

**Министерство образования Республики Беларусь
Могилевский государственный университет продовольствия**

А.Н. Спасков

**Скорость света как абсолютный эталон пространственно-временной
протяженности и природа фундаментальных констант**

(Спасков, А. Н. Скорость света как абсолютный эталон пространственно-временной протяженности и природа фундаментальных констант / Могилев, 2007. 16 с. Деп. в ГУ "БелИСА" 21.06.07 . - Д200726).

Могилев 2007

1. Введение

Конкретной целью данной работы является философский анализ процедуры измерения длины и длительности и лежащего в ее основе фундаментального процесса распространения электромагнитной волны. На основе этого анализа предполагается также выяснить критерий выбора истинно фундаментальных констант, определяющих пространственно-временную структуру микромира.

По определению, процедура измерения физической величины сводится к сравнению этой величины с эталонной. При этом эталонная величина может быть произвольной и зависит от соглашения. Пример таких соглашений показывает история развития науки и практики. Исторически сложившиеся меры длин, времени, массы связаны, прежде всего, с удобством применения и воспроизводства. Их происхождение антропно и следует древнему принципу: «человек – мера всех вещей». Это связано с тем, что человек, наряду с неповторимой индивидуальностью, обладает универсальными свойствами как материальной, так и духовной природы.

Между тем научные критерии точности и объективности предполагают наличие универсального и тождественно воспроизводимого материального эталона. Именно таким материальным носителем и является электромагнитная волна, философскому анализу метрических свойств которой и посвящена эта работа.

2. Анализ пространственно-временных эталонов и абсолютная кинематическая константа

Рассмотрим процесс измерения длины абсолютно твердого стержня. Для этого естественно использовать синхронные часы, закрепленные на концах стержня и световой сигнал. Следует отметить, что идея определе-

ния расстояний через время распространения света давно уже широко применяется в астрономии, геодезии и других практических измерениях [3, с.48]. В данном же случае нас будет интересовать идеальный процесс, в котором предполагается неизменность измеряемой длины, что и выражается в понятии абсолютно твердого тела.

Итак, пошлем световой сигнал из одного конца стержня к другому и определим по часам время между событиями испускания светового сигнала из одного конца стержня и регистрацией его на другом конце. Исходя из постулата постоянства скорости света и процедуры синхронизации часов, (классическое определение которой дал А. Эйнштейн), можно констатировать, что мы измерили длину стержня l_0 и время t_0 прохождения световым сигналом этой длины, которые связаны между собой соотношением

$$l_0 = ct_0. \quad (1)$$

Точнее было бы сказать, что в данном случае мы измеряем время t_0 прохождения световым сигналом от начала до конца стержня, а длину стержня l_0 можно определить, пользуясь соотношением (1).

Можно, однако, пойти по другому пути и измерять сначала длину стержня, а затем определять время прохождения световым сигналом этого стержня из соотношения

$$t_0 = \frac{l_0}{c}. \quad (1')$$

Проанализируем подробнее, на чем основана процедура измерения в обоих случаях. В первом случае она основана на определении синхронных часов, а это определение основано, в свою очередь, на определении одновременности.

Если обозначить концы стержня точками A и B и поместить в этих точках часы, то, согласно А. Эйнштейну, мы можем установить время событий в непосредственной близости от точек A и B , путем наблюдения одновременных с этими событиями положений стрелок часов. Таким образом, мы можем измерить «А-время» и «В-время» для событий, происходящих в непосредственной близости от точек A и B . Далее, цитируя дословно А. Эйнштейна, «... мы определили пока только «А-время» и «В-время», но не общее для A и B «время». Последнее можно установить, *вводя определение*, что «время», необходимое для прохождения света из A в B , равно «времени», требуемому для прохождения света из B в A . Пусть в момент t_A по «А-времени» луч света выходит из A в B , отражается в момент t_B по «В-времени» от B к A и возвращается назад в A в момент t'_A по «А-времени». Часы в A и B будут идти, согласно определению, синхронно, если $t_B - t_A = t'_A - t_B$ » [1, с.9].

Исходя из этого определения, А. Эйнштейн установил, «что нужно понимать под синхронно идущими, находящимися в различных местах покоящимися часами», и определил понятия: «одновременность» и «время». Основываясь на универсальности скорости света c в пустоте, А. Эйнштейн записывает далее соотношение, связывающее расстояние, проходимое светом, и время прохождения этого расстояния:

$$\frac{2\overline{AB}}{t'_A - t_A} = c.$$

В нашем случае, для стержня, мы можем переписать эту формулу в виде: $\frac{2l_0}{2t_0} = c$, или $l_0 = ct_0$.

Таким образом, для определения длины стержня l_0 нам фактически нужно измерить время t_0 . Остается невыясненным вопрос: «В чем же за-

ключается процедура измерения времени?». Понятно, что для точного измерения времени нам необходим некий эталон, или строго определенная и воспроизводимая единица времени. При определении синхронно идущих часов A . Эйнштейн предполагал, что в точке B имеются «точно такие же часы, как в точке A » [1, с.9]. Ясно, что определение «точно такие же» означает то, что показания часов в точке A основаны на некоторых объективных процессах, присущих данным часам. При этом, кроме того, что часы в точке B внешне тождественны часам в точке A , они и внутренне тождественны, т.к. им присущи точно такие же внутренние процессы, как и часам в точке A , и, в силу этого, после синхронизации их показания при измерении времени одного и того же события будут абсолютно тождественны.

Остается определить, что мы подразумеваем под некоторым внутренним процессом? Понятно, что эти процессы должны быть воспроизводимыми и неизменными. Эти условия выполняются для периодических процессов. Если часы, используемые нами, основаны на технически осуществимых периодических процессах и, в силу этого, всегда имеют некоторый предел точности, связанный с конструкцией часов, и изменчивость процессов, обусловленную энтропийными процессами, то для определения эталонной единицы времени естественно взять некоторый природный процесс, в абсолютной неизменности и воспроизводимости которого мы уверены. В самом деле, согласно резолюции 13-й Генеральной конференции по мерам и весам 1967 г.: «1 секунда равна 9192631770 периодам излучения, соответствующего энергетическому переходу между двумя уровнями сверхтонкой структуры основного состояния атома цезия $^{133}_{55}\text{Cs}$ » [2, с.675]. Т. е. в основу измерения времени положены некие эталонные «атомные» часы с периодом T .

Таким образом, измерение времени по нашим часам сводится, в конечном итоге, к измерению времени по эталонным часам и выражается соотношением

$$t_0 = xT, \quad (2)$$

где x – рациональное число, которое устанавливается в процессе измерения как коэффициент пропорциональности $x = \frac{t_0}{T}$.

Проанализируем далее процедуру измерения длины. Согласно принятому в 1960 году 11-й Генеральной конференцией по мерам и весам определению, «метр – длина, равная 1650763,73 длины волны в вакууме излучения, соответствующего переходу между уровнями $2p_{10}$ и $5d_5$ атома криптона – 86» [2, с.413]. Как видно из определения, понятие эталона длины основано на понятии длины световой волны λ , которая, в свою очередь, определяется соотношением

$$\lambda = cT, \quad (3)$$

где T – период колебания световой волны.

Таким образом, произвольная длина стержня

$$l_0 = y \lambda, \quad (4)$$

где y – рациональное число, которое устанавливается в процессе измерения как коэффициент пропорциональности $y = \frac{l_0}{\lambda}$. Подставляя в первоначальное определение (1) формулу (4) и используя соотношение (3), получим $t_0 = yT$. Сравнивая, полученное выражение с равенством (2), заключаем, что $x = y$.

Из соотношений (2) и (4) видно, что измерение длины стержня l_0 и измерение времени t_0 сводится к определению одного и того же параметра $x = \frac{t_0}{T} = \frac{l_0}{\lambda}$. Понятно, что в основе обеих процедур измерения неявно используется соотношение между длиной световой волны λ и ее периодом T , которые связаны, в свою очередь универсальной константой $c = \frac{\lambda}{T}$, представляющей собой скорость света в вакууме. Исходя из этого, можно констатировать, что истинный природный эталон, на котором основано в конечном итоге измерение времени и длины, это – скорость света в вакууме и от точности определения этой константы зависит в конечном итоге точность измерения всех кинематических величин.

Понятно, что само по себе точное определение скорости света представляет сложную практическую задачу, но эти трудности успешно преодолеваются современными техническими средствами и несоизмеримы с процессом воспроизводства и хранения эталонов длины и времени, которые, помимо труднодоступности обладают неустранимой относительной неточностью. Согласно рекомендации Консультативного совета по определению метра, принятой в 1973 г., величина скорости света определяется с помощью частоты излучения лазера на гелий-неоновой смеси, стабилизированного по переходам в метане [3, с.3].

Между тем, как в современной теории, так и в метрологической практике, предполагается, что скорость света является абсолютной константой, а единицы времени (частоты) и длины (длины волны) могут быть согласованы с помощью соотношения $\lambda\nu=c$.

Таким образом, электромагнитные волны – это данные нам природой реальные объекты, посредством которых мы не только созерцаем окружающий нас мир в процессе восприятия световых волн, но и посредством которых мы измеряем этот мир, а именно – измеряем его пространственно-

временные соотношения. Более того, это свойство световых волн распространяется не только на кинематическую, но и на динамическую картину мира. В самом деле, мы способны не только воспринимать и различать посредством ощущений такие динамические характеристики электромагнитных волн, как энергия, импульс, давление, но и используем их для измерения других динамических процессов.

Более того, именно на известном соотношении $E=h\nu$, связывающем энергию и частоту излучения, основано создание современных атомных эталонов времени и длины [3, с.4]. Постоянная Планка h является такой же по значимости фундаментальной константой, как и скорость света c . Таким образом, это естественный абсолютный эталон, непосредственно связанный с электромагнитной волной и перебрасывающий мост между микро- и макромиром.

Понятно, что сами по себе эталонные единицы измерения T и λ произвольны и обусловлены выбором эталонных процессов, в результате которых воспроизводится электромагнитная волна со строго определенными и линейно зависими параметрами T и λ . По сути дела, период и длина электромагнитной волны являются двумя взаимодополняющими проявлениями единой сущности, а именно – протяженности электромагнитной волны. В самом деле, можно сказать, что период T – это временная протяженность, а длина λ – это пространственная протяженность электромагнитной волны. Более того, как следует из специальной теории относительности и экспериментально наблюдается в эффекте Доплера – эти параметры относительны и зависят от скорости поступательного движения источника волны относительно наблюдателя. В то же время скорость света, как истинный эталон остается абсолютной константой и не зависит от скорости источника света.

Таким образом, скорость света c является коэффициентом абсолютной пропорции $c = \frac{\lambda}{T}$, справедливой для всех электромагнитных волн. В этом смысле все электромагнитные волны подобны и различаются лишь масштабом пространственно-временных протяженностей. Если же принять во внимание зависимость периода и длины волны от скорости источника волны, то можно сделать более сильное утверждение, а именно: «Для любых двух электромагнитных волн, испущенных произвольными, движущимися по инерции источниками и различающихся периодами и длинами волн, измеренных в системах покоя их источников, всегда можно найти такую инерциальную систему отсчета, в которой эти волны будут тождественны по своим характеристикам, т.е. будут иметь одинаковую длину волны и период колебаний».

В этом смысле все электромагнитные волны тождественны и волна, воспринимаемая нами как световая, будет восприниматься в другой системе отсчета как, например, радиоволна и т.п. В самом деле – длина волны, измеряемая наблюдателем

$$\lambda = \lambda_0 \left(1 - \frac{\vec{v} \cdot \vec{c}}{c^2}\right),$$

где λ_0 – длина волны, измеряемая в системе покоя источника; \vec{v} – скорость источника относительно наблюдателя; \vec{c} – вектор, равный по абсолютной величине скорости света и указывающий направление распространения фронта световой волны в системе отсчета наблюдателя.

Т.к. относительная скорость \vec{v} может лежать в пределах $-\vec{c} < \vec{v} < \vec{c}$, то измеряемая длина волны может лежать в пределах $0 < \lambda < 2\lambda_0$, в зависимости от скорости \vec{v} . Из этого следует, что для любых волн с длинами $\lambda_0 \neq \lambda'_0$, испущенных произвольными источниками, движущимися по инерции, всегда можно выбрать такую инерциальную систему отсчета, в которой измеряе-

мые длины волн будут одинаковы, т.е. $\lambda=\lambda'$. В самом деле, для произвольного наблюдателя

$$\lambda = \lambda_0 \left(1 - \frac{\vec{v} \cdot \vec{c}}{c^2}\right) \text{ и } \lambda' = \lambda'_0 \left(1 - \frac{\vec{v}' \cdot \vec{c}'}{c^2}\right).$$

Следовательно, условие $\lambda=\lambda'$ сводится к условию

$$\frac{\lambda_0}{\lambda'_0} = \frac{\left(1 - \frac{\vec{v}' \cdot \vec{c}'}{c^2}\right)}{\left(1 - \frac{\vec{v} \cdot \vec{c}}{c^2}\right)}.$$

3. Динамическая природа фундаментальных констант

Как полагает автор, истинно фундаментальными константами должны быть не статические константы, существующие в природе как некие «застывшие» формы или абсолютно неподвижные эталоны физических величин, а константы, которые определяются неким универсальным и эталонным движением.

К таковым относится кинематическая константа скорости света, связывающая в единое целое пространство и время, посредством физического процесса распространения световой волны, и динамическая постоянная Планка, определяющая процесс действия, как некий энергетический процесс, протекающий во времени.

Особенностью этих констант является то, что они в статическом соотношении фиксируют связь изменяющихся во времени величин. Другими словами, эти константы фиксируют устойчивую форму движений. Причем эти движения носят универсальный характер.

Этим самым выражается фундаментальная связь числа и времени. Ведь в математике числа, также как и геометрические объекты, берутся вне времени. Эта тенденция берет свое начало еще от Платона, который, считая математические объекты принадлежащими вечному миру идей, стремился всячески устранить из математики идею времени [4].

При этом возникает фундаментальный гносеологический вопрос о вневременном существовании идей. В самом деле, если даже оставить в стороне проблему вечного (т.е. вневременного) существования идей в мире эйдосов, то остается вопрос восприятия этих идей и описания эйдетических образов посредством языка. Ведь идея только тогда становится доступной нашему восприятию, когда она осознается в некотором мыслительном процессе, который, в свою очередь, немислим вне времени.

Если же говорить о материальном физическом мире, то он немислим вне движения, а значит и вне времени. Отсюда следует, что всякая истинно фундаментальная константа должна быть, так или иначе, связана со временем, и выражать собой «число движения». Преимущество таких констант, в отличие от статических констант, заключается в том, что они связывают собой в единстве две физические величины и эта связь носит фундаментальный характер, выражая собой некий универсальный физический процесс, который берется в качестве эталонного.

В связи с этим интересен анализ физических констант, проведенный В.Г. Кадышевским. Он пришел к выводу, что константы c и h , фигурирующие в теории относительности и квантовой механике универсальны и, следовательно, играют роль масштабов природы. Он считает, что скорость света «компенсирует» утрату инвариантности расстояний и интервалов времени относительно классических преобразований координат, а квант действия – отсутствие возможности одновременно точно измерить координату и импульс частицы [5].

Исходя из этого анализа, можно сделать вывод, что ограниченность классических представлений заключается в абсолютизации пространственно-временной структуры, которая со времен И. Ньютона мыслилась, как некая независимая от материальных процессов сущность, имеющая субстанционально-статический (в случае пространства) и субстанционально-динамический (в случае времени) характер.

С появлением теории относительности стало ясно, что сами по себе пространство и время не имеют смысла, вне зависимости от материального процесса, посредством которого они определяются. То же самое можно сказать и об определении координат и импульсов частиц, которые, как выяснилось, не имеют самостоятельного значения, а определяются лишь в связи с фундаментальной постоянной действия.

Таким образом, в обоих случаях пространство и время не являются самостоятельными сущностями, на основе которых описываются все физические процессы, как это было в классической механике И. Ньютона. Представляется очевидным, что в реальном физическом мире пространство и время являются производными некоторых фундаментальных материальных процессов и имеют, таким образом, реляционный характер.

Трудности логического характера в определении кинематической скорости заключались в том, что она определялась как отношение приращения пространственной протяженности между начальным и конечным положением и временной протяженности между начальным и конечным моментами времени. Между тем, сами по себе положения и сами по себе моменты не существуют, а непосредственно связаны с данным движущимся телом. Поэтому за первичное понятие в реляционной кинематике следует брать не протяженность и длительность, как таковые, а скорость, как характеристику состояния движения.

Обычно скорость определяют через пространство и время, а отсюда следуют непреодолимые логические трудности в описании движения, известные как апории Зенона. Между тем, если принять скорость за первичное понятие и определять на основе его понятия пространства и времени, то все эти трудности естественно устраняются.

В самом деле, мы можем определить пространственную протяженность как расстояние между начальным и конечным положениями тела, которое находится в состоянии движения с постоянной скоростью, пройденное за определенное время. И наоборот, определить длительность между двумя моментами, соответствующими начальному и конечному состояниям, как время, за которое тело прошло определенное расстояние, находясь при этом в состоянии движения с постоянной скоростью [6, с.99].

Исходя из этого, представляется важным выяснить, какие константы современной квантовой теории поля являются универсальными. На роль такой константы в последнее время часто предлагалась некоторая фундаментальная длина. Первоначально в качестве такой константы предлагалась комптоновская длина электрона $\lambda_e \approx 10^{-11}$ см, а в дальнейшем и других элементарных частиц. Неудовлетворительность такой константы связана со спектром масс фундаментальных частиц и следующей из него иерархией длин.

Кадышевский В.Г., например, при таком анализе останавливается на константе Ферми для слабого взаимодействия $G = 1,4 \cdot 10^{-49}$ эрг·см³, на основе которой определяется универсальная константа длины $l_f = 7 \cdot 10^{-17}$ см [5].

В дальнейшем такая фундаментальная длина стала связываться с гравитационной постоянной и сместилась в область планковских масштабов. Так называемая планковская (или гравитационная) длина $l_0 \approx 10^{-33}$ см характеризует, по мнению многих ученых масштаб объединения всех взаимодействий.

Исходя из предыдущих соображений, можно предполагать, что сама по себе фундаментальная длина не является истинно фундаментальной константой. Это видно уже из того, что существует иерархия фундаментальных длин, характеризующих разные типы взаимодействия, а также спектр масс частиц.

Более естественным было бы выразить эту длину, как характеристику некоторого фундаментального процесса. Этот процесс может быть как процессом взаимодействия на планковских масштабах, так и процессом самодействия. При этом, как полагает автор, истинно фундаментальной константой должна быть константа универсального взаимодействия, теорию которого еще предстоит построить.

Неудача квантовой теории поля в объединении всех взаимодействий предполагает поиск других путей построения такой теории. Одним из свойств такой теории является радикальное отличие пространственно-временных представлений, как от релятивистских, так и от квантовомеханических. Кроме того, сама пространственно-временная структура микромира должна носить, по мнению автора, реляционный характер и обусловлена динамическими процессами, происходящими внутри элементарных частиц.

Таким образом, поиск фундаментальной константы непосредственно связан с построением теории фундаментальных движений, которые, в свою очередь, обуславливают пространственно-временную структуру микромира.

Список использованных источников

1. Эйнштейн А. К электродинамике движущихся тел // Собр. науч. тр.: В 4 т. – М.: Наука, 1965. - Т. 1. - С. 7-35.
2. Физический энциклопедический словарь. – М.: Советская энциклопедия, 1984.
3. Андриюшин В.И., Фаустов Р.П., Шелест В.И. Фундаментальные физические константы и физика микромира // Квантовая метрология и фундаментальные константы: Сб. ст. / М.: Мир, 1981. – С. 3-16.
4. Уиртоу Дж. Естественная философия времени. - М.: Прогресс, 1964.
5. Кадышевский В.Г. К теории дискретного пространства-времени // Доклады АН СССР. – 1961. – Т. 136, №1. – С. 70-72.
6. Спасков А.Н. К вопросу о реляционно-кинематической концепции пространства-времени // Великие преобразователи естествознания.: Жорес Алферов. XX юбилейные международные чтения: Тезисы докл. 24-25 нояб. 2004г.– Мн.: БГУИР, 2004. – С. 97-100.

Оглавление

1. Введение.....	2
2. Анализ пространственно-временных эталонов и абсолютная кинематическая константа.....	2
3. Динамическая природа фундаментальных констант	10
Список использованных источников.....	15