

## К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ЭЛЕКТРОННОГО СИНХРОТРОНА В КАЧЕСТВЕ МАЗЕРА

А.А.Соколов, И.М.Тернов

За последнее время неоднократно обсуждался вопрос о получении вынужденного излучения при движении электронов в магнитном [1,2] или скрещенном (магнитном и электростатическом) полях [3]. Однако в этих работах рассматривается нерелятивистский или слаборелятивистский случай, когда должна излучаться основная гармоника, которая может быть использована для получения излучения с длиной волны порядка радиуса орбиты. Мы хотим показать, что в релятивистском случае при движении электрона лишь в магнитном поле возможно получить превазирование вынужденного излучения над поглощением в области определенного диапазона высоких гармоник, соответствующих некоторому резонансу.

Если падающая электромагнитная волна будет линейно поляризована (вектор электрической напряженности  $\vec{E}$  внешней электромагнитной волны частоты  $\omega$  лежит в плоскости орбиты) и будет распространяться перпендикулярно к постоянному магнитному полю  $\vec{H}$ , обуславливающему циклическое движение электрона, то для суммарной

мощности вынужденного излучения и поглощения гармоники  $\nu$  мы получаем следующую формулу [4]:

$$W_\nu = -\frac{4e^2 g^2 \tau}{m_0} \frac{m_0 c^2}{E} \nu \mathcal{J}'_\nu{}^2(\nu\beta) \left( \frac{1-\beta^2}{\beta} \frac{\mathcal{J}_\nu(\nu\beta)}{\mathcal{J}'_\nu(\nu\beta)} - \frac{3}{2\nu} \beta^2 \right), \quad (I)$$

где  $e$  - заряд электрона,  $\tau$  - среднее время жизни,  $E$  - энергия,  $m_0 c^2$  - энергия покоя,  $c\beta$  - скорость движения,  $\mathcal{J}_\nu$  - функция Бесселя порядка  $\nu$ .

Формула (I) получена при резонансе, когда

$$\omega = \nu \Omega = \nu \frac{eHc}{E}. \quad (2)$$

В случае

$$\frac{1-\beta^2}{\beta} \frac{\mathcal{J}_\nu(\nu\beta)}{\mathcal{J}'_\nu(\nu\beta)} > \frac{3}{2\nu} \beta^2 \quad (3)$$

мы будем иметь в итоге вынужденное поглощение ( $W_\nu < 0$ ), что имеет место, например, в нерелятивистском случае ( $\beta \ll 1$ ). Как показал Шнейдер [1], излучение в нерелятивистском приближении при движении в магнитном поле возможно только при нарушении резонанса.

В случае, когда

$$\frac{1-\beta^2}{\beta} \frac{\mathcal{J}_\nu(\nu\beta)}{\mathcal{J}'_\nu(\nu\beta)} < \frac{3}{2\nu} \beta^2, \quad (4)$$

мы будем иметь в сумме вынужденное излучение ( $W_\nu > 1$ ). Превалирование вынужденного излучения над поглощением возможно в ультрарелятивистском случае  $\beta \rightarrow 1$ , начиная с основной гармоники. Используя для этого случая известные асимптотические формулы для функции Бесселя и ее производной [5], найдем:

$$W_\nu = 1,013 \nu^{-4/3} \frac{e^2 g^2 \tau}{m_0} \frac{m_0 c^2}{E} (1 - 0,726 \nu^{4/3} \left( \frac{m_0 c^2}{E} \right)^2). \quad (5)$$

Отсюда видно, что вынужденное излучение будет превалировать над поглощением вплоть до гармоник

$$\nu < \sqrt{\nu_{\text{макс}}}, \quad (6)$$

причем гармоника

$$\nu_{\text{макс}} \sim \left( \frac{E}{m_0 c^2} \right)^3$$

дает максимум для интенсивности спонтанного излучения.

В частности, для ускорителя при  $E \sim 50$  Мэв усиление излучения возможно вплоть до гармоник  $\nu < \sqrt{\nu_{\max}} \sim 1000$ . При  $\nu > \sqrt{\nu_{\max}}$ , наоборот, энергия поглощения начнет превышать энергию испускания. Этот способ (случай поглощения) может быть использован также для ускорения релятивистских электронов в циклических ускорителях.

Физический факультет

Московского

государственного университета

им. М.В.Ломоносова

Поступило в редакцию

23 мая 1966 г.

#### Литература

- [1] J. Schneider. Phys.Rev.Lett., 2, 504, 1959.
- [2] А.В.Гапонов, А.Л.Гольденберг, Д.П.Григорьев, И.М.Орлова, Т.Б.Панкратова, М.И.Петелин. Письма ЖЭТФ, 2, 430, 1965.
- [3] А.А.Соколов, Ю.М.Павленко. Письма ЖЭТФ, 2, 449, 1965.
- [4] А.А.Соколов, И.М.Тернов. Докл. АН СССР, 166, 1332, 1966.
- [5] Г.Н.Ватсон. Теория бесселевых функций, Изд. иностр. лит., 1949, стр. 288.