دراسة نظرية لتفاعل الليزر عالي الشدة مع قناة بلازما موجودة مسبقاً

نايفه سليمان محمد العطوي

د. أسامة محمد السيد ياسين

المستخلص

في هذه الرسالة تمت دراسة تفاعل الليزر عالي الشدة مع قناة بلازما تكونت مسبقاً في البلازما تتولد في هذا التفاعل موجات كهروستاتيكية و موجات كهرومغناطيسية من خلال مجموعة من اللااستقراريات البارامترية وأهمها "لااستقرارية تشتت رامان المستحث " . يكتسب تَولد هذه الموجات أهميته في أنه يحدث في العديد من تطبيقات البلازما و التي تشمل عمليات الاندماج القصوري ، تعجيل الجسيمات ، سريان التيار الكهربائي في أجهزة (التوكاماك) ، وإنتاج أشعة أكس وغيره من التطبيقات .

ولفهم هذه التفاعلات لابد من دراسة نظرية عميقة يمكن الاستفادة من نتائجها في تصغير حجم وتطوير كفاءة معجلات الجسيمات المستخدمة في أبحاث المادة الأولية وكذلك علاج السرطانات المختلفة. استخدم نموذج المائع لوصف هذه التفاعلات ونتج عن تطبيق هذا النموذج مجموعة من المعادلات غير الخطية متغيرة المعاملات ذات شروط حدية يصعب حلها بالطرق التحليلية . ولذلك تم تطوير برنامج حاسوبي رئيسي بلغة الفورتران كما تمت الاستعانة ببرامج فرعية عدة لحل المجموعة من المعادلات التفاضلية ذات الشروط الحدية و حل معادلة التشتت الناتجة من الدرجة الرابعة. وقد اختبرت مصداقية البرنامج بالحصول منه على كافة النتائج المحسوبة مسبقاً في الحالات الخاصة وعند غياب موجة الليزر الداخلة على البلازما للتأكد من حالة عدم اقتران موجة البلازما الكهروستاتيكية مع الموجة الكهرومغناطيسية ، ثم بدخول موجة الليزر ذات الشدة المنخفضة وزيادة هذه الشدة لاختبار قيمة معدل نمو سعات الموجات في قناة البلازما متجانسة الكثافة ، وهذا يمثل أكبر معدل نمو في البلازما وذلك لعدم محدودية منطقة شروط التطابق . دُرست حالتي التشتت المتقدم والمتقهقر للااستقرارية رامان داخل قناة البلازما متجانسة الكثافة غير المعرضة لتأثيرات الاضمحلال ولا للتأثيرات النسبوية . وضحت هذه الرسالة أنه بالنسبة للتشتت المتقدم فإن الموجة الكهرومغناطيسية الناشئة في منطقة الرنين تنمو بصورة أسيه خلال تقدمها في رقعة البلازما ، بالإضافة لذلك فإن موجة إلكترونات بلازما مترافقة معها تنتج وتتضخم بصورة أسيه أيضاً تبعاً لقيمة شدة ليزر الضخ . كما أوضحت أيضاً أن موجة إلكترونات البلازما تتضاءل أسياً عند مرورها خلال رقعة البلازما في حالة التشتت المتقدم ، وخلال تضاءل هذا النمط تستحث موجة كهرومغناطيسية والتي بدورها يمكن أن تتضخم بصورة أسية عندما تكون شدة ليزر الضخ عالية بصورة كافية . في قناة بلازما متجانسة الكثافة غير معرضة

لاضمحلال أو تأثير نسبوي فإنه لا يوجد تضخيم للأنماط المترابطة في حالة التشتت المتقهقر، وإن كان يظل عند مرور موجة كهرومغناطيسية في منطقة الرنين للتشتت المتقهقر تولد موجة إلكترونات بلازما مستحثة بحيث يظل سعة النمطين محافظين على النسبة بينهما فترة مرورها في قناة البلازما المتجانسة . استخلصت النتائج في حالة البلازما غير المتجانسة لدراسة تأثير محدودية منطقة المطابقة . أمكن تحييد عامل التأثيرات النسبوية و ذلك باختيار أعلى قيمة لشدة ليزر الضخ التي لاتؤثر في نمو سعة الموجات الناتجة . أيضاً تحييد تأثيرات الاضمحلال باختيار الكثافة المناسبة لمنطقة الرنين . كما أمكن الحصول على نتائج غير مسبوقة لحالة بلازما غير متجانسة تتغير فيها الكثافة بصورة خطية ذات قناة متجانسة الكثافة موجودة مسبقاً داخلها . وقد أوضحت النتائج التأثر الشديد لسعات الموجات داخل القناة بأية كثافات للبلازما قرب مدخل القناة مما يدمر حالات الاقتران الرنيني بين الموجة الكهرومغناطيسية الناشئة وموجة إلكترونات البلازما .

Theoretical Investigation of the Interaction between Intense Laser and a Preformed Plasma Channel

By (Nayfa Suliman Mohammed Al-atawi)

Abstract

In This Thesis, the interaction between high power laser and a preformed plasma channel has been studied . In this interaction result of electromagnetic and electrostatic waves are produced as a many parametric instabilities especially "Stimulated Raman Scattering (SRS)" instability. In this instability, electron plasma wave and a daughter electromagnetic wave are produced if the laser driver intensity is high enough to initiate this instability. The produced high amplitude electrostatic waves are found to be very useful in many applications especially in the field of table top laser - plasma accelerators which benefit in scientific and medical researches. The fluid model is used to describe these interactions because this model works well with waves and collective phenomena. Using this model produces set of nonlinear boundary conditioned differential equations with varying coefficients , which are very difficult to be solved analytically. A FORTRAN main program was developed to solve this problem using many subprograms to help in solving sub problems such as : the fourth order polynomial that represent the dispersion relations of the waves involved in the interactions. The program was tested on some special cases and passed the tests. The interaction of high power laser with ahomogenous plasma channel is investigated and the growth rate of both electron plasma wave and adaughter electromagnetic wave is found in different laser deriver intensity . Forward scattering is the only scattering found in this case . A plasma wave is coupled with daughter electromagnetic wave resonantly and amplified while propagating in the homogenous plasma channel. In case of backward scattering there is no amplification for both waves , but coupling between the two modes still exist . In an inhomogeneous plasma ,the program was tested to account for the saturation effects of the instability .The relativistic effects is excluded by limiting the laser driver intensity, and the damping effects also excluded by choosing relevant value for the density at resonance and amplifying area . At last a homogeneous

plasma channel is introduced in an inhomogeneous linearly varying density plasma. Good results are obtained using the FORTRAN program which show that the amplification of the amplitudes of both modes will be affected by any presence of out of resonance plasma density near the entrance of plasma channel.