

ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ РАЗНЫХ ЧАСТОТ ПРИ ТОРМОЗНОМ ИЗЛУЧЕНИИ

Я. Б. Зельдович

Рассмотрим в классической электродинамике излучение, возникающее при однократном отклонении заряда, который движется прямолинейно до и после отклонения (рис. I).

Заряд испытывает импульс ускорения, зависимость которого от времени близка к дельта функции. В соответствии с формулами Лиенар-Вихерта электрическое поле \vec{E} возникающего электромагнитного излучения пропорционально ускорению. Следовательно, в далекой точке $\vec{E}(t)$ имеет вид, показанный в середине рис. I. \vec{E} направлено вниз (на рис. I изображен движущийся отрицательный заряд), зависимость $E(t)$ также похожа на $\tau^{-1} \delta(t - t_0 - z/c)$, где t_0 - момент отклонения излучающей частицы. Цель данной заметки - обратить внимание на то, что в волне \vec{E} не меняет знак, \vec{E} или равно нулю или направлено вниз, т.е. нет "колебаний" в собственном смысле слова.

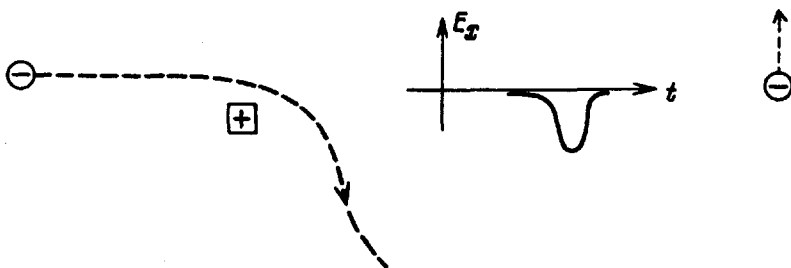


Рис. I

Такой импульс, естественно, можно разложить в интеграл Фурье, т.е. представить как суперпозицию синусоидальных, знакопеременных электромагнитных волн разной частоты. Однако, если задать только спектральную плотность (квадрат модуля амплитуды) разложения как функцию $I(\omega)$, то будет утеряно именно то, что дает своеобразную форму импульса (отсутствие знакопеременности поля). Форма импульса существенно зависит от фазовых соотношений между волнами (фу-

рье - компонентами) различной частоты. Именно в этом смысле можно говорить об эффекте, связанном с интерференцией волн разной частоты.

При действии волны на свободный отрицательный заряд (электрон) снова в классической электродинамике электрон приобретает скорость, направленную вверх, поскольку действующая на него сила направлена вверх и не меняет знак. Приобретенная им скорость пропорциональна τ^{-1} , а энергия τ^{-2} , в соответствии с тем, что поток излученной энергии убывает, как τ^{-2} .

Таким образом, в классической теории должна быть корреляция между направлением отклонения излучающей частицы и направлением вылета частицы, на которую воздействует излучение. Эта корреляция не совпадает с той, которая следует из поперечности электромагнитных волн и описывается поляризацией волны. В самом деле, с учетом поляризации коррелированы плоскости отклонения излучающей частицы и частицы-детектора, но в данной плоскости верх и низ (см. рис. I) равноценны.

Легко убедиться, что при фотоэффекте в детекторе различия верх-низ не будет: S - электрон перебрасывается излучением в P -волну сплошного спектра, $|\Psi|^2$ в P -волне симметрично относительно замены x на $-x$.

По-видимому, корреляция может наблюдаться только в комптон-эффекте, было бы интересно выяснить вопрос и на опыте, и теоретически. Последнее оказывается труднее, чем можно было предполагать, поскольку нужна техника учета интерференции разных частот, а может быть - как в эффекте Капицы - Дирака [1] - также и индуцированного излучения.

Аналогичная симметрия поля существует и при излучении релятивистского электрона в магнитном поле. Как известно [2], в этом случае излучение, фиксируемое детектором, происходит преимущественно при движении электрона в сторону детектора. Поле $E(t)$ таково, что $\int E dt = 0$ (асимптотически при $v \rightarrow c$), но главный максимум $|E|$ имеет определенное направление.

Измерение плоскости поляризации излучения дает направление магнитного поля \mathbf{H} лишь с точностью до знака; если бы удалось измерить $E(t)$, то можно было бы определить полностью направление \mathbf{H} , зная заряд излучающей частицы.

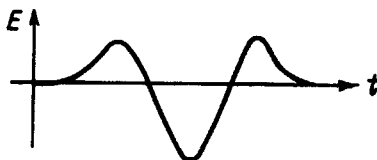


Рис. 2

Наконец, отметим, что, поскольку вышеописанные эффекты зависят от интерференции разных частот, то необходимо, чтобы свет распространялся в вакууме (для того, чтобы фазовые соотношения не менялись по мере распространения).

Наличие среды с дисперсией нарушает эти соотношения и искажает форму сигнала.

Искажение происходит при таком количестве вещества (в простейшем примере свободных электронов), которое не вызывает заметного поглощения и рассеяния света. Другими словами, фазовые соотношения гораздо чувствительнее, чем спектральная плотность.

Выяснение возможности наблюдения эффектов, связанных с фазовыми соотношениями интерферирующих лучей разной частоты, представляет собой весьма интересную задачу.

Благодарю за дискуссии Л.Питаевского, С.Капицу и Б.Мееровича.

Поступило в редакцию

4 июня 1966 г.

Литература

[1] P.L.Kapitza, P.A.M.Dirac, Proc.Camb. Phil. Society, 29, 297, 1933;

В.С.Летохов. Успехи физ.наук, 88, 396, 1966.

[2] В.Л. Гинзбург, С.И.Сыроватский. Происхождение космических лучей, гл.П, М., 1963.