Гносеологическая ошибка Эйнштейна и кинематические явления

Часть 1. Параметрическое преобразование Галилея

В. Кулигин, М. Корнева, Г. Кулигина
Кафедра электроники
(Исследовательская группа «АНАЛИЗ»), Физический факультет
Воронежский Госуниверситет
Университетская пл.1 Воронеж, 394018, Россия
e-mail: victor_kuligin@mail.ru

Аннотация. В статье проведен гносеологический анализ обнов теории относительности А. Эйнштейна. Показано, что Эйнштейн допустил ошибку. Исправление ошибки возвращает категориям «пространство и время» классическое содержание. Упоминается, что существует несколько различных преобразований при переходе наблюдателя из одной инерциальной системы отсчета в другую, когда скорость света одна и та же в любой инерциальной системе отсчета. В качестве примера рассматриваются релятивистские явления в рамках параметрического преобразования Галилея.

Ключевые слова: *гносеологическая ошибка, параметрическое преобразование, пространство, время, релятивистские эффекты.*

1. Введение

Мы будем называть релятивистскими теориями такие теории, в которых скорость света не зависит от выбора инерциальной системы отсчета. Это условие позволяет сохранить инвариантность уравнений электродинамики в произвольных инерциальных системах отсчета. А. Пуанкаре высказал эту мысль в 1904 г. Используя эту мысль, А. Эйнштейн в 1905 г. опубликовал Специальную теорию относительности (СТО). Специальная теория относительности А. Эйнштейна содержит парадоксы. Прошло столетие, однако парадоксы не имеют объяснений и споры о корректности СТО продолжаются до сих пор. Парадоксы не могут восприниматься людьми с нормальной логикой. Ниже мы рассмотрим эту проблему.

Ученые изрядно устали обсуждать парадокс близнецов. К сожалению, мы не можем избежать обсуждения. Нам важно оттенить причину, на примере этого парадокса.

Итак, пусть живут два брата-близнеца. Живут они в разных частях города. Однажды они связались и решили навестить друг друга. Они, не сговариваясь, одновременно сели в автобусы и направились в гости друг к другу. На середине пути автобусы пронеслись мимо друг друга.

Брат 1 увидел в окно своего брата и воскликнул: «Какой молодой у меня брат 2! Я лысый, а у него молодая челка!». Одновременно брат 2 также увидел в окно своего движущегося брата и воскликнул: «Мой брат 1 совсем не состарился! У него кудри юноши!».

Начнем анализ. С одной стороны, мы имеем одновременно два взаимоисключающих утверждения:

- Брат 2 моложе брата 1 (утверждение брата 1).
- Брат 1 моложе брата 2 (утверждение брата 2).

Это есть логическое противоречие, справедливо утверждают противники СТО. Научная теория не может содержать логических противоречий. Противники СТО правы.

С другой стороны, Пуанкаре в 1904 году высказал утверждение о равноправии инерциальных систем отсчета и о единстве законов в таких системах отсчета. Это есть фундаментальное положение, отвечающее *материалистическому мировоззрению*. Отказ от преобразования Лоренца есть одновременно от равноправия систем отсчета. Это означает существование «пупа вселенной», т.е. выделенной, абсолютной системы отсчета. В каждой системе, которая движется равномерно относительно этой абсолютной системы, будут свои физические законы, которые отличаются от законов абсолютной системы отсчета.

Какой выбор должны сделать ученые? Ученые могут сохранить логику, но тогда они должны *отвергнуть принцип Пуанкаре*. Таково мнение противников СТО. Ученые могут сохранить принцип Пуанкаре, но тогда они обязаны *признать логику необязательной* для науки. Чтобы поддержать свою точку зрения, сторонники СТО любыми способами стараются доказать что СТО имеет солидное «*экспериментальное подтверждение*». Но эксперименты могут подтвердить *только математический формализм* теории, т.е. количественные соотношения. Физическая интерпретация нацелена на качественное *объяснение сути* явлений и должна опираться на материалистическое мировоззрение ученых.

Исследовательская группа «Анализ» провела свои исследования. Наш анализ показал, что Эйнштейн допустил гносеологическую ошибку. Именно эта ошибка стала источником парадоксов и неправильного объяснения физических явлений. Современная философия остановилась в своем развитии. Философы, как правило, не умеют проводить гносеологический анализ физических теорий. Физики потеряли веру в современную философию. Скептическое отношение физиков к философии есть явное доказательство этого факта.

Однако физика не может развиваться вне философского мировоззрения. Любая интерпретация явлений есть отражение логики качественных связей и отношений, есть отражение мировоззренческих позиций исследователя. Надежд на профессиональных философов не осталось. Философский «вакуум» образовавшийся в 20 веке физики должны преодолевать сами. По этой причине мы начнем с анализа некоторых философских проблем СТО.

Мы рассмотрим содержание философских категорий «явление и сущность». Это есть необходимый шаг, поскольку сущность мы познаем, исследуя явления. Из-за неумения отделить при анализе явление от сущности потерпели неудачу философские взгляды Авенариуса и Маха. Та же самая причина привела Эйнштейна к неправильному объяснению релятивистских явлений в СТО, описываемых преобразованием Лоренца.

2. Наблюдатель, явление, сущность

«Золотое правило» [1]. Здесь мы опишем главные признаки позволяющие отличать между собой философские категории «явление и сущность. Отметим наиболее важные:

- Во-первых, должен объективно существовать некий материальный объект или взаимодействующие объекты, которые представляют собой некую **сущность**, подлежащую познанию.
- Во-вторых, должен существовать познающий субъект – **наблюдатель,** для которого сущность предстает всегда в форме **явления**. Наблюдатель исследует «явление» (регистрирует его наличие, измеряет его параметры, наблюдает, описывает характеристики и т.д.), чтобы понять сущность. Регистрируемое наблюдателем явление зависит от **условий** его наблюдения.
- В третьих, информация о наблюдаемом (регистрируемом) явлении доставляется **переносчиком** информации. В качестве переносчика могут выступать многие объекты: световые волны, звуковые волны, тепло и т.д. При транспортировке информации от наблюдаемого объекта к наблюдателю возможно возникновение искажений. Такие искажения отсутствовали бы, если бы информация переносилась *мгновенно*.

Для иллюстрации обратимся к рис. 1. На нём изображён цилиндр и проекции цилиндра на ортогональные плоскости. Цилиндр представляет собой некую сущность. Проекции цилиндра на плоскости есть явления, которые изучает (измеряет) наблюдатель (или наблюдатели). Эти проекции зависят от условия, т.е. от ориентации оси *OO'* цилиндра относительно плоскостей. Условие мы можем менять, чтобы изучить совокупность явлений.

По одному явлению установить сущность невозможно! По одной проекции на плоскость, например, мы не сможем описать трехмерную структуру объекта. Помимо этого наблюдатель **не может описать объект** (= сущность) **в полной мере**, разглядывая проекции и меняя условия наблюдения.

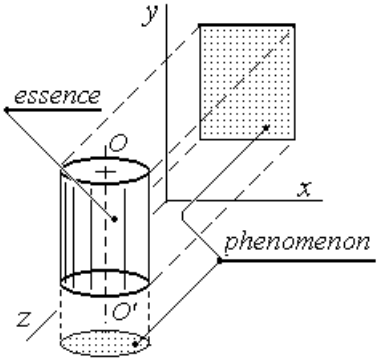

Рис. 1. Иллюстрация философских категорий *сущность* и *явление* на примере проекций цилиндра на ортогональные плоскости

Например, проекции не дают ему информации о составе цилиндра и т.д. Поэтому говорят о сущностях первого и других порядков. Тем не менее, уже сейчас мы можем сформулировать важное «**золотое правило**», которое позволит нам в дальнейшем легко отличать сущность от явления, а явление от сущности:

Явление **зависит** от условий наблюдения.

Сущность от условий наблюдения **не зависит**.

Дадим описание философских категорий «явление и сущность» и их взаимную связь[1].

Явление. Мы теперь с вами знаем, что явление *зависит* от условий его наблюдения. Каждому набору условий отвечает некая совокупность явлений. С позиции теории познания объективной истины любое явление из заданной совокупности представляет собой сочетание ***особенного*** (характерного только для данного явления и отличающего данное явление от остальных явлений данной совокупности) и ***общего*** (т.е. того, что остаётся неизменным, *инвариантным* для всех явлений данной совокупности, принадлежащих данному *набору условий*). Изменяется какое-либо условие – изменяется и явление, но **сам исследуемый объект не испытывает никаких изменений**. Сущность *инвариантна и объективна.* Она никак не зависит от условий наблюдения и наблюдателя.

Явление можно наблюдать, измерять его характеристики, фотографировать. Фразы: «*нам будет казаться*», «*мы будем измерять*», «*мы будем фотографировать*» и т.д. – будут равнозначными в том смысле, что принадлежат процессу регистрации явления[2]. В слове «кажется» нет никакой иллюзии, мистики, а есть отношение к сущности. Однако и сущность как инвариантное представление может быть охарактеризована некоторыми инвариантными параметрами и характеристиками.

Закон. Каждому набору условий отвечает совокупность явлений. Зависимость некоторой характеристики явления от некоторого конкретного условия называется *законом* или *закономерностью*. Иными словами, закономерность – это зависимость какой-либо характеристики явления от изменения определённого условия при неизменных остальных условиях. Примером законов (закономерностей) могут служить законы: Бойля-Мариотта, Шарля, Гей-Люссака для идеального газа. Условиями (и одновременно параметрами) выступают объём, давление и температура газа.

Сущность. Познать сущность по одному явлению или даже по одной закономерности невозможно. Познание сущности идёт от анализа набора закономерностей и явлений, путём отсечения второстепенного, *особенного*, к выделению *общего*, т.е. того, что остаётся неизменным, общим для всех явлений и закономерностей. Сущность, как общее, отражает глубинные связи и отношения.

Процесс познания сущности это **творческий** процесс. Нет никаких рецептов для перехода от закономерностей и явлений к сущности. Он зависит от мировоззрения, знаний, таланта, интуиции и удачи исследователя. Результатом поиска сущности является *гипотеза* или же *модель* физической реальности. Например, анализ законов термодинамики, упоминавшихся выше, позволяет создать модель идеального газа. Эта модель помогает объяснить термодинамические явления с единых позиций. Это сущность, так сказать, первого порядка.

---

[1] Любая характеристика сущности может рассматриваться как эталон, не зависящий от условий наблюдения. Явление представляет собой (искаженную) проекцию характеристики объекта в систему отсчета наблюдателя. Чтобы получить проекцию, вы можете использовать любые методы, которые могут передавать информацию (свет, волны и т. д.),

[2] Информация от изучаемого объекта к наблюдателю доставляется посредником. Роль посредника могут играть световые лучи, звуковые волны и т.д., переносящие информацию. Посредник может искажать переносимую информацию.

<u>Наблюдатель</u>. Это, пожалуй, наиболее важный элемент в цепочке *явление – сущность*. Без него некому познавать мир. Поскольку истина не зависит ни от человека (наблюдателя), ни от человечества, в физике все наблюдатели одинаковы и не имеют отличающих их друг от друга особенностей. Наблюдателем также может выступать физический прибор, расширяющий возможности человека.

В классических теориях, например, в ньютоновской механике, может существовать счётное множество наблюдателей, имеющих свои индивидуальные системы отсчёта. Если они будут исследовать один и тот же объект (сущность одна!), то каждый из них будет исследовать своё явление, отличное от того, что видят другие наблюдатели.

В релятивистских теориях нет такого деления на *явление* и *сущность*. Всё, что фиксирует наблюдатель, есть *существующее на самом деле без искажений*, т.е. **сущность**. Наблюдатель-близнец фиксирует в сознании более медленный темп жизни своего движущегося брата-близнеца и делает вывод, брат «моложе» и имеет место «замедление времени» в движущейся системе отсчёта и т.д. Теперь представьте, что одновременно встречаются в одном месте близнецы-тройняшки, имеющие разные относительные скорости. Вы сможете установить: где и как «сокращается» реальное пространство?

3. Парадоксы СТО

Мы заметим следующее. Информация к наблюдателю доставляется световыми лучами. Не случайно во всех мысленных все экспериментах Эйнштейн использовал световые лучи.

<u>Пример 1</u> . Мы его предлагаем, как ***иллюстрацию структуры*** линейных парадоксов СТО. Итак, пусть два одинаковых стержня, стоящих вертикально, разделены вогнутой линзой, как показано на Рис.2. Первый наблюдатель рассматривает конструкцию слева, второй наблюдатель рассматривает конструкцию справа. Левый наблюдатель видит перед собой *черный* стержень H_b и сквозь линзу он видит *белый* стержень h_w. Левому наблюдателю кажется, что черный стержень длиннее белого $H_b \succ h_w$. Правый наблюдатель утверждает обратное. Он считает белый стержень длиннее черного стержня, $H_w \succ h_b$. Какой из стержней выше **на самом деле**?

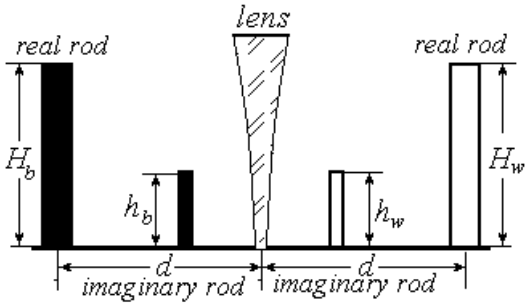

Рис. 2. Иллюстрация к примеру о сущности и явлении

Мы даем очевидный ответ. Мы совершаем грубую ошибку, если мы отождествляем характеристику *явления* с характеристикой «*сущности*». Мы не имеем права рассматривать высоту мнимого изображения h_w или h_w как сущность. Величины h_w или h_w зависят от расстояния d. Расстояние d есть условие наблюдения («золотое правило»). Следовательно, h_w и h_w есть характеристики явления, т.е. они есть *искаженное* отображение сущности. Величины H_b и H_d не зависят от условия, т.е. от расстояния до линзы d. Они есть характеристики сущности. Таким образом, противоречие легко

устраняется. Мы отметим еще один важный аспект. Изменение наблюдаемой высоты стержня обусловлено *искажением фронта* световой волны.

Перейдём к парадоксам СТО, используя «золотое правило». Напомним, что условием в СТО является *скорость относительного движения v*. Характеристики, не зависящие от скорости v, есть характеристики сущности. Если характеристика зависит от относительной скорости v, тогда она есть характеристика явления.

<u>Пример 2.</u> (сжатие масштаба). Пусть два наблюдателя имеют одинаковые линейки. Длина линейки каждого наблюдателя (близнеца) есть l_0. Когда наблюдатели пролетают мимо друг друга, они сравнивают длины линеек.

Наблюдатель 1 утверждает, что его линейка l_0 длиннее линейки l_2 наблюдателя 2.

$l_2 \le l_0; \quad l_2 = l_0\sqrt{1-(v/c)^2}$. (3.1*a*)

Наблюдатель 2 утверждает, что его линейка l_0 длиннее линейки l_1 наблюдателя 1.

$l_1 \le l_0; \quad l_1 = l_0\sqrt{1-(v/c)^2}$. (3.1*b*)

Мы видим, что l_1 и l_2 зависят от скорости v. Следовательно, l_1 и l_2 есть характеристики явлений («золотое правило»). Эти характеристики отличаются от реальной длины l_0 (характеристика сущности). Причинна та же, как и в Примере 1. Фронт волны светового луча имеет разные направления в разных инерциальных системах отсчета. Поэтому искажение фронта волны приводит к кажущемуся сокращению длины движущейся линейки. Делаем вывод: реальное пространство не зависит от инерциальной системы отсчета, а искажения обусловлены изменением направления фронта световой волны. ***Пространство является общим для всех систем.***

<u>Пример 3.</u> (Замедление времени). Мы немного изменим мысленный эксперимент Эйнштейна. Пусть оба близнеца имеют светодиоды с зеленым световым излучением. Период колебаний равен T_0. Как и в предыдущем примере, братья движутся с относительной скоростью v. Когда братья встречаются, они сравнивают периоды наблюдаемых колебаний.

Неподвижный брат 1 видит желтое свечение светодиода движущегося мимо него брата 2 и зеленое свечение своего светодиода. Наблюдаемый период колебаний T_2 больше, чем период колебаний T_0 неподвижного светодиода.

$T_2 \ge T_0; \quad T_2 = T_0 / \sqrt{1-(v/c)^2}$ (3.2*a*)

Движущийся брат 2 покоится в своей системе отсчета. Он видит желтый свет, поступающий от диода пролетающего брата 1. Наблюдаемый братом 2 период колебаний T_1 больше, чем период колебаний T_0 неподвижного светодиода брата 2.

$T_1 \ge T_0; \quad T_1 = T_0 / \sqrt{1-(v/c)^2}$ (3.2*b*)

Мы используем «золотое правило». Периоды T_1 и T_2 зависят от скорости относительного движения v. Следовательно, периоды T_1 и T_2 есть явления. Периоды T_1 и T_2 есть искаженные проекции сущности T_0 в систему отсчета движущегося наблюдателя. Такое явление называется «поперечным эффектом Доплера». Реальное время не зависит от выбора инерциальной системы отсчета. Оно ***едино для всех инерциальных систем***.

<u>Заключение.</u> Теперь мы можем сделать следующие выводы:

1. А.Эйнштейн математически правильно вывел формулы (3.1) и (3.2). Однако он дал неверное объяснение полученным результатам (философское невежество). Как писал Энгельс, *философия, как капризная дама мстит естествознанию задним числом, за то, что последнее покинуло ее*.
2. Пространство для всех инерциальных систем является **общим**. Никаких реальных «сжатий масштабов» не существует.
3. Время **едино** для всех инерциальных систем отсчета. Никакого реального «замедления времени» в природе нет.

Итак, мы вернулись к классическим пространственно-временным отношениям. Это закономерно. Многие выдающиеся ученые понимали несовершенство СТО А. Эйнштейна. Например, известный физик лауреат Нобелевской Премии *Percy Williams Bridgman* шутил по поводу «резиновых масштабов и неправильно идущих часов» в Специальной теории относительности.

В Части 2 мы изложим новую интерпретацию преобразования Лоренца. Там будет показано, что существует много преобразований, которые сохраняют скорость света неизменной. В Части 1 мы рассмотрим параметрическое преобразование Галилея. Преобразование Галилея позволит изучить некоторые явления и понять их физическую сущность. Этот шаг обусловлен наличием ошибочных объяснений в СТО А.Эйнштейна. Они могут препятствовать правильному восприятию новой интерпретации преобразования Лоренца. Мы можем в дальнейшем распространить полученные выводы качественно на преобразование Лоренца. Принцип соответствия позволяет нам это сделать.

Замечание. В физике используется стандартное преобразование Галилея, в котором скорость света в новой системе отсчета определяется по правилу сложения векторов:

$$\mathbf{c'} = \mathbf{c} + \mathbf{V} \qquad (3.3)$$

где: **c –** вектор скорости света относительно источника; **V** – скорость относительного движения инерциальных систем отсчета; **c'**- скорость света в новой инерциальной системе отсчета. Это есть **c + V** теория. В этой теории **c, V** и **c + V** есть характеристики сущности.

Информация о параметрическом преобразовании в учебниках по физике отсутствует. Такая информация излагается здесь впервые. Мы отметим важное свойство параметрического преобразования. В параметрическом преобразовании Галилея *скорость света не зависит* от выбора инерциальной системы отсчета. Это свойство обеспечивает эквивалентность инерциальных систем отсчета.

4. Аберрация света

Представьте себе, что вы смотрите в зеркало и видите предметы, расположенные за спиной. Вы знаете, что видимые в зеркале предметы являются *мнимыми изображениями* действительных предметов. С мнимыми изображениями мы встречаемся часто.

Телескопы, микроскопы, бинокли, лупа – все эти приборы основаны на использовании мнимого изображения.

Однако мнимое изображение мы можем обнаружить без приборов. Ночью, рассматривая на тёмном небе звезду, мы забываем, что свет от неё идёт к нам миллионы лет. За это время звезда успеет сместиться, и мы будем видеть её мнимое изображение. Сама звезда в момент наблюдения невидима, т.е. она будет находиться в другой точке пространства.

Угол между направлением на видимое положение звезды (мнимое изображение) и направлением на её действительное положение называется *углом аберрации*. Явление звёздной аберрации возникает благодаря конечной величие скорости света только при наличии относительного движения между наблюдателем и наблюдаемым объектом. Рассмотрим явление аберрации подробно.

<u>Система отсчёта светового источника</u>. Пусть наблюдатель движется относительно источника света S со скоростью V, как показано на рис. 3. В момент излучения светового импульса источником S ($t = t_{rad}$) наблюдатель будет находиться в точке N^*.

В точке N световой импульс и наблюдатель встречаются at $t = t_{rec}$. Из-за относительного движения этот наблюдатель будет воспринимать направление фронта световой волны искажённым, как на рис. 3. Там направление луча, испущенного из точки *1*, будет восприниматься наблюдателем так, как будто свет испускается из точки *2* (рис. 3).

Воспринимаемый наблюдателем фронт (рис. 4) не будет перпендикулярен направлению SN. Наблюдаемый фронт будет перпендикулярен линии S^*N. Видимое положение S^* строится *на продолжении лучей* из точки N перпендикулярно наблюдаемому фронту волны (*мнимое изображение*!).

Это интересный и важный факт. Поскольку наблюдатель воспринимает фронт волны в искажённом виде (повёрнутым), он «достраивает» объект с его характеристиками, продолжая лучи перпендикулярно фронту. Это есть объективный факт. Подобное построение делает измерительный прибор.

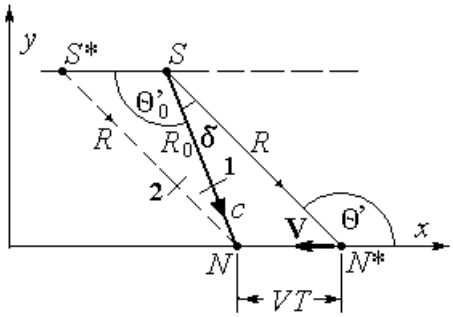

Рис. 3. Аберрация света. **V** – скорость движения наблюдателя относительно источника; S^* – мнимое изображение источника при $t = t_{rad}$; S – действительное положение источника при $t = t_{rad}$; R – кажущееся расстояние до источника; R_0 – действительное расстояние между источником и наблюдателем в момент приёма сигнала наблюдателем $t = t_{rec}$, ; $T = t_{rec} - t_{rad}$ - время, за которое свет прошёл расстояние от момента излучения до момента приёма, Θ' – угол между **R** and **V**; Θ'_0 – угол между $\mathbf{R}_0$ и **V**; $\delta = \Theta' - \Theta'_0$ – угол аберрации; 1 – фронт волны в системе отсчета источника S; 2 – фронт волны, воспринимаемый движущимся наблюдателем .

Теперь рассмотрим содержание величин с гносеологической точки зрения.

1. Расстояние R_0 не зависит от выбора наблюдателем инерциальной системы отсчета. Это расстояние есть скаляр. Расстояние R_0 не зависит от скорости **V,** т.е. не зависит от выбора инерциальной системы наблюдателем. R_0 есть характеристика *сущности.*
2. Интервал времени $T = |t_{rec} - t_{rad}|$ не зависит от выбора наблюдателем инерциальной системы отсчета благодаря единству времени во всех инерциальных системах

отсчета. Интервал времени T и не зависит от **V**. Следовательно, T есть также характеристика *сущности* процесса.

3. Отношение $R_0/T = c$ есть величина, которая не зависит от выбора инерциальной системы также, т.е. также есть характеристика *сущности* процесса.

4. Расстояние R зависит от выбора наблюдателем инерциальной системы отсчета. Наблюдатель может иметь любую скорость, когда он проходит точку N в момент времени $t = t_{rec}$. Запишем выражение для длины R, используя теорему косинусов (См. Рис. 3):
$\mathbf{R} = \mathbf{R}_0 + \mathbf{V}T = \mathbf{R}_0 + \mathbf{V}\, R_0/c$.
Расстояние R есть
$$R = \sqrt{R_0^2 - 2R_0\frac{V}{c}\cos\Theta_0^{'} + R_0^2\frac{V^2}{c^2}} = R_0\sqrt{1 - 2\frac{V}{c}\cos\Theta_0^{'} + \frac{V^2}{c^2}} \qquad (4.1)$$
Расстояние R зависит от скорости относительного движения V, т.е. от выбора условия. Оно зависит от скорости наблюдателя в момент приема светового сигнала от неподвижного источника. По этой причине R есть характеристика *явления*.

Мы напомним, что характеристика явления есть «искаженная» проекция характеристики сущности в систему отсчета наблюдателя.

Итак, наблюдатель имеет дело с двумя объектами: с **действительным объектом** S (*сущность*) и с его **мнимым изображением** S^* (*явление*). Действительное положение объекта описывается с помощью мгновенного отображения, а мнимое – с помощью световых лучей.

Нам **кажется**, что свет прошел расстояние R. Обратите внимание, как *иллюзия подменяет* истинную картину! Подобная иллюзия возникает, когда мы рассматриваем звездное небо. Нам **кажется**, что луна и небо со звездами вращаются вокруг Земли. На самом деле Земля вращается **вокруг своей оси**, а пространство со звездами **неподвижно**.

<u>Система отсчёта наблюдателя.</u> Перейдем теперь в систему отсчета наблюдателя N . Здесь также возникает интереснейшая ситуация. В параметрическом преобразовании Галилея время **едино** во всех инерциальных системах отсчёта, а пространство является **общим**.

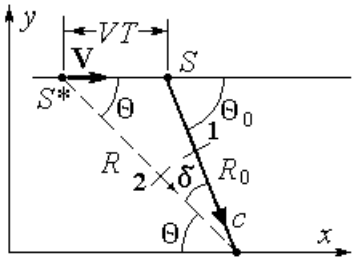

Рис. 4. Аберрация света. **V** – скорость движения источника относительно наблюдателя; S^* – мнимое изображение источника при $t = t_{rad}$; S – действительное положение источника при $t = t_{rad}$; R – кажущееся расстояние до источника; R_0 – действительное расстояние между источником и наблюдателем в момент приёма сигнала наблюдателем $t = t_{rec}$, ; $T = t_{rec} - t_{rad}$ - время, за которое свет прошёл расстояние от момента излучения до момента приёма, Θ – угол между **R** and **V**; Θ_0 – угол между $\mathbf{R}_0$ и **V**; $\delta = \Theta_0 - \Theta$ – угол аберрации; 1 – фронт волны в системе отсчета источника S; 2 – фронт волны, воспринимаемый движущимся

При преобразовании Галилея величины R, R_0, T_0, и V (см. Рис. 4) сохраняются неизменными. Меняется лишь направление вектора скорости **V**. Это позволяет нам быстро воспроизвести тот же рис. 3, повернув его на 180 градусов. Взаимная ориентация векторов **R**, $\mathbf{R}_0$,**V** изменилась. Поэтому мы должны изменить обозначения углов:

$$\mathbf{V} \Rightarrow -\mathbf{V}; \quad \Theta \Rightarrow \pi - \Theta'; \quad \Theta_0 \Rightarrow \pi - \Theta_0'' \qquad (4.2)$$

Световой импульс от источника в положении S^* излучается под углом Θ к оси x. Импульс распространяется в точку N в течение времени T. За время T источник со скоростью V переместится в новое положение S. Таким образом, *в момент приёма* светового сигнала источник будет находиться уже в другом месте по отношению к видимому исследователем положению. Мы имеем тот же самый угол аберрации.

Заключение. В рамках классических пространственно-временных представлений **расстояние**, проходимое светом от источника S до наблюдателя N, равно R_0, и **время** прохождения этого расстояния T **не зависят** от выбора системы отсчёта. Следовательно, скорость света $c = R_0/T$ в любых инерциальных системах отсчёта **постоянна**!

Итак, инерциальные системы отсчёта **равноправны**, поэтому и скорость света *не зависит* от выбора системы отсчёта. Теперь нам необходимо дать математическое обоснование параметрического преобразования Галилея.

5. Инвариантность волнового уравнения

Поскольку учёные «не обнаружили» это преобразование до настоящего времени, мы рассмотрим математический формализм параметрического преобразования Галилея. В математике существует преобразование, которое описывает смещение вдоль одной оси координат. Например, $x' = x - a$. Здесь число a есть **параметр** смещения оси x' относительно оси x. Три другие независимые переменные двух инерциальных систем отсчёта **жёстко** связаны тождеством:

$$y = y'; z = z'; t = t' \qquad (5.1)$$

Переменные y, z и t **не зависят от преобразования** $x' = x - a$.

Ничего не изменится, если параметр a будет зависеть от t, т.е. $x' = x - a(t)$. В частном случае $x' = x - Vt$.

Итак, при новом подходе мы учитываем **единство времени** в сравниваемых системах отсчёта и также **неизменность координат** y и z. Как уже говорилось, координаты y, z и время t в двух системах отсчёта **всегда одинаковы**.

В штрихованной системе отсчёта волновое уравнение имеет вид (частица покоится):

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x'^2} + \frac{\partial U^2}{\partial y^2} + \frac{\partial U^2}{\partial z^2} - \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = q\delta(\mathbf{R}'; t) \qquad (5.2)$$

Частные производные потенциала U по x вычисляются достаточно просто:

$$\frac{\partial U}{\partial x'} = \frac{\partial U}{\partial x}\frac{\partial x}{\partial x'} = \frac{\partial U}{\partial x}; \qquad \frac{\partial U^2}{\partial (x')^2} = \frac{\partial U^2}{\partial x^2} \qquad (5.3)$$

Мы имеем право, переписать выражение (5.2) в новой системе отсчёта:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial U^2}{\partial y^2} + \frac{\partial U^2}{\partial z^2} - \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = q\delta(\mathbf{R} - \mathbf{V}t; t) \qquad (5.4)$$

Таким образом, выражение (5.2) в новой инерциальной системе принимает окончательный вид:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2}+\frac{\partial U^2}{\partial y^2}+\frac{\partial U^2}{\partial z^2}-\frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 U}{\partial t^2}=q\delta(\mathbf{R}-\mathbf{V}t;t) \qquad (5.5)$$

Повторяем, что преобразовывать уравнение по другим координатам и времени не нужно.

Выводы. Подведём предварительные выводы:

- Пространство является **общим** для всех инерциальных систем, а время **едино** для них.
- Все инерциальные системы *равноправны*, скорость света **не зависит** от выбора инерциальной системы отсчёта наблюдателем (Пуанкаре, 1904 г.).
- Инерциальные системы отсчёта связаны **параметрическим** преобразованием Галилея.

6. Явления при относительном движении

Теперь мы должны записать уравнения, чтобы изложить эффекты. Уравнения получаются *одинаковыми* для систем отсчёта источника излучения и наблюдателя (эквивалентность инерциальных систем) с учетом соотношения (4.2).

$$\mathbf{R}=\mathbf{R}_0+\mathbf{V}T; \qquad T=R_0/c \qquad (6.1)$$

Мы запишем уравнения в развёрнутом виде для системы отсчёта наблюдателя (См. Рис. 3).

$$R\cos\Theta=R_0\cos\Theta_0+VT; \quad R\sin\Theta=R_0\sin\Theta_0; \quad T=R_0/c \qquad (6.2)$$

Из (6.2) вытекают следующие соотношения для углов:

$$\sin\Theta=\frac{\sin\Theta_0}{\sqrt{1+2\frac{V}{c}\cos\Theta_0+(\frac{V}{c})^2}}; \quad (6.3) \qquad \cos\Theta=\frac{\cos\Theta_0+V/c}{\sqrt{1+2\frac{V}{c}\cos\Theta_0+(\frac{V}{c})^2}} \quad (6.4)$$

$$\sin\Theta_0=\left[\frac{V}{c}\cos\Theta+\sqrt{1-(\frac{V}{c}\sin\Theta)^2}\right]\sin\Theta \qquad (6.5)$$

$$\cos\Theta_0=-\frac{V}{c}(\sin\Theta)^2+\cos\Theta\sqrt{1-(\frac{V}{c}\sin\Theta)^2} \qquad (6.6)$$

Выражения (6.5) и (6.6) ограничены неравенством $\frac{V}{c}|\sin\Theta|\le 1$.

Коэффициент искажения расстояния. Введём коэффициент искажений n_g, связывающий кажущееся и реальное расстояния

$$n_g=\frac{R}{R_0}=\frac{\sin\Theta_0}{\sin\Theta}=\frac{V}{c}\cos\Theta+\sqrt{1-(\frac{V}{c}\sin\Theta)^2} \qquad (6.7)$$

При относительных скоростях V значительно меньше скорости света c имеем следующее приближенное выражение:

$$n_g\approx 1+\frac{V}{c}\cos\Theta \qquad (6.8)$$

Наблюдаемая скорость. Выражение для наблюдаемой скорости выводится стандартным способом

$$v_{obs} = \frac{V}{1 - \frac{V}{c}\cos\Theta} \ . \qquad (6.9)$$

При малых скоростях $v_{obs} = V\left(1 + \frac{V}{c}\cos\Theta\right)$ с точностью до V^2/c^2.

Эффект Доплера. Эффект Доплера описывается аналогичной формулой

$$f_{obs} = \frac{f_0}{1 - \frac{V}{c}\cos\Theta} \ . \qquad (6.10)$$

При малых скоростях $f_{obs} = f_0\left(1 + \frac{V}{c}\cos\Theta\right)$ с точностью до V^2/c^2,

где f_0 – частота колебаний в системе отсчета источника.

Угол аберрации. Этот угол аберрации при линейном движении равен $\delta = \Theta_0 - \Theta$. Его легко вычислить, исходя из геометрических соображений (См. Рис. 3)

$$\sin\delta = \sin(\Theta_0 - \Theta) = \frac{V}{c}\sin\Theta \ . \qquad (6.11)$$

Наблюдаемая ориентация движущегося объекта. Фронт световых лучей в двух инерциальных системах отсчета имеет различное направление по отношению к наблюдателю. Пусть куб движется вдоль оси x. Вектор скорости перпендикулярен одной из граней куба. В системе отсчета источника S световые лучи направлены к наблюдателю под углом Θ_0. В системе наблюдателя N наблюдатель видит луч под углом Θ. Наблюдателю будет казаться, что грань куба не перпендикулярна вектору скорости. Грань куба и весь куб отклонились по отношению к этому вектору на угол аберрации $\delta = \Theta_0 - \Theta$.

> **Замечание.** Мы хотим обратить внимание на следующую связь явлений. Во-первых, угол аберрации связан с поворотом вектора **R** при неизменной абсолютной величине расстояния R. Во-вторых, эффект Доплера и наблюдаемая скорость связаны с изменением абсолютной длины R и не зависят от изменения ориентации вектора **R**. Если $dR/dt = 0$, эти эффекты отсутствуют. Качественно аналогичные явления имеют место при преобразовании Лоренца.

7. Вращающаяся система отсчета

Инерциальная система отсчета. Допустим, что источник света S движется вокруг наблюдателя N по круговой орбите с угловой скоростью Ω ($\varphi' = \Omega t$).

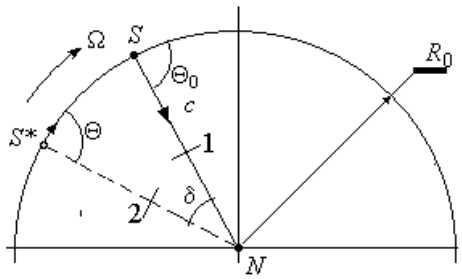

Рис. 5. Круговое движение светового источника. 1 – неискаженный фронт волны; 2 – искаженный фронт волны.

Наблюдатель покоится в центре этой орбиты. Угловая скорость движения Ω источника света *S* постоянна.

Пусть световой источник *S* излучает световой импульс к наблюдателю в момент времени $t = t_{rad} = 0$. Наблюдатель *N* примет этот импульс в момент $t = T = R_0/c$. За время *T* движущийся источник переместится в положение *S.* (См. Рис. 5). Угол аберрации равен $\delta = R_0\Omega / c$.

Световой импульс движется по прямой линии *S*N* со скоростью света. Угол φ' для светового импульса постоянный. Уравнение движения светового импульса от источника *S* к наблюдателю имеет вид:

$$r = R_0 - ct; \quad \varphi' = 0$$

где r – текущая координата светового импульса.

<u>Неинерциальная система отсчета</u>. Мы рассматриваем теперь те же самые явления в неинерциальной системе, в которой источник *S* покоится. Запишем волновое уравнение в цилиндрической системе координат для инерциальной системы отсчета.

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}(r\frac{\partial u}{\partial r}) + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 u}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} - \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0 \qquad (7.1)$$

Оказывается, что для уравнения (7.1) существует преобразование, аналогичное линейному параметрическому преобразованию Галилея ($x = x' - vt$)

$$\varphi = \varphi' - \Omega t \qquad (7.2)$$

Величины *t, r* и *z* не зависят от $x = x' - vt$. Параметрическое преобразование сохраняет форму волнового уравнения во вращающейся системе отсчета. В новой системе отсчета наблюдатель вращается против часовой стрелки с угловой скоростью Ω вокруг своей оси. Источник света *S* покоится.

Запишем теперь уравнения описывающие движение светового импульса от источника *S* к наблюдателю *N*. В инерциальной системе траектория импульса есть неподвижная прямая линия вдоль радиуса. Угол φ' был постоянный. В неинерциальной системе отсчета прямая линия (траектория) будет вращаться с угловой скоростью против часовой стрелки. Одновременно световой импульс будет перемещаться к оси вращения.

$$r = R_0 - ct; \quad \varphi = -\Omega t \qquad (7.3)$$

Можно ввести вместо угла длину дуги $s = r\,\varphi' = -r\Omega t$. (7.4)

Полученные параметрические уравнения (7.3) и (7.4) описывают траекторию светового импульса при его движении от S к N во вращающейся системе отсчета.

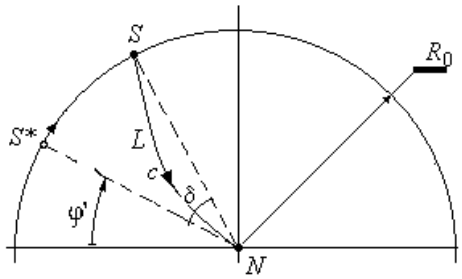

Рис. 6. Неинерциальная система отсчета.

Пусть световой импульс излучается при $t = 0$. Легко видеть, что при $T = R_0 / c$ в момент приема наблюдателем этого импульса угол аберрации равен $\delta = R_0\Omega / c$. Этот результат соответствует результату, полученному ранее для инерциальной системы отсчета. Отметим также, что траектория светового луча L во вращающейся системе отсчета стала длиннее (явление). Поэтому отношение длины окружности к диаметру меньше 2π ($2\pi R_0 / L \le 2\pi$).

8. Дополнительные замечания

Обращение времени. Мы обращаем внимание на уравнение (6.1). Если мы заменим t на $-t$, то уравнение не изменится. Процессы будут протекать в обратном направлении. Мы обращаем внимание на интересный факт: наблюдатель N и источник S при замене меняются местами, как показано на рис. 6*a* and 6*b*.

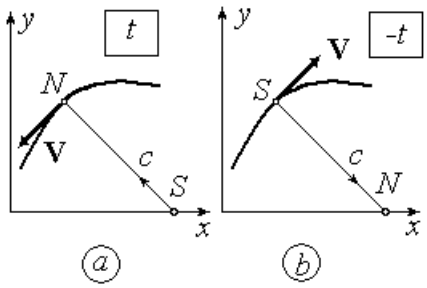

Рис. 7 Инверсия времени.

Инерциальные системы и движение источника. Радиус-вектор движения реального светового источника S и наблюдаемого источника S^* в инерциальной системе отсчета наблюдателя N описывается одним уравнением с запаздывающим аргументом:

$$\mathbf{R}(t) = \mathbf{R}_0(t - R_0/c). \qquad (8.1)$$

Мы разложим правую часть уравнения (8.1) в ряд Тейлора

$$\mathbf{R}(t) \approx \mathbf{R}_0(t) - \frac{d\mathbf{R}_0(t)}{dt}\frac{R_0}{c} + \frac{1}{2!}\frac{d^2\mathbf{R}_0(t)}{dt^2}\left(\frac{R_0}{c}\right)^2 - \ldots \qquad (8.2)$$

Мы перепишем выражение (8.2) ограничиваясь двумя первыми членами. Учитывая направления векторов представленных на Рис.4 мы записываем:

$$\mathbf{R}(t) \approx \mathbf{R}_0(t) - \mathbf{V}T;\ \mathbf{V} = \frac{d\mathbf{R}_0}{dt};\ T = R_0 / c \qquad (8.3)$$

Выражение (8.2) совпадает с уравнением (6.1). Выражению (8.2) мы можем дать другую форму:

$$\mathbf{R}(t) \approx \mathbf{R}_0(t) - \frac{\partial R_0(t)}{\partial ct}\mathbf{R}_0 - \frac{[\mathbf{R}_0 \times \mathbf{\Omega}]}{c}R_0 \qquad (8.4)$$

Мы видим, что имеют место два вида линейных эффектов:

1. Эффекты, связанные с изменением длины вектора $\mathbf{R}_0$ при неизменной ориентации вектора $\mathbf{R}_0$. Это эффект Доплера, наблюдаемая скорость движения и т.д.
2. Эффекты, связанные с поворотом вектора $\mathbf{R}_0$ в пространстве при неизменной длине вектора. Это явление аберрации, наблюдаемое искажение ориентации и т.д.

При анализе световых источников в инерциальных системах отсчета мы можем применять преобразование непосредственно к источнику, даже если источник движется с переменной скоростью вдоль криволинейной траектории. Это возможно если справедливо следующее из выражения (8.2) неравенство:

$$\left|\frac{d\mathbf{R}_0(t)}{dt}\right| \succ\succ \left|\frac{1}{2}\frac{d^2\mathbf{R}_0}{dt^2}\frac{R_0}{c}\right| \qquad (8.5)$$

Если неравенство нарушается, тогда при движении источников света могут возникнуть новые эффекты. Это проблема для будущих теоретических и экспериментальных исследований.

9. Заключение

Итак, мы рассмотрели кинематические явления, используя параметрическое преобразование Галилея. Преобразование Галилея имеет следующие свойства:

1. Преобразование использует классические пространственно-временные отношения.
2. Скорость света постоянна в любой инерциальной системе отсчета.
3. Преобразование имеет простой математический аппарат.
4. Преобразование имеет ясную физическую интерпретацию.

Мы можем рассматривать параметрическое преобразование Галилея как альтернативу преобразованию Лоренца. Выбор помогут сделать экспериментальные исследования.

Результаты преобразования Галилея совпадают с результатами преобразования Лоренца, как будет установлено в Части 2, при *малых скорост*ях с точностью до членов $(v/c)^2$. Из-за *простоты математического формализма* и *удобства интерпретации явлений* параметрическое преобразование Галилея может с успехом использоваться для описания и исследования движения объектов при малых скоростях ($v \prec\prec c$). Такими объектами могут быть астрономические объекты: планеты, спутники, астероиды и т.д.

(*См. Часть* 2)

Ссылки.

1. В.А. Кулигин. 'Материализм и теория относительности' (2015). (http://www.sciteclibrary.ru/texsts/rus/stat/st6933.pdf)
2. В.А. Кулигин, Г.А. Кулигина, М.В. Корнева. Преобразование Лоренца и теория познания. Россия, Москва, Депонировано в ВИНИТИ. Янв. R. 24, № 546-V89. (1989).