معامل الإرجاع الضوئي للأجهزة البصرية والبصرية- الالكترونية

محمد سعيد معروف و فواز سيوف و ظافر موسى

المعهد العالي لأبحاث الليزر وتطبيقاته – جامعة دمشق – سورية

تاريخ الإيداع 2010/05/09

قبل للنشر في 2010/09/27

الملخص

تحدث ظاهرة الضوء الراجع في كل الأدوات الضوئية والأنظمة البصرية المستخدمة لكواشف ضوئية ومرايا وآلات تصوير وزجاج في محرق العدسات وأجهزة القياس الضوئية مادامت بعض العناصر الضوئية فيها مرجعة للضوء ولو بنسبة صغيرة جداً.

ندرس في هذه الورقة المرجعات الضوئية وقياس معامل الإرجاع الضوئي بدقة للأجهزة البصرية والأجهزة البصرية-الالكترونية المستخدمة في البحوث الضوئية الدقيقة، وسلوكها عند استعمال حزم ليزرية مختلفة (نيودميوم–ياغ المدروج الأول والثاني، ليزر هليوم –نيون، ليزر ديود) ومدى مطابقة معامل الضوء الراجع للعلاقة النظرية الحاكمة لها.

وقد تبين أن المرجع الضوئي الواحد يعيد الضوء بشكل مختلف بحسب طول الموجة الليزرية المستخدمة، وقد كانت حزمة الليزر بطول الموجة (532nm) هي الأكثر إرجاعاً، في حين أن حزمة الليزر بطول الموجة (1064nm) أقلها إرجاعاً.

وهذا مفيد في التطبيقات التخصصية الدقيقة، وأمكن وصف العلاقات الرياضية لمعاملات الإرجاع وعلاقتها بطول موجة الليزر.

الكلمات المفتاحية: معامل الإرجاع الضوئي، المرجعات الضوئية، قياس معامل الإرجاع الضوئي.

The Retroreflection Index of Optical and Opto-electronical Systems

M. S. Maroof, F. Sayoaf and Z. Moussa

Higher Institute for Laser Research and Applications. Damascus University-Syria

Received 09/05/2010
Accepted 27/09/2010

ABSTRACT

The retroreflection phenomenon takes place in all optical and opto-electronical devices and systems that use optical detectors, mirrors, CCD cameras, filters, or glasses in the focal point and in the optical measurement instruments, in general, provided that some of their optical components are retroreflective to light even for small apertures.

The article studies a precise method to measure the retroreflection index of optical, opto-electronical systems, and treats the optical retroreflections which are used in applied research of light with various lasers such as: Nd:YAG first and second harmonics, He-Ne, and laser diodes.

We have studies the conformity of our results to the theory of retroreflectors. We found that the retroreflection coefficient depends on laser wavelength. The article points out that at 532nm laser wavelength the retroreflection is greater than at 1064nm laser wavelength.

The results of this paper can be used in applied research, and led to description of a mathematical relationship between the retroreflection index and laser wavelength.

Key words: Retreroflection index, Cube corner, Retroreflection measurement.

المقدمة

عند إضاءة نظام بصري أو جهاز بصري الكتروني بأشعة ليزرية من مرسل ليـزري فإن جزءاً من الأشعة ينعكس عن سطح النظام البصري ويعود تماماً بالاتجاه نفسه نحـو مصدر الإضاءة. وعرفت هذه الظاهرة برجوع الضوء، ويعد الجهاز البصري الالكتروني معيداً ضوئياً للأشعة الضوئية يعمل كمرجع ضوئي للأشعة الساقطة عليه.

إرجاع الضوء خاصة مميزة لكل الأجهزة البصرية دون استثناء، وتتميز هذه الظاهرة بعدد من مقادير إرجاع الضوء التي من بينها دليل رجوع الضوء R، وتحديـد الاتجـاه ودالة الأشعة المنعكـسة المرجعـة (Retro reflected) وكلمـا زادت جـودة الأدوات البصرية من حيث النعومة ومعامل التسطح كان معامل الانعكاس لها أكبر، ومن ثم فـإن كمية الضوء الراجع أكبر في أثناء إضاءتها[4,5].

وتخدم هذه الظاهرة في توضيح وتدقيق قياسات كثير من العلوم (الفلك والبـصريات، وأنظمة الكشف الليزرية والبصرية والاتصالات والتصوير والاستشعار عن بعد والليدار، والتطبيقات الهندسية والملاحية، والإشارات المرورية في الطـرق والمطـارات وعلـى المركبات[11,12].

وقد تركزت الأعمال حول قياس معامل الإرجاع الضوئي، لكن المشكلة كانت تكمـن بأن القياس يجب أن يتم وفق شروط صعبة وهي:

أولا: عدم وجود تشويش ضوئي.

ثانياً: العمل يتطلب وجود عدة أشخاص للقيام به.

ثالثاً: يحتاج مسافات كبيرة كي تتم عملية القياس.

ومن الصعب أن يتحقق ذلك في الحقل وفق الدقة العالية المطلوبة، ونعبر عـن ذلـك القياس بمعامل الإعادة الضوئية.

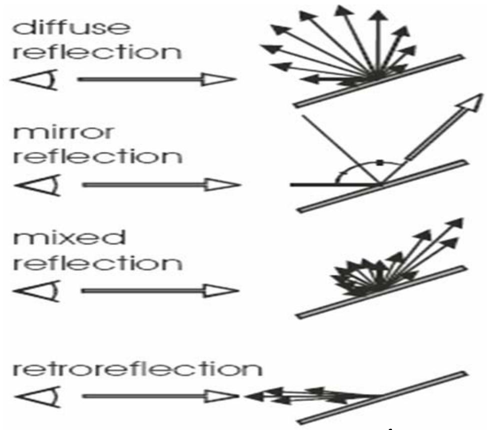
وسوف نقوم في هذه المقالة بتوضيح الانعكاس الراجع وتعريفه وبعرض طريقة جديدة ودقيقة لقياس معامل الانعكاس الراجع عن الأجهزة البـصرية والبـصرية الإلكترونيـة، وتطبيق ذلك على معيد ضوئي مرجعي متغير، ودراسة ارتباط معامل المعيـد الـضوئي بطول موجة الليزر المستخدم.

أنواع الانعكاسات المختلفة:

- الانعكاس التشتتي: (Diffuse reflection)
- الانعكاس المرآتي: (Mirror reflection)
- الانعكاسات المختلطة:(Mixed reflection)
- الانعكاس الراجع: (Retroreflection)

يحصل الانعكاس الراجع (Retroreflection) على السطوح المصقولة بـشكل جيـد جداً، وفي المعيدات الضوئية (Corner Cube) والكرات الزجاجية، والأنظمة البـصرية التي تحوي جسمية دخول، وفي محرقها سطح مرآتي أو شبكة تسديد أو موشور أو معيـد ضوئي أو فلتر ضوئي أو كاشف ضوئي. وتعد هذه الحالة هي الأهم بالنسبة إلينا.

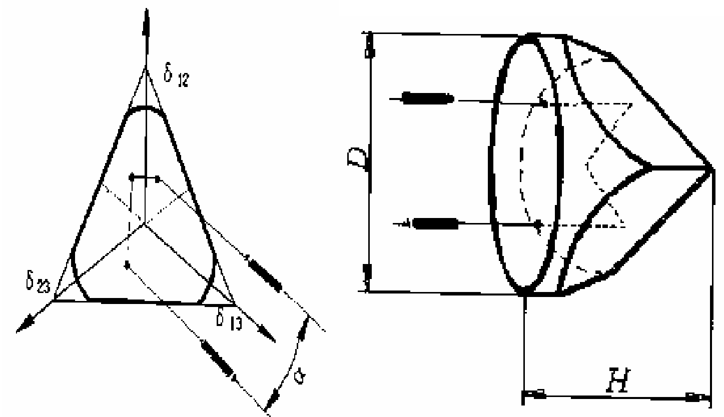
ويوضح الشكل (1) أنواع الانعكاسات الضوئية على السطوح [1]:



الشكل(1) أنواع الانعكاسات الضوئية على السطوح.

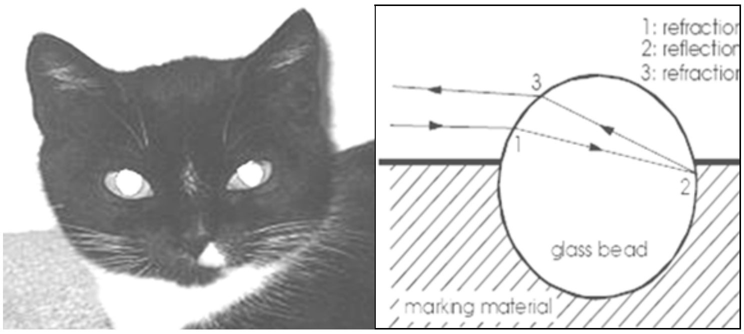
أهمية الانعكاس الراجع:

يحدث الانعكاس الراجع في المعيدات الضوئية المستخدمة في العديد من التطبيقـات، والأكثر شيوعاً منها هو المعيد الضوئي الهرمي corner cube، ويبين الشكل (2) سـير الأشعة في المعيد الضوئي الهرمي.



الشكل (2) المقطع الهندسي والمسار الضوئي في المعيد الضوئي الهرمي.

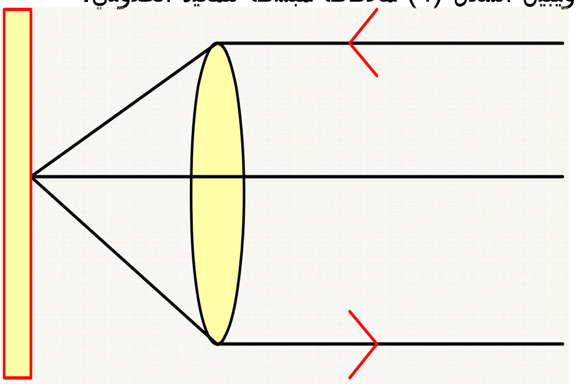
والنوع الثاني الذي يليها في الأهمية هي المعيدات الكروية أو الكريات، وتدعى ظاهرة إعادة الضوء فيها باسم (ظاهرة عين القط) كما في الشكل (3) [2,11,15,16].



الشكل (3) المعيد الضوئي الكروي (ظاهرة عين القط).

ويليها من المعيدات الضوئية أحزمة الأمان المستخدمة لشرطة المرور وأردية عمـال الصيانة والحفريات واللافتات المرورية وعواكس الدراجات الهوائيـة والناريـة، وذلـك لتحسين الرؤية لسائقي العربات بأنواعهـا كلّهـا مـن الإشـارات واللافتـات العاديـة الإعلانية [6,7,8,15,16].

وكذلك فإن أي جهاز يحوي عدسة مجمعة وفي محرقها سطح مـستوٍ، سـواء كـان السطح العاكس شبكة تسديد أو صفيحة متوازية الوجهين أو مـرآة عاكـسة للـضوء أو مرشحاً ضوئياً أو كاشفاً ضوئياً، فهو معيد ضوئي يمكن التعامل معه وفق الدراسة المقدمة في هذه الورقة، ويبين الشكل (4) مخططاً مبسطاً للمعيد الضوئي.



الشكل(4) مخطط مبسط للمعيد الضوئي الناتج عن وجود عدسة وسطح عاكس.

تستعمل تقانات المعيدات الضوئية في الوقت الراهن وفق أربعة أنواع رئيـسية مـن المعيدات، وهي:

أ-المعيد الضوئي الهرمي الأجرد (أي غير المطلي بأي طلاء من السطوح الخلفية).

ب-المعيد الضوئي الهرمي المطلي من الخلف بطلاء عاكس من الفضة أو الذهب، وذلـك حسب المجال الطيفي المستخدم من أجله.

ج-المعيد الضوئي الكروي (الكريات المكروية).

د-المعيد الضوئي الأجوف (عبارة عن ثلاث مرايا تشكل ثلاثيـة متعامـدة بزاويـة °90 بعضها مع بعض، وتكون كل المرايا مصنعة بدرجة عالية من دقة التسطح flatness وملصقة بدقة عالية على حامل معدني، وفائدة هذا النوع من المعيدات الضوئية أنه أقل وزناً من المعيد الضوئي العادي) [7,9,10].

- **تعريف معامل الإعادة الضوئية R_L**

معامل الإعادة الضوئية:هو نسبة الاستضاءة إلى الإضاءة (استضاءة/إضاءة) ويقـدر بالواحدة $[M^2/STR]$ كما في العلاقة(1)

$$R_L = R(P) = J/E \qquad (1)$$

إذ:

J (luminance) هي الاستضاءة (الشدة الإشعاعية) الصادرة عن المعيد الـضوئي أو الجهاز الالكتروبصري المدروس المقيسة على سطح عمـودي علـى اتجـاه الإضـاءة [W/STR].

E (illuminance) إضاءة (استنارة) السطح البصري التي اكتسبها من منبع الإضاءة $[W/m^2]$....[2,15,16]

Str :ستيراديان، الزاوية المجسمة.

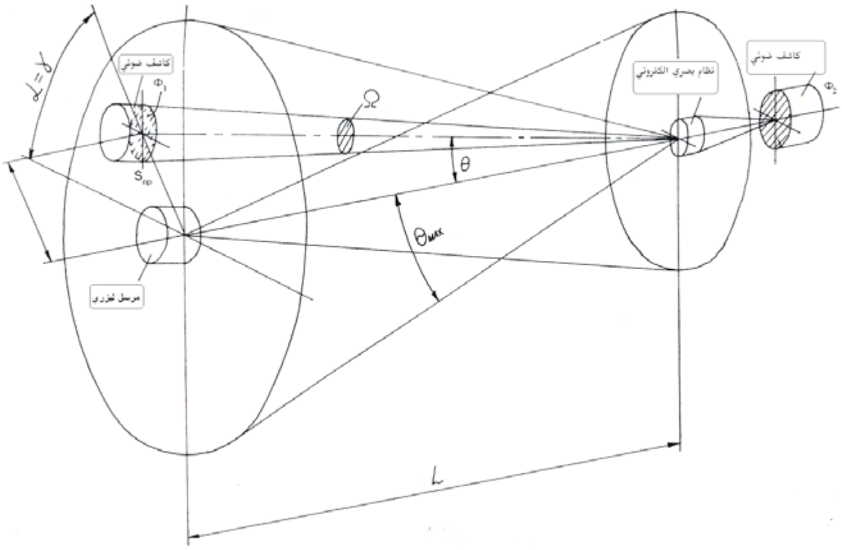
R_L : الانعكاس المتعلق بالجهة، وينتج عن الجهاز البصري أو البصري الالكترونـي وفي التطبيقات الاعتيادية يستخدم المقدار $R = < R(p) >$ الذي يمثل الوسـطي لعـدة زوايا مجسمة، والمحور متوضع في الاتجاه P وتحدد القيمة من المـسافة إلـى الجهـاز البصري المدروس وقياس قيمة فتحة جسمية الدخول للنظام البصري الذي يستقبل الأشعة المرتدة عن الجهاز المدروس، المواصفات الزاوية يمكن فهمها من تبعية معامـل المعيـد الضوئي R للزاوية بين خط النظر والمحور البصري للجهاز المدروس.

وقد دلت البحوث النظرية والتطبيقية أن قيمة معامل المعيد الضوئي R مختلفة للأنظمة المختلفة المستقلة وإن تشابه مبدأ تصميمها، وتحدد قيمة R كأحد معاملات النظام البصري المدروس وتتعلق كثيراً بطول الموجة الإشعاعية المستخدمة في السبر، ومـن الأجهـزة البصرية والبصرية الالكترونية التي تعمل في المجالين المرئي وتحت الأحمـر القريـب تكون هذه القيمة في المجال من 1إلى (M^2/Str) 1000.

- طرائق قياس معامل رجوع الضوء:

أ- قياس معامل رجوع الضوء حقلياً

تتألف منظومة قياس معامل رجوع الضوء حقلياً من كاشفين ضوئيين متماثلتين، ويكونان معايرين تبادلياً كما في الشكل (5) [3]



الشكل (5) منظومة قياس R حقلياً.

يوضع النظام الأول في مستوي المرسل ويقيس التدفق $\emptyset 1$ في المركز وفق الإحداثيات (γ،θ). وهذا التدفق متناسب طرداً مع الشدة الإشعاعية المماثلة الوسطية J بدلالة الزاوية المجسمة Ω للضوء المنعكس عن الجهاز البصري المدروس.

$$\emptyset 1 = J.\frac{S_{np}}{L^2}.\tau_a \qquad (2)$$

S_{np}: مساحة بؤرة الدخل لنظام الاستقبال البصري.

τ_a: معامل النفوذية الجوية لمسافة القياس.

ومن ثم فإن: $J = \frac{\Phi 1.L^2}{S_{np}.\tau_a}$

ويقوم نظام الاستقبال الثاني بقياس التدفق المتناسب طرداً مع شدة الإضاءة E في مستوي الجهاز البصري المدروس.

$$\varnothing 2 = E.S_{np} \qquad (3)$$

وبالتالي فإن:

$$E = \frac{\varnothing 2}{S_{np}}$$

وعلى أساس هذين القياسين يتم حساب دليل رجوع الضوء للجهاز البصري المدروس.

من تعويض كلٍ من المعادلتين (2) و(3) في المعادلة (1) فيكون معامـل الإرجـاع الضوئي:

$$R = \frac{J}{E} = \frac{\varnothing 1}{\varnothing 2} \times \frac{L^2}{\tau_a} \qquad (4)$$

ويمكن أن تتم القياسات لدليل رجوع الضوء في الزاوية المجسمة مع المركز المتطابق مع محور جهاز الإضاءة ($\gamma=0$) باستخدام مرآة نصف عاكسة موضوعة أمام النظام الذي يشكل جهاز المرسل والجزء الراجع من التدفق المنعكس عن الجهاز البصري المـدروس يسقط عليه أيضاً. ولكي نتخلص من الأخطاء المنهجية يجب أن تكون المسافة عن الجهاز المدروس أكبر من بعد تشكل الحزمة المنعكسة التي قد تبلغ لبعض الأجهـزة البـصرية، 1-1.5km وعدا ذلك فإننا من أجل الحصول على نتائج موثوق بها من الضروري تكرار قياس J, E عدة مرات، وذلك من أجل استبعاد تأثير التفاوت في نفوذية الغـلاف الجـوي المحيط.

وهذا العمل هو عمل من الصعب أن يتحقق دوماً فمن الضروري القيام بقياس معامـل الإرجاع الضوئي مخبرياً.

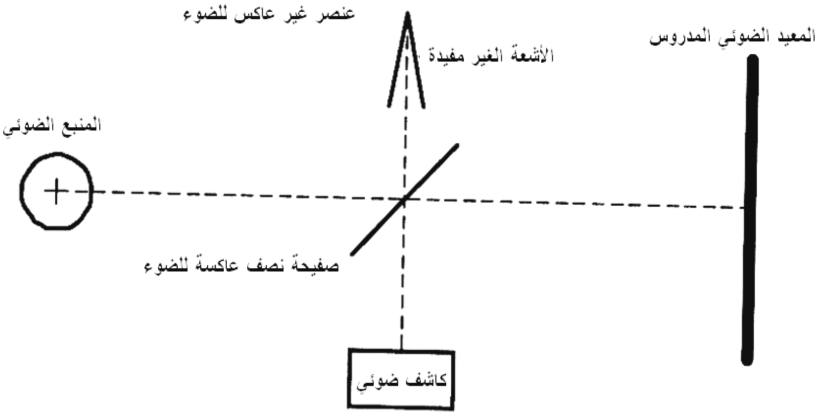
ب- قياس معامل رجوع الضوء مخبرياً

1- الطريقة القديمة المستخدمة في قياس معامل الإرجاع الضوئي

مساوئ هذه الطريقة أنها تحتاج إلى مسافة كبيرة بـين المنبـع المـضيء والعينـة المدروسة، وتحتاج إلى عدة أشخاص لإجراء عملية القياس مخبرياً، كمـا تحتـاج إلـى استخدام مخبر عاتم بشكل جيد لأن أي ضوء مهما كان خافتاً فإنه سوف يؤثر فـي دقـة النتائج [1].

حيث يستخدم منبع ضوئي لإنارة العينة (معيد ضوئي) وتجزأ الحزمة بواسطة صفيحة نصف عاكسة للضوء أو مجزئ حزمة يسمح للأشعة الواردة بـالعبور ويـسمح للأشـعة الراجعة بالانعكاس (الأشعة التي تنعكس عن الصفيحة هي الأشعة غيـر المفيـدة، لـذلك يوضع عنصر TRAP غير عاكس للضوء للتخلص منها)، والمسافة بين الصفيحة والعينة لا تقل عن عشرة أمتار، وذلك كي تنفصل الحزمة الراجعة عن الـواردة، ويـتم قيـاس الأشعة الراجعة بالانعكاس عن الصفيحة العاكسة بواسطة كاشف ضوئي أو جهاز فوتـو

راديوميتر. ونقيس بعد ذلك كل من الشدة الإشعاعية والاستنارة ونأخـذ النـسبة بينهمـا للحصول على معامل الإرجاع الضوئي R_L كما في الشكل(6)

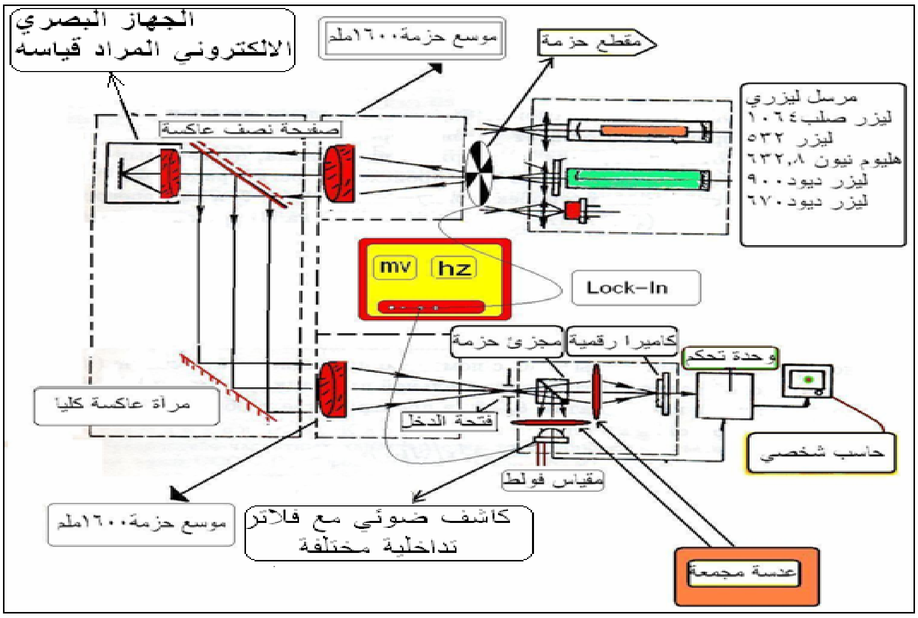


الشكل (6) الطريقة القديمة في قياس الشدة الضوئية.

2- استخدمت طريقة جديدة في قياس معامل الإرجاع الضوئي باستخدام معيد ضوئي متغير معامل الإرجاع

ويبين المخطط التوضيحي في الشكل (7) كيفية قياس دليل رجوع الضوء في الشروط المخبرية بالاعتماد على معيد ضوئي مرجعي له قيم معلومة لمعامل الإرجاع الضوئي.

تتم إضاءة الجهاز البصري المدروس بحزمة موجهـة (collimated beam) مـن الأشعة الوحيدة اللون (monochromatic)، وغير مستقطبة، والتي تسقط علـى فتحـة الدخول للنظام البصري بإضاءة متساوية ومتجانسة. توجه الأشعة المنعكسة عن الجهـاز البصري بواسطة مرآة نصف عاكسة إلى مرآة عاكسة كلياً للضوء، ومن ثم إلى جـسمية مسددة أخرى (collimator) ويتطابق توزع الأشعة المنعكسة في مستويها المحرقي بدقة ثابتة مع التوزع الزاوي (دليل منحى الأشعة المنعكسة) للأشعة المنعكسة $J(\theta,\gamma)$ ويتناسب دليل منحى الانعكاس مع مكان وجود المرسل المستخدم من حيث مكان التوضع الأفقـي والشاقولي، في القياسات عن بعد، وكذلك كما في حالة القياسات عن بعد، فإننا بحاجة إلى ثقب خرج بقطر d يوضع في المستوي المحرقي للمسددة وتؤخذ إحداثياته بالنـسبة إلـى مركز الدالة (P,γ_a)، ويقوم بتعديل (يجعلها قيمة وسطية، وغوصية غير مشوهة) القيمـة المقيسة لمعامل رجوع الضوء بالزاوية المجسمةΩ



الشكل (7) الطريقة المخبرية لقياس معامل رجوع الضوء

شرح طريقة قياس معامل الإعادة الضوئية:

اِستُخدم في هذا العمل خمسة ليزرات (ليزر هليوم نيون طول موجته632.8nm، ليزر ديود طول موجته 532nm، وآخر طول موجة900nm، ليزر صلب مـستمر1064nm، وليزر مستمر طول موجته 532nm) كمرسل ليزري غير مستقطب، ثم نقـوم بتقطيـع الحزمة الليزرية المستخدمة بواسطة مقطع ضوئي وفق تواتر معين بعيد عن تواتر الضوء المستخدم في الإضاءة المخبرية، وقد قمت باستخدام تواتر تقطيع من المجال 30-35HZ وذلك لحذف التشويش الضوئي الناتج عن لمبات الإضاءة وعن ضـوء النهـار وضـوء شاشات الحاسب وشاشة ضبط الأشعة الليزرية التي تعمل وفق التردد50HZ في بلادنـا، المهم استخدام قيمة ثابتة للتقطيع بعيدة عن مضاعفات وأجزاء تـواتر أجهـزة الإضـاءة المستخدمة في المخبر، وإن ذلك يمكننا من العمل في شروط مخبرية أسهل إذ لا حاجـة للعمل في مخبر مظلم تماماً، وهذا ما يميز عملنا.

ـ نوسع الحزمة الليزرية الصادرة عنه باستخدام نظام تلـسكوبي (collimator) لـه جسمية ذات بعد محرقي كبير (1600mm)، وجسمية بقطر كبير ويعطينا أشعة ليزريـة متوازية بحزمة عريضة لتغطي كل المعيد الضوئي.

ـ تسقط الأشعة الليزرية غير المستقطبة على الـصفيحة نـصف العاكـسة للـضوء

(معالجة من أجل المجال المرئي وتحت الأحمر القريب) تسقط الأشعة المارة خلالها على الجهاز البصري المراد قياس معامل الإعادة الضوئية له فيرجع جزء من الأشعة الليزرية المرتدة عنه وفق الانعكاس الراجع المراد قياسه، وفي هذه النقطة ننـوه بـأن الـصفيحة المتوازية الوجهين النصف عاكسة للضوء تغير الاستقطاب الضوئي لمركبتي الضوء لكل من الأشعة المنعكسة والنافذة منا، ولكن في حال كون زاوية الورود على الصفيحة قريبـة من 45^0 فإن المركبتين (S,P) الموازية والمتعامدة متساويتان تقريباً ويمكن عـد أثرهـا مهملاً، وفي حالة الانعكاس الكلي على المرآة العاكسة كلياً لا يتغير الاستقطاب الـضوئي [17,18]، وخاصة أننا بالنتيجة نقيس بواسطة الكاشف الضوئي كمية الـضوء كمقـدار طاقي لا علاقة له بالاستقطاب الضوئي، ولكن بكمية الطاقة الواردة على سطح الكاشـف، [1,13].

ـ تنعكس هذه الأشعة من جديد عن الصفيحة نصف العاكسة للضوء، والتي يمكن أن نتلقاها بواسطة مرآة عاكسة كلياً للضوء $\rho=\%100$، وذات مواصفات عالية مـن حيـث معامل التسطح، ويكون معامل خشونتها δ صغيراً من مرتبة $\lambda/50$ وΔN، N صـغيران أيضاً حيث N هو عدد حلقات نيوتن وΔN هو معامل التسطح للعنصر البصري.

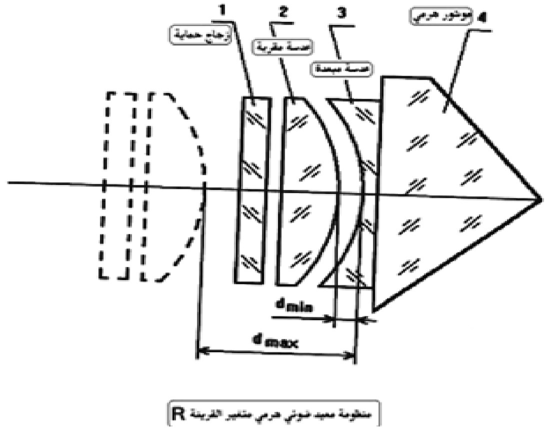
والتي بدورها تعكس الأشعة الليزرية إلى نظام تلسكوبي موسع حزمة آخر له جسمية ذات بعد محرقي كبير أيضاً (1600mm) وجسمية بقطر كبير148mm، وذلك بواسـطة منضدة بصرية متغيرة الزوايا أفقياً و شاقولياً.

ـ نضع في المستوي المحرق لجسمية التلسكوب مجزئ حزمة ليسقط الجـزء الأول من الحزمة على كاشف ضوئي، والجزء الآخر على كاميرا ذات كاشف مقترن بالشحنة، ويمكن أخذ هذه الصورة على حاسب شخصي بواسطة كرت تحصيل معطيـات. ونـضع ثقب خرج مناسباً قبل الكاشف للسماح للجزء الغوصي (المركزي) من الشعاع الليـزري لبلوغ الكاشف، لأنه الجزء الأول تعرضاً للتشوه كنتيجة للانعكاسات المتعددة عن السطوح المختلفة في المنظومة المستخدمة.

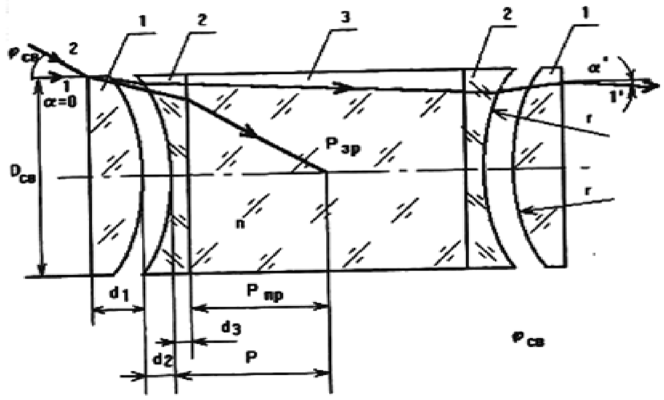
ـ نصل خرج الكاشف الضوئي إلى مقياس دقيق وهي كتلة (Lock-In) المتزامنة مع مقطع الحزمة الليزرية، وذلك لقراءة الإشارة الناتجة عن التقطيع فقط، كما أن هذه الكتلـة تؤمن لنا قياساً دقيقاً للإشارة الكهربائية الناتجة عن الكاشف الضوئي (كاشف سـيليكون) والتي بدورها تمثل الأشعة الراجعة عن المعيد الضوئي المدروس ومقارنته بمعيد ضوئي مرجعي متغير ذي قيم معلومة مسبقاً.

ـ المعيد الضوئي المستخدم في هذه التجربة هو معيد ضوئي هرمي ثلاثـي أجـرد متغير الإرجاعية وذلك باستخدام عدستين ومعيد ضوئي هرمي ثلاثي روسي الصنع مادة الزجاج BK7.

اِستُخدم المعيد الضوئي المرجعي متغير القرينـة corner cube، وذلـك باسـتخدام عدستين الأولى مقربة والثانية مبعدة لهما قطر التقوس نفسه كما في الشكل (8)



(أ)



(ب)

الشكل (8) المخطط التمثيلي لمعيد ضوئي يستخدم عدسة متحركة (أ)، ومسار الأشعة الـضوئية المكافئ لقياس دليل رجوع الضوء (ب).

وتحسب قيمة معامل رجوع الضوء في هذه الحالة من العلاقـة (5) والناتجـة مـن التعريف $[M^2/Str]$[3]

$$R = \frac{\tau_a \cdot S}{\Omega} = \tau_a \cdot \frac{D_{cb}^2}{\alpha^2} \qquad (5)$$

إذ الزاوية الصلبة Ω هي $\Omega = \frac{\pi D_{CB}^2}{4f^2}$

إذ: D_{CB} هي الفتحة الضوئية الفعالة للعدسة، f: البعد المحرقي للعدسة

α_1:زاوية ورود الشعاع الضوئي الناظمي المرجعي الذي يبعد عـن مركـز العدسـة الأولى بمقدار نصف قطرها r_1 وارتفاعه h_1.

τ_a: معامل النفوذية الجوية.

وعندما يكون $\alpha_1=0$، $h_1=-r_1$ يكون لدينا

$$\alpha = \alpha_1' = \theta = \frac{-2h_1.d_2}{f^{4'}} * \left(f^{2'} - d_2 f' - p.d_2/n\right) \qquad (6)$$

إذ n: قرينة الانكسار للزجاج المستخدم.$\alpha_1' = \theta$ زاوية الشعاع الضوئي الخارج مـن المعيد الضوئي.

P: سماكة الزجاج المكافئة وفق المحور البصري.

f': البعد المحرقي للعدسة.

d_2: البعد بين العدستين موضح في الشكل (8- ب).

العلاقة الرياضية التي حصل عليهاBARYSHNIKOV [3] والتي تعطي زاوية خرج المعيد الضوئي θ بدلالة البعد المحرقي للعدسة والبعد بين العدستين، والتي يمكن الاعتماد عليها لحساب رياضي أو يدوي بواسطة برامج الحسابات البصرية المتطورة مثل *zemax* من زاوية الشعاع الضوئي الوارد α_1 ونحصل على الشعاع البارز α_1'

$$f' = \frac{r}{1-n} \qquad (7)$$

إذ r: نصف قطر التقوس للعدسة

ومن أجل: $R_{CB} = \frac{\tau_a.h_1^2}{\theta^2}$ نعوض قيم الزاوية θ فنجد أن:

$$R_{CB} = \tau_a.\left(f^{4'}/\left(2d_2.\left(f^{2'} - d_2.f' - Pd_2/n\right)\right)\right)^2 \qquad (8)$$

القياسات والنتائج

كما بينا في الشكل (8 أ-ب) توضع العدستان بحيث تكون العدسة الـسالبة ملتـصقة بالمعيد الضوئي والعدسة الموجبة متحركة تساعد في تغيير معامل الإرجاعية الضوئية R عن طريق تغيير المسافةd_2 بين العدستين، وإن حركة العدسة الموجبة تؤدي إلـى تغييـر

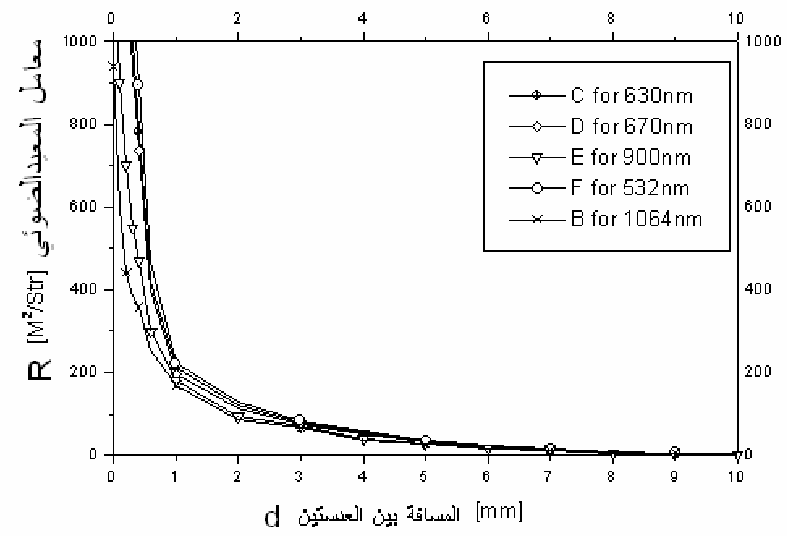
كثافة الأشعة الواردة للمعيد الضوئي.

دراسة تغير معامل الإرجاع الضوئي بدلالة طول موجة الليزر المستخدم

- قياس جهد الضجيج V=0.5mv
- معايرة طريقة القياس باستخدام مرآة عاكسة معيارية عالية الاستوائية ذات نصفين: النصف الأول معامل الانعكاس له ρ_1= %100، والنصف الآخر معامل الانعكاس له 4% = ρ_2. نضعها مكان العاكس الضوئي ونقوم بقياس الأشعة المرتدة عنها عند خرج الكاشف الضوئي، ومن أجل كل طول موجه، يجب أن تكون النسبة بين القياسين مثل نسبة معاملي الانعكاس لجزأي المرآة. $\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{u_1}{u_2}$ فيكون لدينا بالتعويض $\frac{100}{4} = \frac{3986\ mv}{160\ mv} = 24{,}913 \cong 25$.

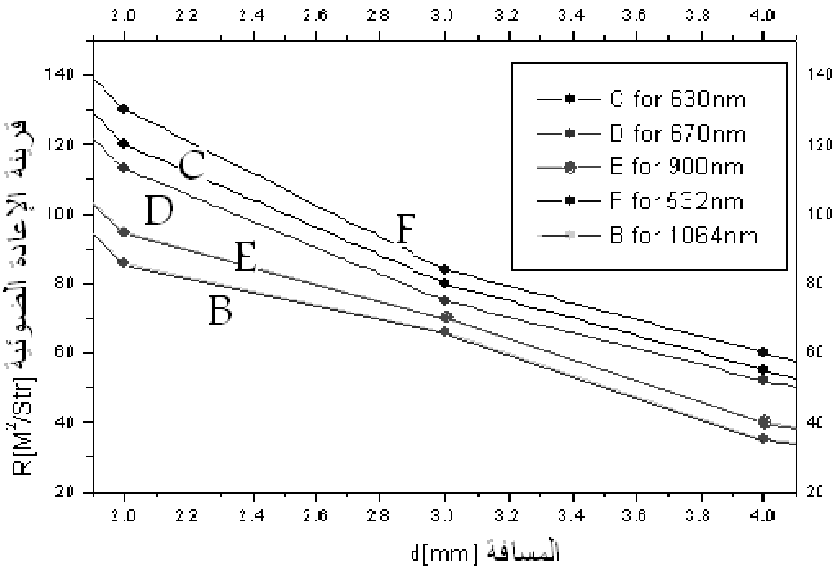
وتعد هذه النسبة مقبولة، فيجب أن تكون قريبة من 25، وهي نسبة الانعكاسين لجزأي المرآة المعيارية [3].

- يتم تغيير المسافة d_2 بين العدستين وقياس الجهد وحساب R معامل الإعادة الضوئية للأطوال الموجية المختلفة وهي: (1064- 900- 670- 632.5-532nm).
- علاقة معامل المعيد الضوئي R بدلالة المسافة d_2، يبين الشكل (9) تغيرات R مع d_2 من أجل الأطوال الموجية المختلفة وهي علاقة أسية.



الشكل (9) تغيرات R مع d_2 من أجل الأطوال الموجية المختلفة.

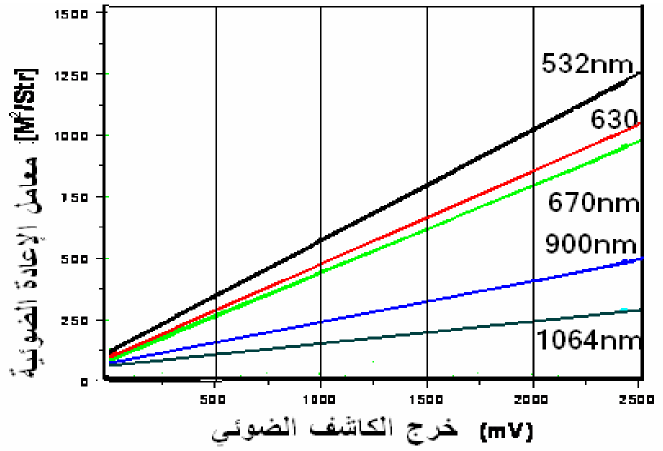
ويمكن أن نبين ذلك التغير بشكل أوضح إذا أخذنا التغير الخطي بينهما على مسافة d_2 صغيرة من 2-4mm بالتكبير كي نبين الفرق بين المنحنيات وارتباطهـا بطـول موجـة الليزر المستخدم والعلاقة قريبة من الخطية في المجالات الصغيرة لتغيـر المـسافة d2، وهذا ما يوضحه الشكل (10).



الشكل (10) الخطوط البيانية لكل أطوال الموجة المستخدمة بالتكبير.

- العلاقة بين خرج الكاشف الضوئي ومعامل الإعادة الضوئية

ويبين الشكل (11) العلاقة بين خرج الكاشف الضوئي مقدرة [mv] مـع تغيـرات قرينة المعيد الضوئي R مقدرة $[M^2/Str]$أي R(V) من أجل الأطوال الموجية الليزريـة المختلفة، وهي علاقة خطية، ولذلك فإن هذه المنحنيات تصلح لتكون منحنيـات معـايرة لمعامل الإعادة الضوئية.



الشكل (11) تغيرات الجهد على خرج الكاشف الضوئي (V) بدلالة R من أجل أطـوال موجيـة ليزرية مختلفة.

وباستعمال العلاقتين (8) و(6) دون إدخال النفوذية الجوية والنفوذية البـصرية فـي الحسابات، نحصل على المنحنى البياني النظري في الشكل (12) (الخط المستمر)، وهـي علاقة أسية طبعاً في علاقتها مع المسافة بين العدستين، والمنحنى المستمر فـي الـشكل (12) مرسوم من أجل طول الموجة 1064nm حيث كانت النفوذية الجويـة والنفوذيـة البصرية لكل العدسات البصرية المستخدمة هي $\tau_a=0.68$ و$\tau_{optics}=0.91$. وبوضع القيم التجريبية على المنحنى البياني في الشكل (12) (النقاط المربعة) نجد أن التطابق تام تقريباً بين قياسات R مع المسافة (d_2) والمنحنى النظري.

نستنتج من المنحنى البياني(12) أن العلاقة أسية، وهي من الشكل:

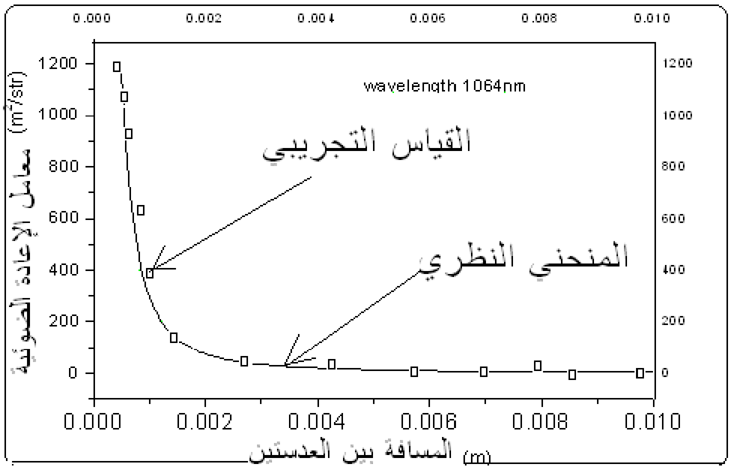
$$R=1085,16.\ e^{-2.3.d}$$

وبمقارنة الخطوط البيانية التي حصلنا عليها تجريبياً لأطوال موجية ليزريـة مختلفـة نجد أن معامل المعيد الضوئي مرتبطة بطول موجة الليزر المستخدم، وهذا متوافـق مـع المرجع [14] ويؤكد صحة عملنا، فهو أكبر ما يمكن من أجل طـول الموجـة 532nm، وأصغر قيمة لها من أجل الليزر بطول الموجة 1064nm، فإن معامل المعيـد الـضوئي أكبر قيمة له عند طول الموجة 532nm، ويقل بزيادة طـول الموجـة λ المـستخدم لأن معامل المعيد الضوئي متناسب عكساً مع القوة التربيعية لطول الموجة المستخدم:

$$R=\frac{\rho\, D^4}{5.95\lambda^2} \qquad (9)$$

إذ D: قطر فتحة الدخول إلى النظام البصري المراد قياس معامل الإرجاع الضوئي له.

ρ: معامل الانعكاس للسطح المدروس.[14,16]



الشكل(12) علاقة R مع المسافة بين العدستين، (الخط المستمر) هو المنحنى النظري باعتبـار النفوذية الجوية $\tau_a=0.68$ والنفوذية البصرية،$\tau_{optics}=0.91$.و(النقاط المربعة) هي القياسات التجريبية.

كما هو موضح في الشكل (12) الذي يبين تغير معامل الإرجاع بشكل أسي مع تغير المسافة بين العدستين.

بتقدير علاقات R(d) وR(v) للخطوط البيانية فـي الأشـكال (9 و10 و11) يمكـن الحصول على العلاقات الناظمة لكل منها، وهي المبينة في الجدول (1).

الجدول (1) يبين العلاقات الرياضية لتغير R(d) وR(v) من أجل أطوال موجية مختلفة.

طول الموجة λ(nm)	المعادلة R(d)	المعادلة V(R)	المعادلةR(v)
532	$R=2316,76.e^{-2,233.d}$	V=3,130+2,32.R	R=(V-3,13)/2,32
630	$R=2003,50.e^{-2,241.d}$	V=1,2257+2.R	R=(V-1,22)/2
670	$R=1893,20.e^{-2,249.d}$	V=0,74+1,9.R	R=(V-0,74)/1,9
900	$R=1158,76.e^{-2,294.d}$	V=6,19+1,56.R	R=(V-6,19)/1,56
1064	تجريبي $R=1096,2.e^{-2,31.d}$	V=7,215+1.34.R	R=(V-7,2)/1,34
1064	نظري $R=1085,1.e^{-2,3.d}$		

تشير المعادلات السابقة المبينة في الجدول إلى تناقص معامل الإعادة الضوئية بـشكل أسي مع زيادة البعد بين العدستين d، وزيادة طول الموجة، وهذا متوافق مع الواقـع لأن زيادة d يقلل تمحرق الأشعة الداخلة للمعيد الضوئي بشكلٍ كبير، وسبب هذا التناقص مبين فيما يأتي:

إن زيادة طول موجة الليزر المستخدم يؤدي إلى نقـصان قرينـة انكـسار الزجـاج المستخدم n إذ n(λ) حسب علاقة كوشـي (10) (Cauchy)، وهـي علاقـة معروفـة وشهيرة [18].

$$n(\lambda)=k+l.\lambda^{-2}+m.\lambda^{-4} \qquad (10)$$

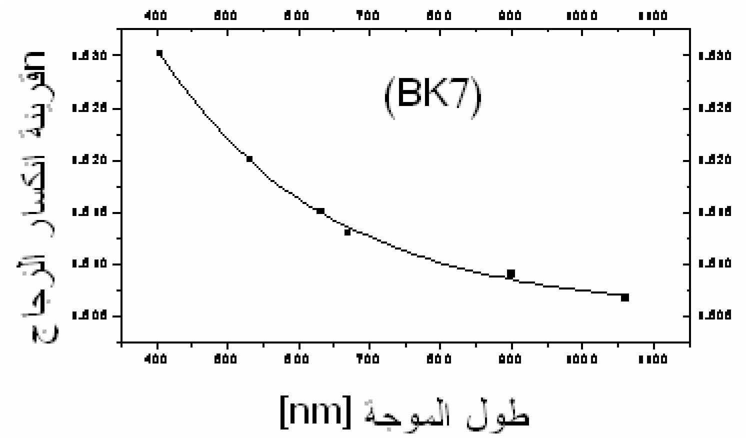
إذ k, m, l : ثوابت عددية.

مما يؤدي إلى زيادة البعد المحرقي للعدسات، حسب العلاقة (7)، وهذا التغير يسبب تغير زاوية الورود على وجه الورود للمعيد الضوئي حسب العلاقة (6)، ومن ثم زاوية الانعكاس الكلي على السطوح الداخلية للمعيد الضوئي حسب العلاقة (11), [18]، التي تحكم زاوية الانعكاس الحدي.

$$\sin\theta_c = 1/n(\lambda) \qquad (11)$$

مما يؤدي إلى زيادة زاوية الانعكاس الكلي θ_c بزيادة طول الموجة، وعندما تزداد زاوية الانعكاس الكلي يقل عدد الأشعة الضوئية الواردة إلى المعيد الضوئي المحققة للزاوية θ_c، ومن ثم فإن الأشعة الراجعة عن المعيد الضوئي أقل، والعكس بالعكس.

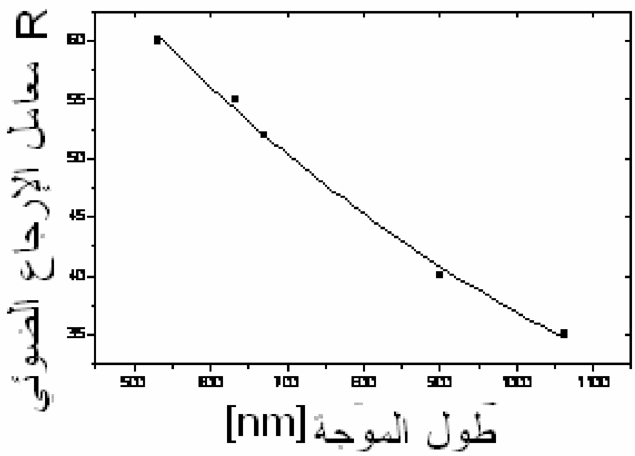
ونبين في الشكل (13) المنحنى البياني $n(\lambda)$ من أجل الأطوال الموجية المدروسة في المنحنيات السابقة، من أجل مسافة ثابتة (d=4mm) بين العدستين.



الشكل (13) المنحنى $n(\lambda)$ تغير قرينة الانكسار للزجاج المستخدم حسب طول موجة الليزر.

- كما يمكن أن نبين الارتباط بين معامل المعيد الضوئي وطول الموجة من أجل مسافة ثابتة (d=4mm) بين العدستين كما في الشكل (14) المنحنى البياني $R(\lambda)$، ونلاحظ أن هذه العلاقة تبين تزايد معامل الإرجاع الضوئي مع نقصان طول الموجة أيضاً.

وهي من الشكل: $R=\frac{\alpha}{\lambda^2}$ إذ α ثابت تناسب أو يمكن وصفها كتابع متناقص أسياً من الشكل $R=ae^{-b\lambda}$ إذ a ,b ثوابت تناسب. وهذا متوافق مع المعادلة [14] (9).



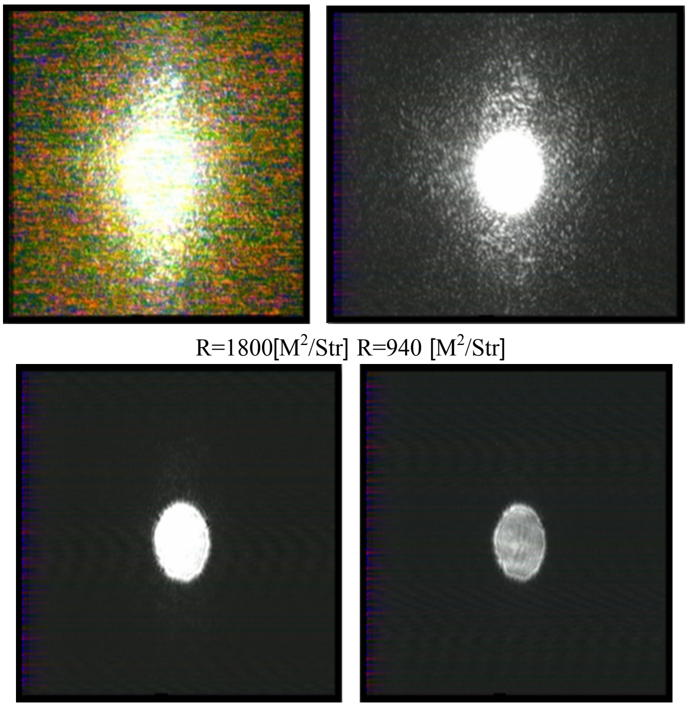
الشكل (14) R(λ) من أجل مسافة ثابتة (d=4mm) بين العدستين

- الأشعة الضوئية الراجعة المختلفة المسجلة على الحاسب

أخذت صور الضوء الليزري بواسطة ccd كاميرا، وذلك من أجل ليزر ديود طـول موجته λ=670nm. ويبين الشكل (15) شكل البقعة الضوئية الناتجة والمختلفـة بحـسب معامل الإعادة الناتج.

من أجل ليزر ديود طول موجته 670nm.

- كما هو مبين لدينا في الشكل (15) يمكننا أن نأخذ صورة الأشعة الراجعة عـن أي جهاز بصري، أو بصري-الكتروني، وتدل البقعة الضوئية الـشديدة الإضـاءة علـى أن معامل الإرجاع الضوئي كبير للجهاز المدروس، والبقعة الضوئية الضعيفة الإضاءة تـدل على معامل الإرجاع الضوئي قليل، وهكذا يمكننا أن نعرف قيمة معامل الإرجاع الضوئي $R[M^2/Str]$ من قياس الجهد[mv] V عند خرج الكاشف الضوئي واستخدام المنحنيـات المعيارية R(V) أو المعادلات الرياضية المستنتجة V(R) منها حسب طول موجة الليزر المستخدم في القياسات، والصورة الناتجة عن كل نظام بصري على حدة تعـد البـصمة البصرية للجهاز البصري الالكتروني، كما يمكن تخزينها على الحاسب ومقارنتها بصور مرجعية معامل إرجاعها الضوئي معلوم، وذلك بواسطة برامج خاصة مع كرت تحـصيل معطيات مناسب.



الشكل (15) صور بقعة الضوء الليزري الراجع من المنظومة المخبرية.

الخـاتمـة

تم في هذا العمل إيجاد طريقة دقيقة لقياس قرينة الإعادة الضوئية لجهاز بـصري أو بصري–الكتروني دون الحاجة إلى مسافات كبيرة لإجراء عملية القياس، ودون الحاجـة إلى مخبر عاتم جداً، ويمكن إجراء القياس من قبل شخص واحد فقط، كما يمكن تخـزين صورة الأشعة الراجعة على الحاسب.

كما تم دراسة تأثير طول موجة الليزر المستخدم علـى معامـل الإعـادة الـضوئية بالاعتماد على معيد ضوئي مرجعي متغير المعامل، وقد تبين أن حزمة الليـزر بطـول الموجة (532nm) هي الأكثر إرجاعاً، في حـين أن حزمـة الليـزر بطـول الموجـة (1064nm) أقلها إرجاعاً. وهذا مفيد في البحوث التطبيقية، وأمكن فيها وصف العلاقات الرياضية لمعاملات الإرجاع بدلالة جهد خرج الكاشف الضوئي المستخدم وعلاقتها بطول موجة الليزر، ورسم المنحنيات البيانية لها والتي يمكن اسـتخدامها كمنحنيـات مرجعيـة لعملية قياس معامل الإعادة الضوئية لأي جهاز بصري أو بصري-الكترونـي، بحـسب طول موجة الليزر المستخدم.

REFERENCES المراجع

1.Clara, A. and Rechard, J. (2005). Measurement of optical properties, NIST96, 215.

2.Technical note. (2004). Reflection & Retroreflection, delta com. road sensor, RS (101).

3. نيكالاي باريشنيكوف وفاليري كراسيك. (1998). عمل بحثي لدراسة المواصفات الترددية الفراغية لأنظمة الإرجاع البصرية، رقم 621.3967.0297، معهد باومن، (باللغة الروسية).

4.George, H. Seward, P. and Cort, S. (1999). Measurement and characterization of angular reflectance for cube-corners and microspheres, Paper 980171, OPT. ENG. (38), (1), P164-169.

5.Madhusudana Rao, S. (2002). Method for measurement of the angles of a tetragonal for corner cube prism, Paper 010454; accepted for publication, OPT. ENG. (41),(7), P.1612-1614. Feb. 1, 2002.

6.Madhusudana Rao, S. and Martor, J. (2007). Optimal design of retroreflection corner-cube sheets by geometric optics analysis, Paper; accepted for publication, OPT.ENG. VOL (46), (9), P.094002-1-14, Sep. 2007

7.Snyder, J. (2008). Ray retroreflctor cat's, APPLIED OPTICS, Vol. (14), (8).

8.Robert, B. Nilsen, and Xai Jing Lu, (2004). Retroreflection Technology, Grove Avenue, Mystic, Etymology Solutions & Invention LLC, USA OG355; Rcflcxite Corporation, 120 Darling Drive, Avon, CT, USA 06001, SPIE,Bellingham,wa,2004.

9.Acharekar, M. A. (1984). Derivation of internal incidence angles and coordinate transformations between internal reflections for corner reflectors at normal incidence, Optical Engineering 23(5), P. 669- 674.

10.James, H. Churnside and Richard, J. Lataitis. (2008). Wander of an optical beam in the turbulent atmosphere, APPLIED OPTICS/Vol. (29), No. (7).

11.California Test 642. (2009). Method Of Test For Coefficient Of Retroreflection Of Retroreflective Sheeting For Highway Signs, State Of California Business, Transportation And Housing Agency .

12.Mark, L. Biermann William, S. Rabinovich, Rita Mahon, G. Charmaine Gilbreath. (2002). Design and analysis of a diffraction-limited cat's-eye retroreflectors, Paper 010206. OPT. ENG.(41),(7), P.1655-1660, (july).

13.Harlanl, G. Tompkins, Eugene, A. Irene. (2005). Handbook Of Ellipsometyr, Springer.

14.Baryshnikov, N. V. And Stepanov, R. O. (2007). Development Of A Method and Apparatus For Measuring The Light - Reflecting Characteristics Of Infrared Optoelectronic Systems, Udc 621. 396. 967. 029. 7, Springer.

15.Cie (Commission Internationale De L'eclairage). (1987). International Commission On Illumination International Beleuchtungskommission, Gidde To The Properties And Uses Of Retroreflectiors At Night, Publication Cie N072, A1033 Vienna, P.O. Box 169-Austria.

16.Cie Technical Report. (2001). Retroreflection Definition &Measurement, Nov.2001& Cie Technical Report,(2007). Road Transport Lighting For Developing Countries" 180/ Isbn9783901906619.

17.Jial Liu, And Azzam, R. M. A.(1997). Polarization Properties Of Corner – Cube Retro Reflector: Theory And Experiment, Applied Optics, 1march /Vol.36, No.7.

18.Ronald, W. Waynant Marwood, N. Ediger. (2000). Handbook Of Electro-Optics, Second Edition.