P- ISSN 1991-8941 , E-ISSN 2706-6703
2007 ,(1), (2) :89-95

(JUAPS) مجلة جامعة الانبار للعلوم الصرفة

Open Access

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

معلومات البحث:
تاريخ التسليم: ٢٠٠٦/٦/٢٥
تاريخ القبول: ٢٠٠٧/٣/١
تاريخ النشر: ١٤/ ٠٦ / ٢٠١٢
DOI: 10.37652/juaps.2007.15458

الكلمات المفتاحية:
طاقة الحزمة الليزرية،
خصائص ميكانيكية ،
موجة التفجير ،ليزر.

الخلاصة:

تم إعداد نموذج رياضي باستخدام الحاسبة لنمذجة تأثير طاقة الحزمة الليزرية على الخصائص الميكانيكية 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.

المقدمة:

عند تسليط حزمة ليزرية عالية الشدة على سطح هدف موضوع في الهواء فان الهواء المحيط به يتاين مشكلا بلازما ذات امتصاصية عالية تتحرك بسرعة أعلى من سرعة الصوت باتجاه الحزمة الليزرية المسلطة ومبتعدة عن الهدف لتقي الهدف من أشعة الليزر المسلطة عليه بصورة مباشرة وبسبب معادلات الحركة للبلازما المشابهة لموجة التفجير الكيميائي فانه يطلق على هذه البلازما موجة التفجير المعززة بالليزر [1-3].

إن التفجير في المواد المتفجرة يحدث نتيجة تأثير خارجي يعمل على توليد مقدار من الطاقة يكفي لحث أو بدء تفاعل كيميائي في المادة المتفجرة، حيث ينشا التفاعل في البدء ضمن سمك محدد من المادة المتفجرة، والذي يتحول الى غازات ساخنة تتمدد وتتسع ومجهزة طاقة ميكانيكية للمادة المتفجرة المجاورة كرد فعل لهذه العملية، حيث يبدا تولد تفاعل كيميائي جديد بسمك محدد أيضا من المادة المتفجرة تكتسب الطاقة من الوسط الذي تنتشر خلاله وكما في الشكل (1). أما في حالة موجة (LSD) فأنها تكتسب الطاقة من إشعاع الليزر المركز على الهدف أي إنها تتزود بالطاقة من الحزمة الليزرية المسلطة على الهدف [1-4].

وهناك دراسات عملية ونظرية متعددة حول موضوع الاستجابة الميكانيكية لهدف معرض لحزمة ليزرية نبضية عالية الشدة في الهواء، والتأثير الميكانيكي لموجة التفجير المعززة بالليزر (LSD) الناتج عنها كدالة لطاقة الحزمة الليزرية من خلال حساب الدفع المنتقل للهدف، فقد أجرى الباحث Hettche [5] وجماعته دراسة تتعلق بالدفع الناتج على سطح هدف معدني عند تعرضه لحزمة ليزرية ذات شدة عالية-(107

* Corresponding author at : Department of Physics - College of Science - University of Anbar ,Iraq;
E-mail address: asmathadithi@yahoo.com

(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 لحساب الدفع المتولد على سطح هدف في الهواء عند تعرضه لحزمة ليزرية شدتها (108 w/cm2) ولمساحة بقعة ليزريه (0.1 cm2) [6]. وهناك بحوث نظرية أشارت الى ان الدفع المتولد على سطح هدف يعتمد على امد النبضة الليزرية ومساحتها وطاقتها، والمساحة الفعالة (المنطقة الواقعة تحت ضغط البلازما) واعتمدت هذه الدراسات على موجة العصف وقوانين قياس Sedov [7] لحساب انحلال الضغط على سطح الهدف وبالتالي الدفع المنتقل للهدف.

الهدف من هذه الدراسة هو اعتماد نموذج رياضي باستخدام الحاسبة لنمذجة تأثير طاقة الحزمة الليزرية على التأثير الميكانيكي لموجة التفجير المعززة بالليزر والناتجة عن تفاعل حزمة ليزرية عالية الشدة مع هدف محدد المساحة في الهواء، مما ينتج تقييم دقيق للمعاملات الليزرية الأساسية، حيث ان مدى التأثيرات الميكانيكية (وغير الميكانيكية) للأشعة الليزريه تعتمد على معاملات تلك الاشعة مثل طاقة الحزمة الليزرية وامد 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:

تم نمذجة تأثير طاقة الحزمة الليزرية على الخصائص الميكانيكية 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 سطح الهدف، فقد تم حساب الدفع المتولد على سطح الهدف من خلال استخدام العلاقة [5]:

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

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

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

حيث ان Imp هو الدفع الكلي المنتقل للهدف عند الزمن النهائي t للتفاعل بين البلازما والهدف و t_0 هو زمن انحلال الضغط على السطح الى الضغط المحيط به P_0 ، $A(t)$ المساحة الفعالة (المنطقة الواقعة تحت ضغط البلازما المتمددة) وكما في الشكل (2) وان $P(t)$ تمثل الضغط المتولد على سطح الهدف حيث تم حسابه قبل وصول الزمن

الى τ_{2D} (زمن وصول موجة التخلخل الى مركز البقعة الليزرية) باستخدام العلاقة [1,2]:-

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

حيث P_N الضغط بين مقدمة موجة التخلخل ومؤخرتها ويعطي بالعلاقة $P_N=P_S+P_r/2$ و $A_1(t)$ تمثل المساحة الفعالة تحت الضغط P_S، و A_r تمثل المساحة الفعالة تحت الضغط P_r، و $A_N(t)$ تمثل المساحة الفعالة للمنطقة الواقعة تحت الضغط P_N وكما في الشكل (2) و A_2 المساحة الفعالة الكلية والتي يمكن ان تعطى من العلاقة:

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

حيث R_2 نصف قطر المساحة الفعالة (المنطقة الواقعة تحت ضغط البلازما المتمددة على سطح الهدف).

وتعطى Ps من العلاقة

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

حيث ان

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

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

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

حيث γ تمثل نسبة الحرارة النوعية للغاز الساخن خلف 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 الليزرية وبالاعتماد على الشكل الكروي لموجة العصف [5,7].

النتائج والمناقشة:

من اجل إعطاء وصف عام لتأثير طاقة الحزمة الليزرية على الخصائص الميكانيكية لموجة (LSD) والناتج عن تفاعل حزمة ليزرية عالية الشدة وهدف محدد المساحة في الهواء بالاعتماد على نظرية موجة العصف وعلاقات أنبوب الصدمة من خلال الدفع المنتقل لسطح الهدف، فقد تم أعداد برنامج رياضي باستخدام الحاسبة لغرض ايجاد هذا الدفع وذلك باستخدام العلاقات الرياضية لموجة الصدمة ، وقوانين قياس سيدوف لصياغة انحلال ضغط البلازما المتمددة على سطح الهدف عند استمرار تدفق الحزمة الليزرية وتوقفها وتم حساب الدفع المنتقل للهدف ولمديات مختلفة من طاقات الحزمة الليزرية ولمساحة بقعة ليزرية متغيرة وامد نبضة ليزرية ثابت، ولمساحة هدف مقدارها ($19.6cm^2$). الشكل (3) يبين عملية المحاكاة لهذه المتغيرات مع المعادلات الرياضية المستخدمة والخاصة بنظرية العصف وعلاقات سيدوف الخاصة بانحلال ضغط البلازما المتمددة على سطح الهدف والذي يمثل تغير الدفع كدالة لطاقة الحزمة الليزرية ولأمد نبضة ليزرية مقدارها (20 µs) ولمساحة بقعة ليزرية ($0.1\ cm^2$) حيث تم استخدام العلاقة التالية لحساب شدة الحزمة الليزرية:-

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

والتي تستخدم في حساب سرعة موجة التفجير كما في المعادلة (7) وبالتالي حساب الضغط الفعال على سطح الهدف ومنه يحسب الدفع المتولد على سطح الهدف حيث تمثل المتغيرات في المعادلة (8)، A_S مساحة البقعة الليزرية، و$_P$ امد النبضة الليزرية و E طاقة الحزمة الليزرية {والشكل (3) يبين زيادة الدفع بزيادة طاقة الحزمة الليزرية، ولمساحة هدف محدد.

اما الشكل (4) فيمثل تغير الدفع كدالة لطاقة الحزمة الليزرية}. نتائج الدراسة النظرية وضعت في الشكل (3) والذي يبين ان قيمة الدفع المنتقل الى الهدف يزداد بزيادة طاقة الحزمة الليزريه التي تمتد بين (50-275 joule) والتي اعطت قيم دفع تتراوح بين (1650-6200 dyne.sec) عندما كانت مساحة البقعه الليزريه^2.0.1cm. وعندما ازدادت مساحة البقعه الليزريه الى ^{2}.0.4cm فان سلوك الدفع مع طاقة الحزمه الليزريه يبقى كما هو بشكل 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 الدراسة يمكن اختيار المعلمات المناسبة في حالة التطبيق العملي.

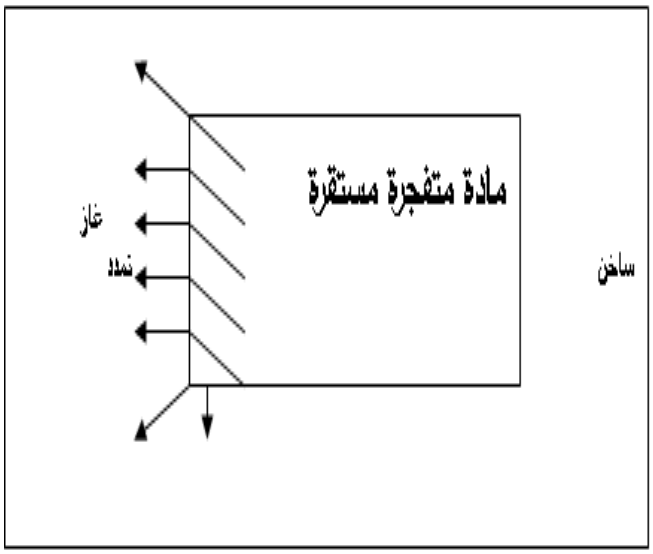
من خلال الدراسة النظرية لتأثير تغير طاقة ألحزمه الليزريه على الخصائص الميكانيكية لموجة التفجير (LSD) الناتجة عن تفاعل حزمه ليزريه عالية الشدة مع هدف محدد المساحة أمكن الحصول على قيم الدفع المنتقل إلى الهدف مقابل طاقة ألحزمه الليزريه باستخدام برنامج رياضي ولمساحة بقعه ليزريه متغيره وتبين بان الدفع يزداد 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

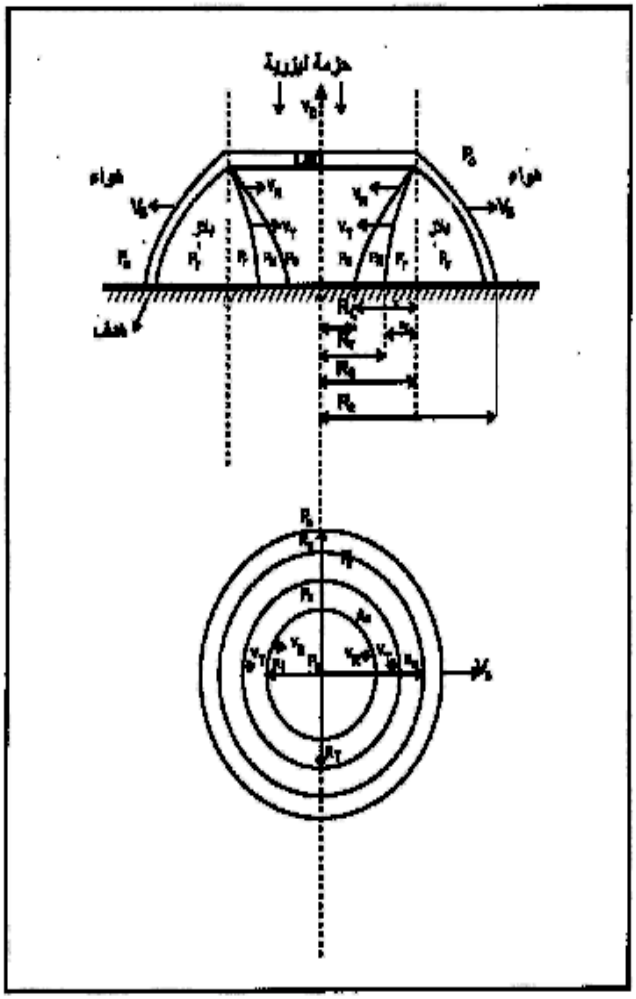
[1] Najmdum D.Z., thesis (2006) "Radiation Produced by High Energy Density can be Used a Diagnostic of The Relativistic Laser Radiation Interaction " Imperial College London Faculty of Phys. Scien , Phys. Dep. .

[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



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



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

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.

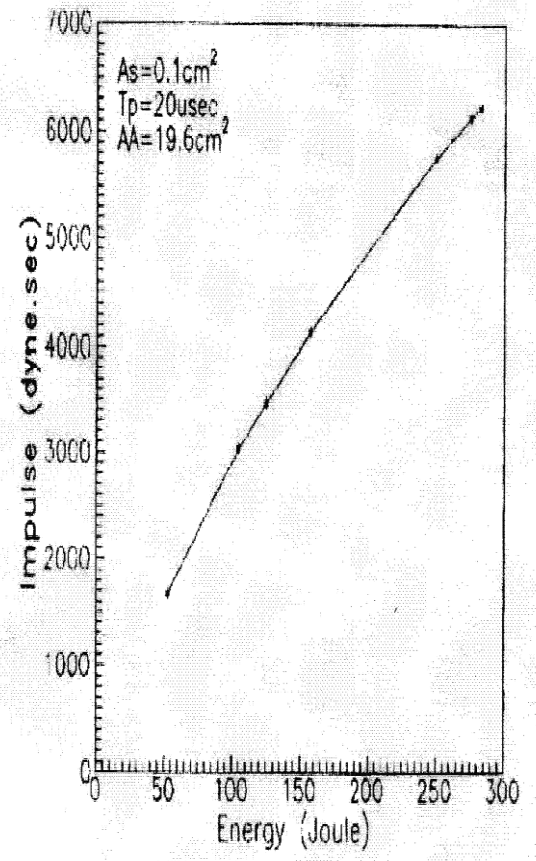
[6] Metz S. A. , Hettche L. R. , Stegman R. L. and Schriempf J. T. , (1975), " Effect of Beam intensity on Target response to High-Intensity Pulsed Co2 Laser Radiation " J. Appl. Phys., 46 . (4). pp.1634-1642.

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

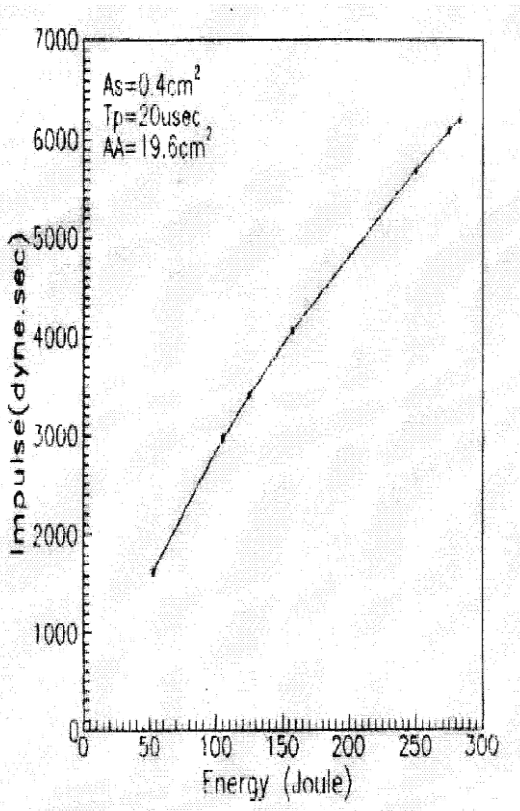
8- Reilly J.P. (1979), "Laser Metal Interaction in Vacuum" AIAA. Journal, 10 pp. 1098-1105.

P- ISSN 1991-8941 , E-ISSN 2706-6703
2007 ,(1), (2) :89-95

Open Access



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

P- ISSN 1991-8941 , E-ISSN 2706-6703 (*JUAPS*) مجلة جامعة الانبار للعلوم الصرفة Open Access
2007 ,(1), (2) :89-95

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.