

ОБ ИЗЛУЧЕНИИ ЗАРЯЖЕННОЙ ЧАСТИЦЫ, ДВИЖУЩЕЙСЯ
В ТЕЧЕНИЕ КОНЕЧНОГО ВРЕМЕНИ ПРИ НАЛИЧИИ
ПЛАВНОГО УСКОРЕНИЯ И ЗАМЕДЛЕНИЯ

И. И. Аббасов

УДК 535.3

Вычислено угловое и спектральное распределение излучения заряженной частицы, у которой скорость вначале плавно нарастает от нуля до конечного значения v , а затем плавно спадает до нуля. Полученная формула исследована при больших и малых частотах.

В работе И. Е. Тамма /1/ рассматривалось излучение заряженной частицы, движущейся в течение конечного времени. При этом предполагалось, что частица вначале покоится, затем скорость ее мгновенно принимает заданное значение v , и далее частица движется со скоростью v в течение заданного промежутка времени T , а затем мгновенно останавливается.

В настоящей заметке мы хотим рассматривать по существу ту же задачу, устранив однако предположение о мгновенном ускорении в начале пути и о мгновенном замедлении в конце пути. Мы рассмотрим движение частицы при наличии плавного ускорения и замедления, вычислим спектр и рассмотрим, каковы его отличия от спектра, найденного И. Е. Таммом.

Зададим скорость частицы в виде

$$V(t) = v/ch^2 \alpha t. \quad (1)$$

При таком законе движения скорость плавно нарастает за время порядка $T = 1/\alpha$, затем частица движется со скоростью, близкой к v (также в течение времени $T = 1/\alpha$), и, наконец, плавно

замедляется (за время $1/\alpha$). Если скорость (\mathbf{I}) направлена по оси z , то мы можем принять

$$z(t) = \int_0^t v(t) dt = \frac{v}{\alpha} t \text{ that.} \quad (2)$$

Определим компоненту Фурье векторного потенциала $\vec{A}_\omega(\mathbf{r})$, которая описывает излучение на частоте ω и на больших расстояниях r от пути частицы. Он имеет вид /2/

$$\vec{A}_\omega = \frac{q \exp(i\mathbf{k}\mathbf{r})}{c r} \int_{-\infty}^{\infty} \vec{v}(t) \exp(i\omega t - i\mathbf{k}\mathbf{r}(t)) dt, \quad (3)$$

где q - заряд частицы, \vec{k} - волновой вектор излучаемой волны, c - скорость света. Подставляя в (3) выражения (1), (2) и используя /3/, получим для \vec{A}_ω

$$\vec{A}_\omega = \frac{2q\vec{v} \exp(i\mathbf{k}\mathbf{r} - k_z v/\alpha)}{c r} B \left(1 - \frac{i\omega}{2\alpha}, 1 + \frac{i\omega}{2\alpha} \right) \Phi \left(1 - \frac{i\omega}{2\alpha}, 2, \frac{2ik_z v}{\alpha} \right), \quad (4)$$

где $k_z = \omega \cos \theta / c$ - проекция волнового вектора \vec{k} , на ось z , $B(1 - i\omega/2\alpha, 1 + i\omega/2\alpha)$ - бета-функция, $\Phi(1 - i\omega/2\alpha, 2, 2ik_z v/\alpha)$ - вырожденная гипергеометрическая функция.

Угловое и спектральное распределение излучения выражается через величину \vec{A}_ω следующим образом

$$d\varepsilon_\omega = \frac{1}{4\pi^2 c} |\vec{A}_\omega|^2 r^2 \sin^2 \theta d\Omega = w_\omega(\theta) d\Omega. \quad (5)$$

Здесь θ - угол между волновым вектором \vec{k} излученной волны и осью z , $d\Omega$ - элемент телесного угла.

Подставляя в (5) выражение (4), получим

$$w_\omega(\theta) = \frac{q^2 \omega^4 v^4}{4c^3 \text{sh}^2(\alpha \omega T/2)} \left| \Phi \left(1 - \frac{i\omega}{2\alpha}, 2, \frac{2ik_z v}{\alpha} \right) \right|^2 \sin^2 \theta.$$

Рассмотрим сначала предельный случай больших значений ω . Этот случай имеет место, если время плавного изменения скорости частицы T много больше, чем период излучаемой волны ($T \gg 1/\omega$). Тогда получим

$$w_{\omega}(\theta) = (q^2 \omega^4 T^4 v^2 / c^3) \exp(-\pi \omega T) \sin^2 \theta.$$

Спектр спадает на высоких частотах экспоненциально. Интересно отметить, что в спектре, который вычислен в работе /1/, такого спада нет. Причина экспоненциального спада связана с тем, что выбранный закон движения $\vec{r} = \vec{r}(t)$ представляет собой гладкую функцию и имеет непрерывные производные всех порядков. Быстрое падение спектра излучения с ростом частот есть общее свойство излучения для гладких траекторий /4/.

В обратном случае, когда время плавного изменения скорости частицы T много меньше, чем период излучаемой волны ($T \ll 1/\omega$), получим

$$w_{\omega}(\theta) = \frac{q^2 \omega^2 T^2 v^2}{\pi^2 c^3} \sin^2 \theta.$$

Это выражение совпадает с результатом Тамма /1/.

Таким образом, плавное изменение скорости приводит к тому, что спектр излучения на малых частотах практически не меняется, а на больших частотах спадает экспоненциально.

Автор выражает благодарность Б. М. Болотовскому за ценные советы, сделанные при обсуждении настоящей работы.

Поступила в редакцию
18 августа 1981 г.

Л и т е р а т у р а

1. И. Е. Тамм, Собрание научных трудов, М., "Наука", 1975 г.
2. Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц, Теория поля, М., "Наука", 1973 г.
3. И. С. Градштейн, И. М. Рыжик, Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений, М., "Наука", 1971 г.
4. Б. М. Болотовский, В. А. Давыдов, Изв. Вузов - Радиофизика, 24, № 2, 231 (1981).