

ИНДУЦИРОВАННОЕ СИНХРОТРОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ В КУСОЧНО-ОДНОРОДНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

А.А.Кураев, В.А.Степухович, В.А.Журавовский

Вынужденное синхронное излучение электронов в полых системах, погруженных в однородное магнитное поле, изучалось в работах [1, 2] и др. В настоящей работе рассматривается случай неоднородного магнитного поля. Теоретически обосновывается возможность почти полной трансформации энергии вращательного движения электронов в энергию излучения, т. е. случая, когда коэффициент преобразования $G_{\text{опт}} = \left(\frac{P_{\text{изл}}}{P_{e\perp \text{ опт}}} \right)$ приближается к единице.

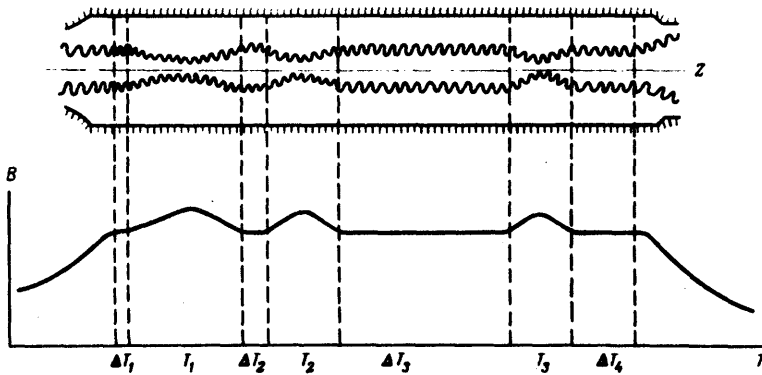


Рис. 1

На рис. 1 схематически показана аксиально-симметричная модель объемно-ограниченной системы с трубчатым потоком вращающихся электронов-осцилляторов. Неоднородное магнитное поле разделяет весь объем на качественно различающиеся участки. На участках $\Delta T_1, \Delta T_2, \Delta T_3, \Delta T_4$ магнитное поле однородно и его индукция B_z имеет синхронное значение B_s , при котором гироманнитная частота электронов $(e/m)B_s$ близка к частоте внешнего поля (условия синхронизма). На этих участках происходит кумулятивное (резонансное) взаимодействие электронных осцилляторов с излученным полем (активные участки). На участках T_1, T_2, T_3 взаимодействие прерывается, поскольку электронные осцилляторы выводятся из синхронизма за счет изменения гироманнитной частоты.

К короткому активному участку ΔT_1 прихллит однородный поток электронов-осцилляторов, испытывающий на нем кратковременное синхронное воздействие поперечного электрического поля с амплитудой E_{\perp} . В результате оказывается промодулированной поперечная скорость электронов. В неоднородном магнитном поле на участке T_1 за счет сохранения поперечного адиабатического инварианта $I = 3p_{\perp}^2 / 2eB$ и полного импульса электрона $p = (p_{\perp}^2 + p_{\parallel}^2)^{1/2}$ в соответствии с изменением B происходит изменение p_{\parallel} и p_{\perp} . Таким образом, модуляция поперечной скорости трансформируется в модуляцию продольной (относительно силовой линии B) скорости v_{\parallel} . В результате фазовая группировка в области неоднородности определяется разностным эффектом продольной (пространственной) группировки и поперечной релятивистской, причем продольная группировка оказывается более эффективной. Качество индуцированной полем на участке ΔT_1 группировки улучшается за счет введения второго (также короткого) модулирующего участка ΔT_2 и последующего за ним участка группирования T_2 . В результате на входе активного участка ΔT_3 электронный поток представляет собой близкую к δ -образной периодическую последовательность сгустков сфазированных электронных осцилляторов. На протяженном активном участке ΔT_3 происходит их интенсивное когерентное излучение до того момента, когда в результате перегруппировки электроны-осцилляторы начинают поглощать энергию поля; с этого момента электроны входят в область неоднородного поля T_3 и взаимодействие прерывается. После перегруппировки на участке T_3 и образования благоприятного фазового распределения электронных осцилляторов с остаточной энергией поток вновь вступает во взаимодействие с полем на последнем активном участке ΔT_4 , длина которого выбирается по условию оптимальности коэффициента преобразования G .

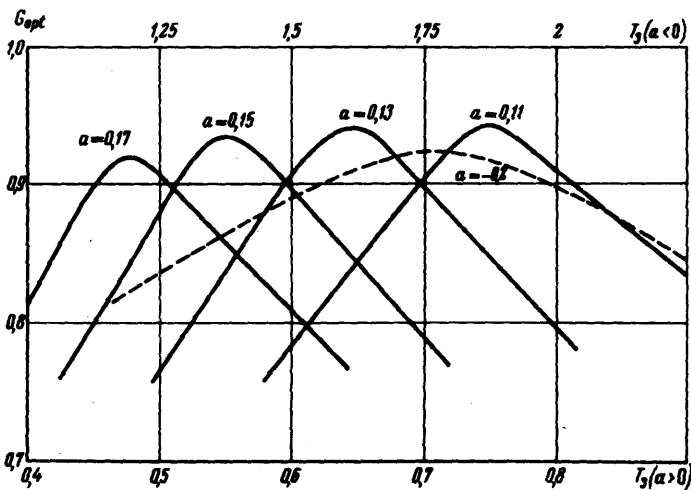


Рис. 2

Анализ описанной модели проводился путем численного решения на ЦМ нелинейных уравнений слабoreлятивистского движения заряженных осцилляторов в кусочно-однородном магнитном поле типа рис.1. Все параметры задачи подбирались на оптимум G . Форма неоднородности магнитного поля, разделяющего активные участки, задавались в виде

$$\phi(T) = \frac{B(T)}{B_s} - 1 = \alpha \sin^2\left(\frac{\pi T}{T_1}\right), \quad T = \frac{e}{m_0} E_{\perp} \frac{1}{v_{\perp 0}} \frac{z}{v_{\parallel 0}},$$

$v_{\perp 0}$, $v_{\parallel 0}$ — значения поперечной и продольной скорости электрона в начале участка ΔT_1 .

Результаты расчетов представлены на рис. 2 в виде графиков зависимости $G(T_3)$ при оптимизированных прочих параметрах (E_{\perp} , ΔT_1 , ΔT_2 , ΔT_3 , ΔT_4 , T_1 , T_2 и т. д.). Как при $\alpha > 0$, так и при $\alpha < 0$ (понижение индукции поля) в оптимальных вариантах $G_{\text{опт}} \rightarrow 1$. Этот вывод, с одной стороны, количественно обосновывает возможность когерентной синхротронной радиации в природных условиях [3] и, с другой стороны, представляет интерес для практического использования (генерация микрорадиоволн с высоким КПД).

Поступила в редакцию
16 марта 1970 г.

Литература

- [1] А.В.Гапонов, А.Л.Гольденберг, Д.П.Григорьев и др. Письма в ЖЭТФ, 2, 430, 1965.
- [2] В.П.Григорьев, А.П.Привезенцев. Изв. высш. уч. зав., сер. Физика, 11, 154, 1968.
- [3] J.L.Hirshfield, G.Bekefi. Nature, 198, 20, 1963.