ISSN: 1991-8941

تأثير طاقة الحزمة الليزرية على الخصائص الميكانيكية لموجة التفجير المعززة بالليزر لسطح محدد المساحة

رافل عباس حبيب* ، حامد صالح ألجميلي ، عصمت رمزي عبد الغفور
*وزارة العلوم والتكنولوجيا
قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة الانبار

تاريخ الاستلام:2006/6/25 | تاريخ القبول:2007/3/1

الخلاصة :

تـم إعـداد نموذج رياضي باستخدام الحاسبة لنمذجة تأثير طاقة الحزمة الليزرية على الخصائص الميكانيكـية لموجة التفجير المعززة بالليزر (LSD) والناتجة عن تفاعل حزمة ليزرية عالية الشدة وهدف محدد المساحة في الهواء على طاقة الحزمة الليزرية ، حيث تم اعتماد نظرية موجة العصف بالاستفادة من علاقات أنبوب الصدمة ، وقوانين تقييس (Sedov) لصياغة انحلال الضغط على سطح الهدف . وتبين بان قيم الدفع المنتقل إلى الهدف تزداد بزيادة طاقة ألحزمه الليزريه وتتناقص مع زيادة مساحة ألبقعه الليزريه . ويمكن الاستفادة من هذه الدراسة النظرية في التطبيقات العملية.

كلمات مفتاحية: طاقة الحزمة الليزرية ، خصائص ميكانيكية ، موجة التفجير ،ليزر

المقدمة :

عـند تسليط حزمة ليزرية عالية الشدة على سطح هدف موضوع في الهواء فان الهواء المحيط بـه يـتاين مـشكلا بلازما ذات امتصاصية عالية تتحـرك بـسرعة أعلى من سرعة الصوت باتجاه الحزمة الليزرية المسلطة ومبتعدة عن الهدف لتفي الهـدف مـن أشـعة الليزر المسلطة عليه بصورة مباشرة وبسبب معادلات الحركة للبلازما المشابهة لمـوجة التفجيـر الكيميائـي فانه يطلق على هذه البلازما موجة التفجير المعززة بالليزر[1-3].

إن التفجيـر في المواد المتفجرة يحدث نتيجة تأثيـر خارجـي يعمل على توليد مقدار من الطاقة يكفـي لحـث أو بـدء تفاعـل كيميائي في المادة المتفجرة ، حيث ينشا التفاعل في البدء ضمن سمك محـدد مـن المـادة المتفجرة ، والذي يتحول الى غـازات سـاخنة تـتمدد وتتـسع ومجهزة طاقة ميكانيكـية للمادة المتفجرة المجاورة كرد فعل لهذه العملية ، حيث يبدا تولد تفاعل كيميائي جديد بسمك محدد أيضا

من المادة المتفجرة تكتسب الطاقة من الوسط الـذي تنتـشر خلاله وكما في الشكل (1) . أما في حالـة مـوجة (LSD) فأنهـا تكتسب الطاقة من إشـعاع الليزر المركز على الهدف أي إنها تتزود بالطاقـة من الحزمة الليزرية المسلطة على الهدف [1-4] .

وهـناك دراسـات عملية ونظرية متعددة حول موضـوع الاسـتجابة الميكانيكـية لهدف معرض لحـزمة ليـزرية نبضية عالية الشدة في الهواء ، والتاثير الميكانيكي لموجة التفجير المعززة بالليزر (LSD) الـناتج عنها كدالة لطاقة الحزمة الليزرية مـن خلال حساب الدفع المنتقل للهدف ، فقد أجرى الـباحث Hettche [5] وجماعـته دراسـة تتعلق بالدفـع الناتج على سطح هدف معدني عند تعرضه لحزمة ليزرية ذات شدة عالية(107-108w/cm2) كدالة لطاقة الحزمة الليزرية ووجدوا ان اعلى دفع يمكن الحصول عليه لهدف نصف قطره (3.5 cm) هو (2000 dyn) وضغط مقداره (220 bar) .

آما الباحث Metz [6] فقد اجرى دراسة عملية لحـساب الدفع المتولد على سطح هدف في الهواء عـند تعرضـه لحـزمة ليـزرية شـدتها (108 w/cm2) ولمـساحة بقعـة ليـزريه (0.1 cm2) [6]. وهـناك بحوث نظرية أشارت الى ان الدفـع المتولد على سطح هدف يعتمد على امد النبـضة الليزرية ومساحتها وطاقتها ، والمساحة الفعالـة (المـنطقة الواقعة تحت ضغط البلازما) واعـتمدت هـذه الدراسـات علـى موجة العصف وقوانـين قياس Sedov [7] لحساب انحلال الضغط على سطح الهدف وبالتالي الدفع المنتقل للهدف.

الهـدف مـن هذه الدراسة هو اعتماد نموذج رياضـي باسـتخدام الحاسـبة لنمذجة تأثير طاقة الحـزمة الليـزرية على التأثير الميكانيكي لموجة التفجير المعززة بالليزر والناتجة عن تفاعل حزمة ليـزرية عالية الشدة مع هدف محدد المساحة في الهـواء ، مما ينتج تقييم دقيق للمعاملات الليزرية الأساسـية ، حـيث ان مدى التأثيرات الميكانيكية (وغيـر الميكانيكية) للأشعة الليزريه تعتمد على معـاملات تلـك الاشعة مثل طاقة الحزمة الليزرية وامـد نبضتها ومساحة البقعة الليزرية ، والتي من خلالها يمكن إعطاء وصف دقيق للتاثير الميكانيكي لموجة التفجير المعززة بالليزر (LSD) لما له من أهمية في تقنية الدفع الصاروخي الليزري .

الجانب النظري :

تـم نمذجـة تأثير طاقة الحزمة الليزرية على الخـصائص الميكانيكـية لموجة (LSD) ولسطح محدد المساحة بالاعتماد على نظرية موجة العصف للحصول على نتائج قريبة للواقع التجريبي ، وتحدد الشكل العام لهذا التأثير بالدفع لموجة (LSD) على سـطح الهـدف ، فقد تم حساب الدفع المتولد على سطح الهدف من خلال استخدام العلاقة [5] :

$$I_{mp} = \int_0^{t_0} F.dt \Lambda\ \Lambda\ (1)$$

حـيث F هي القوة المسلطة من قبل البلازما على الهدف ويمكن وضعها بصورة أدق باستخدام العلاقة :

$$I_{mp} = \int_0^{t_0} P(t).A(t)dt \Lambda\ \Lambda\ (2)$$

حيث ان I_{mp} هو الدفع الكلي المنتقل للهدف عند الزمن النهائي t للتفاعل بين البلازما والهدف و t_0 هـو زمـن انحلال الضغط على السطح الى الضغط المحـيط به P_0 ، $A(t)$ المساحة الفعالة (المنطقة الـواقعة تحـت ضغط البلازما المتمددة) وكما في الـشكل (2) وان $P(t)$ تمـثل الضغط المتولد على سطح الهدف حيث تم حسابه قبل وصول الزمن الى τ_{2D} (زمـن وصـول مـوجة التخلخل الى مركز البقعة الليزرية) باستخدام العلاقة [1,2]:-

$$P_{eff} = P_s \frac{A_1(t)}{A_2(t)} + P_N \frac{A_N(t)}{A_2(t)} + P_r \frac{A_r(t)}{A_2(t)} \Lambda\ \Lambda\ (3)$$

حـيث P_N الـضغط بـين مقدمـة موجة التخلخل ومؤخـرتها ويعطـي بالعلاقـة $P_N=P_S+Pr/2$ و $A_1(t)$ تمـثل المساحة الفعالة تحـت الـضغط P_S ، و A_r تمثل المساحة الفعالة تحت الضغط P_r ، و $A_N(t)$ تمثل المساحة الفعالة

للمـنطقة الواقعة تحت الضغط P_N وكما في الشكل (2) و A_2 المـساحة الفعالة الكلية والتي يمكن ان تعطى من العلاقة :

$$A_2 = \pi * R_2^2 \Lambda \Lambda \quad (4)$$

حـيث R_2 نـصف قطر المساحة الفعالة (المنطقة الـواقعة تحـت ضغط البلازما المتمددة على سطح الهدف) .

وتعطى Ps من العلاقة

$$P_s = \left[\frac{y+1}{2y} \right]^{2\gamma(\gamma-1)} .P_D \Lambda \Lambda \quad (5)$$

حيث ان

$$P_D = \frac{\rho_0 V_D^{\ 2}}{y+1} \Lambda \Lambda \quad (6)$$

وتعطـي سرعة موجة التفجير التي تتحرك مبتعدة عن السطح وفق المعادلة[1] :

$$V_D = \left[\frac{2(y^2-1) I_0}{\rho_0} \right]^{1/3} \Lambda \Lambda \quad (7)$$

حـيث γ تمثل نسبة الحرارة النوعية للغاز الساخن خلـف موجة التفجير ، I_0 هي الشدة الليزرية اما بعد الزمن τ_{2D} فقد تم حساب الضغط بالاعتماد على قوانين قياس سيدوف عند استمرار وتوقف النبضة الليـزرية وبالاعـتماد على الشكل الكروي لموجة العصف [5,7].

النتائج والمناقشة :

مـن اجـل إعطـاء وصف عام لتأثير طاقة الحزمة الليزرية على الخصائص الميكانيكية لموجة (LSD) والـناتج عـن تفاعل حزمة ليزرية عالية الـشدة وهدف محدد المساحة في الهواء بالاعتماد على نظرية موجة العصف وعلاقات أنبوب الصدمة مـن خـلال الدفـع المنتقل لسطح الهدف ، فقد تم أعـداد بـرنامج رياضي باستخدام الحاسبة لغرض ايجـاد هذا الدفع وذلك باستخدام العلاقات الرياضية لمـوجة الصدمة ، وقوانين قياس سيدوف لصياغة انحـلال ضغط البلازما المتمددة على سطح الهدف عـند استمرار تدفق الحزمة الليزرية وتوقفها و تم حـساب الدفع المنتقل للهدف ولمديات مختلفة من طاقـات الحـزمة الليـزرية ولمساحة بقعة ليزرية متغيـرة وامد نبضة ليزرية ثابت ، ولمساحة هدف مقـدارها ($19.6 \ cm^2$) . الشكل (3) يبين عملية المحاكـاة لهـذه المتغيرات مع المعادلات الرياضية المـستخدمة والخاصـة بنظرية العصف وعلاقات سـيدوف الخاصـة بانحلال ضغط البلازما المتمددة علـى سـطح الهدف والذي يمثل تغير الدفع كدالة لطاقة الحزمة الليزرية ولأمد نبضة ليزرية مقدراها (20 µs) ولمساحة بقعة ليزرية ($0.1 \ cm^2$) حيث تـم اسـتخدام العلاقة التالية لحساب شدة الحزمة الليزرية :-

$$I_0 = \frac{E}{\tau_p A_S} \Lambda \Lambda \quad (8)$$

والتي تستخدم في حساب سرعة موجة التفجير كما في المعادلة (7) وبالتالي حساب الضغط الفعال على سـطح الهـدف ومـنه يحسب الدفع المتولد على سطح الهدف حيث تمثل المتغيرات في المعادلة (8) A_S ، مـساحة البقعة الليزرية ، و τ_P امد النبضة الليزرية و E طاقة الحزمة الليزرية { والشكل (3) يبـين زيـادة الدفع بزيادة طاقة الحزمة الليزرية ، ولمساحة هدف محدد .

امـا الـشكل (4) فيمـثل تغيـر الدفع كدالة لطاقة الحزمة الليزرية } .نتائج الدراسه النظريه وضعت فـي الشكل (3) والذي يبين ان قيمة الدفع المنتقل الى الهدف يزداد بزيادة طاقة الحزمه الليزريه التي تمـتد بين (50-275 joule) والتي اعطت قيم دفع تتـراوح بـين (1650-6200 dyne.sec) عندما كانت مساحة البقعه الليزريه $0.1cm.^2$. وعندما ازدادت مساحة البقعه الليزريه الى $0.4cm.^2$ فان

سلوك الدفع مع طاقة الحزمه الليزريه يبقى كما هو بـشكل عام وهناك نقصان قليل في قيم الدفع مقابل الطاقه مقارنة بالحاله الاولى ويوضح ذلك الشكل (4). ومما تقدم فان الدراسه اعطت قيم دفع عاليه نسبيا مقابل طاقة الحزمه الليزريه واعطت معرفه جيدة عن سلوك تغير الدفع مع الطاقه والتي تغني عن تجارب عمليه كبيرة ومجهود كبير يبذل لايجاد هكذا نتائج اضافة الى معرفة سلوك الدفع مع تغير مساحة البقعه الليزريه حيث حصل نقصان في قيمة الدفع ليس كبيرا في حالة زيادة المساحه الى اربعة اضعاف . ومن هذه الدراسه يمكن اختيار المعلمات المناسبه في حالة الطبيق العملي.

من خلال الدراسة النظرية لتأثير تغير طاقة ألحزمه الليزريه على الخصائص الميكانيكية لموجة التفجير (LSD) الناتجة عن تفاعل حزمه ليزريه عالية الشدة مع هدف محدد المساحة أمكن الحصول على قيم الدفع المنتقل إلى الهدف مقابل طاقة ألحزمه الليزريه باستخدام برنامج رياضي ولمساحة بقعه ليزريه متغيره وتبين بان الدفع يزداد مع زيادة طاقة ألحزمه الليزريه وان قيمته تتناقص قليلا مع زيادة مساحه البقعة الليزريه . وان هذه الدراسة تعطي نتائج جيده يمكن الاستفادة منها في حالة التطبيق العملي.

References

[1] Najmdum D.Z., thesis (2006) "Radiation Produced by High Energy Density can be Used a Diagnostic of The Relativistic Laser Radiation Interaction" Imperial College London Faculty of Phys. Scien. , Phys. Dep. .

[2] Rich M. C. ,(1999) "Produce Plasma Populated Predominantly by Ionic Application of Laser (Plasma Radiation) " Ordson Ed. Vol. 2015 pp. 243-260.

[3] Gallies G. Berger P. and Hugel H. , (1995) " Time Resolved Observation of Gas-Dynamic Discontinuities Arising During Excimer Laser Ablation and Their Interpretation" J. Phys. D. Appl. Phys. 28 pp. 794-806.

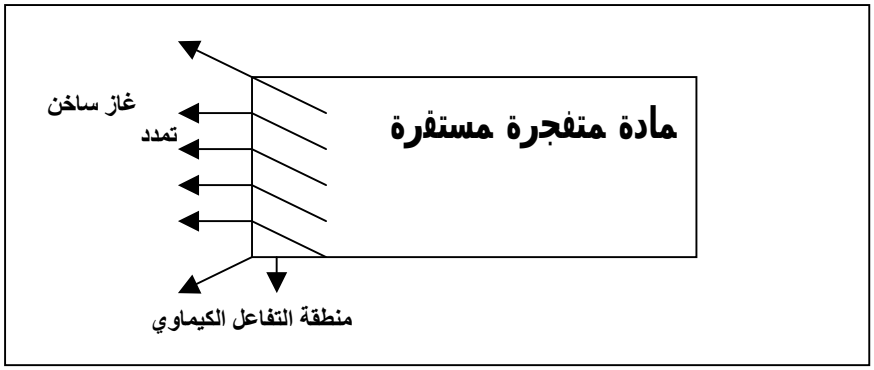
[4] Borchert H. , Daree K. and Hugenshmidt M. , (2005) " Plasma Formation During The Interaction of Pico second and Nanosecond Laser Pulses with BK7 Glass " J. Phys. D. Appl. Phys. : 38 pp. 300-305.

[5] Hettche L R., Schriempf. J.T. and Stegman R.L. (1973) " Impuls Reaction Resulting from The In-Air Irradiation of Al by a Pulsed Co2 Laser" J.Appl. phys. 44. (9). 4079-4085 .

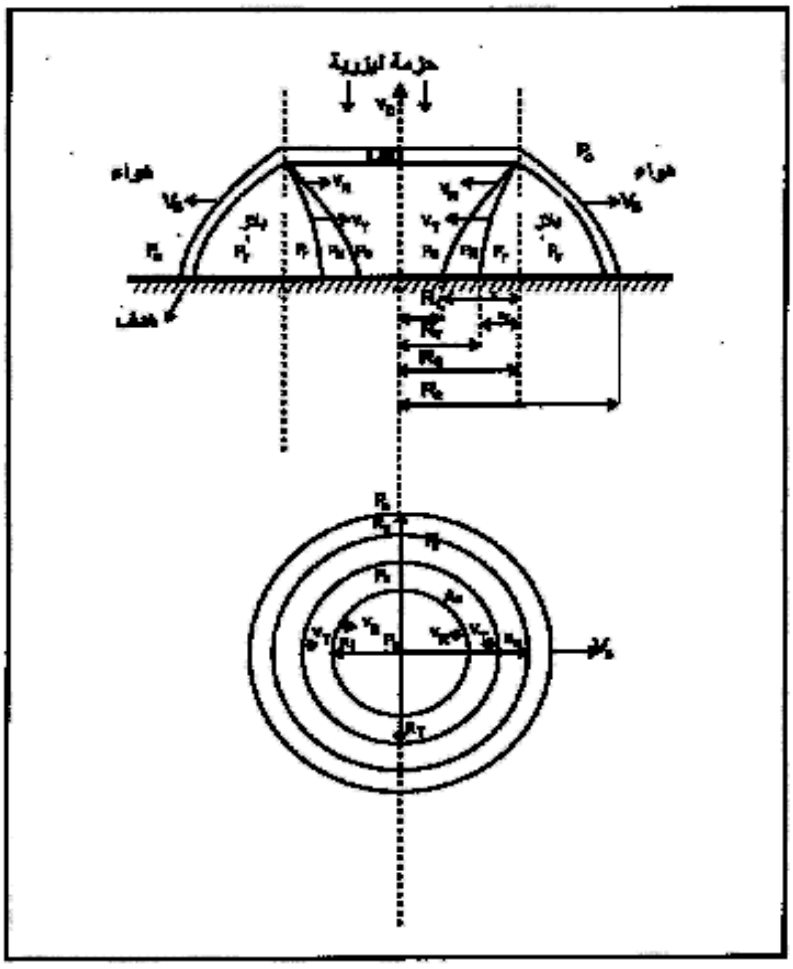
[6] Metz S. A. , Hettche L. R. , Stegman R. L.. and Schriempf J. T. , (1975), " Effect of Beam intensity on Target response to High-Intensity Pulsed Co2 Laser Radiation " J. Appl. Phys., 46 . (4). pp.1634-1642.

[7] Sedov. L. I. (1959) "Similarity and Dimensional Methods in Mechanics" Academic Press, New York .

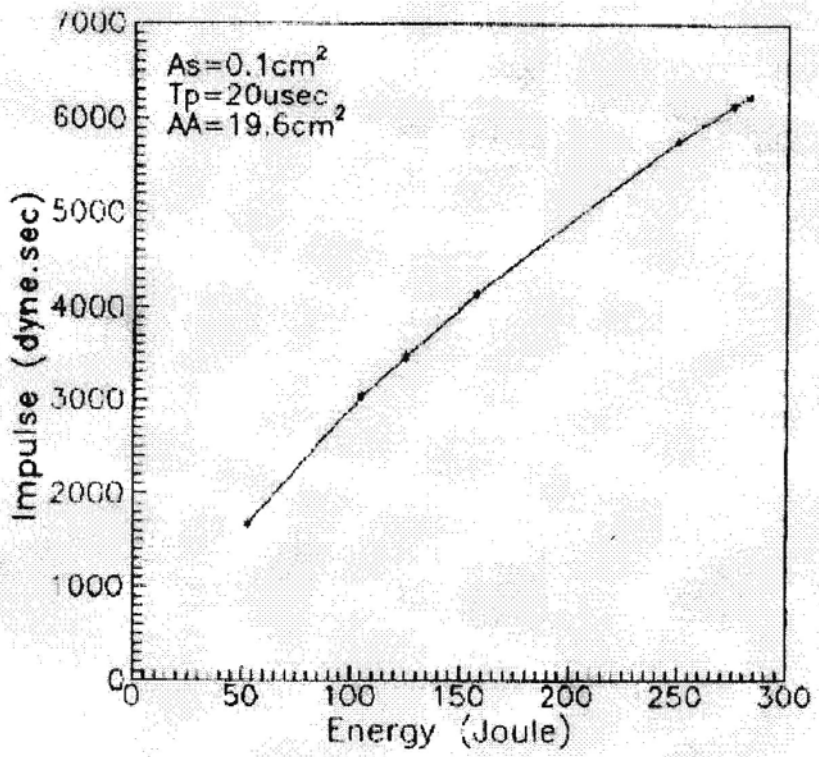
8- Reilly J.P. (1979), " Laser Metal Interaction in Vacuum " AIAA . Journal, 10 pp. 1098-1105.



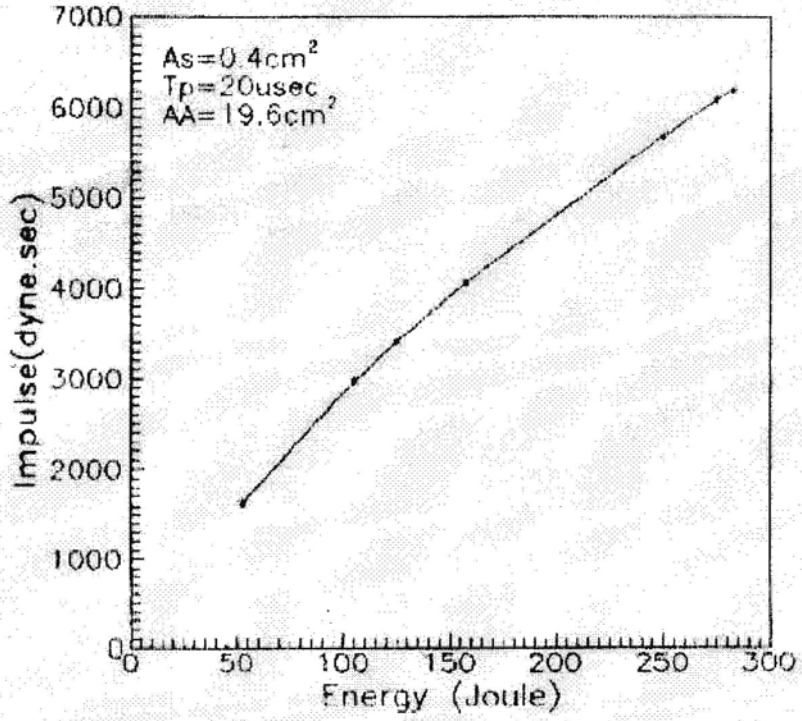
شكل(1) مخطط يوضح انتشار موجة التفجير في المواد المتفجرة



الشكل (2) يمثل وصف لانتشار موجة (LSD) على سطح الهدف



شكل (3) تغير الدفع كدالة لطاقة الحزمة الليزرية ولمساحة بقعة وأمد نبضة ليزرية ثابتين.



شكل (4) تغير الدفع كدالة لطاقة الحزمة الليزرية ولمساحة بقعة وأمد نبضة ليزرية ثابتين

THE EFFECT OF LASER BEAM ENERGY ON THE MECHANICAL EFFECT OF LSD WAVE OF A DEFINITE AREA

RAFEL ABAS HABEB
HAMID SALEH AL JUMAILI
ESMAT ABDUL GAFOUR

E-mail: asmathadithi@yahoo.com

Abstract:

A mathematical model performed by computer for simulation the effect of laser beam enhanced by (LSD) on the mechanical effect of the wave explosion , which is due to interaction of laser beam with a tarried of definite area , The blast wave theory is adopted for this purpose with the implementation of shock relation , also the decay plasma pressure above a target surface calculated by Sedov law. This study obtained that the value of impulse which transferred to the target was increased with increasing laser beam value and decreased with increasing the laser area spot. This theoretical study can be useful for the experimental applications .