта Σ, поскольку данный заряд вовлекается в её переносное движение. Относительно Σ заряд движется со скоростью $\bar{v}$

$$\bar{v} = \bar{u} + \bar{v}'. \qquad (5)$$

Тогда уравнения Максвелла в ИСО Σ имеют вид

$$div\,\bar{E} = \frac{1}{\varepsilon_0}\rho_e, \qquad (6)$$

$$rot\,\bar{E} = -\frac{\partial\bar{B}}{\partial t}, \qquad (7)$$

$$div\,\bar{B} = 0, \qquad (8)$$

$$rot\,\bar{B} = \mu_0\rho_e\bar{v} + \frac{1}{c^2}\frac{\partial\bar{E}}{\partial t}. \qquad (9)$$

Таким образом, уравнения Максвелла (1)-(4) и (6)-(9) для одной и той же системы зарядов в инерциальных системах отсчёта Σ' и Σ имеют один и тот же вид, но разные значения входящих в них функций, т. е. эти уравнения ковариантны. Обратим особое внимание на то, что ковариантность данных уравнений обусловлена лишь тем, что для одной и той же системы зарядов каждая из рассматриваемых систем отсчёта является инерциальной. Тогда сразу же возникает задача: найти такое преобразование от системы отсчёта Σ' к системе отсчёта Σ, которое оставляет систему уравнений (1)-(4) ковариантной. К этим преобразованиям Лоренц, используя ряд промежуточных гипотез, шёл на протяжении нескольких лет, но ему так и не удалось найти полную систему преобразований, оставляющих уравнения Максвелла точно ковариантными. Пуанкаре, подвергнув критике систему промежуточных гипотез Лоренца, в качестве общего принципа выдвинул требование ковариантной формы записи законов природы *во всех* системах отсчёта, которые движутся друг относительно друга поступательно, равномерно и прямолинейно. Он дополнил преобразования Лоренца преобразованием плотностей зарядов и токов, обеспечивавших полную ковариантность уравнений Максвелла. Широкое признание этот метод решения задач электродинамики движущихся тел получил после появления в 1905 г. статьи Эйнштейна, содержавшей результаты работ и Лоренца, и Пуанкаре. Физики получили мощный теоретический метод решения задач электродинамики движущихся тел, не прибегая к громоздкому методу решения этих задач в запаздывающих потенциалах.

Однако осталось незамеченным, что метод Лоренца-Пуанкаре-Эйнштейна (Л-П-Э) даёт верный результат только для вложенных друг в друга инерциальных систем отсчёта, относительно каждой из которых рассматривается одна и та же системы зарядов. Существует ещё одно ограничение. Этот метод позволяет по известному решению уравнений Максвелла во вложенной инерциальной системе отсчёта Σ' получить с помощью преобразований Лоренца решение этой же задачи в базовой инерциальной системе отсчёта Σ. Обратное утверждение неверно. Например, если к скалярному и векторному потенциалам заряда, который покоится во вложенной инерциальной системе отсчёта Σ', мы применим преобразование Лоренца, то получим правильный результат для скалярного и векторного потенциалов этого же заряда в исходной инерциальной системе отсчёта Σ. Однако у нас нет оснований утверждать, что применив преобразования Лоренца к скалярному и векторному потенциалу заряда, который покоится в инерциальной системе отсчёта Σ, мы получим правильный результат для скалярного и векторного потенциалов этого заряда в системе отсчёта Σ'. Это объясняется тем, что в этом случае *заряд не вовлекается в движение системы отсчёта* Σ', следовательно, эта система отсчёта для данного заряда будет кинематической, псевдоинерциальной. Динамическая же теория Максвелла с зарядами и токами получена только для динамических инерциальных систем отсчёта.

Преобразования Лоренца есть эффективный метод решения задач электродинамики движущихся тел. Однако область применения этого метода ограничена вложенными одна в другую динамическими инерциальными системами отсчёта. У истоков этого метода лежит идея Лоренца преобразования полей от собственной инерциальной системы отсчёта, в которой заряд покоится, к той инерциальной системе отсчёта, относительно которой этот заряд движется. Принцип обращённости полей при этом неприменим. Применение преобразований Лоренца вне указанной области и отождествление ковариантной формы записи динамических уравнений с динамическим принципом относительности Галилея-Ньютона приводит к ошибочным результатам, противоречиям и парадоксам, поскольку ковариантность уравнений движения требует рассмотрения одного и того же процесса относительно разных систем отсчёта, а принцип относительности Галилея-Ньютона требует рассмотрения идентичных процессов в каждой из инерциальных систем отсчёта. Правильность данного вывода подтверждается экспериментально (см. прямой и обращенный опыт Роуланда в статье А.Ф. Потехина).

Литература

Потехин А.Ф. Роль систем отсчёта в планировании и прогнозировании результатов физического эксперимента // Современный физический практикум (СФП-2010): материалы XI Междунар. Учеб.- метод конф. Минск, 2010. URL: http://potjekhin.narod.ru/.