

Классическое Объяснение Эффекта Саньяка
Виталий Соколов, Вальтер Бабин, Геннадий Соколов
gennadiy@vtmedicalstaffing.com

Во второй части нашей статьи [1] показано, что относительно вращающегося стеклянного диска лучи 1 и 2 идут по криволинейным траекториям и траектория луча 1, идущего из точки А в точку В в направлении вращения, проходит ближе к оси вращения и оказывается несколько длиннее, чем траектория луча 2, идущего во встречном направлении (Рис.1).

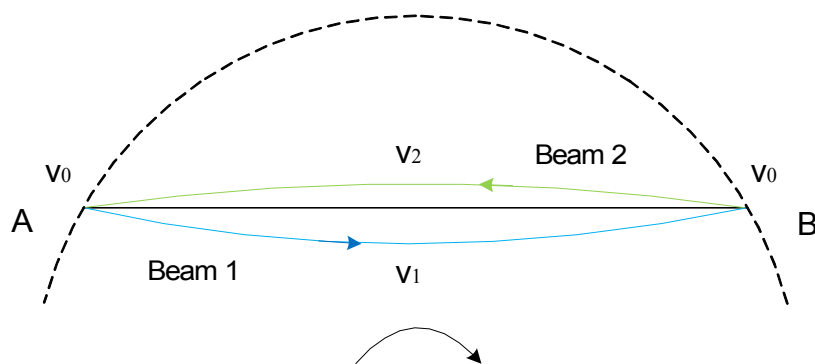


Рис.1.

Ниже показано, что встречные лучи 1 и 2 идут не с одинаковой начальной частотой ν_0 , а в процессе переизлучений атомами вращающегося стекла непрерывно изменяют свои частоты и идут с переменными частотами, меньшими чем ν_0 :

луч 1 на пути от точки А до средней точки траектории плавно уменьшает частоту от ν_0 до некоторого значения ν_1 , а затем снова увеличивает её до ν_0 ,

луч 2 на пути от точки В до средней точки траектории также плавно уменьшает частоту от ν_0 до некоторого значения ν_2 , а затем снова увеличивает её до ν_0 , но частота ν_2 оказывается больше, чем частота ν_1 .

Из-за того, что луч 1 идёт с более низкой средней частотой, чем луч 2, в интерферометре возникает такое же смещение полос, как в случае, если бы луч 1 шёл из точки А в точку В дольше, чем луч 2 из В в А.

Каждая точка вращающегося тела движется с некоторой линейной скоростью **относительно инерциальной системы**. Очевидно, что любые точки твёрдого тела движутся с одинаковой по величине и направлению скоростью в направлении линии, соединяющей эти точки.

Однако **в направлении, перпендикулярном этой линии, точки движутся с разными по величине скоростями**, то есть все точки вращающегося тела находятся в относительном движении. Разница в скоростях движения двух любых точек тем больше, чем больше разность расстояний от этих точек до оси вращения.

С одинаковыми по величине скоростями в этом направлении движутся только точки, находящиеся на одинаковом расстоянии от оси вращения.

Так как каждая точка движется относительно другой, фотоны, излученные в какой-то точке среды, встречаются с другой точкой среды со скоростью, отличной от скорости света C . Из-за изменения скорости встречи с переизлучающими атомами возникает эффект Доплера и фотоны изменяют свою частоту.

На Рис.2 показано, как изменяется скорость встречи фотонов с атомами среды, если фотоны движутся в направлении оси вращения и переизлучаются в точках, находящихся на разных расстояниях от оси.

Фотоны, излученные в точке 1, движутся во всех направлениях относительно этой точки со скоростью C . Так как точка 1 относительно инерциальной системы (лаборатории) движется со скоростью V_1 , фотоны движутся со скоростями, равными векторной сумме скорости C и скорости V_1 (окружность $C+V$).

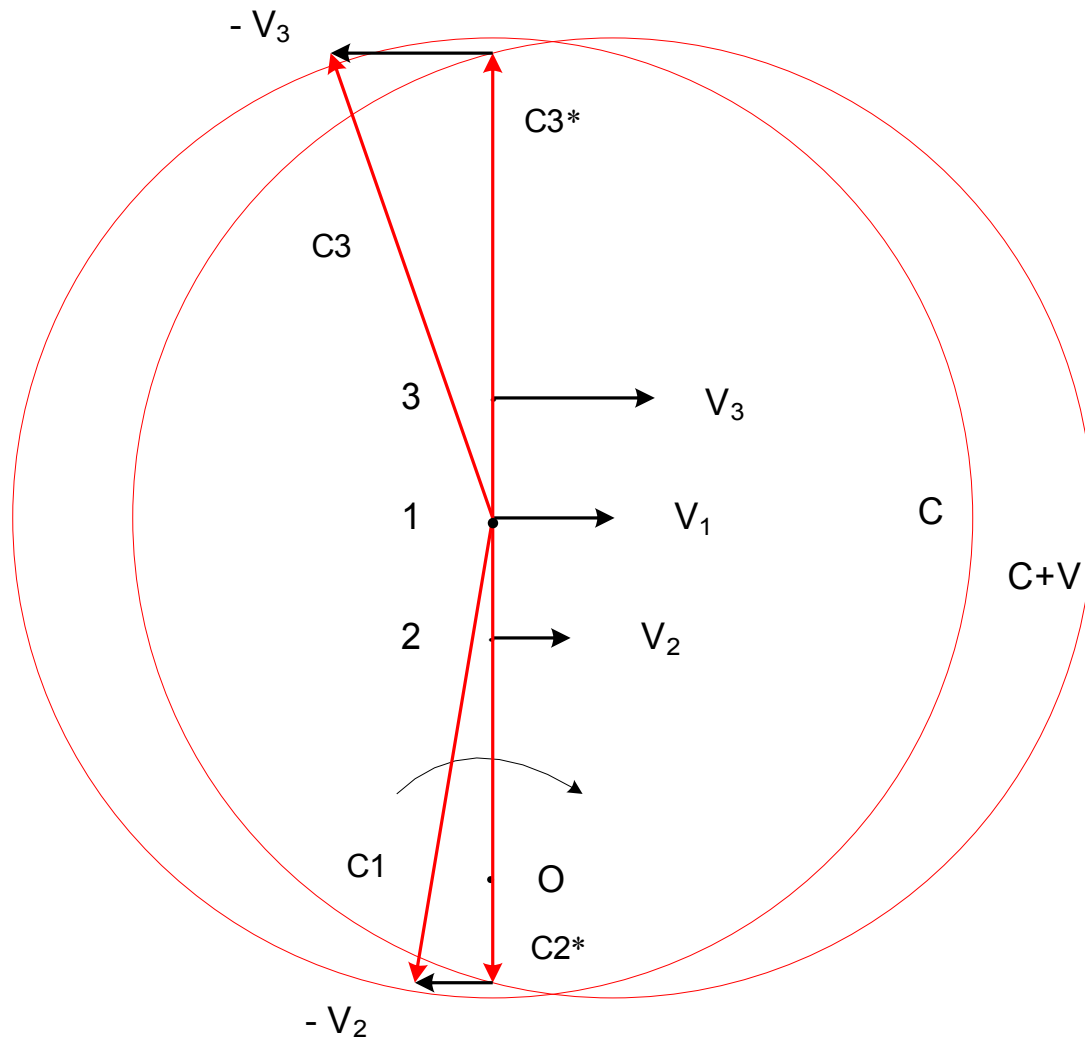


Рис.2

Предположим, что первый раз фотоны переизлучаются в точках 2 и 3. В направлении точки 2 фотоны движутся со скоростью $C2^*$. В точке 2 они встречаются с переизлучающими атомами со скоростью $C1$, равной векторной разности скорости $C2^*$ и скорости V_2 , с которой движется точка 2. Так как V_2 меньше, чем V_1 , скорость $C1$ оказывается меньше, чем C , и фотон при переизлучении уменьшает частоту.

В направлении к точке 3 фотоны движутся со скоростью $C3^* = C2^*$, но так как скорость V_3 больше, чем V_1 , с точкой 3 они встречаются со скоростью $C3$, большей, чем C , и частота переизлученного фотона увеличивается.

На Рис.3 показано, как изменяется скорость встречи фотонов с атомами среды, если фотоны движутся под углом к оси вращения. Скорости C и V_1 в условном масштабе выбраны равными 4.0 и 1.0. Фотоны, излученные в точке 1, в точках 2, 3, 4 встречаются с атомами со скоростями $C2 = 3.946$, $C3 = 4.061$, $C4 = 4.0$.

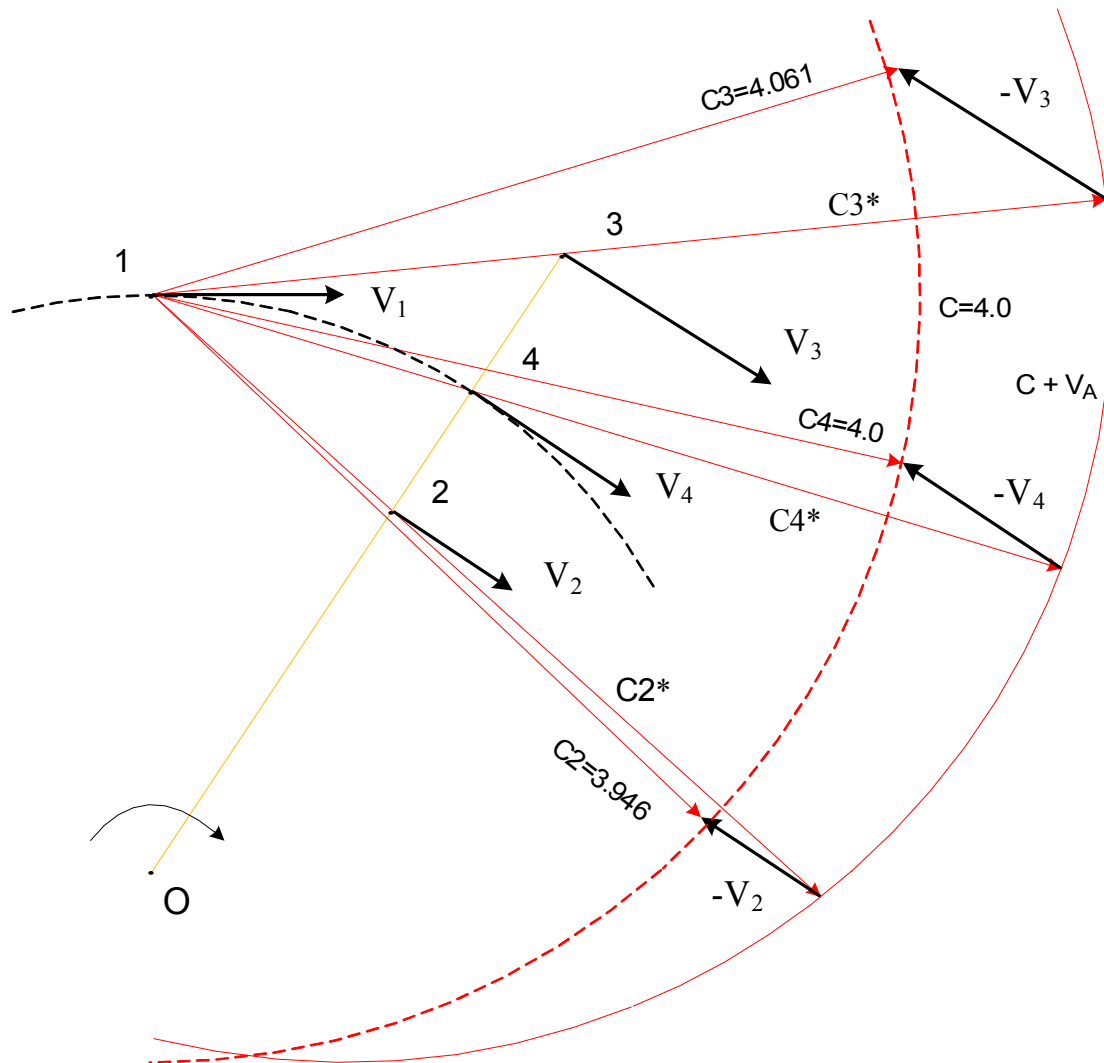


Рис.3.

Так как C_2 меньше, чем C , а C_3 больше, чем C , при переизлучении фотонов в точке 2 частота уменьшается, а в точке 3 увеличивается. В точке 4, расположенной на том же расстоянии от оси вращения, что и точка 1, скорость C_4 равна скорости C и поэтому в этой точке частота фотонов не изменяется.

На Рис.4 скорости встречи фотонов с переизлучающими атомами определены для точек, лежащих ниже линии АВ, и на Рис.5 – для точек, лежащих выше АВ.

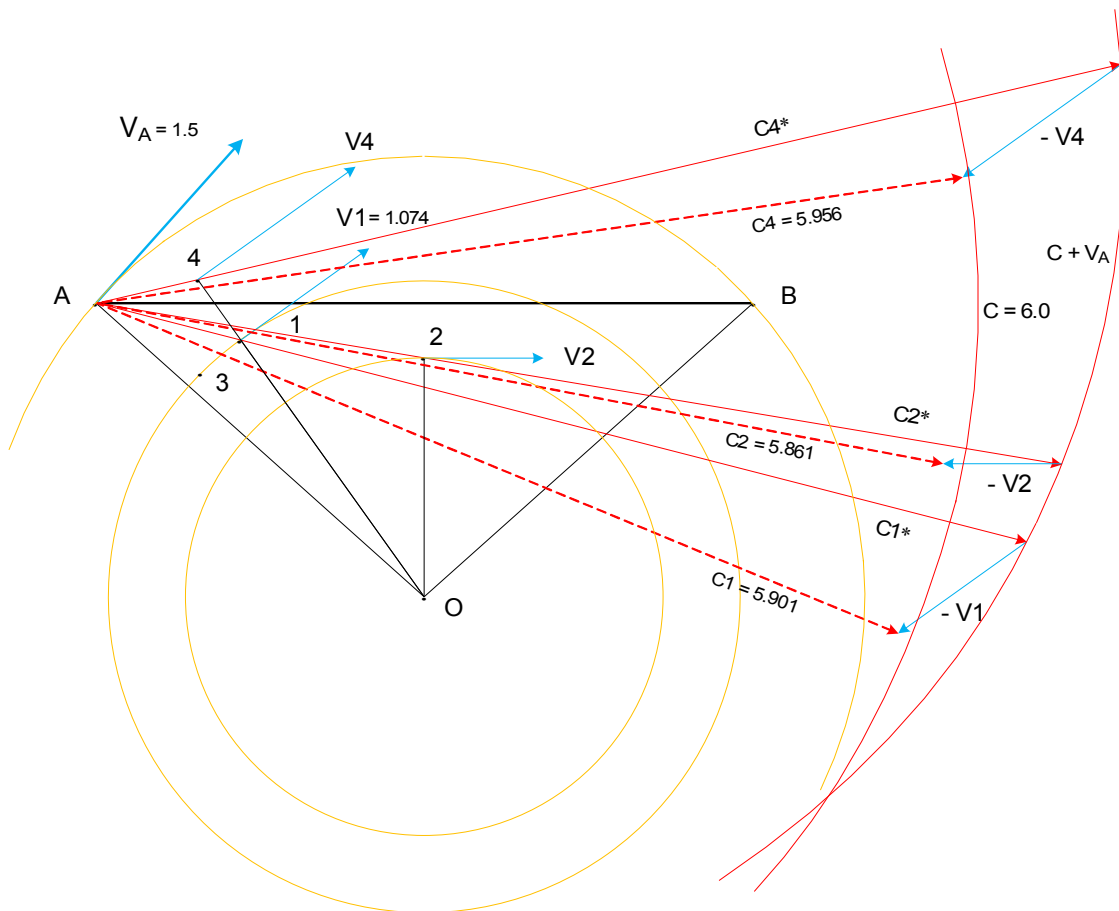


Рис.4.

Фотоны **луча 1** выходят из точки А вращающегося стеклянного диска, движущейся в момент излучения со скоростью V_A (Рис.4). До первого переизлучения атомами стекла фотоны во всех направлениях движутся **относительно точки А** с одинаковой начальной скоростью C . **Относительно инерциальной системы** их скорости равны векторной сумме скорости C и скорости V_A . В направлении точек 1 и 2 фотоны движутся со скоростями C_1^* , C_2^* и с переизлучающими атомами встречаются со скоростями $C_1 = 5.901$ и $C_2 = 5.861$. В точке 3 скорость $C_3 = 5.901$, то есть такая же, как в точке 1. В точке 4, лежащей выше линии АВ, частота фотонов также уменьшается, но это уменьшение меньше, чем в точках 1 и 2, так как $C_4 = 5.956$ больше, чем C_1 и C_2 .

Фотоны луча 2 выходят из точки B вращающегося стеклянного диска, движущейся в момент излучения со скоростью V_B (Рис.5). До первого переизлучения атомами стекла фотоны во всех направлениях движутся относительно точки B с одинаковой начальной скоростью C . Относительно инерциальной системы их скорости равны векторной сумме скорости C и скорости V_B . В направлении точки 6 фотоны движутся со скоростью $C6^*$ и с атомами стекла встречаются со скоростью $C6 = 5.918$. В направлении точки 4 фотоны движутся со скоростью $C4^{**}$ и встречаются с атомами со скоростью $C4 = 5.956$, то есть векторная разность скоростей $C4^{**}$ и $V4$ даёт такое же значение скорости $C4 = 5.956$, как и в предыдущем случае, где скорость $C4$ определяется, как разность скоростей $C4^*$ и $V4$. В точке 5 скорость такая же, как в точке 4.

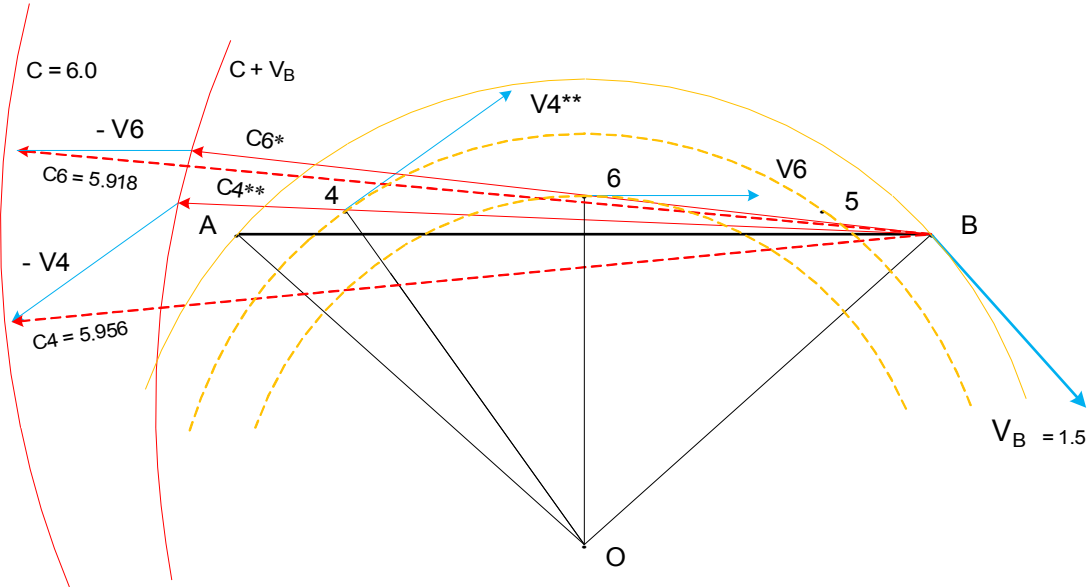


Рис.5.

Скорости $C4$, $C5$, $C6$ больше, чем скорости $C1$, $C2$, $C3$, то есть в точках 4, 5, 6, лежащих выше линии АВ, частота снижается меньше, чем в точках 1, 2, 3, лежащих ниже линии АВ.

Фотоны луча 1 идут из точки А в точку В по дуге, все точки которой расположены ниже линии АВ (Рис.1). Их частота уменьшается от начального значения ν_0 до некоторого значения ν_1 , а затем увеличивается до ν_0 , то есть фотоны луча 1 из А в В идут с пониженной частотой.

Фотоны луча 2 идут из точки В в точку А по дуге, все точки которой расположены выше линии АВ. Их частота уменьшается от ν_0 до некоторого значения ν_2 , а затем увеличивается до ν_0 , то есть фотоны луча 2 идут тоже с пониженной частотой, но так как частота ν_1 меньше, чем ν_2 , фотоны луча 1 идут с меньшей средней частотой, чем фотоны луча 2.

В обычном двухлучевом интерферометре смещение полос равно нулю, если фотоны приходят к экрану одновременно.

Если, например, в одном из лучей двухлучевого интерферометра уменьшить показатель преломления, скорость движения фотонов увеличивается и фотоны этого луча приходят к экрану раньше, чем фотоны второго луча. Если в одном из лучей уменьшить расстояние, проходимое фотонами (как это происходит в интерферометре Майкельсона), фотоны также приходят к экрану раньше. В обоих случаях имеет место опережение во времени: фотоны одного луча приходят к экрану раньше, чем фотоны второго луча, и полосы смещаются. Однако в обоих случаях фотоны приходят к экрану в одинаковой фазе.

Если по какой-то причине фаза фотонов одного из лучей изменяется медленнее, чем фаза фотонов второго луча, за время движения фотонов накапливается разность фаз. Фотоны обоих лучей идут с одинаковой скоростью и к экрану приходят одновременно, но из-за разности фаз фотонов в интерферометре возникает такое же смещение, как в случае, если фотоны первого луча приходят в той же фазе, но позже, чем фотоны второго луча. Запаздывание по фазе даёт такое же смещение, как запаздывание во времени.

Фазы фотонов изменяются с разной скоростью, если фотоны лучей 1 и 2 некоторые расстояния в интерферометре проходят с разными частотами, как это происходит в интерферометрах Саньяка и Физо. В интерферометре Саньяка лучи входят с одинаковой частотой ν_0 и интерферируют с такой же частотой ν_0 , но из-за эффекта Доплера расстояния в интерферометре они проходят с разными частотами. В интерферометре Физо частоты изменяются, когда фотоны входят в движущуюся воду, и затем снова становятся одинаковыми, когда фотоны выходят из воды.

Заключение

Принято считать, что эффект Саньяка возникает из-за того, что лучи идут относительно вращающегося интерферометра с разной скоростью и поэтому обходят контур за разное время.

На самом деле относительно среды (воздуха или стекла), вращающейся вместе с интерферометром, фотоны движутся с одинаковой скоростью C/n . Из-за того, что относительно инерциальной системы фотоны движутся прямолинейно, их траектории относительно интерферометра оказываются криволинейными. Так как траектория луча 2, идущего навстречу вращению интерферометра, оказывается несколько короче траектории луча 1, идущего в направлении вращения, луч 2 действительно обходит контур быстрее, чем луч 1. Однако, как мы полагаем, это опережение оказывается несущественным и лишь частично определяет величину смещения полос в интерферометре.

Основное смещение в интерферометре Саньяка возникает потому, что лучи идут в интерферометре с разными частотами и фазы фотонов изменяются с разной скоростью. Луч 1 обходит контур со средней частотой, меньшей чем средняя частота луча 2 и поэтому фотоны луча 1 отстают по фазе от фотонов луча 2. Хотя лучи обходят контур почти за одинаковое время, из-за фазового сдвига интерференционные полосы смещаются так же, как в случае, если луч 2 обходит контур быстрее, чем луч 1.