



СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

1512/2-80

7/4-80
P2 - 13029

В.С.Барашенков

ПРИЧИННОСТЬ В СВЕРХСВЕТОВЫХ ПРОЦЕССАХ

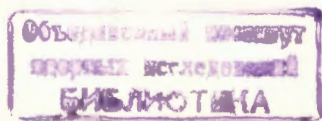
1980

Основная трудность, с которой сталкивается в настоящее время теория сверхсветовых частиц - тахионов, это - проблема причинности. В процессах, протекающих со скоростями, большими скорости света, временной порядок событий оказывается зависящим от выбора системы координат, когда противопоставление прошлого и будущего приобретает такой же относительный, условный смысл, зависящий от точки зрения, как противопоставление правого и левого в нашей обычной макроскопической практике.

Если бы можно было полностью изолировать процесс со сверхсветовыми частицами от окружающей макроскопической обстановки, то сама по себе такая возможность еще не являлась бы физической бессмысленной, и, как это показано многими авторами /см. обзоры ^{1,2/}, при условии замены частиц античастицами с обратными направлениями скоростей /так называемый принцип реинтерпретации/, не приводила бы ни к каким парадоксам*. Поскольку, однако, такая изоляция невозможна, то благодаря соседству досветовых событий, которые могут служить индикатором направления временной стрелы, возникает инвариантная /устойчивая/ "временная поляризация" потока событий и связанные с ней акаузальные эффекты ^{3/}.

Недавно Реками, Певжничем и Зиино было установлено неожиданное свойство сверхсветовых процессов, которое, по мнению этих физиков, полностью устраняет все трудности с макроскопической причинностью ^{4-7/}. Оказалось, что так как макроскопические акаузальные эффекты должны сопровождаться нарушением закона сохранения энергии и импульса, то взаимодействия тахионов, которые должны были бы привести к акаузальным явлениям, становятся запрещенными. Они просто не осуществляются, и макроскопический объект ведет себя по отношению к тахиону как абсолютно прозрачное тело.

*Напомним, что аналогичное преобразование замены частицы античастицей используется в теории элементарных частиц для того, чтобы все процессы оставались неизменными при зеркальном отражении пространственных координат /так называемая СР-инвариантность/. Соседство макроскопических явлений здесь не мешает, так как все эти явления не изменяются при "перестановке" правого и левого.



С данным объектом могут взаимодействовать только те тахионы, импульс которых удовлетворяет некоторому кинематическому соотношению, зависящему от масс тахиона и рассматриваемого объекта, а также от скорости их движения по отношению к источнику тахионов. Такие тахионы, казалось бы, могут участвовать в макроскопических процессах и переносить информацию быстрее света.

Однако при этом снова возникают противоречия. Поскольку масса тела и массы его частей различны, кинематическое условие, запрещающее акаузальные взаимодействия с этим телом как целым, вообще говоря, не запрещает таких взаимодействий с его частями, и наоборот. Это означает, что реальное физическое явление должно зависеть от того, каким способом мы мыслим разделить тело на части /если только не предполагать, что любой макроскопический объект, независимо от его структуры и размеров, обладает удивительным свойством взаимодействовать с тахионом сразу всеми своими точками/.

Взаимодействие тахиона с макроскопическим телом /т.е. фиксированным наблюдателем факт непрозрачности этого тела/ оказывается зависящим не только от свойств тела и свойств тахиона, но и от параметров источника тахиона, т.е. фактически - от истории явления.

В кинематическом соотношении, запрещающем акаузальные эффекты, скорости взаимодействующих между собой тела и тахиона отсчитываются не по отношению к наблюдателю /не в произвольной системе координат/, а относительно источника тахионов, о котором наблюдатель, возможно, ничего не знает; поэтому может случиться так, что из двух совершенно неразличимых между собой пучков тахионов один будет взаимодействовать с выбранным макроскопическим телом, а второй, испущенный, в отличие от первого, иначе движущимся источником, пройдет без взаимодействия. Для наблюдателя это будет, по существу, беспричинным явлением.

С методологической точки зрения совершенно неудовлетворительным представляется уже само предположение о существовании материальных объектов, пересекающихся в пространстве и в то же время принципиально не взаимодействующих между собой.

Замечательный результат, полученный Реками с сотрудниками, фактически представляет собой доказательство того, что в макроскопических областях пространства и времени не может быть никаких сверхсветовых процессов, так как иначе нарушается принцип причинности, а энергия и импульс взаимодействующих тел не сохраняются. После открытия принципа реинтерпретации это, пожалуй, - наиболее важный результат в теории тахионов.

Некоторые авторы высказывают предположение, что трудности с макроскопической причинностью сверхсветовых взаимодействий удастся устранить переходом к теории, в которой скорость света c , используемая в формулах известной нам теории относительности, заменится на какую-то большую скорость $C^{1/8}$. С этой точки зрения акаузальные сверхсветовые эффекты являются лишь временными, кажущимися, подобно фиктивным акаузальным эффектам, которые появились бы, например, в сверхзвуковой гидродинамике, если бы на каком-то этапе развития науки скорость звука была самой большой известной нам скоростью передачи сигналов. Нельзя, однако, забывать о том, что константа c входит в соотношение теории относительности $E=mc^2$ и другие /именно как универсальная максимальная скорость, а не как просто скорость какого-то конкретного физического процесса. В этом - принципиальное отличие фундаментальной постоянной от всех других скоростей.

Еще одна попытка устранить трудности с причинностью в тахионных процессах основана на предположении о существовании некоторой принципиально выделенной системы координат, скоростью которой относительно наблюдателя играет роль "мирового вектора". С помощью этого вектора можно построить выражения для вероятностей взаимодействия частиц, релятивистски инвариантные по форме и обращающиеся в нуль для акаузальных процессов. Такая возможность обсуждалась Д.И.Блохинцевым и Г.И.Колеровым при анализе условий причинности в теориях поля с квантованным пространством-временем и с нелокальным /микроскопически сверхсветовым/ взаимодействием ^{10-11/}. В работах В.П.Перепелицы эта идея используется в применении к макроскопическим тахионным процессам ^{12,13/}, причем в качестве выделенной рассматривается система отсчета /в каждой точке своя/, в которой изотропно реликтовое тепловое излучение.

Понятно, что гипотеза о принципиально выделенной системе координат означает отказ от принципа релятивистской инвариантности явлений природы. Достаточных оснований для этого в настоящее время нет. Пока это - чисто логическая возможность, особенно если учесть, что Вселенная может представлять собой сложную систему "параллельно существующих" и "вложенных друг в друга", замкнутых и полужамкнутых миров, в каждом из которых можно выбрать свою собственную выделенную систему координат ^{14,15/}.

Один из основных выводов, вытекающих из теоретического изучения гипотезы существования тахионов /а этому посвящено уже несколько сотен статей в физических и философских журналах/, состоит в необходимости более широкого понимания причинности. Если мы допускаем существование в природе скоростей

сигналов, больших скорости света, то должны также допустить наличие процессов с нефиксированным, инвариантным направлением процесса развития, когда явление может выступать и как причина и как следствие в зависимости от конкретной экспериментальной ситуации. Об определенном следовании событий во времени и "запаздывающей причинности" в этом случае можно говорить лишь в какой-то фиксированной системе отсчета. Эти характеристики физического процесса приобретают такой же относительный, релятивистский смысл, как и размеры пространственной области реализации процесса и его длительность.

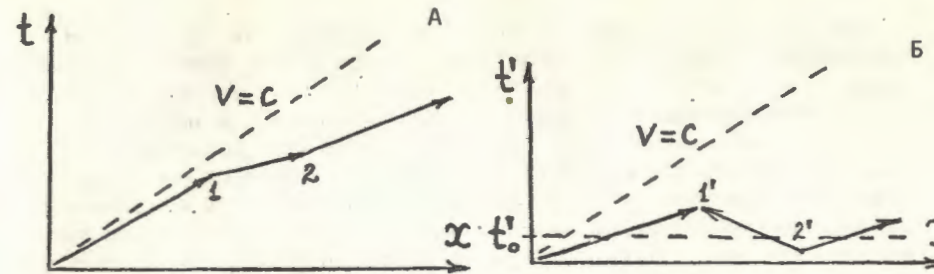
Существенно, что причинность сохраняет при этом основной присущий ей признак - объективную информационную связь событий, их взаимное влияние, воздействие одного на другое.

Условия, обеспечивающие такую причинность, реализуются в ультрамалых масштабах $\Delta x \leq 10^{-17}$ см, $\Delta t \leq 10^{-27}$ с, где временной порядок событий становится неоднозначным и утрачивает смысл противопоставления прошлого и будущего.

В настоящее время нет никаких методологических или "чисто физических" запретов участию тахионов в процессах, протекающих на уровне таких масштабов. Однако остается неясным, каким образом в современной теории можно установить "автоматический запрет" появлению тахионов в области больших пространственно-временных интервалов, если только не предполагать, что тахионы - исключительно короткоживущие частицы с собственным временем жизни $\tau_0 \leq 10^{-27}$ с. В отличие от обычных, досветовых частиц, время жизни которых неограниченно возрастает при увеличении их энергии, наблюдаемое время жизни тахионов уменьшается с ростом энергии и велико лишь вблизи светового барьера, достижению которого, как и в случае досветовых частиц, препятствует резкое увеличение массы тахионов*.

Следует вместе с тем заметить, что даже при условии строгой локализации сверхсветовых эффектов в очень малых областях пространства-времени гипотеза о существовании тахионов предсказывает явления, которые хотя и нельзя считать физически бессмысленными, но, тем не менее, с точки зрения общепринятых представлений они выглядят весьма удивительными. Например, число участвующих в процессе тахионов оказывается неопределен-

* Наблюдаемое время жизни и масса тахиона $\tau = \tau_0 \gamma$, $m = m_0 \gamma$, где релятивистский фактор $\gamma = (v^2/c^2 - 1)^{-1/2} \approx c/v \rightarrow 0$, если скорость тахиона v намного превосходит скорость света c . Для досветовых частиц $\gamma = (1 - v^2/c^2)^{-1/2}$. По мере приближения к световому барьеру акаузальные взаимодействия тахионов становятся все более похожими на взаимодействия, передаваемые со скоростью света, и их очень трудно отличить.



Зависимость числа частиц от системы отсчета. В системе координат А движущийся во внешнем поле /или под действием других частиц/ тахион изменяет направление своего движения в точках 1 и 2. В системе координат Б, движущейся относительно системы А /с обычной, досветовой скоростью/, момент времени $t'_2 < t'_1$, и весь процесс выглядит как рождение пары тахион + антитахион в точке 2', последующая аннигиляция одного из компонентов этой пары в точке 1' и движение второго компонента. В момент t'_0 в системе отсчета Б будут наблюдаться сразу три сверхсветовых частицы.

ным, и изменяется в зависимости от выбора системы координат. Это видно, в частности, из рисунка, где одно и то же явление с точки зрения неподвижного наблюдателя А представляет собой движение единственной сверхсветовой частицы, а с точки зрения движущегося наблюдателя Б - взаимодействие сразу трех различных частиц /16/.

Скорость движения системы координат Б может быть выбрана такой, что не только кинетическая, но и полная энергия тахиона обратится в нуль. При этом сожмется в точку интервал времени t , в течение которого данный тахион существует /наблюдается/ в системе Б. Если в системе А тахион можно наблюдать в любой момент времени ($\Delta t \rightarrow \infty$), то в движущейся системе координат этот тахион существует только в один единственный момент времени t , а в остальное время его нельзя обнаружить ни в одной точке пространства.

Может случиться так, что находящийся в абсолютно пустом пространстве наблюдатель, начав двигаться, обнаружит, что пространство вокруг него вдруг оказывается заполненным большим числом тахионов.

Нельзя не признать, что это - значительно более удивительное явление, чем "простое" релятивистское сжатие и растяжение пространственно-временных интервалов, с которым мы встречаемся в физике досветовых частиц.

Вместе с тем не следует упускать из виду, что в основе всех обсуждений проблемы тахионов в настоящее время лежит предположение о том, что характеристики сверхсветовых частиц преобразуются при переходе от одной системы координат к другой по законам, аналогичным тем, что справедливы для досветовых частиц. Теория относительности для тахионов строится на основе известных нам формул Лоренца. В этом состоит суть современной реализации гипотезы тахионов. Очевидно, что это - только одна из возможностей, поскольку уже в досветовой области преобразования, связывающие движущиеся системы координат, имеют совершенно различный вид для быстрых, релятивистских и для очень медленных, низкоэнергетических частиц: к последним применимы соотношения Галилея, а для быстрых частиц необходимо обязательно использовать формулы Лоренца. Вообще говоря, нельзя исключить того, что за световым барьером пространственно-временные соотношения приобретут какой-то иной вид /вспомним, например, какие сложные трансмутации претерпевают координаты x и t в другом предельном случае - при переходе через сферу Шварцшильда, внутри "черной дыры"/. Дальнейшее развитие здесь зависит от эксперимента.

В последние годы как в нашей стране, так и за рубежом выполнено несколько новых опытов по поиску сверхсветовых явлений /см., например, работу^{17/}, где можно найти дальнейшую библиографию/. К сожалению, все эти эксперименты оказались пока безрезультатными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барашенков В.С. Тахионы. УФН, 1974, т.114, с.133.
2. Recami E., Mignani R. Classical Theory of Tachyons. Revista del Nuovo Cimento, 1974, v.4, p.209.
3. Барашенков В.С. О возможности элементарных процессов со сверхсветовыми скоростями. "Вопросы философии", 1976, №5, с.90.
4. Pavšic M., Recami E., Ziino C. Recovering Causality for Tachyons even in Macrophysics. Lettere al Nuovo Cimento, 1976, v.17, p.257.
5. Pavšic M., Recami E. How to Recover Causality for Tachyons even in Macrophysics. Nuovo Cimento, 1976, v.36A, p.171.
6. Pavšic M., Recami E. Again about Causality for Tachyons in Macrophysics. Lett. al Nuovo Cim., 1977, v.18, p.134.
7. Recami E. Absorption of Tachyons in Extended Relativity. Lettere al Nuovo Cimento, 1978, v.21, p.208.

8. Молчанов Ю.Б. Принцип причинности и гипотезы сверхсветовых частиц. "Вопросы философии", 1976, №5, с.100.
9. Blokhintsev D.I., Kolerov G.I. Acausality and Dispersion Relations. Nuovo Cimento, 1964, v.34, p.163.
10. Blokhintsev D.I., Kolerov G.I. Conditions of Macroscopic Consistency for the Scattering Matrix. Nuovo Cim., 1966, v.44, p.974.
11. Блохинцев Д.И. Пространство и время в микромире. Атомиздат, М., 1970, §39.
12. Перепелица В.П. Поиск тахионов в e^+e^- -аннигиляции. Препринт ИТЭФ, М., 1976, №156.
13. Перепелица В.П. Поиск заряженных тахионов /англ./. Препринт ИТЭФ, М., 1978, №121.
14. Марков М.А. О природе материи. "Наука", М., 1976, с.141-171.
15. Барашенков В.С. Проблемы субмикроскопического пространства и времени. Атомиздат, М., 1979, §24.
16. Väsanò L. Extended Lorentz Transformations and Macroscopic Processes. Lettere al Nuovo Cimento, 1976, v.16, p.562.
17. Перепелица В.П. Поиск рождения заряженных тахионов протонами с импульсами 2,2 и 9,7 ГэВ/с. Препринт ИТЭФ, М., 1979, №104.

Рукопись поступила в издательский отдел
26 декабря 1979 года.