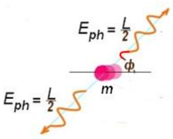
Для pedsovet.org . Раздел Математика.
Тема: "Специальная Теория Относительности для школы".

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

Также я предложил в теме "Проверим знание таблицы умножения" программу развития устного счета в помощь ученикам и учителям.

Сейчас я хочу показать Вам, что Специальная Теория Относительности - это очень просто, в том числе для школьников. Это "Волновая интерпретация", в "рамках здравого смысла". Выкладок почти нет, а те что есть - на уровне школы. Увидите сами, прочитав 1-ю часть с очень простым выводом известной формулы **$E=mc^2$**.

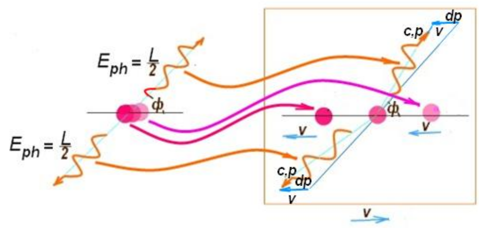
Часть 1.
Начнем с простого вывода $E=mc^2$.



Эту схему мысленного эксперимента использовал Эйнштейн для своего вывода формулы **$E=mc^2$**. Частица с массой **m** излучает 2 одинаковые электромагнитные волны ("фотона") в противоположные стороны. Ошибочно принято считать, что **суть** вывода этой формулы - использование Специальной Теории. Эйнштейн, и правда, вывел формулу сложно, 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) и **v** устремляется к 0.

Теперь пару слов, как это всё получается.

На рисунке указаны 2 системы: 1-я **система**, связанная с частицей (слева), в ней частица покоится, 2-я **система**, движущаяся относительно частицы со скоростью **v** **вправо**. В ней частица движется **влево** со скоростью **v**.



Ясно, что в 1-й системе, после излучения частица останется на том же месте, поскольку векторная сумма импульсов излученных гармоник 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**, очевидно, что **направления движения** указанных гармоник уже не будут противоположным, а будут восприниматься **развернутыми немного влево** по соотношению **v** и **c**. А, значит, в этой системе гармоники уже **в сумме** обладают некоторым импульсом, направленным **влево**. А, значит, при излучении они забирают часть от импульса частицы, который в классической физике равен: **$p=m \cdot v$**. Но скорость частицы **v** не изменяется. Значит, при излучении должна уменьшиться ее масса 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 гармоники забирают импульс **2dp** влево. **dp** легко выражается из пропорции по треугольникам **$dp/p=v/c$**, т.е. **$dp=p \cdot v/c$**. А **p** каждой гармоники выражается через их энергию **$p=E/c$**. (Напомним, эта связь найдена теоретически еще Максвеллом и опытно подтверждена Лебедевым в 1899-м году.) Получаем **$dm \cdot v=2 \cdot dp=2(E/c)(v/c)$** . Видим, что **v** уходит из выражения, она есть в обеих частях. Получаем, что **dm** (т.н. дефект массы) выражается через теряемую при излучении общую энергию гармоник **$dm=(2E)/c^2$**. Очень просто получили известную формулу. Остальное не сложнее.

Часть 2.
Без краткой истории нам, увы, не обойтись.

1) **Принцип Относительности.** 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 (электромагнитные волны) имеет волновую природу. Из уравнений Максвелла, **одинаковых во всех инерциальных системах**, выявлялся **Парадокс** - одинаковая волновая скорость света **в каждой инерциальной системе**.

3) **Инвариант Скорости Света** выявился и 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 должна была проявиться по картинке. Эффект "разбежки" не выявлялся при любом положении прибора - это подтверждало парадоксальное явление Инварианта.

4) **Парадокс.** С одной стороны, **Инвариант** "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 занялась с 1881 г. Наиболее известные ученые **Лоренц и Пуанкаре** много сделали в этой области.

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

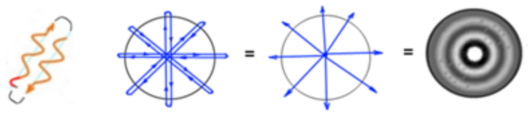
6) По тем временам формальный подход Эйнштейна подкупал новизной (**именно формализмом**) и относительной простотой. Но был принят далеко не всеми. Далее этот подход стал по разным причинам ведущим. И уже более **столетия** остается ведущим, хотя и непонятным "в рамках здравого смысла". А сам Эйнштейн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

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 много противников. Поводов достаточно, включая отрицание эфира и "здравого 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 **кажущийся**. И именно "**волновой подход**" на **эфире** приводит к простому объяснению "в рамках здравого смысла" Специальной Теории. И не только ее.

Часть 3.
Итак, предлагаемая модель-интерпретация.

1) Вернемся к предложенному Эйнштейном мысленному эксперименту - излучению частицей с массой двух одинаковых, но противоположных электромагнитных "бегущих" волн. Эти волновые объекты не имеют массы покоя. Но при излучении частица должна потерять часть своей массы. 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** данной паре волн. Внутри частицы эта пара может быть **только парой противоположных 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, "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" обойден намеренно. Но если нужна "хоть какая-то" идея, можно предположить, что расположенные вокруг "центра" сферические зоны сильных колебаний ("пучностей") могут формировать зоны неоднородностей на 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 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 (**$E = m \cdot c^2$**). 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.

Часть 4.
Разберемся с изменениями механики в Специальной Теории.

1) Всех удивляет, как непонятно в Специальной Теории обновляются понятия **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** (типа "бегущая электромагнитная волна") имеет место жесткая связь между импульсом и энергией через множитель **с**: **$E=c\cdot p$**.

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}, \qquad \mathbf{p} = \frac{m\mathbf{v}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

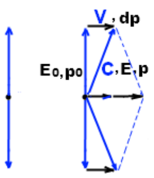
$$E = \frac{E_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}, \qquad \mathbf{p} = \frac{E_0/c^2\cdot\mathbf{v}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \qquad \left(\text{или } \mathbf{p} = \frac{E\cdot\mathbf{v}}{c^2}\right)$$

2) В Специальной Теории появляется фактор Лоренца $\frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$ обычно обозначаемый "**β**". Появляются **энергия покоя** E_0 и **увеличение её при движении** (из-за фактора Лоренца). При малых скоростях **добавка** к E_0 совпадает с привычной для нас категорией **кинетической энергии: $E_{кин} = m\cdot c^2/\sqrt{(1-v^2/c^2)} - m\cdot c^2 \approx m\cdot v^2/2$.**

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. Тогда **импульс** для нескольких гармоник -это **векторная сумма** этих векторов, а **энергия** - **сумма длин** (модулей) этих векторов. А связывающий энергию и импульс коэффициент "**с**" мы должны при этом держать в уме.



4) Рассмотрим такой "объект": выберем из всего набора пар одну пару и рассмотрим ее и **в покое**, и **в движении** со скоростью **v**, **поперечно** к самим гармоникам. Из-за движения "объекта" 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 гармоники, в данном случае наклонно. Векторные добавки в импульсах dp должны быть параллельны движению. Особенно это ясно **в варианте движения наблюдателя** влево. По соотношению сторон в треугольнике видно, что и энергия, и импульс **каждой** гармоники 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 **$2\cdot dp$**. По соотношению сторон треугольника видно, что **$2\cdot dp=2\cdot(E/c)\cdot(v/c)$** или **$p_{объекта}=E_{объекта}\cdot v/c^2$**. Это тоже соответствует таблице.

6) 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 и обсудим вариант продольной пвры.

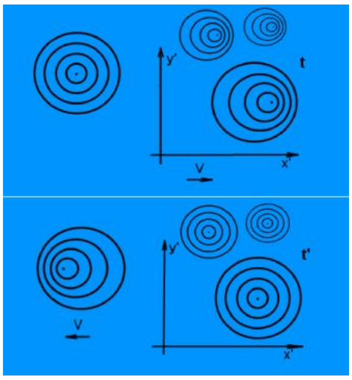
7) Вот и всё по поводу механики Специальной Теории. Посмотрите еще раз на выражения для энергии и импульса в таблице. Что в них непонятного и сложного? Есть набор гармоник с суммарными **E** и **p**, и при движении объекта **E** и **p** у этого набора изменяются совершенно понятным способом.

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-времени (т.н. "преобразованиями Лоренца"), **чтобы обеспечить выполнение этого Инварианта.** Почему?

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 движении. 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 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 Лоренцевой).

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 этой системе **скорость 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 $t'= (t-(v/c^2)x)/...$). При меньших **x** 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 разрежать 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, **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 должны 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** полученный объект будет 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 "**c**" 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 "**c**" 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 "c" жестко связаны.

Итак, мы объяснили явление **инварианта скорости света**. Только логика, и никаких выкладок.

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.

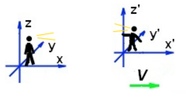
Во-вторых. Если в покоящемся объекте все колебания происходят синхронно по всему объему, то при движении более передние колебания начинают отставать по фазе. Поэтому по объекту как бы бежит вперед по ходу движения объекта некая волна, волна установления фазы времени t'. Т.е. получаем искажение синхронности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

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

Вот приведены преобразования Лоренца, прямое и обратное. Мы будем указывать, как в

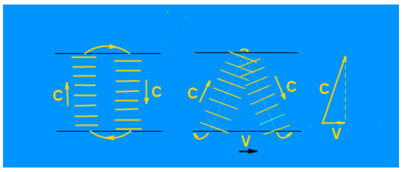
Lorentz transformation

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

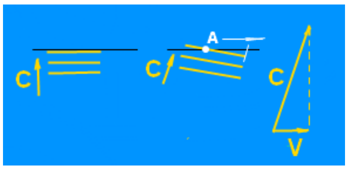


них отражаются найденные нами искажения.

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.



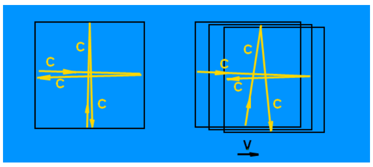
Это можно видеть **в обратном преобразовании** в преобразованиях Лоренца, в последнем выражении **t=**, поскольку **x' должно** сохраняться. Получаем $\Delta t = \Delta t' \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$.



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 $V_ф$ больше "**c**" в **c/v** раз ($V_ф = c \cdot c/v$), то есть значительно быстрее скорости света **c**. И длина волны по оси **x** **Λ** по сравнению с длиной **волны гармоники λ** увеличивается в **c/v** раз ($\Lambda = \lambda \cdot c/v$). Синхронные в покоящейся частице колебания в движущейся частице выглядят не синхронными. Получается "как бы" **бегущая вперед по объекту волна** с полученной скоростью $V_ф$ и полученной длиной волны **Λ**.

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

В **прямом преобразовании Лоренца** эта скорость отражена в числителе для **t'=(t-(v/c²)x)/....** Если , скажем, числитель приравнять 0, и посмотреть **x/t**, получим $V = c \cdot (c/v)$.



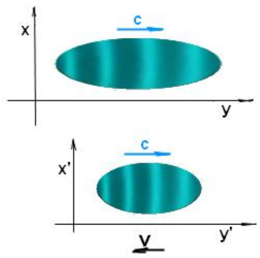
3-й вид искажений. Продольное сокращение. Чтобы разобраться с продольным сокращением объекта при движении, надо рассмотреть в покоящемся объекте поперечную и продольную к движению пары. Если принять, что в покое циклы по поперечной паре и продольной одинаковы, то в движущемся объекте это соотношение должно нарушаться из-за **разной скорости** продольных волн **относительно** объекта, любой его точки: **(c-v)** в прямом направлении и **(c+v)** в обратном направлении. Вот выражения для обоих циклов, 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 всех объектов 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.

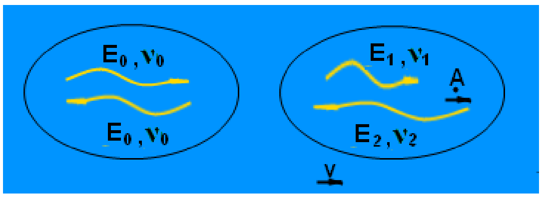
Смысл формулы Планка. Вспомним закон Планка для фотона (объекта типа "бегущая волна") **E=** ν·**h**. Не всем понятна прямая зависимость энергии от частоты. В разных системах частота ν одного и того же фотона "воспринимается" по-разному, как и энергия. Покажем это на упрощенном варианте, когда 2-я система 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/ν. А **плотность волновой энергии** всегда в физике пропорциональна ν^2. Получаем, что энергия фотона **E~** ν.



Обещанная демонстрация изменений механики в продольной паре.

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

Было обещано показать выполнение кинематических соотношений $E_{движ}=E_{пок}/\sqrt{1-v^2/c^2}$, $p_{движ}=(E_{пок}/c^2)\cdot v/\sqrt{1-v^2/c^2}$ 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~** ν, т.е. пропорционально изменениям их частот. Их **общая энергия** как сумма модулей будет $E_0\cdot(\nu_1/\nu_0)+E_0\cdot(\nu_2/\nu_0)$, а **импульс p** как векторная величина $(E_0\cdot(\nu_1/\nu_0) - E_0\cdot(\nu_2/\nu_0))/c$, 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 $\nu_0\cdot\sqrt{1-v^2/c^2}$. 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: $\nu_0\cdot\sqrt{1-v^2/c^2} = \nu_1\cdot(1-v/c)$. Полученный результат ($\nu_1/\nu_0$) мы запишем в 3 видах. Нам понадобится 3-й вид. А 2-й вид Вы часто сможете увидеть в Специальной Теории в преобразовании частоты.

$$\nu_1/\nu_0 = \sqrt{1-v^2/c^2}/(1-v/c) = \sqrt{(1+v/c)/(1-v/c)} = (1+v/c)/\sqrt{1-v^2/c^2}$$

3) Теперь проделаем то же для волны, противоположной движению объекта. Из-за движения точки объекта имеем: $\nu_2\cdot(c+v)/c = \nu_2\cdot(1+v/c)$. Аналогично получаем:

$$\nu_2/\nu_0 = \sqrt{1-v^2/c^2}/(1+v/c) = \sqrt{(1-v/c)/(1+v/c)} = (1-v/c)/\sqrt{1-v^2/c^2}$$

Используя 3-е выражения, видно что $E_{движ}=E_0\cdot(\nu_1/\nu_0)+E_0\cdot(\nu_2/\nu_0) = E_{пок}/\sqrt{1-v^2/c^2}$, и $p_{движ}=((E_0\cdot(\nu_1/\nu_0)-E_0\cdot(\nu_2/\nu_0))/c = (E_{пок}/c^2)\cdot v/\sqrt{1-v^2/c^2}$, т.е. мы получили то, что и следовало получить.

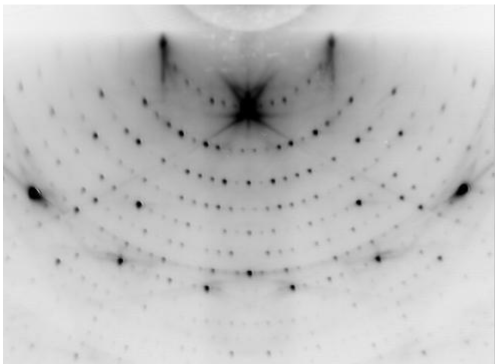
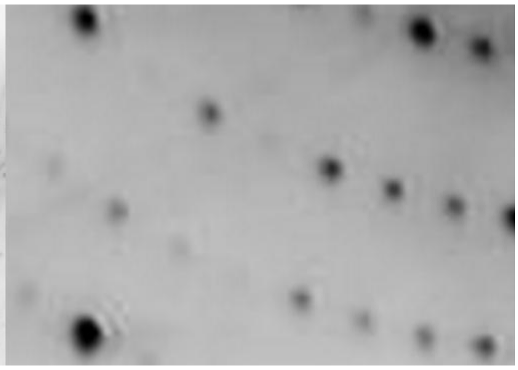
Часть 8.

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".

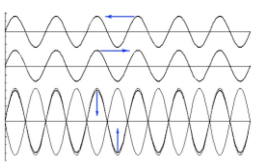
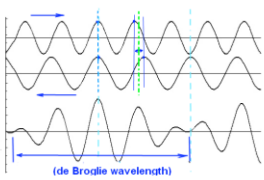



Выход на Квантовую механику.

1) В Квантовой Механике есть т.н. "волновая функция". Вот ее история. Де Бройль в 1923 г. принял, что в электроне, по аналогии с фотоном, есть некая частота в соответствии с законом Планка $\nu = mc^2/h$. 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 покое "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 бегут "некой волной" вперед. Это, как Вы понимаете, "установка фаз времени" в движущемся объекте. И скорость этой установки фазы времени бежит вперед со скоростью $\mathbf{V=c\cdot(c/v)}$. Эта волна "как бы" не настоящая, но в интерференции она, как увидим, должна будет проявлять себя как волна де Бройля. Ее "длина волны" была уже получена нами ($\mathbf{\Lambda= \lambda\cdot c/v}$). 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 одной 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 смысле совпадения фаз обеих частей волны на выходе в данном направлении).

4) Теперь перейдем к нашему случаю, когда имеется 2 продольные к движению волны, "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 "хороших" направлений у обеих волн. Допустим, в каком-то направление **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 на щелях, в которой несовпадение фаз двух волн набирает целый дополнительны 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 "падая" 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". О том, что в пару к **энергии** Е было бы логичнее выбрать вместо вектора **р** вектор **потока волновой энергии Flow**, для фотона **Flow**=Е·**с**. Почему? Есть понятие m (масса) и понятие "**потока** массы" m·**v**, называемое нами **импульс р**. Есть понятие заряда q, и есть понятие **потока** (переноса) заряда q·**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 сохранение в определенных условиях.

Для объекта типа «**бегущая волна**» импульс **р** в традиционном понимании равен р=Е/с, а в предложении **Flow**=Е·**с** . 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" **р**= (Е·**v**)/c^2 , которое уже было получено нами выше, получается автоматически: **p**=**Flow**/c^2=(Е·**v**)/c^2, поскольку **по самому определению** поток волновой энергии для этих объектов с массой **Flow**=Е·**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 понятиях **р** 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. А это приводит "объект" в смысле состава гармоник к виду движущегося объекта, т.е. к изменению β, и не меняя общей волновой энергии объекта.

Как-то так!