



جمهورية العراق

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة بابل

كلية العلوم للبنات

قسم فيزياء الليزر

دراسة التأثيرات اللاخطية والمغناطيسية- الضوئية لعوالق نانوية
مغناطيسية

رسالة مقدمة الى مجلس كلية العلوم للبنات في جامعة بابل
وهي جزء من متطلبات نيل درجة الماجستير في علوم فيزياء الليزر

من قبل

زينب احمد كاظم

بكالوريوس علوم فيزياء الليزر

جامعه بابل 2019

بإشراف

أ.م.د. احمد باقر رضا

أ.د. جاسم محمد جاسم

Republic of Iraq
Ministry of Higher Education
and Scientific Research
University of Babylon
College of Scientific for Women
Department of Laser Physics



**An Investigation of Nonlinear and Magneto-optical
Effects in Magnetic Nanoparticle Suspensions**

A Thesis

Submitted to the council College of Science the Department of
Laser Physics University of Babylon as partial Fulfillment of
the Requirement for the Degree of Master in science of Laser
Physics

By

Zainab Ahmed Kadem
BSc. Laser Physics (2019)

Supervised by

Prof.Dr.Jasem Mohammed

Assit.prof.Dr.Ahmed Baqer

2023 A.D.

1445 H.A

Abstract

In this work, the structural characteristics and the effect of the external magnetic field on the linear and nonlinear optical properties of Fe_3O_4 prepared by the co-precipitation method were studied. The structural examination included X-ray diffraction (XRD) examination and transmission electron microscopy (TEM). The results of the TEM examination showed that the size of the Fe_3O_4 particles ranges between 8-50 nm. The XRD examination showed that this material has a high-purity crystalline structure.

The study of the optical properties of magnetic fluids that contain Fe_3O_4 nanoparticles included studying the changes in the linear refractive index in detail under different conditions. The study concentrated on examining the effects of the type of liquid, temperature, particle concentration, and magnetic field on the optical properties of the samples. This study highlights the interactions between these factors and how they can affect the linear optical properties of ferromagnetic fluids. This study showed that the strength of the impact of the nanoparticles depends on the properties of the liquid. In addition, the presence of nanoparticles affects the refractive index of the medium (n) and its thermal change (dn/dT) in an opposite manner. This property can be used to design optical devices with controllable refractive index.

In addition, four types of optical filters were designed using single Fe_3O_4 particles alone and mixed with other non-magnetic materials. These filters are adjustable and have different specifications. The first filter consists of Fe_3O_4 particles only, and the second and third filters consist of mixing silver nanoparticles and Methyl blue dye with iron oxide particles, respectively. The fourth type of filter designed in this work consists of copper nanoparticles bound to the Fe_3O_4 particles. The results showed that the controlling of these filters is reversible and can be invested in

Abstract

designing pioneering filters for optical and communications field applications.

On the other hand, the spatial self-phase modulation technique (SSPM) was used with an external magnetic field to study the magneto-nonlinear properties of the Fe₃O₄ particles. In addition, the Z-scan technique at three different wavelengths (405, 532, and 650 nm) was used to study the spectral dependence of the nonlinear properties of the Fe₃O₄ nanoparticles. This study showed that Fe₃O₄ particles have a negative nonlinear refractive index at all the studied wavelengths. It was also demonstrated that the possibility of using this material to design an optical switch.

Introduction

1-2 المقدمة

يتناول هذا الفصل الجانب النظري الخاص بالخصائص المغناطيسية والخصائص البصرية الخطية (معامل الانكسار و الفلاتر البصرية) واللاخطية (تقنية الماسح البصري scan- وتقنية تعديل الطور الذاتي المكاني (Self-Phase Modulation)

2-2 الجسيمات النانوية Nanoparticles NPs

هي جسيمات متناهية الصغر تتراوح ابعادها بين (1-100) nm لها صفات مميزة تتناسب مع متطلبات التطبيقات التكنولوجية الحديثة و تنفرد بخواص فيزيائية وكيميائية تميزها عن المواد التقليدية , مثل نقاط انصهار منخفضة ومساحات سطحية اعلى وخصائص بصرية محددة وقوة ميكانيكية ومغناطيسات محددة وهي خصائص قد تكون جذابة في تطبيقات صناعية مختلفة ، هذه الخواص تعتمد على التركيب والحجم ، والشكل للجسيمات [41][42] [43][44][45]. اذا اختلف حجمها فان خصائصها البصرية تتغير بشكل كبير وفي التطبيقات البصرية فان التوزيع الحجمي للجسيمات النانوية اصبح عاملا مهما للغاية لذلك من المهم تصنيعها بحجم واحد [46]. ومع وجود مجموعه واسعه من التطبيقات المتاحة فان NPs لديها القدرة على احداث تأثير كبير [47]. وعلى مدى العقود الماضية كان هناك اهتمام متجدد ومتزايد بالمواد ذات البنية النانوية وخاصة الجسيمات النانوية المغناطيسية لأنها توفر اللبنة الاساسية لازدهار علم وتكنولوجيا النانو [48].

1-2-2 الجسيمات النانوية المغناطيسية Magnetic Nanoparticles MNPs

هي جسيمات نانوية يمكن توجيهها من خلال مجال مغناطيسي خارجي لخصائصها المغناطيسية [49]. حيث تتكون من عناصر ممغنطة مثل الحديد والنيكل والكوبلت بالإضافة الى مركباتهم الكيميائية [50]. وكانت محورا للعديد من الابحاث مؤخراً لأنها تمتلك خصائص جذابة يمكن ان ترى استخداماً محتملاً في التحفيز بما في ذلك المحفزات القائمة على المواد النانوية والطب الحيوي واستهداف الانسجة المحدد والبلورات الضوئية الغروية القابلة للضبط مغناطيسياً والموائع الدقيقة والتصوير بالرنين المغناطيسي وتصوير الجسيمات المغناطيسية وتخزين البيانات والمعالجة البيئية والسوائل الحديدية والمرشحات الضوئية [51]. تتمتع MNPs ذات الخصائص السطحية المناسبة بإمكانية عالية لاستخدام في الكثير من التطبيقات في المختبر وفي

الجسم الحي[52]. وان خصائصها الفيزيائية والكيميائية الى حد كبير تعتمد على طريقة التوليف والتركيب الكيميائي في معظم الحالات[53].

3-2 الخصائص المغناطيسية Magnetic properties

تصنف المواد المغناطيسية حسب استجابتها للمجال المغناطيسي المطبق الى خمسة انواع ,antiferromagnetic, diamagnetic ,paramagnetic, ferromagnetic, Ferrimagnetic في المواد ferromagnetic مثل (الحديد والنيكل والكوبالت) [54]. تمتلك الذرة عزمًا مغناطيسيًا صافيًا بسبب الإلكترونات غير المزدوجة تتكون المادة من مجالات تحتوي كل منها على أعداد كبيرة من الذرات التي تكون عزومها المغناطيسية متوازية مما ينتج عنه عزم مغناطيسي صافٍ للمجال يشير في اتجاه ما ويتم توزيع العزوم المغناطيسية للنطاقات بشكل عشوائي مما يعطي صفرًا من العزوم المغناطيسية الصافية للمادة عندما يتم وضع المادة ferromagnetic في مجال مغناطيسي فإن العزوم المغناطيسية للنطاقات تتماشى مع اتجاه المجال المغناطيسي المطبق لتشكل عزم مغناطيسية صافية كبيرة وتوجد عزوم مغناطيسية متبقية حتى بعد إزالة المجال المغناطيسي [55][56]. وفي المواد شبه المغناطيسية paramagnetic مثل (gadolinium, magnesium, lithium, and tantalum) تحتوي الذرة على عزم مغناطيسي صافٍ بسبب إلكترونات غير مقترنة ولكن المجالات المغناطيسية

غائبة عندما يتم وضع المادة البارامغناطيسية paramagnetic في مجال مغناطيسي فإن العزوم المغناطيسية للذرات تتماشى مع اتجاه المجال المغناطيسي المطبق وتشكل عزم مغناطيسي ضعيف هذه المواد لا تحتفظ بالعزم المغناطيسي عند إزالة المجال المغناطيسي[57]. في المواد diamagnetic مثل (النحاس والفضة والذهب ومعظم العناصر المعروفة) لا تحتوي الذرات على إلكترونات غير مقترنة مما ينتج عنه عزوم مغناطيسية صافية صفرية تعرض هذه المواد استجابة ضعيفة للغاية للمجال المغناطيسي المطبق بسبب إعادة محاذاة مدارات الإلكترون عند تطبيق مجال مغناطيسي لا يحتفظون بالعزم المغناطيسي عند إزالة المجال المغناطيسي[58]. وفي المواد المضادة للمغناطيسية Antiferromagnetic مثل) (MnO و CoO و NiO و CuCl₂) هي مركبات من ذرتين مختلفتين تشغلان مواقع شبكية مختلفة تحتوي الذرتان على عزوم مغناطيسية متساوية في الحجم ومعاكسة في الاتجاه مما ينتج عنه صفر صافي العزم المغناطيسي[59]. وفي المواد Ferrimagnetic مثل (magnetite)

الدراسات المكثفة امكانية استخدامها في تطبيقات متنوعة [65] . ويشير التفاعل المغناطيسي البصري الى التفاعل المادي بين الضوء والمادة المغناطيسية عندما يدخل شعاع الضوء الى المادة المغناطيسية يمكن تعديل خصائص الضوء الناتج مثل حالة الاستقطاب والطياف والطور وشدة الضوء [66]. واكثر التطبيقات شيوعاً هي

- الكشف عن الشوائب المغناطيسية
- مرشحات MO كمرشحات خط ذري
- أجهزة MO مثل مستشعرات المجال المغناطيسي MO و معدّلات MO و الأجهزة الإلكترونية الضوئية المتكاملة مثل الدوائر البصرية والعوازل والمحولات
- محركات أقراص مغناطيسية ضوئية تستخدم التسجيل المغناطيسي الحراري واستشعار MO لمعلومات التسجيل بحد أدنى يبلغ 50 عامًا من العمر الافتراضي
- الفحص المجهرى MO
- إلكترونيات المغناطيسية التي تجمع بين العناصر المغناطيسية صغيرة الحجم وإلكترونيات أشباه الموصلات التقليدية للحصول على أجهزة ذات وظائف جديدة أو محسّنة [67].

4-2 الخواص البصرية الخطية للمواد النانوية

Linear optical properties of nanomaterial's

عبارة عن تفاعلات خطية تحدث عندما تكون شدة الإشعاع الوارد منخفضة فعند الشدات الضوئية المنخفضة يكون الاستقطاب متناسباً مع المجال الكهربائي للموجة الواردة واستجابة الوسط تكون بشكل خطي وإن العديد من التفاعلات الضوئية الخطية يمكن أن تحدث بالاعتماد على خواص الاستقطاب مثل الانكسار و الامتصاص و التبعثر المرن واللامرن وغيرها [68].

1-4-2 الامتصاص Absorption

هو العملية التي يتم من خلالها نقل بعض أو كل طاقة الإشعاع إلى المادة التي تنتقل من خلالها ، وهي تتضمن تقليل شدة ترددات معينة (أطوال موجية محددة) للإشعاع الكهرومغناطيسي التي تُستخدم في جعل الإلكترونات في المادة الماصة تتحرك من مستوى طاقة إلى آخر من خلال

التفاعل نتيجة العلاقة بين العزم الكهربائي ثنائي القطب للجزيئات والمجال الكهربائي المكون من الإشعاع (الفوتون) [69]. وتعتمد احتمالية امتصاص المحلول للفوتونات الساقطة في المواد السائلة على الكثافة الضوئية أو الامتصاصية والتي يمكن حسابها باستخدام كثافة الجسيمات (التركيز) في العينة وسمك العينة التي يمر من خلالها الإشعاع (طول المسار البصري) [70].

$$\dots\dots\dots (1-2)A = \log_{10} I_0/I = \epsilon l c$$

حيث ان

ا: هي شدة الأشعة عند طول الموجي (λ) المارة عبر العينة (الشدة النافذة)

ا : هي شدة الأشعة الساقطة قبل دخولها إلى العينة.

C : تركيز المادة الممتصة

ϵ :معامل الخمود المولاري ووحداته ($M^{-1}cm^{-1}$)

l : سُمك المادة المار من خلالها الشعاع الساقط

وفقًا لقانون بير لا مبرت الذي يصف العلاقة بين امتصاص الأشعة وخصائص المادة التي تسمح للأشعة بالمرور ، يزداد احتمال امتصاص مادة للفوتونات الواردة مع زيادة تركيزها وان كمية الضوء التي يتم امتصاصها أو نقلها تتغير أضعافا مضاعفة مع تركيز المحلول [71][72] . ويمكن تطبيق قانون بير لا مبرت على مجموعة متنوعة من النطاقات الطيفية بما في ذلك الضوء فوق البنفسجي والضوء المرئي وغيرها إذا كان الإشعاع أحادي اللون [73].

2-4-2 معامل الامتصاص Absorption coefficient

يمكن تعريف معامل الامتصاص الذي يعتمد على طاقة الفوتون (hu) وخصائص المادة على أنه نسبة الانخفاض في تدفق طاقة الإشعاع الساقط فيما يتعلق بمسافة الوحدة في اتجاه انتشار الموجة داخل الوسط [74][75] . وبحسب قانون بير- لا مبرت فإن معامل الامتصاص الخطي هو: (α_0)

$$\dots\dots\dots (2-2)A = \text{Log} (I_0 / I) = \alpha_0 l / 2.303$$

$$\dots\dots\dots (3-2)\alpha_o = 2.303 \frac{A}{L}$$

حيث إن: (A) تمثل الامتصاصية

اما النفاذية للوسط فهي قدرة المادة على السماح للضوء بالمرور من خلالها وتعرف بأنها النسبة المئوية لشدة الضوء النافذ (I) إلى شدة الضوء الساقط (I₀) [76].

$$T = (I / I_0) \dots\dots\dots (4-2)$$

باستخدام قانون بير-لا مبرت يتضح أن النفاذية تقل كلما زاد التركيز المولاري للمادة و طول المسار البصري الذي يمر به الضوء وبالتالي يمكن القول بأن هناك علاقة عكسية بينهما علاوة على ذلك فإن النفاذية للوسط ترتبط بامتصاصيته حيث يمكن للمواد التي لديها امتصاصية عالية أن تمتص كمية كبيرة من الضوء وتقلل بالتالي من قدرتها على النفاذية [77]. وهذا مبين في المعادلة الآتية [78].

$$\dots\dots\dots(5-2)A = \log \left(\frac{I}{I_0} \right) = \log \left(\frac{1}{T} \right)$$

3-4-2 معامل الانكسار Refractive index

لا يؤثر الطول الموجي للضوء على سرعة الضوء في الفراغ وهي سرعة ثابتة في المقابل تختلف سرعة الضوء في وسائط المادة عن سرعة الضوء في الفراغ وتعتمد على خصائص الوسط وطول موجة الضوء من خلال قياس الفرق بين سرعة الضوء في الفراغ وسرعة ذلك الضوء عند طول موجي معين في هذا الوسط يمكن استخدام معامل الانكسار لمادة ما لقياس صفات الوسط يتمثل بالمعادلة التالية [79][80].

$$\dots\dots\dots(6-2)n_o = c/V$$

حيث أن: c و v هما سرعة الضوء في الفراغ و سرعته في الوسط المادي على التوالي. وهو غير ثابت حيث يزداد مع زيادة كثافة الوسط ومع ذلك ليس لمعامل الانكسار وحده تميزه [81]. يتأثر معامل الانكسار بطول الموجة الكهرومغناطيسية وتظهر تغيرات في معامل الانكسار لبعض المواد بناءً على اتجاه الموجات الكهرومغناطيسية التي تمر عبرها هذه المواد تستخدم لضبط اتجاه الاستقطاب لتلك الموجات و يمكن التعبير عن معامل الانكسار المعقد لهذه المواد باستخدام المعادلة التالية:

$$n = \eta + ik \dots \dots \dots (7 - 2)$$

حيث يُمثل κ معامل الخمود أو معامل التوهين والذي يُمثل الجزء الخيالي من معامل الانكسار المعقد [82].

1-3-4-2 معامل الانكسار في المواد النانوية Refractive index of nanomaterials

يعتبر معامل الانكسار البصري الخطي خاصية أساسية في فهم تفاعل المواد مع الضوء حيث يصف هذا المعامل العديد من الخصائص البصرية للمادة. وهو مؤشر هام لتوصيف الخصائص البصرية للمواد ويؤثر بشكل مباشر على أداء الأجهزة البصرية والتطبيقات المستندة إلى المواد النانوية [83]. يمكن أن يتأثر معامل الانكسار بعدة عوامل مثل حجم الجسيمات والشكل والتركيب الكيميائي والخصائص المغناطيسية [84]. على سبيل المثال عند تطبيق مجال مغناطيسي خارجي على سائل مغناطيسي تتوجه الجسيمات المغناطيسية بشكل متوازٍ للمجال المغناطيسي مما يؤدي إلى تغيير معامل الانكسار البصري للسائل. ويمكن استغلال هذه الخاصية لتعديل معامل الانكسار بدقة وسرعة، مما يفتح الباب أمام تطبيقات مثل المفاتيح البصرية والتحكم بالضوء وأنظمة الاستشعار البصري المتقدمة [85]. تتوفر عدة طرق لقياس معامل الانكسار للسوائل منها طريقة الانعكاس وطريقة الانكسار. و تقنيات لقياس معامل الانكسار الخطي للمواد النانوية إحدى الطرق هي قياس الانكسار بالغمر باستخدام مستشعر رنين للبلازمون على السطح والذي يسمح بتحديد دقيق لمعامل الانكسار للجسيمات النانوية عن طريق مطابقته مع السائل المحيط [86]. تقنية أخرى هي الانعكاس الداخلي الكلي حيث يتم قياس معامل الانكسار للجسيمات النانوية المشتتة في الماء عن طريق تحديد الزاوية الحرجة [87]. وبفضل قابلية ضبط معامل الانكسار أصبحت الأجهزة التي يمكن التلاعب بخصائصها مهمة ومرنة [88]. في حالة السوائل المغناطيسية يعتمد معامل الانكسار على عوامل مثل درجة الحرارة وتركيز المادة النانوية وطول الموجة للضوء المتساقط. وبالتالي يمكن أن يتغير معامل الانكسار للسائل المغناطيسي بناءً على هذه العوامل [89].

4-4-2 الفلاتر البصرية القابلة للتحكم Controllable optical filters

تلعب المرشحات الضوئية دورًا مهمًا في مجالات مختلفة مثل الاتصالات والتصوير والتحليل الطيفي والاستشعار مما يتيح معالجة الضوء لمجموعة واسعة من التطبيقات. حيث تم

تصميمها لنقل أو عكس أطوال موجية محددة من الضوء بشكل انتقائي بناءً على خصائصها [90][91]. ومع ذلك فقد أدخلت التطورات الحديثة فئة جديدة من المرشحات الضوئية التي يمكن التحكم فيها بواسطة مجال مغناطيسي خارجي باستخدام تقنيات التصنيع النانوية الحديثة [92]. تم تحقيق هذه الوظيفة بواسطة تصنيع جسيمات نانوية مخصصة تُشكَّلت في السوائل مثل السائل المغناطيسي الذي يحتوي على جسيمات مغناطيسية أحادية النطاق بحجم حوالي 100 نانومتر في سائل ناقل غير مغناطيسي [93]. إذ تمتاز هذه الجسيمات بثبات عالٍ للتوجيه المغناطيسي مما يتيح التحكم الدقيق في خصائص المرشحات الضوئية عند تعرضها لمجال مغناطيسي خارجي وعند إزالة المجال المغناطيسي يستعيد السائل والجسيمات خصائصها بالكامل. هذه التقنية المبتكرة توفر تنوعًا وقابلية ضبط غير مسبوق في المرشحات الضوئية مما يفتح إمكانيات مثيرة في تصميم الأجهزة البصرية وتطبيقاتها [94][95]. المرشحات البصرية القابلة للضبط بواسطة المجال المغناطيسي تنتمي إلى فئة المرشحات القابلة للتحكم البصري والتي تعتبر تصنيفًا فرعيًا ضمن المرشحات البصرية العامة [96]. ففي التجارب الطيفية والتداخلية التي تشمل أطوال موجية مختلفة من الضوء قد يكون من الضروري استبدال المرشحات عند تغيير مصدر الضوء (الطول الموجي). على سبيل المثال عند تغيير الليزر المستخدم من ليزر He-Ne إلى ليزر Ar-ion وخاصة عندما يكون الطول الموجي متغيرًا باستمرار مع نوع الليزر القابل للتعديل ولتجنب هذه المشكلة يتم ضبط نوع المرشح البصري باستخدام سوائل الموائع الممغنطة [97]. حيث إن وجود الجسيمات المغناطيسية في السائل يصبح بإمكان المرشح الاستجابة للمجال المغناطيسي الخارجي مما يؤثر على انتقال الضوء وتوزيع الأطوال الموجية. حيث إن الاستفادة من خصائص سوائل الموائع الممغنطة في ضبط المرشحات البصرية يعد تقدمًا مهمًا في مجال تحكم الضوء و هذا يفتح المجال لاستخدامات متعددة تتطلب مرونة وتعديلًا دقيقًا في خصائص المرشحات البصرية [98][99].

5-2 البصريات اللاخطية Nonlinear optics

يحظى هذا العلم باهتمام متزايد بسبب تطبيقاته الواسعة في مجال تكنولوجيا الليزر والاتصالات الضوئية وتكنولوجيا تخزين البيانات [100]. ويعتبر جديد نسبيًا في مجال الفيزياء والعلوم الأساسية [101]. وهو أحد التخصصات الفرعية للبصريات الحديثة [102]. وغالبًا ما ينظر إلى بداية هذا المجال منذ اكتشاف التوليد التوافقي الثاني عام 1961 [103]. على الرغم من أن ملاحظة معظم الظواهر البصرية غير الخطية تتطلب إشعاع الليزر إلا أن بعض فئات التأثيرات

NLO كانت معروفة قبل اختراع الليزر بوقتٍ طويلٍ ومن أبرز الامثلة على هذه الظواهر تأثيرات Pockel's , Kerr , تأثيرات الكهروضوئية [104]. البصريات اللاخطية لها قيمة كبيرة واهمية علمية بعيدة المدى [105].

6-2 الخواص البصرية اللاخطية Nonlinear optical properties

في السنوات الأخيرة شهدت المواد البصرية غير الخطية تطورًا كبيرًا في تقنية الليزر حيث يمكن استخدام هذه المواد لخلق تأثيرات غير خطية عند تفاعلها مع الضوء مما يؤدي إلى تحسين خصائص الليزر وقد تم تطوير أنواع مختلفة من المواد البصرية غير الخطية لتحقيق هذه التأثيرات بما في ذلك تفاعلات بين الليزر والجسيمات النانوية ويعد البحث عن هذه المواد أحد الجوانب المهمة للبصريات اللاخطية [106]. والمعلقات السائلة للجسيمات النانوية يمكن أن تظهر اللاخطية البصرية بصورة كبيرة [107]. و لقد تم إثباته بشكل كبير في مجموعة متنوعة من التجارب بما في ذلك تحديد البصريات واستطارة مي [108][109]. والامتصاص والانكسار البصري غير خطي [110]. وهناك عاملان قد يؤثران على الخصائص البصرية اللاخطية للمحاليل الغروانية أولاً: خصائص المادة التي تتكون منها الجسيمات النانوية و ثانياً : تأثيرات استطارة مي وتأثيرات العدسة الحرارية والقوى البصرية وعوامل أخرى في المحلول [111][112][113]ومن الممكن تحقيق تحسينات كبيرة للمعلمات البصرية غير الخطية عن طريق تغيير حجم وشكل الجسيمات النانوية [114].

7-2 العمليات البصرية اللاخطية من المرتبة الثالثة

Third - Order Nonlinear Optical Processes

تحدث التفاعلات البصرية غير الخطية من الدرجة الثالثة (أي تلك الموصوفة بقابلية χ^3) لكل من الوسائط المتماثلة المركزية وغير المتماثلة [115]. تهتز ذرات المادة (الشحنات) عندما تتعرض لشعاع ضوئي عالي الكثافة (ليزر) يكون تذبذب الشحنات متناسقاً مع الإشعاع الساقط من نفس التردد إذا كانت المادة بصرية خطية بمعنى آخر المجال الكهربائي للإشعاع الساقط له تأثير على مدى تحرك الشحنات ويمكن أن يتسبب هذا التفاعل في انبعاث الإشعاع على نفس التردد مثل الإشعاع الساقط ، أو يمكن تحويل الطاقة التي تمتصها المادة (النظام) عن طريق عمليات تحويل الطاقة دون انبعاث شعاع ، كما لو تم تحويل الطاقة إلى حرارة في المادة أو من

خلال أي عملية تحويل طاقة أخرى لذا فإن الاستقطاب المحتث يمكن ذكر معادلاته التالية على أنها خطية في هذه الحالة [116].

$$\vec{P}_L = \varepsilon_0 \chi^{(1)} \vec{E} \dots \dots \dots (8 - 2)$$

\vec{P}_L : الاستقطاب الخطي .

ε_0 : السماحية في الفراغ (ثابت العزل الكهربائي).

$\chi^{(1)}$: التأثرية الخطية من الدرجة الأولى.

\vec{E} : المجال الكهربائي المسلط

ولكن إذا كان النظام غير خطي فستكون هذه الشدة هي التي تسبب إزاحة هائلة للشحنات عند استخدام شعاع ليزر قوي (شده عالية) بما يكفي لإنتاج تأثيرات غير خطية هذا يعني أن الاستقطاب المحتث هو [117].

$$\vec{P} = \vec{P}_L + \vec{P}_{NL} = \vec{P}_L + \vec{P}_{NL}^{(2)} + \vec{P}_{NL}^{(3)} + \dots (9 - 2)$$

$\vec{P}_{NL}^{(2)}$ و $\vec{P}_{NL}^{(3)}$ تمثلان الاستقطاب من المرتبة الثانية و الثالثة على التوالي

و كذلك يمكننا كتابة الاستقطاب المحتث بالمعادلة التالية [118].

$$\vec{P}(t) = \varepsilon_0 \left[\chi^{(1)} \vec{E}(t) + \chi^{(2)} \vec{E}^2(t) + \chi^{(3)} \vec{E}^3(t) + \dots (10 - 2) \right]$$

كما ان $\chi^{(2)}$ و $\chi^{(3)}$ اللذان يعرفان على أنهما استجابة نظام مادة معين لمجال بصري مسلط يعتمد بشكل غير خطي على قوة المجال المسلط هما التفاعل البصري غير الخطي من الرتبة الثانية والثالثة على التوالي [119].

إن التأثيرية البصرية غير الخطية للرتبة الثالثة هو موضوع الدراسة ويمكن أن ينتج عنه معامل انكسار غير خطي (n_2) ومعامل امتصاص غير خطي (β) مع التعبير عن التأثيرية $\chi^{(3)}$ بشكل عام بالمعادلة التالية: [120]

$$\chi^{(3)} = \left[Re(\chi^{(3)})^2 + Im(\chi^{(3)})^2 \right]^{1/2} \dots \dots \dots (11 - 2)$$

نظرًا لأن $Re(\chi^{(3)})$ يمثل الجزء الحقيقي من التأثيرية البصرية غير الخطية من الدرجة الثالثة والذي يمكن تمثيله من حيث معامل الانكسار غير الخطي (n_2) باستخدام المعادلة التالية [121].

$$Re(\chi^{(3)})(e.s.u) = 10^{-4} \frac{\varepsilon_0 n_0^2 c^2 n_2}{\pi} \dots \dots (12 - 2)$$

حيث تشير n_0 إلى معامل الانكسار الخطي للمادة بينما تشير n_2 إلى معامل الانكسار غير الخطي وتشير c إلى سرعة الضوء في الفراغ و $\chi^{(3)}$ تمثل المكون التخيلي للتأثيرية اللاخطية من الدرجة الثالثة يتم ذكرها بدلالة معامل الامتصاص اللاخطي (β) الذي يتم الحصول عليه بالمعادلة التالية [122].

$$Im(\chi^{(3)})(e.s.u) = 10^{-2} \frac{\epsilon_0 n_0^2 c^2 \lambda \beta}{4 \pi^2} .. (13 - 2)$$

1-7-2 الامتصاص اللاخطي nonlinear absorption

في مستويات الإضاءة المنخفضة لا يعتمد معامل الامتصاص للوسط على شدة ضوء الإدخال ومع ذلك في الشدة العالية يمكن ان تحدث العديد من الظواهر التي يمكن ان تعدل هذا السلوك ستغير من نفاذية الوسط عند الحدة العالية مما يتسبب في انحراف عن قانون بيرلامبرت يعرف هذا التغير في نفاذية مادة ذات شدة ضوء الإدخال او الانسياب عموماً بالامتصاص اللاخطي وسوف نناقش عدد قليل من هذه الظواهر [123][124].

2-7-2 الامتصاص متعدد الفوتون Multi-photon absorption

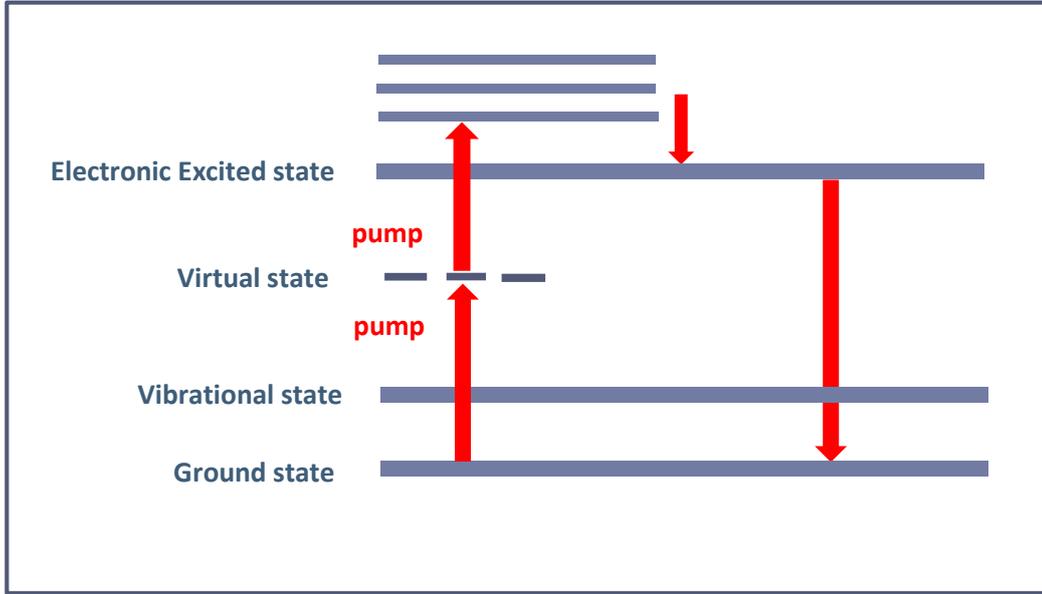
هذا النوع من الامتصاص يحدث عندما يمتص الالكترن في المادة فوتونات بمجموع طاقات أعلى من فوتون واحد للانتقال بين مستويي طاقة ويتوقف حدوث هذا النوع من العمليات على خصائص النظام البصري وشدة الأشعة الساقطة [125][126]. و أبسط نوع من هذه العملية هو عملية امتصاص فوتونين . إذا سقطت موجة مستوية على وسط غير خطي فإن شدة الضوء داخل المادة ستتغير بشكل يتناسب مع المسافة المقطوعة في المادة z [127]. حسب المعادلة التالية

$$I(z) = \frac{I_0}{1 + \beta z I_0} \dots \dots \dots (14 - 2)$$

حيث I_0 هي الشدة الساقطة و β هو معامل امتصاص فوتونين [128]. يمكن تعريف هذا المعامل باستخدام المعادلة التالية:

$$-\frac{dI}{dz} = \alpha I + \beta I^2 \dots \dots \dots (15 - 2)$$

والشكل التالي يوضح امتصاص فوتونين



الشكل (2-2) مخطط يوضح عملية امتصاص فوتونين [129]

3-7-2 الامتصاص العكسي المشبع Reverse saturable absorption

هذا النوع من الظواهر يحدث عندما تكون قدرة المادة على امتصاص الطاقة في الحالة المثيجة أكبر من قدرتها على امتصاص الطاقة في الحالة الأرضية. وهذا يؤدي إلى أنه عند زيادة شدة الضوء المتساقط على المادة يزيد امتصاصها في الحالة المثيجة بنسبة أكبر من امتصاصها في الحالة الأرضية. وهذا النوع من الظواهر يختلف عن الامتصاص المشبع حيث في الامتصاص المشبع، تصل القدرة على الامتصاص إلى حد معين ولا تزيد عنه بغض النظر عن زيادة شدة الضوء (نقل الشدة النافذة مع زيادة شدة الضوء الساقط على المادة) [130][131].

4-7-2 الانكسار اللاخطي nonlinear refraction

العملية التي يتغير فيها معامل الانكسار للوسط كدالة لشدة الضوء الساقط هي عملية غير خطية تلعب هذه العملية دورًا في العمليات البصرية [132]. ويعد فهم الانكسار غير الخطي أمرًا مهمًا لتطبيقات مثل التبديل البصري الشامل والمعالجة البصرية والمجهر متعدد الفوتونك [133]. ويمكن تعريف معامل الانكسار الكلي للمادة بواسطة المعادلة التالية

$$n(\omega, I) = n_0 + n_2 I \dots \dots \dots (16 - 2)$$

حيث أن n_0 هو معامل الانكسار الخطي للمادة و n_2 هو معامل الانكسار اللاخطي للمادة و I هو شدة الضوء الساقط [134].

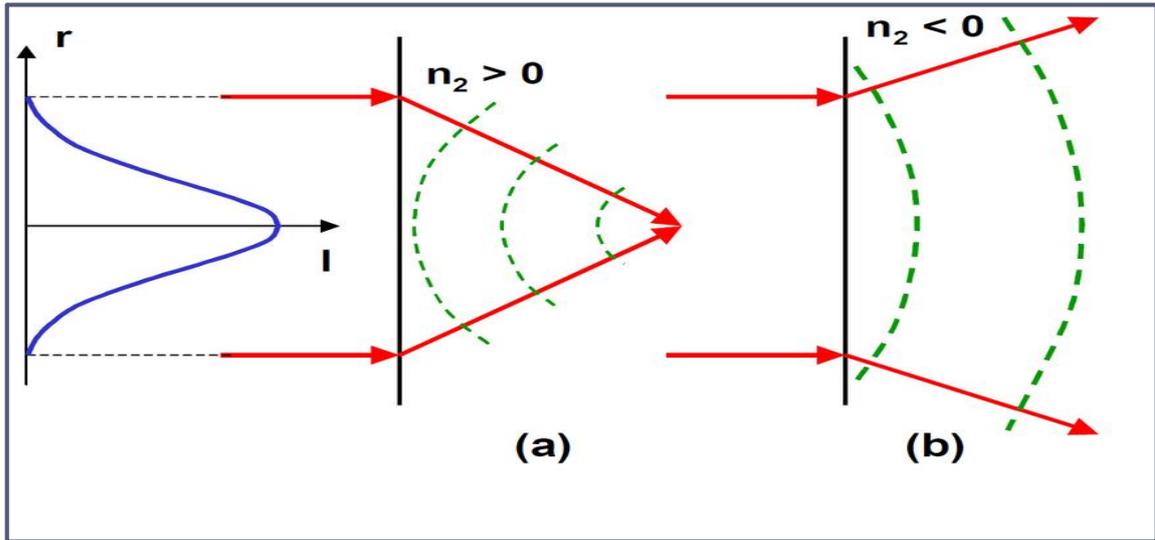
وإن التغير في معامل انكسار المادة وتحت تأثير شدة حزمة ليزر عالية يمكن أن ينتج عنه العديد من التأثيرات و إن من أهم التأثيرات هو التنبير الذاتي Self-Focusing وتأثير عدم التنبير الذاتي Self-defocusing [135].

1-4-7-2 التنبير الذاتي Self-Focusing

هو عملية لا خطية في البصريات والليزر تحدث نتيجة ارتفاع شدة الحزمة الليزرية مما يؤدي إلى تغيير خصائص الوسط الذي تنتشر فيه هذا التغيير يعتمد على تأثير معامل الانكسار بناءً على شدة الحزمة حيث يؤدي ذلك إلى تغيير معامل الانكسار اللاخطي داخل الوسط وتكوّن تنبير للحزمة داخله بحيث تعمل كعدسة موجبة $n_2 > 0$ (معامل الانكسار موجب). هذا التنبير يسبب زيادة شدة الحزمة في مناطق محددة مما يؤدي إلى زيادة التأثيرات الليزرية في تلك المناطق ونظرًا لزيادة الشدة قد يسبب هذا تأثيرات ضارة للمادة التي تنتشر فيها الحزمة. فهم هذه العملية مهم لاستخدام الليزر بأمان خاصة عند التعامل مع شدات عالية لتجنب تلف المواد والأجهزة بسبب التركيز المفرط للحزمة داخل الوسط [136][137]. كما موضح بالشكل (2-3)

2-4-7-2 عدم التنبير الذاتي Self-defocusing

هذه العملية تعمل على زيادة التباعد بين أجزاء الحزمة مما يؤدي إلى انتشار الحزمة بشكل أوسع. هذا الانتشار يمكن أن يؤدي إلى تقليل شدة الحزمة في هذه الحالة تكون المادة التي يمر بها الليزر تعمل كعدسة سالبة $n_2 < 0$ أي أن معامل الانكسار يزداد مع زيادة الشدة. هذا يؤدي إلى تغيير تركيز الحزمة بشكل عكسي مقارنة مع تنبير الذاتي ونتيجة لذلك تنتشر الحزمة وتتسع وهذا يمكن أن يؤدي إلى تقليل التأثيرات الليزرية المكثفة وزيادة التباعد بين الأجزاء المختلفة من الحزم [138][139]. كما موضح بالشكل (2-3)



الشكل (3-2) يوضح تأثير Self-Focusing و تأثير Self-Defocusing لحزمة كاوسية [140]

8-2 تقنيات قياس الخواص اللاخطية

Measurement Techniques For Nonlinear Optical Properties

ان مقدار واستجابة القابلية غير الخطية من الدرجة الثالثة هي معلمات مهمة في توصيف وتحديد قابلية تطبيق أي مادة كجهاز بصري غير خطي هناك العديد من التقنيات لقياس هذه المعلمات التي تشمل [140]:

- تقنية المسح على المحور (Z) Z-scan [141].
- خلط اربع موجات Four Wave Mixing [142].
- تقنية تعديل الطور الذاتي المكاني Spatial Self-Phase Modulation [143].
- تقنيات التصوير اللاخطي Nonlinear Imaging Techniques [144].

وفي هذه الدراسة سيتم قياس الخواص اللاخطية باستعمال تقنية تعديل الطور الذاتي Spatial self-phase modulation technique وتقنية المسح على المحور البصري Z.

1-8-2 تقنية تعديل الطور الذاتي المكاني (spatial self-phase modulation) (SSPM)

هي احد تلك التأثيرات التي تم اكتشافها في الايام الاولى للبصريات اللاخطية تشير الى الظاهرة التي يتفاعل بها شعاع الليزر مع الوسط ويفرض تعديل طور على نفسه. ويكمن الأصل المادي للظاهرة في حقيقة أن المجال القوي لشعاع الليزر قادر على إحداث تغيير ملموس في معامل

الانكسار و الذي يعتمد على كثافة الوسط حيث يفرض هذا التغيير في معامل الانكسار تغييراً في طور نفس الموجة التي سببت تغير معامل الانكسار[145]. واول ملاحظة ل SSPM تم ملاحظتها من قبل Callen في عام 1976[146][147]. حيث ان معظم الظواهر التي لوحظت في SSPM هي سلسلة من الحلقات متحدة المركز الفرق الرئيسي بين هذه الأنماط هو في المنطقة الوسطى في بعض الحالات تكون مظلمة بينما في حالات أخرى ساطعه [148].

و يرتبط تحول الطور الذاتي اللاخطي $\Delta\phi$ بشدة الليزر المستخدم ويمكن حسابه باستخدام المعادلة التالية[149].

$$\Delta\phi = \left(\frac{2\pi n_0}{\lambda}\right) \int_0^{L_{eff}} n_2 I(r, z) dz \dots \dots \dots (17 - 2)$$

حيث إن:

λ الطول الموجي لليزر

L_{eff} يمثل طول الانتشار البصري الفعال

$I(r, z)$ توزيع الشدة

و يمكن إيجاد L_{eff} من المعادلة التالية [150].

$$L_{eff} = \int_{L_1}^{L_2} \left(1 + \frac{z^2}{z_0^2}\right)^{-1} dz = z_0 \arctan\left(\frac{z}{z_0}\right) \Big|_{L_2}^{L_1} \dots \dots \dots (18-2)$$

حيث

إن

z_0 طول رايلي و z طول الانتشار

L_1, L_2 المسافة بين السطح الامامي او السطح الخلفي للخلية و البؤرة الضوئية

ويمكن التعبير عن انحراف الطور للحزمة الكاوسية باستخدام المعادلة التالية.

$$\Delta\phi = \Delta\phi_0 \exp\left(\frac{-2 r^2}{a^2}\right) \dots \dots \dots (19 - 2)$$

حيث

$a = 1/e^2$ نصف قطر الحزمة و يمكن تحديد معامل الانكسار من خلال ايجاد عدد حلقات الحيود المتكونة باستعمال المعادلة الآتية [151]

$$n_2 = (N + \delta) \frac{\lambda \alpha C}{0.868 n_0 I_0 \left(1 - e^{\frac{\alpha C L}{0.434}}\right)} \dots \dots \dots (20 - 2)$$

حيث تمثل

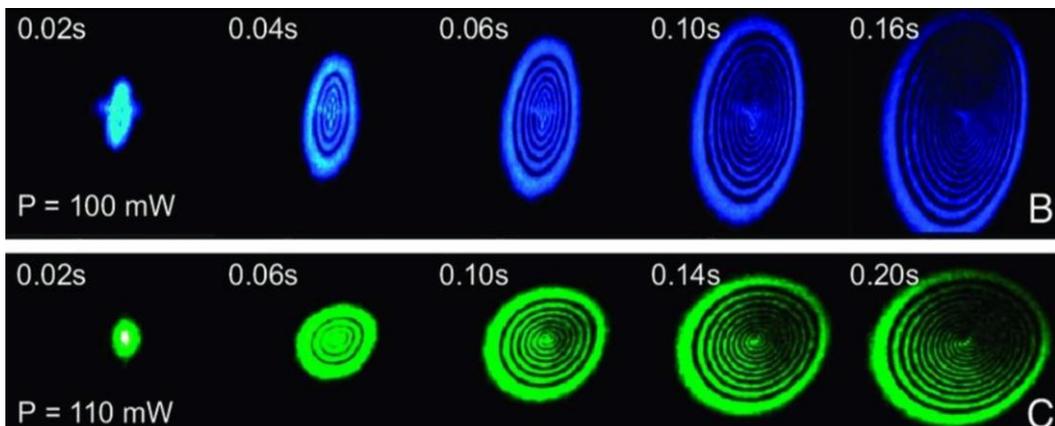
λ طول موجي لليزر المستعمل و L طول التوهين

N عدد الحلقات و C تركيز المادة

α معامل الامتصاص و δ نسبة الخطأ النسبي

يوجد تأثيران لأنماط حلقات الحيود :

- 1- تضاعف حجم الحلقات الناتجة عن تداخل الحيود عندما تزداد شدة الليزر و يتزايد نصف قطر هذه الحلقات [152] كذلك كما يتضح من الشكل (4-2)
- 2- تتغير هيئة الحلقات المتكونة بفعل تداخل الحيود مع الزمن ففي البداية تكون الحلقات متناظرة وذات شكل دائري [153] ولكنها تصبح كما موضح في الشكل (4-2) وذلك بسبب التأثير الحراري الذي يسببه ليزر pump و الجاذبية الأرضية كما سيتم ذكره بالفصل الرابع. في الية SSPM هناك عدد من العوامل التي تؤثر على حلقات الحيود مثل موقع العينة بالنسبة للحزمة الليزرية وشكل الشعاع وشدة الإضاءة [154].



الشكل (4-2) يوضح انماط حلقات الحيود عند شدات مختلفة و زمن مختلف [155]

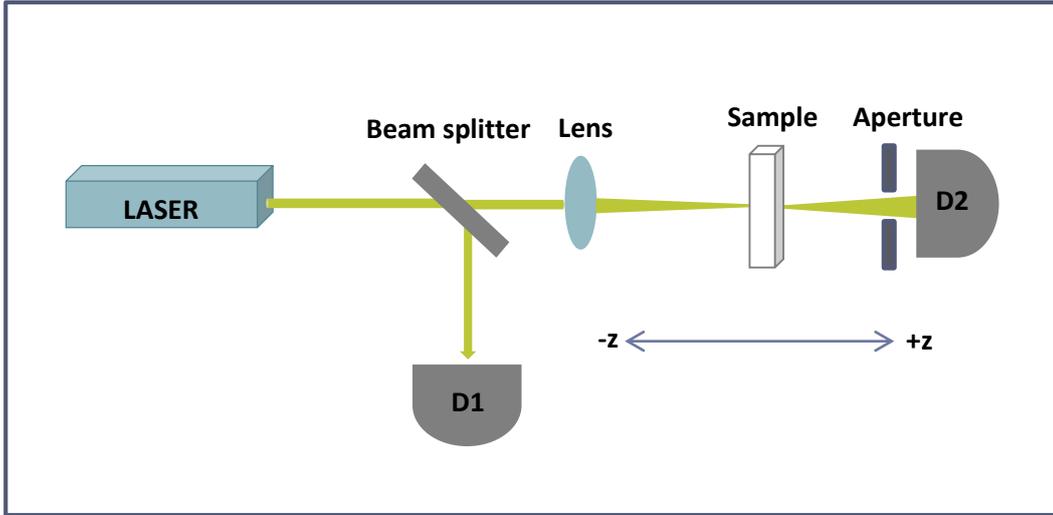
2-8-2 تقنية المسح على المحور البصري Z-scan Technique

هي تقنية شائعة تستخدم لقياس الخصائص البصرية غير الخطية (الامتصاص اللاخطي والانكسار اللاخطي) نظرًا لدقتها وبساطتها . اكتشفت هذه التقنية لأول مره في اوائل الثمانيات [156]. تعتمد على مبدأ الاختلاف في الشدة الضوئية عند مرور الضوء من خلال مادة غير خطية تعرض لشعاع ليزر مكثف. و طريقه العمل عادة تتم باستخدام ليزر نبضي قصير المدة وعدسات لتكثيف الشعاع على نقطة ضيقة على سطح العينة عندما تكون العينة في النقطة البؤرية للعدسة يصبح التركيز عاليًا ويزداد التأثير البصري الغير خطي يتم تحريك العينة في اتجاه محور Z (عمودي) إلى موقع جديد داخل مجال الليزر عند تحريك العينة يتغير معامل الانكسار اللاخطي البصري للمادة بناءً على التأثيرات غير الخطية ونتيجة لذلك يتم تحديد تغيرات في الشدة الضوئية [157][158]. يتم تنفيذ هذه الطريقة عن طريق حساب النفاذية من خلال النموذج كدالة للموضع (z) ويوجد نظامان لطريقة المسح الضوئي . النظام الأول هو نظام الفتحة المغلقة للكشف عن الانكسار اللاخطي (n_2) والثاني نظام الفتحة المفتوحة للكشف عن الامتصاص اللاخطي (β) [159].

1-2-8-2 نظام الفتحة المغلقة لتقنية Z-scan

Z-scan closed aperture system

اثناء تحريك العينة خلال المنطقة البؤرية للحزمة كما هو موضح في الشكل (2-5) يقوم الكاشف بقياس الجزء من شدة الضوء الذي يمر عبر الفتحة . عندما يتعرض الشعاع لأي تغيير طور غير خطي نتيجة لمروره عبر العينة أثناء انتقالها في المنطقة البؤرية فإن النسبة المئوية للضوء الواقع على الكاشف ستختلف يحدث هذا بسبب تشكل عدسة كير داخل المادة نتيجة تأثير الشعاع الليزري المكثف [160].



الشكل (5-2) مخطط بسيط لنظام الفتحة المغلقة للتقنية z-scan [161]

إذا تم استخدام مادة ذات معامل انكسار لا خطي سالب القيمة أي يحدث تفريق ذاتي Self-defocusing فإن القعر سوف يتبع القمة في منحنى النفاذية اللاخطية. وإذا كانت مادة ذات معامل انكسار لا خطي موجب القيمة فإن القمة سوف تتبع القعر في منحنى النفاذية اللاخطية أي يحدث تجميع ذاتي لحزمة الليزر Self-focusing [162].

ويمكن بعد ذلك تحديد معامل الانكسار غير الخطي n_2 من تغير الطور باستخدام المعادلة [163]

$$n_2 = \frac{\Delta\Phi_0}{(I_0 L_{eff} K)} \dots \dots \dots (21 - 2)$$

حيث تمثل I_0 : الشدة الساقطة. و $\Delta\Phi_0$: الازاحة اللاخطية للطور على المحور عند البؤرة
 K يمثل العدد الموجي ويعطى بالقانون $K = \frac{2\pi}{\lambda}$ و λ تمثل الطول الموجي لحزمة الليزر [164].

وان

$$\Delta T_{p-v} = 0.406(1 - S)^{0.25} |\Delta\Phi_0| \dots \dots \dots (22-2)$$

حيث ΔT_{p-v} التغير في النفاذية الطبيعية بين القمة والقاع ويساوي $|T_p - T_v|$

إذ تمثل S النفاذية الخطية للفتحة و التي تعطى بالعلاقة التالية [165]

$$S = 1 - \exp(-2r_a^2 / w_a^2) \dots \dots \dots (23-2)$$

(S) هي النفاذية الخطية

(r_a) نصف قطر الثقب

(w_a) نصف قطر شعاع الليزر عند الثقب

و L_{eff} الطول الفعال للعينة الذي يمكن تحديده من خلال العلاقة التالية [165]

$$L_{eff} = \frac{(1 - e^{-\alpha_0 l})}{\alpha_0} \dots \dots \dots (24 - 2)$$

(L) طول النموذج

ولحساب الكثافة عند النقطة البؤرية نستخدم المعادلة التالية

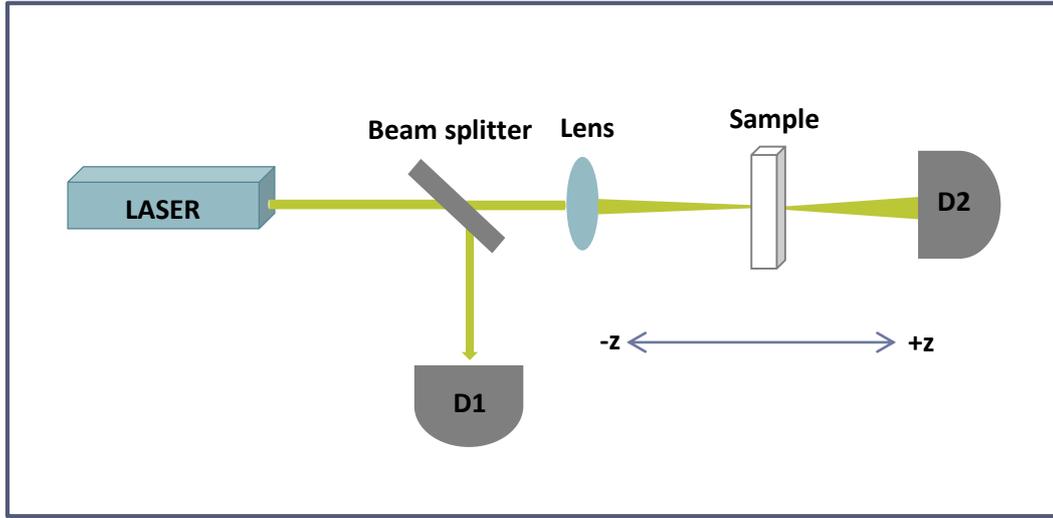
$$I_0 = \frac{2P_{peak}}{\pi w_0^2} \dots \dots \dots (25 - 2)$$

حيث (w_0) هو نصف قطر التخصر و (P) هي قدرة الليزر.

2-2-8-2 نظام الفتحة المفتوحة لتقنية Z-Scan

Z-Scan open aperture system

وعند استخدام نظام الفتحة المفتوحة اي نقوم برفع الثقب كما موضح في الشكل (2-6) هذا مما يجعل عملية المسح البصري غير حساس لتأثير الانكسار اللاخطي اي ($S=1$).



الشكل (6-2) مخطط بسيط لنظام الفتحة المفتوحة لتقنية z-scan [161]

بسبب توزيع كثافة الحزمة الكاوسية المتماثل حول البؤرة عندما يكون الامتصاص غير الخطي ضئيلاً للغاية تتجاوزته بسبب القدرة الضعيفة وغير الكافية لإثارة تأثير الامتصاص اللاخطي فيمكن تجاهل تأثيره نظراً لأن مساحة مقطع الحزمة الليزرية كبيرة سواء كان النموذج قريباً من البؤرة أو بعيداً عن المواضع القريبة منها [166]. ومع تحرك النموذج نحو البؤرة تزداد شدة الليزر تدريجياً إلى أن يصل النموذج إلى المواضع التي تكون فيها شدة الحزمة كافية لإظهار تأثير الامتصاص اللاخطي المحسوب بالعلاقة التالية [167].

$$\alpha(I) = \alpha + \beta I \dots \dots \dots (26 - 2)$$

3-8-2 تقنية المفتاح البصري Optical switching Technique

هذه التقنية تعتمد على استخدام حزمتين من الأشعة الليزرية في تفاعل مع مادة تكون غير خطية من الناحية البصرية. الحزمة الأولى والتي تُعرف بليزر الضخ (Pump Laser) ذو الشدة العالية، تُطلق على المادة المعينة وتؤدي إلى تحفيز تغيرات غير خطية في خواصها البصرية تلتقط الحزمة الثانية والتي تسمى ليزر الاستشعار (Probe Laser) وتمتلك شدة أقل بكثير من الحزمة الأولى. تعتمد هذه التقنية على استشعار الحزمة الثانية للتأثيرات اللاخطية التي تنشأ من الحزمة الأولى هذه الظاهرة ترتبط بمفهوم استجابة كير البصري من المرتبة الثالثة للمادة [168].

وتُستخدم في مجموعة متنوعة من التطبيقات مثل الاستشعار البصري عالي الدقة وأنظمة التحويل البصري وغيرها وتعتبر نموذجًا ملموسًا لكيفية استفادة من خصائص الضوء ذات الطبيعة غير الخطية لتحقيق أهداف محددة في مجالات الليزر والبصريات [169].

9-2 حيود الأشعة السينية X-ray diffraction

يمكن استخدام الأشعة السينية لتحديد التركيب البلوري للأغشية الرقيقة يتم ذلك عن طريق دراسة نمط حيود الأشعة السينية المنعكسة وتحديد مواقع القمم فيها يمكن من خلال هذه العملية تسليط حزمة أشعة سينية بزوايا معينة على سطح الأغشية لتحديد طبيعة التبلور والاتجاهات السائدة وذلك بفعل الانعكاسات براك عن السطوح البلورية المتوازية مما يؤدي إلى حدوث تداخل بناء في نمط حيود الأشعة السينية المنعكسة من البلورة وقد نجح العالم الإنجليزي براك في وضع نموذج بسيط للتركيب البلوري يمكن من خلاله معرفة هذا النمط حيث ينص النموذج على أن المستويات المختلفة التي تتكون من ذرات البلورة يمكن أن تعكس الأشعة السينية

[170][171]. وقانون براك يوصف بالمعادلة التالية

$$n \lambda = 2d_{hkl} \sin \theta \dots\dots(27-2)$$

اذ أن :

n : عدد صحيح يمثل مرتبة التداخل

λ : الطول الموجي

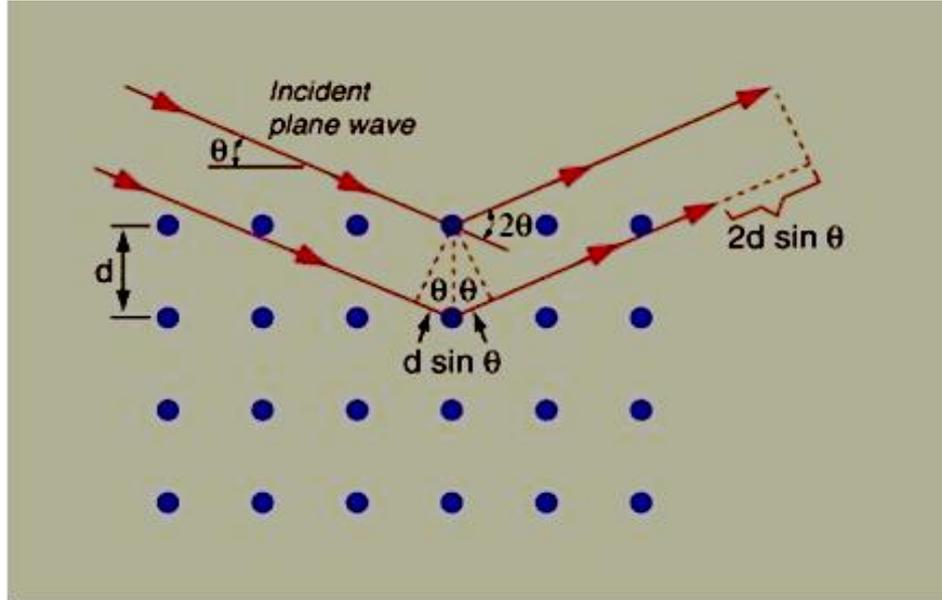
θ : زاوية سقوط الأشعة السينية

d_{hkl} : المسافة البينية للمستويات hkl

لحدوث حيود براك في الأشعة السينية يجب أن يتوافر شرط الانعكاس وهو أن يكون طول الموجة الساقطة (λ) يساوي أو يكون أقل من ضعف المسافة البينية (d_{hkl}) بين مستويين

متعاقبين [172][173]

$$\lambda \leq 2d_{hkl} \dots\dots(28-2)$$



الشكل (7-2) يبين المستويات البلورية وحيود براك [174]

10-2 الاستئصال بالليزر النبضي Pulsed Laser Ablation

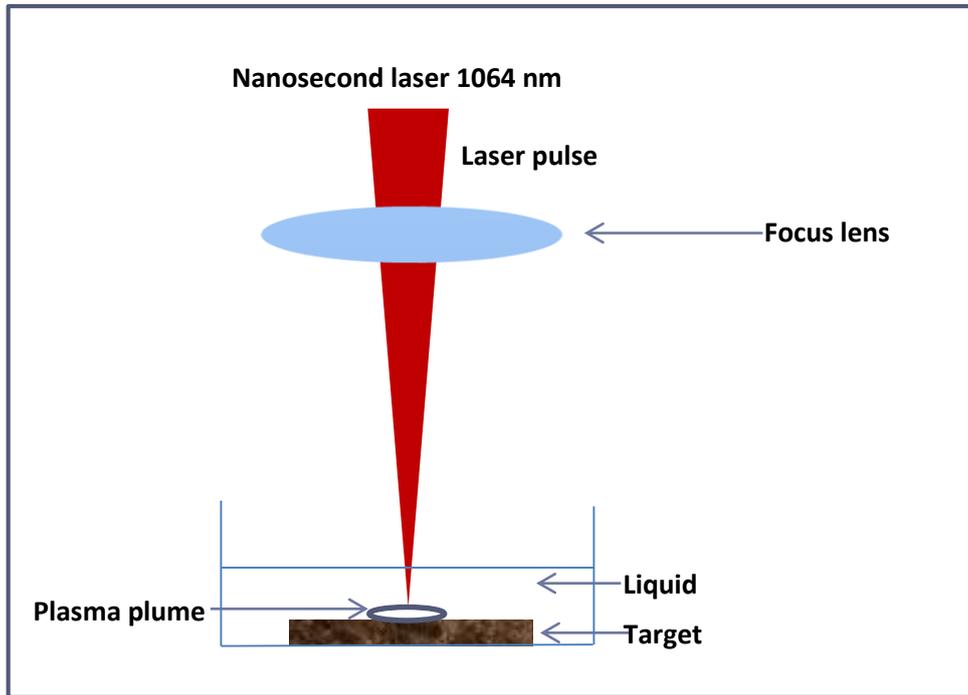
التشعيع بالليزر المعروف أيضًا باسم الاستئصال بالليزر هو عملية إزالة المواد من على سطح الجسم الصلب الذي تم وضعه في فراغ أو غاز أو سائل و الطول الموجي لليزر ومدة النبضة وشدة نبضة الليزر والخصائص البصرية للهدف ومحيطه جميعها لها دور في كيفية تفاعل إشعاع الليزر مع المادة وهناك العديد من العمليات الفيزيائية التي تساهم في تكوين ونمو الجسيمات النانوية ، مثل تكوين عمود البلازما والتكثيف والتكتل والتنوي [175]. عندما يطلق الليزر الضوء قد يتعرض الشعاع للانعكاس ونقل الطاقة وامتصاص الضوء و شدة الليزر الساقط تنخفض بسبب معامل امتصاص المادة بشكل كبير داخل المادة [176].

1-10-2 آلية الاستئصال بالليزر النبضي في طور السائل

Pulsed Laser ablation in liquid Phase (PLAL) mechanism

عملية استئصال المادة المستهدفة بواسطة الليزر في السوائل هي عملية معقدة تعتمد على عوامل متعددة. تتضمن هذه العوامل الطول الموجي لليزر وطاقته ونوع الوسط السائل المحيط بالمادة المستهدفة وعمق اختراق الليزر ونوع المادة نفسها. [177]. يتم تسليط نبضة ليزر قصيرة الطول الموجي على سطح المادة لإنشاء مجال كهربائي قوي، مما يؤدي إلى إزالة الإلكترونات من المادة ثم تكوين البلازما . بمرور الوقت، تتفاعل الإلكترونات الحرة مع الجسيمات السائبة

في السائل المحيط، مما يؤدي إلى تحويل المادة إلى بلازما تحتوي على جسيمات مختلفة بعد ذلك يحدث اختلاف كبير في الضغط بين البلازما التي تم إنشاؤها بفعل الليزر والجو المحيط [178]. هذا الضغط الفارق يؤدي إلى توسع سريع للبلازما في عمودها ثم يتم تبريده. عندما تنهار فقاعة البلازما، تتجلى النتيجة بإطلاق جسيمات نانوية صغيرة نتيجة الضغط المفرط وارتفاع درجة الحرارة. يمكن تكييف هذا التفاعل بين الليزر والهدف في بيئات مختلفة لتصنيع مواد متنوعة [179]. والشكل (8-2) يوضح طريقه الاستئصال بالليزر النبضي



الشكل (8-2) طريقه الاستئصال بالليزر النبضي PLAL [180]

في هذا العمل تمت دراسة الخواص التركيبية وتأثير المجال المغناطيسي الخارجي على الخواص الخطية واللاخطية لعوالق المادة المغناطيسية (أكسيد الحديد الأسود Fe_3O_4) التي كانت محضره بطريقه الترسيب المشترك co-precipitation. الخواص التركيبية تضمنت اجراء فحص حيود الاشعة السينية (XRD) وفحص المجهر الالكتروني النافذ (TEM) لعوالق المادة النانوية Fe_3O_4 . بينت نتائج فحص TEM ان حجم الجسيمات للمادة Fe_3O_4 يتراوح بين (8-50 nm) و فحص حيود الاشعة السينية (XRD) بين ان المادة المغناطيسية ذات تركيب بلوري عالي النقاوة .

أن دراسة الخواص البصرية لأوكسيد الحديد النانوي (Fe_3O_4) تضمنت التغيرات في معامل الانكسار الخطي بشكل مفصل تحت ظروف متعددة. تم التركيز على تأثيرات العوامل (نوع السائل و درجة الحرارة وتركيز الجسيمات والمجال المغناطيسي) على الخصائص البصرية للعينات. هذه الدراسة تسلط الضوء على التفاعلات بين هذه العوامل وكيف يمكن أن تؤثر على الخواص البصرية الخطية للسوائل المغناطيسية. اوضحت هذه الدراسة ان قوة تأثير الجسيمات النانوية تعتمد على خصائص السائل بالإضافة إلى ان وجود الجسيمات النانوية يؤثر على معامل انكسار الوسط (n) وتغيره الحراري (dn/dT) بشكل معاكس. يمكن استخدام هذه الخاصية لتصميم الأجهزة الضوئية ذات قدرة على التحكم بمعامل الانكسار للوسط.

بالإضافة الى ذلك تم تصميم ودراسة اربع اشكال من مرشحات بصرية باستخدام عوالق Fe_3O_4 مفردة ومطعمة بمواد اخرى غير مغناطيسية. هذه المرشحات تتمتع بخصائص الضبط و تكون بمواصفات متنوعة. المرشح الاول يتكون من جسيمات Fe_3O_4 مفردة و المرشح الثاني و الثالث يتكون من خلط جسيمات الفضة النانوية و صبغة المثلين بلو مع جسيمات اوكسيد الحديد على التوالي في حين ان النوع الرابع من المرشحات المصممة في هذا العمل يتكون من جسيمات النحاس النانوية المرتبطة ارتباطا تاما بجسيمات اوكسيد الحديد المغناطيسية. نتائج تصميم المرشحات اوضحت ان قابلية الضبط في هذه المرشحات تكون قابلة للعكس و يمكن ان تستثمر في مجال تصميم مرشحات رائدة لتطبيقات المجالات الضوئية و الاتصالات.

من جانب اخر تم استخدام تقنية تعديل الطور الذاتي المكاني Spatial self-phase modulation بوجود المجال المغناطيسي الخارجي وتقنية المسح على المحور البصري Z-

(scan) عند ليزرات بأطوال موجيه متعددة (405,532,650) لدراسة الخواص البصرية
اللاخطية لجسيمات Fe_3O_4 النانوية. حيث اوضحت هذه الدراسة ان عوالمق Fe_3O_4 تمتلك
معامل انكسار لا خطي سالب القيمة و كذلك بينت امكانية استخدام هذه المادة لتصميم مفتاح
بصري.

Introduction

1-2 المقدمة

يتناول هذا الفصل الجانب النظري الخاص بالخصائص المغناطيسية والخصائص البصرية الخطية (معامل الانكسار و الفلاتر البصرية) واللاخطية (تقنية الماسح البصري scan- وتقنية تعديل الطور الذاتي المكاني (Self-Phase Modulation)

2-2 الجسيمات النانوية Nanoparticles NPs

هي جسيمات متناهية الصغر تتراوح ابعادها بين (1-100) nm لها صفات مميزة تتناسب مع متطلبات التطبيقات التكنولوجية الحديثة و تنفرد بخواص فيزيائية وكيميائية تميزها عن المواد التقليدية ، مثل نقاط انصهار منخفضة ومساحات سطحية اعلى وخصائص بصرية محددة وقوة ميكانيكية ومغناطيسات محددة وهي خصائص قد تكون جذابة في تطبيقات صناعية مختلفة ، هذه الخواص تعتمد على التركيب والحجم ، والشكل للجسيمات [41][42] [43][44][45]. اذا اختلف حجمها فان خصائصها البصرية تتغير بشكل كبير وفي التطبيقات البصرية فان التوزيع الحجمي للجسيمات النانوية اصبح عاملا مهما للغاية لذلك من المهم تصنيعها بحجم واحد [46]. ومع وجود مجموعه واسعه من التطبيقات المتاحة فان NPs لديها القدرة على احداث تأثير كبير [47]. وعلى مدى العقود الماضية كان هناك اهتمام متجدد ومتزايد بالمواد ذات البنية النانوية وخاصة الجسيمات النانوية المغناطيسية لأنها توفر اللبنة الاساسية لازدهار علم وتكنولوجيا النانو [48].

1-2-2 الجسيمات النانوية المغناطيسية Magnetic Nanoparticles MNPs

هي جسيمات نانوية يمكن توجيهها من خلال مجال مغناطيسي خارجي لخصائصها المغناطيسية [49]. حيث تتكون من عناصر ممغنطة مثل الحديد والنيكل والكوبلت بالإضافة الى مركباتهم الكيميائية [50]. وكانت محورا للعديد من الابحاث مؤخراً لأنها تمتلك خصائص جذابة يمكن ان ترى استخداماً محتملاً في التحفيز بما في ذلك المحفزات القائمة على المواد النانوية والطب الحيوي واستهداف الانسجة المحدد والبلورات الضوئية الغروية القابلة للضبط مغناطيسياً والموائع الدقيقة والتصوير بالرنين المغناطيسي وتصوير الجسيمات المغناطيسية وتخزين البيانات والمعالجة البيئية والسوائل الحديدية والمرشحات الضوئية [51]. تتمتع MNPs ذات الخصائص السطحية المناسبة بإمكانية عالية لاستخدام في الكثير من التطبيقات في المختبر وفي

الجسم الحي[52]. وان خصائصها الفيزيائية والكيميائية الى حد كبير تعتمد على طريقة التوليف والتركيب الكيميائي في معظم الحالات[53].

3-2 الخصائص المغناطيسية Magnetic properties

تصنف المواد المغناطيسية حسب استجابتها للمجال المغناطيسي المطبق الى خمسة انواع ,antiferromagnetic, diamagnetic ,paramagnetic, ferromagnetic, Ferrimagnetic في المواد ferromagnetic مثل (الحديد والنيكل والكوبالت) [54]. تمتلك الذرة عزمًا مغناطيسيًا صافيًا بسبب الإلكترونات غير المزدوجة تتكون المادة من مجالات تحتوي كل منها على أعداد كبيرة من الذرات التي تكون عزومها المغناطيسية متوازية مما ينتج عنه عزم مغناطيسي صافٍ للمجال يشير في اتجاه ما ويتم توزيع العزوم المغناطيسية للنطاقات بشكل عشوائي مما يعطي صفرًا من العزوم المغناطيسية الصافية للمادة عندما يتم وضع المادة ferromagnetic في مجال مغناطيسي فإن العزوم المغناطيسية للنطاقات تتماشى مع اتجاه المجال المغناطيسي المطبق لتشكل عزوم مغناطيسية صافية كبيرة وتوجد عزوم مغناطيسية متبقية حتى بعد إزالة المجال المغناطيسي [55][56]. وفي المواد شبه المغناطيسية paramagnetic مثل (gadolinium, magnesium, lithium, and tantalum) تحتوي الذرة على عزم مغناطيسي صافٍ بسبب إلكترونات غير مقترنة ولكن المجالات المغناطيسية

غائبة عندما يتم وضع المادة البارامغناطيسية paramagnetic في مجال مغناطيسي فإن العزوم المغناطيسية للذرات تتماشى مع اتجاه المجال المغناطيسي المطبق وتشكل عزم مغناطيسي ضعيف هذه المواد لا تحتفظ بالعزم المغناطيسي عند إزالة المجال المغناطيسي[57]. في المواد diamagnetic مثل (النحاس والفضة والذهب ومعظم العناصر المعروفة) لا تحتوي الذرات على إلكترونات غير مقترنة مما ينتج عنه عزوم مغناطيسية صافية صفرية تعرض هذه المواد استجابة ضعيفة للغاية للمجال المغناطيسي المطبق بسبب إعادة محاذاة مدارات الإلكترون عند تطبيق مجال مغناطيسي لا يحتفظون بالعزم المغناطيسي عند إزالة المجال المغناطيسي[58]. وفي المواد المضادة للمغناطيسية Antiferromagnetic مثل (MnO و CoO و NiO و CuCl₂) هي مركبات من ذرتين مختلفتين تشغلان مواقع شبكية مختلفة تحتوي الذرتان على عزوم مغناطيسية متساوية في الحجم ومعاكسة في الاتجاه مما ينتج عنه صفر صافي العزم المغناطيسي[59]. وفي المواد Ferrimagnetic مثل (magnetite)

الدراسات المكثفة امكانية استخدامها في تطبيقات متنوعة [65] . ويشير التفاعل المغناطيسي البصري الى التفاعل المادي بين الضوء والمادة المغناطيسية عندما يدخل شعاع الضوء الى المادة المغناطيسية يمكن تعديل خصائص الضوء الناتج مثل حالة الاستقطاب والطياف والطور وشدة الضوء [66]. واكثر التطبيقات شيوعاً هي

- الكشف عن الشوائب المغناطيسية
- مرشحات MO كمرشحات خط ذري
- أجهزة MO مثل مستشعرات المجال المغناطيسي MO و معدّلات MO و الأجهزة الإلكترونية الضوئية المتكاملة مثل الدوائر البصرية والعوازل والمحولات
- محركات أقراص مغناطيسية ضوئية تستخدم التسجيل المغناطيسي الحراري واستشعار MO لمعلومات التسجيل بحد أدنى يبلغ ٥٠ عاماً من العمر الافتراضي
- الفحص المجهرى MO
- إلكترونيات المغناطيسية التي تجمع بين العناصر المغناطيسية صغيرة الحجم وإلكترونيات أشباه الموصلات التقليدية للحصول على أجهزة ذات وظائف جديدة أو محسّنة [67].

4-2 الخواص البصرية الخطية للمواد النانوية

Linear optical properties of nanomaterial's

عبارة عن تفاعلات خطية تحدث عندما تكون شدة الإشعاع الوارد منخفضة فعند الشدات الضوئية المنخفضة يكون الاستقطاب متناسباً مع المجال الكهربائي للموجة الواردة واستجابة الوسط تكون بشكل خطي وإن العديد من التفاعلات الضوئية الخطية يمكن أن تحدث بالاعتماد على خواص الاستقطاب مثل الانكسار و الامتصاص و التبعثر المرن واللامرن وغيرها [68].

1-4-2 الامتصاص Absorption

هو العملية التي يتم من خلالها نقل بعض أو كل طاقة الإشعاع إلى المادة التي تنتقل من خلالها ، وهي تتضمن تقليل شدة ترددات معينة (أطوال موجية محددة) للإشعاع الكهرومغناطيسي التي تُستخدم في جعل الإلكترونات في المادة الماصة تتحرك من مستوى طاقة إلى آخر من خلال

التفاعل نتيجة العلاقة بين العزم الكهربائي ثنائي القطب للجزيئات والمجال الكهربائي المكون من الإشعاع (الفوتون) [69]. وتعتمد احتمالية امتصاص المحلول للفوتونات الساقطة في المواد السائلة على الكثافة الضوئية أو الامتصاصية والتي يمكن حسابها باستخدام كثافة الجسيمات (التركيز) في العينة وسمك العينة التي يمر من خلالها الإشعاع (طول المسار البصري) [70].

$$A = \log_{10} I_0/I = \epsilon l c \quad \dots\dots\dots (1-2)$$

حيث ان

ا: هي شدة الأشعة عند طول الموجي (λ) المارة عبر العينة (الشدة النافذة)

ا : هي شدة الأشعة الساقطة قبل دخولها إلى العينة.

C : تركيز المادة الممتصة

ϵ :معامل الخمود المولاري ووحداته ($M^{-1}cm^{-1}$)

l : سُمك المادة المار من خلالها الشعاع الساقط

وفقاً لقانون بير لا مبرت الذي يصف العلاقة بين امتصاص الأشعة وخصائص المادة التي تسمح للأشعة بالمرور ، يزداد احتمال امتصاص مادة للفوتونات الواردة مع زيادة تركيزها وان كمية الضوء التي يتم امتصاصها أو نقلها تتغير أضعافاً مضاعفة مع تركيز المحلول [71][72] . ويمكن تطبيق قانون بير لا مبرت على مجموعة متنوعة من النطاقات الطيفية بما في ذلك الضوء فوق البنفسجي والضوء المرئي وغيرها إذا كان الإشعاع أحادي اللون [73].

2-4-2 معامل الامتصاص Absorption coefficient

يمكن تعريف معامل الامتصاص الذي يعتمد على طاقة الفوتون (hu) وخصائص المادة على أنه نسبة الانخفاض في تدفق طاقة الإشعاع الساقط فيما يتعلق بمسافة الوحدة في اتجاه انتشار الموجة داخل الوسط [74][75] . وبحسب قانون بير- لا مبرت فإن معامل الامتصاص الخطي (α_0) هو:

$$A = \text{Log} (I_0 / I) = \alpha_0 l / 2.303 \quad \dots\dots\dots (2-2)$$

$$\alpha_o = 2.303 \frac{A}{L} \dots\dots\dots (3-2)$$

حيث إن: (A) تمثل الامتصاصية

اما النفاذية للوسط فهي قدرة المادة على السماح للضوء بالمرور من خلالها وتعرف بأنها النسبة المئوية لشدة الضوء النافذ (I) إلى شدة الضوء الساقط (I₀) [76].

$$T = (I / I_o) \dots\dots\dots (4-2)$$

باستخدام قانون بير-لا مبرت يتضح أن النفاذية تقل كلما زاد التركيز المولاري للمادة و طول المسار البصري الذي يمر به الضوء وبالتالي يمكن القول بأن هناك علاقة عكسية بينهما علاوة على ذلك فإن النفاذية للوسط ترتبط بامتصاصيته حيث يمكن للمواد التي لديها امتصاصية عالية أن تمتص كمية كبيرة من الضوء وتقلل بالتالي من قدرتها على النفاذية [77]. وهذا مبين في المعادلة الآتية [78].

$$A = \log \left(\frac{I}{I_o} \right) = \log \left(\frac{1}{T} \right) \dots\dots\dots (5-2)$$

3-4-2 معامل الانكسار Refractive index

لا يؤثر الطول الموجي للضوء على سرعة الضوء في الفراغ وهي سرعة ثابتة في المقابل تختلف سرعة الضوء في وسائط المادة عن سرعة الضوء في الفراغ وتعتمد على خصائص الوسط وطول موجة الضوء من خلال قياس الفرق بين سرعة الضوء في الفراغ وسرعة ذلك الضوء عند طول موجي معين في هذا الوسط يمكن استخدام معامل الانكسار لمادة ما لقياس صفات الوسط يتمثل بالمعادلة التالية [79][80].

$$n_o = c/V \dots\dots\dots (6-2)$$

حيث أن: c و v هما سرعة الضوء في الفراغ و سرعته في الوسط المادي على التوالي. وهو غير ثابت حيث يزداد مع زيادة كثافة الوسط ومع ذلك ليس لمعامل الانكسار وحده تميزه [81]. يتأثر معامل الانكسار بطول الموجة الكهرومغناطيسية وتظهر تغيرات في معامل الانكسار لبعض المواد بناءً على اتجاه الموجات الكهرومغناطيسية التي تمر عبرها هذه المواد تستخدم لضبط اتجاه الاستقطاب لتلك الموجات و يمكن التعبير عن معامل الانكسار المعقد لهذه المواد باستخدام المعادلة التالية:

$$n = \eta + ik \dots \dots \dots (7 - 2)$$

حيث يُمثل κ معامل الخمود أو معامل التوهين والذي يُمثل الجزء الخيالي من معامل الانكسار المعقد [82].

1-3-4-2 معامل الانكسار في المواد النانوية Refractive index of nanomaterials

يعتبر معامل الانكسار البصري الخطي خاصية أساسية في فهم تفاعل المواد مع الضوء حيث يصف هذا المعامل العديد من الخصائص البصرية للمادة. وهو مؤشر هام لتوصيف الخصائص البصرية للمواد ويؤثر بشكل مباشر على أداء الأجهزة البصرية والتطبيقات المستندة إلى المواد النانوية [83]. يمكن أن يتأثر معامل الانكسار بعدة عوامل مثل حجم الجسيمات والشكل والتركيب الكيميائي والخصائص المغناطيسية [84]. على سبيل المثال عند تطبيق مجال مغناطيسي خارجي على سائل مغناطيسي تتوجه الجسيمات المغناطيسية بشكل متوازٍ للمجال المغناطيسي مما يؤدي إلى تغيير معامل الانكسار البصري للسائل. ويمكن استغلال هذه الخاصية لتعديل معامل الانكسار بدقة وسرعة، مما يفتح الباب أمام تطبيقات مثل المفاتيح البصرية والتحكم بالضوء وأنظمة الاستشعار البصري المتقدمة [85]. تتوفر عدة طرق لقياس معامل الانكسار للسوائل منها طريقة الانعكاس وطريقة الانكسار. و تقنيات لقياس معامل الانكسار الخطي للمواد النانوية إحدى الطرق هي قياس الانكسار بالغمر باستخدام مستشعر رنين للبلازمون على السطح والذي يسمح بتحديد دقيق لمعامل الانكسار للجسيمات النانوية عن طريق مطابقته مع السائل المحيط [86]. تقنية أخرى هي الانعكاس الداخلي الكلي حيث يتم قياس معامل الانكسار للجسيمات النانوية المشتتة في الماء عن طريق تحديد الزاوية الحرجة [87]. وبفضل قابلية ضبط معامل الانكسار أصبحت الأجهزة التي يمكن التلاعب بخصائصها مهمة ومرنة [88]. في حالة السوائل المغناطيسية يعتمد معامل الانكسار على عوامل مثل درجة الحرارة وتركيز المادة النانوية وطول الموجة للضوء المتساقط. وبالتالي يمكن أن يتغير معامل الانكسار للسائل المغناطيسي بناءً على هذه العوامل [89].

4-4-2 الفلاتر البصرية القابلة للتحكم Controllable optical filters

تلعب المرشحات الضوئية دورًا مهمًا في مجالات مختلفة مثل الاتصالات والتصوير والتحليل الطيفي والاستشعار مما يتيح معالجة الضوء لمجموعة واسعة من التطبيقات. حيث تم

تصميمها لنقل أو عكس أطوال موجية محددة من الضوء بشكل انتقائي بناءً على خصائصها [90][91]. ومع ذلك فقد أدخلت التطورات الحديثة فئة جديدة من المرشحات الضوئية التي يمكن التحكم فيها بواسطة مجال مغناطيسي خارجي باستخدام تقنيات التصنيع النانوية الحديثة [92]. تم تحقيق هذه الوظيفة بواسطة تصنيع جسيمات نانوية مخصصة تُشكَّت في السوائل مثل السائل المغناطيسي الذي يحتوي على جسيمات مغناطيسية أحادية النطاق بحجم حوالي 100 نانومتر في سائل ناقل غير مغناطيسي [93]. إذ تمتاز هذه الجسيمات بثبات عالٍ للتوجيه المغناطيسي مما يتيح التحكم الدقيق في خصائص المرشحات الضوئية عند تعرضها لمجال مغناطيسي خارجي وعند إزالة المجال المغناطيسي يستعيد السائل والجسيمات خصائصها بالكامل. هذه التقنية المبتكرة توفر تنوعاً وقابلية ضبط غير مسبوق في المرشحات الضوئية مما يفتح إمكانيات مثيرة في تصميم الأجهزة البصرية وتطبيقاتها [94][95]. المرشحات البصرية القابلة للضبط بواسطة المجال المغناطيسي تنتمي إلى فئة المرشحات القابلة للتحكم البصري والتي تعتبر تصنيفاً فرعياً ضمن المرشحات البصرية العامة [96]. ففي التجارب الطيفية والتداخلية التي تشمل أطوال موجية مختلفة من الضوء قد يكون من الضروري استبدال المرشحات عند تغيير مصدر الضوء (الطول الموجي). على سبيل المثال عند تغيير الليزر المستخدم من ليزر He-Ne إلى ليزر Ar-ion وخاصة عندما يكون الطول الموجي متغيراً باستمرار مع نوع الليزر القابل للتعديل ولتجنب هذه المشكلة يتم ضبط نوع المرشح البصري باستخدام سوائل الموائع الممغنطة [97]. حيث إن وجود الجسيمات المغناطيسية في السائل يصبح بإمكان المرشح الاستجابة للمجال المغناطيسي الخارجي مما يؤثر على انتقال الضوء وتوزيع الأطوال الموجية. حيث إن الاستفادة من خصائص سوائل الموائع الممغنطة في ضبط المرشحات البصرية يعد تقدماً مهماً في مجال تحكم الضوء و هذا يفتح المجال لاستخدامات متعددة تتطلب مرونة وتعديلاً دقيقاً في خصائص المرشحات البصرية [98][99].

5-2 البصريات اللاخطية Nonlinear optics

يحظى هذا العلم باهتمام متزايد بسبب تطبيقاته الواسعة في مجال تكنولوجيا الليزر والاتصالات الضوئية وتكنولوجيا تخزين البيانات [100]. ويعتبر جديد نسبياً في مجال الفيزياء والعلوم الأساسية [101]. وهو أحد التخصصات الفرعية للبصريات الحديثة [102]. وغالباً ما ينظر إلى بداية هذا المجال منذ اكتشاف التوليد التوافقي الثاني عام 1961 [103]. على الرغم من أن ملاحظة معظم الظواهر البصرية غير الخطية تتطلب إشعاع الليزر إلا أن بعض فئات التأثيرات

NLO كانت معروفة قبل اختراع الليزر بوقتٍ طويلٍ ومن أبرز الامثلة على هذه الظواهر تأثيرات Pockel's , Kerr ، تأثيرات الكهروضوئية [104]. البصريات اللاخطية لها قيمة كبيرة واهمية علمية بعيدة المدى [105].

6-2 الخواص البصرية اللاخطية Nonlinear optical properties

في السنوات الأخيرة شهدت المواد البصرية غير الخطية تطورًا كبيرًا في تقنية الليزر حيث يمكن استخدام هذه المواد لخلق تأثيرات غير خطية عند تفاعلها مع الضوء مما يؤدي إلى تحسين خصائص الليزر وقد تم تطوير أنواع مختلفة من المواد البصرية غير الخطية لتحقيق هذه التأثيرات بما في ذلك تفاعلات بين الليزر والجسيمات النانوية ويعد البحث عن هذه المواد أحد الجوانب المهمة للبصريات اللاخطية [106]. والمعلقات السائلة للجسيمات النانوية يمكن أن تظهر اللاخطية البصرية بصورة كبيرة [107]. و لقد تم إثباته بشكل كبير في مجموعة متنوعة من التجارب بما في ذلك تحديد البصريات واستطارة مي [108][109]. والامتصاص والانكسار البصري غير خطي [110]. وهناك عاملان قد يؤثران على الخصائص البصرية اللاخطية للمحاليل الغروانية أولاً: خصائص المادة التي تتكون منها الجسيمات النانوية و ثانيًا : تأثيرات استطارة مي وتأثيرات العدسة الحرارية والقوى البصرية وعوامل أخرى في المحلول [111][112][113]ومن الممكن تحقيق تحسينات كبيرة للمعلمات البصرية غير الخطية عن طريق تغيير حجم وشكل الجسيمات النانوية [114].

7-2 العمليات البصرية اللاخطية من المرتبة الثالثة

Third - Order Nonlinear Optical Processes

تحدث التفاعلات البصرية غير الخطية من الدرجة الثالثة (أي تلك الموصوفة بقابلية χ^3) لكل من الوسائط المتماثلة المركزية وغير المتماثلة [115]. تهتز ذرات المادة (الشحنات) عندما تتعرض لشعاع ضوئي عالي الكثافة (ليزر) يكون تذبذب الشحنات متناسقًا مع الإشعاع الساقط من نفس التردد إذا كانت المادة بصرية خطية بمعنى آخر المجال الكهربائي للإشعاع الساقط له تأثير على مدى تحرك الشحنات ويمكن أن يتسبب هذا التفاعل في انبعاث الإشعاع على نفس التردد مثل الإشعاع الساقط ، أو يمكن تحويل الطاقة التي تمتصها المادة (النظام) عن طريق عمليات تحويل الطاقة دون انبعاث شعاع ، كما لو تم تحويل الطاقة إلى حرارة في المادة أو من

خلال أي عملية تحويل طاقة أخرى لذا فإن الاستقطاب المحتث يمكن ذكر معادلاته التالية على أنها خطية في هذه الحالة [116].

$$\vec{P}_L = \varepsilon_0 \chi^{(1)} \vec{E} \dots \dots \dots (8 - 2)$$

\vec{P}_L : الاستقطاب الخطي .

ε_0 : السماحية في الفراغ (ثابت العزل الكهربائي).

$\chi^{(1)}$: التأثرية الخطية من الدرجة الأولى.

\vec{E} : المجال الكهربائي المسلط

ولكن إذا كان النظام غير خطي فستكون هذه الشدة هي التي تسبب إزاحة هائلة للشحنات عند استخدام شعاع ليزر قوي (شده عالية) بما يكفي لإنتاج تأثيرات غير خطية هذا يعني أن الاستقطاب المحتث هو [117].

$$\vec{P} = \vec{P}_L + \vec{P}_{NL} = \vec{P}_L + \vec{P}_{NL}^{(2)} + \vec{P}_{NL}^{(3)} + \dots (9 - 2)$$

$\vec{P}_{NL}^{(2)}$ و $\vec{P}_{NL}^{(3)}$ تمثلان الاستقطاب من المرتبة الثانية و الثالثة على التوالي

و كذلك يمكننا كتابة الاستقطاب المحتث بالمعادلة التالية [118].

$$\vec{P}(t) = \varepsilon_0 \left[\chi^{(1)} \vec{E}(t) + \chi^{(2)} \vec{E}^2(t) + \chi^{(3)} \vec{E}^3(t) + \dots (10 - 2) \right]$$

كما ان $\chi^{(2)}$ و $\chi^{(3)}$ اللذان يعرفان على أنهما استجابة نظام مادة معين لمجال بصري مسلط يعتمد بشكل غير خطي على قوة المجال المسلط هما التفاعل البصري غير الخطي من الرتبة الثانية والثالثة على التوالي [119].

إن التأثيرية البصرية غير الخطية للرتبة الثالثة هو موضوع الدراسة ويمكن أن ينتج عنه معامل انكسار غير خطي (n_2) ومعامل امتصاص غير خطي (β) مع التعبير عن التأثيرية $\chi^{(3)}$ بشكل عام بالمعادلة التالية: [120]

$$\chi^{(3)} = \left[Re(\chi^{(3)})^2 + Im(\chi^{(3)})^2 \right]^{1/2} \dots \dots \dots (11 - 2)$$

نظرًا لأن $Re(\chi^{(3)})$ يمثل الجزء الحقيقي من التأثيرية البصرية غير الخطية من الدرجة الثالثة والذي يمكن تمثيله من حيث معامل الانكسار غير الخطي (n_2) باستخدام المعادلة التالية [121].

$$Re(\chi^{(3)})(e.s.u) = 10^{-4} \frac{\varepsilon_0 n_0^2 c^2 n_2}{\pi} \dots \dots (12 - 2)$$

حيث تشير n_0 إلى معامل الانكسار الخطي للمادة بينما تشير n_2 إلى معامل الانكسار غير الخطي وتشير c إلى سرعة الضوء في الفراغ و $Im(\chi^{(3)})$ تمثل المكون التخيلي للتأثيرية اللاخطية من الدرجة الثالثة يتم ذكرها بدلالة معامل الامتصاص اللاخطي (β) الذي يتم الحصول عليه بالمعادلة التالية [122].

$$Im(\chi^{(3)})(e.s.u) = 10^{-2} \frac{\epsilon_0 n_0^2 c^2 \lambda \beta}{4 \pi^2} .. (13 - 2)$$

1-7-2 الامتصاص اللاخطي nonlinear absorption

في مستويات الإضاءة المنخفضة لا يعتمد معامل الامتصاص للوسط على شدة ضوء الإدخال ومع ذلك في الشدة العالية يمكن ان تحدث العديد من الظواهر التي يمكن ان تعدل هذا السلوك ستغير من نفاذية الوسط عند الحدة العالية مما يتسبب في انحراف عن قانون بيرلامبرت يعرف هذا التغير في نفاذية مادة ذات شدة ضوء الإدخال او الانسياب عموماً بالامتصاص اللاخطي وسوف نناقش عدد قليل من هذه الظواهر [123][124].

2-7-2 الامتصاص متعدد الفوتون Multi-photon absorption

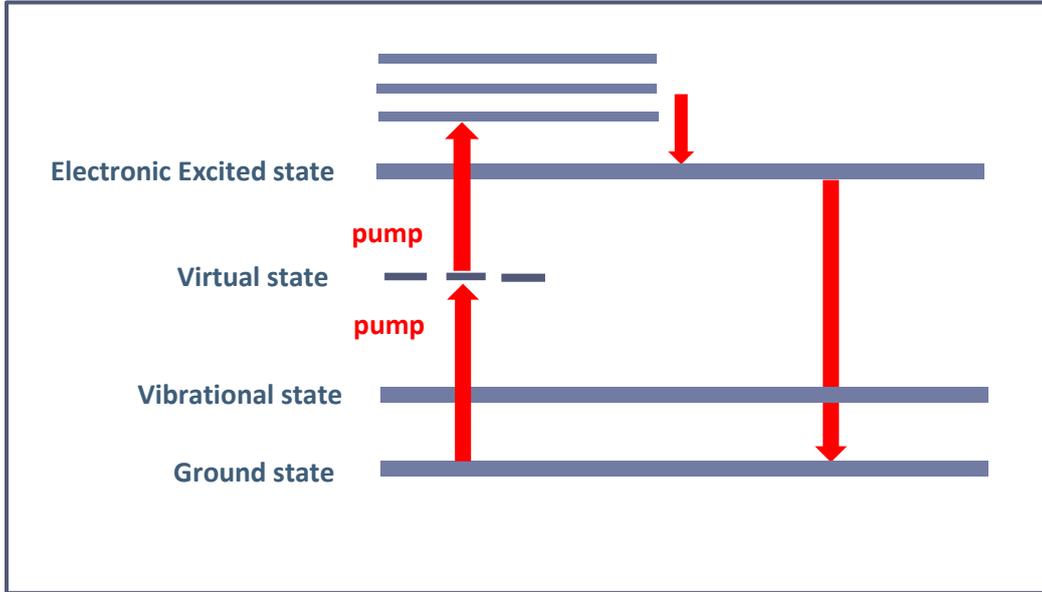
هذا النوع من الامتصاص يحدث عندما يمتص الالكترن في المادة فوتونات بمجموع طاقات أعلى من فوتون واحد للانتقال بين مستويي طاقة ويتوقف حدوث هذا النوع من العمليات على خصائص النظام البصري وشدة الأشعة الساقطة [125][126]. و أبسط نوع من هذه العملية هو عملية امتصاص فوتونين . إذا سقطت موجة مستوية على وسط غير خطي فإن شدة الضوء داخل المادة ستتغير بشكل يتناسب مع المسافة المقطوعة في المادة z [127]. حسب المعادلة التالية

$$I(z) = \frac{I_0}{1 + \beta z I_0} \dots \dots \dots (14 - 2)$$

حيث I_0 هي الشدة الساقطة و β هو معامل امتصاص فوتونين [128]. يمكن تعريف هذا المعامل باستخدام المعادلة التالية:

$$-\frac{dI}{dz} = \alpha I + \beta I^2 \dots \dots \dots (15 - 2)$$

والشكل التالي يوضح امتصاص فوتونين



الشكل (2-2) مخطط يوضح عملية امتصاص فوتونين [129]

3-7-2 الامتصاص العكسي المشبع Reverse saturable absorption

هذا النوع من الظواهر يحدث عندما تكون قدرة المادة على امتصاص الطاقة في الحالة المثيجة أكبر من قدرتها على امتصاص الطاقة في الحالة الأرضية. وهذا يؤدي إلى أنه عند زيادة شدة الضوء المتساقط على المادة يزيد امتصاصها في الحالة المثيجة بنسبة أكبر من امتصاصها في الحالة الأرضية. وهذا النوع من الظواهر يختلف عن الامتصاص المشبع حيث في الامتصاص المشبع، تصل القدرة على الامتصاص إلى حد معين ولا تزيد عنه بغض النظر عن زيادة شدة الضوء (نقل الشدة النافذة مع زيادة شدة الضوء الساقط على المادة) [130][131].

4-7-2 الانكسار اللاخطي nonlinear refraction

العملية التي يتغير فيها معامل الانكسار للوسط كدالة لشدة الضوء الساقط هي عملية غير خطية تلعب هذه العملية دوراً في العمليات البصرية [132]. ويعد فهم الانكسار غير الخطي أمراً مهماً لتطبيقات مثل التبديل البصري الشامل والمعالجة البصرية والمجهر متعدد الفوتونك [133]. ويمكن تعريف معامل الانكسار الكلي للمادة بواسطة المعادلة التالية

$$n(\omega, I) = n_0 + n_2 I \dots \dots \dots (16 - 2)$$

حيث أن n_0 هو معامل الانكسار الخطي للمادة و n_2 هو معامل الانكسار اللاخطي للمادة و I هو شدة الضوء الساقط [134].

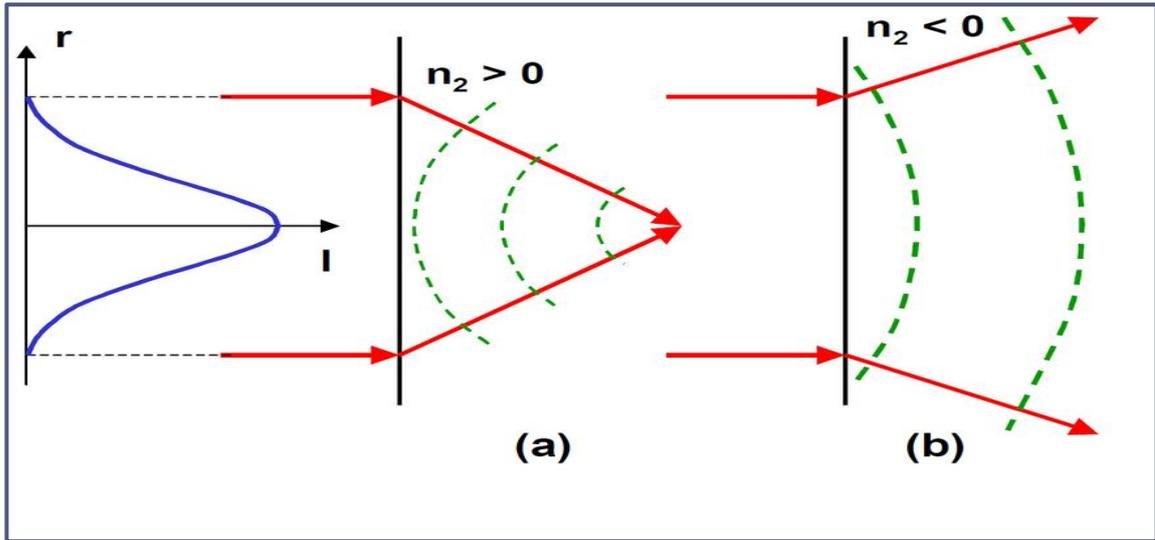
وإن التغير في معامل انكسار المادة وتحت تأثير شدة حزمة ليزر عالية يمكن أن ينتج عنه العديد من التأثيرات و إن من أهم التأثيرات هو التنبؤ الذاتي Self-Focusing وتأثير عدم التنبؤ الذاتي Self-defocusing [135].

1-4-7-2 التنبؤ الذاتي Self-Focusing

هو عملية لا خطية في البصريات والليزر تحدث نتيجة ارتفاع شدة الحزمة الليزرية مما يؤدي إلى تغيير خصائص الوسط الذي تنتشر فيه هذا التغيير يعتمد على تأثير معامل الانكسار بناءً على شدة الحزمة حيث يؤدي ذلك إلى تغيير معامل الانكسار اللاخطي داخل الوسط وتكوّن تنبؤ للحزمة داخله بحيث تعمل كعدسة موجبة $n_2 > 0$ (معامل الانكسار موجب). هذا التنبؤ يسبب زيادة شدة الحزمة في مناطق محددة مما يؤدي إلى زيادة التأثيرات الليزرية في تلك المناطق ونظراً لزيادة الشدة قد يسبب هذا تأثيرات ضارة للمادة التي تنتشر فيها الحزمة. فهم هذه العملية مهم لاستخدام الليزر بأمان خاصة عند التعامل مع شدات عالية لتجنب تلف المواد والأجهزة بسبب التركيز المفرط للحزمة داخل الوسط [136][137]. كما موضح بالشكل (2-3)

2-4-7-2 عدم التنبؤ الذاتي Self-defocusing

هذه العملية تعمل على زيادة التباعد بين أجزاء الحزمة مما يؤدي إلى انتشار الحزمة بشكل أوسع. هذا الانتشار يمكن أن يؤدي إلى تقليل شدة الحزمة في هذه الحالة تكون المادة التي يمر بها الليزر تعمل كعدسة سالبة $n_2 < 0$ أي أن معامل الانكسار يزداد مع زيادة الشدة. هذا يؤدي إلى تغيير تركيز الحزمة بشكل عكسي مقارنة مع تنبؤ الذاتي ونتيجة لذلك تنتشر الحزمة وتتسع وهذا يمكن أن يؤدي إلى تقليل التأثيرات الليزرية المكثفة وزيادة التباعد بين الأجزاء المختلفة من الحزم [138][139]. كما موضح بالشكل (2-3)



الشكل (3-2) يوضح تأثير Self-Focusing و تأثير Self-Defocusing لحزمة كاوسية [140]

8-2 تقنيات قياس الخواص اللاخطية

Measurement Techniques For Nonlinear Optical Properties

ان مقدار واستجابة القابلية غير الخطية من الدرجة الثالثة هي معلمات مهمة في توصيف وتحديد قابلية تطبيق أي مادة كجهاز بصري غير خطي هناك العديد من التقنيات لقياس هذه المعلمات التي تشمل [140]:

- تقنيه المسح على المحور (Z) Z-scan [141].
- خلط اربع موجات Four Wave Mixing [142].
- تقنيه تعديل الطور الذاتي المكاني Spatial Self-Phase Modulation [143].
- تقنيات التصوير اللاخطي Nonlinear Imaging Techniques [144].

وفي هذه الدراسة سيتم قياس الخواص اللاخطية باستعمال تقنيه تعديل الطور الذاتي Spatial self-phase modulation technique وتقنية المسح على المحور البصري Z.

8-2-1 تقنيه تعديل الطور الذاتي المكاني (spatial self-phase modulation) (SSPM)

هي احد تلك التأثيرات التي تم اكتشافها في الايام الاولى للبصريات اللاخطية تشير الى الظاهرة التي يتفاعل بها شعاع الليزر مع الوسط ويفرض تعديل طور على نفسه. ويكمن الأصل المادي للظاهرة في حقيقة أن المجال القوي لشعاع الليزر قادر على إحداث تغيير ملموس في معامل

الانكسار و الذي يعتمد على كثافة الوسط حيث يفرض هذا التغيير في معامل الانكسار تغييراً في طور نفس الموجة التي سببت تغير معامل الانكسار[145]. واول ملاحظة ل SSPM تم ملاحظتها من قبل Callen في عام ١٩٧٦ [146][147]. حيث ان معظم الظواهر التي لوحظت في SSPM هي سلسلة من الحلقات متحدة المركز الفرق الرئيسي بين هذه الأنماط هو في المنطقة الوسطى في بعض الحالات تكون مظلمة بينما في حالات أخرى ساطعه [148].

و يرتبط تحول الطور الذاتي اللاخطي $\Delta\phi$ بشدة الليزر المستخدم ويمكن حسابه باستخدام المعادلة التالية[149].

$$\Delta\phi = \left(\frac{2\pi n_0}{\lambda}\right) \int_0^{L_{eff}} n_2 I(r, z) dz \dots \dots \dots (17 - 2)$$

حيث إن:

λ الطول الموجي لليزر

L_{eff} يمثل طول الانتشار البصري الفعال

$I(r, z)$ توزيع الشدة

و يمكن إيجاد L_{eff} من المعادلة التالية [150].

$$L_{eff} = \int_{L_1}^{L_2} \left(1 + \frac{z^2}{z_0^2}\right)^{-1} dz = z_0 \arctan\left(\frac{z}{z_0}\right) \Big|_{L_1}^{L_2} \dots \dots \dots (18-2)$$

إن

z_0 طول رايلي و z طول الانتشار

L_1, L_2 المسافة بين السطح الامامي او السطح الخلفي للخلية و البؤرة الضوئية

ويمكن التعبير عن انحراف الطور للحزمة الكاوسية باستخدام المعادلة التالية.

$$\Delta\phi = \Delta\phi_0 \exp\left(\frac{-2 r^2}{a^2}\right) \dots \dots \dots (19 - 2)$$

حيث

$a = 1/e^2$ نصف قطر الحزمة و يمكن تحديد معامل الانكسار من خلال ايجاد عدد حلقات الحيود المتكونة باستعمال المعادلة الآتية [151]

$$n_2 = (N + \delta) \frac{\lambda \alpha C}{0.868 n_0 I_0 \left(1 - e^{\frac{\alpha C L}{0.434}}\right)} \dots \dots \dots (20 - 2)$$

حيث تمثل

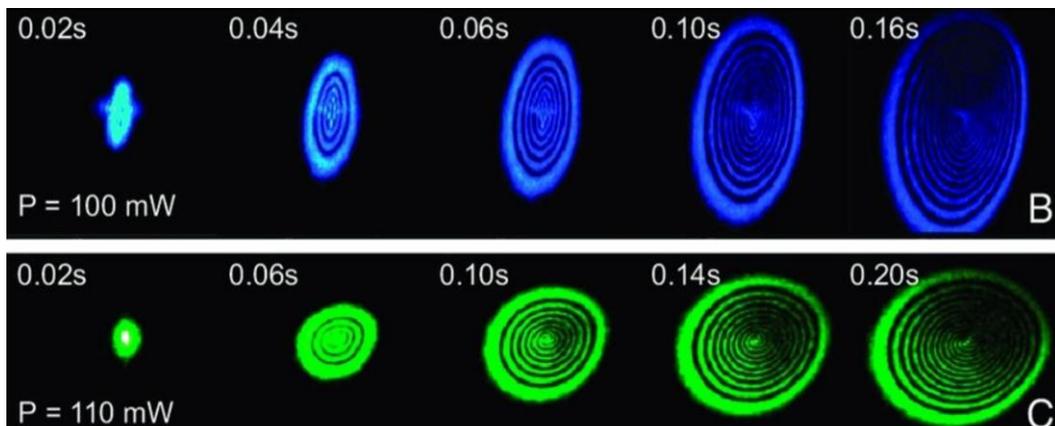
λ طول موجي لليزر المستعمل و L طول التوهين

N عدد الحلقات و C تركيز المادة

α معامل الامتصاص و δ نسبة الخطأ النسبي

يوجد تأثيران لأنماط حلقات الحيود :

- ١- تضاعف حجم الحلقات الناتجة عن تداخل الحيود عندما تزداد شدة الليزر وبتزايد نصف قطر هذه الحلقات [152] كذلك كما يتضح من الشكل (4-2)
- ٢- تتغير هيئة الحلقات المتكونة بفعل تداخل الحيود مع الزمن ففي البداية تكون الحلقات متناظرة وذات شكل دائري [153] ولكنها تصبح كما موضح في الشكل (4-2) وذلك بسبب التأثير الحراري الذي يسببه ليزر pump و الجاذبية الأرضية كما سيتم ذكره بالفصل الرابع. في الية SSPM هناك عدد من العوامل التي تؤثر على حلقات الحيود مثل موقع العينة بالنسبة للحزمة الليزرية وشكل الشعاع وشدة الإضاءة [154].



الشكل (4-2) يوضح انماط حلقات الحيود عند شدات مختلفة و زمن مختلف [155]

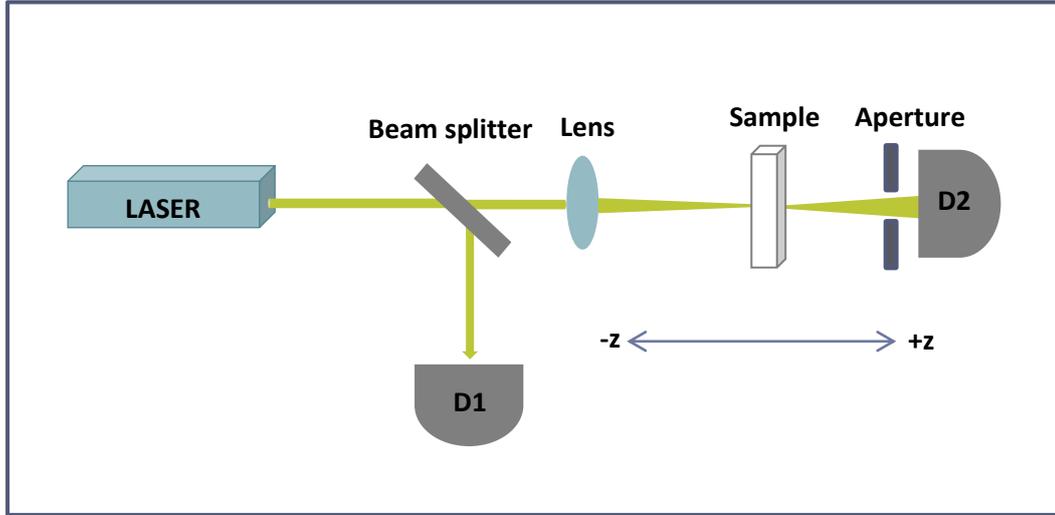
2-8-2 تقنية المسح على المحور البصري Z-scan Technique

هي تقنية شائعة تستخدم لقياس الخصائص البصرية غير الخطية (الامتصاص اللاخطي والانكسار اللاخطي) نظراً لدقتها وبساطتها . اكتشفت هذه التقنية لأول مره في اوائل الثمانيات [156]. تعتمد على مبدأ الاختلاف في الشدة الضوئية عند مرور الضوء من خلال مادة غير خطية تعرض لشعاع ليزر مكثف. و طريقه العمل عادة تتم باستخدام ليزر نبضي قصير المدة وعدسات لتكثيف الشعاع على نقطة ضيقة على سطح العينة عندما تكون العينة في النقطة البؤرية للعدسة يصبح التركيز عاليًا ويزداد التأثير البصري الغير خطي يتم تحريك العينة في اتجاه محور Z (عمودي) إلى موقع جديد داخل مجال الليزر عند تحريك العينة يتغير معامل الانكسار اللاخطي البصري للمادة بناءً على التأثيرات غير الخطية ونتيجة لذلك يتم تحديد تغيرات في الشدة الضوئية [157][158]. يتم تنفيذ هذه الطريقة عن طريق حساب النفاذية من خلال النموذج كدالة للموضع (z) ويوجد نظامان لطريقة المسح الضوئي . النظام الأول هو نظام الفتحة المغلقة للكشف عن الانكسار اللاخطي (n_2) والثاني نظام الفتحة المفتوحة للكشف عن الامتصاص اللاخطي (β) [159].

1-2-8-2 نظام الفتحة المغلقة لتقنية Z-scan

Z-scan closed aperture system

اثناء تحريك العينة خلال المنطقة البؤرية للحزمة كما هو موضح في الشكل (2-5) يقوم الكاشف بقياس الجزء من شدة الضوء الذي يمر عبر الفتحة . عندما يتعرض الشعاع لأي تغيير طور غير خطي نتيجة لمروره عبر العينة أثناء انتقالها في المنطقة البؤرية فإن النسبة المئوية للضوء الواقع على الكاشف ستختلف يحدث هذا بسبب تشكل عدسة كير داخل المادة نتيجة تأثير الشعاع الليزري المكثف [160].



الشكل (5-2) مخطط بسيط لنظام الفتحة المغلقة للتقنية z-scan [161]

إذا تم استخدام مادة ذات معامل انكسار لا خطي سالب القيمة أي يحدث تفريق ذاتي Self-defocusing فإن القعر سوف يتبع القمة في منحنى النفاذية اللاخطية. وإذا كانت مادة ذات معامل انكسار لا خطي موجب القيمة فإن القمة سوف تتبع القعر في منحنى النفاذية اللاخطية أي يحدث تجميع ذاتي لحزمة الليزر Self-focusing [162].

ويمكن بعد ذلك تحديد معامل الانكسار غير الخطي n_2 من تغير الطور باستخدام المعادلة [163]

$$n_2 = \frac{\Delta\Phi_0}{(I_0 L_{eff} K)} \dots \dots \dots (21 - 2)$$

حيث تمثل I_0 : الشدة الساقطة. و $\Delta\Phi_0$: الازاحة اللاخطية للطور على المحور عند البؤرة
 K يمثل العدد الموجي ويعطى بالقانون $K = \frac{2\pi}{\lambda}$ و λ تمثل الطول الموجي لحزمة الليزر [164].

وان

$$\Delta T_{p-v} = 0.406(1 - S)^{0.25} |\Delta\Phi_0| \dots \dots \dots (22-2)$$

حيث ΔT_{p-v} التغير في النفاذية الطبيعية بين القمة والقاع ويساوي $|T_p - T_v|$

إذ تمثل S النفاذية الخطية للفتحة و التي تعطى بالعلاقة التالية [165]

$$S = 1 - \exp(-2r_a^2 / w_a^2) \dots \dots \dots (23-2)$$

(S) هي النفاذية الخطية

(r_a) نصف قطر الثقب

(w_a) نصف قطر شعاع الليزر عند الثقب

و L_{eff} الطول الفعال للعينة الذي يمكن تحديده من خلال العلاقة التالية [165]

$$L_{eff} = \frac{(1 - e^{-\alpha_0 l})}{\alpha_0} \dots \dots \dots (24 - 2)$$

(L) طول النموذج

ولحساب الكثافة عند النقطة البؤرية نستخدم المعادلة التالية

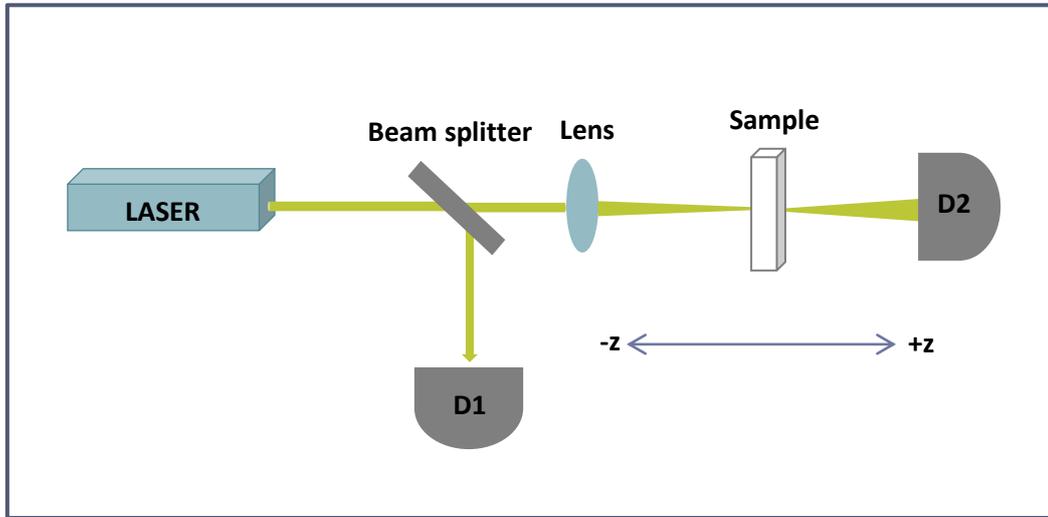
$$I_0 = \frac{2P_{peak}}{\pi w_0^2} \dots \dots \dots (25 - 2)$$

حيث (w_0) هو نصف قطر التخصر و (P) هي قدرة الليزر.

2-2-8-2 نظام الفتحة المفتوحة لتقنيه Z-Scan

Z-Scan open aperture system

وعند استخدام نظام الفتحة المفتوحة اي نقوم برفع الثقب كما موضح في الشكل (6-2) هذا مما يجعل عملية المسح البصري غير حساس لتأثير الانكسار اللاخطي اي ($S=1$).



الشكل (6-2) مخطط بسيط لنظام الفتحة المفتوحة لتقنية z-scan [161]

بسبب توزيع كثافة الحزمة الكاوسية المتماثل حول البؤرة عندما يكون الامتصاص غير الخطي ضئيلاً للغاية نتجاوزه بسبب القدرة الضعيفة وغير الكافية لإثارة تأثير الامتصاص اللاخطي فيمكن تجاهل تأثيره نظراً لأن مساحة مقطع الحزمة الليزرية كبيرة سواء كان النموذج قريباً من البؤرة أو بعيداً عن المواضع القريبة منها [166]. ومع تحرك النموذج نحو البؤرة تزداد شدة الليزر تدريجياً إلى أن يصل النموذج إلى المواضع التي تكون فيها شدة الحزمة كافية لإظهار تأثير الامتصاص اللاخطي المحسوب بالعلاقة التالية [167].

$$\alpha(I) = \alpha + \beta I \dots \dots (26 - 2)$$

3-8-2 تقنيه المفتاح البصري Optical switching Technique

هذه التقنية تعتمد على استخدام حزمتين من الأشعة الليزرية في تفاعل مع مادة تكون غير خطية من الناحية البصرية. الحزمة الأولى والتي تُعرف بليزر الضخ (Pump Laser) ذو الشدة العالية، تُطلق على المادة المعينة وتؤدي إلى تحفيز تغيرات غير خطية في خواصها البصرية تلتقط الحزمة الثانية والتي تسمى ليزر الاستشعار (Probe Laser) وتمتلك شدة أقل بكثير من الحزمة الأولى. تعتمد هذه التقنية على استشعار الحزمة الثانية للتأثيرات اللاخطية التي تنشأ من الحزمة الأولى هذه الظاهرة ترتبط بمفهوم استجابة كير البصري من المرتبة الثالثة للمادة [168].

وتُستخدم في مجموعة متنوعة من التطبيقات مثل الاستشعار البصري عالي الدقة وأنظمة التحويل البصري وغيرها وتعتبر نموذجًا ملموسًا لكيفية استفادة من خصائص الضوء ذات الطبيعة غير الخطية لتحقيق أهداف محددة في مجالات الليزر والبصريات [169].

9-2 حيود الأشعة السينية X-ray diffraction

يمكن استخدام الأشعة السينية لتحديد التركيب البلوري للأغشية الرقيقة يتم ذلك عن طريق دراسة نمط حيود الأشعة السينية المنعكسة وتحديد مواقع القمم فيها يمكن من خلال هذه العملية تسليط حزمة أشعة سينية بزوايا معينة على سطح الأغشية لتحديد طبيعة التبلور والاتجاهات السائدة وذلك بفعل الانعكاسات براك عن السطوح البلورية المتوازية مما يؤدي إلى حدوث تداخل بناء في نمط حيود الأشعة السينية المنعكسة من البلورة وقد نجح العالم الإنجليزي براك في وضع نموذج بسيط للتركيب البلوري يمكن من خلاله معرفة هذا النمط حيث ينص النموذج على أن المستويات المختلفة التي تتكون من ذرات البلورة يمكن أن تعكس الأشعة السينية

[170][171]. وقانون براك يوصف بالمعادلة التالية

$$n \lambda = 2d_{hkl} \sin \theta \dots\dots\dots(27-2)$$

اذ أن :

n : عدد صحيح يمثل مرتبة التداخل

λ : الطول الموجي

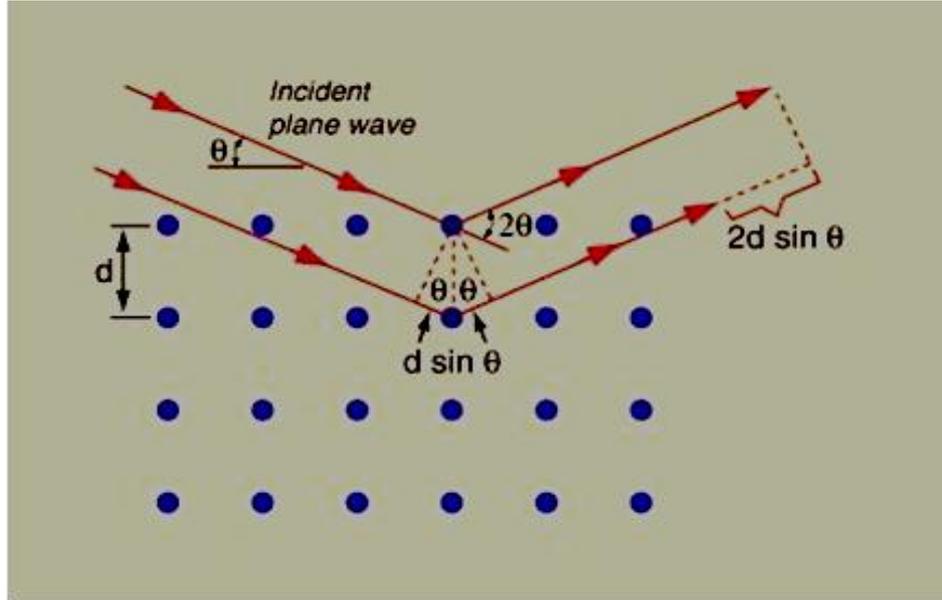
θ : زاوية سقوط الأشعة السينية

d_{hkl} : المسافة البينية للمستويات hkl

لحدوث حيود براك في الأشعة السينية يجب أن يتوافر شرط الانعكاس وهو أن يكون طول الموجة الساقطة (λ) يساوي أو يكون أقل من ضعف المسافة البينية (dhkl) بين مستويين

متعاقبين [172][173]

$$\lambda \leq 2d_{hkl} \dots\dots\dots(28-2)$$



الشكل (7-2) يبين المستويات البلورية وحيود براك [174]

10-2 الاستئصال بالليزر النبضي Pulsed Laser Ablation

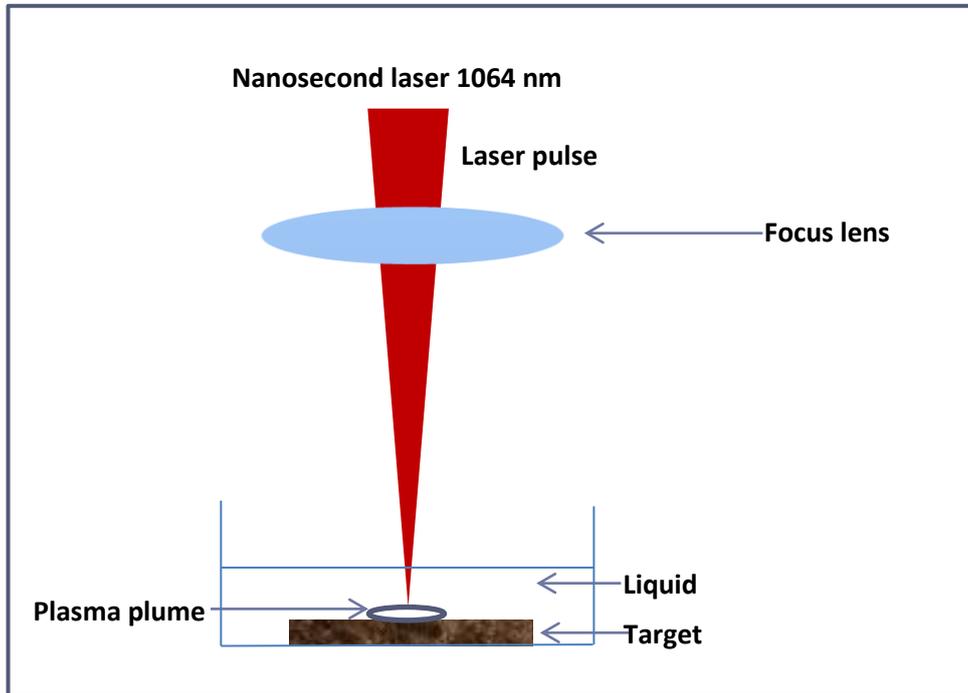
التشعيع بالليزر المعروف أيضًا باسم الاستئصال بالليزر هو عملية إزالة المواد من على سطح الجسم الصلب الذي تم وضعه في فراغ أو غاز أو سائل و الطول الموجي لليزر ومدة النبضة وشدة نبضة الليزر والخصائص البصرية للهدف ومحيطه جميعها لها دور في كيفية تفاعل إشعاع الليزر مع المادة وهناك العديد من العمليات الفيزيائية التي تساهم في تكوين ونمو الجسيمات النانوية ، مثل تكوين عمود البلازما والتكثيف والتكتل والتنوي [175]. عندما يطلق الليزر الضوء قد يتعرض الشعاع للانعكاس ونقل الطاقة وامتصاص الضوء و شدة الليزر الساقط تنخفض بسبب معامل امتصاص المادة بشكل كبير داخل المادة [176].

1-10-2 آلية الاستئصال بالليزر النبضي في طور السائل

Pulsed Laser ablation in liquid Phase (PLAL) mechanism

عملية استئصال المادة المستهدفة بواسطة الليزر في السوائل هي عملية معقدة تعتمد على عوامل متعددة. تتضمن هذه العوامل الطول الموجي لليزر وطاقته ونوع الوسط السائل المحيط بالمادة المستهدفة وعمق اختراق الليزر ونوع المادة نفسها. [177]. يتم تسليط نبضة ليزر قصيرة الطول الموجي على سطح المادة لإنشاء مجال كهربائي قوي، مما يؤدي إلى إزالة الإلكترونات من المادة ثم تكوين البلازما . بمرور الوقت، تتفاعل الإلكترونات الحرة مع الجسيمات السائبة

في السائل المحيط، مما يؤدي إلى تحويل المادة إلى بلازما تحتوي على جسيمات مختلفة بعد ذلك يحدث اختلاف كبير في الضغط بين البلازما التي تم إنشاؤها بفعل الليزر والجو المحيط [178]. هذا الضغط الفارق يؤدي إلى توسع سريع للبلازما في عمودها ثم يتم تبريده. عندما تنهار فقاعة البلازما، تتجلى النتيجة بإطلاق جسيمات نانوية صغيرة نتيجة الضغط المفرط وارتفاع درجة الحرارة. يمكن تكييف هذا التفاعل بين الليزر والهدف في بيئات مختلفة لتصنيع مواد متنوعة [179]. والشكل (8-2) يوضح طريقه الاستئصال بالليزر النبضي



الشكل (8-2) طريقه الاستئصال بالليزر النبضي PLAL [180]

1-1 المقدمة Introduction

تمتلك المواد النانوية خصائص بصرية متميزة تنشأ من حجمها الفريد وشكلها وتكوينها على المقياس النانوي. يحظى السلوك البصري للمواد النانوية باهتمام كبير نظرًا لأهميته الأساسية والتطبيقات المحتملة في مجالات متعددة مثل الإلكترونيات والضوئيات والطاقة [1]. وفي الآونة الأخيرة ازداد الاهتمام بالمواد ذات البنية النانوية وخاصة الجسيمات النانوية المغناطيسية. حيث ظهرت الجسيمات النانوية المغناطيسية كقوة رائعة من المواد ذات الخصائص المثيرة للاهتمام والتطبيقات المتنوعة. هذه الجسيمات النانوية التي يتراوح حجمها عادةً من بضعة نانومترات إلى عدة عشرات من النانومترات تُظهر سلوكًا مغناطيسيًا وتستجيب للمجالات المغناطيسية الخارجية [2][3][4]. إن الجمع الفريد بين الأبعاد النانوية والخصائص المغناطيسية يجعلها جذابة للغاية لمجموعة واسعة من المجالات بما في ذلك الطب الحيوي والإلكترونيات والطاقة وعلوم البيئة [5]. يتضمن تركيب الجسيمات النانوية المغناطيسية تحضير جسيمات نانوية ذات خصائص مغناطيسية باستخدام طرق تخليق مختلفة بما في ذلك الترسيب الكيميائي والتحلل الحراري وتوليف سول-جل حيث تسمح هذه الطرائق بالتحكم الدقيق في الحجم والشكل والتكوين والخصائص المغناطيسية للجسيمات النانوية [6][7][8].

والسوائل المغناطيسية على وجه الخصوص هي مجموعة فرعية من الجسيمات النانوية المغناطيسية المشتملة في حامل سائل وهو سائل غروي مستقر يتكون بشكل نموذجي من جسيمات نانوية مغناطيسية ($g\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ، Fe_3O_4 ، Fe ، CO ، Ni ، $\text{Fe} - \text{CO} - \text{Ni alloy}$ ، $a\text{-Fe}_3\text{N}$ ، و $g\text{-Fe}_4\text{N}$) مغطى بمادة خافض للتوتر السطحي (كأربوكسيل ، هيدروكسيل ، أمين ، وما إلى ذلك) والناقلات السائلة شديدة التشتت (الهيدروكربونات ، الفلوروكربون ، الماء ، والمعادن السائلة) [9][10].

المغنتيت سائل فريد مملوء بجزيئات مغناطيسية صغيرة تتكون أساسًا من جزيئات أكسيد الحديد الأسود (Fe_3O_4) النانوية معلقة في سائل ناقل. تمتلك هذه السوائل العديد من الخصائص البصرية الفريدة تحت مجال مغناطيسي خارجي [11]. حتى الآن تم اقتراح الكثير وعرض الأجهزة والتطبيقات البصرية القائمة على السوائل المغناطيسية على سبيل المثال حواجز شبكية ضوئية مفاتيح ضوئية مستشعرات المجال المغناطيسي مرشحات قابلة للضبط [12][13] واهم خاصية بصرية للسائل المغناطيسي هي معامل الانكسار التي تم التطرق لها في هذه الدراسة

من جانب اخر، البصريات الخطية هي فرع من فروع البصريات يتعامل مع دراسة الضوء وتفاعله مع المواد والأجهزة في نظام خطي و يركز على فهم الخصائص الخطية للضوء والتحكم بها مثل الانعكاس والانكسار والحيود والتداخل[14]. حيث تلعب البصريات الخطية دوراً مهماً في مختلف التطبيقات العلمية والتكنولوجية بما في ذلك الاتصالات وأنظمة التصوير والتحليل الطيفي وتكنولوجيا الليزر[15].

كذلك فإنّه من أهم التطبيقات أو الظواهر التي تطورت مع تقنيات الليزر هي البصريات غير الخطية حيث تعتبر البصريات غير الخطية (NLO) Nonlinear optics أصغر من الليزر بعام واحد فقط كمجال بحثي[16][17]. يعتمد هذا النوع من الظواهر على التغييرات غير الخطية في المادة الناتجة عن الضوء حيث جعلت شدة الليزر القوية من الممكن إجراء البحوث في هذا المجال[18].

2-1 الدراسات السابقة Historical Review

- في عام 2003 قام الباحث John Philip وجماعته بتقديم مرشح بصري جديد قابل للضبط و مناسب لاختيار نطاقات مختلفة من الطول الموجي في مناطق الأشعة فوق البنفسجية والمرئية والأشعة تحت الحمراء يشتمل المرشح على خلية مستحلب أساسها السوائل الممغنطة (مستحلب محصور بين لوحين شفافين) و ملف لولبي مصغر ومصدر تيار مباشر متغير لتغيير المجال المغناطيسي داخل الملف اللولبي من خلال تغيير المجال المغناطيسي يمكن ضبط الفلتر واختيار الطول الموجي المطلوب [19].
- في العام نفسه قام الباحث H . E. Horng وجماعته بإعطاء مثال للتحكم بمعامل الانكسار باستخدام موانع مغناطيسية تتكون من ناقلات وجزيئات مختلفة عند طول موجة 1.557 مايكرو متر والتي تلعب دوراً مهماً في اتصال الاليف البصرية حيث بين كيفية تحقيق المرونة المطلوبة في معامل الانكسار مجالات متغيرة خارجياً من خلال اعتماد افلام سوائل مغناطيسية مناسبة [20].
- في عام 2004 قام الباحث H. E. Horng وجماعته باستخدام معامل الانكسار القابل للتعديل يمكن تطبيق السوائل المغناطيسية لتطوير الأجهزة البصرية القابلة للتعديل حيث في هذه الدراسة تم تصميم وتوصيف مفتاح بصري يعتمد على السوائل المغناطيسية. يتم تشكيل المفتاح البصري بإحكام إغلاق سائل مغناطيسي بين منشورين زجاجيين عندما يتعرض الضوء لجانب واحد من المنشور ينعكس الضوء من طبقة السائل المغناطيسي من نفس المنشور بينما يتم انبعاث الضوء المنقول من خلال السائل المغناطيسي من القطعة الأخرى.

وتبين أن نسبة شدة الضوء المنعكس إلى الضوء المنقول يمكن التحكم بها عن طريق تغيير شدة المجال المغناطيسي الخارجي. وهذا يعني أنه يمكن التحكم في شدة الضوء بين المسارين. تعتمد كفاءة التبديل أيضاً على زاوية سقوط الضوء في منشور زجاجي وبعد ذلك من الناحية النظرية تم اشتقاق كفاءة التبديل المعتمدة على زاوية السقوط لتوضيح الآليات الفيزيائية المتعلقة بالموضوع [21].

- في عام 2007 قام الباحث Ting Liu وجماعته باقتراح مرشحاً بصرياً قابلاً للتعديل يعتمد على ألياف نوع long-period fiber grating LPG والمغلقة بالسوائل المغناطيسية MFs كوسائط محيطية . باستخدام حقل مغناطيسي قابل للتعديل تم العثور على تحول في طول موجة المركز للفترة الطويلة للشبكة البصرية يصل إلى 7.4 nm نانومتر. تم قياس تبعية معامل الانكسار للسوائل المغناطيسية على الكثافة المغناطيسية الخارجية وأظهرت النتائج المحاكاة توافقاً جيداً مع النتائج التجريبية [22].

- في عام 2008 قام الباحث Ting Liu وجماعته باستخدام طريقة خالية من المحاذاة الضوئية وعالية الدقة لقياس معامل الانكسار المعتمد على المجال المغناطيسي للسوائل المغناطيسية (MF) بأحجام كبيرة. يتناقص معامل الانكسار المقاس بشكل كبير مع زيادة القوة المغناطيسية ثم يميل إلى التشبع في نطاق الكثافة العالية. من خلال تطبيق مجال مغناطيسي قابل للضبط يتراوح بين 0 و 1661 تم ايجاد أقصى انزياح لمعامل الانكسار ل MF بأحجام كبيرة ليكون 0.0231 [23].

- في عام 2011 قام الباحث Yong Zhao وجماعته بدراسة خصائص معامل الانكسار السوائل المغناطيسية و الاجهزة البصرية ذات الصلة حيث اكتشفوا أنه يمكن التحكم بمعامل الانكسار بسهولة عن طريق المجال المغناطيسي الخارجي ودرجة الحرارة. و اجرؤا مقارنة من حيث سرعة الاستجابة مع مواد اخرى ذات معامل الانكسار القابل للضبط [24].

- في عام 2012 قام الباحثان Serhiy Malynych, Iryna Moroz بدراسة الاختلافات في شدة الضوء التي تمر عبر العالق المائي لجزيئات Fe_3O_4 النانوية المنشأة بتطبيق المجال المغناطيسي بالتيار المستمر. تم التمييز بين نوعين من الاختلافات الاستجابة السريعة التي تستغرق أقل من 1 مللي ثانية والاختلافات البطيئة التي تحدث في الفاصل الزمني من ثانية إلى مئات الدقائق وتمت مناقشة الآليات المحتملة لهذه الاختلافات، وتبين أن تشكيل هياكل تشبه السلاسل المكونة من جزيئات أكسيد الحديد النانوية هو المسؤول عن الاختلافات البطيئة. وأظهرت الدراسة أن هذه الاختلافات البطيئة مصحوبة بنمط حيود عندما يكون

المجال المغناطيسي متعامداً مع شعاع الضوء وتعود الاختلافات السريعة إلى دوران الجسيمات وإعادة توجيه العزم المغناطيسي داخل الجسيم النانوي [25].

- في عام 2013 قام الباحثان M.H. Mahdih , T. Nazari بتقديم تقنية قياس التداخل باستخدام الليزر لقياس دقيق لتغير معامل الانكسار بسبب تغيرات درجة الحرارة والتركيز وباستخدام الماء المقطر كعينة سائل اختبار ويمكن ايضا تطبيق التقنية على سوائل مماثلة وتم فحص تباينات تركيز الماء المقطر بنسب ثلاث شوائب مختلفة مثل الايثانول والماء المالح وماء الصنبور وتعطي هذه التقنية قياساً لتغيرات التركيز ودرجة الحرارة بالترتيب 10^{-4} g/l , 10^{-5} k^{-1} على التوالي وتظهر النتائج ان الاختلافات في معامل الانكسار فيما يتعلق بدرجة الحرارة والتركيز يمكن قياسها بشكل نموذجي بدقة 10% , 6% وهذه الدقة مفيدة للمراقبة السريعة والدقيقة لتغيرات درجة الحرارة والتركيز في السوائل الشفافة [26].
- في العام نفسه قام الباحث Robert A. Taylor وجماعته بدراسة تصميم المرشحات باستخدام تحسين مونت كارلو البسيط وباستخدام خلطات نسبياً بسيطة من الجسيمات النانوية. تم تحقيق مرشحات ضوئية فعالة بأداء جيد، حيث بلغت النفاذية داخل هذه المرشحات أقل من 15% من المرشحات التقليدية يتمتع هذا النوع الجديد من المرشحات بإمكانية ضخها داخل وخارج النظام لتلبية الاحتياجات العابرة في التطبيقات المختلفة بالإضافة إلى ذلك يتم مناقشة الجدوى التجارية لهذه المرشحات الضوئية المعتمدة على الموائع النانوية وتشمل الاعتبارات المتعلقة بتكلفة المواد. وعلى الرغم من التحديات الحالية يتوقع الباحثون أن يمكن تطبيق هذه المرشحات النانوية في المستقبل القريب بفضل التقنيات الجديدة وتحقيق اختصار الحجم هذه الدراسة تمهد الطريق لإنشاء فئة جديدة من المرشحات الضوئية المتنوعة والفعالة لتطبيقات متعددة في مجالات الاتصالات والإلكترونيات والإضاءة والتصوير وغيره [27].
- في عام 2014 قام الباحث PAI CHINTAMANI وجماعته بدراسة التأثيرات الضوئية غير الخطية في السوائل النانوية الغروية باستخدام شعاع الليزر. تم تمرير شعاع ليزر-He Ne بطول موجة 632nm بقوة 10mW عبر التشتت المنفصل للجسيمات النانوية المغناطيسية وغير المغناطيسية. وقد لوحظت أنماط الحيود الناتجة عن العدسة الحرارية في حالة استخدام جسيمات نانوية Fe_3O_4 في الهكسان والكيروسين، ولكن لم تُلاحظ هذه الأنماط في حالة جسيمات نانوية CdS المشتتة في الميثانول. كانت هذه الدراسة مفيدة لفهم الخصائص البصرية غير الخطية للسوائل النانوية وتأثيرات تسخين الوسيط المحلي بواسطة الليزر على معامل الانكسار. وتوصل الباحثون إلى أن التباين في الخواص البصرية يعتمد

على طبيعة الجسيمات المغناطيسية وغير المغناطيسية، وتم أيضاً فحص تأثير المجال المغناطيسي على الخواص البصرية غير الخطية للجسيمات النانوية المغناطيسية المشتتة [28].

• في العام نفسه قام الباحث WU Di وجماعته بدراسة تحليلية تعتمد على درجة الحرارة والمجال المغناطيسي لقياس معامل الانكسار للسائل المغناطيسي. قدموا طريقة جديدة باستخدام مجسات استشعار مستقلة بناءً على مبدأ انعكاس فريزل. أجروا قياسات تجريبية للتحقق من العلاقة بين شدة المجال المغناطيسي ومعامل الانكسار المعتمد على درجة الحرارة للسائل المغناطيس حيث أظهرت النتائج أن لتركيز معين من السائل المغناطيسي كان تأثير درجة الحرارة على n_{MF} ضئيلاً نسبياً مع حساسية C^{-1} 8.02×10^{-5} . تحت شدة المجال المغناطيسي الصفرية. عندما يكون هناك مجال مغناطيسي خارجي (موازٍ لاتجاه انتشار الضوء) فإن n_{MF} ستزداد مع زيادة شدة المجال المغناطيسي عند درجة حرارة ثابتة و ثبت أيضاً أن الأداء المتكرر لهذا الجهاز مثالي و يمكن استخدام خصائص معامل الانكسار القابل للضبط للسائل المغناطيسي كأساس نظري لملء الألياف البلورية الضوئية لتحقيق مجال مغناطيسي واستشعار درجة الحرارة [29].

• في عام 2015 قام الباحثان غالب عبد الوهاب الدهش ونعم محمد عبيد بدراسة تأثير تغيير المجال المغناطيسي وطول موجة نبضة الليزر على الخواص التركيبية والبصرية لجسيمات البلاتين النانوية المحضرة بطريقه الاستئصال الليزري في محاليل مختلفة مثل الماء منزوع الايونات والميثانول و SDS بتراكيز مختلفة. استخدمت طريقة الاستئصال بالليزر النبضي لتحضير جسيمات البلاتين النانوية بحدود 5-10 nm باستخدام ليزر (النديميوم- ياك) وبأطوال موجية مختلفة (355,532,1064 nm) وكذلك قيست اطياف الامتصاصية والفلورة وفحص المجهر الالكتروني النافذ TEM والماسح SEM للمحاليل الغروية وبينت النتائج امكانية تحضير محاليل البلاتين الغروية وبحجوم حبيبية بأقل من 10 nm حيث اظهرت قمة امتصاص عند الطول الموجي 280nm و صور المجهر الالكتروني الماسح اظهرت ان الجسيمات ذات شكل كروي باستخدام طريقة الاستئصال بالليزر [30].

• في عام 2017 قام الباحثان Jingyu Jin, Dengwei Jing باقتراح مائع نانوي الكتروليت مغناطيسي جديد لأول مره والذي يمكن استخدامه كمرشحات ضوئية سائلة للتطبيقات الكهروضوئية الحرارية الهجينة PV/T من خلال تشتت الكمية المثلى من جزيئات اكسيد الحديد المغناطيسي Fe_3O_4 النانوية في 50% ماء و 50% محاليل EG تحتوي على

المثيلين الازرق MB او كبريتات النحاس CS. وتم اعتبار هذه المرشحات بمثابة مرشح بصري سائل ذكي يمكن التحكم فيه بواسطة المجال المغناطيسي الخارجي [31].

• في عام 2018 قام الباحث Constantine Yerin وجماعته بقياس أطيايف الأجزاء الحقيقية والتخيلية لمعامل الانكسار للسوائل المغناطيسية على أساس الكيروسين بتركيز طور المواد الصلبة من 1% إلى 35% تجريبياً. وتم إجراء مقارنة نتائج الحسابات وفقاً لنماذج Maxwell-Garnett و Bruggeman للتقريب المتوسط الفعال. حيث تظهر النتائج تأثير أطيايف معامل الانكسار على انقراض الضوء في السوائل المغناطيسية [32].

• في عام 2019 قام الباحث M.G. Shlyagina وجماعته باستخدام هندسة انعكاس فريزل ومجس الألياف الضوئية لقياس معامل الانكسار الفعال للسائل الممغنط القائم على الكيروسين. لوحظ تأثير قوي للمجال المغناطيسي المطبق مع مستوى معتدل من قوة الضوء من 0.5mW الى 135 mW . ووجد أن معامل الانكسار يزداد بنسبة أكثر من 4% عند زيادة قوة الضوء ونفس قوة المجال المغناطيسي. هذا التأثير لم يكن موجوداً بدون تطبيق المجال المغناطيسي. تساهم هذه النتائج في فهم تأثير المجال المغناطيسي على معامل الانكسار للسوائل الممغنطة وتطبيقاتها المحتملة في مجال البصريات والأنظمة البصرية [33].

• في عام 2020 قام الباحث Xiangpeng Yang بدراسة الخصائص البصرية غير الخطية لمحاليل الجسيمات النانوية المغناطيسية Fe_3O_4 الغروية باستخدام تقنية المسح-Z scan بواسطة نبضات ليزر بطول موجة 1046 nm وبمدة زمنية قصيرة 25Ps. أظهرت النتائج أن مجموعات الجسيمات النانوية المغناطيسية تؤثر بشكل كبير على الخصائص البصرية غير الخطية للمحلول عند تعرضها لشدة عالية من الليزر بحسب قوة نبضات الليزر ينخفض معامل الامتصاص العكسي القابل للتشبع ويزداد مؤشر الانكسار اللاخطي للعينة. هذا التأثير البصري غير الخطي يحدث فقط في السائل المعلق بالجسيمات النانوية وتم التأكد من ذلك من خلال تثبيت الجزيئات على ركيزة حيث لم يُلاحظ وجود الاستجابات المشابهة للوسط السائل. بالإضافة إلى ذلك اقترح تركيز نبضات الليزر لخلق محاصرة بصرية لتفسير النتائج التجريبية التي تم الحصول عليها [34].

• في عام 2021 قام الباحثان Angel Sanz-Felipe, Juan Carlos Martín بدراسة تأثير درجة الحرارة على الاستجابة المغناطيسية الضوئية للسائل الممغنط بعد استبدال المجال المغناطيسي. تم التركيز في الدراسة على تحليل تأثير درجة الحرارة في انتشار

وتنقل الجزيئات النانوية للسائل الممغنط عن طريق التحريض الحراري ولزوجة المائع التي تتأثر بدورها بدرجة الحرارة وأظهرت النتائج التجريبية بعد المغناطيسية تأثيراً كبيراً لدرجة الحرارة وتشغيل وإيقاف المجال المغناطيسي. تم توفير وصف نوعي للظاهرة مع مراعاة التأثيرات الحرارية حيث لعبت اللزوجة دوراً مهماً. حيث استخدم الباحثان نموذج يعتمد على تكييف نظرية الغازات المغناطيسية لتحليل النفاذية وتطور الاسترخاء بعد إيقاف المجال المغناطيسي وأظهرت النتائج توافقاً جيداً مع التجارب وقياسات النفاذية مما يدل على صحة هذا التكييف في النظر إلى اعتماد درجة الحرارة في هذه الاستجابة [35].

- في عام 2022 قام الباحثان Norbert Tarjanyi , Daniel Kacik بدراسة تأثير المجال المغناطيسي على طبقة مائع مغناطيسية رقيقة موضوعة بين مستقطبين مستويين متقاطعين على نفاذية الطبقة في النطاق الطيفي المرئي. استخدمت عينات من سماكتين مختلفتين ومصدر ضوء أبيض فائق السطوع للتحقيق. تم إنشاء المجال المغناطيسي باستخدام ملف لولبي ذو قلب حديدي وتم تطبيقه بالتوازي مع سطح السائل المغناطيسي وعمودياً على اتجاه انتشار الضوء. لوحظ تأثير قوي للمجال المغناطيسي على نفاذية الطبقة الرقيقة المغناطيسية مما يشير إلى إمكانية استخدامه في مجال مستشعرات تتطلب وجود مجال مغناطيسي [36].
- في العام نفسه قام الباحث H.M.Sobhi وجماعته بدراسة الخواص التركيبية والبصرية الخطية واللاخطية لعوالق اوكسيد الحديد النانوية Fe_2O_3 كانت تجارية المنشأ واكسالات الحديد الثلاثي النانوية Fe(III) التي قاما بتحضيرها بطريقة الاستئصال بالليزر النبضي باستخدام ليزرات بأطوال موجيه nm (650,405,532) وشدات وتراكيز مختلفة باستخدام تقنيتين للقياس تقنية المسح على المحور البصري z-san وتقنية تغير الطور المكاني الذاتي وكذلك قاما بدراسة تطبيق المواد المستخدمة في مجال المفاتيح البصرية [37].
- في عام 2023 قام الباحث Z.S Kochnev وجماعته بإنشاء مرشح يمكن ضبطه مغناطيسياً لنقل وتصفية الإشعاع في نطاق تيرا هيرتز (THz) يأتي هذا المرشح على شكل خلية تحتوي على سائل مغناطيسي ونظام من ملفات الحث المُصممة على شكل حلقات Helmholtz. يتألف السائل المغناطيسي من مزيج يضم زيت محرك اصطناعي للسيارات وجسيمات دقيقة مصنوعة من سبيكة 5BDSR ذات تركيب بلوري غير منتظم. عند وضع الخلية بين ملفات الحث وتعريضها لمجال مغناطيسي خارجي، يتم توجيه الجسيمات الدقيقة داخل السائل المغناطيسي على طول مسار الناقل المغناطيسي وهذا يؤدي إلى تكوين هياكل خيطية دورية. ومن خلال تغيير حجم الحث المغناطيسي يمكن التحكم في

أداء المرشح. وتم تحضير ودراسة مجموعة متنوعة من المرشحات المشابهة والتي يبلغ عددها ثمانية عشر. تميزت هذه المرشحات بتفاوت في خصائص السائل المغناطيسي مثل تركيز الجسيمات المغناطيسية وحجمها. وتشكلت النتائج التي تم الحصول عليها جوانب مفيدة ومهمة في تطوير مرشحات إشعاع تيرا هيرتز (THz) التي يمكن التحكم فيها مغناطيسياً [38].

- في العام نفسه قام الباحث Z.S Kochnev وجماعته بتقديم نموذج لمرشح حزمة النطاق band pass المكون من هيكل هندسي يحتوي على سائل مغناطيسي. تم استخدام المحاكاة العددية لدراسة الخصائص المرتبطة بالهيكل الخيطية الدورية المتواجدة في السوائل الممغنطة والمتأثرة بالمجال المغناطيسي الخارجي، بناءً على القوة المغناطيسية وخصائص السائل الممغنط. واحتساب أطيايف الإرسال للإشعاع تيرا هيرتز الذي يمر عبر هذه الهياكل الدورية المنشأة. تم اقتراح تفسيرات للنتائج وتحديد نقاط الرجوع لتكوين الهياكل الدورية داخل السائل الممغنط الذي يتأثر بالمجال المغناطيسي الخارجي. يقدم هذا البحث تقييماً نوعياً لأداء مرشحات حزم النطاق band pass تيرا هيرتز (THz) مما يمهد الطريق لاستخدامها في تطبيقات مختلفة مثل الاتصالات والاستشعار والتصوير في هذا النطاق المهم [39].
- في العام نفسه قام الباحثان M.S.Rahoomi و J.M.Jassim بدراسة تأثير الخصائص الميكانيكية للسوائل النانوية المغناطيسية المشتتة (Fe_3O_4) بتركيزات مختلفة على شعاع الليزر الكاوسي الذي يمر عبرها. واختبرت امكانية استخدام المجال المغناطيسي الخارجي المسلط على مزيج (وسط فعال الى الليزر العشوائي) من صبغه Rhodamine – 640 المذابة في الميثانول وجسيمات اوكسيد الحديد Fe_3O_4 النانوية على معلمات خرج الليزر العشوائي وأظهرت النتائج التي تم الحصول عليها على ان كل من قوة المجال المغناطيسي الخارجي وزمن الاستجابة لهما تأثير واضح على اعادة انتشار وتوزيع الجسيمات النانوية NPs وتشكل طبقه من السلاسل بأحجام مختلفة وكذلك التحكم في طول المسار الحر للاستطارة حيث تتغير قيمته من 30-160 مايكرومتر وبالإضافة الى امكانية التحكم بالطول الموجي المنبعث [40].

3-1 الهدف من البحث The aim of the research

تحضير نماذج من مادة نانوية مغناطيسية و دراسة خواصها البصرية الخطية واللاخطية و علاقتها بالخواص المغناطيسية للمادة بالإضافة الى دراسة امكانية توظيفها في تطبيقات ضوئية. ولتحقيق هذا تمت دراسة التغيرات في معامل الانكسار لعينات كبيرة الحجم نسبياً من السائل المغناطيسي المحتوي على جزيئات Fe_3O_4 النانوية تحت ظروف مختلفة. حيث تضمنت استكشاف تأثير نوع السائل ودرجة الحرارة وتركيز الجسيمات والمجال المغناطيسي على الخواص البصرية للعينات. وكذلك تم تصميم و دراسة مرشحات بصرية متعددة تمتلك خاصية الضبط و التنعيم و بمواصفات مختلفة باستخدام سوائل مغناطيسية (عوالق Fe_3O_4) مفردة و مطعمة بمواد غير مغناطيسية. قابلية التنعيم و الضبط في هذه المرشحات تكون قابلة للعكس. النوع الاول يكون معتمد على السائل المغناطيسي فقط و يمتلك قابلية الضبط فقط. نوعين اخرين من المرشحات تم تصميمهما من خلال اضافة مواد مذابة او جسيمات نانوية غير مغناطيسية للسائل المغناطيسي. هذه المرشحات تكون قابلة للضبط و التنعيم معا. قابلية التنعيم تعتمد مدى الترابط بين المواد المضافة و الجسيمات المغناطيسية. النوع الاخير من المرشحات القابلة للضبط تم تصميمه بطيف ثابت ومسطح مثاليا على مدى واسع من الاطوال الموجية من خلال انتاج جسيمات Fe_3O_4 مغطاة بالكامل بجسيمات النحاس النانوية. الى جانب هذا تم دراسة الخواص البصرية اللاخطية باستخدام تقنية الماسح الضوئي z-scan وتقنية تعديل الطور الذاتي المكاني . spatial self-phase modulation .

Introduction

1-4 المقدمة

في هذا الفصل تم عرض ومناقشة النتائج الخاصة بالخواص التركيبية لجسيمات المادة النانوية Fe_3O_4 المغناطيسية والخواص البصرية الخطية (معامل الانكسار الخطي والنفاذية البصرية) وكذلك الخواص اللاخطية (معامل الانكسار غير الخطي n_2) باستخدام تقنية Z-san وتقنية تعديل الطور الذاتي المكاني (SSPM) وكذلك استثمار النتائج في تطبيق المفتاح البصري .

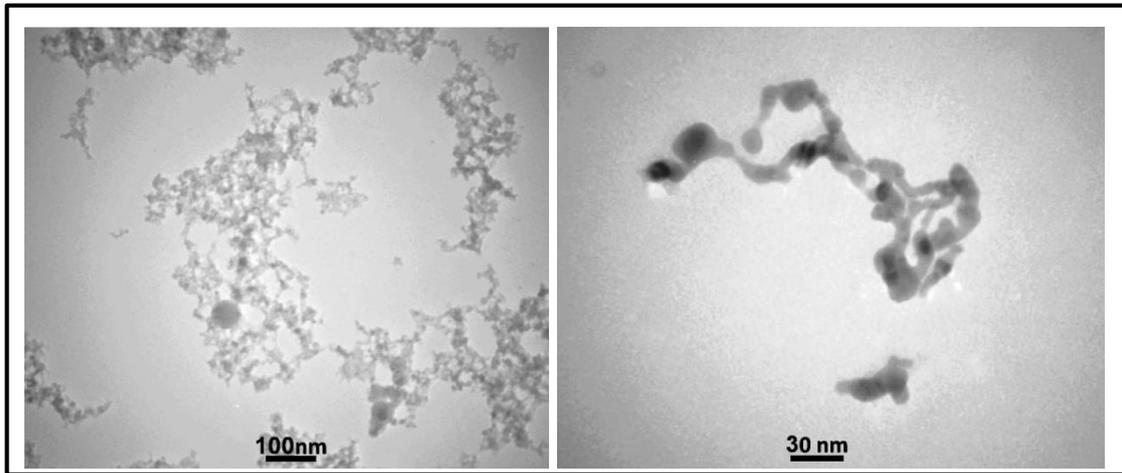
2-4 الخواص التركيبية structural properties

في هذا الجزء سيتم عرض ومناقشة الخصائص التركيبية للمواد المستخدمة في هذا البحث بهدف تحديد هويتها وتركيبها حيث سيتم استعراض وتحليل البيانات والمعلومات المتعلقة بتلك المواد بشكل مفصل .

1-2-4 فحوصات المجهر الالكتروني النافذ TEM

Transmission electron microscopy (TEM) examinations

الشكل (1-4) يعرض صور فحص TEM لعوالق جسيمات Fe_3O_4 النانوية المغناطيسية



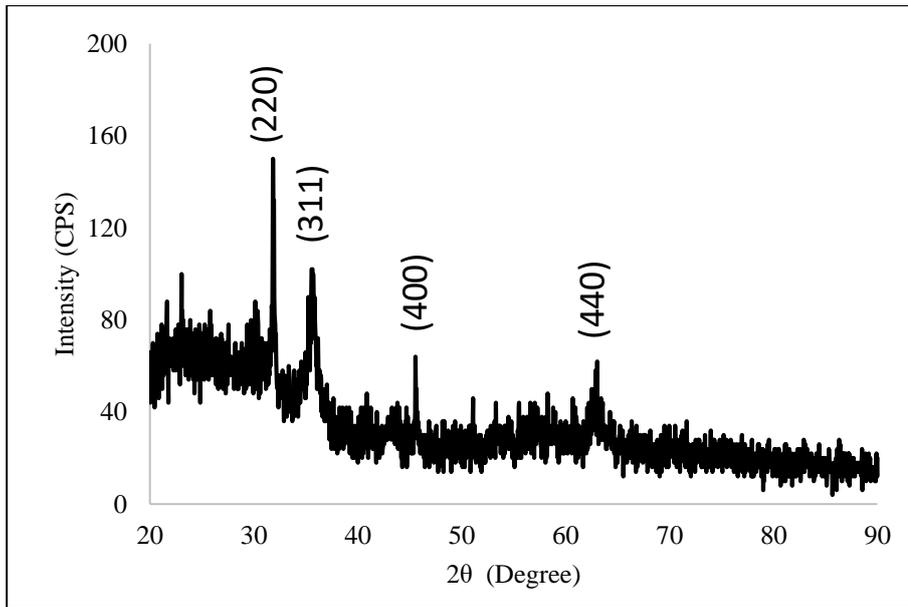
الشكل (1-4) صور TEM لجسيمات Fe_3O_4 في الماء

كما يمكن ملاحظته من الشكل (1-4) ان الجسيمات النانوية Fe_3O_4 المستخدمة في هذا العمل لها أشكال غير منتظمة بأحجام تتراوح من 8 إلى 50 نانومتر تظهر ترتيباً في شكل سلاسل هذا الترتيب السلسلي قد يكون مؤشراً على وجود هستره مغناطيسية magnetic

(hysteresis) متبقي في هذه الجسيمات مما يعني أنها قد تكون أقرب إلى أن تمتلك خصائص مغناطيسية مماثلة ل ferromagnetic يكون ترتيب هذه السلاسل باتجاهات عشوائية بغياب المجال المغناطيسي الخارجي و يمكن فك ارتباط الجسيمات باستخدام الموجات فوق الصوتية حيث يمكن توزيع الجسيمات بشكل موحد في العينة. كذلك يمكن توجيه هذه السلاسل عند تطبيق مجال مغناطيسي خارجي لتكون موازية لخطوط المجال.

2-2-4 فحص حيود الأشعة السينية X-ray diffraction (XRD) examination

تم إجراء فحص (XRD) لعوالق المادة النانوية المغناطيسية المستخدمة في الدراسة لتحديد التركيب البلوري والحجم الحبيبي للمادة البلورية وهو أمر مهم لخصائص المادة. الشكل (2-4) يوضح فحص XRD لعوالق الجسيمات Fe_3O_4 النانوية التي تم ترسيبها على شريحة زجاجية حيث انها تمتاز بتركيب بلوري عالي النقاوة.



الشكل (2-4) فحص XRD لجسيمات Fe_3O_4

الشكل يشير الى ان مواقع القمم المتولدة والمسافات بين المستويات البلورية تتطابق بصورة جيدة مع بطاقة المعلومات American Standard Testing Materials (ASTM) المرقمة (26-1136) وكذلك تتطابق مع فحص حيود الاشعة السينية لمادة Fe_3O_4 المدروسة في البحث [36]. والجدول (1-4) يوضح قيم معاملات ميلر

الجدول (1-4) قيم معاملات ميلر

2θ	hkl
30	220
30.5	311
40.6	400
40.6	440

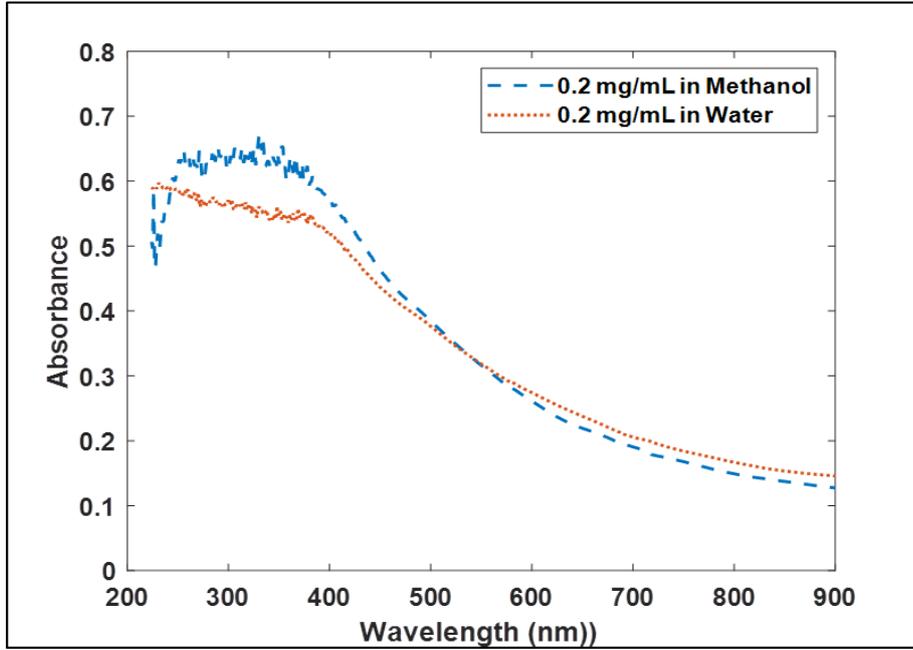
3-4 الخصائص البصرية الخطية Linear optical properties

في هذه الفقرة سنستعرض اطياف الامتصاص ومعامل الانكسار الخطي واطياف النفاذية الخطية للمادة المغناطيسية Fe_3O_4 النانوية المستخدمة في هذه الدراسة.

1-3-4 طيف امتصاص اوكسيد الحديد الاسود Fe_3O_4

Absorption spectrum of magnetite Fe_3O_4

يوضح الشكل (3-4) اطياف الامتصاص للجسيمات النانوية Fe_3O_4 المغناطيسية التي تمت اذابتها في الماء والميثانول بنفس التركيز.

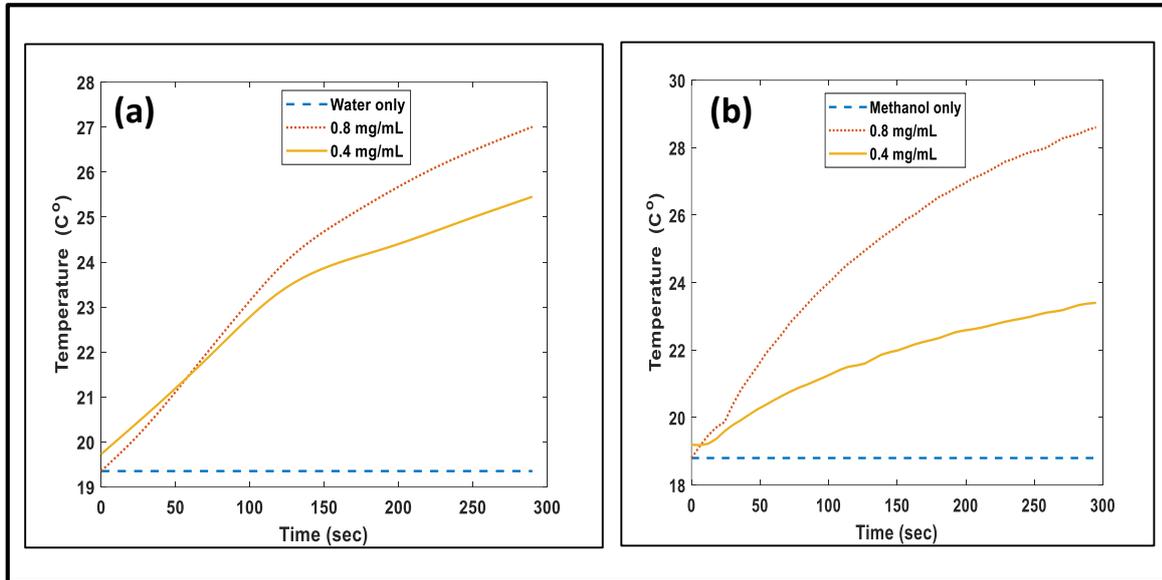


الشكل (3-4) أطيف الامتصاص الخطية للجزيئات Fe_3O_4

نلاحظ من خلال الشكل ان جسيمات Fe_3O_4 النانوية الموجودة في الماء والميثانول تمتلك أطيف امتصاص تقع في الغالب في منطقة الأشعة فوق البنفسجية وتنخفض تدريجياً خلال المدى المرئي ومنطقة الأشعة تحت الحمراء القريبة حيث ان أعلى امتصاص يكون عند نطاق الطول الموجي من 230 إلى 400 نانومتر. كذلك يمكن أن نلاحظ من الشكل أن السائل المستخدم له تأثير ضئيل على خصائص الامتصاص الخطي للجسيمات النانوية Fe_3O_4 . الطيف متطابق تقريباً في كلا السائلين على الرغم من اختلاف خواصهما الكيميائية والفيزيائية وهذا قد لا يؤثر بشكل كبير على خصائص الامتصاص الخطي للجزيئات النانوية الذي يعتمد أساساً على طبيعة وهياكل الجزيئات النانوية نفسه اذ يمثل هذا التطابق ميزة هامة للجزيئات النانوية المغناطيسية عند استخدامها في تطبيقات مختلفة حيث يتيح للباحثين الاستفادة من خصائص الامتصاص الفريدة للجسيمات دون أن يتأثر ذلك بشكل كبير بالبيئة المحيطة (السائل المحيط بها) وبالتالي تكون الجزيئات النانوية المغناطيسية (Fe_3O_4) ذات قيمة مضافة عند استخدامها كونها تحتفظ بخواصها المميزة بغض النظر عن السائل المحيط بها. بالنسبة للسائل المحيط بالجسيمات النانوية فإنه بشكل عام يمتلك دور ثانوي في تأثير الأطيف البصري يمكن أن يؤثر على بعض خصائص الامتصاص بشكل طفيف مثل التشتت البصري للضوء عند انتشاره في السائل أو امتصاص جزء ضئيل من الأشعة في منطقة معينة.

2-3-4 تأثير درجة الحرارة لعوالق اوكسيد الحديد الاسود Fe_3O_4 Effect of temperature on suspended magnetite Fe_3O_4

في معظم التطبيقات التي تتضمن مرور حزمة الليزر خلال الوسط فانه من الممكن ان حزمة الليزر تسبب تغير درجة حرارة الوسط. مقدار التغير يعتمد على قدرة حزمة الليزر و مقدار امتصاصية الوسط عند الطول الموجي للحزمة. الشكل (4-4) يوضح تغيرات درجة الحرارة مع الزمن للماء و الميثانول عندما تكون نقية و عندما تحتوي جسيمات Fe_3O_4 النانوية بتركيزات مختلفة. التغير بدرجة الحرارة يسببه مرور حزمة اشعة من ليزر طوله الموجي 810 nm بقدرة مقدارها 870 mW خلال خلية سمكها 1 cm تحتوي على 2 mL من السائل.

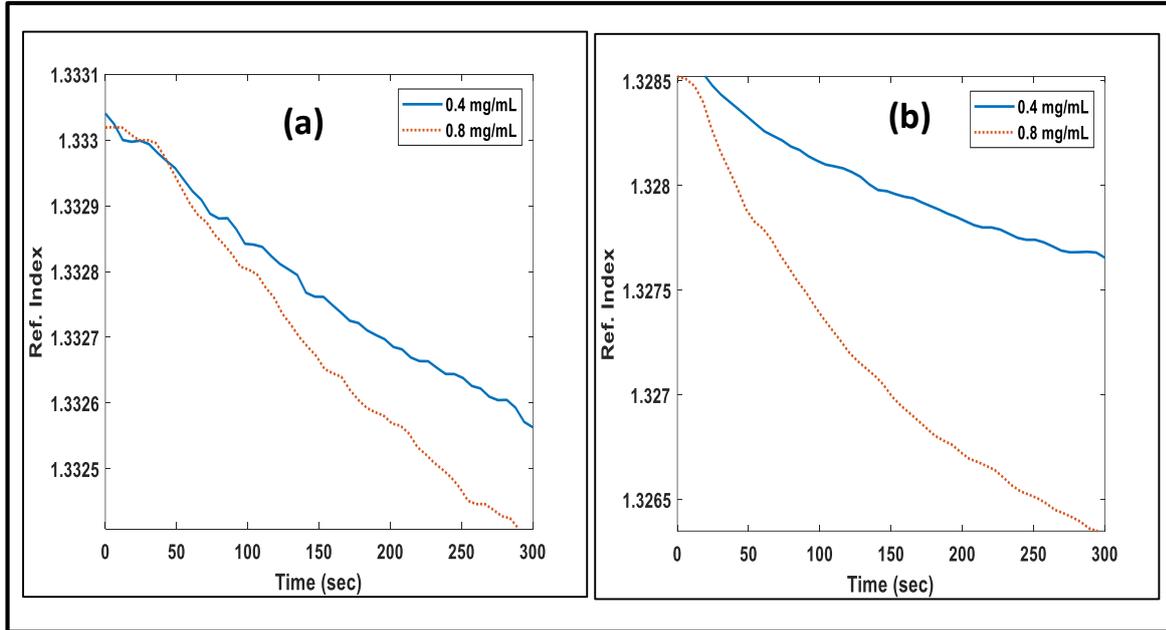


الشكل (4-4) تغير درجة حرارة (a) الماء و (b) الميثانول المحتوي على جسيمات Fe_3O_4 النانوية بتركيزات مختلفة

كما يمكن ملاحظته من الشكل ان درجة حرارة السوائل النقية (الماء والميثانول) لا تتغير بمرور الوقت على الرغم من وجود ليزر الأشعة تحت الحمراء هذا بسبب ضعف امتصاص السوائل النقية عند هذا الطول الموجي لكن وجود جزيئات Fe_3O_4 النانوية في السوائل يزيد بشكل كبير من امتصاص شعاع الليزر بنسبة تعتمد على تركيز المادة النانوية في السائل حيث ان الجزيئات النانوية تتفاعل مع الليزر وتمتص طاقته ثم تنقل هذه الطاقة إلى السائل المحيط بها بشكل حراري هذا يؤدي إلى ارتفاع سريع في درجة حرارة السائل ومعدل زيادة درجة

الحرارة تعتمد على قوة الليزر المستخدمة وحجم العينة وتركيز المادة النانوية في السائل والخصائص الحرارية للسائل. هذا يعني ان التطبيقات التي تستخدم أغشية رقيقة من مادة مغناطيسية بسبب صغر حجمها ستعاني تغيرات أكبر في درجة الحرارة مقارنة بالتطبيقات التي تستخدم عينات كبيرة الحجم. بالإضافة إلى ذلك يجب ملاحظة أن تركيز المواد النانوية المستخدم في الاغشية الرقيقة يكون أكبر من ذلك المستخدم في العينات كبيرة الحجم لذلك فإن طاقة الليزر التي يمتصها الجزيئات النانوية في العينة الكبيرة تكون أقل وبالتالي يكون لها تأثير أقل على ارتفاع درجة الحرارة. بصورة عامة فان التحكم الدقيق في درجة الحرارة أمرًا ضروري جدا بالأخص بالنسبة للتطبيقات التي تعتمد في عملها على معامل الانكسار.

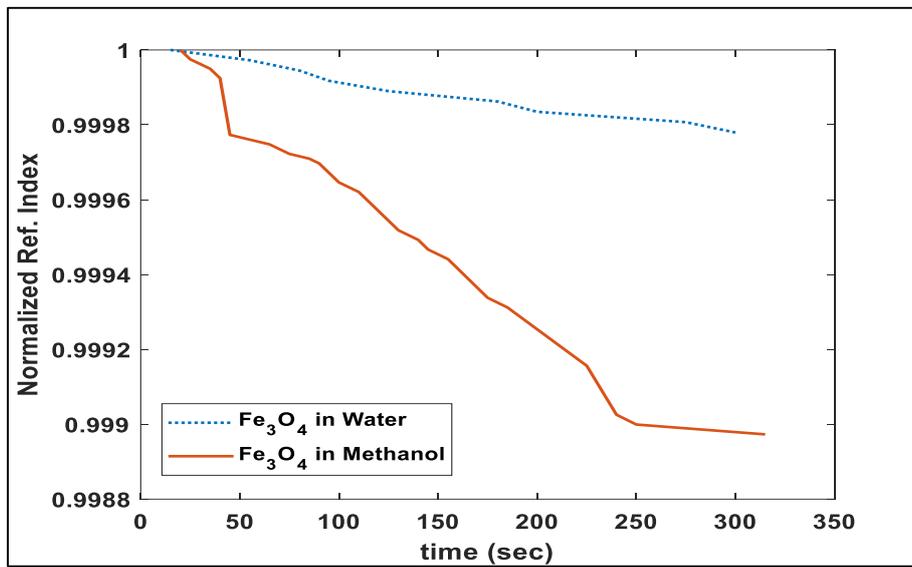
بصورة عامة فان معامل انكسار السوائل يعتمد على درجة الحرارة لذلك فان تغير درجة الحرارة سيؤدي مباشرة الى تغيير معامل الانكسار الكلي للوسط. الشكل (4-5) يوضح تغير معامل الانكسار مع الزمن لنفس تراكيز العينات الموضحة في الشكل (4-4) في الماء والميثانول.



الشكل (4-5) تغير معامل الانكسار لكل من (a) الماء و (b) الميثانول المحتوي على جزيئات Fe₃O₄ النانوية عند مستويات مختلفة

يوضح الشكل ان معامل الانكسار يتغير بمرور الزمن بسبب تغير درجة الحرارة كذلك يمكن ملاحظة ان التغيير في الميثانول أكبر بكثير من التغيير في الماء عند نفس تركيز المادة النانوية

ويرجع ذلك إلى اختلاف المعاملات الحرارية $\left(\frac{dn}{dT}\right)$ للميثانول والماء إذ ان قيمة هذه المعاملات تعتمد على الخصائص البصرية والحرارية للمادة. في التطبيقات التي تعتمد على التحكم في درجة حرارة الوسط يكون فهم هذه الخصائص البصرية والحرارية للمادة أمرًا حاسمًا فعند اختيار مادة محددة للتطبيقات التي تتأثر بتغير درجة الحرارة يجب مراعاة تلك الاختلافات في معامل الانكسار والخصائص الحرارية للمادة. على سبيل المثال الشكل (4-6) يوضح مقارنة لقيم تغير معامل الانكسار بالماء والميثانول التي تحتوي على نفس التركيز للجسيمات Fe_3O_4 النانوية



الشكل (4-6) مقارنة قيم معامل الانكسار Fe_3O_4 في الماء

يوضح الشكل أنه تحت نفس الظروف فان تغير معامل انكسار الميثانول الحاوي على جسيمات اوكسيد الحديد اكبر بصورة واضحة من الماء الحاوي على نفس التركيز من جسيمات الحديد.

من جانب اخر بينت النتائج انه عند نفس درجة الحرارة فإن معامل الانكسار للسوائل المحتوية على الجسيمات النانوية المغناطيسية هو دالة لتركيز هذه الجسيمات. حيث من خلال قياس معامل انكسار Fe_3O_4 المعلق في الماء والميثانول بتركيزات مختلفة ودرجات حرارة مختلفة تم حساب معدل تغير معامل الانكسار مع درجة الحرارة والتركيز بالإضافة إلى ذلك تم حساب اعتماد التباين الحراري لمعامل الانكسار $\left(\frac{dn}{dT}\right)$ على تركيز المادة المغناطيسية أي

$$\left(\frac{d^2n}{dTdc}\right). \text{ نتائج هذه القياسات مدرجة في الجدول رقم (4-2).}$$

الجدول (2-4) الخصائص الانكسارية لجسيمات Fe_3O_4 النانوية في الماء والميثانول

	$K^{-1}dn/dT$	$M^{-1}dn/dc$	$K^{-1} M^{-1}d^2n/dTdc$
Fe_3O_4 in water	-1.18×10^{-4}	8.18×10^{-4}	9.45×10^{-5}
Fe_3O_4 in methanol	-4.11×10^{-4}	8.81×10^{-3}	3.15×10^{-4}

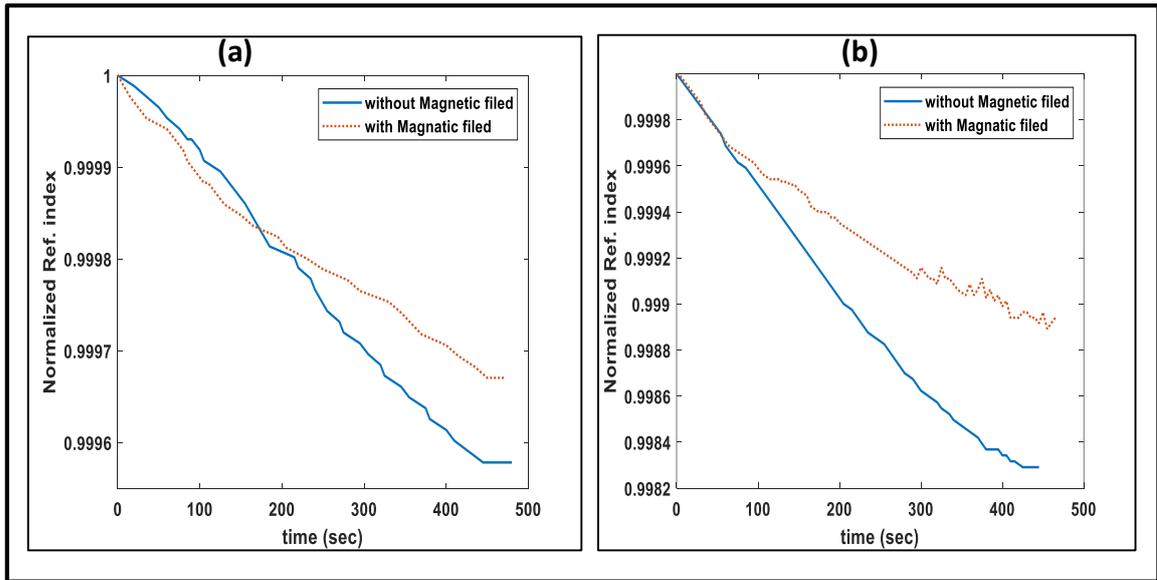
حيث نلاحظ ان قيمة $\left(\frac{dn}{dT}\right)$ هي سالبة بسبب التغير في كثافة السائل واعتماد معامل الانكسار على الكثافة كذلك نلاحظ ان القيمة المطلقة لهذه الخاصية للميثانول اكبر بكثير من قيمتها للماء. تتوافق قيم $\left(\frac{dn}{dT}\right)$ المحسوبة في هذا العمل بشكل جيد جداً مع قيم $\left(\frac{dn}{dT}\right)$ المقاسة للمياه النقية والميثانول المذكورة في المصادر [209][210].

تشير القيم غير الصفريّة لـ $\left(\frac{dn}{dc}\right)$ إلى أن إضافة مادة متناهية الصغر إلى السائل يمكن أن تغير قيمة القابلية الخطية للسائل (χ^1) كذلك تشير القيم الموجبة للدالة $\left(\frac{dn}{dc}\right)$ الى ان وجود المادة النانوية يؤدي الى تحسين الاستقطاب الخطي المستحث للسائل. بالإضافة إلى ذلك نلاحظ ان قيمة $\left(\frac{dn}{dc}\right)$ للميثانول أكبر بحوالي عشر مرات من قيمة الماء أي أن نفس تركيز Fe_3O_4 يمكن أن يؤدي إلى مستويات مختلفة من التأثير في الاستجابة الخطية للوسط المضيف بالاعتماد على خواص الوسط. يمكن أن يكون هذا بسبب الاختلاف في الخصائص الفيزيائية والكيميائية للوسط من حيث تجمع جزيئات السائل حول الجسيمات النانوية ومدى تأثير خصائص السائل بالشوائب. علاوة على ذلك ، يمكن أن تؤدي الخصائص المغناطيسية المختلفة للماء والميثانول إلى اختلافات كبيرة في مستوى الاستجابة لوجود الجسيمات المغناطيسية.

كذلك فان القيم غير الصفريّة لـ $\left(\frac{d^2n}{dTdc}\right)$. تعني أن وجود جزيئات Fe_3O_4 النانوية يؤثر على قيمة حساسية الدرجة الثالثة للوسط (χ^3) هذا التأثير ليس ثابتاً ولكنه يعتمد على نوع السائل حيث تشير القيم الموجبة لـ $\left(\frac{d^2n}{dTdc}\right)$. إلى أن القيمة المطلقة لـ $\left(\frac{dn}{dc}\right)$ تقل كلما زاد تركيز الجسيمات النانوية هذا يعني أن القيمة المطلقة لمعامل الانكسار غير الخطي المستحث حرارياً للوسط تتناقص مع زيادة التركيز. يمكن أن يكون هذا الانخفاض بسبب التغيرات في التوصيل الحراري والسعة الحرارية النوعية للسائل الناجم عن الجسيمات النانوية. تجدر الملاحظة الى

ان هذا المستوى من التغييرات في معامل الانكسار اللاخطي لا يمكن ملاحظته عند إجراء القياسات غير الخطية بصورة مباشرة لأنها ستكون مخفية تحت الزيادة الهائلة في اللاخطية التي تسببها زيادة الامتصاص الخطي الناتجة من زيادة تركيز الجسيمات النانوية.

يمكن استثمار نتائج هذا العمل بشكل إيجابي في التطبيقات التي تستخدم عينات كبيرة الحجم تحتوي على جسيمات نانوية مغناطيسية. في العينات كبيرة الحجم نسبيًا يمكن التحكم بسهولة في تركيز الجسيمات المغناطيسية في أي نقطة من العينة باستخدام مجال مغناطيسي خارجي بمعنى آخر، يمكن إحداث تغييرات موقعيه في التركيز عن طريق تحريك الجسيمات النانوية فعليًا إلى اتجاه محدد في العينة. ونظرًا لأن معامل الانكسار يعتمد على تركيز المادة فإن التحكم في تركيز الجسيمات المغناطيسية يمكن أن يؤدي إلى التحكم في قيمة معامل الانكسار ودرجة الحرارة الوسط في المكان الذي نرغب فيه داخل العينة هذا التحكم و دقته العالية يمكن أن يكون له تأثيرات هامة في تطبيقات متعددة. كمثال على تأثير المجال المغناطيسي على مقدار تغير معامل انكسار الوسط يمكن ملاحظة الشكل (4-7) الذي يوضح مسارين لتغيرات معامل الانكسار الناتج عن الحرارة للعينات التي تحتوي على جزيئات Fe_3O_4 النانوية في وجود غياب مجال مغناطيسي 82mT حيث تم الحصول على التسخين بواسطة ليزر الأشعة تحت الحمراء عند 810 نانومتر يمر عبر خلية العينة.



الشكل (4-7) تغيير معامل الانكسار المعياري لـ (a) الماء و (b) الميثانول المحتوي على Fe_3O_4 مع وجود مجال مغناطيسي خارجي وبدونه

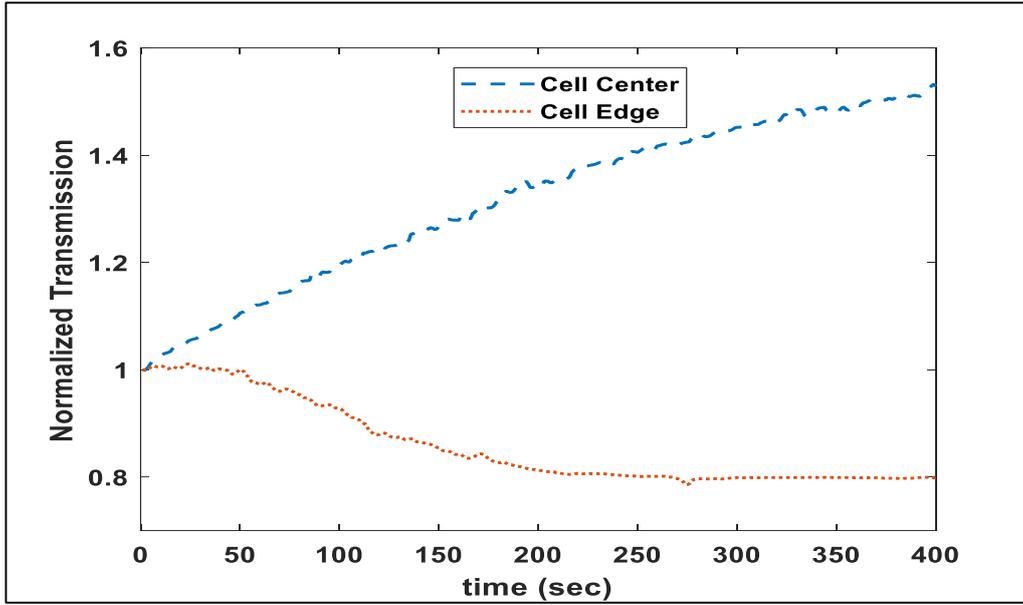
الشكل يوضح التغير في معامل الانكسار في منطقة محددة داخل العينة حيث عندما ينخفض تركيز هذه الجسيمات Fe_3O_4 بسبب حركتها نحو المجال المغناطيسي فإن ذلك يؤدي إلى تقليل امتصاص أشعة الليزر وبالتالي يحدث تغير أقل في درجات الحرارة في العينة. الجدير بالذكر أن هذا التغير في معامل الانكسار لا يرجع إلى تأثير مغناطيسي مباشر على معامل الانكسار نفسه بل يعود إلى التغير في التركيز الموضعي للجسيمات النانوية المغناطيسية في العينة وبالتالي يمكن عكس هذا التغير في اتجاه زيادة التركيز عند قلب المغناطيس إلى الجانب الآخر وفي هذا السياق تظهر التجربة إمكانية التحكم في معامل الانكسار لعينات كبيرة الحجم نسبياً وهذا يمكن أن يكون مفيداً في تطبيقات مختلفة.

علاوة على ذلك يجب الإشارة إلى أن ضمن مدى التركيز المحدد في الدراسة (0-0.4 mg/mL) فإن معامل الانكسار هو دالة خطية لتركيز الجسيمات النانوية المغناطيسية ضمن لكن هذا التناسب الخطي غير مضمون لتراكيز أعلى من ذلك ويتعذر استكشاف خصائص عينات التراكيز العالية في العينات السميكة بسبب النفاذية الضوئية المنخفضة أي أن الضوء لا يمر بسهولة من خلال العينة عند تلك التركيزات العالي.

3-3-4 طيف النفاذية الخطية لجسيمات Fe_3O_4

Linear transmittance spectrum of Fe_3O_4 particles

كما تم توضيحه في الشكل (3-4) فإن جسيمات Fe_3O_4 النانوية تمتلك طيف امتصاص خاص يتمثل بقيم امتصاصية (او نفاذية) محددة عند كل طول موجي و ان هذه الامتصاصية تزداد بزيادة الجسيمات النانوية العالقة في الوسط السائل اي تقل نفاذية النموذج بزيادة تركيز الجسيمات النانوية. بما انه كما ذكر سابقا بانه يمكن التحكم بتركيز جسيمات Fe_3O_4 في منطقة معينة داخل النموذج باستخدام مجال مغناطيسي خارجي لذلك يمكن التحكم بمقدار نفاذية النموذج بدقة عالية. يوضح الشكل (4-8) مقدار تغير النفاذية الخطية في منطقتين مختلفتين داخل نفس خلية النموذج احدهما في مركز الخلية و الاخر عند حافة الخلية لنموذج من جسيمات Fe_3O_4 النانوية العالقة في الميثانول عند تسليط مجال مغناطيسي بشدة 50 mT.



الشكل (8-4) تغير النفاذية الخطية لنموذج من جسيمات Fe_3O_4 النانوية العالقة في الميثانول

نلاحظ من الشكل اعلاه انه في مركز الخلية و لكون جسيمات اوكسيد الحديد تتجذب نحو الاقطاب المغناطيسية عند طرفي الخلية فان تركيزها يقل دائما مما يزيد نفاذية النموذج البصرية. اما عند حافة الخلية فان الجسيمات تتجمع بفعل القطب المغناطيسي عند ذلك الطرف مما يقلل النفاذية الخطية للنموذج.

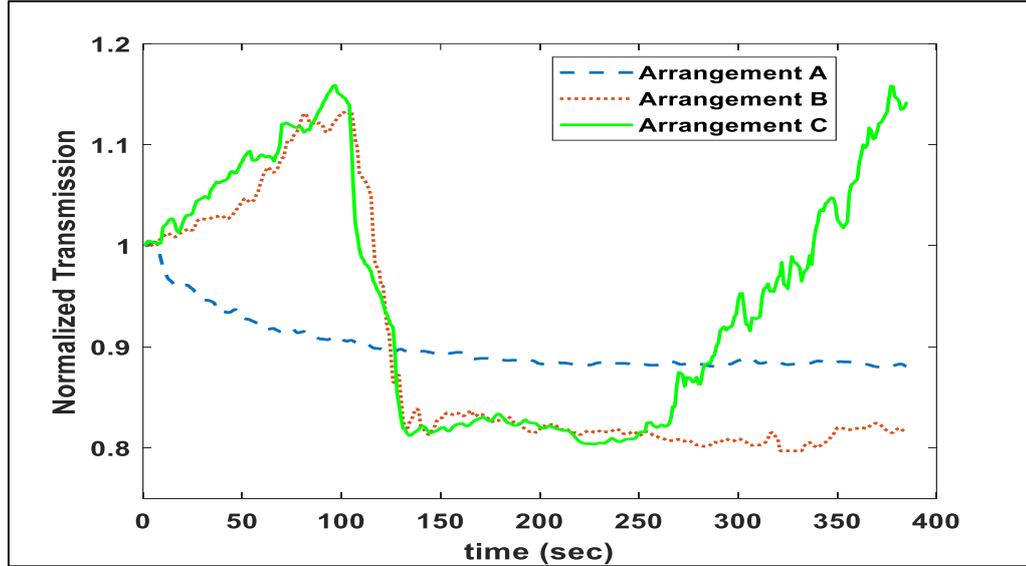
من الجدير بالملاحظة ان مقدار و سرعة التغير في النفاذية يم تحديده من خلال لزوجة السائل و التركيز الابتدائي للمادة النانوية و كذلك شدة المجال المغناطيسي المستخدم. من جانب اخر فان اتجاه تغير النفاذية (زيادة او نقصان) يعتمد على اتجاه تغير تركيز المادة النانوية (زيادة او نقصان) في مسار حزمة الاشعاع النافذ.

ان التحكم بمقدار نفاذية السائل المغناطيسية يمكن ان يكون باتجاهين اي يمكن زيادة و تقليل مقدار النفاذية بمرونة تامة من خلال تحريك الجسيمات النانوية بعيداً عن او باتجاه منطقة مرور الحزمة الضوئية باستخدام مجالات مغناطيسية موزعه حول النموذج. الشكل (4-9) يوضح تغير النفاذية لجسيمات Fe_3O_4 العالقة في الميثانول عندما تكوم حزمة الليزر مارة خلال حافة الخلية القريبة من المغناطيس الاول و كان تشغيل المغناطيسين بثلاث ترتيبات.

الترتيب A: كلا المغناطيسين 1 و2 يعملان سوية .

الترتيب B: المغناطيس 2 يعمل لمدة 100sec ثم يعمل بعده المغناطيس 1 لباقي الزمن.

الترتيب C: المغناطيس 2 يعمل لمدة 100sec ثم يعمل بعده المغناطيس 1 لمدة 150sec اللاحقة ثم بعد ذلك يعمل المغناطيس 2 لباقي الزمن .



الشكل (9-4) تغير النفاذية الخطية لنموذج من جسيمات Fe_3O_4 عند تسليط مجال مغناطيسي بشدة 50 mT بشكل متناوب على طرفي الخلية.

نلاحظ من الشكل انه عندما يكون كلا المغناطيسين يعملان سوية فإن النفاذية تقل بسبب تجمع الجسيمات النانوية على حافة النموذج. اما باستعمال الترتيب (B) فعندما يعمل المغناطيس 2 البعيد عن حزمة الليزر فإن الجسيمات تبتعد عن طريق حزمة الليزر مما يؤدي الى زيادة النفاذية في اول برهه لكن عند اطفاء هذا المجال وتشغيل المجال القريب (المغناطيس 1) فإن الجسيمات النانوية تعود ليزداد تركيزها بطريق حزمة الليزر مما يؤدي الى نقصان حاد و سريع في النفاذية. استقرار النفاذية عند قيمة معينة يوحي بتجمع جميع الجسيمات الموجودة في السائل في طريق حزمة الليزر. اخيرا الترتيب (C) حيث تم تشغيل المغناطيس بشكل متناوب مما ادى الى تغيير نفاذية النموذج بشكل متناوب ايضا. هذه التجربة و كما موضح في الشكل (9-4) تبرهن امكانية استخدام المواد النانوية المغناطيسية لتصميم مرشحات بصرية قابلة للضبط بشكل سريع و دقيق. الانحدار الحاد في المنحنيات المبينة في الشكل (9-4) يثبت امكانية سرعة تغيير نفاذية المرشح. و بالإمكان ضبط سرعة التغيير من خلال ضبط لزوجة

السائل و شدة المجال المغناطيسي المستخدم. من جانب اخر فان مدى تغير النفاذية و بالتالي مدى التحكم بالمرشح يعتمد بالأساس على التركيز الابتدائي للجسيمات النانوية في السائل.

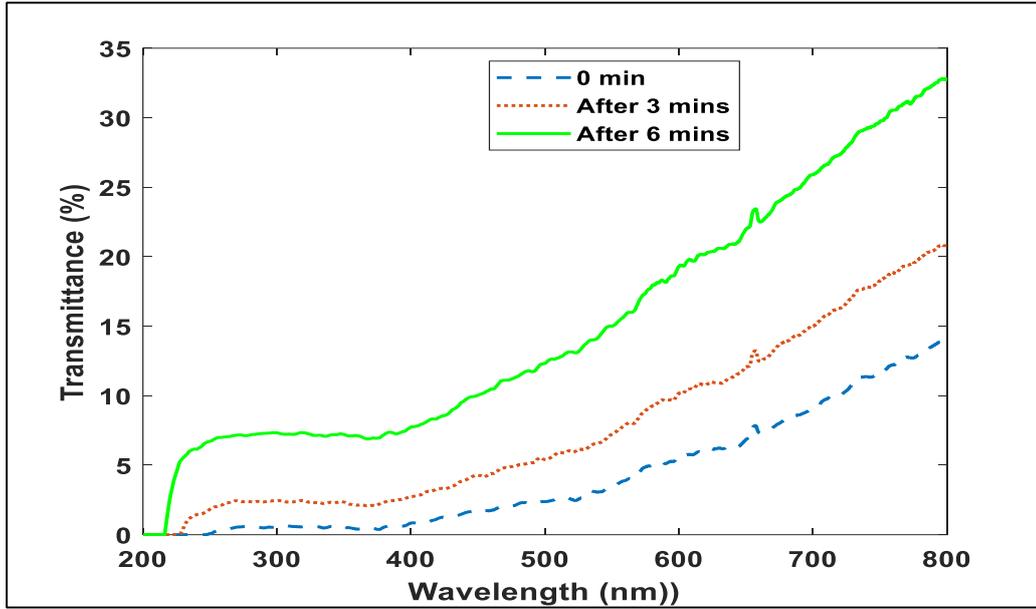
هذه الخاصية يمكن استغلالها في تطبيقات المرشحات البصرية كما تم دراسته في العديد من الاعمال السابقة [211][212]. وأن نموذج من المادة النانوية يمكن ان يكون مرشح بصري مستمر التغير او ثابت بقيم تعتمد على تركيز المادة وسمكها ومقدار المجال المغناطيسي المستخدم. و هذا يمكن ان يحظى بتطبيق عالي الأهمية في مجال الفوتونك. كذلك يمكن تصميم مرشح بصري بطيف نفاذية يمكن تشكيله بسهولة حسب التطبيق المطلوب باستخدام مخاليط من المادة النانوية مع مواد اخرى يمكن ان تكون مواد نانوية اخرى مغناطيسية او غير مغناطيسية او مواد عضوية او غيرها من المواد. شكل طيف النفاذية في مثل هذه المرشحات يمكن تشكيله من خلال التحكم بنسب تراكيز المادة النانوية المغناطيسية و المواد المضافة الاخرى. في هذا العمل تم تصميم اربع انواع من المرشحات البصري القابلة للضبط عن طريق استخدام مادة Fe_3O_4 النانوية مفردة ومخلوطة مع مواد اخرى مختلفة كما سيتم توضيحه في ادناه.

4-4 الفلاتر البصرية Optical filters

في هذا البند سنتناول تحليل خصائص اربعة انواع من الفلاتر البصرية المصممة في هذا العمل من حيث المواصفات و شكل طيف النفاذية.

1-4-4 فلتر عوالمق اوكسيد الحديد الاسود النانوية Fe_3O_4

يوضح الشكل (4-10) تغير اطياف النفاذية للجسيمات Fe_3O_4 النانوية العالقة في الميثانول عند تسليط مجال مغناطيسي.



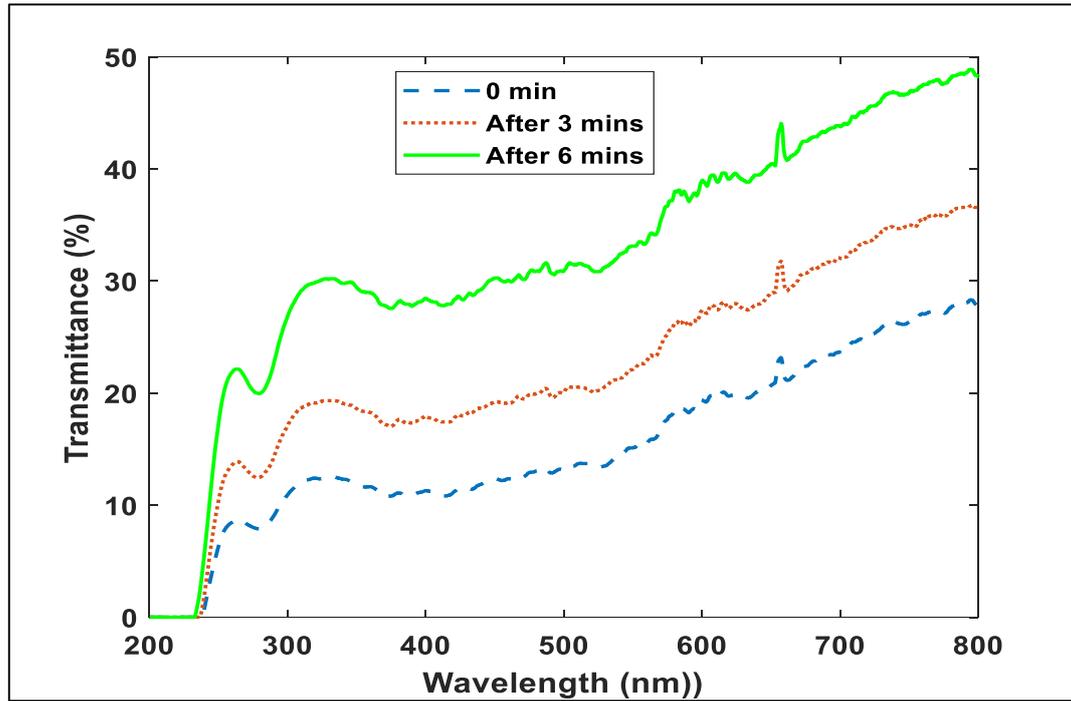
الشكل (10-4) تغير طيف النفاذية الخطية لنموذج من جسيمات Fe_3O_4 النانوية العالقة في الميثانول عند تسليط مجال مغناطيسي.

يوضح الشكل كيفية تأثير المجال المغناطيسي على النفاذية للضوء أثناء مروره من خلال النموذج . يتم تحقيق هذا التأثير عن طريق تغيير موقع وترتيب الجزيئات في المادة النانوية على طول مسار الحزمة الضوئية (تغيير التركيز الموقعي للجسيمات). شكل طيف النفاذية في هذا النوع من المرشحات يتم تحديده بشكل رئيسي من قبل الخواص البصرية للمادة المغناطيسية فقط حيث انه عند استخدام مرشح من هذا النوع مع حزم الليزر يتحقق تحكم دقيق في النفاذية عبر مجموعة واسعة من الأطوال الموجية.

في هذا النوع من الفلاتر يمكن تعديل قيمة النفاذية بسهولة ضمن مدى تحكم واسع جدا و لجميع الأطوال الموجية التي يغطيها الطيف. وتجدر الإشارة إلى أن وجود الجسيمات المغناطيسية منفردة يساهم في تثبيت شكل الطيف البصري لكن بقيم نفاذية متغيرة عند كل طول موجي. يجمع هذا التوازن بين الثبات والتحكم المرن مما يسمح بتصميم تطبيقات متقدمة تستند إلى تفاعل الضوء مع المادة المغناطيسية وتعديلها بشكل دقيق.

2-4-4 فلتر جسيمات الفضة النانوية مع جسيمات اوكسيد الحديد الاسود (Ag مع Fe_3O_4)

يوضح الشكل (11-4) تغير اطياف النفاذية لسائل يحتوي خليط من جسيمات الفضة النانوية Ag غير المغناطيسية و جسيمات اوكسيد الحديد النانوية Fe_3O_4 المغناطيسية بفعل المجال المغناطيسي.



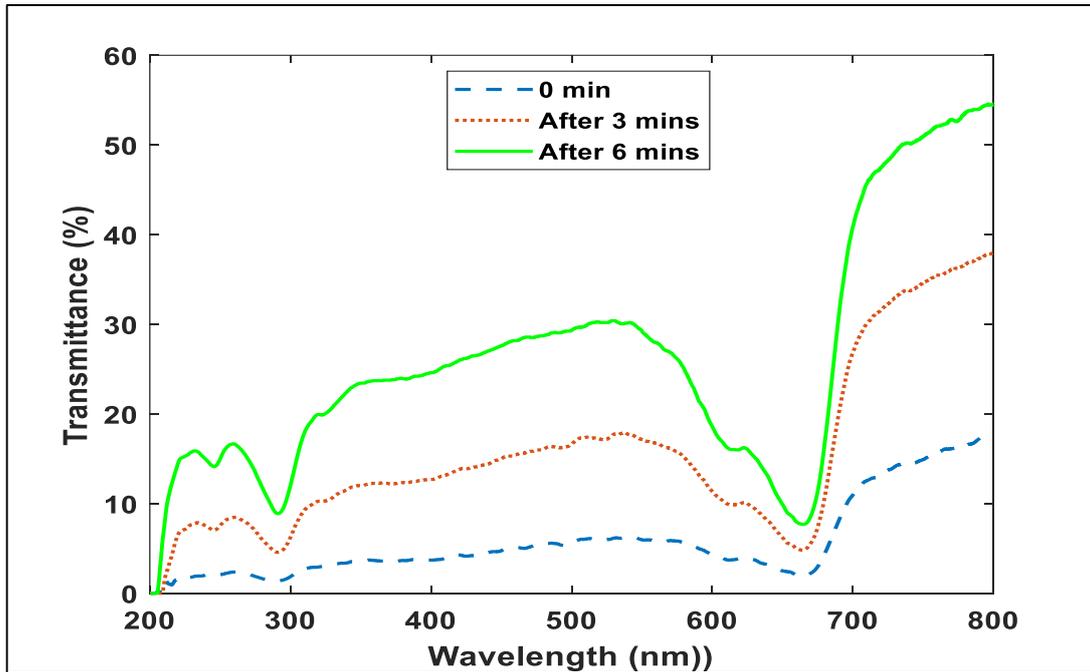
الشكل (11-4) تغير طيف النفاذية الخطية لخليط من جسيمات Fe_3O_4 النانوية و جسيمات الفضة العالقة في الماء بفعل المجال المغناطيسي.

يوضح الشكل نوع اخر من انواع المرشحات. الذي يكون فيه شكل الطيف الابتدائي يبدأ في منطقه الطيف للأشعة فوق البنفسجية والصعود تدريجيا الى منطقه الأشعة تحت الحمراء القريبة و يمكن التحكم بشكل الطيف من خلال التحكم بنسبة تراكيز الخليط. في هذا النوع من المخاليط يوجد ثلاث انواع مختلفة من الجسيمات في السائل هي جسيمات الفضة المنفردة و جسيمات Fe_3O_4 المنفردة بالإضافة الى جسيمات فضة عالقة او مرتبطة مع جسيمات Fe_3O_4 النانوية بفعل تكتل الجسيمات النانوية. عند تسليط مجال مغناطيسي فان جسيمات اوكسيد الحديد المنفردة و تلك المرتبطة مع جسيمات الفضة تتجذب نحو المجال دون جسيمات الفضة المنفردة مما يسبب تغير شكل و قيمة نفاذية النموذج. مما يمكن ملاحظته من الشكل (11-4) ان تغير

طيف النفاذية لا يكاد يلاحظ بالرغم من تغير قيمة النفاذية بصورة عامة. هذا يدل على ان نسبة كبيرة من جسيمات الفضة تكون مترابطة مع جسيمات اوكسيد الحديد مما يسبب تحركها مع جسيمات اوكسيد الحديد بفعل المجال المغناطيسي الخارجي.

3-4-4 فلتر صبغه المثلين بلو مع جسيمات اوكسيد الحديد Fe_3O_4 and MB

يوضح الشكل (4-12) تغير اطياف النفاذية لصبغه المثلين بلو Methylene Blue المذابة في الميثانول الحاوي على جسيمات Fe_3O_4 المغناطيسية



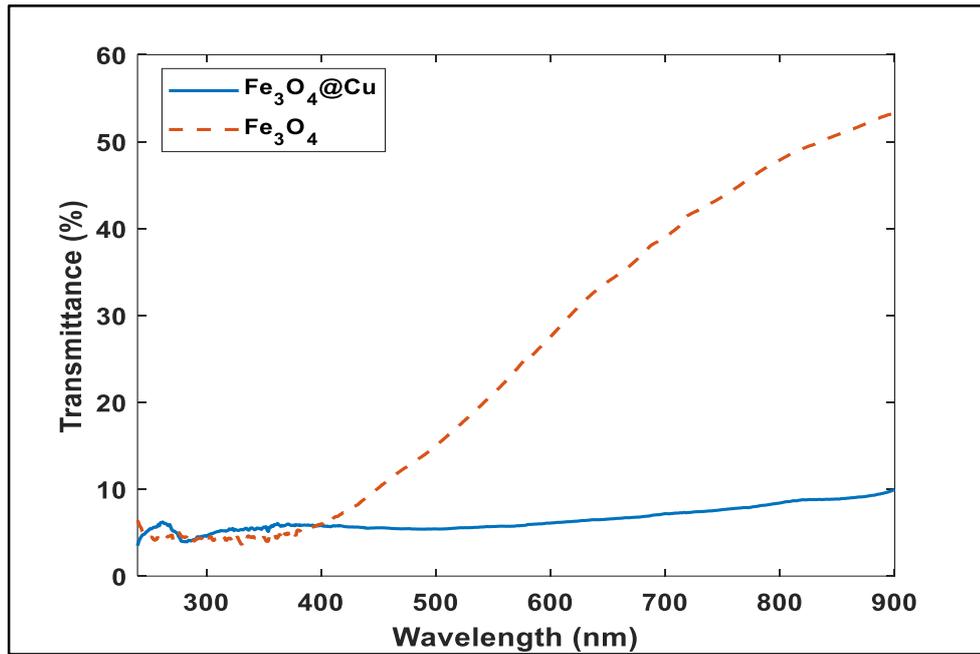
الشكل (4-12) تغير طيف النفاذية الخطية لنموذج من جسيمات Fe_3O_4 النانوية العالقة في الميثانول الحاوي على صبغة MB بفعل المجال المغناطيسي.

طيف النفاذية الموضح في الشكل هو لنموذج اخر من المرشحات البصرية ذات الطيف القابل للضبط حيث يمكن ملاحظة انه قبل تسليط المجال المغناطيسي الخارجي فان شكل طيف النفاذية يتكون من حاصل جمع طيف نفاذية جسيمات Fe_3O_4 و طيف نفاذية صبغة MB. بعد تسليط المجال المغناطيسي يقل تركيز جسيمات Fe_3O_4 بسبب توجيهها نحو اطراف النموذج. هذا يسبب زيادة نفاذية المرشح و تغير شكل طيفها بشكل متزامن بسبب انجذاب الجسيمات المغناطيسية دون جزيئات الصبغة المذابة في السائل. هذه النتيجة تبين ان هذا النوع من المرشحات و باستخدام مواد متنوعة هو ذات قيمة عالية جدا في التطبيقات التي تتطلب تشكيل

طيف الاشعاع النافذ و التحكم به بصورة مباشرة و دقيقة جدا مثل تطبيقات التوليف الطيفي و تشكيل نبضات الليزر.

5-4-4 فلتر جسيمات Fe_3O_4 مع جسيمات النحاس النانوية Cu

لغرض تصميم مرشح ذات طيف ثابت و نفاذية متغيرة قمنا بتحضير نموذج من جسيمات النحاس المرتبطة جميعها مع جسيمات اوكسيد الحديد المغناطيسي باستخدام الطريقة المفصلة في الفصل الثالث. تشير النتائج الى ان هذا النوع من الفلاتر يمتلك طيف نفاذية ثابت و متساوي لأطوال موجية تغطي مدى واسع جدا من الطيف. في حين ان طيف نفاذية جسيمات Fe_3O_4 غير متساوي لجميع الاطوال الموجية المدروسة نلاحظ من الشكل (4-13) ان طيف نفاذية النموذج المتكون من جسيمات النحاس النانوية العالقة على جسيمات اوكسيد الحديد يكون ثابت لمدى واسع جدا من الاطوال الموجية.

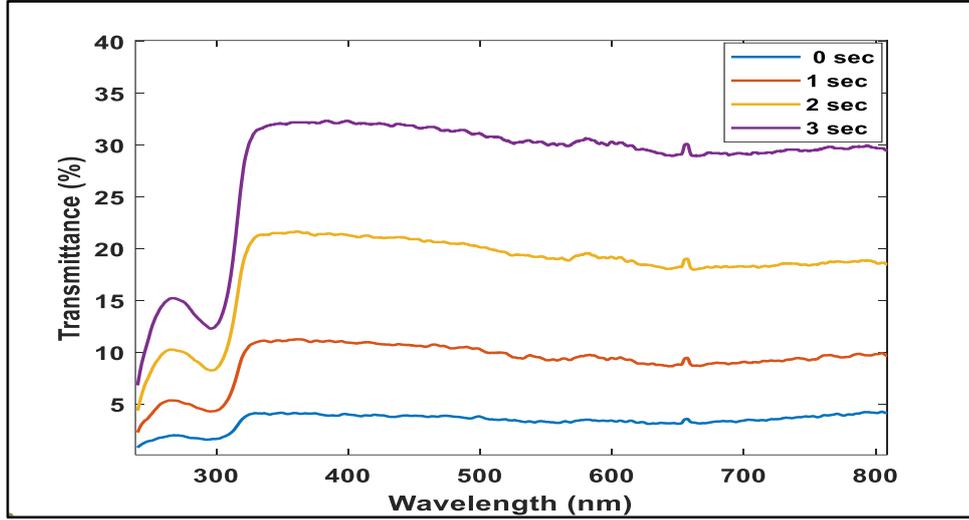


الشكل (4-13) طيف نفاذية جسيمات Fe_3O_4 النانوية المنفردة و المغطاة

بجسيمات النحاس النانوية Cu

من خلال هذا الفرق بأطياف النفاذية تم تصميم و لأول مره مرشح بطيف ثابت و متساوي لجميع الاطوال الموجية الواقعة ضمن المدى (200-900) nm باستخدام Fe_3O_4 المغطاة بالجسيمات النحاس النانوية. الشكل (4-14) يوضح تغير اطياف نفاذية المرشح المتكون من

جسيمات Fe_3O_4 المغطاة بجسيمات النحاس النانوية بفعل المجال المغناطيسي مع الثبات التام في شكل الطيف من منطقه الأشعة فوق البنفسجية الى منطقه الأشعة تحت الحمراء عند زمن متغير.



الشكل (4-14) تغير طيف النفاذية الخطية لجسيمات Fe_3O_4 النانوية المغطاة بجسيمات النحاس العالقة في الماء بفعل المجال المغناطيسي.

النتيجة الموضحة في الشكل (4-14) تشير الى عدة استنتاجات مهمة اهمها

اولا : يمكن تغيير قيمة النفاذية للمرشح من 5% إلى 32% في غضون ثلاث ثوانٍ فقط . هذا يشير إلى أن المرشح قابل للتعديل بسرعة وبشكل ملحوظ

ثانيا: إمكانية زيادة مدى التغير في النفاذية حتى 100% وهو تغيير يستغرق وقتاً أطول قليلاً وهذا يمكن أن يكون مفيداً في تطبيقات محددة تتطلب تغييرات أكبر في النفاذية

ثالثا: إمكانية زيادة سرعة التغير في النفاذية عن طريق استخدام مجال مغناطيسي خارجي بشدة أعلى من تلك المستخدمة في التجربة الحالية. هذا الجانب مهم حيث يشير إلى توسيع نطاق الاستخدام وزيادة القدرة على تحقيق تغييرات سريعة ومكثفة في الخصائص المغناطيسية للمرشح

رابعا: ان ثبات طيف النفاذية بصورة مثالية يثبت ان جميع جسيمات النحاس مرتبطة بجسيمات الحديد و كذلك ان جميع جسيمات الحديد مغطاة بجسيمات النحاس.

خامسا: هذا النموذج يمكن ان يكون ذات قيمة عالية جدا كونه يمثل مرشح قابل للضبط بصورة دقيقة جدا و سريعة يمكن استخدامه في مجال المرشحات عريضة النطاق و المرشحات الطبيعية ما يسمح بتلبية احتياجات مختلفة في مجالات متعددة و إمكانيات كبيرة لتحقيق تقدم وتطور في مجال تطبيقات المرشحات المغناطيسية .

5-4 الخواص البصرية اللاخطية Nonlinear Optical Properties (NLO)

في هذا الجزء سيتم عرض و مناقشة نتائج الخواص اللاخطية .تغير امتصاص ومعامل الانكسار اللاخطي للجسيمات اوكسيد الحديد النانوية تحت تأثير الضوء عند شدة عالية بتراكيز مختلفة باستعمال تقنية Z-scan باستخدام ثلاث اطوال موجية (405nm,532nm,650nm) و كذلك تقنية SSPM وكذلك دراسة امكانية تكوين المفتاح البصري .

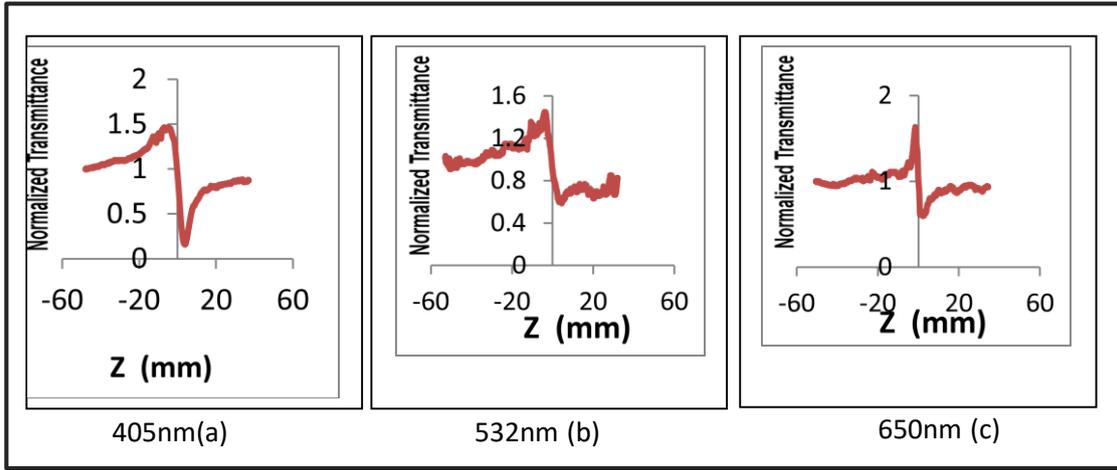
1-5-4 الخصائص البصرية اللاخطية باستخدام تقنية المسح على المحور البصري Z

Nonlinear optical properties using the Z-scan technique

سنتناول في هذه الفقرة نتائج دراسة النفاذية اللاخطية لمعامل الانكسار اللاخطي لجسيمات اوكسيد الحديد الاسود Fe_3O_4 النانوية حيث تم استخدام تقنية المسح البصري (z-scan) بنظام الفتحة المغلقة. تحت تأثير ثلاثة أطوال موجية مختلفة على هذه النفاذية .

1-1-5-4 الخصائص البصرية اللاخطية لعوالق Fe_3O_4 باستخدام Z-scan

يوضح الشكل (4-15) النفاذية اللاخطية لتقنية Z-scan لجسيمات Fe_3O_4 النانوية للأطوال الموجية (405 nm,532 nm,650 nm) عند قيم القدرة (, 90.6mW, 28.43mW, 2.81mW) على التوالي



الشكل (15- 4) منحنيات الفتحة المغلقة للجسيمات Fe_3O_4 النانوية عند ثلاث اطوال موجية

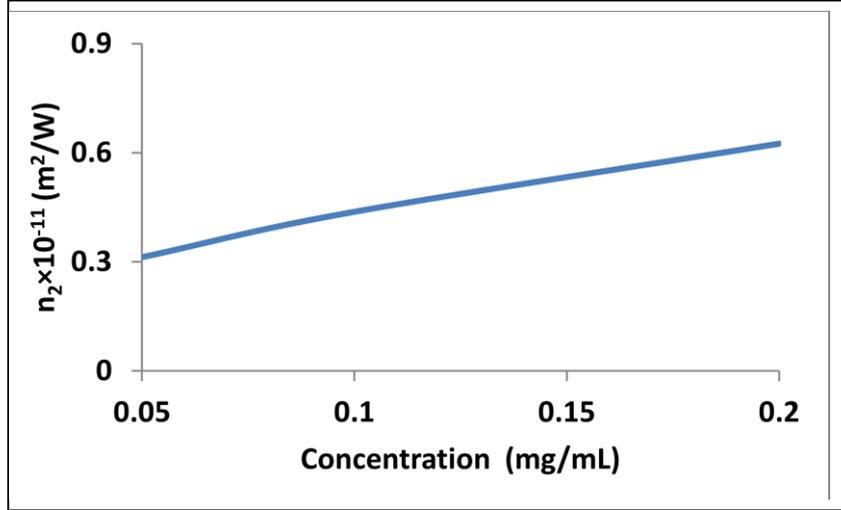
يظهر الشكل (15-4) منحنيات الفتحة المغلقة للجسيمات المادة Fe_3O_4 النانوية المغناطيسية التي تبدأ بقمه ويتبعها قعر مما يعني أنها تظهر تأثير معامل انكسار لا خطي سالب القيمة لجميع الاطوال الموجية قيم هذا المعامل مبينه في الجدول (3-4) حيث تم حساب معامل الانكسار اللاخطي باستخدام معادلة (21-2) و(22-2).

الجدول (3-4) قيم معامل الانكسار اللاخطي لعوالق Fe_3O_4 لثلاث اطوال موجية

Wavelength (nm)	$(m^2/W)-n_2 \times 10^{-11}$
405	1.1996
532	1.26717
650	0.30688

يوضح الجدول ان القيم معامل الانكسار اللاخطي تتغير بتغير الطول الموجي حيث ان الاختلافات في قيم معامل الانكسار اللاخطي عند الطولين الموجيين 405 nm و 532nm يمكن ان تعزى لعاملين هما خواص المادة و دقة القياس. حيث ان خواص المادة ممكن ان تحدد مستوى الانحلالات اللاشعاعية التي تحول الطاقة الممتصة من قبل الجسيمات الى حرارة تسرب الى الوسط مما يسبب التأثيرات اللاخطية ذات المنشأ الحراري. اما عند الطول الموجي 650 nm فان صغر قيمة معامل الانكسار سببها ضعف امتصاصية المادة عند هذا الطول الموجي مقارنة بالأطوال الموجية الأقصر.

وكذلك يمكن الإشارة الى ان القيمة المطلقة لمعامل الانكسار اللاخطي تتغير بتغير التركيز للمادة النانوية المستخدمة. هذا التغير يكون خطيا ضمن مدى التراكيز المدروسة في هذا العمل كما هو موضح بالشكل (16-4).



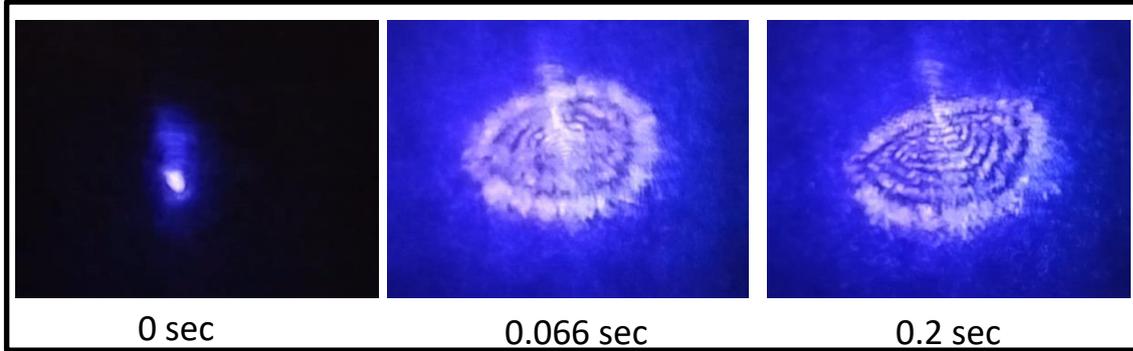
الشكل (16-4) تأثير تغيير التركيز على معامل الانكسار اللاخطي

ان الزيادة في معامل الانكسار اللاخطي تعزى إلى زيادة الامتصاص للضوء عندما يزيد تركيز الجسيمات في المحلول حيث يتم امتصاص الضوء بواسطة الجسيمات وبالتالي يزيد مستوى الحرارة في المحلول. هذا الارتفاع في درجة الحرارة يؤدي إلى زيادة معامل الانكسار اللاخطي الحراري كما تم ذكره سابقاً.

2-5-4 الخصائص البصرية اللاخطية باستخدام تقنية تعديل الطور الذاتي المكاني (SSPM)

في هذه الفقرة سنقوم بعرض نتائج دراسة خواص الانكسار اللاخطي لجسيمات أكسيد الحديد الأسود Fe_3O_4 النانوية العالقة في الميثانول باستخدام تقنية (SSPM) .

1-2-4-5 التطور الزمني وتأثير التركيز على عدد الحلقات المتكونة لعوائق

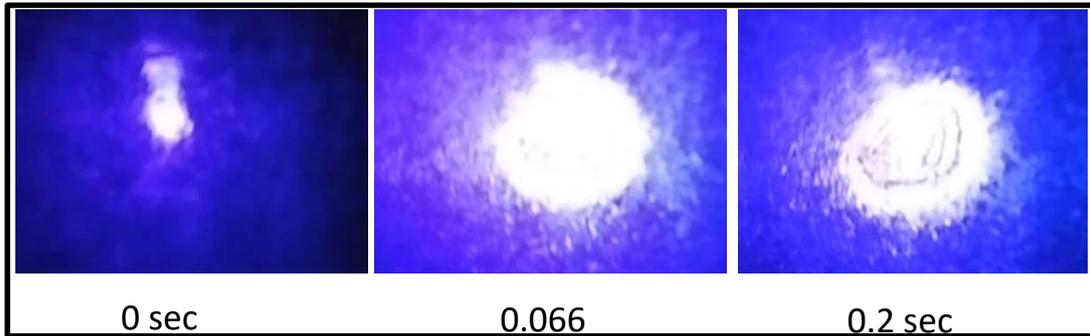


الشكل (4-17) التطور الزمني لحلقات الحيود المتكونة عند الطول الموجي 405nm
 لنموذج من جسيمات Fe_3O_4 العالقة في الميثانول بتركيز 0.1 mg/mL

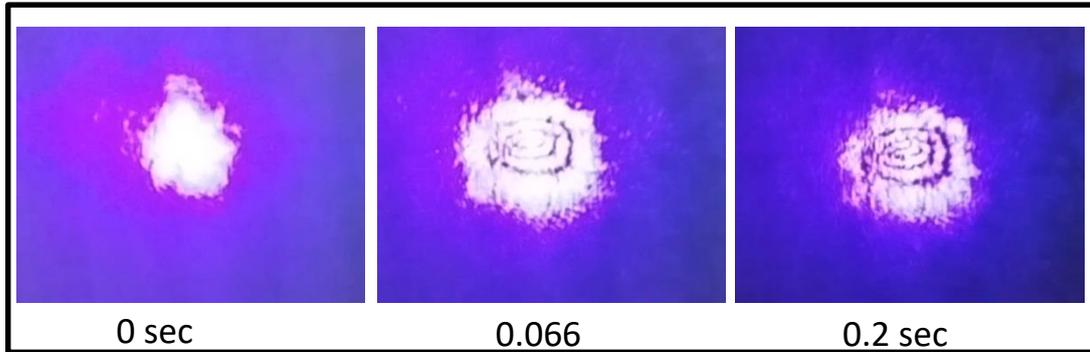
يوضح الشكل (4-17) التطور الزمني لعدد الحلقات المتكونة تحت تأثير الطول الموجي (405nm) عند شدة قيمتها $18.953MW/m^2$

يمكن الملاحظة من الشكل اعلاه في بداية تسليط شعاع الليزر على العينة (0sec) لا تظهر حلقات لأن العينة لم تسخن بعد والتفاعلات اللاخطية لم تبدأ. بعد مرور فترة زمنية قصيرة جداً تبدأ الحلقات في التكوين بعدد متزايد منها بعد ذلك يبدأ الجزء العلوي من هذه الحلقات في الانكماش تدريجياً حتى تستقر الحلقات على شكل نصف دائرة بعد مرور حوالي (0.2sec) يعود سبب تقلص هذه الحلقات إلى تأثير الجاذبية الذي يسببه توزيع الحرارة غير المنتظم تحت وفوق الحلقات كما تم تفسيره في المصدر [213]. هذا التوزيع الحراري يؤثر على خواص الوسط البصري مما يؤدي في النهاية إلى تشكيل الحلقات على شكل نصف دائرة.

ان شكل و عدد حلقات الحيود المتكونة يعتمد كذلك على تركيز المادة النانوية كما يمكن ملاحظته من مقارنة الأشكال (4-17) و (4-18) و (4-19). حيث ان عدد الحلقات يتغير بسبب تغير قيمة معامل الانكسار اللاخطي بتغير التركيز في حين ان شكل الحلقات يتغير بسبب التناسب بين المعدل الزمني لكمية الحرارة المتولدة في الوسط و معدل التوصيل الحراري للوسط بمختلف انواعه.



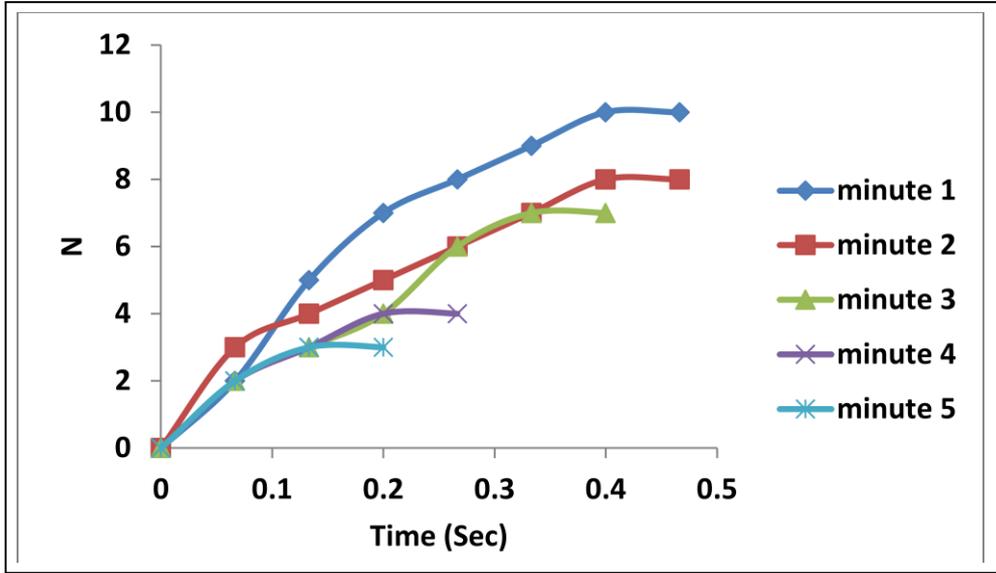
الشكل (18-4) التطور الزمني لحلقات الحبيد المتكونة عند الطول الموجي 405nm
لنموذج من جسيمات Fe_3O_4 العالقة في الميثانول بتركيز 0.05 mg/mL



الشكل (19-4) التطور الزمني لحلقات الحبيد المتكونة عند الطول الموجي 405nm
لنموذج من جسيمات Fe_3O_4 العالقة في الميثانول بتركيز 0.025 mg/mL

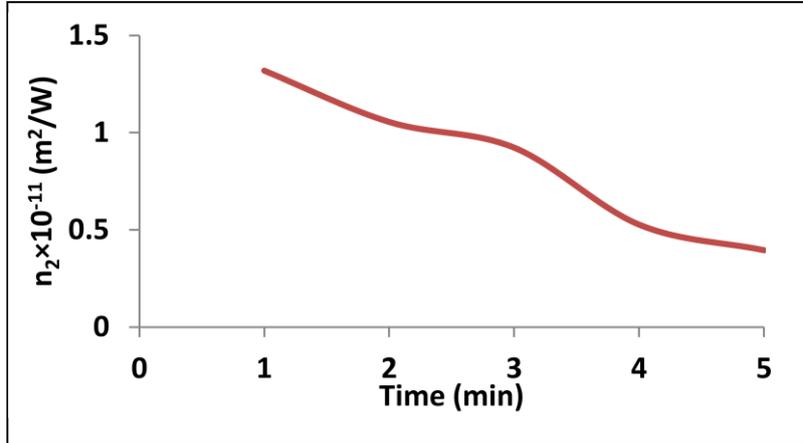
2-2-4-5 تأثير المجال المغناطيسي على الحلقات المتكونة لعوالق Fe_3O_4

كما تم توضيحه في اعلاه فان قيمة معامل الانكسار اللاخطي تعتمد على تركيز المادة النانوية و ان التركيز الموقعي للجسيمات النانوية المغناطيسية يمكن التحكم به من خلال مجال مغناطيسي خارجي. الشكل (20-4) يوضح تأثير المجال المغناطيسي المسلط على طرفي النموذج Fe_3O_4 على عدد الحلقات المتكونة شدته (50mT). في هذه التجربة تم استخدام الاجراء التجريبي الموضح في الشكل (3-12) مع حزمة الضخ فقط. كذلك فان كل منحنى من المنحنيات الموضحة في الشكل يمثل تغير عدد الحلقات خلال دقيقة واحدة من الزمن و لمدة خمس دقائق من تسليط المجال المغناطيسي.



الشكل (4-20) تغير عدد حلقات الحبيود المتكونة عند الطول الموجي 405nm لنموذج من جسيمات Fe_3O_4 العالقة في الميثانول بتركيز 0.1 mg/mL بتأثير مجال مغناطيسي خارجي

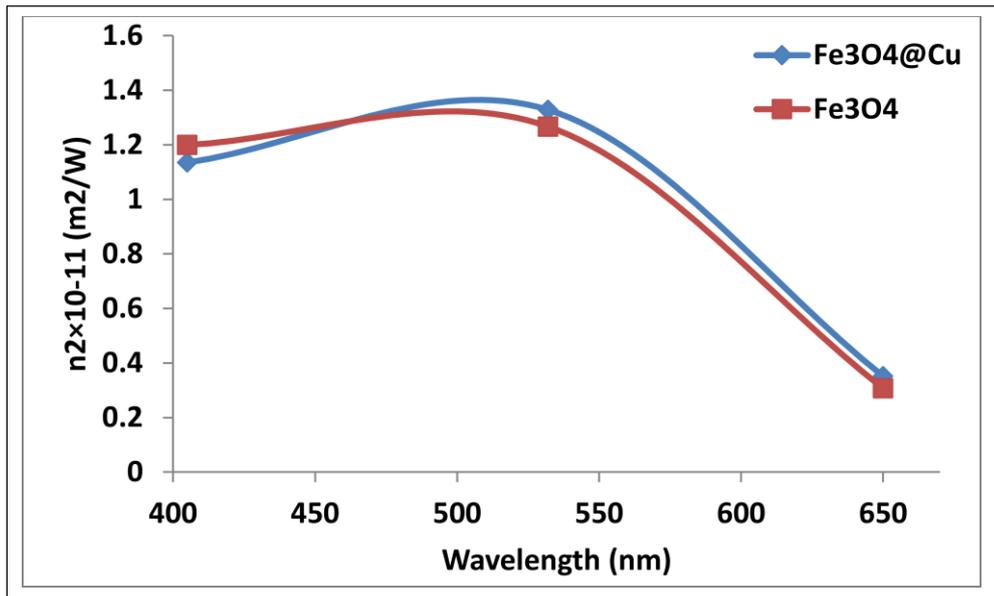
يمكن الملاحظة من خلال الشكل اعلاه انه عند الدقيقة الاولى فان عدد الحلقات المتكونة يزداد الا ان يصل الى 10 حلقات و يثبت عند هذا العدد بعد مرور حوالي 0.5sec من بداية وصول حزمة الليزر الى النموذج في حين انه عند الدقائق اللاحقة فان عدد الحلقات النهائي يتناقص باستمرار و كذلك فان العدد النهائي للحلقات يتم الوصول اليه خلال مدة تتناقص مع زيادة زمن التعرض للمجال المغناطيسي الخارجي. يعود النقص في عدد الحلقات إلى انخفاض معامل الانكسار اللاخطي نتيجة تأثير المجال المغناطيسي على تركيز الجسيمات Fe_3O_4 حيث يقلل من التركيز الواقعة في طريق الحزمة الضوئية لليزر المسلط عن طريق جذب الجسيمات نحو طرفي الخلية. الشكل (4-21) يلخص مقدار تناقص معامل الانكسار اللاخطي للنموذج المبين في الشكل (4-20)



الشكل (4-21) تأثير المجال المغناطيسي على معامل الانكسار اللاخطي لنموذج من Fe_3O_4 العالقة في الميثانول عند تركيز 0.1 mg/mL

نستنتج من هذه النتائج أنه يمكن التحكم في مقدار معامل الانكسار اللاخطي عن طريق المجال المغناطيسي و باتجاهين (زيادة و نقصان) و هذا يتيح للأجهزة رصد التغيرات في المجال المغناطيسي او استخدامها في تطبيقات اخرى.

من الجدير بالإشارة ان معامل الانكسار اللاخطي لعوالق اوكسيد الحديد النانوية Fe_3O_4 المضاف اليها جسيمات النحاس Cu النانوية بطريقه الاستئصال بالليزر النبضي التي تم ذكرها سابقا لا يتغير عما هو عليه في حاله Fe_3O_4 منفرد كما هو موضح بالشكل (4-22) على الرغم من الاختلاف في طيف الامتصاص الخطي بينهما.

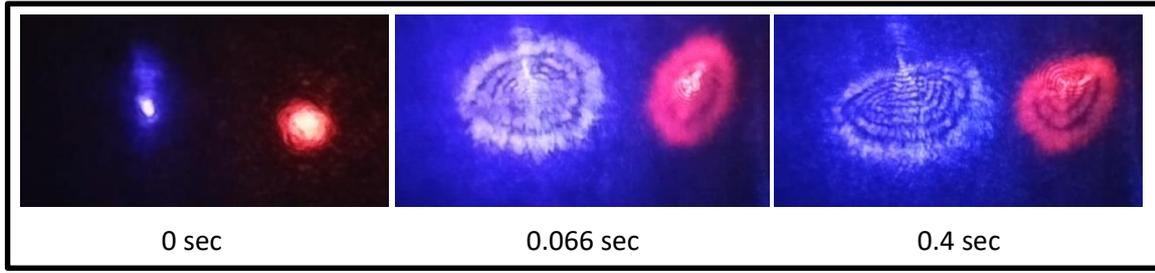


الشكل (4-22) تأثير الطول الموجي على معامل الانكسار

حيث يبين الشكل ان قيم معامل الانكسار اللاخطي للمادتين متشابهة المنطقة المرئية من 400 nm الى 650 nm وتكون اعلى قيمة له تقريباً عند الطول الموجي 520nm ويعود السبب في هذا الى ان اضافة جسيمات النحاس Cu النانوية الى Fe_3O_4 يمكن أن تؤدي إلى تغييرات متعددة بالإضافة الى تغيير شكل الامتصاص الضوئي وتشتت الضوء. هذه العوامل ممكن ان تؤثر على خواص الانحلال الاشعاعي و التوصيل الحراري و غيرها من الخواص التي من الممكن ان تعمل باتجاهات مختلفة بحث تكون محصلتها النهائية معاكسة لتأثير تغير شكل الامتصاص الخطي على قيمة معامل الانكسار اللاخطي و هذا يمكن ان يعتبر امرا مفيدا لمجال المرشحات البصرية حيث انه من الممكن استخدام هذه الطريقة لتصميم مرشحات مختلفة الطيف من دون التأثير على الخصائص اللاخطية للمادة.

3-5-4 المفتاح البصري لجسيمات Fe_3O_4 Optical switch for particles

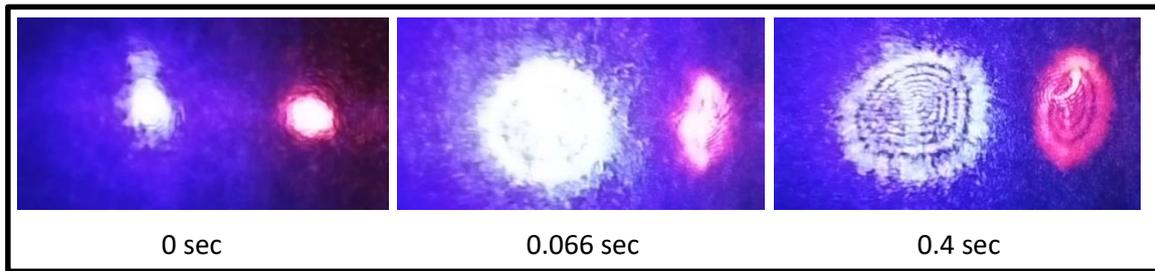
في هذه الفقرة سنقوم بعرض نتائج التجربة المتعلقة بالمفتاح البصري وناقشها لجسيمات اوكسيد الحديد الاسود Fe_3O_4 النانوية. تم تصميم مفتاح بصري متكامل باستخدام حزمي ليزر مختلفتين حيث تم اثار الخواص اللاخطية للمادة باستخدام حزمة ضخ (Pump) بشدة مناسبة ($18.953MW/m^2$) عند طول موجي 405 nm و تم تحسس هذه التغيرات باستخدام حزمة ليزر من نوع He-Ne بطول موجي يبلغ 632.8 nm بشدة ضوئية منخفضة جدا حيث لا يمكن لهذه الحزمة اثار اي تأثيرات لا خطية في المادة. الشكل (4-23) يوضح التطور الزمني لحلقات الحيود المتكونة من حزمة الضخ و حزمة المتحسس (Probe) و هو مثال على عمل المفتاح البصري.



الشكل (23-4) تكوين حلقات الحيود لحزمتي الضخ و المتحسس المارة خلال نموذج من Fe_3O_4 العالقة في الميثانول عند تركيز 0.1 mg/mL

نلاحظ من خلال الشكل انه يمكن توليد حلقات حيود وإظهار الخواص اللاخطية عند الطول الموجي للحزمة المتحسس التي تمر عبر نفس منطقة تأثير حزمة الضخ هذه النتائج تظهر إمكانية تعديل الضوء منخفض الشدة باستخدام ضوء عالي الشدة من خلال عملية تعتمد على تعديل الطور العابر (XPM) (Cross-phase modulation) في هذه العملية يؤثر شعاع الليزر عالي الشدة على خصائص الوسط البصري وكذلك على الإشارة الضعيفة التي تمر عبر نفس الوسط.

ولدراسة تأثير التركيز على مبدأ المفتاح البصري تم تغيير التركيز الى 0.05 mg/ml و كانت النتائج كما هو موضح بالشكل (24-4) وباستخدام نفس الشدة الضوئية المستخدمة في الشكل (23-4).



الشكل (24-4) تأثير التركيز على عدد حلقات الحيود المتكونة لحزمتي ليزر (pump, probe)

نلاحظ من خلال الشكل ان عدد الحلقات المتكونة اقل مما هو عليه في الشكل (23-4) و الشكل النهائي للحلقات مختلف عما هو عليه في الشكل (23-4) وذلك بسبب العلاقة بين المعدل الزمني للحرارة المتولدة و مقدار التوصيل الحراري للوسط.

من خلال المقارنة بين الشكلين (4-24) و (4-23) نستنتج ان التراكيز المنخفضة ممكن ان تكون مفضلة لتحقيق المفتاح البصري من حيث تقليل مستوى الخسائر و تحقيق شكل منتظم للحلقات المتكونة.

الاستنتاجات Conclusions

تشير نتائج هذه الدراسة إلى أن

1- التطبيقات التي تعتمد على ضبط معامل انكسار الموائع المغناطيسية يمكن أن يكون لها تأثيرات ذاتية على معامل انكسارها بسبب التغيرات في درجات الحرارة. يمكن أن تنتج هذه التغيرات من امتصاص إشعاع الليزر بالإضافة إلى وجود الجسيمات النانوية يمكن أن يزيد من هذه التأثيرات عن طريق زيادة معدل امتصاص الوسط.

2- الجسيمات المغناطيسية لها تأثير آخر على قيمة معامل الانكسار بإشارات متعاكسة، أي أن dn/dc و dn/dT لهما إشارات متعاكسة حيث أن هذان التأثيران، إلى جانب الخاصية المغناطيسية هي دوال خطية و يمكن استخدامها للتحكم بدقة في معامل الانكسار لعينات كبيرة الحجم من السوائل المغناطيسية. بالإضافة إلى ذلك، أظهرت النتائج أن تأثير الجسيمات النانوية المغناطيسية على معامل الانكسار يعتمد بقوة على خصائص السائل.

3- إمكانية تصميم مرشحات بصرية ذات اشكال طيفية لانهائية باستخدام مادة نانوية مغناطيسية بمفردها أو ممزوجة بمواد أخرى حيث يمكن التحكم في قيمة النفاذية وشكل طيف المرشحات بحرية في اتجاهين متعاكسين (زيادة أو نقصان) باستخدام المجالات المغناطيسية الموزعة حول المرشح. المرشحات المصنوعة عن طريق خلط المواد المغناطيسية مع المواد غير المغناطيسية، القابلة للذوبان أو المعلقة، يمكن ضبطها من حيث قيمة النفاذية و شكل طيفها. يمكن أن تتغير الخواص الطيفية للمرشحات التي تعتمد على مخاليط الجسيمات المغناطيسية غير المغناطيسية عن طريق التكتل والتشتت. من جانب آخر تم تصميم مرشح يمكن التحكم فيه بدقة و موثوقية عالية باستخدام جسيمات اوكسيد الحديد مغناطيسية متصلة بإحكام بجسيمات النحاس النانوية. يعد هذا المرشح مثلاً للمرشحات التي يمكن التحكم فيها ذات أطيف ثابتة تحدد خصائص البصرية للمادة المستخدمة. يمكن أن يكون للمرشحات المصممة في هذا العمل قيمة عالية جداً في مجال الضوئيات والاتصالات.

4- الدراسة اللاخطية بينت ان جسيمات Fe_3O_4 النانوية تمتلك معامل انكسار لا خطي سالب القيمة يعتمد على تركيز المادة النانوية و الطول الموجي المستخدم. هذا يتيح التحكم بالخواص اللاخطية للمادة من خلال مجال مغناطيسي خارجي. كذلك بينت الدراسة إمكانية استخدام جسيمات Fe_3O_4 في تصميم مفتاح بصري قابل للتحكم.

Future studies الدراسات المستقبلية

- 1- دراسة تأثير حجم المواد النانوية المغناطيسية على الخواص البصرية الخطية واللاخطية للسوائل المغناطيسية.
- 2- دراسة تأثير الشدات المغناطيسية العالية جداً على الخواص البصرية الخطية واللاخطية.
- 3- دراسة تأثير طلاء المواد النانوية المغناطيسية بمواد مثبتة على الخواص البصرية الخطية واللاخطية.