

Специальная Теория Относительности для школьников, новый подход.

Статья выставлена на сайте pedsovet.org.

[На главную](#)



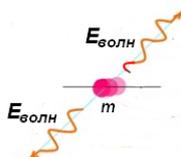
Здравствуйте, разрешите представиться, Спасский Станислав Всеволодович, автор т.н. "двухуровневого подхода" в школе, суть которого в том, что преподавание в школах должно вестись **одновременно** двумя уровнями. Нынешний стандарт как одежда одного размера: "всем и никому".

...Регулярно слышу по TV как "код", что великий Эйнштейн в 1905 году создал великую Специальную Теорию Относительности, **недостижимую в рамках здравого смысла**, и на основе ее он открыл **Формулу Века $E=mc^2$** . Думаю, сам Эйнштейн, человек с юмором, оформил бы это "кодирование" в достойный афоризм!

Сейчас я хочу показать Вам, что Специальная Теория Относительности - это очень просто, в том числе для школьников. Предлагается ее **Волновая интерпретация**, и в "рамках здравого смысла". Выкладок почти нет, а те что есть - на уровне школы. Убедитесь сами, прочитав 1-ю часть, где дан очень простой вывод формулы **$E=mc^2$** .

Часть 1. Начнем с простого вывода $E=mc^2$.

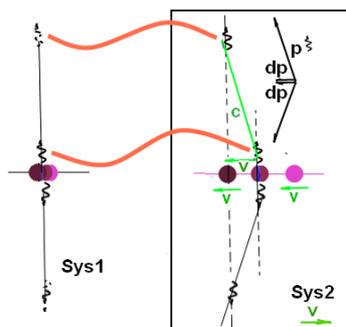
Уже в классической физике объекты делятся на 2 типа: с массой и без массы. Объекты с массой характеризуются: $E_{кин}=mv^2/2$ и $p=mv$ (отношение $E_{кин}/p=v/2$). Объекты (и микрообъекты) без массы движутся всегда со скоростью света c , соотношение между энергией и импульсом у них: $E=pc$ ($E/p=c$). Еще для подобных микрообъектов характерно сочетание свойств волны и частицы. Например, частицы света (фотоны) проявляют все свойства бегущей электромагнитной волны. А для бегущих электромагнитных волн, их фрагментов, связь $E=pc$ была найдена теоретически еще Максвеллом и опытно подтверждена Лебедевым в 1899 г.



В 1905 году Эйнштейн предложил схему некоторого мысленного эксперимента для своего вывода формулы **$E=mc^2$** . Частица с массой m излучает 2 одинаковые электромагнитные волны (без массы), каждая с определенной энергией (скажем, $E_{волн}$) в противоположные стороны.

Ошибочно принято считать (и сейчас), что суть вывода этой формулы - **обязательное** использование Специальной Теории.

Эйнштейн, и правда, вывел формулу **не прозрачно**, используя Специальную Теорию. Скорее всего, он хотел продемонстрировать ее значение. Но формула выводится совсем просто, и в рамках классической физики, поскольку в получении энергии покоя частицы E_0 речь идет о малых скоростях v (это скорость системы наблюдения явления).



Теперь пару слов, как это всё получается.

На рисунке упомянутое явление показано в 2 системах. 1-я система связана с частицей (слева), в ней частица покоится, излучая 2 противоположные волн-частицы (не имеющих массы). 2-я система движется относительно частицы со скоростью v вправо, перпендикулярно оси движения излученных волн-частиц. В этой системе частица с массой движется влево со скоростью v . (На рисунке показаны 3 последовательные

момента времени этого явления.)

Ясно, что в 1-й системе частица с массой после излучения останется на том же месте, поскольку векторная сумма противоположных импульсов излученных волн-частиц равна нулю. А это значит, что во 2-й системе после излучения частица должна будет продолжать двигаться с прежней скоростью v влево.

Но во 2-й системе из-за ее движения вправо, очевидно, что направления движения указанных волн-частиц уже не будут противоположными, они будут иметь

составляющую скорости влево по соотношению v и c . Импульсы волн-частиц всегда направлены по направлению их движения. Во 2-й системе **общий импульс** обеих волн-частиц, как **векторная сумма**, будет $2dp$. А, значит, при излучении они забирают часть от импульса частицы, который в классической физике равен: $p_{\text{массы}} = m \cdot v$. Но скорость частицы v (как отмечалось) не изменяется. Значит, при излучении должна уменьшиться масса частицы на некоторое значение Δm .

Запишем во 2-й системе закон сохранения импульса, запишем в модулях, т.е. без лишних "минусов" в выражениях. Помним, что $v \ll c$. Обе волны-частицы забирают импульс $2dp$ влево. dp легко выражается из пропорции по треугольникам: $dp/p = v/c$, т.е. $dp = p \cdot v/c$. А импульс p каждой волн-частицы выражается через ее энергию $p = E/c$. Получаем $dm \cdot v = 2dp = 2(E/c)(v/c)$. v уходит из выражения, она есть в обеих частях. Получаем, что dm (так называемый **дефект массы**) выражается через теряемую при излучении общую энергию волн-частиц $dm = (2E)/c^2$. **Свойства и величина dm не могут зависеть от направления движения 2-й системы по отношению к направлению волн-частиц.**

Очень просто получили известную формулу. Остальное не сложнее.

Часть 2. Без краткой истории нам не обойтись.

1) **Принцип Относительности**. Был сформулирован еще Галилеем. Он означает, что **все инерциальные системы неразличимы** в смысле законов физики. ("В закрытом вагоне никак нельзя определить, стоит он или движется равномерно").

2) **Инвариант Скорости Света**. В свое время физикам стало ясно, что свет имеет волновую природу (электромагнитные волны). Из уравнений Максвелла, **одинаковых во всех инерциальных системах**, выявлялся **Парадокс** - одинаковая волновая скорость света **в каждой инерциальной системе**.

3) **Возник парадокс**. С одной стороны, **Инвариант Скорости Света** "как бы" хорошо "вписывается" в **Закон Относительности**. С другой стороны, это противоречит нашему здравому смыслу: скорость волн должна зависеть от нашего движения относительно предполагаемой волновой среды - **эфира**. Так возникла **Проблема Относительности**, которой физика "плотно" занялась с 1881 г, с опыта Майкельсона. Наиболее известные ученые **Лоренц** и **Пуанкаре** много сделали в этой области.

4) **Инвариант Скорости Света** подтвердился в опытах Майкельсона в 1881 г. В **интерферометре Майкельсона** луч света расщеплялся на два по ортогональным путям. Потом лучи снова соединялись, создавая интерференционную картинку. При этом малейшая "разбежка" лучей, возникающая из-за разницы скорости волн, должна была проявиться по картинке. Эффект "разбежки" не выявился ни при каком положении прибора - это подтверждало парадоксальное явление **Инварианта Скорости Света**.

5) В 1905 г. молодой **Эйнштейн** предложил **сугубо формальный подход**, позже названный **Специальной Теорией Относительности**. Основываясь на двух постулатах, **Принципе Относительности** и **Инварианте Скорости Света**, его метод позволял сугубо **формально** находить, как при переходе из одной инерциальной системы в другую должны преобразовываться разные физические понятия. (Преобразования пространственных координат и времени уже были получены раньше Лоренцем, известные как "**преобразования Лоренца**").

6) По тем временам формальный подход Эйнштейна подкупал новизной (**именно формализмом**) и относительной простотой. Но был принят далеко не всеми. Далее этот подход стал по разным причинам ведущим. И уже более **столетия** остается ведущим, хотя и непонятным "в рамках здравого смысла". А сам Эйнштейн отрицал и аргумент "**здравого смысла**" в физике, и само понятие **эфира**, без которого он обошелся.

7) **Наверное, Вы слышали**, что мэтры Проблемы Относительности **Лоренц** и **Пуанкаре**, хорошо относясь к молодому Эйнштейну, так и не приняли его отрицания

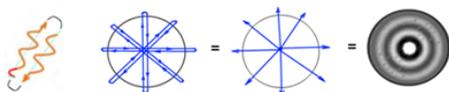
эфира. В истории физики это было оформлено так, что пожилые Лоренц и Пуанкаре "просто не доросли" до истинного понимания Проблемы Относительности.

8) У Теории Относительности Эйнштейна хватает противников. Поводов достаточно, включая отрицание эфира и "здорового смысла". Критики теории направляют свои усилия, как правило, на опыты Майкельсона, т.е. на явление **Инварианта Скорости Света**. Они считают, что если докажут наличие **реальной** волновой среды (**эфира**), то опровергнут Специальную Теорию. Мы увидим, что всё как раз наоборот, что Парадокс Инварианта Скорости Света **кажущийся**. И именно "**волновой подход**" на **эфире** приводит к простому объяснению Специальной Теории Относительности "в рамках здравого смысла". И не только ее.

Резюмируем. В физике исторически возник **Парадокс Инварианта Скорости Света**. Вместо того, чтобы объяснить его, была предложена некая схема **формальных** действий, названная Специальной Теорией Относительности, а само **объяснение** парадокса было признано **невозможным и ненужным**. И это длится уже 100 лет.

Часть 3. Итак, предлагаемая модель-интерпретация.

1) Вернемся к предложенному Эйнштейном мысленному эксперименту - излучению частицей с массой двух одинаковых, но противоположных электромагнитных волн-частиц - "бегущих" волн, не имеющих массы, но уменьшающих массу частицы. Задумайтесь. Т.е. теряемый элемент массы частицы **обязан быть эквивалентен паре** противоположных волн **и по энергии, и по импульсу**, причем во всех системах наблюдения. Т.е. **именно свойства пары** противоположных волн в Специальной Теории распространяются **по всем** свойствам на элемент массы, а значит, и на всю частицу с массой.



2) Зададимся вопросом: а до излучения, чем **была** представлена эта теряемая масса, чтобы и **до излучения** быть эквивалентной **во всех отношениях** паре волн. Внутри частицы эта пара

может быть **только парой** противоположных волн-гармоник, зацикленных друг на друга. То есть быть элементом "**стоячей волны**". **А вся масса должна быть набором** подобных пар. Может быть, другой частоты, скорее всего частоты, полученной де Бройлем (об этом чуть ниже). Возможно, других направлений, поскольку свойства массы не могут зависеть от направления излучения. Получаем **важный аргумент** в пользу того, что частица с массой должна быть волновым объектом типа "**стоячая волна**". По крайней мере, масса именно так **обязана** себя проявлять "**наружу**" в соответствии с мысленным "экспериментом" Эйнштейна: **набором пар волн**.

3) Наш подход (интерпретация) предполагает, что **есть** реальная волновая среда - **эфир**. А наш материальный мир представлен волновыми объектами **двух типов**. Именно: частицы **без массы** представлены волновыми объектами типа "бегущая волна", а частицы **с массой** представлены волновыми объектами типа "стоячая волна", которые могут **перемещаться**, т.е. **двигаться**. Как помните, "стоячая волна"- это колебания на одном месте. "Стоячая волна" представляется сложением совокупности противоположных "бегущих волн". Вспомним колебания на струне с закрепленными концами, или "пляску" волн в стакане с чаем.

4) Подход предполагает, что эти 2 типа волновых объектов: "бегущая волна" и "стоячая волна" - **возможны** в устойчивых и локализованных формах. Заметим, что **локализованная бегущая волна**, в общем, не вызывает неприятия нашим здравым смыслом, хотя, с точки зрения физики, здесь есть вопросы. Скорее всего, свойство локализации связано с тем, что наш "**эфир**" (как волновая среда) несколько отличается от **классической** волновой среды. Механизм возвратной волны в "**стоячей волне**" мы обойдем намеренно. Но если нужна "**хоть** какая-то" идея, можно предположить, что расположенные вокруг "центра" сферические зоны сильных колебаний ("пучностей")



могут формировать зоны неоднородностей на самой волновой среде. Они идут через каждые **полволны** от центра. А это лучшие положения для формирования отраженной волны, поскольку в этом случае все отраженные волны складываются "в фазе".

5) Какие есть еще дополнительные доводы в пользу интерпретации частицы с массой как волнового объекта типа "стоячая волна"?

2-й довод: общность природы обоих типов частиц.

3-й довод: совпадение числа типов частиц ("без массы покоя" и "с массой покоя") и числа типов волновых форм ("бегущая волна" и "стоячая волна").

4-й довод: де Бройль в 1923 году предложил использовать закон Планка для фотонов $E = \nu \cdot h$ и для частиц с массой, выразив их энергию через массу ($E = mc^2$). Он получил некую частоту $\nu = E/h$. Эта частота реально была выявлена у частиц в экспериментах. Наличие этой частоты дает нам право предположить, что массивная частица является, по сути, тем же фотоном, его некой разновидностью, у которой из-за высокой концентрации энергии "закрылось" и то единственное направление распространения, которое есть у частиц без массы. Мысль Эйнштейна о том, что микробиъекты нашего мира - это энергия, мы лишь уточняем: волновая энергия.

Часть 4. Разберемся с изменениями механики в Специальной Теории.

1) Всех удивляет, как непонятно в Специальной Теории обновляются категории энергии и импульса. Что мы имеем в классической физике? Для объектов с массой импульс равен $p = m \cdot v$, и кинетическая энергия равна $E_{кин} = m \cdot v^2 / 2$. А для объектов без массы волн-частиц типа "бегущая волна" имеет место жесткая связь между импульсом и энергией через множитель c : $E = c \cdot p$.

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad p = \frac{mv}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

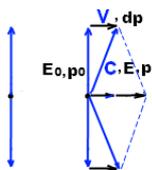
$$E = \frac{E_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad p = \frac{E_0/c^2 \cdot v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \left(\text{или } p = \frac{E \cdot v}{c^2} \right)$$

кинетической энергии: $E_{кин} = mc^2 / \sqrt{1 - v^2/c^2} - mc^2 \approx m \cdot v^2 / 2$.

В нижней строке таблицы приведены те же выражения для E и p без использования понятия "массы" m .

Теперь, как это получается.

3) **Важное замечание.** Из-за жесткой связи E и p в гармониках ($E = c \cdot p$) нам будет удобно изображать гармоники векторами. ("Гармоники" - это составляющие объект "бегущие волны".) Тогда импульс для нескольких гармоник - это векторная сумма этих векторов, а энергия - сумма длин (модулей) этих векторов. А связывающий энергию и импульс коэффициент " c " мы должны при этом держать в уме.



4) Рассмотрим такой "объект" (пару): выберем из всего набора пар одну пару и рассмотрим ее и в покое, и в движении со скоростью v , поперечно к самим гармоникам. В движущемся "объекте" из-за его движения вправо со скоростью v , гармоники должны быть развернувшимися вправо в соответствии с соотношением скоростей v и c , так чтобы в системе, связанной с объектом, компенсировалось смещение v , и чтобы эти гармоники (как "движение энергии", движение "фрагментов энергии"), воспринимались в этой системе строго поперечными.

(2-й вариант: можно рассматривать вариант "в движении" и как движение "наблюдателя" влево относительно покоящегося "объекта".)

5) В покое импульс пары, как векторная сумма, равен 0, а энергия равна сумме длин двух векторов. При движении "объекта" импульс гармоники p направлен

по направлению движения гармоника, в данном случае наклонно. Векторные добавки в импульсах $d\mathbf{p}$ должны быть параллельны движению. Особенно это ясно в варианте движения наблюдателя влево. По соотношению сторон в треугольнике видно, что и энергия, и импульс каждой гармоника увеличится на фактор Лоренца: $\frac{c}{\sqrt{c^2-v^2}} = \frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$. То же и для энергии пары, как это и отмечено в таблице. Импульс пары (векторная сумма) равна $2d\mathbf{p}$. По соотношению сторон треугольника видно, что $2d\mathbf{p}=2(E/c)(v/c)$ или $p_{\text{пары}}=E_{\text{пары}}v/c^2$. Это тоже соответствует таблице.

б) Полученные соотношения должны быть справедливы и для пар с другими направлениями. Как и для всего объекта. Показать это для других направлений гармоник немного сложнее, надо учитывать лоренцевы искажения, которые мы обсудим дальше. Тогда мы обсудим и вариант пары, продольной к движению.

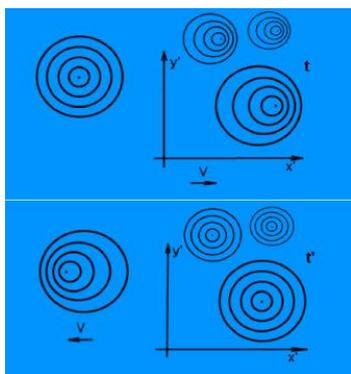
7) Вот и всё по поводу механики Специальной Теории. Посмотрите еще раз на выражения для энергии и импульса в таблице. Что в них непонятного и сложного? Есть набор гармоник с суммарными E и p , и при движении объекта E и p у этого набора изменяются совершенно понятным образом.

Часть 5. Разбираем основное противоречие Специальной Теории.

1) Начнем рассуждать сначала. Есть множество инерциальных систем. Но оказалось, что в них выполняется Инвариант Скорости Света, а переходы из одной системы в другую должны сопровождаться искажением координат и времени ("преобразованиями Лоренца"), чтобы обеспечить выполнение этого Инварианта. Почему? В чем суть?

Назовем множество этих инерциальных систем "системами Лоренца". Классическая физика использовала понятные нам преобразования Галилея. Это потому, что мы бессознательно считаем окружающие нас тела "твердыми", сохраняющими все свои размеры при движениях. А вот если мы поймем, что частицы нашего мира имеют волновую природу, то системы Лоренца наверняка окажутся самым лучшим, что только можно придумать для мира из таких частиц.

2) Попробуем разобраться со смыслом преобразований Лоренца на нарочито упрощенном примере.



Вот как выглядят (верхняя половина рисунка) расходящиеся волны от точечного источника (слева), покоящегося относительно волновой среды, и от трех источников (справа), движущихся с одинаковой скоростью v вправо. Здесь у нас движущиеся источники сопровождаются связанной с ними обычной системой координат (не системой Лоренца).

Видно, что волны от движущихся источников, как для внешнего наблюдателя, так и в их системе, разрежены сзади и уплотнены спереди из-за перемещения самих источников вправо относительно среды. Т.е. в такой системе скорость волн зависит от направления (степень удаленности волны от источника в разных направлениях).

волн зависит от направления (степень удаленности волны от источника в разных направлениях).

3) А можно ли сделать так, чтобы образцы в самой движущейся системе стали выглядеть без ассиметрии? Можно. Например, для этого стоит переорганизовать категорию времени в движущейся системе (t на t'). Надо представить дело так, что внешний покоящийся наблюдатель в каждый момент своего времени t видит сразу разные моменты этого времени t' в зависимости от значения координаты x . (В преобразованиях Лоренца вы увидите это в числителе $t' = (t - (v/c^2)x) / \dots$). При меньших x (слева) внешний наблюдатель видит "как бы" более позднюю фазу t' . И "как бы" поэтому волна успела отойти дальше от точечного источника. А если рассмотреть всю картину этих трех источников в самой движущейся системе в любой конкретный из моментов t' , то все три образца станут симметричными (показано в нижней половине).

4) Но. Тогда во 2-й системе, во времени t' из-за его свойства уплотнять картину волн слева и разрезать справа, картинка "реально" покоящегося объекта слева в этом времени t' , кроме понятного движения влево, станет выглядеть искаженной, уплотненной слева и разреженной справа. Т.е. так, "как" у объекта, движущегося влево относительно среды. Таким образом, обе системы становятся равноценными в том смысле, что в каждой из них волны распространяются "как" в системе, связанной со средой, т.е. независимо от направления.

5) Вот, упрощенно, в чем суть систем Лоренца с их преобразованиями. Все системы Лоренца взаимно симметричны для волн, выделенных нет. А вспомните, что Эйнштейн отрицал эфир только на том основании, что часть из систем, реально связанных с гипотетическим эфиром, уже только этим выделялась бы и нарушала требуемую формальную полную взаимную симметрию всех систем.

В отношении рассмотренного введения в преобразование времени зависимости от продольной координаты "простым людям" рассказывают, что в Теории Относительности время преобразуется в пространство и наоборот. Представляете, что происходит с мозгами людей в этот момент?

6) Приведенный в движение объект типа "стоячая волна" должен искажаться. Но ясно, что во всех системах Лоренца эти объекты в состоянии покоя могут и выглядеть одинаково, и проявлять себя одинаково. Почему? Потому что объекты типа "стоячая волна" раскладываются на гармоники и набор гармоник покоящегося объекта можно просто скопировать и перенести в другую, движущуюся относительно систему Лоренца, и получить там этот же объект. А то, что скорость света во всех этих системах одинакова (инвариантна) значит, что и во времени и гармоники, и весь полученный объект будут вести себя так же как исходный. Только во времени уже новой системы. Системы Лоренца как будто специально придуманы для мира волновых объектов, чтобы заменить прежние системы Галилея классической физики.

7) Поскольку сами мы являемся комплексами из волновых объектов, для нас системы Лоренца неразличимы, и мы не в состоянии выделить из них системы, реально связанные со средой (может быть, пока). И мы сами выбираем из всех возможных вариантов инерциальных систем именно системы Лоренца, бессознательно, как самые простые. Поскольку они симметричны по направлениям. Начиная двигаться, волновые объекты искажаются, меняется состав их гармоник. Но во всех соответственных точках покоящегося и движущегося объекта амплитудно-фазовые соотношения между соответствующими гармониками сохраняются. Во всех системах. Значит, их взаимодействие, локально в каждой точке объекта и остается одинаковым во всех системах. Поэтому и физика в системах Лоренца для волновых объектов одинакова, и независима от направлений. И имеет самый простой вид.

8) Еще одно проявление волновой природы частиц нашего мира. Опыт показывает, что значение "с" может меняться по пространству. (На это указывают искривление траекторий фотонов космическими массами.) Но мы сами, являясь волновыми объектами, не в состоянии выявить того, что скорость "с" как-то может отличаться в разных областях. Потому что наша метрика пространства и времени (и "линейка" и "часы") определяются размерами и частотой колебаний объектов, из которых мы состоим. И размеры, частота и локальное "с" жестко связаны.

Резюмируем. Итак, мы объяснили явление инварианта скорости света. Только логика, и никаких выкладок. Из всех возможных вариантов инерциальных систем нами (людьми, учеными) автоматически выбирается вариант систем Лоренца, как самый удобный. Но именно потому, что наш мир состоит из волновых объектов.

Часть 6. Искажения "пространства-времени" при движении объектов.

В силу своей волновой природы при движении объекты искажаются. Именно эти искажения компенсируются преобразованиями Лоренца, чтобы в системах, связанных с объектом, этот объект в состоянии покоя выглядел неискаженным.

Рассмотрим объект "стоячая волна" в покое и движении. Какие произойдут изменения?

Во-первых, колебания в движущемся объекте замедлятся.

Во-вторых. Если в покоящемся объекте все колебания происходят одновременно по всему объему, то при его движении более передние колебания начинают отставать по фазе. Поэтому по объекту как бы бежит вперед по ходу движения объекта некая волна, волна установления фазы времени t' . Т.е. получаем искажение синхронности событий для внешнего наблюдателя (зависимость времени t' от x). Мы уже ранее это обсуждали.

И в третьих. При движении продольный размер объекта должен несколько сократиться.

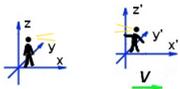
Lorentz transformation

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, \quad x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}},$$

$$y' = y, \quad y = y',$$

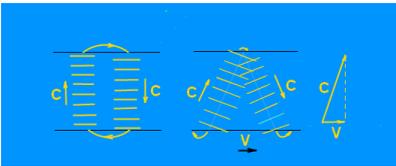
$$z' = z, \quad z = z',$$

$$t' = \frac{t - (v/c^2)x}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, \quad t = \frac{t' + (v/c^2)x'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$



Вот приведены преобразования Лоренца, прямое и обратное. Мы будем указывать, как в них отражаются найденные нами искажения.

1-й вид искажений. Замедление времени. Если рассмотреть упомянутую поперечную пару в покое и движении, то видно, что из-за наклона гармоник в

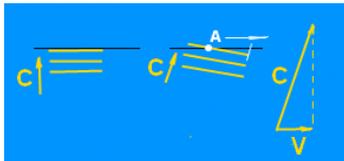


движении и при сохранении поперечного размера объекта длина траектории увеличивается в β раз. А поскольку все гармоники в движущемся объекте связаны, то все колебания в каждой точке должны замедлиться, т.е. замедляется время в движущемся объекте. И во всей

системе, связанной с объектом, для внешнего наблюдателя время замедляется.

Это можно видеть в обратном преобразовании в преобразованиях Лоренца, в последнем выражении $t =$, поскольку x' должно сохраняться. Получаем $\Delta t = \Delta t' \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$.

2-й вид искажений. Нарушение синхронности. Рассмотрим ту же пару гармоник.

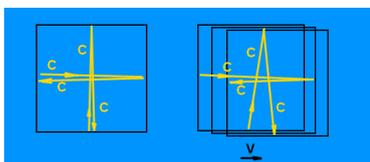


В покое гармоника пересекает некоторую продольную (к последующему движению объекта) границу одновременно всем фронтом. А в движущейся частице - пересекает ее наклонно. Чтобы в движущейся системе этот фронт воспринимался горизонтальным в один момент "ее"

времени t' , надо, чтобы для внешнего наблюдателя в более задней точке объекта момент времени t' "его" системы наступал раньше. Установка каждого момента времени 2-й системы t' продвигается вперед. Из рисунка видно по соотношению сторон треугольника, что процесс установления "фазы времени" t' бежит вперед со скоростью V_ϕ , которая больше "с" в c/v раз ($V_\phi = cs/v$), то есть значительно быстрее скорости света c . И длина волны по оси x Λ по сравнению с длиной волны гармоника λ увеличивается в c/v раз ($\Lambda = \lambda c/v$). Синхронные в покоящейся частице колебания в движущейся частице выглядят не синхронными. Получается "как бы" бегущая вперед по объекту волна с полученной скоростью V_ϕ и полученной длиной волны Λ .

На самом деле, это бежит по объекту т.н. "волна де Бройля", не настоящая, а создаваемая двумя продольными противоположными волнами с немного разной "длиной волны". Бегут вперед точки, где встречаются и складываются их максимумы.

В прямом преобразовании Лоренца эта скорость отражена в числителе для $t' = (t - (v/c^2)x) / \dots$. Если, скажем, числитель приравнять 0, и посмотреть x/t , получим $V = c(c/v)$.



3-й вид искажений. Продольное сокращение. Чтобы разобраться с продольным сокращением объекта при движении, надо рассмотреть в покоящемся и движущемся объекте поперечную и продольную к движению пары. Если

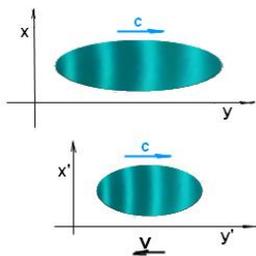
принять, что в покое циклы по поперечной паре и продольной одинаковы, скажем, $2L/c$, то в движущемся объекте это соотношение должно нарушаться. Для продольной пары имеем разные скорости продольных волн относительно объекта, любой его точки: $(c-v)$ в прямом направлении и $(c+v)$ в обратном направлении. Вот выражения для обоих циклов в движущемся объекте, поперечного: $L \cdot \beta / c + L \cdot \beta / c$, и продольного: $(L/(c-v) + L/(c+v))$. Можете убедиться, что 2-е выражение в β раз больше. А поскольку все гармоники в каждой точке объекта связаны, то циклы должны остаться одинаковыми и при движении. Для выполнения этого необходимо, чтобы продольные размеры объекта сократились в β раз, на фактор Лоренца.

В прямом преобразовании Лоренца это отражено в $x=...$ и обеспечивается фактором Лоренца β . Видим, что $\Delta x = \Delta x' \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$

Маленькое, но важное замечание. Для движущейся системы имеем замедление времени (т.е. расширение t' по отношению к t), и сжатие по оси x . Т.е. элемент объема в 4-мерном пространстве (x, y, z, t) при движении сохраняется. Поэтому при формальном подходе к Специальной Теории используется "поворот" в 4-мерном пространстве.

Часть 7. Два небольших дополнения к теме по Специальной Теории.

Смысл формулы Планка. Вспомним закон Планка для фотона (объекта типа "бегущая волна") $E = \nu \cdot h$. Не всем понятна прямая зависимость энергии от частоты. В разных системах частота ν одного и того же фотона "воспринимается" по-разному, как



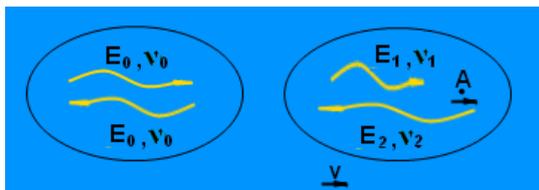
и энергия. Покажем это на упрощенном варианте, когда 2-я система движется вдоль оси x , как и фотон. В основу разбора мы выберем частоту объекта ν в каждой системе. Обе "картины волны", (т.е. количество волновых сегментов, максимумов) в обеих системах одинаковы. И скорость волн одинакова - c . Поэтому длину объекта в каждой системе можно связать с частотой волнового объекта, она **обратно пропорциональна ν** .

Ширина волнового объекта в обеих системах одинакова. Значит, объем объекта пропорционален $1/\nu$. А плотность волновой энергии всегда в физике пропорциональна ν^2 . Получаем, что энергия объекта "бегущая волна" $E \sim \nu$.

Обещанная демонстрация изменений механики в продольной паре.

(Пункт можете пропустить, он не принципиален, хотя, в принципе, не сложен.)

Было обещано показать выполнение кинематических соотношений $E_{\text{движ}} = E_{\text{пок}} / \sqrt{1 - v^2/c^2}$, $p_{\text{движ}} = (E_{\text{пок}}/c^2) \cdot v / \sqrt{1 - v^2/c^2}$ и для продольной пары гармоник. (Ранее мы продемонстрировали это для поперечной пары.)



1) Мы примем, что в покое энергия каждой из пары продольных гармоник имеет энергию E_0 и частоту ν_0 . А в движущейся системе энергия гармоник меняется согласно $E \sim \nu$, т.е. пропорционально изменениям их частот. Их **общая энергия** как сумма модулей

будет $E_0(\nu_1/\nu_0) + E_0(\nu_2/\nu_0)$, а импульс p как векторная величина $(E_0(\nu_1/\nu_0) - E_0(\nu_2/\nu_0))/c$, где ν_1 и ν_2 изменившиеся частоты гармоник, в сторону движения объекта и против движения. Осталось найти изменения частот гармоник.

2) Из-за замедления времени в движущемся объекте в каждой его точке частота равна $\nu_0 \sqrt{1 - v^2/c^2}$. Волна с частотой ν_1 из-за того, что она догоняет каждую точку объекта (скажем, т. А), в этой точке имеет частоту $\nu_1 \cdot (c-v)/c = \nu_1 \cdot (1-v/c)$. Нами двояко получена одна и та же частота в точке, поэтому: $\nu_0 \sqrt{1 - v^2/c^2} = \nu_1 \cdot (1-v/c)$. Полученный результат (ν_1/ν_0) мы запишем в 3 видах. Нам понадобится только 3-й вид. А 2-й вид Вы часто сможете увидеть в Специальной Теории в преобразовании частоты.

$$v_1/v_0 = \sqrt{1 - v^2/c^2} / (1 - v/c) = \sqrt{(1+v/c)/(1-v/c)} = (1+v/c)/\sqrt{1 - v^2/c^2}$$

3) Теперь проделаем то же для волны, противоположной движению объекта. Из-за движения точки объекта имеем: $v_2 \cdot (c+v)/c = v_2 \cdot (1+v/c)$. Аналогично получаем:

$$v_2/v_0 = \sqrt{1 - v^2/c^2} / (1+v/c) = \sqrt{(1-v/c)/(1+v/c)} = (1-v/c)/\sqrt{1 - v^2/c^2}$$

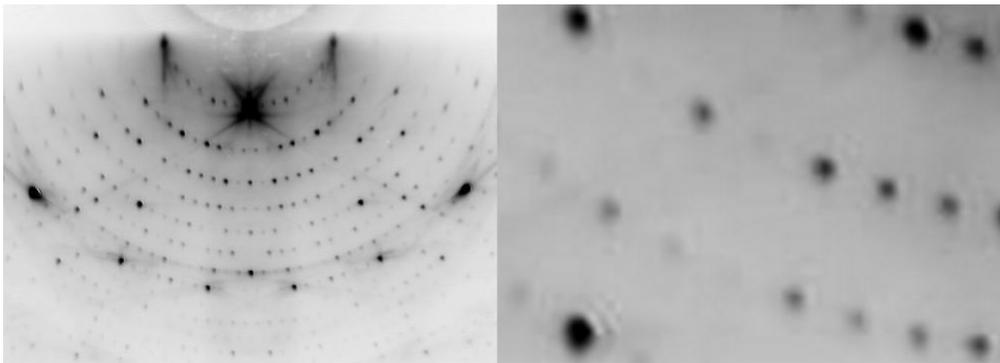
Используя оба 3-и выражения, видно что $E_{\text{движ}} = E_0(v_1/v_0) + E_0(v_2/v_0) = E_{\text{пок}}/\sqrt{1 - v^2/c^2}$, и $p_{\text{движ}} = ((E_0(v_1/v_0) - E_0(v_2/v_0))/c) = (E_{\text{пок}}/c^2) \cdot v/\sqrt{1 - v^2/c^2}$, т.е. мы получили то, что и следовало получить.

Часть 8. По теме почти всё. Выводы о возможном расширении темы.

Цель этой статьи - знакомство школьников с простой ("волновой") интерпретацией Специальной Теории, поэтому следует ограничиться в изложении. Интерпретация показывает, что весь наш мир - это картина из "волновых картинок" на некой волновой среде. Но хочется указать на некоторые моменты возможного расширения данного подхода на другие проблемы, Квантовую Механику и Гравитацию.

Хотелось бы отметить, что с определенного времени теоретическая физика вступила на путь сугубо формальных построений и, честно говоря, всё более становится похожей на смесь математики, "химии" и "цирка".

В подтверждение данной "волновой интерпретации" хотелось бы показать один образец интерференции электронов, найденный в интернете. Я не могу утверждать, но мне кажется, что в увеличенных фрагментах просматриваются явные образцы "стоячей волны". Кроме главного максимума, в "засвеченных точках" просматриваются дополнительные концентрические волновые зоны. Возможно, так отразился поперечный срез волновой структуры электронов, имеющей тип "стоячей волны".

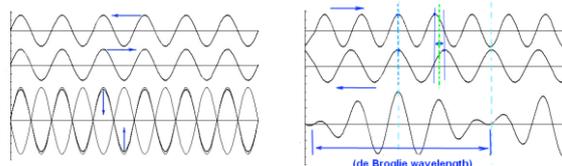


Выход на Квантовую механику.

1) В Квантовой Механике есть т.н. "волновая функция". Вот ее история. Де Бройль в 1923 г. предположил, что в электроме, по аналогии с фотоном, есть некая частота в соответствии с законом Планка $\nu = E/h$: $\nu = mc^2/h$. За неимением ничего другого де Бройль "принял", что есть некий гармонический процесс, идущий синхронно во всем объеме частицы. (Вообще, таких процессов в физике не бывает. Например, у "стоячей волны" колебания синхронны, но в соседних зонах они в противофазе.) Затем де Бройль использовал Специальную Теорию. Нарушение "одновременности" при движении объекта превращало синхронное колебание в волну, бегущую вперед на скорости больше c : $V = c(c/v)$. Таких волн на волновых средах не бывает. Решили трактовать эту волну как "вероятностную".

В нашей модели сама Специальная Теория рождается из анализа движущихся волновых структур. Всё наоборот. И мы не будем спекулировать на таких понятиях как

фазовая и групповая волновая скорость, как это делается при обычном изложении СТО.



2) Рассмотрим пару продольную к движению. В состоянии покоя "длины волн" у пары одинаковы, максимумы (как и минимумы) обеих волн встречаются все **одновременно** и на **одних и тех же местах**.

Это "стоячая волна". При движении "объекта" "длины волн" уже **различаются**. При сложении двух этих волн встречи максимумов происходят **не одновременно** по оси движения. Места встреч максимумов бегут "некой волной" вперед. Это, как Вы понимаете, "установка фазы времени" в движущемся объекте, рассмотренная нами. И скорость этой установки фазы времени бежит вперед со скоростью $V=c(v/v)$. Эта волна "как бы" не настоящая, но в явлении интерференции она, как увидим, должна будет проявлять себя как волна де Бройля. Ее "длина волны" была уже получена нами ($\Lambda = \lambda c/v$). На этом интервале у волны, бегущей вперед, укладывается ровно на одну "длину волны" больше, чем у противоположной волны. И снова всё повторяется.

3) О дифракции на щелях. Наверное, Вы знаете, как у волны, проходящей через 2 щели, на "мишени" получается периодическая интерференционная картина, "гребенка". Чередуются "хорошие" и "плохие" направления для прошедших через щели двух частей волны (в том смысле, что в "хороших направлениях" имеют место совпадения по фазе обеих частей волны на выходе в данном направлении).

4) Теперь перейдем к нашему случаю, когда имеется 2 волны, продольные к линии движения объекта, "прямая" и "обратная" с немного разной "длиной волны". ("Прямая" волна "догоняет" "объект", поэтому ее "длина волны" должна быть короче.) Прохождение объекта определяется не одной волной, а двумя продольными противоположными волнами при совпадении "хорошего" направления у обеих волн. Допустим, в каком-то направлении **совпадают "хорошие" условия и для прямой, и для обратной волны**. По этому направлению частица может двигаться после мишени. Теперь отклоняемся от этого направления. Сначала "хорошие" и "плохие" направления чередуются для обеих волн **почти** одинаково. Идет некая "общая" "гребенка". Потом из-за разницы длин волн условия перестают совпадать. Когда выполняется "хорошее" условие для одной, оно не выполняется для другой, и наоборот. В этих направлениях частица если и проходит, то плохо. Но вот снова условия начинают совпадать. И снова пошла общая "гребенка". Т.е. разница направлений между двумя гребенками как раз и соответствует "длине волны" де Бройля для щелей, угол, в котором разность фаз двух продольных волн набирает целый дополнительный цикл.

Если предположить, что отдельные "зубцы" у "гребенок" "не разрешаются", т.е. сливаются, то "гребенок" мы не увидим. Будут чередоваться зоны прохождения, соответствующие "длине волны де Бройля".

Выход на тему Гравитации.

1) Пару слов о движении частиц в гравитационном поле. Факт, что большие космические массы искривляют траекторию фотонов ("как бы" притягивая их), можно трактовать как движение волн в поле, в котором волновая скорость "с" уменьшается с приближением к массе (т.е. рассмотреть проблему оптически). В отношении формирования самого гравитационного поля можно предположить, что "массы" своими энергиями колебаний меняют (уменьшают, скажем, снижают упругость среды) "с" в прилежащем пространстве (и не только).

2) Сейчас мы считаем, что "падающая" в гравитационном поле, частица за счет уменьшения "потенциальной энергии" увеличивает свою "кинетическую энергию" (и скорость). На самом деле может происходить вот что. Ни объекты без массы, ни объекты с массой, проходя по гравитационному полю (как по оптической среде) не

изменяют свою полную волновую энергию. Можно предположить, что "внутри" гравитации, т.е. при меньшем значении "с", та же частица с массой имеет меньшую волновую энергию "состояния покоя". При "падении" общая волновая энергия частицы сохраняется, а разница между "энергиями покоя" переводится в форму "движущейся частицы", за счет увеличивая фактора Лоренца β .

3) Частица, имея меньшую энергию покоя внутри гравитационного поля, имеет и меньшие частоты. Поэтому атомы внутри гравитации излучают фотоны с меньшими частотами. Это явление называется "внутренним красным смещением". Напомню, что мы, состоя из волновых частиц, не в состоянии локально заметить изменение "с".

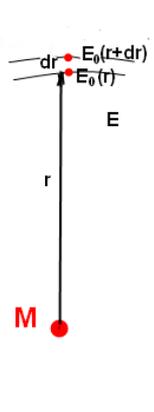
4) Обсудим еще один важный аспект, касающийся самой категории "импульса", не совсем понятного для волновых объектов. Это пригодится при учете изменения "с". В пару к энергии E было бы логичнее выбрать вместо вектора p вектор потока волновой энергии $Flow$, для фотона $Flow = E \cdot c$. Почему? Есть понятие m (масса) и понятие "потока массы" $m \cdot v$, называемое нами импульс p . Есть понятие заряда q , и есть понятие потока (переноса) заряда $q \cdot v$, называемое еще элементом тока j . Смысл этих понятий ясен. Если считать m и q некими реальностями, то и их потоки - тоже реальности, и имеют смысл законы их сохранения в определенных условиях.

Для объекта типа «бегущая волна» импульс p в традиционном понимании равен $p = E/c$, а предложенный $Flow = E \cdot c$. Т.е. мы имеем отношение векторных величин $Flow/p = c^2$. Заметьте, отношение такое же, как и в отношении $E_0/m = c^2$. Формула для объектов типа "стоячая волна" $p = (E \cdot v)/c^2$, которая уже была получена нами выше, получается автоматически: $p = Flow/c^2 = (E \cdot v)/c^2$, поскольку по самому определению поток волновой энергии для этих объектов с массой $Flow = E \cdot v$. И смысл сохранения потока $Flow$ для замкнутой системы понятен. Он аналогичен закону сохранения количества движения, только для волн. В "наших" условиях "с" практически не меняется, поэтому разницы в использовании понятий p и $Flow$ нет. А если "с" меняется с гравитацией? В этом случае переход к понятию $Flow$ неизбежно.

5) Еще в данной интерпретации Специальной Теории можно показать предположительный "оптический вариант" механизма "втягивания" частицы в гравитационное поле, т.е. в область с меньшим значением "с", и не сложно получить радиус т.н. "черной дыры". Так же, как траектория фотона предположительно оптически искривляется в стороны "Массы", так же искривляется каждая гармоника в нашем "волновом объекте с массой" в сторону "Массы" оптически.

Давайте попробуем понять, как может уменьшаться "с" с уменьшением r . При определенном значении r "с" обращается в нуль. Можно предположить, что при этом исчезает упругость среды.

Мы сделаем предположение, что в состоянии покоя в объекте с меньшим r меняется только частота (т.е. меняется "с", а размеры и амплитуда колебаний не меняется). И еще предположение, что соблюдается закон Планка $E = h \cdot \nu$ ($\nu \sim 1/c$). Рассмотрим падение объекта из состояния покоя из положения $r+dr$ в положение r с



$$\frac{E_0(r+dr)}{E_0(r)} = \frac{c(r+dr)}{c(r)} = \frac{c(r)+c \cdot dr}{c(r)} = 1 + \frac{c \cdot dr}{c(r)} \quad (1)$$

$$\frac{E_0(r+dr)}{E_0(r)} = \beta = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2(r)}} \approx 1 + \frac{v^2}{2c^2(r)} = 1 + G \frac{M}{r^2} \cdot dr \quad (2)$$

$$\frac{c \cdot dr}{c(r)} = G \frac{M}{r^2} \cdot dr \quad \text{или} \quad c(r) \cdot c \cdot dr = G \frac{M}{r^2} \cdot dr \quad (3)$$

$$\textcircled{2} c(r) \cdot c \cdot dr = \textcircled{2} G \frac{M}{r^2} \cdot dr \quad \text{Интегрируем по } r.$$

$$c^2(r) + \text{Const} = -2 \cdot G \frac{M}{r} \quad (4)$$

$$c^2(r) = c_0^2 - 2 \cdot G \frac{M}{r} \quad \text{или} \quad c(r) = \sqrt{c_0^2 - 2 \cdot G \frac{M}{r}} \quad (5)$$

$$r_0 = 2 \cdot G \frac{M}{c_0^2} \quad (6)$$

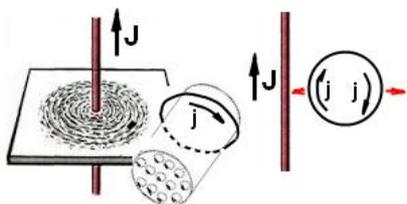
$\beta = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$. Теперь немного выкладок (очень простых).

Отношение энергий покоя через c (r) (1). Затем то же, но с привязкой к закону гравитации (2). Отметим, что здесь $c(r)$. Приравниваем оба отношения и получаем простое дифференциальное уравнение. Интегрируем, определяя константу, чтобы на бесконечности было $c(\infty) = c_0$. Радиус "черной дыры" определяем по условию $c(r) = 0$. Получаем

общепринятое значение радиуса "черной дыры" r_0 .

Возможность разных подходов в гравитации. Кроме Специальной Теории Относительности Эйнштейн (вместе с математиками) создал Общую Теорию Относительности. Ее суть - объяснение гравитации "кривизной" нашего пространства (4-мерного). Надеюсь, вы понимаете, что "кривизну пространства", как и "локальную глубину" этого пространства, можно создать и изменением оптических свойств волновой среды. ОТО очень сложна, сплошная математика, тензорный анализ. "Вручную" рассматриваются только частные случаи. В физике часто возможны разные модели. Вопрос в степени адекватности, и, желательно, простоте.

Хочется еще показать вам, даже не идею, а мысль, откуда может браться т.н. магнитное поле (сила), что это только проявление Относительности. Картина



магнитного поля формируется направлением железных опилок. Как выяснилось, положение опилок определяется тем, что они ведут себя подобно "петле", или "катушке" с током. Это происходит из-за упорядочения структуры электронов в атомах "опилок". Поэтому, можно ограничиться рассмотрением "замкнутой петли" с током в поле проводника с током.

Закон Ампера: проводники с одинаковым направлением тока притягиваются, с противоположным - отталкиваются. Именно этот закон определяет положение "опилки". Она ориентируется так, чтобы части петли с учетом направления тока в них расположилась оптимально по отношению к току проводника. Попробуем получить закон Ампера из Относительности.

Рассмотрим два положительных заряда, в покое и в движении со скоростью v . В



обоих случаях происходит взаимное отталкивание и ускоренное "разбегание" зарядов. В покое работает сила Кулона F_0 . Согласно СТО в движущейся системе время замедляется в β раз. Значит, для покоящегося наблюдателя **видимая скорость** разбегания уменьшится в β раз, а

ускорение уменьшится в β^2 раз. Но из-за того, что "внутренняя энергия" зарядов увеличится в β раз, **инерция** (m) должна увеличиться в β раз. Поэтому, рассматривая проблему в терминах классической физики, $F=ma=(m_0\beta)(a_0\cdot 1/\beta^2)=F_0/\beta$. Но вместо того, чтобы говорить об уменьшении силы F_0 при движении физикам удобнее формулировать это так, что F отталкивания осталась кулоновой $= F_0$, но добавляется некоторая "дополнительная сила" "притяжения". $F=F_0/\beta \approx F_0(1-(v^2/c^2)/2) = F_0 - F_0(v^2/c^2)/2$. То есть, кроме силы Кулона при движении появляется сила **притяжения** двух **однаправленных токов** qv . Когда разнозначные заряды уравновешены в проводниках с током, то сила кулона "исчезает", остается и проявляется "добавка" в виде силы притяжения **однаправленных токов**.

Если заряды разного знака, то $F_{\text{доп}}$ такая же по величине, как мы получали, но направленная на отталкивание. Дополнительные силы имеют, по понятным причинам, направление противоположное, чем сила Кулона между зарядами.

Возможный вывод: магнитное поле - просто удобный способ описания явлений.

А вот теперь простая задача, которая должна показать слабость формальных подходов в СТО. Два самолета стоят друг за другом на расстоянии 500м. По сигналу диспетчера они одновременно и одинаково трогаются, разгоняются до определенной скорости v и летят с этой скоростью. Всё одинаково. Каково время на каждом из них с точки зрения диспетчера? Очевидно одинаковое. А с точки зрения СТО в системе, движущейся со скоростью v в переднем самолете время должно отставать.

А. Эйнштейн. К электродинамике движущихся тел. Ann. d. Phys., 1905.

А. Эйнштейн. Does the inertia of a body depend upon its energy-content? 1905.