

2.3.5 Синхротронное излучение

Синхротронное излучение, магнитотормозное излучение, излучение электромагнитных волн заряженными частицами, движущимися с релятивистскими скоростями в магнитном поле. Излучение обусловлено ускорением, связанным с искривлением траекторий частиц в магнитном поле. Аналогичное излучение нерелятивистских частиц, движущихся по круговым или спиральным траекториям, называют циклотронным излучением; оно происходит на основной гиромагнитной частоте и её первых гармониках. С увеличением скорости частицы роль высоких гармоник возрастает; при приближении к релятивистскому пределу излучение в области наиболее интенсивных высоких гармоник обладает практически непрерывным спектром и сосредоточено в направлении мгновенной скорости в узком конусе с углом раствора $\gamma \sim mc^2/E$ где m и E — масса и энергия частицы, c — скорость света в вакууме.

Полная мощность излучения частицы с энергией $E \gg mc^2$ равна:

$$-\frac{\partial E}{\partial t} = \frac{2e^4}{3m^4c^7} H_{\text{неп}}^2 E^2 = 0,98 * 10^{-3} H_{\text{неп}}^2 * \left(\frac{E}{mc^2}\right)^2 \text{ эв/сек} \quad (6)$$

где e — заряд частицы, $H_{\text{неп}}$ - составляющая магнитного поля, перпендикулярная скорости частицы. Сильная зависимость излучаемой мощности от массы частицы делает синхротронное излучение наиболее существенным для лёгких частиц - электронов и позитронов.

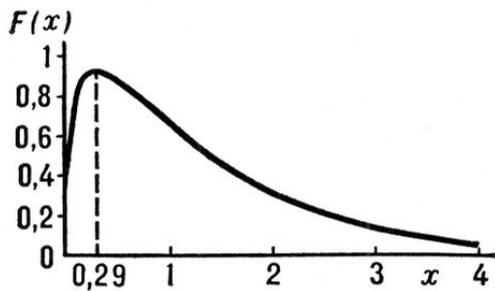


Рис. 14. График функции $F(x)$.

Спектральное (по частоте ν) распределение излучаемой мощности определяется выражением:

$$P(\nu) = \frac{\sqrt{3}e^3 H_{\text{неп}}}{mc^2} \frac{\nu}{v_c} \int_0^{\infty} H_{5/3}(\eta) d\eta \quad (7)$$

где $v_c = \frac{3eH_{\text{неп}}}{4\pi mc} * \left(\frac{E}{mc^2}\right)^2$, а $H_{5/3}(\eta)$ - цилиндрическая функция

второго рода мнимого аргумента. График функции $F(x) = x \int_x^{\infty} H_{5/3}(\eta) d\eta$ представлен на **Рис. 14**.

Характерная частота, на которую приходится максимум в спектре излучения частицы, равна (в $гц$).

$$\nu \approx 0,29 * v_c = 1,28 * 10^{18} * H_{\text{неп}} E^2 \text{ эрг} = 4,6 * 10^{-6} H_{\text{неп}} E^2 \text{ эв} \quad (8)$$

Излучение отдельной частицы в общем случае эллиптически поляризовано с большой осью эллипса поляризации, расположенной перпендикулярно видимой проекции магнитного поля. Степень эллиптичности и направление вращения электрического вектора зависят от направления наблюдения по отношению к конусу, описываемому вектором скорости частицы вокруг направления магнитного поля. Для направлений наблюдения, лежащих на этом конусе, поляризация линейная.

Синхротронное излучение первоначально наблюдалось от электронов в циклических ускорителях, в частности в синхротроне, откуда оно и получило название. Потери энергии на синхротронное излучение, а также связанные с синхротронным излучением квантовые эффекты в движении частиц необходимо учитывать при конструировании циклических ускорителей электронов высокой энергии. Синхротронное излучение циклических ускорителей электронов используется для получения интенсивных пучков поляризованного электромагнитного излучения в ультрафиолетовой области спектра и в области «мягкого» рентгеновского излучения; пучки рентгеновского синхротронного излучения применяются, в частности, в рентгеновском структурном анализе.

Большой интерес представляет синхротронное излучение космических объектов, в частности нетепловой радиодифон Галактики, нетепловое радио- и оптическое излучение дискретных источников (сверхновых звезд, пульсаров, квазаров, радиогалактик). Синхротронная природа этих излучений подтверждается особенностями их спектра и поляризации. Согласно современным представлениям, релятивистские электроны, входящие в состав космических лучей, дают синхротронное излучение в космических магнитных полях в радио-, оптическом, а возможно, и в рентгеновском диапазонах. Измерения спектральной интенсивности и поляризации космических синхротронных излучений позволяют получить информацию о концентрации и энергетическом спектре релятивистских электронов, величине и направлении магнитного поля в удалённых частях Вселенной.