

К КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ ИНДУЦИРОВАННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ  
ЭЛЕКТРОНОВ В СКРЕЩЕННЫХ ПОЛЯХ

А.А.Соколов, Ю.Г.Павленко

Шнейдер [1] при учете релятивистских поправок теоретически нашел, что при движении электрона в магнитном поле можно получить индуцированное излучение, т.е. построить мазер. Покажем, что, если к магнитному полю добавить электростатическое, изменяющееся по определенному закону, этот эффект усиливается и носит нерелятивистский характер.

Рассмотрим по квантовой теории вынужденное излучение нерелятивистского электрона в магнитном поле  $\vec{H}$  (постоянном, однородном и направленным по оси  $z$ ) и электростатическом поле с потенциальной энергией

$$V = -1/2 \alpha e_0^2 z^2, \quad (I)$$

где  $z^2 + x^2 + y^2$ ,  $e = -e_0$  - заряд электрона,  $\alpha$  - некоторый постоянный коэффициент, имеющий размерность  $\text{см}^{-3}$  ( $0 < \alpha < H^2/4m_e c^3$ ). Аналогичные поля использовались при теоретическом анализе магнетрона [2].

Из уравнения Шредингера следует, что спектр энергии должен быть дискретным и при отсутствии импульса вдоль поля ( $P_x = 0$ ) определяется выражением:

$$E_{nl} = 1/2 \hbar [\Omega l + \Omega_z (n+1)]. \quad (2)$$

Здесь частоты

$$\Omega = e_0 H / m_e c, \quad \Omega_z = \Omega \left(1 - \frac{4am_e c^2}{H^2}\right)^{1/2}, \quad (3)$$

а квантовые числа  $l = 0, 1, 2, 3, \dots$ ;  $b = -\infty, \dots, 0, 1, 2, \dots$ ,  $n = 2s + l$  мы назовем собственно радиальным, орбитальным и главным. Собственные же функции будут выражены через полиномы Лагерра.

Тогда при взаимодействии электрона с неполяризованной электромагнитной волной (частота  $\omega$ , напряженность электрического поля в электромагнитной волне  $E$ ), распространяющейся под углом  $\theta$  к оси  $z$ , в дипольном приближении могут индуцированно излучаться и поглощаться две частоты:

$$\omega_H = 1/2 (\Omega + \Omega_z), \quad \omega_E = 1/2 (\Omega - \Omega_z). \quad (4)$$

Вынужденное излучение может превалировать над поглощением лишь на частоте  $\omega_E$ . Соответствующая суммарная мощность излучения на один электрон равна:

$$\mathcal{P} = \frac{e_0^2 \omega_E^2 E^2}{4\pi m_e \Omega_z \omega} \frac{1 + \cos^2 \theta}{(\omega - \omega_E)^2 + 1/4\tau^2}, \quad (5)$$

где  $\tau$  - время жизни электрона в начальном состоянии. В противоположность случаю Шнейдера это вынужденное излучение достигает

максимума в области острого резонанса ( $\omega \sim \omega_e$ ).

Учитывая, что в магнитном поле напряженностью порядка  $10^3$  э уже построен мазер [3], включение дополнительного электростатического поля (I), достигающего при  $z = 1$  порядка  $10^4$  в, должен создать более интенсивный источник, излучающий электромагнитные волны длиной порядка десятка сантиметров.

Отметим, что в релятивистском (а в особенности в ультрарелятивистском) случае, как в теории "светящегося" электрона (см. [4]), можно использовать более высокие мультиполы, т.е. начать работать на более коротких волнах.

Физический факультет

Московского  
государственного университета  
им. М.В.Ломоносова

Поступило в редакцию  
16 сентября 1965 г.

#### Литература

- [1] J.Schneider. Phys.Rev.Lett., 2, 504, 1959.
- [2] П.Л.Капица. УФН, 78, 181, 1962.
- [3] J.L.Hirshfield, J.M. Wachtel. Phys.Rev.Lett., 12, 533, 1964.
- [4] А.А.Соколов, И.М.Тернов. ЖТФ, 25, 698, 1953.