Новые режимы рамановской компрессии лазерных импульсов в плазме

Балакин А.А., Левин Д.С., Скобелев С.А.

Институт прикладной физики РАН, Н. Новгород, Россия, [levdmit@appl.sci-nnov.ru](mailto:levdmit@appl.sci-nnov.ru)

Узким местом традиционно используемого для получения мощных лазерных импульсов метода усиления частотно-модулированных импульсов (CPA) является этап компрессии лазерных импульсов, на котором возможно термическое повреждение дифракционных решеток. Для преодоления данного ограничения предлагается использовать схему обратного рамановского усиления, в которой компрессия лазерного импульса основана на резонансной перекачке энергии между двумя встречно-распространяющимися лазерными импульсами, взаимодействующими посредством плазменной волны.

Для данной схемы, однако, характерно наличие множества паразитных эффектов, таких как усиление шумов плазмы, нарушение трехволнового синхронизма из-за релятивистской нелинейности и/или опрокидывания плазменной волны и др. Большая часть этих эффектов может быть ослаблена выбором оптимальных параметров лазерных импульсов и плазмы. Данный доклад посвящен определению таких параметров.

Теоретический анализ проводился в рамках гидродинамического описания плазмы, а также с учетом релятивистского самовоздействия лазерных импульсов. Для описания лазерных импульсов и плазменных колебаний используется квазимонохроматическое приближение. Уравнения на огибающие двух встречных электромагнитных волн *a, b* и огибающую плазменной волны *f*, которая может быть вблизи порога опрокидывания, принимают вид трехволновых уравнений с дополнительными слагаемыми:

∂*ta* + ∂*za* = –*bf* + i*Ka* – iα/2 ∂*zza*

∂*tb* – ∂*zb* = –*af\** + i*Kb* – iε|*b|*2*b* – iα/2 ∂*zzb*

∂*tf* = *ab\** + iκ*b* + iχ|*f|*2*f* – ν*f* ,

Здесь *t* и *z* нормированы на обратный инкремент рамановского усиления 1/γ и *c*/γ   
(γ = 1/*a*0β1/4ω), *a* и *b* нормированы на амплитуду накачки *a*0; β=ωp2/ω2 – отношение плотности плазмы к критической; α = *a*0β5/4, ε = ¾*a*0β3/4, χ = 8*a*0/β5/4 – безразмерные коэффициенты плазменной дисперсии, релятивистской и гидродинамической нелинейностей, ν = νL/γ – безразмерный коэффициент затухания Ландау; *K* = β/2γδn и κ = β½/γδn – описывают влияние квазистатических неоднородностей плазмы.

Проведено аналитическое и численное исследование данных уравнений при различных значениях параметров. Показано, что основными ограничивающими факторами являются излишне высокая частотная модуляция импульса накачки и слишком редкая плазма, в которой возможно опрокидывание плазменной волны. Использование коротких затравочных импульсов позволяет уменьшить ограничение на максимально допустимую величину частотной модуляции ρ импульса накачки *a*~*a*0exp(iργ2*t*2), однако превышение ей значения порядка единицы все равно делает рамановское усиление затруднительным. Кроме того, мы предлагаем сместить начало области взаимодействия на край плазмы для компенсации излишне большой частотной модуляции накачки.

В то же время, частотная модуляция накачки ρ ≈ 0.5, слабо влияя на линейную стадию усиления интенсивного короткого затравочного импульса, способна компенсировать расстройку трехволнового синхронизма из-за близости к порогу опрокидывания плазменной волны вплоть до значений χ ≤ 500. При амплитуде накачки *a*0 ≈ 0,01 от релятивистского значения это позволяет эффективно использовать в эксперименте даже довольно низкие концентрации плазмы – до долей процента от критической плотности (β ≥ 0,002).