

Рис.4. Действие собирающей линзы с учетом дифракции света

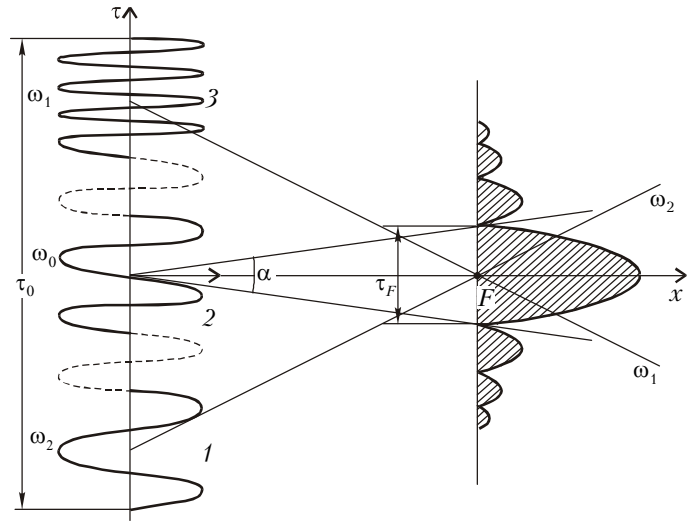


Рис.5. Сжатие частотно-модулированного радиоимпульса в плазме («линза времени»)

ных размеров:

$$Q_{\text{дифр}} \approx \frac{y_0^2}{y_{\text{фок}}^2} \approx \frac{y_0^4}{F^2 \lambda^2}. \quad (22)$$

Чем короче фокусное расстояние, тем сильнее возрастает интенсивность. В предельном случае, когда фокусировка происходит на краю ближней зоны, $F = x_{\text{дифр}}$ и $Q_{\text{дифр}} \approx 1$ – усиления интенсивности не происходит. При $F > x_{\text{дифр}}$ пучок расширяется так сильно, что его интенсивность становится меньше исходной.

Перейдем к конструированию «линзы времени». Рассмотрим распространение нескольких радиоимпульсов разной частоты. На рисунке 5 показаны три таких импульса. Выберем частоты импульсов таким образом, чтобы сначала был выпущен самый низкочастотный импульс ($\omega = \omega_2$), который, согласно рисунку, имеет наименьшую групповую скорость. На определенном расстоянии $x = F$ второй импульс ($\omega_0 > \omega_2$) догонит первый импульс, и в той же точке третий, самый быстрый, импульс ($\omega_1 > \omega_0$) догонит первые два. Таким образом, три импульса объединятся в один, длительность которого меньше, чем общая исходная протяженность всех сигналов.

Изменение частоты при переходе от одного импульса к другому можно сделать плавным, тогда мы получим один *частотно-модулированный* импульс протяженностью τ_0 (этот переход показан на рисунке пунктиром). Мы уже знаем, что за счет дисперсии он будет расширяться на

угол $\alpha \approx \lambda_{\text{дисп}} / \tau_0$ и в точке F его протяженность будет равна $\tau_F \approx F \lambda_{\text{дисп}} / \tau_0$. Импульс окажется сжатым («сфокусированным»), если $\tau_F \ll \tau_0$. Для этого дистанция, проходимая в плазме, должна быть не очень велика: $F \ll \tau_0^2 / \lambda_{\text{дисп}}$ (сравните с (21)). Коэффициент сжатия радиоимпульса за счет дисперсии $q_{\text{дисп}}$ будет равен

$$q_{\text{дисп}} \approx \frac{\tau_0}{\tau_F} \approx \frac{\tau_0^2}{F \lambda_{\text{дисп}}}. \quad (23)$$

Эта формула аналогична (22), но в оптической линзе мы учитывали площади сечения пучка, которые пропорциональны *квадрату* размеров, а здесь рассматриваются *линейные* величины – протяженности импульсов. Формула (23) показывает также, как возрастает мощность сжатого импульса, поскольку вся исходная энергия теперь сосредоточена в импульсе меньшей протяженности (потерями энергии в плазме можно пренебречь). Эффект сжатия импульса («временная фокусировка») используется для увеличения мощности радиосигнала при передаче его через ионосферу путем специального подбора закона частотной модуляции импульса.

Дисперсия сигналов играет важную роль при наблюдении естественных импульсных излучателей – пульсаров. Пульсары – это источники космического радиоизлучения с очень высокой стабильностью периода. Импульс пульсара возникает практически одновременно в широком интервале радиоволн. Однако при прохождении через атмосферу

пульсара и межзвездную плазму низкочастотная часть излучения запаздывает относительно высокочастотной, поэтому высокочастотные импульсы приходят к наблюдателю раньше низкочастотных. По величине запаздывания импульсов судят о расстоянии до пульсара и о концентрации электронов на луче зрения от источника к наблюдателю. Таким образом исследуется распределение электронов в межзвездном газе Галактики.

В заключение сделаем еще одно замечание. Рассмотренная пространственно-временная аналогия не является специфическим свойством плазмы. В любой среде с такой же дисперсией радиоимпульс будет деформироваться по тому же самому закону. Оказывается, такие среды могут быть изготовлены достаточно просто искусственно. Например, в диапазоне сверхвысоких частот можно воспользоваться волноводом. В более низкочастотном диапазоне, где вместо волноводов используются линии передач из емкостей и индуктивностей, также можно подобрать закон дисперсии, обеспечивающий необходимую деформацию радиоимпульсов.