

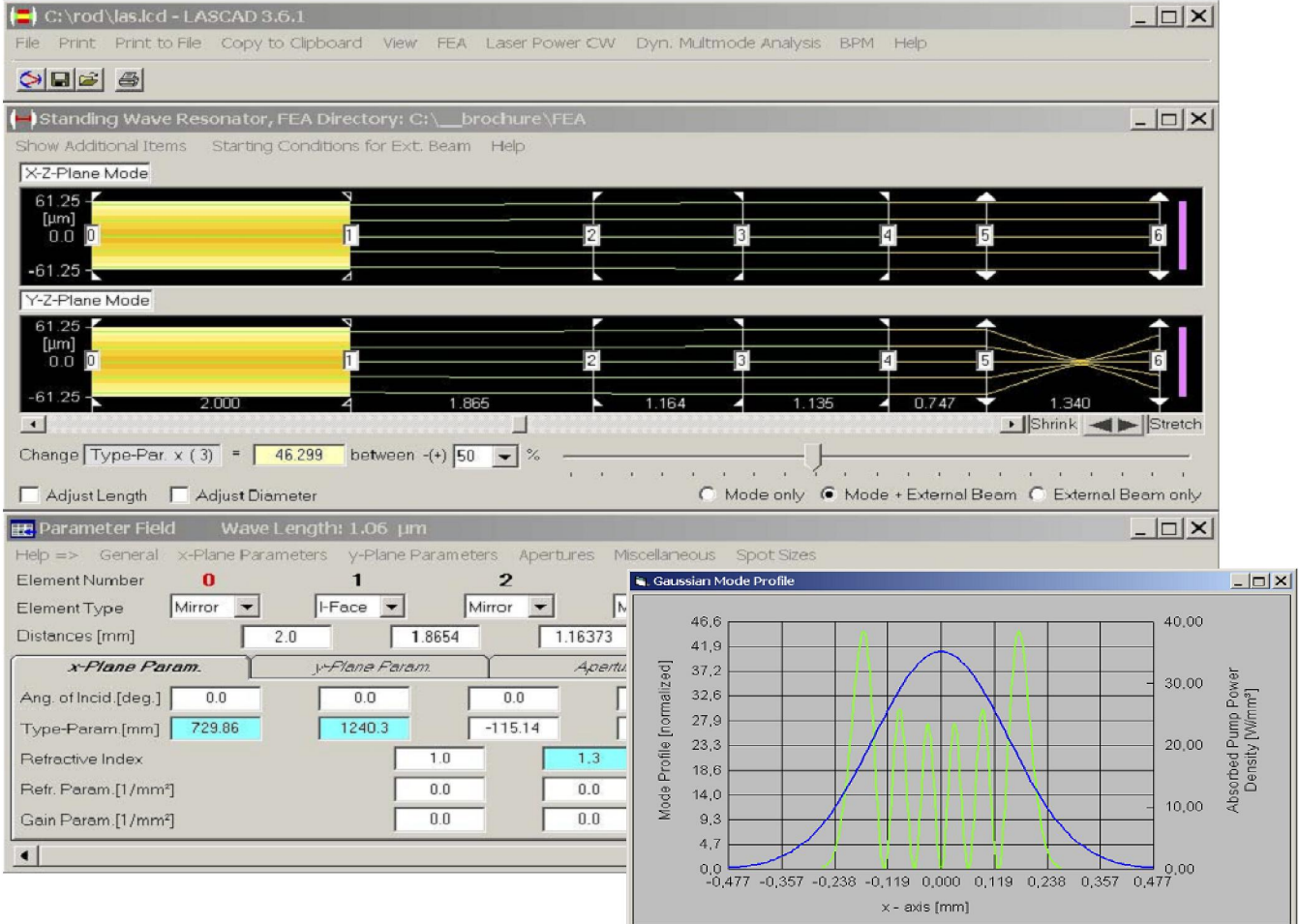
The unique combination of simulation tools for LASer Cavity Analysis and Design

مزيج فريد من أدوات المحاكاة لتحليل وتصميم ليزر الحالة الصلبة

خلال العشرين عاماً الماضية كانت LASCAD™ عبارة عن برنامج صناعي-جامعي في مرحلة تعليم، تصميم و صناعة الليزر. لقد ساعدنا الإقبال الكبير من مجتمع المستخدمين لهذا البرنامج على القيام بتصميم البنية الداخلية لليزر بشكل كبير جداً و الذي يشمل اكثر من ٣٠٠ مستخدم في ٤٠ دولة من العالم.

يُستخدم بشكل كلي في هذا البرنامج اربعة رموز من اجل المحاكاة و عملية إيجاد المعلمات الخاصة بالليزر و تحسينه :

- رمز تحليل عناصر الحد الهيكلي و حرارة كريستالات الليزر (FEA)
- رمز المصفوفة ABCD من اجل إنتشار شعاع الغاوسي
- رمز وظيفة التبديل Q و تحليل ديناميكي متعدد الأوضاع لليزر (DMA)
- رمز البصريات الفيزيائية بحسب طريقة إنتشار حزمة الأشعة بشكل ثلاثي الأبعاد (BPM).



الشكل ١- الواجهة الرسومية للمستخدم في برنامج LASCAD™

LASCAD™

سطح المكتب (العمل) الضوئي او المختبر الافتراضي فى الحاسوب

كما تشاهدون في الشكل رقم 1 فإن أكثر العروض اصالة هو البرنامج الليزري LASCAD™ المظهر لسطح المكتب داخل الحاسوب الخاص بكم والذي يتم تعريفه على انه الواجهة الرسومية للمستخدم. و من حيث ان هذا البرنامج لقد توسع و تطور داخل مجموعة من الأدوات الهندسية من اجل الوظيفة السهلة المنتشرة بحيث تسمح بشكل مستقيم بتصميم الرنانات الليزرية و تساعد المستخدمين ان يقوموا بتحضير و تحليل النتائج التجريبية بدون إضاعة وقتهم الثمين في قراءة و مطالعة الكتب المعقدة.

- العناصر البصرية مثل المرايا والعدسات أو البلورات يمكن أن يتم إضافتها، تركيبها جنباً إلى جنب، و تنظيمها أو حذفها بنقرة ماوس.
- يتم اخذ الإستجماتيزم في المران و بلورات الليزر بشكل اوماتيكي بعين الإعتبار.
- قائمة البرنامج التي تحتوي على رمز البنية التحليلية و الحرارية لمادة الليزر، رمز المصفوفة الغاوسي ABCD ، رمز تحليل وظيفة التبديل Q ، حساب ثبات الليزر و الإستطاعة الخرجية له.

LASCAD™

ادوات الليزر الهندسية

من اجل تصميم مران قوي، يواجه مهندس الليزر العديد من التقنيات التفاعلية و المسائل الفيزيائية. بسبب الميل الى تصغير النظام الليزري و في نفس الوقت زيادة الإستطاعة الخرجية لليزر بشكل متزامن، العدسة الحرارية تمتلك اهمية كبيرة. يتعلق هذا الاثر بشدة بمواصفات النظام مثل: المعلمات المادية، هندسة المران، توزيع و نشر الأشعة المنتشرة و التي تم ضخها و طريقة التبريد. بحسب المحاكاة العددية فإن آثار مثل محيط الإستفادة او المحيط الليزري الفعال، مقارنة موديلات و انواع مختلفة، تبديل (تحول) Q و آثار اخرى تقوم بالتحكم في جودة و كيفية الأشعة و منتوج الليزر، يقوم برنامج LASCAD™ بمنح فهم عددي الى مهندس الليزر من مواصفات التحسين في تصميم البنية الداخلية لليزر.

LASCAD™

الأداة التعليمية

على الرغم من ان هذا البرنامج قد تم تصميمه في البداية من اجل هندسة الليزر، ولكنه أيضاً رابط تصويري سهل الإستخدام للمستخدم، و يكون LASCAD™ مناسباً بشكل مثالي من اجل اهداف الطلاب التعليمية و أيضاً تمرين المهندسين و العلماء. و يكون هذا البرنامج مثل إختبار إفتراضي لليزر، و في الوقت الذي فيه العديد من الجامعات حيث لا يستطيع الطلاب فيها الحصول على إختبارات ليزرية و ليس هنالك مؤسسات إختبارات لصناعة الليزر في متناول ايديهم، فإن إستخدام او الإستفادة من هذا البرنامج بجانب كتبهم الدراسية المعقدة و التي تُصعب عملية فهم وظيفة الليزر عليهم، يعدامراً مهماً و مفيداً جداً. هنالك حالات قابلة للفهم بشكل مؤثر في هذا البرنامج مثل الاصول البصرية للشعاع الغاوسي، السلوك المعقد لتراتب الرنانات المختلفة، آثار العدسة الحرارية، البنى المختلفة للضخ، الإستطاعة و الطاقة الإنتاجية لليزر في الوظيفة المستمرة و المتبدلة Q، آثار وجود الفتحات ضمن المران، النماذج الخرجية لليزر، العوامل المتعلقة بكيفية و جودة الشعاع، طريقة تمرير الشعاع و إستقرار المران و غيره ضمن هذا البرنامج المهم.

تحليل العناصر المحدودة من التأثيرات الحرارية و الميكانيكية (FEA)

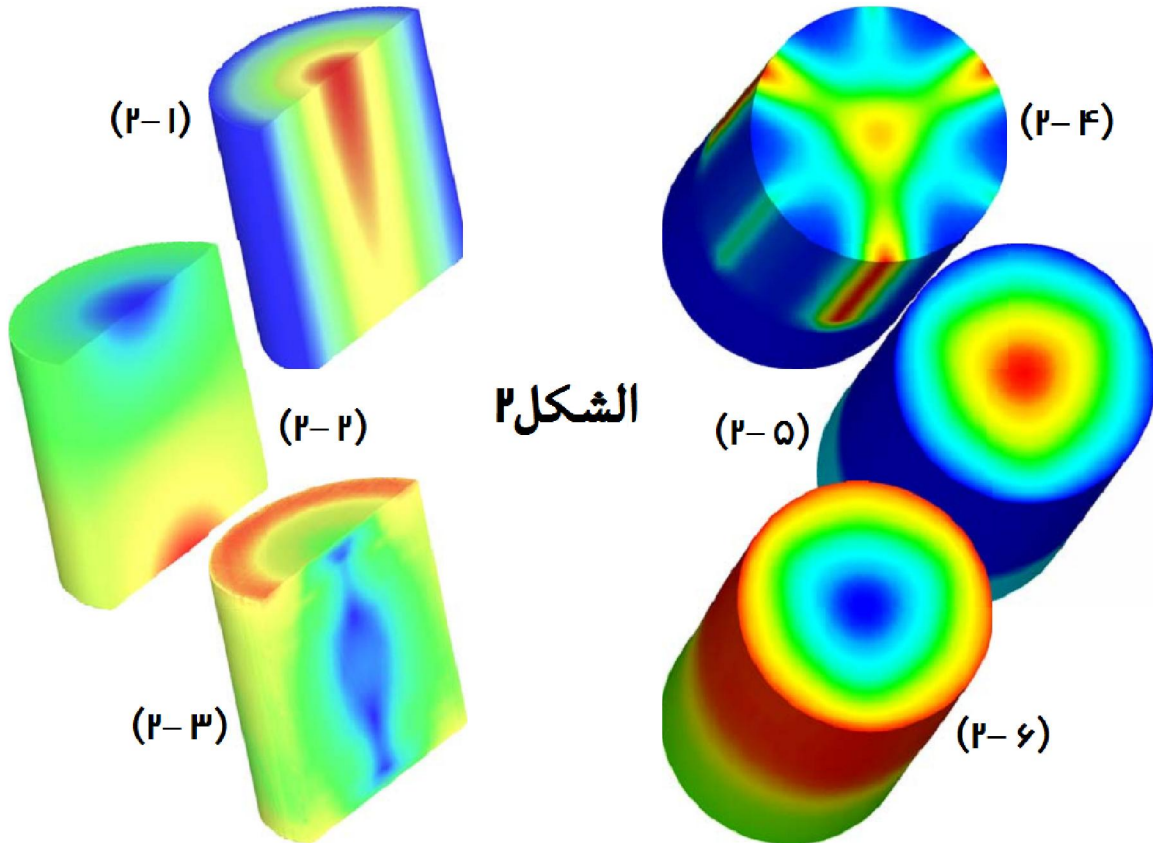
FEA يُستخدم من اجل حساب توزيع الحرارة، تغيير الشكل، التوتو و الضغط و بالطبع آلية الإنكسار في البلورات الليزرية. يقوم هذا الرمز باستخدام المعلمات المادية، و ترتيب الضخ و هندسة التبريد. FEA هو عبارة عن طريقة معروفة كعدد من اجل حل معادلات الفوارق الجزئية مثل معادلات التوصيل الحراري.

برنامج LASCAD™ من اجل إستخدام طريقة FEA في تصميم تجويف الليزر، النماذج التحليلية المصممة مسبقاً مثل الأنابيب الإسطوانية و الشفرات الخاصة بالضخ من الجانب و الضخ من الإنتهاء و يقوم بعرض اقراص ليزرية رفيعة تحتوي على ترتيبات مهمة. تُستخدم نماذج أيضاً من اجل بلورات تركيبية من مواد مختلفة او بلورات لا تحتوي بعض مناطقها على ايونات فعالة. يستطيع المستخدم في بعض الحالات مثل: الأبعاد، الربط، شروط الحدود وغيرها من المعالم في هذه النماذج ان يُجري التغييرات التي يرغب بها. إنتاج الشبكة التلقائية، إستخدام FEA للمهندسين الذين ليسوا على دراية بهذا الأسلوب أيضاً يُعد امراً سهلاً. أيضاً يمكن الأخذ بعين الإعتبار إرتباط الحرارة للمعاملات (المعلمات) المادية بإستخدام عبارات تحليلية التي تم إنتاجها بواسطة المستخدم.

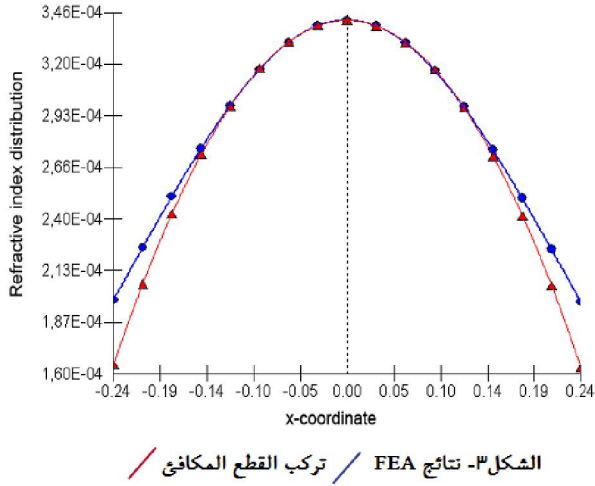
و في هذا الصدد فإن كثافة إستطاعة الضخ المجذوبة في المادة الفعالة تمتلك دوراً مهماً من اجل إجراء و تنفيذ هذا الرمز و الذي يتضمن النماذج الإفتراضية الخاصة بنفس البرنامج باستخدام التقريب التحليلي للتوابع السوبرغوسية التي يمكن حسابها بسهولة. في صناعة النماذج العددية لنشر و توزيع الضوء الذي تم إمتصاص ذيله أيضاً، إستفيد LASCAD™ من برنامجين ZEMAX و TracePro بإستخدام عملية تمرير الأشعة. تقوم هذه البرامج بإنتاج مجموعة من المعطيات ثلاثية الابعاد من كثافة إستطاعة الضخ المجذوبة و التي يمكنها ان تُستخدم كعنوان إدخال من اجل LASCAD™.

يتم ذكر هذه النقطة من اجل تبرير ان تصميم العدد الضوئي للضخ المجذوب بواسطة هذين البرنامجين البصريين الخاص بالليزر التي تم ضخها بواسطة مصباح فلاش او ترتيب الضخ يعد غير عادي.

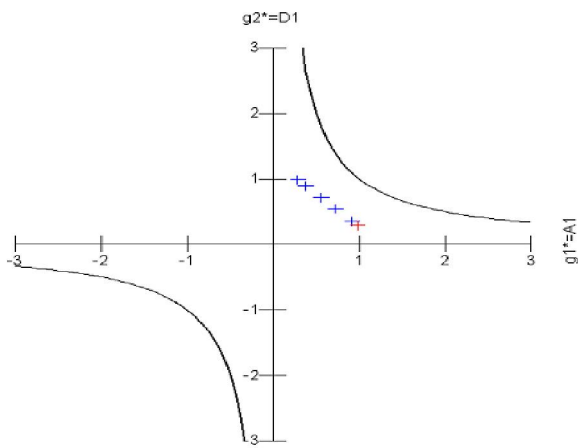
سنعرض هنا عدة نماذج تصويرية من قضيب محاكاة باستخدام FEA في برنامج LASCAD™. الأشكال (P-1)، (P-2) و (P-3) بالترتيب حسب توزيع درجة الحرارة، تغيير الشكل و شدة التوتر في قضيب اسطواني للضخ من انتهائه و الأشكال (P-4)، (P-5) و (P-6) أيضاً تظهر مرتبة بحسب كثافة إستطاعة الضخ المجذوبة، توزيع درجة الحرارة و المُشكلات (المكونات) ZZ موتر او مولد التوتر في قضيب للضخ من جانبه.



طريقة المصفوفة الغاوسية ABCD



وقت استخدام نتائج FEA مع استخدام رمز المصفوفة ABCD، عبارة عن حاصل ضرب توزيع الحرارة و ضرب الإنكسار المتعلق بالحرارة، ومكافئ بزواوية قائمة (٩٠ درجة) على المحور البصري، وفقاً لما هو موجود في الشكل ٣ فإنها تتمدد وتتداخل مع بعضها البعض. ولذلك يتم استخدام هذا التراكب من شبكة العناصر المحدودة المقسمة على طول وفي عمود على محور العدسة. وبطريقة مشابهة، فإن تراكب ما من السطوح الإنتهائية التي تغير شكلها يتم إنجازها من البلورة. في التراكب والهيكل مثل قضبان تم ضخها من النهاية، يقوم هذا التقريب منح نتائج مقبولة من أجل نموذج مخرج الليزر.

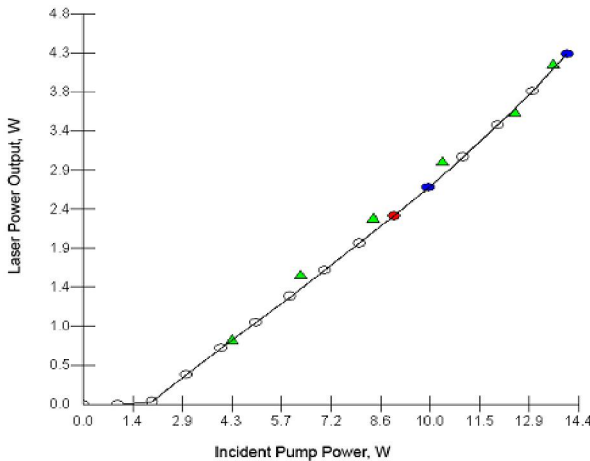


الشكل ٤- الرسم البياني للإستقرار و الثبات

من أجل تصور نتائج طريقة المصفوفة ABCD يتم عرض قياس بقعة النموذج الأصلي و أيضاً عدة جمل من هرميت-غاوسي من المراتب العليا على طول المحور x، يمكن مشاهدة التراكب بين اشعة المضخة و النماذج العرضية لليزر كما هي موضحة في الشكل ١ داخل البلورة. من أجل حساب الحسابات غير النقطية بشكل متزامن في كلتا الصفحتين العموديتين على محور المرنان. في حالة مرنان الأمواج الدائمة، هنالك رسم بياني للثبات و الإستقرار بحسب المعلمات g و الذي يمكن حسابه و عرضه مثل الشكل ٤.

تستخدم النماذج الغاوسية الناتجة و كثافة إستطاعة الضخ المجذوبة من أجل تحليل CW و أيضاً كعلامة وضع لسلك العابر لليزر.

السلوك المستمر لليزر (CW)



الشكل ٥- إستطاعة الليزر الإنتاجية (الخروجية)

تعتبر اداة مباشرة من أجل وظيفة الليزر المستمرة في هذا البرنامج حيث تقوم بحساب الإستطاعة الخارجة للنموذج الأصلي و تقريباً وظيفة عدة نماذج. كما و ينتج حل معادلات إصدار ثلاثي الأبعاد مستقل عن زمان الليزر عن طريق اخذ تكامل تكراري في انحاء حجم البلورة. الشكل ٥ عبارة عن مثال يظهر نتائج لليزر Nd:YAG الذي تم ضخه و دفعه من نهايته. تقوم الدوائر بإظهار نتائج المحاكاة عن طريق هذا البرنامج و تكون هناك مثلثات صغيرة خضراء اللون تمثل نتائج قياس حقيقية في الإختبار. انظروا الى الفقرة التي تؤيد صحة النتائج.

السلوك العابر لليزر (التبديل Q)

من أجل تحليل السلوك العابر (العبوري) لليزر، يقوم LASCAD™ بتحضير اداة من أجل تحليل ديناميكي بعدة نماذج و وظيفة التبديل Q (DMA). و من أجل هذا الغرض فإن معادلات المعدل المرتبطة بزمان المؤهل او الواصف لأعداد الفوتونات في مجموعة تم تعيينها مسبقاً خاصة بالنماذج العرضية الغاوسية، و يتم حلهم بإستخدام الحلال الخاص بالعناصر المحدودة.

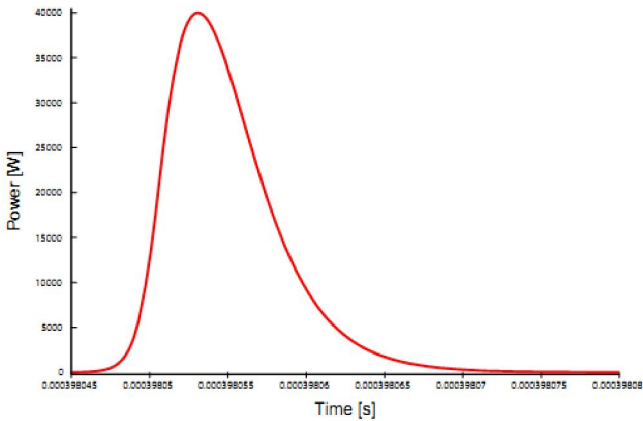
تؤمن الطريقة وصف جزئي من مراقبة النموذج، الإستطاعة الإنتاجية (الخروجية)، جودة و كفاءة الشعاع و شكل النبض. من المعروف ان نتائج هذا القسم ايضاً عبارة عن نتائج تجريبية ضمن توافق جيد. انظروا الى فقرة تأييد صحة النتائج.

رمز التحليل متعدد النماذج الديناميكية (DMA) و يحتوي على الخصائص المهمة التالية في الأسفل:

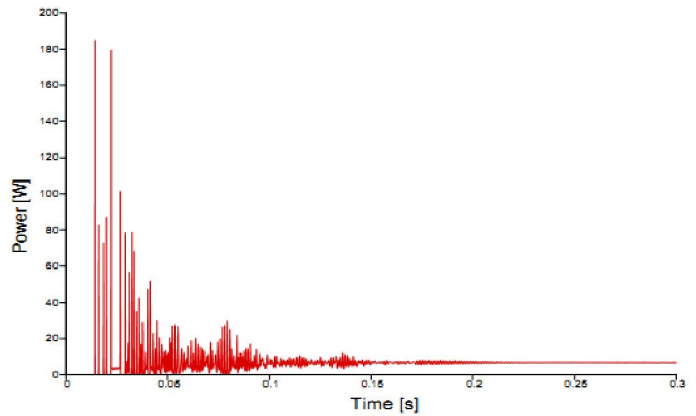
- حساب شكل النبض و الإستطاعة الإنتاجية (الخروجية) المتعلقة بالزمان من اجل الليزر التي تم تبديلها Q مع إصدار التكرار العلوي و ايضاً وظيفة النبض الأحادي
- حساب الإستطاعة الإنتاجية للنماذج العرضية من اجل الوظيفة المستمرة و تبديل Q
- حساب كفاءة الشعاع M^2 من اجل وظيفة مستمرة و تبديلية Q
- مرايا تقوم بالإخراج مع ملف الإنعكاس الغاوسي و السورغاوسي
- اثر فتحات الحافة الحادة و الغاوسية على كفاءة و جودة الشعاع.

الشكل ٤ يوضح مثالاً عن الإستطاعة الناتجة خلال فترة الزمان و الذي نتج بواسطة الرمز DMA. و من حيث ان الحساب مع الكثافة المعكوسة للتعداد $N(x,y,z,t=0) = 0$ يبدأ عمل و سلوك متقطع جداً يتم مشاهدته في البداية حيث تنخفض قدرته مع مرور الوقت و يصل في النهاية الى مقدار ثابت.

الشكل ٧ يمثل نتيجة من شكل نبض للنوع الذي ينتج من الرمز DMA .



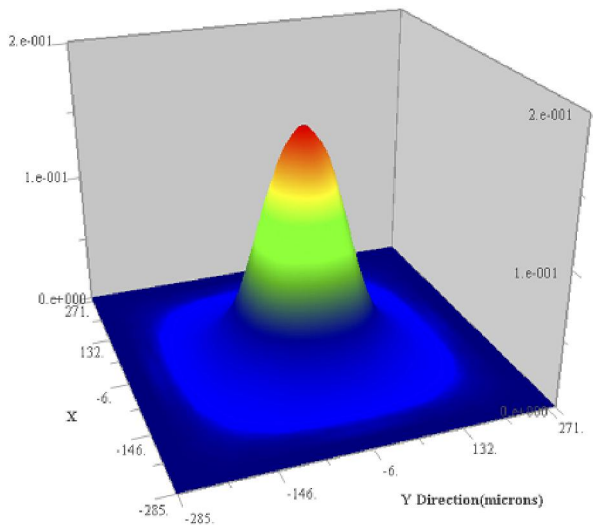
الشكل ٧- نتيجة شكل النبض DMA



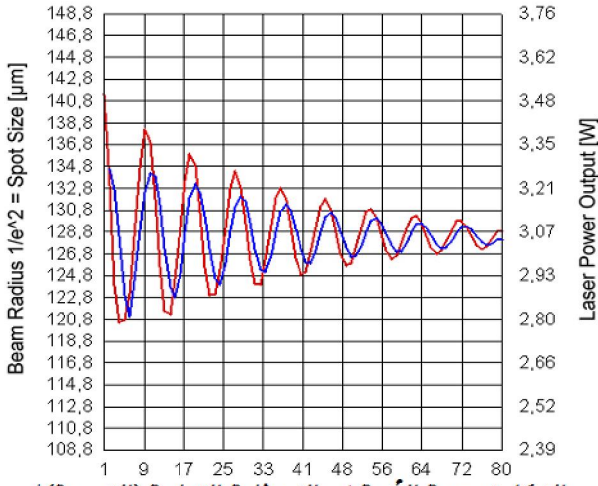
الشكل ٤- الإستطاعة الإنتاجية (الخروجية) DMA خلال الفترة الزمنية

الطريقة البصرية الفيزيائية

في الحالات التي يكون فيها رمز المصفوفة ABCD و تقريب القطع المكافئ غير كافيان، يمكن ان تُستخدم نتائج FEA كعنوان إدخال من اجل رمز بصري فيزيائي. ينتج رمز المحاكاة هذا و الذي يكون بشكل ثلاثي الأبعاد من تراكب جبهة من الموج الإنتشاري من خلال البلورة بدون استخدام التقريب القطعي المكافئ. و من اجل هذا الغرض يستخدم الرمز المراد ما هو عبارة عن طريقة إنتشار خطوة بخطوة للشعاع (Beam Propagation Method) من اجل إنتشار جبهة الأمواج خلال الخطوات الصغيرة من بين البلورة الحارة التي تغير شكلها. BPM يقوم بالأخذ بعين الإعتبار توزيع ضريب (درجة) الإنكسار الموضعي و ايضاً الأوجه التي تغير شكلها الإنتهائية للبلورة و التي تنتج بواسطة الرمز FEA.



الشكل ٨- الملف الشخصي ثلاثي الأبعاد BPM



الشكل ٩ - حزمة الأشعة / و الإستطاعة الإنتاجية (الخروجية) /
بحسب الذهاب والإياب المتعدد داخل المرنان

و إستناداً الى مبدأ فوكس و لي (Fox and Li) يتم تنفيذ مجموعة من الذهاب و الإياب المتعدد على طول المرنان و التي في النهاية تتقارب الى النموذج الأصلي او تراكب معين من النماذج العرضية من المراتب الأعلى .

عندما تكون حسابات BPM قيد التنفيذ، تُفتح نافذتان تصويريتان. تقوم إحداهما بإظهار الملف الشخصي للشدة في مكان المرآة الخرجية و الذي يتوسع و يتغير مع إزدياد تعداد الذهاب و الإياب . و مثلاً على ذلك يمكن مشاهدته في الشكل ٨ . نافذة اخرى تقوم بإظهار تقارب قياس بقعة الليزر مع إزدياد التكرارات داخل المرنان و في نفس الوقت تقوم بإظهار الإستطاعة الخرجية المحسوبة. إرجعوا الى الشكل ٩ . تكون النافذة الثالثة و التي تظهر كيفية و جودة الشعاع قابلة للفتح ايضاً .

اداة BPM قادرة على الحساب بشكل مجموعة خاصة من مقادير المرنان و شكل خاص للنماذج العرضية .

و تأخذ اداة BPM بعين الإعتبار آثار الحيود و الإستفادة الديناميكية بسبب البسط المحدود للمرايا و الفتحات من الناحية الفيزيائية اكثر من الرمز DMA . الخاصية المهمة الأخرى لهذا الرمز هي محاكاة آثار عدم توازن المرنان او إختلال المرايا .

تأييد النتائج

استخدمت مجموعة الليزر للأستاذ والنستن في جامعة كايزرسلاوترن في ألمانيا في سنوات متوالية هذا البرنامج لتحليل و تحسين تعامل بلور تركيب في الليزر عالية الطاقة للضخ مع صمام ثنائي بحيث أيد مجموعة من القياسات و النتائج لتكوين الشبه حتى درجة عالية . شاهدوا الشكل ٥ . اشتركت في الوقت الحاضر شركة LAS-CAD GmbH في مشروع بحث تكوين الشبه و محسّن نُظْم الليزر الإبداعى الملعوم من قبل الحكومة . بحيث أن هذه الشركة تتعاون مع سبعة منتجين ليزر في ألمانيا، جامعة ارلانجن و مختبر الليزر في جوتينجن في ألمانيا لتوسعة اداة جديدة في المحاكاة العددية لتجوير الليزر. نتيجة مهمة من هذا التعاون هو برنامج جديد بأسم DMA و الذي تمت الإشارة اليه في الأعلى . تم إثبات النتائج العددية الناتجة مع هذا الرمز بشكل تجريبي ضمن التعاون مع الشركة الليزرية InnoLas في ألمانيا و التي كما وُصفت في المقالة السابقة .

Dynamic multimode analysis of Q-switched solid state laser cavities in Optics Express, Vol. 17, 17303-17316 (2009)

واحد من المشاريع التحقيقية الأخرى هي توسع طريقة FEA من اجل الحل الديناميكي ثلاثي الأبعاد لمعادلات الحقل الإلكترومغناطيسي ضمن مرنان . ما . تم عرض النتائج الأولية عام ٢٠٠٩ في Photonics West و تحت عنوان:

Finite element simulation of solid state laser resonators in Proceedings of SPIE Vol. 7194-16 (2009).

للاتصال و الشراء مع المهندس حسيني ممثل عملية البيع في البلاد العربية:

www.designlasers.com/info@designlasers.com

للاتصال بموقع الشركة في ألمانيا و الدكتور آلتمن مصمم البرنامج:

<http://www.las-cad.com>

E-Mail: info@las-cad.com E-Mail: Dr.Altmann@las-cad.com

Phone: +49 89 173607