



أساسيات وتطبيقات الليزر

تأليف

ج . ويلسون ج . ف . ب . هوكس

المعهد التقني في نيوكاسل - قسم الفيزياء

ترجمة

الدكتور محمد بن صالح الصالحى الدكتور عبد الله بن صالح الضويان

أستاذ مشارك أستاذ مشارك

قسم الفيزياء والفلك - كلية العلوم - جامعة الملك سعود

الطبعة الثانية

النشر العلمي والمطابع - جامعة الملك سعود

ص.ب. ٦٨٩٥٣ - الرياض ١١٥٣٧ - المملكة العربية السعودية



ح) جامعة الملك سعود ١٤٢٨هـ (٢٠٠٧م)

الطبعة الأولى ١٤٢٤هـ (٢٠٠٣م)

الطبعة الثانية ١٤٢٨هـ (٢٠٠٧م)

هذه ترجمة عربية مصرح بها من مركز الترجمة بالجامعة لكتاب:

Lasers: principles and applications.

By: J. Wilson and J. F. B. Hawkes

Published by: © 1992, Prentice Hall, Europe, Campus 400, Maylands Avenue, Hemel Hempstead, Hertfordshire HP27EZ

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

ويلسون. ج

أساسيات وتطبيقات الليزر. /ج. ويلسون، ج.ف.ب. هوكس؛ محمد بن صالح

الصالح، عبدالله بن صالح الضويان. - ط ٢. - الرياض، ١٤٢٨هـ

٤٩٧ ص، ١٧ × ٢٤ سم

ردمك ٨-١٩٦-٥٥-٩٩٦٠-٩٧٨

١- أشعة الليزر أ. هوكس، ج.ف.ب. (مؤلف مشارك) ب. الصالح محمد بن

صالح (مترجم) ج. الضويان، عبدالله بن صالح (مترجم). د. العنوان

١٤٢٨/٦٢٦٨

ديوي ٦٢١.٣٦٦

رقم الإيداع: ١٤٢٨/٦٢٦٨

حكمت هذا الكتاب لجنة متخصصة شكلها المجلس العلمي بالجامعة، وقد وافق المجلس

على إعادة طباعة الكتاب في اجتماعه التاسع عشر للعام الدراسي ١٤٢٧/١٤٢٨هـ

المعقود بتاريخ ١٤٢٨/٦/٩هـ الموافق ٢٤/٦/٢٠٠٧م.

النشر العلمي والمطابع ١٤٢٨هـ



مقدمة الطبعة الثانية من الترجمة

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على نبينا محمد وعلى آله وصحبه أجمعين، وبعد :
فهذه الطبعة الثانية من ترجمة كتاب "مبادئ الليزرزات وتطبيقاتها" لمؤلفيه "ج . ويلسون وج . ف. ب . هوكس" الذي قامت بطباعته مشكورة جامعة الملك سعود. وقد نفذت نُسَخ الطبعة الأولى بعد أن لاقت قبولاً لدى المهتمين من الأساتذة والطلاب والطالبات. ونظراً للحاجة الماسة لإعادة طباعة هذه الترجمة وبعد مراجعتنا لها وملاحظة بعض الأخطاء المطبعية فيها، فقد رأينا إعادة طباعتها مجدداً بعد تنقيحها وإخراجها بشكل أفضل تحت عنوان "أساسيات وتطبيقات الليزرز". وكلنا أمل أن تجد هذه الطبعة قبولاً من المهتمين ممن لم يطلعوا على الطبعة الأولى راجين منهم تزويدنا بأي ملاحظات ترفع من مستوى الترجمة ومظهر الكتاب.

والله نسال أن يوفق الجميع لما فيه دعم المكتبة العربية من الكتب و المراجع العلمية و التقنية المتخصصة.

وصلى الله وسلم على نبينا محمد وآله وصحبه، ، ، ،

المترجمان

الرياض، الرابع من جمادى الأولى للعام ١٤٢٨ من الهجرة النبوية ،

٢١ مايو ٢٠٠٧م

مقدمة المترجمين

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على نبينا محمد وعلى آله وصحبه أجمعين ،
وبعد :

فإن مجال الليزر أصبح اليوم من المجالات المهمة في جميع جوانب الحياة المختلفة ، حيث أدى ظهور الليزر إلى إحداث طفرة علمية وتقنية. وقد أطلعنا خلال تدريسنا لمقرر فيزياء الليزر وتطبيقاته ، على كتب عديدة تعرض هذا الموضوع من جوانب مختلفة ، إلا أننا وجدنا كتاب "أساسيات وتطبيقات الليزر" لمؤلفيه " ج . ويلسون و ج . ف . ب . هوكس " مناسباً؛ حيث أنه يختلف عن نظائره بشمول وبساطة العرض ، دون التعمق بالتفصيلات الرياضية المعقدة ، ويعطي القارئ غير المتخصص فكرة مبسطة عن الليزر وخصائصه وأهم تطبيقاته واستعمالاته.

وقد برزت فكرة ترجمة هذا الكتاب حتى يغطي مفردات مقرر "فيزياء الليزر وتطبيقاته" الذي يدرس لطلاب الفيزياء في كلية العلوم بجامعة الملك سعود ، أو المقررات المشابهة في الجامعات الأخرى.

ولقد اعتمدنا في هذه الترجمة على "المعجم الموحد للمصطلحات العلمية" والصادر عن المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم عام ١٩٧٧م ، وذلك مع أكثر المصطلحات ، واجتهدنا في وضع مصطلحات جديدة لما لم نجد لها في المعجم.

ولابد من الإشارة إلى حاجة المكتبة العربية الماسة إلى كتب علمية متخصصة ، وفي مجالات مستجدة كالليزر ، وإلى مراجع علمية تساعد الطلاب في تحصيلهم العلمي.

لذا نأمل أن تكون هذه الترجمة إضافة جديدة إلى المكتبة العربية بغية توفير المزيد من المراجع العلمية لطلابنا الناطقين بالضاد. نسأل الله التوفيق لما فيه خير أمتنا. وصلى الله وسلم على نبينا محمد وآله وصحبه.

المرحمان

مقدمة المؤلفين

لقد مضى الآن أكثر من خمسة وعشرين عاماً على اختراع الليزر باستخدام بلورة الياقوت كوسط ليزري. ومنذ ذلك الوقت لم يقتصر الليزر على مجرد ذكره في حديثنا اليومي بل أخذ في التطور من حالة الفضول العلمي المحدود الاستعمال إلى أن أصبح أحد أهم الاختراعات في زماننا.

يعد الليزر الآن أداة مهمة في مجالات مختلفة كالصناعة والطب، ويمثل الأداة الأساسية في أنظمة الاتصالات والهولوجرافي، وكذلك فهو القاعدة الصلبة لعديد من القياسات العلمية والبرامج البحثية.

يستخدم الليزر هنا كمصطلح عام لأنواع مختلفة من الليزر ذات الخصائص المختلفة. وعلى أية حال، فجميع الليزر تبعث إشعاعاً له مميزات خاصة؛ مما يساعد في استخدامها على نطاق واسع من التطبيقات بخلاف مصادر الضوء العادية.

على ضوء التطبيقات الواسعة لليزر، تتضح حاجة المستعملين له من غير الفيزيائيين لاكتساب معلومات جديدة عن الليزر، حتى يتسنى لهم فهم التطبيقات المعينة التي تهمهم، وكذلك إدراك مميزات وحدود استعمال الليزر. هذه المعرفة سوف تمكنهم بالطبع من إجراء اختيار رشيد لليزر والمركبات المساعدة الأخرى التي يرغبون شراءها. وتضم قائمة المستعملين كلاً من: المهندسين الميكانيكيين، ومختصي الإلكترونيات، والمهندسين المدنيين، ومهندسي الاتصالات، والكيميائيين، وعلماء الحياة، والجراحين، والعسكريين والفنانين.

حاولنا في هذا الكتاب أن نعالج الليزر بطريقة تناسب حاجة القطاع الواسع من المستعملين ، وهو كذلك يعد - على المستوى الأكاديمي - المطابق للمستوى الثاني في برامج الشهادات ، ويمكن أن يستفيد منه الطلاب الذين يأخذون مقرراً تمهيدياً في الليزر. ويتضح لدى القارئ أن هذا الكتاب لا يعطي معالجة ميكانيكية كمية شاملة لنظرية الليزر ، ولكنه مع ذلك يقدم مناقشة تفصيلية أكثر من ذلك الاستعراض المختصر الموجود في عديد من كتب الضوء الحديثة. لهذا نأمل أن يكون هذا الكتاب أساساً قوياً لدراسة أكثر الكتب المتقدمة المثبتة في المراجع.

يغطي الفصل الأول أساسيات فيزياء الليزر ، بينما يوضح الفصل الثاني مبدأ عمل أنواع مختلفة من الليزر. ولضيق المكان فقد استبعدنا التغطية الشاملة ، وبدون شك ، فقد أهملنا الحديث عن نوع أو نوعين من الليزر التي ستصبح مهمة في المستقبل. ومع ذلك فكما نعتقد ، فإن فهم هذين الفصلين سوف يمكن القارئ من إدراك عمل ليزر المستقبل.

يناقش الفصل الثالث خصائص أشعة الليزر ، والذي يبنى عليه فهم فائدة هذه الليزر وتطبيقاتها المتعددة ، ونأمل أن يساعد هذا الفصل القارئ في أن يتكرر تطبيقات أخرى جديدة في مجالات متعددة. وكذلك يشرح هذا الفصل بعض الطرق المستخدمة في تعديل خرج الليزر لغرض تعزيز فوائده.

ولما تتميز به أشعة الليزر من خصائص فريدة - من حيث إنه يمكن تركيزها في بقعة صغيرة جداً مما يجعل كثافة الطاقة عالية في تلك البقعة - لذا فالفصل الخامس يغطي بعض التطبيقات التي تعتمد على هذه الخاصية ، وهذه التطبيقات تمتد من قطع لحام الصفائح المعدنية إلى كونها بديلاً عن مشرط الجراح. وفي هذا الفصل ، أعطينا عدداً من المعادلات المفيدة ، مع العلم أن المكان لا يسمح بشيء من التفصيل والاشتقاق لهذه المعادلات ، وغالباً قد لا يساعد هذا الاشتقاق في فهم التطبيقات

المتعلقة، وللقارئ المهتم بهذه الاشتقاقيات الرياضية، فقد زودت الفصول بمراجع كاملة.

في الفصل السادس أعطينا وصفاً رياضياً للهولوجرافي وبعضاً من تطبيقاته، ومن الواضح أن هذه التطبيقات أصبحت تزداد بصورة مستمرة، بعدما كانت بطيئة في البداية. وعلى الرغم من عدم إيراد تفصيل أكثر في هذا الفصل؛ إلا أنه من المؤمل أن يتشجع بعض القراء للغوص في أعماق هذا الموضوع الشيق.

وأخيراً ففي الفصل السابع تحدثنا عن عمل الليزر في الاتصالات الضوئية. وقد شمل هذا الفصل الحديث عن الطباعة بالليزر، أنظمة الأقراص الضوئية، وأكثر من ذلك الحديث عن الاتصالات بالألياف الضوئية التي زادت بشكل كبير خلال السنوات الماضية.

لقد زدنا هذا الكتاب بعدد من الأمثلة المحلولة التي نأمل أن تساعد في فهم واستعمال المعادلات المعطاة، وكذلك قدمنا بعض القيم النموذجية لعدد من المتغيرات، مما يساعد القارئ على الاستمتاع بهذا الكتاب.

وفي نهاية كل فصل يوجد عدد من الأسئلة التي أعطيت حلولها العددية في الملحق (١) أما الملحق (٢) فيعطي قائمة بالثوابت الفيزيائية.

وفي نهاية كل فصل أعطيت بعض المراجع التي تشمل اقتراحات لقراءات إضافية ومراجع معينة لبعض النقاط المتعددة في الكتاب.

وأخيراً نقدم شكرنا الجزيل إلى جميع زملائنا، وبخاصة الدكتور آي. دي لا تيمير، وذلك لاهتمامهم واقتراحاتهم ومناقشتهم القيمة، وشكر السيدة بات على طباعتها لأصل الكتاب وكذلك لعائلتنا لما قدموه من تشجيع وصبر خلال إعداد هذا الكتاب.

دلالات الرموز

لقد حرصنا بقدر الإمكان على استعمال الرموز الشائعة الاستعمال لجميع المتغيرات الفيزيائية المطلوبة، وبدون شك فكثير من الرموز مزدوجة المعنى، ولذا فعلى القارئ ملاحظة الأبعاد وسياق المعنى الموجودة فيه.

A المساحة، معدل الانتقال التلقائي (A_{21}).

a نصف قطر الليف الضوئي .

B معامل أينشتاين (B_{12} , B_{21}) معدل سرعة المعلومة .

C السعة، سعة الحرارة النوعية .

c سرعة الضوء .

d المسافة .

D القطر، الكثافة الضوئية .

Ĉ سعة المجال الكهربائي .

E الطاقة، فجوة الطاقة (E_g) .

e شحنة الإلكترون .

F رقم F للعدسة .

f تردد التضمين، البعد البؤري .

G الكسب .

g دالة خط الطيف $g(\nu)$

H	انسياب الحرارة لكل وحدة مساحة .
h	ثابت بلانك .
\hbar	$\hbar = h/2\pi$
I	الكثافة الإشعاعية .
i, I	التيار ، $\sqrt{-1}$
ζ	العدد الدوراني الكمي الجزئي .
J	كمية الاندفاع الكلي .
κ	معامل الحيود .
K	التوصيلية الحرارية ، معامل تظهير الفيلم .
k, \mathbf{k}	متجه الوحدة ، معامل كسب الإشارة الصغير ، معامل عتبة الكسب (k_{th}) ، ثابت بولتزمان ، متجه الموجة .
L	طول التجويف ، كمية الحركة الزاوية ، طول الترابط (L_c) ، طول الانتشار الحراري (L_p) ، الحرارة الكامنة للانصهار (L_f) والتبخير (L_v) .
l	رقم النمط .
M	الكتلة .
m	الكتلة ، رقم النمط .
\mathcal{N}	كثافة الفوتونات .
N	عدد الأنماط ، الكثافة العددية .
NA	الفتحة الرقمية (العددية) .
n	تركيز الإلكترونات ، تركيز الحاملات الذاتية (n_i) ، معامل الانكسار .
P	القدرة ، الاستقطاب الكهربائي ، الضغط .
p	رقم النمط المحوري ، تركيز الثقوب .

دلالات الرموز

س

معامل النوعية .	Q
رقم النمط المستعرض ، رتبة الطيف .	q
المقاومة الكهربية ، العاكسية ، نسبة معدل الانبعاث التلقائي إلى معدل الانبعاث المحثوث.	R
ثابت ريديبرج .	R _H
نصف قطر الانحناء ، رقم النمط المستعرض .	r
كمية الحركة المغزلية .	S
البعد الهديبي .	s
النفاذية ، درجة الحرارة .	T
الزمن ، زمن الترابط (t _c) ، سعة النفاذية .	t
سعة المجال الكهربائي (المركب) .	U
التلامس ، الكمون (V ₀) ، الجهد ، معامل الليف البصري (V) .	V
السرعة ، سرعة المجموعة (v _g) ، العدد الكمي الجزئي الاهتزازي .	v
القدرة .	W
معامل عرض شعاع الليزر .	w
معامل الامتصاص ، زاوية .	α
عامل الطور .	β
معامل الفقد ، دالة الترابط المشترك (γ ₁₂) ، منحنى معامل الانكسار لليف البصري ، نسبة طاقة الإلكترون إلى طاقة السكون ، معامل كثافة الفيلم الفوتوجرافي.	γ
معامل الانكسار النسبي لليف الضوئي .	Δ

δ	زاوية الطور .
ϵ_0	السماحية الكهربائية للفراغ الحر .
θ	زاوية ، زاوية بروستر (θ_B) .
x	الانتشارية الحرارية .
λ	طول موجة الضوء .
μ_0	النفاذية المغناطيسية للفراغ .
ν	تردد الموجة الضوئية .
ρ	كثافة المادة ، كثافة طاقة الإشعاع .
τ	زمن البقاء ، الزمن .
Φ	زاوية الطور ، دالة الشغل ، فتحة العدسة .
χ	القابلية الكهربائية .
Ψ	معامل الطور .
Ω	السرعة الزاوية .
ω	التردد الزاوي .

المحتويات

الصفحة	
هـ	مقدمة الطبعة الثانية.....
ز	مقدمة المترجمين.....
ط	مقدمة المؤلفين.....
م	دلالات الرموز.....
ف	المحتويات.....
١	الفصل الأول : أساسيات الليزر.....
١	(١,١) طبيعة الضوء.....
١١	(١,٢) انبعاث الضوء وامتصاصه.....
١٥	(١,٣) تفاعل الإشعاع والمادة.....
١٧	(١,٤) علاقات أينشتاين.....
٢١	(١,٥) معامل الكسب.....
٢٥	(١,٦) بلوغ التوزع المعكوس.....
٢٩	(١,٧) الرنانات الضوئية.....
٣٤	(١,٨) معامل عتبة الكسب.....
٣٧	(١,٩) دالة خط الطيف.....

- ٤٠..... (١,١٠) أنماط الليزر .
- ٤٠..... (١,١٠,١) الأنماط المحورية .
- ٤٤..... (١,١٠,٢) الأنماط المستعرضة .
- ٤٦..... مسائل
- ٤٨..... المراجع
- ٥١..... الفصل الثاني : تشغيل الليزر التطبيقات
- ٥٢..... (٢,١) ليزرات العوازل المطعمة .
- ٥٢..... (٢,١,١) مستويات طاقة الأيونات الشائبة في المواد الصلبة .
- ٥٨..... (٢,١,٢) طرق الضخ .
- ٦١..... (٢,١,٣) فقد فرينل .
- ٦٣..... (٢,١,٤) ليزر نيوديميوم - ياج .
- ٦٧..... (٢,١,٥) ليزرات نيوديميوم الزجاج .
- ٦٩..... (٢,١,٦) ليزر الياقوت .
- ٧٠..... (٢,١,٧) ليزر الأكساندرت .
- ٧٣..... (٢,١,٨) ليزرات المركز اللوني أو مركز F .
- ٧٦..... (٢,٢) ليزرات أشباه الموصلات .
- ٩٢..... (٢,٣) الليزر الغازية .
- ٩٣..... (٢,٣,١) الليزر الذرية .
- ٩٣..... (٢,٣,١,١) ليزر هيليوم نيون .
- ٩٨..... (٢,٣,١,٢) ليزر بخار النحاس .
- ٩٩..... (٢,٣,٢) الليزر الأيونية .

المحتويات

ق

- ٩٩..... ليزر أيون الأرجون (٢,٣,٢,١)
- ١٠٢ ليزر الهيليوم - كاديوم (٢,٣,٢,٢)
- ١٠٤ الليزر الجزيئية (٢,٣,٣)
- ١٠٤ ليزر ثاني أكسيد الكربون (٢,٣,٣,١)
- ١٠٧ أولاً: ليزرات الأنوبة المختومة
- ١٠٨ ثانياً: ليزرات الغاز المنساب
- ١٠٩ ثالثاً: ليزرات الضغط الجوي المثارة عرضياً (TEA)
- ١١٠ رابعاً: ليزرات الغاز الديناميكية
- ١١١ خامساً: البصريات
- ١١٢ ليزر النيتروجين (٢,٣,٣,٢)
- ١١٣ ليزر الأكسجين (٢,٣,٣,٣)
- ١١٥ الليزر الكيميائي (٢,٣,٣,٤)
- ١١٦ الليزر تحت الحمراء البعيدة (٢,٣,٣,٥)
- ١١٨ ليزرات الصبغات السائلة (٢,٤)
- ١٢٥ ليزر الإلكترون الحر (٢,٥)
- ١٢٨ مسائل
- ١٣١ المراجع
- ١٣٣ الفصل الثالث : خصائص أشعة الليزر
- ١٣٤ (٣,١) عرض الخط الطيفي لليزر
- ١٣٩ (٣,٢) استقرار تردد الليزر
- ١٤٢ (٣,٣) انقراج الشعاع

- ١٥٠ (٣, ٤) ترابط الشعاع .
- ١٥٦ (٣, ٥) اللمعان .
- ١٥٧ (٣, ٦) خصائص تجميع أشعة الليزر .
- ١٥٨ (٣, ٧) تبديل معامل - Q .
- ١٦١ (٣, ٧, ١) طرق تبديل معامل - Q .
- ١٦١ (٣, ٧, ١, ١) طريقة المرآة الدوارة .
- ١٦٢ (٣, ٧, ١, ٢) تبديل - Q الكهروضوئي .
- ١٦٣ (٣, ٧, ١, ٣) تبديل - Q الصوت - ضوئي .
- ١٦٥ (٣, ٧, ١, ٤) تبديل - Q السلبي .
- ١٦٦ (٣, ٨) قفل النمط .
- ١٧١ (٣, ٨, ١) طرق قفل النمط .
- ١٧٣ (٣, ٩) مضاعفة التردد .
- ١٧٧ (٣, ١٠) مزوجة الطور .
- ١٨٢ مسائل
- ١٨٤ المراجع
- ١٨٧ الفصل الرابع : التطبيقات القياسية والعلمية
- ١٨٨ (٤, ١) الاستقامة الضوئية .
- ١٩١ (٤, ٢) قياس المسافة .
- ١٩١ (٤, ٢, ١) التداخل .
- ١٩٥ (٤, ٢, ١, ١) العدّ المعكوس .
- ١٩٨ (٤, ٢, ١, ٢) تصحيح معامل الانكسار .

المحتويات

ش

- ٢٠٠ (٤, ٢, ٢) توبوغرافيا السطح واختبار العناصر البصرية
- ٢٠٧ (٤, ٢, ٣) القياس عن بعد بتضمين الشعاع .
- ٢١٠ (٤, ٢, ٤) تقنية صدى النبضة .
- ٢١٢ (٤, ٣) مقياس دوبلر للسرعة باستخدام الليزر .
- ٢٢١ (٤, ٤) قياس سرعة الأسطح بواسطة الأشكال البقعية .
- ٢٢٣ (٤, ٥) الدوران الزاوي .
- ٢٣٠ (٤, ٦) دراسة الأطياف بالليزر .
- ٢٣٢ (٤, ٦, ١) مطيافية الأشعة الجزئية
- ٢٣٢ (٤, ٦, ٢) مطيافية التشبع
- ٢٣٣ (٤, ٦, ٣) مطيافية الفوتونين .
- ٢٣٦ (٤, ٧) تخصيب اليورانيوم بواسطة الليزر .
- ٢٣٧ مسائل
- ٢٤٠ المراجع
- ٢٤٣ الفصل الخامس : التطبيقات الصناعية والطبية والعسكرية .
- ٢٤٥ (٥, ١) التحليل النظري .
- ٢٤٧ .. (٥, ١, ١) تغيرات درجة الحرارة بافتراض عدم حدوث انصهار أو تبخر .
- ٢٥٤ (٥, ١, ٢) عمق الانصهار .
- ٢٥٧ (٥, ١, ٣) عمق التبخير .
- ٢٥٩ (٥, ٢) نقل الأشعة وتركيزها .
- ٢٦٢ (٥, ٣) تطبيقات في معالجة المواد .
- ٢٦٢ (٥, ٣, ١) تصليد الأسطح .

- ٢٦٧ (٥,٣,٢) معالجة أشباه الموصلات .
- ٢٧٠ (٥,٤) اللحام بالليزر .
- ٢٧٤ (٥,٤,١) اللحام المجهري .
- ٢٧٦ (٥,٤,٢) لحام الاختراق العميق .
- ٢٧٨ (٥,٥) الميكنة بمساهمة الليزر .
- ٢٧٩ (٥,٦) القطع بالليزر .
- ٢٨٣ (٥,٧) الميكنة المجهرية .
- ٢٨٤ (٥,٨) الحفر ، الخدش ، الوسم .
- ٢٨٨ (٥,٩) الليزر في الطب .
- ٢٩٢ (٥,١٠) استعمالات الليزر ذات القدرات العالية .
- ٢٩٢ (٥,١٠,١) الاندماج النووي المحثوث بالليزر .
- ٢٩٥ (٥,١٠,٢) الأسلحة الليزرية .
- ٢٩٦ مسائل .
- ٢٩٨ المراجع .
- ٣٠١ الفصل السادس : التصوير الجسم (الهولوجرافي) .
- ٣٠١ (٦,١) مقدمة .
- ٣٠٦ (٦,٢) تصنيف الهولوجرامات .
- ٣١٣ (٦,٣) الوصف الرياضي للهولوجرافي .
- ٣٢٣ (٦,٤) كفاءة الهولوجرام .
- ٣٢٤ (٦,٥) تطبيقات الهولوجرافي .
- ٣٢٥ (٦,٥,١) مقياس التداخل الهولوجرافي .

٣٢٥. (٦,٥,١,١) مقياس التداخل الهولوجرافي ذو التعريض المزدوج
- ٣٢٧ (٦,٥,١,٢) الهولوجرام المشطور
- ٣٢٩ (٦,٥,١,٣) هولوغرافيا الزمن الحقيقي
- ٣٣٠ (٦,٥,١,٤) مقياس التداخل الهولوجرافي المتوسط الزمن
- ٣٣٣ (٦,٥,٢) المركبات البصرية الهولوجرافية
- ٣٣٧ (٦,٥,٢,١) العناصر البصرية الهولوجرافية
- ٣٣٩ (٦,٥,٣) تخزين المعلومات وعرضها
- ٣٤٣ (٦,٥,٤) تمييز الصفات
- ٣٤٥ المراجع
- ٣٤٧ الفصل السابع : الإرسال والتخزين الضوئي للمعلومات
- ٣٤٧ (٧,١) الاتصال الضوئي
- ٣٥٠ (٧,١,١) أشكال التضمين الضوئي
- ٣٥٥ (٧,١,٢) الألياف الضوئية
- ٣٦٢ (٧,١,٢,١) التشتت النمطي الداخلي
- ٣٦٥ (٧,١,٢,٢) الليف ذو المعامل المتدرج
- ٣٦٧ (٧,١,٢,٣) الألياف ذات التشتت المنخفض
- ٣٧١ (٧,١,٢,٤) فقد الألياف
- ٣٧٢ (٧,١,٢,٥) مواد الألياف وتصنيعها
- ٣٧٨ (٧,١,٣) الكواشف الضوئية
- ٣٨٦ (٧,١,٤) الباعثات
- ٣٨٨ (٧,١,٥) اعتبارات تصميم الأنظمة

- ٣٨٩ التطورات المستقبلية . (٧, ١, ٦)
- ٣٩٣ البصريات المتكاملة (٧, ١, ٧)
- ٣٩٦ ازدواجية الاستقرار الضوئية . (٧, ١, ٨)
- ٤٠١ اتصال الفضاء الحر (٧, ١, ٩)
- ٤٠٣ الطباعة بالليزر (٧, ٢)
- ٤٠٦ أنظمة الأقراص الضوئية (٧, ٣)
- ٤١١ التسجيل (٧, ٣, ١)
- ٤١٣ وسط التسجيل (٧, ٣, ٢)
- ٤٢٠ قراءة المعلومات من الأقراص الضوئية (٧, ٣, ٣)
- ٤٢٢ الأقراص الضوئية القابلة للمسح (٧, ٣, ٤)
- ٤٢٤ مسائل
- ٤٢٧ مراجع
- ٤٣١ الملاحق
- ٤٣١ ملحق (١) حلول المسائل
- ٤٣٥ ملحق (٢) ثوابت فيزيائية
- ٤٣٦ ملحق (٣) السلامة في استخدام الليزر
- ٤٤٣ ثبت المصطلحات
- ٤٤٣ أولاً : (عربي - إنجليزي)
- ٤٦٨ ثانياً : (إنجليزي - عربي)
- ٤٩١ كشّاف المصطلحات