



جمهورية العراق  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
جامعة بابل / كلية العلوم للبنات  
قسم فيزياء الليزر

دراسة لا خطية في مدى الطيف المرئي لعوالق نانوية  
و تطبيقها كمفتاح بصري

رسالة مقدمة إلى

مجلس كلية العلوم للبنات - جامعة بابل، وهي كجزء من متطلبات نيل درجة الماجستير في  
العلوم / فيزياء الليزر

من قبل الطالبة

هالة محمد صبحي

بكالوريوس علوم فيزياء الليزر

جامعة بابل ٢٠١٨

إشراف

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 Science for Women**  
**Department of Laser Physics**



**A nonlinear study in the visible range for nano-suspensions and  
their application in optical switching**

**A Thesis**

Submitted to the Council of the College of Science for Women, University  
of Babylon in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of  
Master in Science / Laser Physics

**By**

**Hala Mohammed Sobhi**

**B.Sc , Laser Physics 2018**

**Supervised by**

**Assit.Prof.Dr. Ahmed Baqer Ridha**

**Prof.Dr. Jasem Mohammed Jasem**

**2022 A.D.**

**1444 H.A.**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ  
((اللَّهُ نُورُ السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضِ مَثَلُ نُورِهِ كَمِشْكَاةٍ فِيهَا

مِصْبَاحٌ الْمِصْبَاحُ فِي زُجَاجَةٍ الزُّجَاجَةُ كَأَنَّهَا كَوْكَبٌ دُرِّيٌّ

يُوقَدُ مِنْ شَجَرَةٍ مُبَارَكَةٍ زَيْتُونَةٍ لَا شَرْقِيَّةٍ وَلَا غَرْبِيَّةٍ يَكَادُ

زَيْتُهَا يُضِيءُ وَلَوْ لَمْ تَمْسَسْهُ نَارٌ نُورٌ عَلَى نُورٍ يَهْدِي اللَّهُ

لِنُورِهِ مَنْ يَشَاءُ وَيَضْرِبُ اللَّهُ الْأَمْثَالَ لِلنَّاسِ وَاللَّهُ بِكُلِّ

شَيْءٍ عَلِيمٌ ))

((صَدَقَ اللَّهُ الْعَلِيُّ الْعَظِيمُ))

## الإهداء

إلى من افتخر بحمل اسمه ؛ إلى من أذاب سنين عمره طريقاً لنجاحي

والذي العزيز. أمد الله في عمره

إلى المنبع الذي لا يمل العطاء ؛ إلى من رضاها من رضا الله و دعائها نورا لي في طريقي

والدتي الغالية . امدها الله بالصحة و العافية

إلى من تحلو الأيام بوجودهم ؛ من أشد بهم ازري ؛ من ترفرف قلوبهم كالعصافير لفرحتي

أخوتي فخراً و اعتزازاً ( حيدر و حسين)

إلى زهرتي المتفتحة ؛ إلى أعز ما أملك ؛ التي وقفت بجانبني و شجعتني كثيراً

أختي و رفيقة دربي (هدير)

إلى كل من لا يبخلون بالعلم و الكلمة الطيبة

أساتذتي الكرام

اهدي ثمرة جهدي المتواضع حباً و وفاء

هالة

## شكر و تقدير

الشكر لله رب العالمين الذي خلق و هدى و سدّد الخطي فخرج هذا العمل بعونه و توفيقه نحمده حمدا كثيرا. و بعد انطلاقا من قوله تعالى ((ومن شكر فإنما يشكر لنفسه)) ((النمل: ٤٠))

و من قوله صلى الله عليه وآله سلم ( من لم يشكر الناس لم يشكر الله عز و جل ).

فلا يسعني بعد شكر الله تعالى على اتمام هذا البحث الا أن أقدم جزيل شكري و امتناني إلى المشرفيين الفاضلين (ا.د.جاسم محمد جاسم) و (ا.م.د.احمد باقر رضا) الذي تشرفت بقبولهما الاشراف على اعداد و اقتراحهما موضوع البحث و ما ابداهما لي من نصائح قيمة و توجيهات سديدة و جهد مخلص و مثابرة و متابعتة المستمرة في سبيل انجاح هذا البحث طوال مدة العمل و اعداد الرسالة و تقويمها ادعو الله ان يديم عليهما الصحة و الموفقية.

واقدم وافر شكري و تقديري الى (م.م.حسان علي مجيد)؛ لما له من الفضل في رفدي بالمساعدة و الجهد و النصيحة و مد لي يد العون امنياتي له بدوام الصحة و السلامة.

اتقدم بالشكر الجزيل إلى (م.د.احمد كاظم خضير) و (م.م.رافع طعمة الحسيني) لمساعدتهم في تحضير و فحص النماذج العملية المستخدمة.

و الشكر و التقدير الى رئاسة قسم فيزياء الليزر اخص بالذكر (أ.م.د.جنان علي عبد) لتعاونها و للتسهيلات المقدمة طوال مدة الدراسة امنياتي لها بالموفقية الدائمة.

و أقدم شكري إلى جميع زملائي من طلبة الدراسات العليا لتعاونهم و تقديم العون لي دوما.

كل الشكر و العرفان لمن لا احصيه فضلاً و تقديراً، لمن شجعني و دعمني أبي و امي الذين أدابوا سنين عمرهم طريقا لنجاحي و تحملوا معي اعباء الدراسة و صعوبة المواصلة لإتمام المشوار بنجاح داعيا الله (سبحانه و تعالى) ان يديم عليهم الصحة و السلامة انه نعم المولى ونعم المجيب.

و أقدم وافر شكري و معزتي الى اخواني و سندي (حيدر و حسين) و اختي و رفيقة دربي (هدير) الذين كانوا خير عون لي في تشجيعي و رفع روحي المعنوية لإتمام متطلبات الرسالة.

## هالة

الوحدة	المعنى باللغة الانكليزية	المعنى باللغة العربية	الرمز
W/m <sup>2</sup>	Light Intensity	الشدة الضوئية النافذة	<b>I</b>
W/m <sup>2</sup>	Incident Light Intensity	الشدة الضوئية الساقطة	<b>I<sub>0</sub></b>
cm <sup>-1</sup> M <sup>-1</sup>	Molar Extinction Coefficient	معامل الخمود المولاري	<b>ε</b>
M	Molar Concentration	التركيز المولاري	<b>C</b>
	Absorbance	الامتصاصية	<b>A</b>
cm <sup>-1</sup>	Linear Absorption Coefficient	معامل الامتصاص الخطي	<b>A</b>
	Linear Transmittance	النفذية الخطية	<b>T</b>
	Linear Refractive Index	معامل الانكسار الخطي	<b>n<sub>0</sub></b>
m/sec	Speed of Light In Vacuum	سرعة الضوء في الفراغ	<b>c</b>
m/sec	Speed of Light in media	سرعة الضوء في الوسط المادي	<b>v</b>
nm	Wavelength	الطول الموجي	<b>λ</b>
V/m	Electric field intensity	شدة المجال الكهربائي	<b><math>\vec{E}</math></b>
	Linear Polarization	الاستقطاب الخطي	<b><math>\vec{P}_L</math></b>
	Dielectric Constant	ثابت العزل الكهربائي (السماحية في الفراغ)	<b>ε<sub>0</sub></b>
	Second-Order Nonlinear Polarization	الاستقطاب اللاخطي من المرتبة الثانية	<b><math>\vec{P}_{NL}^{(2)}</math></b>
	Third-Order Nonlinear Polarization	الاستقطاب اللاخطي من المرتبة الثالثة	<b><math>\vec{P}_{NL}^{(3)}</math></b>
e.s.u	One-Order Nonlinear Susceptibility	التأثيرية اللاخطية من المرتبة الاولى	<b>χ<sup>(1)</sup></b>
e.s.u	Second-Order Nonlinear Susceptibility	التأثيرية البصرية اللاخطية من المرتبة الثانية	<b>χ<sup>(2)</sup></b>

e.s.u	Third-Order Nonlinear Susceptibility	التأثيرية البصرية اللاخطية من المرتبة الثالثة	$\chi^{(3)}$
cm <sup>2</sup> /W	Nonlinear Refractive Index	معامل الانكسار اللاخطي	$n_2$
cm/W	Nonlinear Absorption Coefficient	معامل الامتصاص اللاخطي	$\beta$
cm <sup>-1</sup>	Wave Vector	متجه الموجة	$K$
mrad	Nonlinear Phase Variation at the Focus	تغير الطور اللاخطي عند البؤرة	$\Delta\Phi_0$
mm	Effective Length	الطول الفعال للعينة	$L_{\text{eff}}$
	The Variance of the Aperture Transmittance	التغيير في النفاذية بين اعلى و اقل قيمة	$\Delta T_{p-v}$
	The Linear Transmittance of the Aperture	النفاذية الخطية للثقب	$S$
mm	Aperture Radius	نصف قطر الثقب	$r_a$
mm	Beam Radius at the Aperture	نصف قطر حزمة الليزر عند الفتحة	$w_a$
W	Laser Power	قدرة الليزر	$P$
mm	Sample Thickness	سمك العينة	$L$
$\mu\text{m}$	Rayleigh Range	طول رايلي	$z_0$
$\mu\text{m}$	Beam Waist Radius	نصف قطر تركز الحزمة	$w_0$
	Sample Length	طول النموذج	$L$
mL	Volume	الحجم	$V$
mm	Maximum Diffraction Radius	اقصى نصف قطر للحبيود	$R_H$
mrad	Maximum Semi-Diffractive Angle	اقصى نصف زاوية للحبيود	$\theta_b$
m	Inter Space	المسافة البينية	$d_{hkl}$
	Integer	عدد صحيح	$N$

في هذا البحث تمت دراسة الخواص التركيبية و البصرية الخطية و اللاخطية لعوالق اوكسيد الحديد النانوية  $Fe_2O_3$  تجارية المنشأ و اكسالات الحديد الثلاثي النانوية Ferric Oxalate التي تم تحضيرها بطريقة الاستئصال بالليزر النبضي في الايثانول. الخواص التركيبية تضمنت اجراء فحص المجهر الالكتروني النافذ (TEM) و كذلك دراسة التركيب البلوري للمواد بحيود الاشعة السينية (XRD) فضلاً عن دراسة تركيب و ترابط المواد من خلال اجراء فحص مطيافية الاشعة تحت الحمراء لتحويل فورييه (FTIR)، كذلك تم استخدام UV-Vis لدراسة الخواص البصرية الخطية للمواد. كذلك استخدمت تقنية المسح البصري على المحور z و تقنية تعديل الطور الذاتي المكاني لدراسة الخواص البصرية اللاخطية عند اطوال موجية مختلفة (405,532,650) nm و شدات ضوئية مختلفة و تراكيز مختلفة. فضلاً عن ذلك فقد تم دراسة تطبيق هذه المواد في مجال المفاتيح البصرية.

بينت النتائج ان حجم الجسيمات النانوية للمادتين كليهما يتراوح بين (5-50)nm. و تبين ان مادة ( $Fe_2O_3$ ) هي غير متبلورة و المادة (Ferric Oxalate) هي متبلورة و هذا ما اثبته فحص XRD. الخواص اللاخطية وضحت إن عوالق  $Fe_2O_3$  تمتلك معامل انكسار لاخطي سالب القيمة و يكون عند أعلى قيمة له عند الطول الموجي (405nm) اما عوالق Fe(III) Oxalate NPs فإنها أيضاً تمتلك معامل انكسار لاخطي سالب القيمة لكن قيمته العظمى تكون عند الطول الموجي (532nm). تجربة المفتاح البصري للعوالق بينت امكانية و كفاءة استعمال هذه العوالق النانوية في تصميم مفاتيح بصرية عند اطوال موجية متعددة.

In this work, the linear and nonlinear optical and structural properties of  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  nanoparticles of commercial origin and ferric oxalate prepared by pulsed laser ablation in ethanol were studied. The structural properties included conducting a transmission electron microscope (TEM), as well as studying the crystal structure of materials by X-ray diffraction (XRD), as well as studying the structure and bonding of materials through conducting a Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), and UV-Vis was also used. To study the linear optical properties of materials. Also, the z-axis optical scanning technique and the spatial autophase modulation technique were used to study the nonlinear optical properties at different wavelengths (405,532,650) nm, different light intensities, and different concentrations. In addition, the application of these materials in the field of optical switches has been studied.

The results showed that the size of the nanoparticles for both materials ranged between (5-50) nm. It turned out that the material ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) is amorphous and the material (Ferric Oxalate) is crystalline, and this was confirmed by the XRD examination. The nonlinear properties showed that the  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  plankton have a negative nonlinear refractive index, and it is at its highest value at the wavelength (405nm), while the Fe(III) oxalate NPs also have a negative nonlinear refractive index, but its maximum value is at the wavelength (532nm). . The plankton optical switch experiment demonstrated the possibility and efficiency of using these nanoscale plankton in designing optical switches at multiple wavelengths.

رقم الصفحة	الموضوع	التسلسل
1 - 12	<b>Introduction</b> الفصل الأول – المقدمة	Ch 1
1	General Introduction مقدمة عامة	1 – 1
٢	Non-Linear Optics البصريات اللاخطية	٢ – ١
٢	المواد البصرية اللاخطية Nonlinear Optics Materials	1- ٣
٣	المواد النانوية في البصريات اللاخطية Nano-materials of Non-Linear Optics	١ – ٣ – ١
٣	المواد المستخدمة في هذا البحث Materials used in this research	٤ – ١
٣	خصائص شظايا $Fe_2O_3$ النانوية The properties of $Fe_2O_3$ nanoparticles	١ – ٤ – ١
٤	أكزالات الحديد الثلاثي Iron(III) Oxalate	٢ – ٤ – ١
٥	تطبيقات البصريات اللاخطية Non-Linear Optics Applications	٥ – ١
٦	تقنيات الكشف عن الخواص اللاخطية للمواد Techniques for detecting nonlinear properties of materials	٦ – ١
٦	الدراسات السابقة Historical Review	٧ – ١
١٢	الهدف من الدراسة The Aim of this Study	٨ – ١
13 – 33	<b>الفصل الثاني – الجانب النظري</b> <b>Theoretical Part</b>	Ch 2
١٣	مقدمة عامة General Introduction	١ – ٢
١٣	الخواص البصرية الخطية Linear Optical Properties	٢ – ٢
١٣	الامتصاص Absorption	١ – ٢ – ٢
١٤	معامل الامتصاص Absorption Coefficient	١ – ١ – ٢ – ٢
١٥	معامل الانكسار Refractive Index	٢ – ٢ – ٢
١٦	البصريات اللاخطية Nonlinear Optics	٣ – ٢

١٦	العمليات البصرية اللاخطية من المرتبة الثالثة Third - Order Nonlinear Optical Processes	١ - ٣ - ٢
١٨	الامتصاص اللاخطي Nonlinear Absorption	١ - ١ - ٣ - ٢
١٨	امتصاص متعدد الفوتونات Multi-photon Absorption	- ١ - ١ - ٣ - ٢ ١
١٩	الامتصاص المشبع العكسي Reverse Saturable Absorption (RSA)	- ١ - ١ - ٣ - ٢ ٢
٢٠	امتصاص الناقل الحر Free Carrier Absorption (FCA)	- ١ - ١ - ٣ - ٢ ٣
٢١	الانكسار اللاخطي Nonlinear Refraction	٢ - ١ - ٣ - ٢
٢٢	تعديل الطور الذاتي Self-Phase Modulation (SPM)	٣ - ١ - ٣ - ٢
٢٢	تعديل الطور المتقاطع Cross Phase Modulation (XPM)	٤ - ١ - ٣ - ٢
٢٣	المفتاح البصري Optical Switching	٥ - ١ - ٣ - ٢
٢٣	تطبيقات المفتاح البصري Optical switch applications	- ٥ - ١ - ٣ - ٢ ١
٢٤	تقنيات قياس الخواص اللاخطية Techniques for Measuring Nonlinear Properties	٤ - ٢
٢٤	تقنية المسح على المحور Z Z-scan Technique	١ - ٤ - ٢
٢٨	تقنية تعديل الطور الذاتي Spatial Self-Phase Modulation Technique	٢ - ٤ - ٢
٣٠	حيود الأشعة السينية (XRD) X-Ray Diffraction (XRD)	٥ - ٢
٣١	الحجم البلوري (C.S) Crystalline Size (C.S)	١ - ٥ - ٢
٣١	الاستئصال بالليزر النبضي Pulse Laser Ablation	٦ - ٢
٣٢	ميكانيكية الاستئصال بالليزر النبضي في السوائل Mechanisms of Pulsed Laser Ablation in Liquid	١ - ٦ - ٢
٣٣	مميزات الاستئصال بالليزر النبضي في السوائل Specifications of Pulsed Laser Ablation in Liquid	٢ - ٦ - ٢

34 – 48	الفصل الثالث – الجانب العملي <b>Experimental Part</b>	Ch 3
٣٤	General Introduction مقدمة عامة	١ – ٣
٣٤	The solvents used المذيبات المستخدمة	٢ – ٣
٣٤	Ethanol الايثانول	١ – ٢ – ٣
35	Water الماء	٢ – ٣ – ٣
٣٥	Preparation of Sample تحضير العينات	٣ – ٣
٣٥	شظايا اوكسيد الحديد النانوية Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Nano Fragment)	١ – ٣ – ٣
٣٦	اكزالات الحديد الثلاثي النانوية Fe(III)oxalates Nanoparticles	٢ – ٣ – ٣
٣٦	Compression of Samples كبس العينات	١ – ٢ – ٣ – ٣
٣٧	منظومة الاستئصال بالليزر النبضي Pulse Laser Ablation System (PLA)	٢ – ٢ – ٣ – ٣
٣٨	دراسة الخواص اللاخطية Study of nonlinear properties	٤ – ٣
٣٨	تقنية المسح على المحور Z Z-scan Technique	١ – ٤ – ٣
٤٠	تقنية تعديل الطور الذاتي المكاني Spatial Self-Phase Modulation Technique (SSPM)	٢ – ٤ – ٣
٤١	الاجراء التجريبي لفحص المفتاح البصري Experimental procedure for examining the optical switch	٣ – ٤ – ٣
٤٢	Devices used الاجهزة المستخدمة	٥ – ٣
٤٢	قياس اطياف الامتصاص Absorption Spectrometry	١ – ٥ – ٣
٤٤	قياس اطياف تحويلات فوريير للاشعة تحت الحمراء Infrared Fourier Transforms Spectrometry	٢ – ٥ – ٣
٤٥	قياس حيود الاشعة السينية X-Rays Diffraction (XRD)	٣ – ٥ – ٣
٤٥	المجهر الالكتروني النافذ Transmission Electron Microscope (TEM)	٤ – ٥ – ٣

٤٦	Laser Power Meter مقياس قدرة الليزر	٥ - ٥ - ٣
٤٧	Ultra Sonic Device جهاز الموجات فوق الصوتية	٦ - ٥ - ٣
٤٨	Refract Meter مقياس الانكسار	٧ - ٥ - ٣
48 - 82	<b>الفصل الرابع - النتائج والمناقشة</b> <b>Results And Discussion</b>	Ch 4
48	General Introduction مقدمة عامة	١ - ٤
٤٨	Structural Properties الخواص التركيبية	٢ - ٤
٤٨	فحوصات المجهر الالكتروني النافذ (TEM) Transmission electron microscopy (TEM) examinations	١ - ٢ - ٤
٤٨	فحص TEM لعوالق شظايا $Fe_2O_3$ النانوية TEM examination of suspensions $Fe_2O_3$ Nano-Fragments	١ - ١ - ٢ - ٤
٤٩	فحص TEM لعوالق اكزالات الحديد الثلاثي TEM examination of suspensions iron(III) oxalate	٢ - ١ - ٢ - ٤
٤٩	فحوصات حيود الاشعة السينية (XRD) X-ray diffraction (XRD) examinations	٢ - ٢ - ٤
٥٠	فحص XRD لعوالق شظايا $Fe_2O_3$ XRD examination of $Fe_2O_3$ nano- fragments	١ - ٢ - ٢ - ٤
٥٠	فحص XRD لعوالق اكزالات الحديد الثلاثي النانوية XRD examination of suspensions Fe(III) Oxalate NPs	٢ - ٢ - ٢ - ٤
٥١	فحص تحويلات فورير للأشعة تحت الحمراء FT-IR Infrared Fourier transform examination(FT-IR)	٣ - ٢ - ٤
٥١	فحص FT-IR لعوالق شظايا $Fe_2O_3$ النانوية FT-IR examination of suspensions $Fe_2O_3$ nanoparticles	١ - ٣ - ٢ - ٤
٥٢	فحص FT-IR لعوالق اكزالات الحديد الثلاثي FT-IR examination of suspensions iron (III) oxalate	٢ - ٣ - ٢ - ٤
٥٢	الخواص البصرية الخطية	٣ - ٤

	Linear Optical Properties	
52	معامل الانكسار الخطي Linear refractive index	١ - ٣ - ٤
٥٣	طيف امتصاص شظايا $Fe_2O_3$ النانوية Absorption spectrum of $Fe_2O_3$ nanoparticles	٢ - ٣ - ٤
٥٤	طيف امتصاص عوالق اكزالات الحديد الثلاثي Absorption spectrum of suspensions iron(III) oxalate	٣ - ٣ - ٤
٥٦	الخواص البصرية اللاخطية Nonlinear Optical Properties (NLO)	٤ - ٤
٥٦	الخصائص البصرية اللاخطية باستخدام تقنية المسح على المحور البصري Z Nonlinear optical properties using the Z- scann technique	١ - ٤ - ٤
٥٧	الخصائص البصرية اللاخطية لعوالق شظايا $Fe_2O_3$ النانوية باستخدام تقنية المسح على المحور Z Nonlinear optical properties of suspensions $Fe_2O_3$ NFs using Z-scan technique	١ - ١ - ٤ - ٤
٥٩	الخصائص البصرية اللاخطية لعوالق اكزالات الحديد الثلاثي النانوية باستخدام تقنية Z-scan Nonlinear optical properties of Fe(III)oxalate NPs using Z-scan technique	٢ - ١ - ٤ - ٤
٦١	الخصائص البصرية اللاخطية باستخدام Spatial Self-Phase Modulation (SSPM)	٢ - ٤ - ٤
٦٢	الخواص اللاخطية باستخدام تقنية (SSPM) لشظايا $Fe_2O_3$ النانوية Nonlinear properties using (SSPM) technique for $Fe_2O_3$ nanoparticles	١ - ٢ - ٤ - ٤
٦٢	التطور الزمني لحلقات الحيود المتكونة لشظايا $Fe_2O_3$ النانوية Time evolution of the formed diffraction rings of $Fe_2O_3$ NPs	- ١ - ٢ - ٤ - ٤ ١
٦٣	تأثير شدة الليزر على عدد الحلقات لشظايا $Fe_2O_3$ النانوية Effect of laser intensity on the ring number of $Fe_2O_3$ NFs	- ١ - ٢ - ٤ - ٤ ٢
٦٥	علاقة الشدة المسطرة مع معامل الانكسار اللاخطي	- ١ - ٢ - ٤ - ٤

	Relationship of لشظايا $Fe_2O_3$ النانوية projected intensity with nonlinear refractive index of $Fe_2O_3$ NFs	٣
٦٦	تأثير التركيز على معامل الانكسار اللاخطي لشظايا $Fe_2O_3$ النانوية Effect of concentration on the nonlinear refractive index of $Fe_2O_3$ NFs	٤ - ٤ - ٢ - ١ - ٤
٦٧	الخواص اللاخطية باستخدام تقنية (SSPM) لعوالق اكزالات الحديد الثلاثي Nonlinear properties using (SSPM) suspensions of iron(III) oxalates	٤ - ٤ - ٢ - ٢
٦٨	التطور الزمني لحلقات الحيود المتكونة في عوالق اكزالات الحديد الثلاثي Time evolution of diffraction rings formed in iron(III) oxalate suspensions	٤ - ٤ - ٢ - ٢ - ١
٦٩	تأثير الشدة على عدد الحلقات لعوالق اكزالات الحديد الثلاثي The effect of the intensity on the number of rings of suspensions iron(III) oxalates	٤ - ٤ - ٢ - ٢ - ٢
٧١	تأثير الشدة المسلطة على معامل الانكسار اللاخطي لعوالق اكزالات الحديد الثلاثي The effect of the applied intensity on the nonlinear refractive index of iron(III) oxalates	٤ - ٤ - ٢ - ٢ - ٣
٧٣	تأثير التركيز على معامل الانكسار اللاخطي لعوالق اكزالات الحديد الثلاثي The effect of concentration on the nonlinear refractive index of iron(III) oxalates	٤ - ٤ - ٢ - ٢ - ٤
٧٦	المفتاح البصري لشظايا $Fe_2O_3$ The optical switch to the $Fe_2O_3$ fragments	٤ - ٤ - ٣
٧٦	تجربة المفتاح البصري لشظايا $Fe_2O_3$ النانوية Optical switch experiment for $Fe_2O_3$ nanoparticles	٤ - ٤ - ٣ - ١
٧٧	تأثير التركيز على عدد الحلقات في المفتاح البصري لشظايا $Fe_2O_3$ Effect of concentration on the number of rings in the optical switch of $Fe_2O_3$ fragments	٤ - ٤ - ٣ - ٢

٧٧	تأثير الشدة المسلطة على عدد الحلقات في المفتاح البصري لشظايا $Fe_2O_3$ Effect of intensity on the number of rings in the optical switch of $Fe_2O_3$ fragments	٣ - ٣ - ٤ - ٤
٧٨	المفتاح البصري لعوالق اكزالات الحديد الثلاثي Optical switch to suspension iron(III) oxalates	٤ - ٤ - ٤
٧٨	تجربة المفتاح البصري لعوالق اكزالات الحديد الثلاثي An optical switch experiment for suspensions iron(III) oxalates	١ - ٤ - ٤ - ٤
٧٩	تأثير التركيز على عدد الحلقات في المفتاح البصري لعوالق اكزالات الحديد الثلاثي Effect of concentration on the number of rings in the optical switch of suspensions iron(III) oxalates	٢ - ٤ - ٤ - ٤
٨٠	تأثير الشدة المسلطة على عدد الحلقات في المفتاح البصري لعوالق اكزالات الحديد الثلاثي Effect of intensity on the number of rings in the optical switch of suspensions iron(III) oxalate	٣ - ٤ - ٤ - ٤
٨١	تأثير اضافة الماء Effect of Water	٥ - ٤
٨٣	<b>الاستنتاجات Conclusions</b>	٥ - ٥
84 – 102	<b>المراجع References</b>	٦ - ٤

تعريفه	المصطلح
Non-Linear Optics	NLO
Lithium Ion Batteries	LIBs
Montmorillonite	MMT
Bromocresol Purple	BCP
Poly methyl methacrylate alcohol	PMMA
Successive Ionic Layer Adsorption and Reaction	SILAR
Multi-Photon Absorption	MPA
Two Photon Absorption	TPA
Reverse Saturable Absorption	RSA
Free Carrier Absorption	FCA
Self-Phase Modulation	SPM
Spatial Self-Phase Modulation	SSPM
Cross Phase Modulation	XPM
Pulse Laser Ablation	PLA
Charge Coupled Device Camera	CCD
X-rays Diffraction	XRD
Fourier Transforms Infrared	FT-IR
Transmission Electron Microscope	TEM

## ١ - ١ مقدمة عامة

## General Introduction

يعد الليزر أحد أفضل أشكال المعالجة للمواد و يعد من أكثر الأدوات فاعلية و ذو تأثير عالي. و كان أحد التطبيقات الأولى لليزر بعد اختراعه في عام 1960 هو اثبات امكانيته في معالجة المواد بالحفر و اللحام للرقائق المصنوعة من الفولاذ المقاوم للصدأ. و مع مرور الوقت على أحدث ليزر ظهرت أنظمة تكنولوجية للتحكم في معاييرها، مما يجعل تطبيقاتها في معالجة المواد استعمالاً صناعياً واسعاً و مجال بحث مستمر [1]. لحزمة الليزر تطبيقات عديدة، إذ إنها تستخدم في العديد من التطبيقات الحيوية التي تختلف باختلاف نوع الليزر المستعمل فيها، إذ إنّ كل نوع من أنواع الليزر له خصائص تميزه عن الآخر [٢] حيث يدخل الليزر في المجال الطبي في علاج أمراض الجلد والعيون وفي مجال تكنولوجيا الاتصالات في تعديل الاشارات وفي تطبيقات المعالجة الحرارية، لا سيما في صناعة السيارات [3] و في تطبيقات مجال القياس و التصوير و يستعمل الليزر في تحديد المسافات بدقة عالية لذلك طور استخدام الليزر في تحديد الاهداف العسكرية، بسبب دقته في قياس المسافات [4].

في عام 1961 تم انتاج نبضات فائقة القصر وذات طاقة عالية باستعمال تقنية Q switching و قفل النمط mode locking . فتقنية مفتاح عامل النوعية يمكن بواسطتها انتاج نبضات فائقة القصر بقدرة عالية تقدر بمدى كيكواواط Gigawatts، أي أعلى بكثير مما ينتج نفس الليزر إذا كان يعمل بالنمط المستمر CW بالمقارنة مع تقنية قفل النمط فهي تقنية أخرى لانتاج نبضات ليزر فائقة القصر [5,6]. قفل النمط (Mode-Lock) مجموعة من التقنيات لتوليد نبضات فائقة القصر فهي طريقة (أو في الواقع مجموعة من الطرق) للحصول على نبضات فائقة القصر من الليزر والتي تسمى بعد ذلك ليزر وضع قفل النمط، إذ يحتوي مرنان الليزر على جهاز او مذبذب Oscillator يعمل على ضبط انماط التردد العشوائية وتوحيدها بطور واحد وتقنية قفل النمط لليزر على نوعين (قفل النمط الفعال active mode-lock) و قفل النمط السلبي اللاخطي (passive mode-lock) و الذي يؤدي الى تكوين نبضات فائقة القصر تتذبذب في مرنان الليزر [7].

كما أنّ المحدد الاساسي الذي يقف امام تطور المفاتيح والبوابات الضوئية وسعة بالاستعمال هو أنّ معظم المواد التي تم استخدامها ذي معاملات بصرية لا خطية ذات قيم جدا صغيرة، مما يستدعي استعمال ليزرات ذا شدة عالية لإظهار التصرف اللاخطي لها وبالتالي توظيفها بالاستعمال المناسب ، وكما تمت الإشارة في البدء أنّ هذه الاجهزة تعمل بنظام قفل النمط أو مفتاح عامل النوعية، وهي بطبيعة الحال منظومات معقدة التركيب اضافة الى كلفتها العالية. كما ان الشدات العالية تؤدي إلى ارتفاع درجة الحرارة للمواد المستخدمة الى حدود في بعض الأحيان ممكن أن تسبب الضرر فيها .

وعليه تم التوجه في بحثنا هذا لإيجاد مواد تظهر الصفة اللاخطية، وبمعاملات بصرية اللاخطية ذات قيم مقبولة تحت تأثير شدات مناسبة. وان إيجاد مثل هذه المواد سوف يفتح آفاق واسعة لاستعمالها ضمن تطبيقات واسعة و لا سيما الاتصالات البصرية .

## Non-Linear Optics

## ١ - ٢ البصريات اللاخطية

البصريات اللاخطية (NLO) هي فرع من فروع علم البصريات الذي يصف سلوك الضوء في الأوساط اللاخطية أي الوسائط التي تستجيب فيها كثافة الاستقطاب  $P$  بشكل لاخطي مع شدة المجال الكهربائي  $E$  للضوء الساقط. عادةً ما يتم ملاحظة اللاخطية فقط عند شدة الضوء العالية جداً [8-10] أدى اختراع الليزر إلى ظهور دراسة البصريات بشدات عالية، مما أدى إلى اكتشاف ظواهر جديدة لا تُرى بالضوء الاعتيادي مثل توليد ألوان جديدة من ضوء أحادي اللون في بلورة شفافة أو التبئير الذاتي لشعاع بصري في سائل متجانس. في الشدة المستعملة لتوليد هذه الأنواع من التأثيرات لا يمكن عدّ المعلمات البصرية المعتادة للمواد ثابتة ولكنها تصبح دالة لشدة الضوء الساقط. علم البصريات في هذا النظام يسمى البصريات اللاخطية. إذ تعتمد نظرية البصريات اللاخطية على الجزء المعروف باسم تفاعل الضوء والمادة.

## Non-Linear Optical

## ١ - ٣ المواد البصرية اللاخطية

## Materials

يتفاعل الضوء بشكل أساس مع المادة عبر إلكترونات التكافؤ في الغلاف الخارجي لمدارات الإلكترون حيث ان المعلمة الأساسية في نظرية تفاعل الضوء عالي الشدة مع المادة هي الاستقطاب الإلكتروني للمادة المستحثة بالضوء [11]. تلعب المواد البصرية اللاخطية دورًا رئيسًا في البصريات غير الخطية ولها تأثير كبير على تكنولوجيا المعلومات والتطبيقات الصناعية على وجه الخصوص. ومع ذلك ، فقد أثمر هذا الجهد في العقد الماضي في الجوانب التطبيقية للبصريات اللاخطية. يمكن إرجاع هذا بشكل أساسي إلى تحسين أداء المواد البصرية اللاخطية. إذ أسهم التطور الجديد لتقنيات تصنيع ونمو المواد الاصطناعية بشكل كبير. الهدف هو تطوير المواد التي تعطي خصائص لاخطية كبيرة وتلبية في الوقت نفسه جميع المتطلبات التكنولوجية للتطبيقات مثل نطاق شفافية واسعة broadband transparent والاستجابية السريعة وعتبة الضرر العالية. ولكن بالإضافة إلى قابلية المعالجة والتكيف والتفاعل مع المواد الأخرى فإن التحسينات في التأثيرات غير الخطية في الأجهزة أدت إلى دراسة تأثيرات لاخطية جديدة وإدخال مفاهيم جديدة. تتغير الخصائص البصرية اللاخطية للمواد عندما يمر الضوء من خلالها اعتمادًا على الاتجاه ودرجة الحرارة وطول

موجة الضوء وما إلى ذلك. تحتوي المواد اللاخطية عادةً على بنية بلورية مميزة متباينة الخواص فيما يتعلق بالإشعاع الكهرومغناطيسي. [12,13,14].

### ١ - ٣ - ١ المواد النانوية في البصريات اللاخطية

#### Nano-materials in Non-linear Optics

من المواد البصرية اللاخطية هي المواد النانوية والمركبات النانوية تتميز بتأثيرات بصرية لاخطية عالية تجعلها مناسبة لمجموعة متنوعة من التطبيقات البصرية اللاخطية [15] إذ دخلت المواد النانوية عالم البصريات اللاخطية في السنوات الأخيرة، بسبب خصائص مثيرة للاهتمام مثل الحصر الكمي للإلكترونات والثقوب وتأثيرات السطح والبلازمونات السطحية (التذبذب الجماعي للإلكترونات الحرة في الجسيمات النانوية المعدنية) والتي تختلف اختلافاً كبيراً عن تلك الموجودة في المواد الأساسية. كشف عدد كبير من المواد النانوية عن خصائص لاخطية رائعة في العقود القليلة الماضية، مما حفز تصميم وتصنيع الأجهزة الضوئية والإلكترونية الضوئية ذات المقياس النانوي [16] أصبحت المواد النانوية القائمة على الكربون مثل أسود الكربون ثلاثي الأبعاد أو الجسيمات النانوية [17,18] 0D الفوليرين و الأنابيب النانوية الكربونية (CNT 1D) والكرافين ثنائي الأبعاد (2D) [19,20] العمود الفقري لتقنية النانو. أثارت الخصائص الميكانيكية والكهربائية والحرارية البارزة للمواد القائمة على الكربون فضلاً عن خصائصها المميزة اهتماماً بحثياً من الجوانب التجريبية والنظرية [21-23].

### ١ - ٤ المواد المستخدمة في هذا البحث

#### Materials used in this research

### ١ - ٤ - ١ خصائص شظايا $Fe_2O_3$ النانوية

#### Properties of Nano-Fragments $Fe_2O_3$

أكاسيد الحديد هي مركبات طبيعية شائعة و يمكن تصنيعها بسهولة في المختبر و يوجد أكثر من ١٦ نوع من أكاسيد الحديد هذه الأكاسيد تتولد نتيجة للتفاعلات المائية التي تحدث تحت ظروف أكسدة و اختزال مختلفة و بعض أكاسيد الحديد هي goethite, akaganeite, lepidocroite, magnetite, and hematite. [24-26]. تتكون الجسيمات النانوية لأوكسيد الحديد اما من Magnetite ( $\gamma-Fe_2O_3$ ) او Magnetite ( $Fe_3O_4$ ) و بأقطار تتراوح (1-100) nm و يمكن تطبيقها في تخزين البيانات المغناطيسية و الاستشعار الحيوي [27-30].

لقد جذب Magnetite ( $\gamma-Fe_2O_3$ ) اهتماماً كبيراً بسبب خصائصه المغناطيسية و الخواص المغناطيسية تعتمد بشدة على حجم الجسيمات، لذلك زاد الاهتمام بدراسته و كذلك دراسة التغييرات

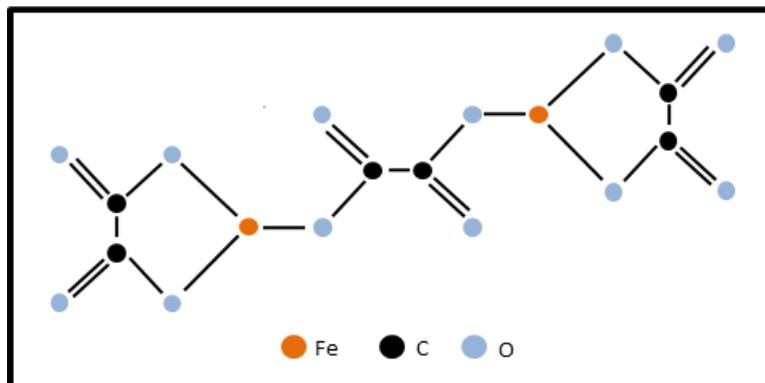
عند الوصول للحجم النانوي [31]. و ان لجسيمات  $Fe_2O_3$  النانوية خواص مغناطيسية فائقة في درجة حرارة الغرفة و من المحتمل أنّ تكون القيمة العالية للمغطة  $M$  و العزم المغناطيسي  $\mu_p$  لجسيمات Hematite النانوية تكون ناتجة عن قشرة السطح غير المنتظمة و دوران السطح و بناءً على ذلك يمكن الاستنتاج من خلال التحكم في التبلور و سطح الجسيمات النانوية يؤثر على خصائص المغطة لجسيمات  $Fe_2O_3$  النانوية [32].

و يُعد اوكسيد الحديد احد اهم اكاسيد العناصر الانتقالية (TMOs) فهو يوجد في اطوار مختلفة و يُعد  $FeO$ ،  $\alpha-Fe_2O_3$ ،  $\gamma-Fe_2O_3$ ،  $\beta-Fe_2O_3$  و  $Fe_3O_4$  و يُعد Hematite ( $\alpha-Fe_2O_3$ ) اوكسيد الحديد الأكثر استقراراً في ظل الظروف المحيطة و فضلاً عن عدّه مادة صديقة للبيئة و منخفض التكلفة و متوفر بسهولة في الطبيعة، و كذلك يظهر خواص شبه موصل من n-type و فجوة طاقة مساوية الى  $2.2eV$  و التي تقع في المنطقة المرئية و يمتلك  $\alpha-Fe_2O_3$  بنية سداسية متركزة بشكل متناسق مع شبكة أوكسجين و يكون مضاد للمغناطيسية تحت درجة حرارة  $260K$  و يظهر ضعف مغناطيسي حديدي فوق  $260K$  و من تطبيقاته التصوير بالرنين المغناطيسي و الخلايا الشمسية [33].

### Iron(III) Oxalate

### ١ - ٤ - ٢ ازالات الحديد الثلاثي

تُعد اكسالات المعادن الانتقالية (TMOxs) Transition metal oxalates مواد جذابة لتخزين الطاقة المستدامة و يرجع ذلك إلى وجود  $(C_2O_4^{2-})$  و التي يتم تنسيقها مع ذرات المعدن عبر ذرات الاوكسجين [34]. و أنّ اكسالات الحديد، المعروف أيضاً باسم اكسالات الحديد (III) و هو مركب كيميائي يتكون من ايونات الحديد و روابط اكسالات، و يمكن عدّه أيضاً ملح الحديدك لحمض الاكساليك. و الصيغة العامة له  $(C_6Fe_2O_{12})$  و يمتلك كتلة مولية قدرها  $(375.747 \text{ g/mol})$  و نقطة انصهار حوالي  $(365.1^\circ C)$  و تكون مادة لامائية صفراء شاحبة و مع ذلك قد تكون رطبة لتكوين العديد من الهيدرات. و تستعمل اكسالات الحديد كعنصر حساس للضوء في عملية طباعة الصور الفوتوغرافية. و أنّ Fe(III) Oxalate هي مركبات كيميائية تشارك في الحصول على جزيئات نانوية من اكاسيد الحديد [35] و يتحلل هذا المركب في الضوء بسهولة. و أنّ رباعي هيدرات اكسالات الحديد تستعمل في بطاريات ايون الليثيوم (LIBS) و هذا يتوافق مع دراسة اجراها Tarascon et al [36].



الشكل (1-1) التركيب الكيميائي لـ Fe(III) Oxalate [35]

## ١ - ٥ تطبيقات البصريات اللاخطية

**Applications of Non-Linear Optics**

إنّ تطبيقات البصريات اللاخطية لها مجالات كثيرة و لا سيما الأساسية منها في تكنولوجيا الليزر في تكنولوجيا المعلومات و تكنولوجيا المواد [37] ففي تكنولوجيا الليزر صنع العلماء أنواعاً مختلفة من أجهزة الليزر الجديدة مثل الليزر النبضي فائق القصر و الليزر القابلة للتوليف و ليزر رامان المحفز و ليزر تيرا هيرتز و الليزر النانوي و ليزر الالياف البصرية غير الخطية، فضلاً عن يمكن استعمال البصريات غير الخطية لاختيار نمط الليزر و استقرارية قدرة الليزر و قياس معلمة الليزر... الخ . و كذلك تقنيات Q-switching و Mode lock تعتمد على البصريات اللاخطية و تستعمل لضغط عرض نبضات الليزر لتوليد ليزر نبضي فائق القصر ( picosecond , femtosecond , attosecond ) و كذلك استعمال التقنيات البصرية اللاخطية مثل (sum frequency generation , difference frequency generation, parametric amplification and oscillation , third harmonic generation , four wave mixing , stimulated scattering , ) و غيرها تحقق تحويلات تردد الليزر المختلفة. و كذلك تستعمل في الاتصالات الضوئية بما في ذلك الاتصال بالألياف الضوئية و الاتصال الضوئي الفضائي و هناك الكثير من التقنيات القائمة على البصريات اللاخطية على سبيل المثال ( ليزر اشباه الموصلات و مضخم رامان البصري و عدسة التركيز الذاتي و المفتاح البصري و تقنيات الاتصالات الضوئية الجديدة على سبيل المثال الاتصال البصري المتشاكه و اتصال السوليتون البصري و الاتصال الكمي البصري [38] .

## ١ - ٦ تقنيات الكشف عن الخواص اللاخطية للمواد

**Techniques for detecting nonlinear properties of materials**

لأجل كشف وقياس الخصائص البصرية اللاخطية وتأثيراتها البصرية هناك تقنيات عدة منها (self-phase modulation و wave – Mixing and optical Kerr gate techniques) و Nonlinear imaging techniques و Z-Scan technique ) و غيرها. في هذه الدراسة تم اعتماد تقنية تعديل الطور الذاتي المكاني لحزمة الليزر و التي تشير إلى الظاهرة التي يتفاعل فيها شعاع الليزر المنتشر في الوسط و يفرض تعديل طور على نفسه، و هذا يؤدي إلى أحداث تغيير ملموس في معامل الانكسار اللاخطي و هذا يؤدي الى ظهور الخواص اللاخطية [39].

و تم أيضاً في هذه الدراسة استعمال تقنية Z-scan وهي تقنية للكشف عن الخصائص البصرية اللاخطية من خلال مرور حزمة ليزر عبر نموذج (مادة بصرية لاخطية) و حساب التأثيرات اللاخطية الناتجة من النفاذية اللاخطية لحزمة الليزر وتتسم هذه التقنية بالبساطة في ترصيف اجزائها، إذ تم اكتشاف هذه التقنية من قبل (MANSOOR S. BAHAE, et al) في عام ١٩٨٩ [40] فتتصف هذه التقنية بدقة بياناتها عن التأثيرات اللاخطية المتمثلة بمعامل الانكسار والامتصاص اللاخطيين . وسنتناول في الفصل الثاني هذه التقنيتين بتفصيل اكثر.

## Historical Review

### ١ - ٧ الدراسات السابقة

في عام ٢٠٠٠ قام Baolong Yu و جماعته بدراسة الخواص اللاخطية باستعمال تقنية Z-scan للجسيمات النانوية  $Fe_2O_3$  باستخدام ليزر  $Ar^+$  و ليزر He-Ne و لاحظوا ان معامل الانكسار اللاخطي  $n_2 = -8.07 \times 10^{-7} \text{cm}^2/\text{W}$  و ان جزيئات  $Fe_2O_3$  النانوية تُعد مادة مهمة للتطبيق المؤقت في الأجهزة البصرية الجديدة [41]

في عام ٢٠٠١ قام E. Jurdik و جماعته بدراسة تأثيرات تعديل الطور الذاتي و تعديل مقطع الطور لبلورات  $KTiOPO_4$  المشوبة بالكروم و اظهرت هذه الدراسة وجود شوائب الكروم للمصفوفة البلورية  $KTiOPO_4$  المطعمة بأيونات الكروم و هو في اصل اللاخطية البصرية القوية لهذه المادة نتيجة لذلك لوحظ تعديل واضح للطور لحزمة ليزر كاوسية CW ذات طول موجي 532nm في المجال البعيد كنمط حيود يتكون من حلقات مضيئة و مظلمة و كذلك تم استعمال معامل الانكسار المستحث غير مكافئ الحساس للاستقطاب لتعديل حزمة ليزر probe بطول موجي 632nm [42].

في عام ٢٠٠٢ قام S.Brugion و جماعته بالتحري عن خاصية نمط الحلقة المميزة لتعديل الطور الذاتي في البلورة السائلة  $E_7$  و تمت ملاحظتها في المنطقة الطيفية للأشعة تحت الحمراء الوسطى عند  $(\lambda=10.6\mu\text{m})$  تم تقدير معامل الانكسار اللاخطي  $n_2$  عن طريق حساب عدد الاهداب التي تمر عبر نقطة ثابتة مع زيادة قدرة الليزر [43].

في عام ٢٠٠٦ قام Márcio A. R. C. Alencar و جماعته بتعديل كبير للطور الذاتي و المكاني في زيت الخروع معزز بجزيئات الذهب النانوية لوحظ تعديل الطور الذاتي المكاني عندما تمر حزمة ليزر CW على طول خلية تحتوي على زيت الخروع إذ أنّ أقل قدرة لازمة لإثارة هذا التأثير تتناقص بسبب زيادة طول العينة، ممّا يشير إلى أنّ معامل الانكسار اللاخطي لهذا النظام قد تم تعزيزه، بسبب جزيئات الذهب النانوية و كذلك عندما يقترب الطول الموجي لليزر من نطاق الامتصاص الخاص بالوسط، علاوة على ذلك بالنسبة لطول موجة الليزر بالقرب من رنين

البلازمون لجسيمات الذهب النانوية يكون عامل التعزيز هذا اعلى هذه الحقيقة تشير إلى أن هذه الظاهرة ناتجة بشكل أساس عن التأثيرات الحرارية [44].

في عام ٢٠١٠ قام Reza Zamiri وجماعته بدراسة الخواص اللاخطية باستعمال تقنية spatial self-phase modulation(SSPM) لجسيمات الفضة النانوية المحضرة داخل محلول نشأ مائي بفترات زمنية مختلفة بطريقة الاستئصال بالليزر باستعمال ليزر Q-switched Nd-YAG بمعدل تكرار 10Hz و بتراكيز مختلفة و بينت النتائج ان زيادة Ag-NPs في محلول النشأ المائي تؤدي الى زيادة الخاصية البصرية اللاخطية للعينات نتيجة التأثير الحراري [45].

في عام ٢٠١٠ قام Reza Zamiri وجماعته بدراسة الخواص البصرية اللاخطية باستعمال تقنية spatial self-phase modulation(SSPM) لعالق طيني Clay suspension يحتوي على (Ag-NPs) و بينت النتائج انه بزيادة Ag-NPs في عالق MMT تزداد الخاصية البصرية اللاخطية بينما لا يتم ملاحظة هذه الخاصية في عالق MMT وحده و اظهرت اطياف امتصاص UV-Vis التي تم الحصول عليها ان قمة رنين البلازمون السطحي (SPR) تزداد بزيادة تركيز  $AgNO_3$  و بينت النتائج ان اطياف UV-Vis(Ag-NPs) متوافقة جيدا مع دراسات التركيب التي اجراها TEM [46].

في عام ٢٠١٢ قام Jeevan Job Thomas وجماعته بدراسة خصائص الحد البصري باستعمال تقنية Z-scan لخمسة أنواع مختلفة من سبائك الحديد spinel ferrites [  $NiFe_2O_4$  ,  $Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$  ,  $ZnFe_2O_4$  ,  $Ni_{0.5}Co_{0.5}Fe_2O_4$  ,  $CoFe_2O_4$  ] و تظهر الخصائص اللاخطية التي تم الحصول عليها ان هذه المواد هي محددات بصرية فعالة باستثناء  $NiFe_2O_4$  فإن اللاخطية تكون بسبب امتصاص الحالة المثيجة و كذلك تبين أن استجابة الحد البصري تزداد بزيادة حجم الجسيمات و عند مقارنة خصائص التحديد البصري وجد ان  $ZnFe_2O_4$  هو افضل مرشح لتطبيق الحد البصري [47].

في عام ٢٠١٢ قام R. Zamiri وجماعته بدراسة الخواص اللاخطية باستعمال تقنية spatial self-phase modulation(SSPM) ليزر بطول موجي ( $\lambda=405nm$ ) بطاقة (50mW) لزيت النخيل الذي يحتوي على جزيئات الفضة النانوية (palm oil/Ag-NPs) تم تحضيرها بطريقة الاستئصال بالليزر لحقبات زمنية مختلفة و وجدوا أن انماط تعديل الطور الذاتي المكاني قوي و الذي يشير الى ان (palm oil/Ag-NPs) لها معامل انكسار لاخطي كبير نسبيا و يزداد بزيادة الكسور الحجمية و تكون مهمة للمواد البصرية اللاخطية للأجهزة الضوئية [48].

في عام ٢٠١٣ قام Amir Reza Sadrolhosseini وجماعته بدراسة الخواص اللاخطية باستعمال تقنية spatial self-phase modulation (SSPM) لجزيئات النحاس النانوية (Cu-

NPs) إذ تم تحضيرها بطريقة الاستئصال بالليزر باستعمال ليزر Nd-YAG بطول موجي ( $\lambda=532\text{nm}$ ) و لمدة (5-10-20-30 min) و لاحظوا بزيادة زمن الاستئصال ينخفض حجم الجسيمات النانوية و يزداد التركيز و كذلك تزداد الخواص البصرية (الامتصاص، الانكسار) و التأثير اللاخطي [49].

في عام ٢٠١٣ قام Alaa Y.AL-Ahmed و جماعته بدراسة الخواص اللاخطية من الدرجة الثالثة لاغشية رقيقة (BCP:PMMA) باستعمال تقنية (SSPM) spatial self-phase modulation باستخدام حزمة ليزر CW بطول موجي ( $\lambda=473\text{nm}$ ) و طاقة خرج الليزر (40mW) و وجدوا ان معامل الانكسار اللاخطي  $n_2$  لاغشية (BCP:PMMA) كبير الناتج عن بناء نمط حلقة حيود التي يتم الحصول عليها؛ بسبب الحيود الذاتي الحراري الناتج؛ بسبب تعديل الطور الذاتي و وجدوا أنّ معامل الانكسار اللاخطي  $n_2=10^{-5}\text{cm}^2/\text{W}$  و المعامل الحراري البصري  $(0.008-0.03)10^{-5}\text{k}^{-1}$  [50].

في عام ٢٠١٤ قام Gaozhong Wang و جماعته بملاحظة الخواص اللاخطية باستعمال تقنية spatial self-phase modulation(SSPM) بمرور شعاع ليزر He-Ne بطول موجي  $\lambda=633\text{nm}$  للجرافين النانوي و وجود تشوه في حلقات حيود SSPM للحزمة الساقطة افقيا بينما لا يوجد تشوه في نمط حلقات الحيود للحزمة الساقطة عموديا و سبب التشوه هو الحمل الحراري الذي يسبب تغيير تركيز الكرافين و يمكن الحصول على التغيير النسبي لمعامل الانكسار اللاخطي  $(\Delta n_{2e}/n_{2e})$  عن طريق قياس زاوية التشويه و زاوية نصف قطر المخروط ( $\sim 0.14$  to  $\sim 0.375$ ) يمكن تحديد معامل الانكسار اللاخطي الفعال للجرافين النانوي عن طريق تغيير الشدة الساقطة و درجة الحرارة و يكون ضمن التطبيقات المحتملة في أجهزة التعديل البصري اللاخطية [51].

في عام ٢٠١٤ قام E.Saievar Iranizad و جماعته بدراسة الخواص البصرية اللاخطية لمركب  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  المطعم بـ E7 باستعمال تقنية Z-scan باستعمال ليزر منخفض الشدة وتم الحصول على  $n_2=10^{-5}\text{cm}^2/\text{W}$  و  $\beta=10^{-1}\text{cm}/\text{W}$  وتم تمييز  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  NPs المركب بإجراء فحوصات XRD و SEM و تبين من خلال فحص حيود الأشعة السينية انه يمتلك بنية مكعبة بمتوسط حجم (20.7nm) و من خلال فحص SEM تبين ان متوسط حجم  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nPs عند (34nm) و اظهرت النسبة المئوية التركيبية الصغيرة للجسيمات النانوية (1% W/W) المشتتة في NLC تظهر تحسنا في الخواص اللاخطية [52].

في عام (٢٠١٥) قام Bingxin shi و جماعته بتصنيع الالواح النانوية ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ) ذات البنية السداسية باستعمال طريقة مذيب حراري فعالة. و قد تم دراسة التأثيرات اللاخطية باستخدام تقنية SSPM واسعة النطاق من الاطوال الموجية (400nm,700nm, 1070nm) و وجد أنّ معامل

الانكسار اللاخطي  $n_2$  لمحلول ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ) ليكون ( $10^{-12} \text{ m}^2/\text{W}$ ) و تم قياس القابلية من الدرجة الثالثة ( $10^{-7} \text{ esu}$ ) و قد يوفر هذا العمل طريقة لتطوير اجهزة بصرية غير خطية جديدة تعتمد على المواد النانوية TI [53].

في عام ٢٠١٥ قام Hania Abouari بإجراء تحليل حيود النيوترون و حيود الاشعة السينية المركبة بالكشف عن تركيب  $\text{Fe}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  اظهرت قدرة هذا المركب على ( $1.6 \text{ Li}$ ) بشكل عكسي لكل وحدة معادلة و استقرت عند ( $3.35\text{V vs. Li}$ )، مما يؤدي إلى قدرة مستدامة ( $98\text{mAh/g}$ ) و اكدت دراسات XRD و التحليل الطيفي Mössbauer حدوث نشاط كهروكيميائي عبر عملية ادخال ثنائية الطور مرتبطة بزوجين  $\text{Fe}^{+2}$  و  $\text{Fe}^{+3}$  و يعد هذا النهج مساراً جذاباً للبحث عن مواد الكترود موجبة غير مكلفة و صديقة للبيئة لتطبيقات كبيرة الحجم مثل الشبكات [54]

في عام ٢٠١٦ قام JINGDI ZHANG و جماعته بدراسة الخواص اللاخطية باستعمال تقنية Spatial self-phase modulation (SSPM) لعوالق نانوية black phosphore (BP) ثنائية الأبعاد باستعمال اشعة ليزر نبضية (fs) بأطوال موجية ( $350\text{nm}-1160\text{nm}$ ) في منطقة النطاق العريض و لاحظوا ان معامل الانكسار اللاخطي يكون ( $10^{-5} \text{ cm}^2/\text{W}$ ) و الاستجابة البصرية اللاخطية من الدرجة الثالثة ( $10^{-8} \text{ esu}$ ) بسبب فجوة النطاق الضيقة ل (BP) تظهر استجابة SSPM للعوالق النانوية (BP) اعلى حساسية لشدة الضوء و تعطي هذه الدراسة دعم مهم لمزيد من البحوث في الخصائص البصرية غير الخطية BP [55].

في عام ٢٠١٦ قام P. Yu. Tyapkin و جماعته بالكشف عن وجود شكل هيدرات من  $\text{Fe(III)Oxalate}$  لا يحتوي نمط حيود الاشعة السينية لهذا المركب على قمم Bragg واضحة على عكس العينات البلورية التي تحتوي على  $2,4\text{H}_2\text{O}$  في  $\text{Fe}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3$  و تدل المعلمات الطيفية لـ Mössbauer لأكزالات الحديد (III) على ان ايونات الحديد ثلاثة التكافؤ موجودة في بنية Octahedral و من خلال فحص الاشعة السينية الخاصة بها تبين انها غير مستقرة و غير متبلورة و اثناء التخزين و التجفيف لفترة طويلة تتحول هيدرات اكزالات الحديد (III) غير المتبلورة تلقائياً الى اشكال مستقرة تتوافق مع تركيبات  $\text{Fe}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  و  $\text{Fe}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  [35]

في عام ٢٠١٨ YUE JIA و جماعته تمكنوا من الحصول على تأثير SSPM من عوالق الايثانول في  $\text{WSe}_2$  و الذي تم تصنيعه باستعمال تقنية تقشير الطور السائل تمكنوا تجريبياً التحقق من معامل الانكسار اللاخطي المعتمد على القدرة و الحساسية اللاخطية ( $\chi^{(3)}$ ) بأطوال موجية ( $457\text{nm}$  -  $532\text{nm}-671\text{nm}$ ) و لاحظوا بزيادة سطوع حلقات الحيود و قطرها و عددها مع زيادة شدة الضوء الساقط و ستهار حلقات الحيود بمرور الوقت. و يتميز  $\text{WSe}_2$  باستجابة غير خطية عالية و فجوة

نطاق ضيقة. و يتم باستعماله في الاجهزة البصرية مثل المفاتيح البصرية و تحويل المعلومات الضوئية بالكامل في المستقبل القريب [56].

في عام ٢٠١٩ قام Youxian Shan و جماعته بدراسة الخواص اللاخطية باستعمال تقنية SSPM و يعتمد معامل الانكسار اللاخطي على الشدة الساقطة . و يتم استعمال الاستجابات البصرية غير الخطية للصفائح النانوية 2D TaSe<sub>2</sub> لتحقيق التحويل البصري بالكامل إذ تم استعمال ليزر CW بطول موجي 671nm لتعديل طور ليزر (532nm) و يمكن تطبيقها في نقل المعلومات الضوئية بالكامل، و التبديل الضوئي بالكامل، و الكاشف الكهروضوئي ، و جهاز الليزر [57].

في عام 2019 قام Kayu Zhang و جماعته بتحضير طورين مختلفين من Iron Oxalate بطريقة الاذابة الحرارية و التي تعتبر طريقة بسيطة و فعالة و ذلك من خلال التحكم في درجة حرارة المذيب، و هذا يؤدي إلى اختلاف التركيب البلوري و شكل الجسيمات و حجمها و تمت مقارنة تأثيرات هذه المعلمات على الخواص الكهروكيميائية لمواد انود الليثيوم و تشير حسابات الديناميكا الحرارية إلى أنّ المسافة البينية يتم توسعها بعد التحول الحراري لـ  $\beta$ -FeC<sub>2</sub>O<sub>4</sub> الى  $\alpha$ -FeC<sub>2</sub>O<sub>4</sub> و أنّ تحسين تفاعل التركيب البلوري و التشكل يوفر طريقة فعالة جديدة لتحسين الاداء الكهروكيميائي لـ Iron Oxalate في LIBS [58].

في عام ٢٠٢٠ قام Jie Li و جماعته بدراسة التأثيرات اللاخطية باستعمال تقنية SSPM لـ ( MXene Ti<sub>3</sub> C<sub>2</sub> T<sub>x</sub> ) و اظهر استجابة غير خطية واسعة النطاق (400-1064)nm مما يبرز خصائصه البصرية غير الخطية باستخدام ليزر نبضي فائق السرعة . و التي يمكن ان تضع اساسا لاحتمال تطبيق الاجهزة الالكترونية الضوئية غير الخطية فائقة السرعة القائمة على MXene [59].

في عام ٢٠٢٠ قام Danyun Xu و جماعته بدراسة الخواص البصرية اللاخطية باستعمال تقنية spatial self-phase modulation (SSPM) لصفائح نانوية FePS<sub>3</sub>، و وجدوا أنّ معامل الانكسار اللاخطي  $n_2 \sim 10^{-5} \text{cm}^2 \text{W}^{-1}$  و يمكن التحكم بمعامل الانكسار من خلال حجم الصفائح النانوية FePS<sub>3</sub> و توضح هذه النتائج امكانية استخدام صفائح FePS<sub>3</sub> النانوية في الاجهزة البصرية غير الخطية [60].

في عام ٢٠٢٠ قام Keyu Zhang بالحصول على Iron Oxalate بأشكال مختلفة و متعددة عن طريق تخليق جسيمات يمكن التحكم فيها. يمكن لمركب  $([\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_x]^{2(x-1)})$  تحت درجة حرارة عالية و وقت اطول تعزيز البنية البلورية بشكل فعال لتشكيل روابط هيدروجينية اكثر استقراراً و أنّ التركيب البلوري و التشكل لهما تأثيرات مهمة على الاداء الكهروكيميائي و قنوات الانتشار المستقرة

لأيونات الليثيوم و أنّ دراسة الية تطور الطور في عملية التصنيع تعمل على تعزيز التطوير التجاري لمواد القائمة على oxalate و بالتالي تعمل على تحسين اداء LIBS في المستقبل [61].

في عام ٢٠٢١ قام Adil Muala Dhumad و جماعته بتحضير مركب Azo- $\beta$ -diketone و تم دراسة الخواص اللاخطية باستعمال تقنية (SSPM) عند الطول الموجي (473nm) و لاحظوا أنّ معامل الانكسار اللاخطي هو  $(3.25 \times 10^{-7} \text{cm}^2/\text{W})$  و تم حساب معامل الانكسار اللاخطي باستخدام تقنية Z-scan و كان  $(2.4 \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{W})$  و تم اختبار خاصية المحدد البصري للمركب بنفس الطول الموجي و كان حد العتبة  $(12 \text{mW})$  و كذلك تمت محاكاة انماط حلقات الحيود نظريا و استنادا الى تكامل حيود Fresnel-Kirchhoff و تبين أنّ هناك توافقاً بين النتائج النظرية و التجريبية [62].

في عام ٢٠٢١ قام Lusine Tsarukyan و جماعته بملاحظة تشكيل انماط بصرية منتظمة ثنائية الابعاد بمقياس الميكرو متر الناتج عن شعاع ليزر ينتشر خلال بلورة LN:Fe تم استعمال شعاع ليزر CW بطول موجي 632.8nm و بقدرة تتراوح  $(0.5-10 \text{mW})$  و نموذج LN:Fe بوزن  $(0.03 \text{wt}\%)$  من الحديد و بسلك  $(4-10 \text{mm})$  و تبدأ الانماط الضوئية المتولدة داخل البلورة في تغيير معامل الانكسار المعقد الناتج عن الحد الأدنى (عدسة سالبة) و الحد الأقصى المتماثل (العدسة الموجبة)، و ذلك بسبب التأثير الكهروضوئي في البلورة و تنتج العدسات المعقدة التي يسببها الضوء تشوه في تركيز الحزمة من مركزها الي محيط الحزمة و يؤدي النمط البصري المنتظم إلى تكوين بنية فوتونية شبه بلورية في بلورة LN:Fe وتتوافق النتائج التجريبية بشكل جيد مع المحاكاة العددية [63].

في عام ٢٠٢١ قام Li Dong و جماعته بتحضير رقائق نانوية من  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  و تم توضيح الخصائص البصرية اللاخطية في نطاق الاشعة تحت الحمراء باستعمال تقنية Z-scan عند استعمال الطول الموجي للتهيج  $1 \mu\text{m}$  كان  $n_2 = 9.33 \times 10^{-4} \text{cm}^2/\text{GW}$ ,  $\beta = -0.51 \text{cm}/\text{GW}$  و عند استخدام الطول الموجي للتهيج  $1.34 \mu\text{m}$ ,  $n_2 = 5.01 \times 10^{-4} \text{cm}^2/\text{GW}$ ,  $\beta = -0.713 \text{cm}/\text{GW}$  و كانت المقاطع العرضية للامتصاص  $(5.7 \times 10^{\circ} \text{GM}$  و  $9.6 \times 10^{\circ} \text{GM})$  و هذا يشير إلى أنّه يمكن استخدام صفائح الهيماتيت النانوية كأجهزة بصرية لاخطية. و كان عمر الحالة المثيجة هو 2.62ps و تم عرض Q-switched Nd:GdVO<sub>4</sub> السليبي عند  $(1, 1.3 \mu\text{m})$  من خلال الامتصاص المشبع لـ  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  و اكدت النتائج التجريبية ان رقائق  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  النانوية هي مواد NLO ممتازة و يمكن أن يكون ممتصاً عالي الاداء و مرشحا لتوليد نبضة NIR القصيرة في نطاق عريض [64].

في عام ٢٠٢١ قام Harald Müller و جماعته بدراسة حول الحديد (II) ثنائي الهيدرات  $FeC_2O_4 \cdot 2H_2O$ -humboldtine و الذي تم تحضيره من خلال اضافة حامض الكبريتيك الى بودرة الحديد و باوزان معينة و ذلك لإذابة الحديد و تم تقليب الخليط بالتسخين و تحويله الى محلول شفاف اخضر رمادي و تم تحضير مثيل اكسالات ثنائية و تحضيرها بطريقة كيميائية و بظروف معينة. و يعتبر  $FeC_2O_4 \cdot 2H_2O$  وسطا صناعيا مهما و لبنة اساسية لاعداد مختلف المواد المتقدمة و يمكن تحويله بسهولة الى  $FeCO_3$  و أنّ وجود بلورات مفردة عالية الجودة من  $FeC_2O_4 \cdot 2H_2O$  امر مهم لدراسة الحيود و التحليل الطيفي عند الضغط العالي [65]

في عام 2022 قام O.Erken و جماعته بترسيب اغشية رقيقة من  $Fe_2O_3$  بطريقة امتزاز الطبقة الايونية و تفاعل (SILAR) على قاعدة زجاجية و من خلال اجراء فحص XRD تبين أنّ اغشية  $Fe_2O_3$  الرقيقة لها طبقة غير بلورية و كشف فحص FE-SEM أنّ اسطح الاغشية الرقيقة لـ  $Fe_2O_3$  تكون مسامية و تم اجراء قياس للمعلومات البصرية الخطية و اللاخطية باستخدام قياس النفاذية اللاخطية و الامتصاصية و تم حساب معامل الانكسار في نطاق (1.45-3.23) في المنطقة المرئية (400-700nm) و ان فجوة النطاق المباشرة تكون بين (2.62-2.68eV) اما فجوة النطاق غير المباشرة تكون بين (1.67-1.77eV) و تم قياس و مناقشة قيم السالبة الكهربائية و ثوابت العزل البصرية و معامل الانكسار اللاخطي و التأثيرية اللاخطية من الدرجة الثالثة و يمكن القول ان الاغشية الرقيقة لـ  $Fe_2O_3$  هي مرشح واعد للخلايا الشمسية و تكنولوجيا الاجهزة الالكترونية الضوئية [66].

## The Aim of this Study

## ١ - ٨ الهدف من الدراسة

تحضير نماذج من مركبات الحديد النانوية و دراسة خواصها البصرية اللاخطية باستخدام تقنيتين مختلفتين و دراسة امكانية تكوين مفتاح بصري.

٢ - ١ مقدمة عامة

General Introduction

في هذا الفصل سوف يتم تناول الاساس النظري الخاص بالخصائص البصرية الخطية (معامل الانكسار و الامتصاص الخطيين ) و كذلك الخواص البصرية اللاخطية ( معامل الانكسار و الامتصاص اللاخطيين ) و كذلك تقنيتي المسح على المحور Z Z-scan و تعديل الطور الذاتي Self-phase modulation.

٢ - ٢ الخواص البصرية الخطية Linear Optical Properties

التفاعل بين طبيعة و توزيع الشحنة الداخلية للمادة و الاشعاع الكهرومغناطيسي الذي يسقط على المادة سوف يؤدي الى ظهور الخصائص البصرية للمادة [67]. عندما يسقط الاشعاع الكهرومغناطيسي على المادة و يتفاعل معها تحدث العديد من العمليات حيث تمتص المادة جزءاً من الاشعاع الكهرومغناطيسي و الذي يسمى الجزء الممتص (Absorbed Part) و الجزء الاخر الذي يمر عبر المادة يسمى الجزء النافذ (Transmitted Part) بينما ينعكس جزء من الاشعاع الكهرومغناطيسي عن سطح المادة و الذي يسمى الجزء المنعكس (Reflected Part) [68]. و أهم العمليات البصرية الخطية هي:-

٢ - ٢ - ١ الامتصاص Absorption

هو عملية نقصان الشدة لترددات معينة (اطوال موجية معينة) للإشعاع الكهرومغناطيسي عن طريق نقل بعض او كل طاقته الى الوسط الذي يمر عبره. و بسبب التفاعل بين العزم الكهربائي ثنائي القطب للجسيمات و مركبة المجال الكهربائي للإشعاع الكهرومغناطيسي فإنّ الالكترونات تنتقل من مستوي طاقة معين إلى مستوي طاقة اعلى. في حالة المواد السائلة تتناسب احتمالية الامتصاص للفوتونات الساقطة طردياً مع تركيز الجسيمات الممتصة في العينة. لذلك فإنّ الامتصاصية (A) أو الكثافة الضوئية ( Optical Density ) هي معلمة رياضية تربط كثافة الجسيمات (التركيز) في العينة بسمك العينة (طول المسار البصري) (الكثافة البصرية) [69]:-

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

إذ إنّ:-

I : شدة الأشعة النافذة عبر العينة عند طول الموجي (λ).

I<sub>0</sub> : شدة الأشعة الساقطة قبل دخولها الى العينة.

C : تركيز المادة الممتصة.

$\epsilon$  : معامل الخمود المولاري بوحدة (  $\text{cm}^{-1} \text{M}^{-1}$  ).

$l$  : سمك المادة التي يمر من خلالها الاشعاع الساقط.

سيؤدي امتصاص المادة للأشعة الساقطة إلى انتقال إلكتروني إذا كانت كمية الطاقة التي تمتصها المادة كافية للانتقال إلى مستوى طاقة أعلى ووفقاً لقانون Beer-Lambert تزداد احتمالية امتصاص المواد للفوتونات الساقطة مع زيادة تركيز المادة [70]. و أن قانون بير لامبرت، وهو عبارة عن علاقة تجريبية بين امتصاص الأشعة وخصائص المادة التي تمر من خلالها الأشعة، ينص على ان عدد الجزيئات التي تمتص الضوء تتناسب مع كمية الضوء الممتصة و بحسب قانون بير- لامبرت فان كمية الاشعة النافذة او الممتصة عند دخول الى محلول معين يكون دالة اسية لتركيز المحلول ( المذاب ) كما في المعادلة التالية [70,71]:-

$$I = I_0 e^{-\alpha l} \dots\dots\dots(2 - 2)$$

إذ إن:-

$\alpha$ : معامل الامتصاص البصري.

و عليه يمكن تطبيق قانون بير – لامبرت ( Lambert – Beer Law ) في مناطق مختلفة من الطيف الكهرومغناطيسي كالأشعة فوق البنفسجية و الأشعة المرئية و غيرها على شرط ان يكون الضوء المستخدم احادي اللون ( Monochromatic Light ) [72].

### ٢ – ١ – ١ معامل الامتصاص Absorption coefficient

هو معامل التوهين او معامل الامتصاص ( $\alpha$ ) لشدة الضوء الذي ينتقل عبر مادة ما. و يؤدي إلى تناقص شدة الضوء بالنسبة لوحده الطول للمادة و يعتمد معامل الامتصاص على طاقة الفوتون ( $h\nu$ ) و خواص المادة [73]. و يمكن ايجاد معامل الامتصاص وفقا لقانون بير- لامبرت من خلال المعادلة الآتية [74]:

$$2.303 A = \alpha l \dots\dots\dots(3 - 2)$$

$$\alpha (\text{cm}^{-1}) = 2.303 \frac{A}{l} \dots\dots\dots(4 - 2)$$

$$\alpha = \frac{1}{l} \ln \left( \frac{1}{T} \right) \dots\dots\dots(5 - 2)$$

إذ إن:-

A : تمثل الامتصاصية.

T : تمثل النفاذية.

فالنفاذية ( T ) Transmittance هي النسبة بين شدة الاشعة النافذة (I) إلى شدة الاشعة الساقطة (I<sub>0</sub>) اي [75,76].

$$T = \frac{I}{I_0} \dots\dots(6 - 2)$$

و تقل النفاذية بزيادة التركيز المولاري (C) و طول المسار البصري (L) الذي يمر الضوء من خلاله وفقا لقانون بير – لامبرت [77].

$$T = \frac{I}{I_0} = 10^{-\epsilon cl} \dots\dots(7 - 2)$$

إذ ترتبط الامتصاصية للوسط بالنفاذية و شدة الاشعة الساقطة و شدة الاشعة النافذة بالعلاقة الآتية [78]:

$$A = \log_{10} \left( \frac{I_0}{I} \right) = - \log_{10} ( T ) \dots\dots\dots( 8 - 2 )$$

و نلاحظ من خلال العلاقة اعلاه ان نفاذية الوسط (T) تعتمد على الامتصاصية فكما تقل الامتصاصية تزداد النفاذية للوسط.

### ٢ – ٢ – ٢ معامل الانكسار (n) Refractive Index

إنّ الموجة الكهرومغناطيسية تسير في الفراغ بسرعة ثابتة اما سرعتها في الوسط المادي تكون اقل مما هي عليه في الفراغ و يمكن تحديدها من خلال خصائص الوسط و الطول الموجي لذلك الوسط. و يمكن استخدام معامل الانكسار لتحديد صفات و خصائص الوسط المادي و الذي يعرف على انه النسبة بين سرعه الضوء في الفراغ الى سرعته في الوسط و الذي يعطى بالعلاقة التالية [79]:

$$n_o = \frac{c}{v} \dots\dots\dots(9 - 2)$$

إذ إنّ (c) تمثل سرعة الضوء في الفراغ و (v) تمثل سرعة الضوء في الوسط المادي. إذ يعتمد معامل الانكسار على طول الموجة الكهرومغناطيسية الساقطة على المادة و يتغير معامل الانكسار لبعض المواد وفقا لاتجاه الموجات الكهرومغناطيسية و يمكن ان تستعمل هذه المواد في تغيير اتجاه الاستقطاب لتلك الموجات لذلك يمكن كتابة معامل الانكسار المعقد من خلال المعادلة الآتية [80]:

$$\bar{n} = n_o + i k \dots\dots\dots(10 - 2)$$

إذ إنّ (k) يمثل معامل الخمود او معامل الامتصاص (او الجزء الخيالي من معامل الانكسار المعقد). و ان كل من (n,k) يعتمد على تردد الطول الموجي. و يمكن ايجاد معامل الخمود K من خلال المعادلة الآتية [81]:

$$\kappa = \frac{\alpha}{4\pi} \lambda \dots\dots\dots(11 - 2)$$

معامل الانكسار هو قياس مدى تأثير الموجات الكهرومغناطيسية على مادة ما. عندما يصطدم الاشعاع الكهرومغناطيسي بوسط مادي فانه يعمل على ازاحة الشحنة بعيدا عن موضعها الاصلي مما ينتج عنه ثنائي قطب . و أنّ الاستقطاب الكهربائي للجزء سوف يتذبذب بنفس تردد المجال الكهربائي المتناوب للموجة الكهرومغناطيسية الساقطة و يمكن تقليل سعة الموجة الساقطة عن طريق تحويل طاقة الموجة الساقطة الى طاقة اهتزازية لثنائي قطب الذي تم انشاؤه . على افتراض ان ثنائيات القطب تتذبذب قليلا نتيجة لفقدان الطاقة [82]. نتيجة لذلك ، إنّ الاستقطاب لمادة ما بسبب الموجة الكهرومغناطيسية الساقطة عليها هو مقياس لمعامل الانكسار للمادة . و نتيجة لذلك عندما يزداد الاستقطاب سوف يزداد تأثير التأخير و كلما زاد معامل الانكسار سوف تقل سرعة الضوء في الوسط المادي . و إنّ المواد المستقطبة لا تمتلك اي تأخير في ارجاع الضوء فان لديها معامل انكسار  $(n_0=1)$  [83].

## Nonlinear Optics

## ٢ - ٣ البصريات اللاخطية

تعد البصريات اللاخطية NLO مهمة جدا لما لها من تطبيقات كبيرة في الكهرو بصريات [84,85]. و يمكن استعمال مواد NLO لمعالجة الاشارات الضوئية في انظمة الاتصالات و تطبيقات معالجة الاشارات الضوئية الأخرى [86,87]. و تعرف على انها دراسة الظواهر التي تحدث نتيجة لتعديل الخصائص البصرية لنظام مادي بوجود ضوء عالي الشدة مثل حزمة الليزر و التي تكون كافية لتعديل خصائص النظام البصرية [8]. و يؤدي إلى تأثيرات لاخطية تتكون من الامتصاص و الانكسار اللاخطي و توليد التوافقيات و غيرها من العمليات اللاخطية [88] و يمكن تصميم و اظهار المحدد البصري المستخدم في مجال الالكتروبصريات و الضوئيات باستعمال التأثيرات اللاخطية [89,90].

## ٢ - ٣ - ١ العمليات البصرية اللاخطية من المرتبة الثالثة :

### Third - Order Nonlinear Optical Processes

عندما تتعرض المادة لحزمة ضوء ذات شدة عالية (ليزر) تهتز ذرات المادة (الشحنات) اذا كانت المادة بصرية خطية فان تذبذب الشحنات توافقيا مع الاشعاع الساقط لها التردد نفسه اي تتناسب ازاحة الشحنات مع قيمة المجال الكهربائي للاشعاع الساقط. و نتيجة التفاعل هذا فمن الممكن ان ينبعث اشعاع بنفس تردد الاشعاع الساقط او قد تتحول الطاقة الممتصة من قبل المادة (النظام) بعمليات تحول الطاقة من دون انبعاث شعاع كأن الطاقة تتحول إلى حرارة في المادة او اي من عمليات تحول الطاقة الأخرى، لذا فإنّ الاستقطاب المحتث الخطي في هذه الحالة يمكن كتابته بالمعادلة الآتية [91]:

$$\vec{P}_L = \epsilon_0 \chi^{(1)} \vec{E} \dots \dots \dots (12 - 2)$$

إذ تمثل :

$\vec{P}_L$  : الاستقطاب الخطي .

$\epsilon_0$  : السماحية في الفراغ ( ثابت العزل الكهربائي ) .

$\chi^{(1)}$  : التاثيرية الخطية من المرتبة الاولى .

$\vec{E}$  : المجال الكهربائي المسلط .

اما عندما يكون النظام لاطي اي في حالة تسليط شدة ليزر عالية تكون كافية لتوليد الخواص اللاخطية فان هذه الشدة ستكون سبب في الازاحة الكبيرة للشحنات. و بذلك فان الاستقطاب المحتث يكون [91,92]:

$$\vec{P} = \vec{P}_L + \vec{P}_{NL} = \vec{P}_L + \vec{P}_{NL}^{(2)} + \vec{P}_{NL}^{(3)} + \dots \dots \dots (13 - 2)$$

إذ إن :

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

و كذلك يمكننا كتابة الاستقطاب المحتث بالمعادلة التالية [93,94]:

$$\vec{P}(t) = \epsilon_0 \left[ \chi^{(1)} \vec{E}(t) + \chi^{(2)} \vec{E}^2(t) + \chi^{(3)} \vec{E}^3(t) + \dots \dots \dots (14 - 2) \right]$$

إذ إن  $\chi^{(2)}$  و  $\chi^{(3)}$  هي التاثيرية البصرية اللاخطية من المرتبة الثانية و الثالثة على التوالي حيث تعرف بأنها استجابة نظام مادة معينة لمجال بصري مسلط عليها يعتمد بصورة لاطية على قوة المجال المسلط [93].

و أن موضوع الدراسة هو التاثيرية البصرية اللاخطية من المرتبة الثالثة و التي يمكن ان تؤدي الى معامل الانكسار اللاخطي ( $n_2$ ) و معامل الامتصاص اللاخطي ( $\beta$ ) و يمكن ان تكتب التاثيرية  $\chi^{(3)}$  بصورة عامة بالعلاقة الآتية [91,92]:

$$\chi^{(3)} = \left[ Re(\chi^{(3)})^2 + Im(\chi^{(3)})^2 \right]^{1/2} \dots \dots \dots (15 - 2)$$

إذ  $Re(\chi^{(3)})$  تمثل الجزء الحقيقي للتاثيرية البصرية اللاخطية من المرتبة الثالثة و الذي يمكن ان يعبر عنه بدلالة معامل الانكسار اللاخطي ( $n_2$ ) و يعطى بالمعادلة التالية [92]:

$$Re(\chi^{(3)})(e.s.u) = 10^{-4} \frac{\epsilon_0 n_0^2 c^2 n_2}{\pi} \dots \dots \dots (16 - 2)$$

إذ إن  $c$  تمثل سرعة الضوء في الفراغ و  $n_0$  تمثل معامل الانكسار الخطي للمادة و  $n_2$  تمثل معامل الانكسار اللاخطي. أما  $Im(\chi^{(3)})$  تمثل الجزء التخيلي للتأثرية اللاخطية من المرتبة الثالثة و الذي يعبر عنه بدلالة معامل الامتصاص اللاخطي  $(\beta)$  و الذي يعطى بالمعادلة الآتية [92]:

$$Im(\chi^{(3)})(e.s.u) = 10^{-2} \frac{\epsilon_0 n_0^2 c^2 \lambda \beta}{4 \pi^2} \dots \dots \dots (17 - 2)$$

### ٢ - ٣ - ١ - ١ الامتصاص اللاخطي Nonlinear Absorption

يعرف على انه نوع من انواع الامتصاص الذي يحدث عند الشدات العالية مثل شدة الليزر إذ انه يشير إلى التغيير في النفاذية كدالة للشدة الساقطة على المادة [11]. و هنالك العديد من التأثيرات المختلفة التي تنتج بواسطة الامتصاص اللاخطي منها:

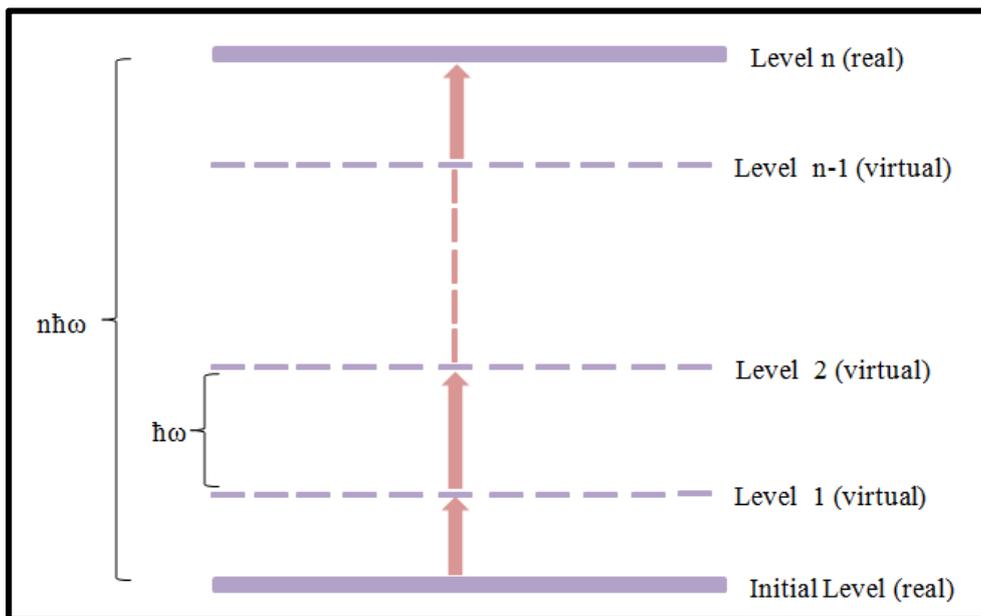
### ٢ - ٣ - ١ - ١ امتصاص متعدد الفوتونات Multi-Photon Absorption

إنّ هذا النوع من الامتصاص هو عملية من المراتب العليا يتم فيها امتصاص فوتونين او اكثر فهي بذلك تشير الى امتصاص  $(n)$  من الفوتونات من حزمة مفردة او اكثر من حزمة. كما مبين في الشكل (1-2) حيث انه امتصاص فوتونات بمرتبة  $(n+1)$  يعطى بالمعادلة الآتية [11]:

$$\frac{dI}{dz} = -(\alpha + \gamma^{(n+1)} I^n) I \dots \dots \dots (18 - 2)$$

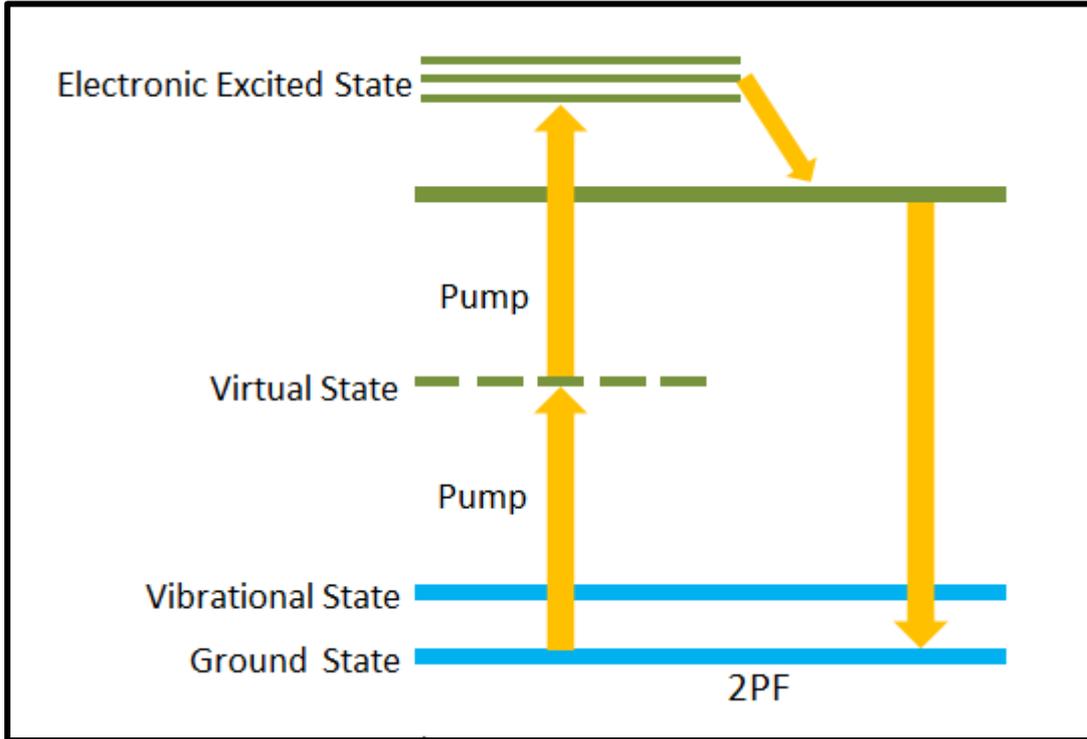
إذ تمثل:

$I$ : الشدة النافذة. و  $\gamma^{(n+1)}$ : معامل الامتصاص لفوتون بمرتبة  $(n+1)$ . و  $\frac{dI}{dz}$ : التناقص بشدة الضوء مع عمق الانتشار في ذلك الوسط.



الشكل (1-2) يوضح عمليات امتصاص متعدد الفوتونات (MPA) [١١]

و يُعد الامتصاص اللاخطي لفوتونين (TPA) Two Photon Absorption احد صور الامتصاص متعدد الفوتونات (MPA) و هو احد العمليات البصرية اللاخطية و يعرف على انه عملية الانتقال من المستوي الارضي الى المستوي المثييج العلوي Higher Excited State من خلال الامتصاص الانبي لفوتونين من الضوء الساقط على المادة الذي يمر بمستوى افتراضي Virtual State و كما موضح في الشكل ادناه (2-2) [94,11]:



الشكل (2-2) مخطط يوضح عملية امتصاص فوتونين TPA [11]

لذلك فإن الامتصاص اللاخطي في هذه الحالة يتناسب مع مربع الشدة كما في المعادلة الآتية [11]:

$$\frac{dI}{dz} = -\alpha I - \beta I^2 \dots \dots \dots (19 - 2)$$

إذ إن  $\alpha$  تمثل معامل الامتصاص الخطي و  $\beta$  تمثل معامل الامتصاص اللاخطي لفوتونين 2PA. و في حالة كون الشدة قليلة و غير كافية لإظهار الخواص البصرية اللاخطية يكون الامتصاص قليلا و بذلك تكون معادلة (19-2) بالشكل الآتي:

$$\frac{dI}{dz} = -\alpha I \dots \dots \dots (20 - 2)$$

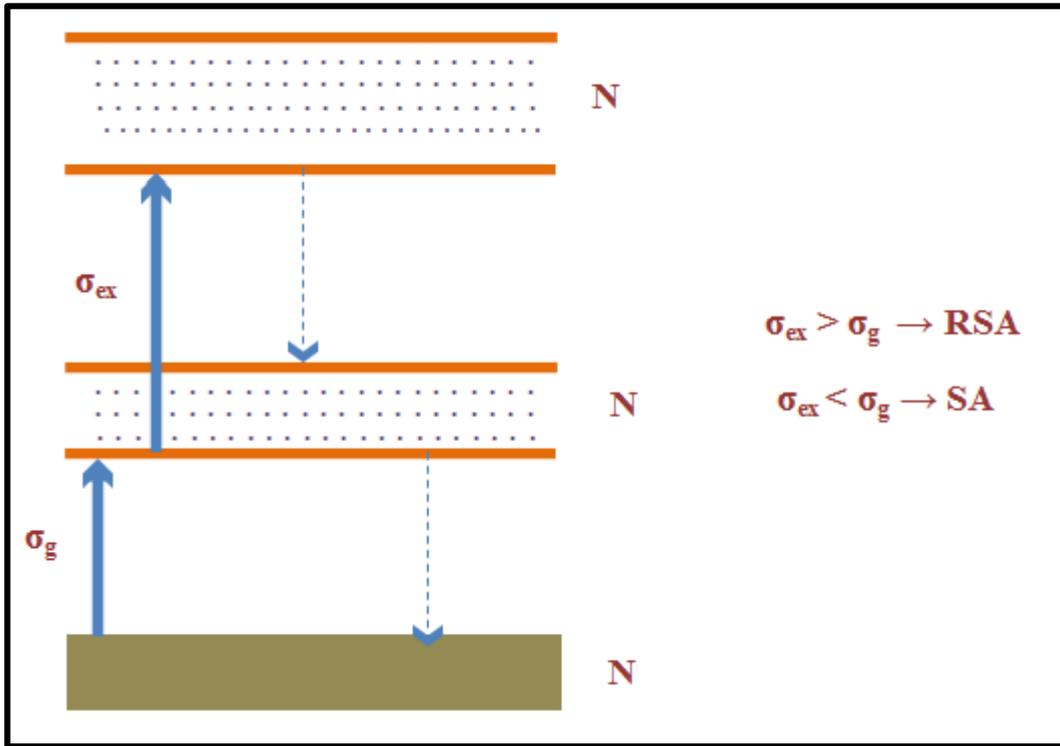
٢ - ٣ - ١ - ١ - ٢ الامتصاص المشبع العكسي:

### Reverse Saturable Absorption (RSA)

يحدث هذا الامتصاص في الحالة التي تكون فيها مساحة المقطع العرضي لامتصاص الحالة المثيجة  $\sigma_{Ex}$  اكبر من مساحة المقطع العرضي لامتصاص الحالة الارضية  $\sigma_g$  كما موضح في الشكل (3-2). و بذلك فان نفاذية المادة تقل عندما تزداد شدة حزمة الليزر و ان الحد الادنى من النفاذية الذي اكتشف من قبل Blau و اخرون يعطى بالمعادلة الآتية [95,96]:

$$T_{RSA} = (T)^{\sigma_2/\sigma_1} \dots \dots (21 - 2)$$

حيث تمثل T النفاذية الخطية.



الشكل (3-2) يتوضح مخطط لمستويات الطاقة لامتصاص العكسي المشبع (RSA) [96]

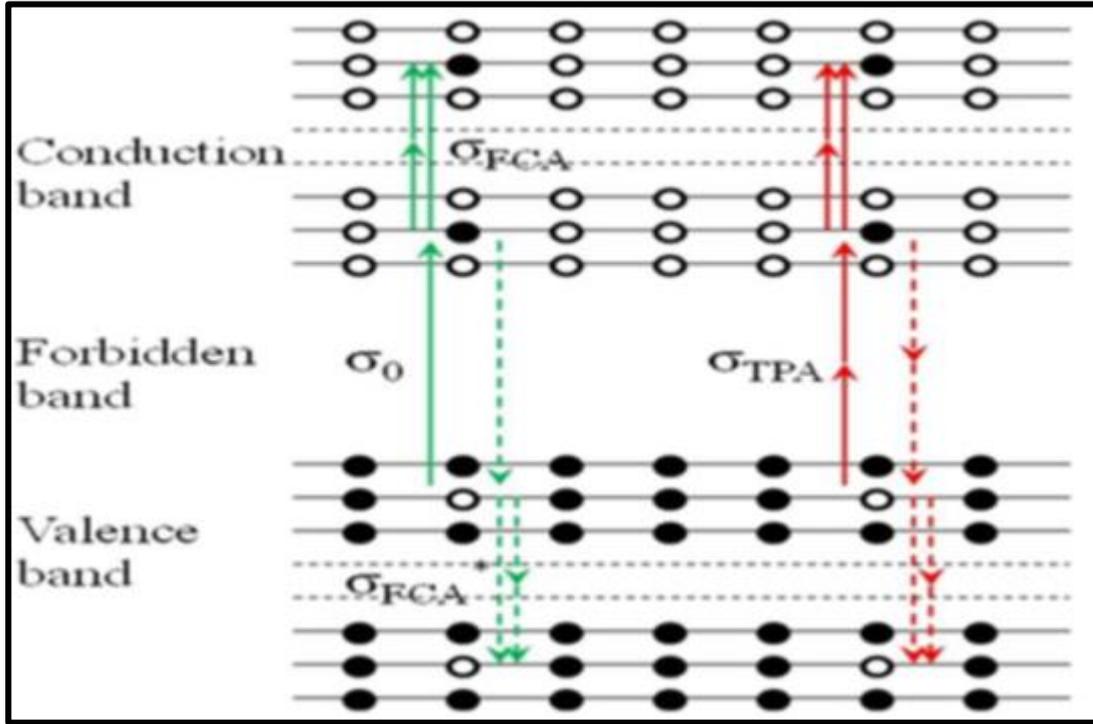
### ٢ - ٣ - ١ - ١ - ٣ امتصاص الناقل الحر

#### Free Carrier Absorption(FCA)

في اشباه الموصلات يؤدي امتصاص المادة لفوتون سوف يحدث انتقال (الالكترونون او الفجوة) من الحالة المثيجة الى حالة مثيجة أخرى، إذ تتغير شدة الضوء بسبب هذه العملية و يعطى التناقص بالشدة بالعلاقة الآتية [97]:

$$\frac{dI}{dz} = -(\alpha + \sigma N)I \dots \dots (22 - 2)$$

حيث تمثل  $\alpha$  معامل الامتصاص الخطي و  $\sigma$  مساحة المقطع العرضي للناقلات الحرة و N كثافة الناقلات الحرة (الالكترونون ، فجوة).



الشكل (4-2) امتصاص الناقل الحر في أشباه الموصلات [97]

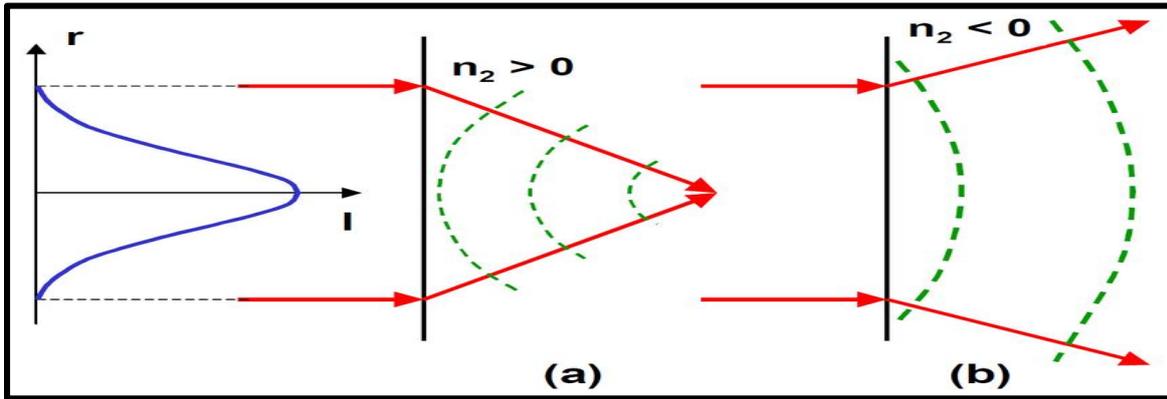
### Nonlinear Refraction ٢ - ١ - ٣ - ٢ الانكسار اللاخطي

الانكسار اللاخطي يعرف على انه التغيير الذي يحصل في معامل الانكسار للمادة تحت تأثير شدة عالية مثل حزمة الليزر و يُعد من اكثر التأثيرات البصرية اللاخطية اهمية كما في العديد من التطبيقات الالكتروبصرية و الفوتونية منها تطبيقات المفتاح البصري [98]. و يعطى بالمعادلة الآتية [92]:

$$n(I) = n_0 + n_2 I \dots \dots \dots (23 - 2)$$

عند تأثير شدة ليزر عالية فان التغيير في معامل الانكسار اللاخطي للمادة يمكن ان ينتج عنه العديد من التأثيرات، اهم هذه التأثيرات هو تأثير التنبير الذاتي (Self-Focusing) و التفريق الذاتي (Self-Defocusing) [99] ان لهذه التأثيرات اهمية كبيرة في تطبيقات المفتاح و المحدد البصري. فان تأثير التنبير الذاتي (Self-Focusing) هو عملية لا خطية تسبب تباينا مكانيا لشدة حزمة الليزر

و تقوم حزمة الليزر بتعديل الخصائص البصرية للمادة بطريقة تجعل الشعاع يركز داخل المادة إذ تعمل المادة كعدسة موجبة فإن حزمة الليزر تؤدي الى تغيير معامل الانكسار للمادة. و يكون معامل الانكسار في مركز الحزمة اكبر من محيطها و يمكن الحصول على التنبؤ الذاتي عندما يكون معامل الانكسار اللاخطي للمادة موجبا ( $n_2 > 0$  موجب) [100]. اما تأثير عدم التنبؤ الذاتي (Self-Defocusing) فان هذه العملية تعمل على زيادة تباعد حزمة الليزر، لذلك يؤدي الى اتساع حزمة الليزر و كذلك يؤدي الى تقليل النفاذية و تعمل المادة كعدسة سالبة ( $n_2 < 0$  سالب) [101,102] و شكل ادناه يوضح تأثير التنبؤ الذاتي و عدم التنبؤ الذاتي.



الشكل (5-2) يوضح تأثير Self-Focusing و تأثير Self-Defocusing لحزمة كاوسية [103]

### Self-Phase Modulation

### ٢ - ٣ - ١ - ٣ تعديل الطور الذاتي

تعديل الطور الذاتي عبارة عن تأثير لاخطي متشابه من الدرجة الثالثة تمت ملاحظتها مبدئيا في عام 1981 للبلورات السائلة و تُعد طريقة نموذجية و تقريبية لقياس الاستجابة اللاخطية للمواد منخفضة الابعاد [104]. يكمن الاصل في هذه الظاهرة لقابلية حزمة الليزر على احداث تغييرات ملموسة في معامل انكسار الوسط بطريقة تعتمد على شدة حزمة الليزر [100]. هذه التغييرات تؤدي الى تغييرات في الطور حزمة الليزر مما يؤدي إلى ظهور حلقات الحيود بعد خروج الحزمة من النموذج. لكون توزيع حزمة الليزر يكون متغير في المقطع العرضي، لذلك يكون لتغير الطور اعتماد مكاني عرضي، مما يسبب تشوه مقدمة الموجة. وبالتالي فإن تغيير الطور المكاني يكون مسؤول عن الظواهر البصرية غير الخطية المعروفة مثل التنبؤ الذاتي و التفريق الذاتي لحزمة الليزر. كذلك يمكن أن يؤدي إلى تكوين حلقات متمركزة متعددة في الحزمة التي عانت حيود إذا كان SPM كبيرا بدرجة كافية [105].

### Cross Phase Modulation

### ٢ - ٣ - ١ - ٤ تعديل الطور المتقاطع

(XPM)

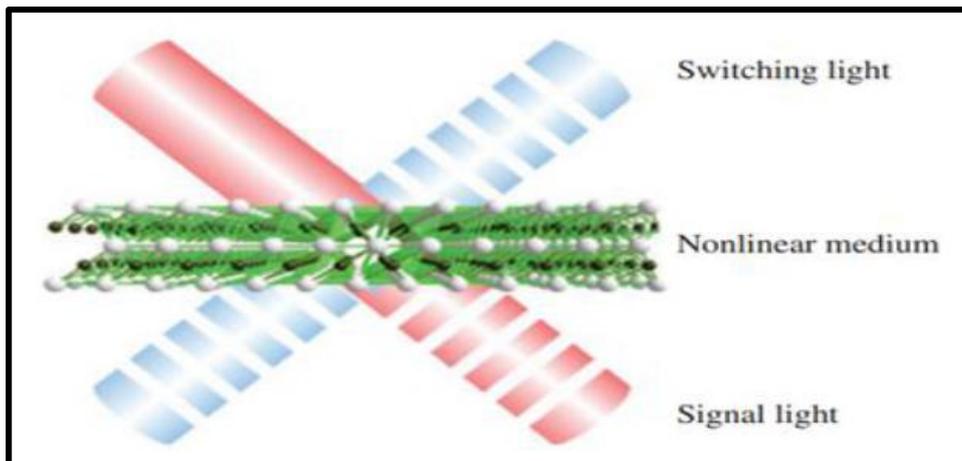
يعرف بأنه تأثير بصري لاخطي من الدرجة الثالثة يمكن التحكم في طور المجال البصري بواسطة مجال آخر ويتم تطبيقه بصورة كبيرة لتحويل التردد للإشارات عالية السرعة و التصوير البيولوجي [١٠٦]. و يمكن الكشف تعديل الطور المتقاطع (XPM) من خلال قياس التداخل او من خلال التغيير الطيفي الناتج عن اشارة حزمة ليزر الضخ عالية القدرة التي تتغير مع الزمن [١٠٧]. و يعد تعديل الطور (XPM) مشابه لـ (SPM) من حيث الاعتماد على تغيير معامل الانكسار اللاخطي المعتمد على الشدة [١٠٨].

ومبدأ عمل هذه الطريقة هو عندما يكون حزمة ليزر الإشارة ذات القدرة الضعيفة مع حزمة ليزر الضخ عالية القدرة يدخلان في وسط لاخطي، فإن حزمة الضخ تعمل على توليد تأثير Kerr البصري و تغيير معامل الانكسار اللاخطي للوسط ويحفز على تعديل الطور لحزمة ليزر الإشارة. مثل هذا الاستخدام كفعل متبادل لليزر الإشارة و ليزر الضخ لتوليد تأثير Kerr البصري وعملية تعديل الطور يسمى تأثير Kerr البصري المعدل بفعل الطور (XPM) ، ويسمى أيضاً تأثير Kerr البصري المتبادل. في بعض الاحيان، تسمى هذه الطريقة لإنتاج تأثير كبير البصري طريقة مسبار (دليل) الضخ. في تأثير Kerr البصري XPM، يمكن أن يأخذ ليزر الضخ و ليزر الإشارة تردداً مختلفاً (أو اتجاه استقطاب مختلف). بشكل عام، يتم اختيار تردد ليزر الضخ في منطقة ذات اعلى احتمالية امتصاص خطي للوسط، يتم اختيار تردد ضوء الإشارة في منطقة خارج حزمة الامتصاص الخطي للوسط [109].

### Optical switching

### ٢ - ٣ - ١ - ٥ المفتاح البصري

يمكن التعبير عنه على أنه تحكم حزمة ليزر ذات شدة عالية (Pump Laser) بحزمة ليزر آخر ذات شدة اقل (Probe Laser) عند تفاعلها داخل وسط لاخطي. إذ يتمكن (Pump Laser) ذو الشدة العالية من اظهار الخواص اللاخطية للمادة و يقوم (Probe Laser) بقراءة التغييرات التي يحدثها ليزر الضخ كما في الشكل (2-6) تعتمد هذه التقنية على الاستجابة اللاخطية من المرتبة الثالثة للمادة [110].



الشكل (2-6) مخطط توضيحي لعمل المفتاح البصري [110]

## ٢ - ٣ - ١ - ٥ - ١ تطبيقات المفاتيح البصري Optical switch applications

- ١- يستعمل في شبكة الاتصالات الضوئية [111].
- ٢- تطبيقات التحكم البصري عن بعد و انظمة الحماية و كذلك في استعادة الاشارة [111].
- ٣- يستعمل في تحديد و مراقبة موقع العطل في نقل الالياف عبر انظمة اختبار الالياف عن بعد [111].
- ٤- في نظام الحوسبة و الاتصالات [112].

## ٢ - ٤ تقنيات قياس الخواص اللاخطية

### Techniques for Measuring Nonlinear Properties

باعتبار البصريات اللاخطية فرعا من فروع البصريات الحديثة فقد تطورت البصريات اللاخطية و اصبحت اداة رئيسية استخدمت على نطاق واسع لغرض توصيف المواد [113]. و ان اجهزة الليزر قليلة الطاقة للتطبيقات في المعدلات و اجهزة الاستشعار البصرية و المفاتيح البصرية و من اجل قياس و تحديد المعلمات البصرية اللاخطية تم اقتراح و اكتشاف طرق عدة منها [114]:

- ١- خلط اربع موجات Four Wave Mixing [115].
- ٢- المسح على المحور Z Z-scan [116].
- ٣- تعديل الطور الذاتي المكاني Spatial Self-Phase Modulation [117].
- ٤- تقنيات التصوير اللاخطي Nonlinear Imaging Techniques [118].

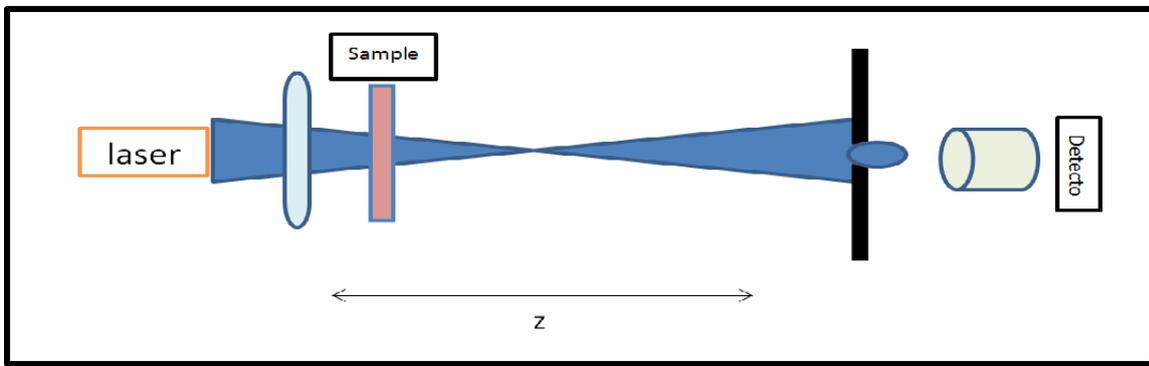
في هذه الدراسة سيتم قياس الخواص اللاخطية باستعمال تقنية Z-scan و تقنية Spatail Self-Phase Modulation (SSPM).

### Z-scan Technique

### ٢ - ٤ - ١ تقنية المسح على المحور Z

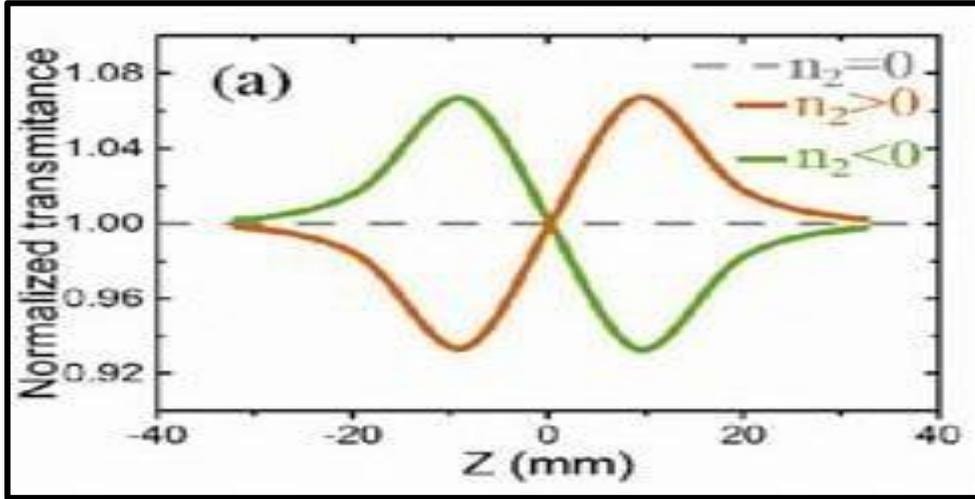
تُعد تقنية تجريبية بسيطة لقياس الخواص البصرية اللاخطية من المرتبة الثالثة للمواد اللاخطية و تم استعمال هذه التقنية بصورة اساسية من قبل Mansoor Sheik Bahae. جعلت البساطة و الدقة في قياساتها، طريقة المسح على المحور البصري طريقة أساسية لقياس الخواص البصرية اللاخطية كالانكسار اللاخطي (n<sub>2</sub>) Nonlinear Refraction و الامتصاص اللاخطي Nonlinear

( $\beta$ ) Absorption [119,120]. و يكون مبدأ عمل هذه التقنية سيتم مسح العينة آليا على طول المحور (z) لحزمة كاوسية TEM<sub>00</sub> [121] و عندما تمر حزمة الليزر عبر نموذج لاخطي ستتغير شدتها عند حركة النموذج على طول المحور (Z) و ذلك بسبب ان النموذج يكون تحت تاثير شدات ليزر مختلفة تعتمد على الموضع (Z) و تكون اعلى شدة لحزمة الليزر عند الموضع بالمنطقة البؤرية (Z=0) و هذه الطريقة تتم من خلال حساب النفاذية كدالة للموضع (Z)، و هناك نظامين لطريقة المسح البصري، هما نظام الفتحة المغلقة الذي يتم من خلاله الكشف عن الانكسار اللاخطي ( $n_2$ ) و النظام الاخر هو نظام الفتحة المفتوحة الذي يكشف عن الامتصاص اللاخطي ( $\beta$ ) [120,122]. كما يوضح الشكل (7-2) مخطط لتقنية Z-scan.



الشكل (7-2) مخطط مبسط لنظام الفتحة المغلقة لتقنية Z-scan

فعند استعمال نظام الفتحة المغلقة Closed Aperture يتم تحريك النموذج بدءا من المجال البعيد عن البؤرة متجاها باتجاهها سيتغير شكل الحزمة كلما تحرك النموذج و كذلك تتغير الشدة المسلطة لنفترض ان المادة المستخدمة ذات معامل انكسار لاخطي سالب ( $n_2 < 0$ ) فعندما يتحرك النموذج (اللاخطي) من المجال البعيد باتجاه البؤرة فعند بداية الحركة تكون شدة الليزر المسلطة قليلة وذات تاثير خطي، و ذلك بسبب ان النموذج خارج بؤرة حزمة الليزر و كلما تحرك النموذج نحو البؤرة تبدأ الشدة بالتزايد لحين الوصول الى بؤرة الحزمة، أي يبدأ النموذج على تبئير او تفريق حزمة الليزر و التي تكون فيها الشدة المسلطة و النفاذية اللاخطية أعلى ما يمكن بسبب تولد عدسة كير الحرارية (Thermal Kerr Lens) وعند تحريك النموذج إلى المجال القريب سيحدث نفس السلوك المذكور مسبقا. و هذا عند استعمال مادة ذات معامل انكسار لاخطي سالب القيمة اي يعمل على تباعد (تفريق) حزمة الليزر ( $n_2 < 0$ , Self-Defocusing) اي يكون منحنى النفاذية اللاخطية قمة متبوعا بقعر اما عند استخدام مادة ذات معامل انكسار لاخطي موجب القيمة هذه المادة تعمل على تبئير حزمة الليزر ( $n_2 > 0$ , Self-Focusing) في المجال البعيد أي يكون منحنى النفاذية اللاخطية عند استعمال هذه المادة قعرا متبوعا بقمة [123,124].



الشكل (8-2) يمثل منحني تقنية Z-scan [125]

من خلال ايجاد الفرق للنفاذية الطبيعية من القمة الى القعر يمكن حساب معامل الانكسار اللاخطي و الذي يعطى بالعلاقة الآتية [126]:

$$n_2 = \frac{\Delta\Phi_0}{(I_0 L_{eff} K)} \dots \dots \dots (24 - 2)$$

تمثل كل من  $I_0$ : الشدة الساقطة. و  $\Delta\Phi_0$ : الازاحة اللاخطية للطور على المحور عند البؤرة.  $K = \frac{2\pi}{\lambda}$  حيث ان  $K$  يمثل العدد الموجي و  $\lambda$  تمثل الطول الموجي لحزمة الليزر [120]. و ان

$$\Delta T_{P-V} = 0.406 (1 - S)^{0.25} |\Delta\phi_0| \dots \dots \dots (25 - 2)$$

إذ تمثل  $\Delta T_{P-V}$ : التغيير في النفاذية الطبيعية بين القمة و القعر و يساوي  $|T_P - T_V|$  [127].  
 إذ تمثل  $S$  النفاذية الخطية للفتحة و التي تعطى بالعلاقة التالية :

$$S = 1 - \exp\left(\frac{-2 r_a^2}{w_a^2}\right) \dots \dots \dots (26 - 2)$$

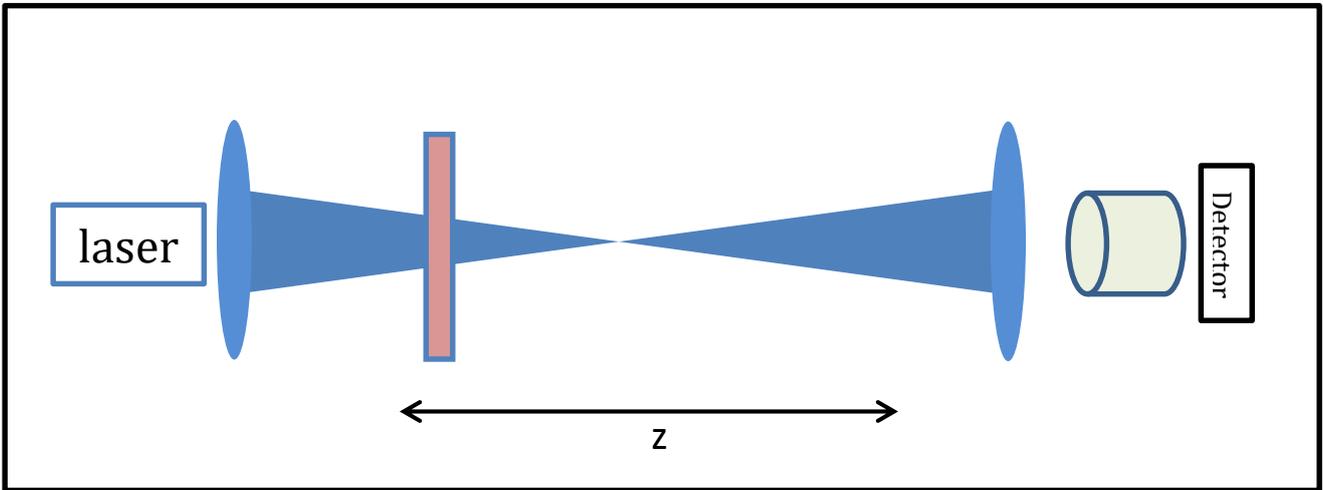
إذ  $r_a$  هو نصف قطر الفتحة و  $w_a$  هو نصف قطر حزمة الليزر عند الثقب.  
 و ان  $L_{eff}$  يمثل الطول الفعال للنموذج و الذي يمكن كتابته بالمعادلة الآتية [120]:

$$L_{eff} = \frac{(1 - e^{-\alpha_0 l})}{\alpha_0} \dots \dots \dots (27 - 2)$$

و يمكن حساب الشدة عند النقطة المركزية باستعمال المعادلة الآتية [126]:

$$I_0 = \frac{2P_{peak}}{\pi w_0^2} \dots \dots \dots (28 - 2)$$

إذ إن  $w_0$  تمثل نصف القطر لحزمة الليزر عند المركز،  $P$  تمثل قدرة الليزر. وعند استخدام نظام الفتحة المفتوحة اي نقوم برفع الثقب كما موضح في الشكل (9-2) مما يجعل عملية المسح البصري غير حساس لتأثير الانكسار اللاخطي اي ( $S=1$ ).



الشكل (9-2) مخطط مبسط لنظام الفتحة المفتوحة في تقنية Z-

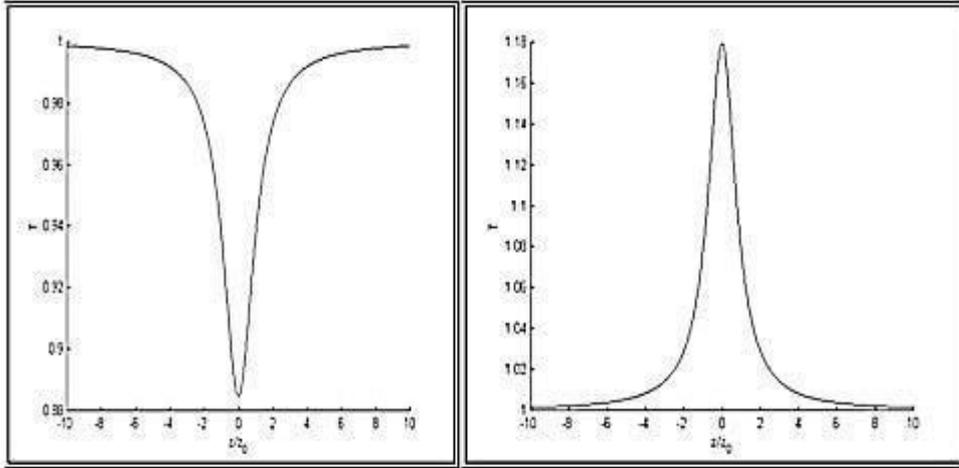
نظرًا لأن توزيع كثافة الحزمة الكاوسية متماثل حول البؤرة عندما يكون الامتصاص اللاخطي قليل جدًا فيمكن إهماله، بسبب قدرة التهيج الواطئة وغير الكافية لظهور تأثير الامتصاص اللاخطي كون مساحة المقطع العرضي لحزمة الليزر كبيرة سواء كان النموذج في المجال القريب او البعيد عن المواضع القريبة من بؤرة الحزمة والتي تكون فيها شدة الليزر ذات تأثير عالي وكلما تحرك النموذج نحو البؤرة تبدأ الشدة في تزايد الى ان يصل النموذج الى احد المواضع التي تكون فيها شدة الحزمة عالية وكافي لظهور تأثير الامتصاص اللاخطي المعطى في العلاقة التالية [124]:

$$\alpha(I) = \alpha + \beta I \dots \dots \dots (29 - 2)$$

فعند اراحة النموذج اللاخطي من المنطقة التي تكون فيها الشدة واطئة ( $-Z$ ) من المجال القريب إلى المجال البعيد ( $+Z$ ) مروراً ببؤرة الحزمة ( $Z = 0$ ) التي تكون فيها شدة حزمة الليزر عالية وكافية لإظهار تأثير الامتصاص اللاخطي ونتيجة لتغيير الشدة يمكن أن يحصل احد التأثيرين هما الامتصاص اللاخطي المشبع أو الامتصاص اللاخطي العكسي المشبع نلاحظ من الشكل (٢-١٠)

(ab) عندما يكون منحنى الامتصاص أعلى ما يمكن عند الموضع ( $Z = 0$ ) يكون للمادة امتصاص مشبع ( $\beta - SA$ ) كما موضح في الشكل (١٠-٢)، ولكن عندما يكون الامتصاص أقل ما يمكن في منطقة ( $Z = 0$ ) يكون للمادة امتصاص عكسي مشبع ( $\beta + RSA$ ) وكما موضح في الشكل (١٠-٢) [92]. يمكن حساب معامل الامتصاص اللاخطي من العلاقة الآتية [128]:

$$\beta \left( \frac{\text{cm}}{\text{W}} \right) = \frac{2\sqrt{2}}{I_0 L_{\text{eff}}} \Delta T \dots \dots \dots (30 - 2)$$

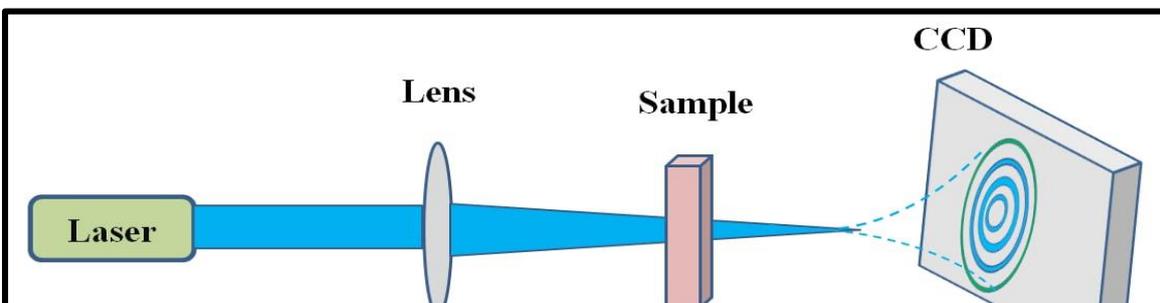


الشكل (10-2) يوضح منحنى النفاذية لتقنية Z-scan ذو الفتحة المفتوحة (a) امتصاص مشبع Saturable Absorption (b) امتصاص عكسي مشبع Reverse Saturable Absorption [129]

### ٢ - ٤ - ٢ تقنية تعديل الطور الذاتي

### Spatial Self-Phase Modulation Techniques

هي تقنية يتم استخدامها للكشف عن التأثيرات اللاخطية من الرتبة الثالثة لدراسة الخصائص اللاخطية للمواد منخفضة الأبعاد. و اساس هذه التقنية هو توليد حلقات الحيود عندما يحدث تغيير في الطور المكاني لحزمة الليزر و تحدث عندما تتفاعل حزمة الليزر مع وسط لاخطي و تعمل هذه الظاهرة على تغيير الاستقطاب للوسط الذي تمر من خلاله الحزمة مولدة بذلك عدة تغييرات لاخطية، بسبب تأثير كير البصري (Kerr effect) و جميع تلك التغييرات تعمل على اختلاف و تغيير بالطور المكاني للحزمة المارة، بسبب تغيير معامل الانكسار اللاخطي للوسط، و كذلك التداخل الذي يحصل في حزمة الليزر عند مرورها في الوسط. و بذلك ينتج عنها حلقات حيود متحدة المركز في المجال البعيد [130]. و الشكل (11-2) يوضح تقنية تعديل الطور الذاتي المكاني.



و ان تحول الطور الذاتي اللاخطي  $\Delta\varphi$  يرتبط بشدة الليزر و يعطى بالمعادلة الآتية [131]

$$\Delta\varphi = \left(\frac{2\pi n_0}{\lambda}\right) \int_0^{L_{eff}} n_2 I(r, z) dz \dots \dots \dots (31 - 2)$$

إذ إنّ  $\lambda$  الطول الموجي لليزر ،  $L_{eff}$  يمثل طول الانتشار البصري الفعال ،  $I(r, z)$  توزيع الشدة. و يمكن ايجاد  $L_{eff}$  من المعادلة الآتية [132]:

$$L_{eff} = \int_{L_1}^{L_2} \left(1 + \frac{z^2}{z_0^2}\right)^{-1} dz = z_0 \arctan\left(\frac{z}{z_0}\right) \Big|_{L_1}^{L_2} \dots \dots \dots (32 - 2)$$

إذ  $z_0$  طول رايلي،  $z$  طول الانتشار،  $L_1, L_2$  المسافة بين السطح الامامي او السطح الخلفي للخلية و البؤرة الضوئية. و يمكن التعبير عن ازاحة الطور للحزمة الكاوسية بالمعادلة الآتية [132]:

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi_0 \exp\left(\frac{-2r^2}{a^2}\right) \dots \dots \dots (33 - 2)$$

إذ إنّ  $a = 1/e^2$  نصف قطر الحزمة، و يمكن تحديد معامل الانكسار في هذه الحالة من خلال ايجاد عدد حلقات الحيود المتكونة باستعمال المعادلة ادناه [133]:

$$n_2 = (N + \delta) \frac{\lambda \alpha C}{0.868 n_0 I_0 \left(1 - e^{-\frac{\alpha C L}{0.434}}\right)} \dots \dots \dots (34 - 2)$$

إذ تمثل  $\lambda$  طول موجي لليزر المستعمل،  $L$  الطول التوهين، و  $N$  عدد الحلقات، و  $C$  تركيز المادة،  $\alpha$  معامل الامتصاص،  $\delta$  نسبة الخطا النسبي.

و يظهر تأثير SSPM سلوك الانهيار الذي يعتمد على الشدة و يظهر ذلك عند زيادة شدة الليزر التي يتم تسليطها. و يمكن وصف مدى الانهيار من خلال تغيير زاوية الحيود التي تتشكل للعينة قيد الفحص و عندما يظهر تأثير SSPM سوف تتشكل سلسلة من حلقات الحيود خلف العينة و يمكن وصف زاوية التشوه من خلال المعادلة الآتية [132]:

$$\theta_D = \theta_H - \theta'_H = \frac{R_H}{D} - \frac{R'_H}{D} = \frac{R_D}{D} \dots \dots \dots (35 - 2)$$

إذ  $R_H$  يمثل أقصى نصف قطر للحيود،  $\theta_H$  أقصى زاوية نصف للحيود. و يمكن التعبير عن  $\theta_D$  بالعلاقة التالية [132]:

$$\theta_D = \theta_H - \theta'_H = (n_2 - n'_2) IC = \Delta n_2 IC \dots \dots \dots (36 - 2)$$

و عند ازالة أقصى نصف زاوية للتشويبه  $\theta'_H$  في الحالة المستقرة. يمكن الحصول على العلاقة بين التغيير في معامل الانكسار اللاخطي و أقصى زاوية نصف حيود من خلال المعادلة الآتية :

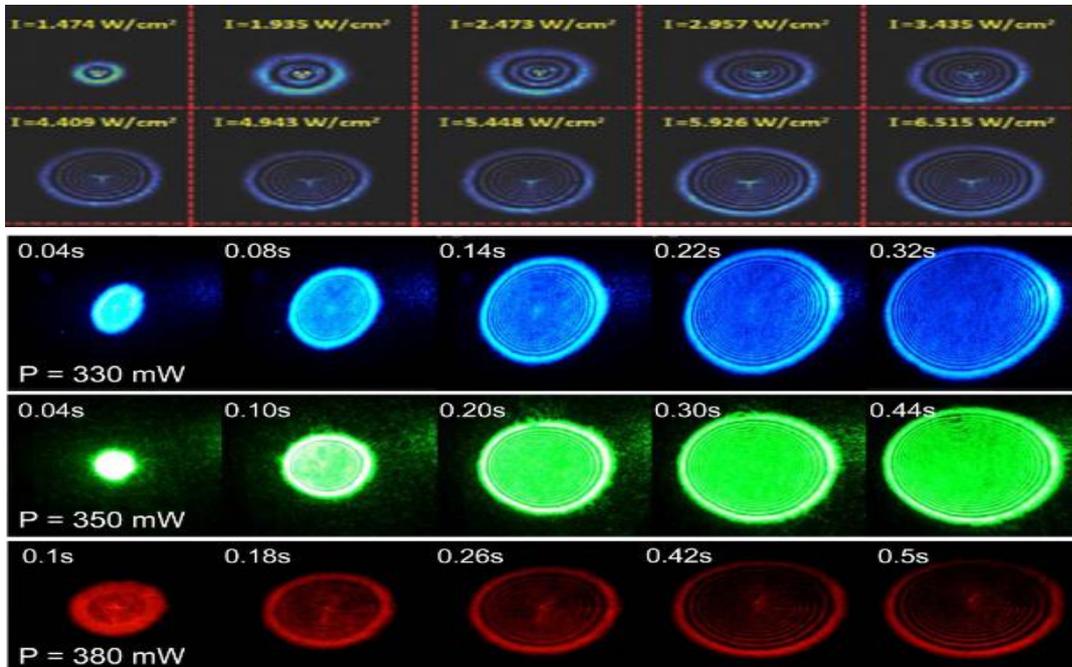
$$\frac{\Delta n_2}{n_2} = \frac{\theta_D}{\theta_H} \dots \dots \dots (37 - 2)$$

يوجد تأثيران لانماط حلقات الحيود:

١- تزداد حلقات الحيود و نصف قطرها عند زيادة شدة الليزر. كما موضح في الشكل (12-2) [134].

٢- تتغير الحلقات مع الزمن حيث تزداد في البداية و بعدا تصبح الحلقات غير متناظرة ، كما موضح في الشكل (12-2) [135]

في الية SSPM هناك عدد من العوامل التي تؤثر على حلقات الحيود مثل موضع العينة بالنسبة لحزمة الليزر و شكل الشعاع والشدة [136].



الشكل (12-2) يوضح انماط حلقات الحيود بشدات مختلفة و عند زمن مختلف [135,136]

## ٢ - ٥ حيود الاشعة السينية (X-Ray Diffraction(XRD)

يُعد حيود الأشعة السينية أحد الطرق لدراسة البنية البلورية للمواد التي يتم دراستها. الأشعة السينية تستعمل لمعرفة التركيب البلوري للأغشية الرقيقة و من خلال دراسة نمط حيود الأشعة السينية و معرفة مواقع القمم (Peaks) يمكن من خلال تحديد طبيعة التبلور و إيجاد الاتجاهات السائدة التي تظهر عندما يتم تسليط أشعة سينية بزوايا معينة على سطح الغشاء و نتيجة لانعكاس براك على السطوح البلورية المتوازية التي يحصل عندها تداخل بناء (Constructive Interference) [137] إذ تمكن العالم (Bragg) بان يفرض نموذج بسيط للتركيب البلوري ليتمكن من خلاله معرفة نمط حيود الأشعة السينية من البلورة بعد سقوطها عليه. و قانون براك هو قانون مميز و بسيط و يُعد أساسياً يمكننا من تحليل بيانات الحيود و هذا القانون يربط زاوية الحيود بالطول الموجي للأشعة السينية و المسافة  $d$  بين مستويات الذرات/الأيونات/الجزئيات في الشبكة. و ينص هذا القانون على انه فرق المسار البصري بين أي شعاعين منعكسين يساوي عددا صحيحا من الطول الموجي. و يعطى قانون براك من خلال المعادلة الآتية [138]

$$n \lambda = 2 d_{hkl} \sin\theta \dots\dots (38 - 2)$$

حيث ان:

$n$  : يمثل عدد صحيح و يسمى برتبة التداخل ( $n=1,2,3,\dots$ ).

$\lambda$  : يمثل الطول الموجي للأشعة السينية.

$d_{hkl}$  : المسافة البينية.

يحدث حيود براك فقط عندما يكون الطول الموجي ( $\lambda$ ) اصغر او مساوي لضعف المسافة البينية

( $d_{hkl}$ ) بين مستويين متعاقبين. و شرط براك هو:  $\lambda \leq 2d_{hkl}$ .

## ٢ - ٥ - الحجم البلوري (C.S) Crystalline Size

من خلال المعلومات التي يتم الحصول عليها من خلال نمط الحيود يمكن ان نجد المعدل الذي تنمو به البلورات داخل الشبكة البلورية. فيمكن إيجاد معدل الحجم الحبيبي (G.S) باستعمال معادلة

شيرر (Scherr's Formula) باستعمال المعادلة الآتية [139]

$$C.S = \frac{0.94 \lambda}{\beta \cdot \cos \theta} \dots\dots (39 - 2)$$

إذ إن  $\beta$  يمثل عرض المنحني عند منتصف القمة (FWHM).

## Pulse Laser Ablation

## ٢ - ٦ الاستئصال بالليزر النبضي

في عام ١٩٦٠ لأول مرة تم استعمال طريقة الاستئصال الليزري عندما اصبح ليزر الياقوت يستعمل في التطبيقات الصناعية و مع ازدياد الاهتمام في مجال النانو استخدمت طريقة الاستئصال الليزري و حصلت هذه الطريقة على اهتمام كبير كطريقة جديدة لإنتاج NPs و هذا يعود الى قدرتها على

انتاج انواع مختلفة من المواد النانوية منها ( اشباه الموصلات ، السبائك ، المعادن و غيرها) [140,141] و ان عملية الاستئصال بالليزر النبضي تم تطويرها لتحضير مواد نانوية مختلفة والتي تحدث عند استخدام محاليل سائلة مختلفة.

للحصول على مواد نانوية الحجم باستخدام عملية الاستئصال بالليزر النبضي من خلال تركيز نبضات الليزر على هدف مغمور في محلول سائل [142] و يمكن ان يكون الهدف المستخدم اما معدن او مسحوق تم كبسه. و يمكن ان تستخدم هذه المحاليل النانوية في تطبيقات الطب و الالكترونيات و البصريات و غيرها [143] و يتم تقسيم معلمات التحضير في هذه الطريقة الى مجموعتين هما:

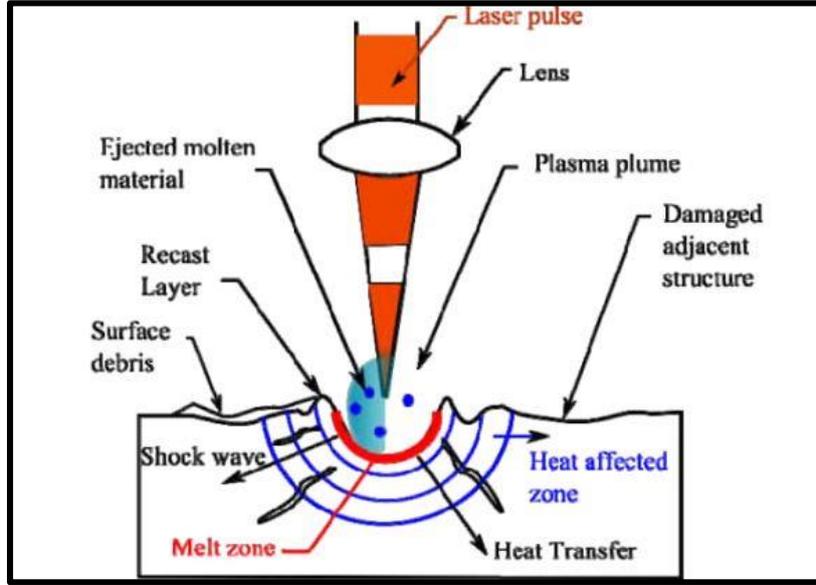
معلمات المواد المستخدمة ( الهدف ، المذيبات المستخدمة ، درجة الحرارة ، الضغط ) اما معلمات الليزر هي ( الطول الموجي ، الطاقة ، معدل التكرار ، عدد نبضات الليزر ، بؤرة الليزر المركزة على الهدف ) [144] .

## ٢ - ٦ - ١ ميكانيكية الاستئصال بالليزر النبضي في السوائل

### Mechanisms of Pulsed Laser Ablation in Liquid

عند تسليط نبضة الليزر على سطح مادة معينة (مادة الهدف)، بعض الطاقة تنعكس بواسطة السطح بنسبة تعتمد على مادة الهدف والطول الموجي المستخدم في الليزر [145]. اما الطاقة الممتصة من قبل مادة الهدف فانها تنتقل من الفوتونات البصرية الى الالكترونات ومن ثم الى الشبيكة التي من خلالها تنتشر الطاقة في المادة [146]. إن استعمال نبضات ليزر ذات طاقات عالية خارج حدود العتبة لمادة الهدف قد تسبب ردود فعل كيميائية و ضوئية ممكن ان تؤدي الى قشط الذرات والجزئيات من سطح المادة. حيث ان توزيع الحرارة على السطح نتيجة عملية القصف الليزري يمكن ان تصل الى درجات حرارة قريبة من درجة الحرارة الحرجة ( درجة التبخر) وهذه العملية تؤدي الى عملية تبخر سريع والتبخر هنا ينتج البلازما التي تتكون من ذرات متأينة والكترونات. وعند وجود نبضات ليزر متعاقبة، فإنه من الممكن ان تمتص سحابة البلازما بعض طاقة الليزر الساقطة وبالتالي سوف يصل جزء قليل من الطاقة الى سطح المعدن .

تكون البلازما على شكل فقاعة حيث ان توليدها يمر في عدة مراحل (التسخين والانصهار، الغليان الانفجاري ، التبخر ، وتشكيل البلازما ، التقشير ، الترديد، تحرير الجسيمات ) وتسخن المادة بواسطة امتصاص الفوتونات المتعاقبة ثم تنفجر الفقاعة نتيجة وجود مادة الهدف داخل السائل وبعدها فإن بخار المادة والجسيمات المتناثرة تبرد في الاوساط السائلة وتبدأ في التشكيل على شكل جسيمات نانوية اما بقية الطاقة فإنها تنتشر في المادة عن طريق انتقال الحرارة [145,146].



الشكل (13-2) طريقة الاستئصال بالليزر النبضي PLA [147]

## ٢ - ٦ - ٢ مميزات الاستئصال بالليزر النبضي في السوائل

### Specifications of Pulsed Laser Ablation in Liquid

ان عملية الاستئصال الليزري في السوائل لها عدة خصائص إذ إنها تنتج مواد نانوية بخطوة واحدة باستخدام محاليل سائلة مختلفة [148,149]. ان عملية PLA تتوافق مع مبادئ "الكيمياء الخضراء" و تعتبر طريقة صديقة للبيئة و تنتج جسيمات نانوية لا تحتوي على مواد كيميائية التي بإمكانها ان تؤثر على صحة الانسان [150,151] و انها تسمح بتطوير تقنية نانوية مستدامة. و تعتبر من اسرع الطرق و انظفها و هي منخفضة التكلفة لانتاج الجسيمات النانوية بحجم اقل من 100nm [152]. و على الرغم من المزايا التي تمتلكها هذه التقنية الا انها تمتلك بعض السلبيات منها: عادة ما يكون التوزيع الواسع لحجم للجسيمات النانوية NPs المنتجة و الذي يكون اوسع من التي يمكن الحصول عليها باحدث الطرق الكيميائية [153].

٣ - ١ مقدمة عامة

General

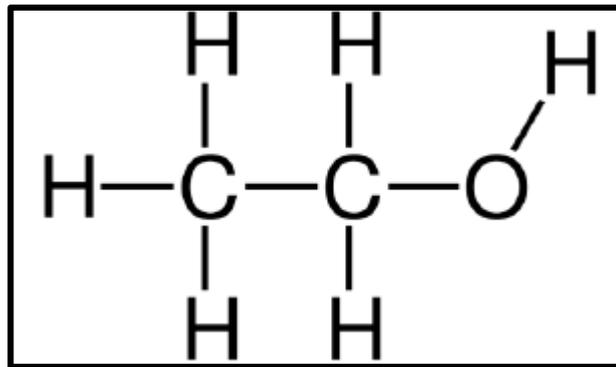
Introduction

يتضمن هذا الفصل تحضير المواد المستخدمة في هذا البحث و تقديم وصف عن الاجهزة و الادوات المستخدمة لاجراء قياس الخواص الخطية و التركيبية للعينات و كذلك تقديم الاعداد التجريبي المستخدم في اجراء الفحوصات اللاخطية باستعمال تقنية Z-scan و Spatial Self-Phase Modulation و كذلك تضمن المفتاح البصري المتكامل .

٣ - ٢ المذيبات المستخدمة The solvents used

٣ - ٢ - ١ الايثانول Ethanol

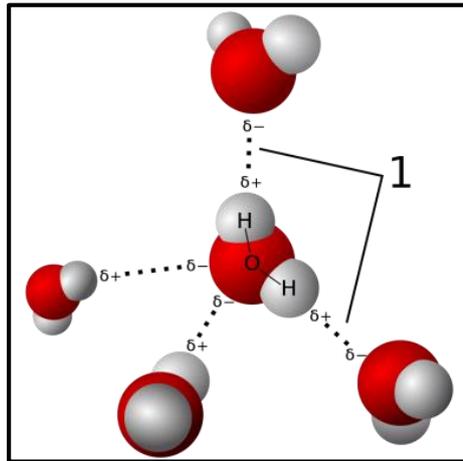
هو مركب كيميائي عضوي الصيغة الكيميائية له  $C_2H_6O$  و يسمى بـ Ethyl Alcohol و هو سائل متطاير ليس له لون و له رائحة مميزة خفيفة و قابل للاشتعال و يمكن ان انتاجه بصورة طبيعية عن طريق تخمير السكريات او عن طريق العمليات البتروكيميائية و يمكن استعماله كمطهر و معقم طبي و ايضا يستخدم كمذيب قطبي كيميائي و له استعمالات عديدة . يمكن مزجه مع الماء و مع العديد من المذيبات الأخر [154,155]. و للايثانول خواص فيزيائية تتبع من وجود مجموعة الهيدروكسيل و قصر اصرة الكربون الخاصة به ، و بإمكان مجموعات الهيدروكسيل هذه بالمشاركة في الاواصر الهيدروجينية و هذا يجعلها اقل تطاير و اكثر لزوجة من المركبات القطبية التي تمتلك اقل قطبية و الوزن الجزيئي نفسه . و إنّ الايثانول يعبر مذيب عام أي إنّ هيكله الجزيئي يسمح باذابه المركبات القطبية و غير القطبية و لان الايثانول يمتلك نقطة غليان منخفضة حوالي  $80C^0$  فيمكن ازالته من المحلول الذي تم استخدامه لاذابة المركبات بسهولة [156]. و له وزن جزيئي حوالي (46.07mg/mol) و كثافته الجزيئية  $(0.78945gm/cm^3)$  و الشكل (1-3) يوضح التركيب الجزيئي للايثانول .



الشكل (1-3) يوضح التركيب الجزيئي للايثانول [157]

### ٣ - ٢ - ٢ الماء Water

يعتبر الماء مركب قطبي غير عضوي و تكون قطبيته اعلى من الايثانول يكون سائل عديم الطعم و الرائحة في درجة حرارة الغرفة. و يكون عديم اللون تقريبا [158] و تكون صيغته الكيميائية  $H_2O$  و يحتوي على ذرات هيدروجين طرفية تكون قابلة لتكوين اواصر هيدروجينية و هي قطبية بقوة. و يمتلك وزن جزيئي حوالي  $18.0152 \text{ gm/mol}$  و كثافته الجزيئية  $0.099938 \text{ gm/cm}^3$  و تكون درجة الغليان له  $100C^\circ$  و الشكل (٢-٣) يوضح التركيب الجزيئي للماء. الماء جزيئة قطبية وتعمل أيضًا كمذيب قطبي عندما يقال عن نوع كيميائي أنه "قطبي" ، فهذا يعني أن الشحنات الكهربائية الموجبة والسالبة موزعة بشكل غير متساو. تأتي الشحنة الموجبة من نواة الذرة ، بينما تزود الإلكترونات بالشحنة السالبة. إنها حركة الإلكترونات التي تحدد القطبية، كذلك هو من المذيبات البروتينية القطبية حيث يمتلك الماء ثابت عزل عالي وعزم ثنائي القطب مرتفع، علاوة على ذلك ، نظرًا لأنه يمتلك اواصر O-H ، فيمكنه أيضًا المشاركة في الأواصر الهيدروجينية [159].



الشكل (٢-٣) يوضح التركيب الجزيئي للماء [160]

### Preparation of samples

### ٣ - ٣ تحضير العينات

#### $Fe_2O_3$ (Nano Fragment)

#### ٣ - ٣ - ١ شظايا اوكسيد الحديد

و هي عبارة عوالمق اوكسيد الحديد النانوية تم شراؤها من شركة PlasmaChem على شكل عوالمق نانوية في الماء و بعد ذلك تم تجفيفها و تحويلها الى عوالمق نانوية محددة التركيز في الايثانول من خلال خلط وزن معين من العوالمق المجففة بحجم معين من الايثانول. في هذا العمل بداية تم تحضير تركيز ( $0.2\text{mg/mL}$ ) من الجسيمات النانوية في الايثانول و تم وضعه في جهاز الموجات فوق

الصوتية (Ultra sonic) لعدة دقائق. بعد ذلك و من اجل عمل تراكيز مختلفة تم تخفيف الخليط الاصلي في الايثانول باستخدام المعادلة الآتية [161]:

$$C_1 V_1 = C_2 V_2 \dots\dots\dots(3-1)$$

الشكل (3-3) يوضح صور لعوالق الحديد النانوية مختلفة التراكيز في الايثانول.



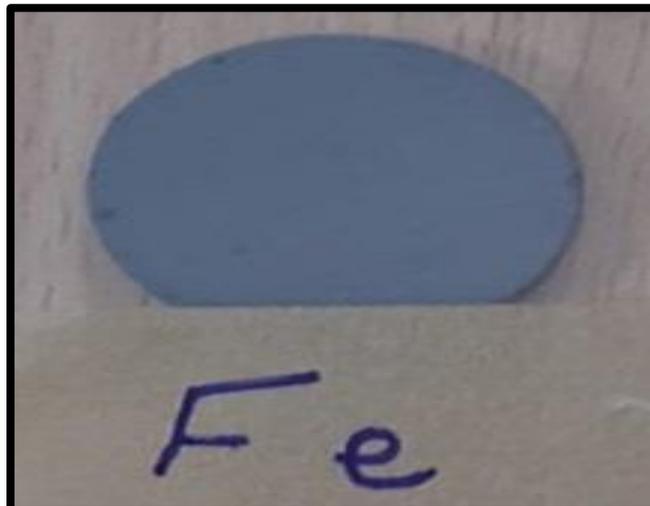
الشكل (3-3) عوالق  $Fe_2O_3$  النانوية بتراكيز مختلفة في الايثانول

### 3 - 2 - 3 ازالات الحديد الثلاثي النانوية Fe(III)oxalates Nanoparticles

تحضير هذه العينات تم من خلال الاستئصال الليزري في السائل و تضمنت هذه العملية خطوات عدة :-

#### 3 - 2 - 3 - 1 كبس العينات Compression of Samples

تم تحضير قرص من Fe من خلال كبس مسحوق الحديد ( $Fe, 99\%, 1\mu m$ ) المشتري من شركة (US Research Nanomaterials, Inc) باستخدام جهاز المكبس الهيدروليكي و هو عبارة عن جهاز يستخدم لغرض كبس العينات التي تكون بشكل مسحوق باستعمال ضغط عالي و هو مكون من قالب اسطواني بقطر (2cm) إذ توضع المادة بداخله من اجل كبسها و بتسليط ضغط عالي و يعتمد الضغط الذي يتم تسليطه على طبيعة المادة و كان الضغط المسلط في اعداد النموذج المستخدم في هذا البحث بحدود (30MPa) و كان سمك القرص (4mm) الشكل (3-4) يوضح عينة الحديد التي تم كبسها.



الشكل (4-3) العينة بعد كبسها

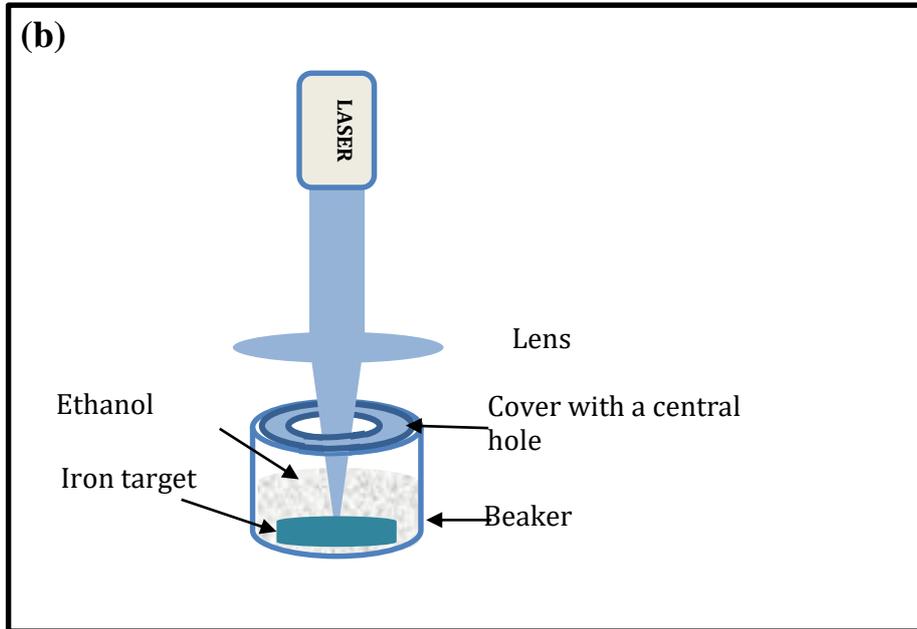
### ٣ - ٢ - ٢ منظومة الاستئصال بالليزر النبضي Pulse Laser Ablation System (PLA)

تم استعمال طريقة الاستئصال الليزري لتوليد Fe(III) Oxalate NPs كما موضحة في الشكل (٣-١٥):



الشكل (٣-١٥) يوضح جسيمات Fe(III) Oxalate NPs النانوية في سائل الايثانول بطريقة الاستئصال الليزري

لغرض اجراء عملية القشط الليزري تم وضع قرص Fe بحاوية زجاجية مغمورة في كحول الايثانول ومن ثم تم استخدام ليزر Nd-YAG بطول موجي (1064nm) و بطاقة ( 80mJ ) و ذو تردد (6Hz) مبنئ باستخدام عدسة ذات بعد بؤري (5cm) لتوليد الجسيمات إذ تم استعمال ١٠٠٠ نبضة لانتاج النموذج الاعلى تركيزا في هذا العمل و تمت تغطية الحاوية الزجاجية التي تحتوي على كحول الايثانول و قرص الحديد بورق المنيوم لمنع احتراق كحول الايثانول، لأنه سريع الاشتعال. الشكل (٣-١٥) يوضح مخطط لمنظومة الاستئصال الليزري.



الشكل (٣-٥ b) مخطط لعملية الاستئصال الليزري بالسوائل

و عندما تم تسليط طاقة (80mJ) ستعمل شدة الليزر العالية على تفكك جزيئات الايثانول مما يوفر فرصة ارتباط الجزيئات حديثة التكون مع جسيمات او ايونات الحديد المتناثرة من الهدف في المحلول مما يؤدي الى تكون جزيئات مادة اكسالات الحديد الثلاثية و التي سيتم تاكيد تكونها من خلال فحوصات حيود الاشعة السينية و فحوصات FTIR و فحص الامتصاص الخطي كما سيتم عرضه في الفصل الرابع.

### ٣ - ٤ دراسة الخواص اللاخطية Study of nonlinear properties

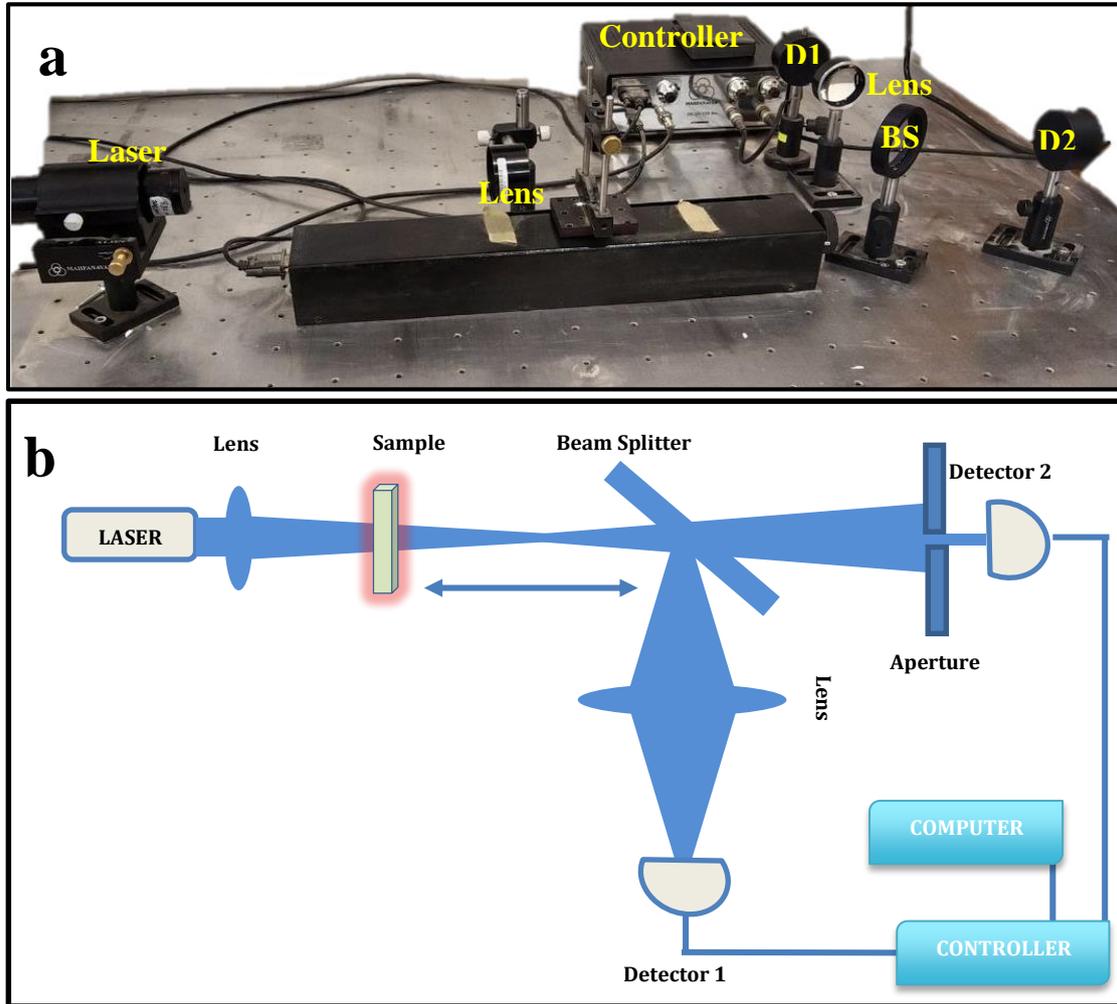
في هذا الجزء سيتم عرض التقنيات المستخدمة لدراسة الخواص اللاخطية للنماذج.

#### ٣ - ٤ - ١ تقنية المسح على المحور z Z-scan technique

تم استعمال تقنية Z-scan للكشف عن الخواص اللاخطية. الشكل (٣-٦) يوضح اجزاء تقنية Zscan المجهزة من قبل شركة (MAHFANAVAR) و الاجزاء التي تتكون منها هذه التجربة هي :

- ١- ليزرات باطوال موجية مختلفة ذات نمط مستمر (CW).
- ٢- موهنات بصرية تستخدم للتحكم بشدة الليزر التي تسقط على العينة.
- ٣- عدسة تمتلك بعد بؤري (8.5) cm.

- ٤- مجزء حزمة Beam Splitter لتقسيم حزمة الليزر للكاشفين.
- ٥- كواشف سليكونية تستعمل لغرض الكشف عن الخواص اللاخطية و هما:
- (a) الكاشف الاول يكون بعد Beam Splitter بصورة مباشرة و يكون ذو ثقب بقطر حوالي (1mm) و يستعمل للكشف عن الانكسار اللاخطي.
- (b) الكاشف الثاني يكون بعد (Beam Splitter) و يستعمل للكشف عن الامتصاص اللاخطي.
- ٦- تحتوي المنظومة أيضاً على عدسة قبل كاشف الامتصاص اللاخطي NLA تستخدم لتجميع حزمة الليزر.
- ٧- و لنقل الاشارة من الكواشف الى جهاز التحكم تم استعمال اسلاك توصيل و بدوره يرتبط بسلك USB بجهاز حاسبة.
- ٨- يحتوي جهاز (Controller) على منفذين لتوصيله بالكواشف و (Regulator) يتم من خلاله التحكم بتقليل او زيادة الحساسية للكواشف تبعاً الى نفاذية العينة المستخدمة.
- في البداية يتم وضع النموذج في خلية كوارتز بسلك (1mm) وبعدها يتم تحريك النموذج عبر برنامج حاسوبي من المجال القريب z+ مرورا بالبؤرة ثم إلى المجال البعيد z- كي يتسنى لنا الكشف عن تغيرات حجم الحزمة في المجال البعيد وقياس معامل انكسار اللاخطي للمادة عبر نظام الفتحة المغلقة.
- اما الليزرات المستعملة في هذه الدراسة هي ليزرات اشباه الموصلات تكون ذات اطوال موجية مختلفة (405nm,532nm,650nm) وتمتاز هذه الليزرات باستقراريتها وكفاءتها العالية. و يكون شكل حزمة الليزر تقريبا كاوسي TEM وان قطر حزمة الليزر عند المستوي ( $1/e^2$ ) تم احتسابه باستعمال بعد تصوير الحزمة باستعمال Charge-Coupled Device (CCD) من نوع gentec CCD12 و المصنع في اليابان.



الشكل (٣-٦) a- يوضح تقنية المسح البصري Z-scan b- يوضح المخطط التفصيلي لمبدأ عمل التقنية

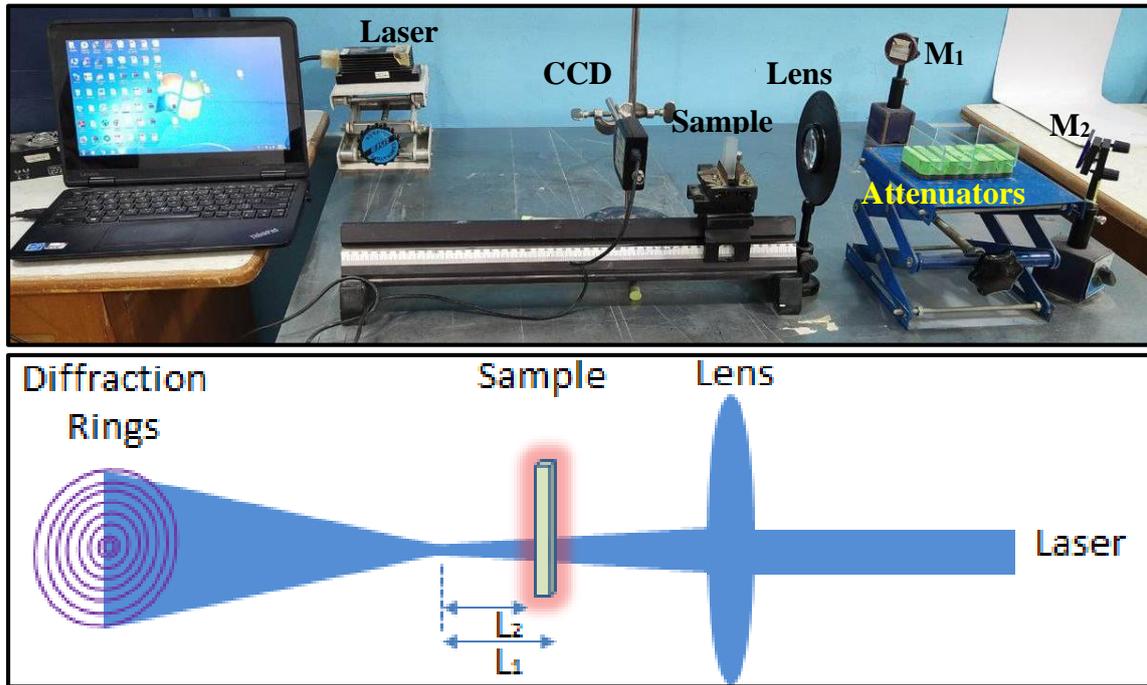
### ٣ - ٤ - ٢ تقنية تعديل الطور الذاتي المكاني

#### Spatial Self-Phase Modulation Technique (SSPM)

تعتمد هذه التقنية على عدد حلقات الحيويد المتكونة من حزمة الليزر لغرض ايجاد معامل الانكسار اللاخطي للنموذج. لغرض عمل هذه التقنية يجب توفر اجراء تجريبي يتكون من الاجزاء التالية:

١. ليزر بنمط الموجة المستمرة (CW) باطوال موجية (405nm,532nm,650nm).
٢. فلاتر بصرية للتحكم بقدرة الليزر.
٣. مرآتين ذات انعكاسية عالية لتوجيه حزمة الليزر.
٤. عدسة لتبئير حزمة الليزر

٥. مسطرة بصرية لتحريك النموذج على طول محور العدسة لغرض ايجاد المكان المناسب للنموذج.
  ٦. خلية كوارتز ذات سمك (1cm).
  ٧. لغرض تصوير حلقات الحيود المتكونة تم استعمال Charge-Coupled Device (CCD)
  ٨. تم تسجيل تطور الحلقات الزمنية المتكونة على الشاشة باستعمال كاميرا فيديو.
- الشكل (٧-٣) يوضح صورة لاجزاء تجربة SSPM



شكل (٧-٣) يوضح تقنية ايجاد حلقات الحيود بتقنية SSPM

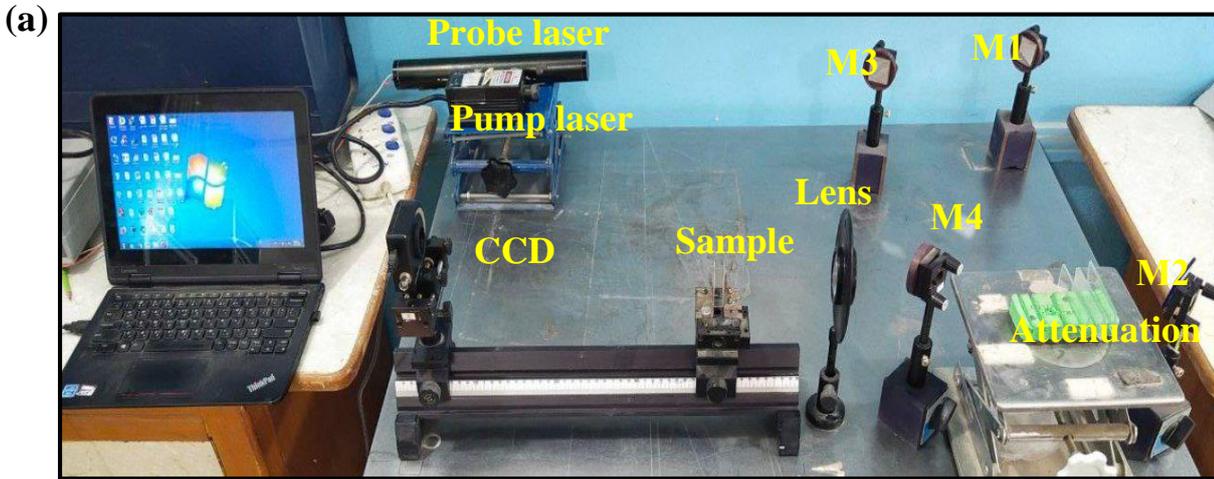
في هذه التجربة تم توجيه حزمة الليزر باستخدام مرآتين تمتلكان انعكاسية عالية الى العدسة التي تبث حزمة الليزر. تم وضع النموذج بين العدسة و بورتها على مسافة تبعد 14 mm عن المستوي البؤري للعدسة.

### ٣ - ٤ - الاجراء التجريبي لفحص المفتاح البصري

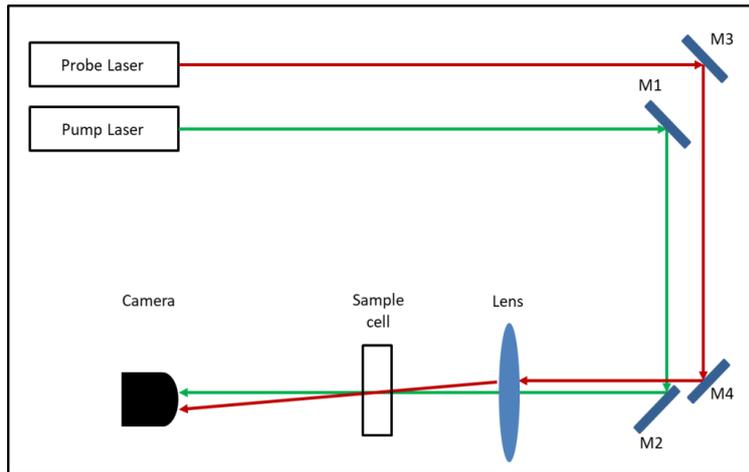
#### Experimental procedure for examining the optical switch

من اجل فحص امكانية عمل المفتاح البصري للمواد المستخدمة في البحث تم استعمال المخطط التجريبي الموضح في الشكل (٨-٣) والذي يتكون من:

١. ليزر He-Ne طوله الموجي (632.8nm) بقدرة حوالي (0.5mW) ليكون حزمة (Probe) اضافة الى ليزرات الدايدود ذات اطوال موجية (405nm,532nm,650nm) لتكون حزمة الـ (Pump).
٢. مرأتين ذات انعكاسية عالية لتوجيه حزمة الـ (Probe) بصورة موازية اضافة لمراتي المستخدمة لتوجيه حزمة الـ (Pump).
٣. لغرض تبئير حزمة الـ (Probe) تم استعمال عدسة ذات بعد بؤري (10cm) نفسها المستخدمة لتبئير حزمة الـ (Pump).
٤. تم تصوير تطور الحلقات الزمني و تغيير شكل الحلقات المتكونة تم استعمال كاميرا فيديو لتوثيقها.



(b)



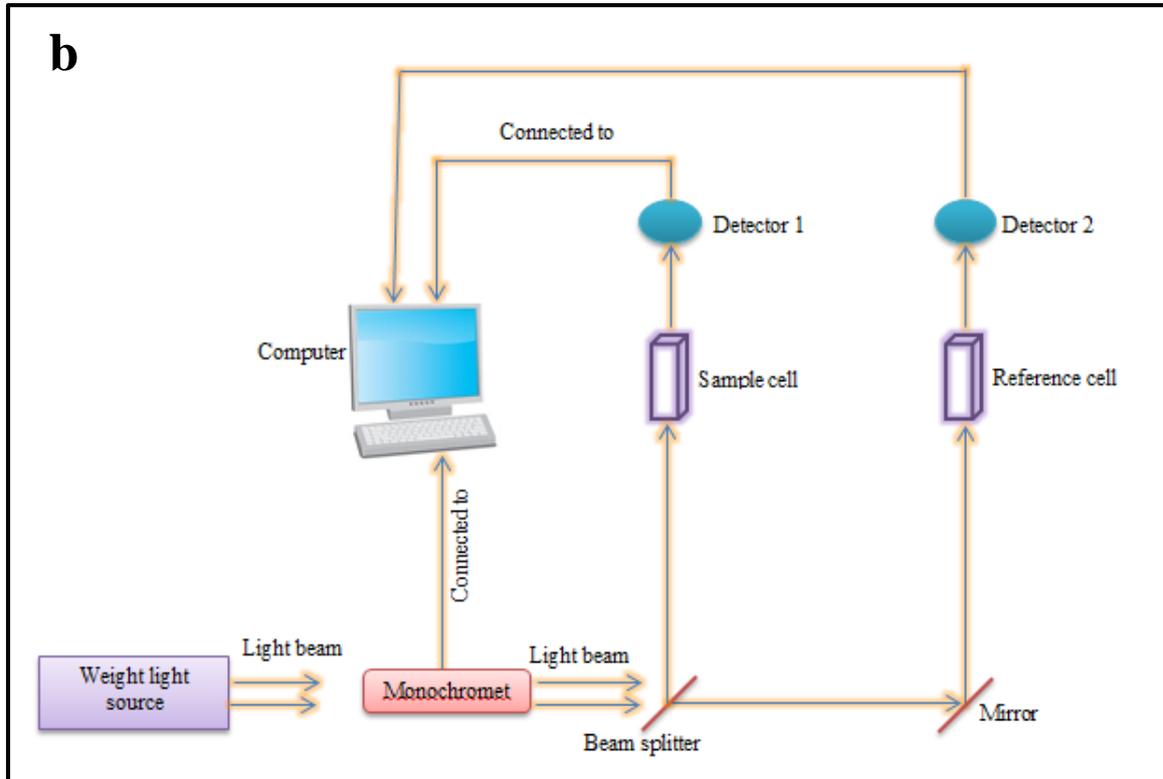
الشكل (8-3) a- صورة مختبرية لعمل المفتاح البصري.  
b- مخطط توضيحي لعمل المفتاح البصري

Devices used

٣ - ٥ الاجهزة المستخدمة

٣ - ٥ - ١ قياس اطياف الامتصاص Absorption Spectrometry

لقياس أطيف الامتصاص للعوالق النانوية المستخدمة للدراسة تم استعمال مطيف UV-VIS spectrophotometer ضمن نطاق (190-900nm) باستعمال جهاز قياس الطيف الضوئي المجهز من قبل شركة (CECIL.CE 7200 UV-Visible) كما موضح في الشكل (a,b 9-3) جهاز قياس الطيف و مبدأ العمل:



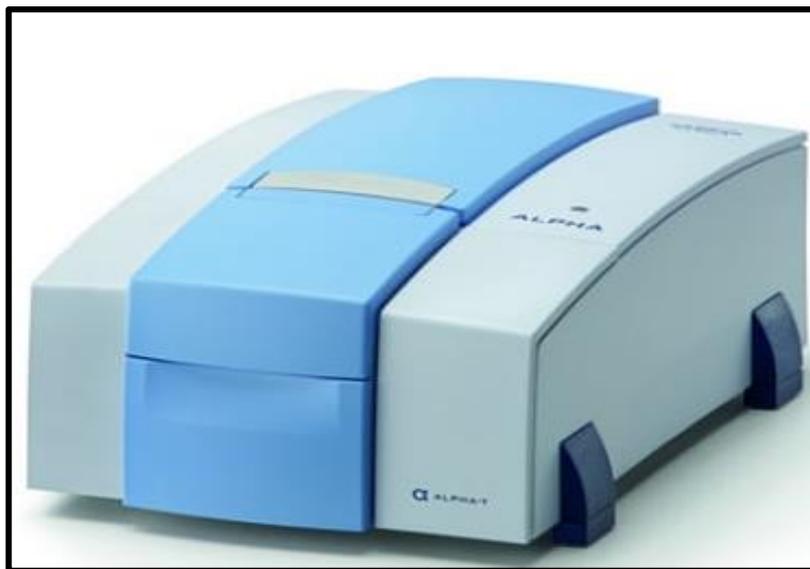
الشكل (9-3) a-جهاز قياس طيف الامتصاص  
b- مخطط يوضح مبدأ عمله.

و يتكون جهاز الطيف الضوئي من مصدرين للتهييج هما :

١. مصباح الديوتيريوم (Deuterium Lamp) والذي يعمل على تغطية المنطقة الطيفية التي تقع في مدى الطول الموجي (190-360nm).
  ٢. مصباح التنكستن (Tungsten Lamp) و الذي يغطي المنطقة الطيفية التي تقع في مدى الطول الموجي (360-900 nm).
- و يحتوي الجهاز على موحد طول موجي (Monochrometer) و الذي يعمل على انتقاء الطول الموجي المناسب الذي بإمكانه تهييج العينة قيد الفحص.
- و يضم الجهاز ايضا مقسم الحزمة (Beam Splitter) لتتصيف الضوء المار الى جزأين بحيث يمر الجزء الاول خلال النموذج (Sample)، و الجزء الآخر يمر عبر العينة المرجعية (Reference) و بعدها الى كواشف لتستلم الضوء النافذ من النموذج، و الآخر من العينة المرجعية و التي تكون مرتبطة بجهاز كومبيوتر و يتم تحديد الامتصاصية من خلال برنامج حاسوبي حيث يعمل على طرح قيمة النفاذية للعينة المرجعية من قيمة النفاذية للنموذج لكي يتيح لنا الحصول على ناتج الامتصاصية للنموذج خالصا.
- ٣ - ٥ - ٢ قياس اطياف تحويلات فورير للأشعة تحت الحمراء

### Infrared Fourier Transforms spectrometry

من أجل التعرف على هوية المادة و تعيين الاواصر الكيميائية تم اجراء فحص FT-IR للعينات قيد الفحص و ذلك باستعمال جهاز مطياف تحويلات فورير للأشعة تحت الحمراء الذي تم تجهيزه من قبل شركة (BRUKER) الالمانية كما موضح في الشكل (٣-١٠).



الشكل (٣-١٠) جهاز قياس تحويلات فورير للأشعة تحت الحمراء FT-IR

عندما يتم تسليط اشعة تحت الحمراء على الجزيئات سوف يحدث تداخل بين المجالين الكهربائي لاشعة (IR) و المجال الذي يتولد من العزم ثنائي القطب و اذا حدث توافق بين تردد المجال الكهربائي لاشعة (IR) مع تردد الجزيء فانه سوف يمتص تلك الاشعة و عندها سوف يمتص طاقة تؤهله للانتقال من المستوى الاهتزازي الواطي الى المستوى اهتزازي اعلى و عندما يتم فقد الطاقة و رجوعه الى المستوى الارضي سوف يحصل انبعاث للاشعة تحت الحمراء و الذي يمكن تسجيله من قبل كاشف حساس و الذي يرتبط بجهاز كومبيوتر و يسجل تلك البيانات لكي يتم رسمها و تمثل تلك الصورة طيف الاشعة تحت الحمراء.

### ٣ - ٥ - ٣ مقياس حيود الاشعة السينية X-Rays Diffraction (XRD)

لدراسة التركيب البلوري و الذي له اهمية كبيرة في معرفة خواص المواد المحضرة تم اجراء فحص (XRD) و تم ذلك باستعمال جهاز حيود الاشعة السينية نوع (ADX-2700 Powder Diffraction) و الذي صنع في الولايات المتحدة الامريكية كما موضح في الشكل (3-11). وفقا لبطاقات ASTM (المعيار العالمي للمواد تحت الفحص) و الذي يمتلك المواصفات التالية:

Target: (Cu)

Wavelength: (1.54060A<sup>0</sup>)

Current: (30mA)

Voltage: (40K)



الشكل (3-11) جهاز فحص حيود الاشعة السينية

٣ - ٥ - ٤ المجهر الالكتروني النافذ

**Transmission Electron Microscope (TEM)**

تم تحليل خصائص هيكل و حجم الجسيمات النانوية و المورفولوجيا لعينات NPs التي تم ترسيبها تم تحليل تلك الخواص باستخدام المجهر الالكتروني الماسح (TEM) من نوع (Zeiss- EM10C) و الذي يعمل بجهد معجل يبلغ (100Kv) و الموضح في الشكل (3-12). و يمكن وصف المواد المستخدمة بشكل اكثر دقة و فاعلية باجراء فحص TEM و الذي يستخدم بشكل شائع لدراسة تبلور المواد النانوية و مراقبة مورفولوجيا الجسيمات النانوية و يمكن كذلك قياس تشتت و قطر الجسيمات النانوية و تعتبر تقنية بسيطة و دقيقة لوصف التراكيب الدقيقة للمواد النانوية.

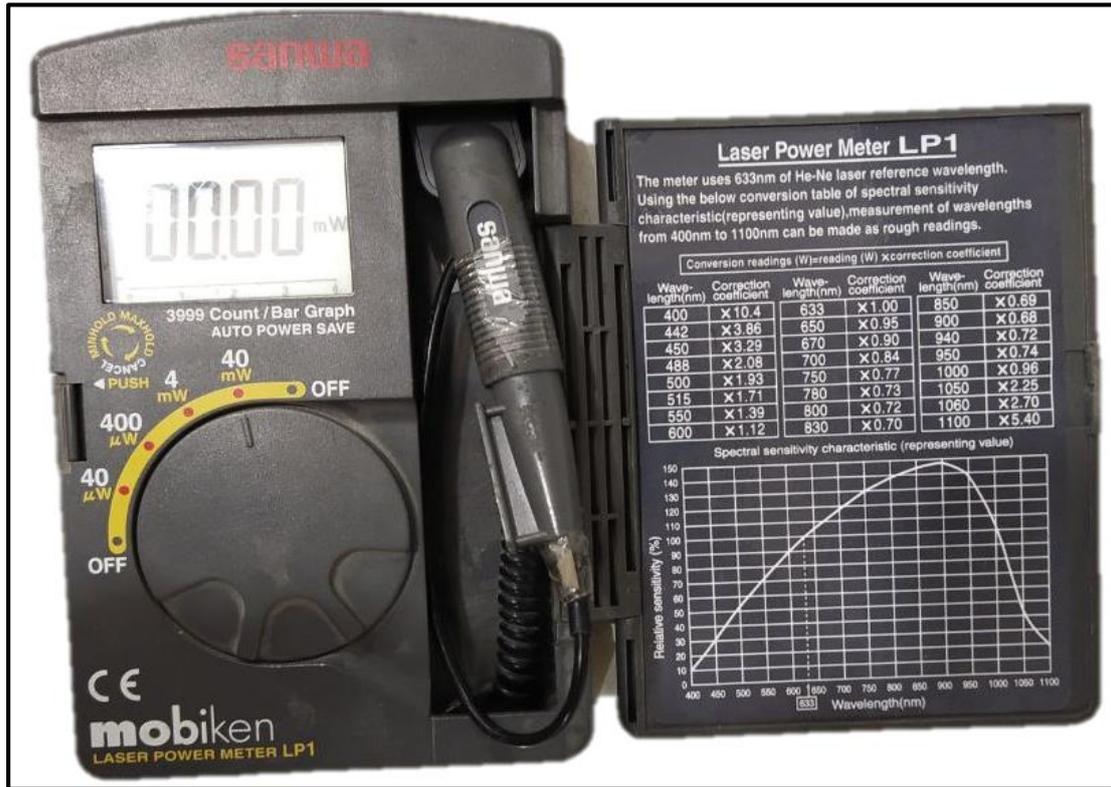


الشكل (3-12) جهاز المجهر الالكتروني النافذ TEM

**Laser Power Meter**

٣ - ٥ - ٥ مقياس قدرة الليزر

تم استخدام هذا الجهاز لقياس قدرة الليزر ضمن المدى (0-40mW) و تم تجهيزه من قبل شركة (Sanwa) يابانية المنشأ ويتكون الجهاز من ثلاثة اجزاء أساسية: (كاشف سيليكون، قارئ معلومات، مفتاح التبديل) الذي من خلاله يمكن التحكم بكمية القدرة التي تم قياسها و حساسية الجهاز تعتمد على الطول الموجي لليزر المستخدم كما موضح في الشكل (3-13).



الشكل (٣-١٣) يوضح جهاز قدرة الليزر Laser Power Meter

### ٣ - ٥ - ٦ جهاز الموجات فوق الصوتية Ultrasonic device

لغرض تفكك جزيئات المادة النانوية المترسبة والتي يحدث فيها (aggregation) تم استخدام جهاز الموجات فوق الصوتية (Ultrasonic) التي يتم تجهيزها من قبل شركة (SUNSHINE). والشكل (3-14) يوضح جهاز Ultrasonic.



### ٣ - ٥ - ٧ مقياس الانكسار Refract Meter

تم قياس معامل الانكسار الخطي للعينات المدروسة باستخدام جهاز مقياس الانكسار المصنع من قبل شركة NOVEX HOLLAND ذو منشأ الماني والموضح في الشكل (3-15).



الشكل (3-15) يوضح جهاز Refract Meter

٤ - ١ مقدمة عامة

General

Introduction

نستعرض في هذا الفصل الخواص التركيبية لمادتي Fe(III) و Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nano-fragments و Oxalate Nano-particles والخواص البصرية الخطية و كذلك الخواص البصرية اللاخطية باستعمال تقنية Z-scan و تقنية Spatial Self-Phase Modulation (SSPM) باستعمال أطوال موجية مختلفة و مقارنة نتائج التقنيتين و من ثم تضمين عمل المفتاح البصري.

Structural Properties

٤ - ٢ الخواص التركيبية

في هذا البند سيتم عرض نتائج و مناقشة الخصائص التركيبية للمواد التي تم استخدامها في هذا البحث لمعرفة هوية تلك المواد و تركيبها.

٤ - ٢ - ١ فحوصات المجهر الإلكتروني النافذ (TEM)

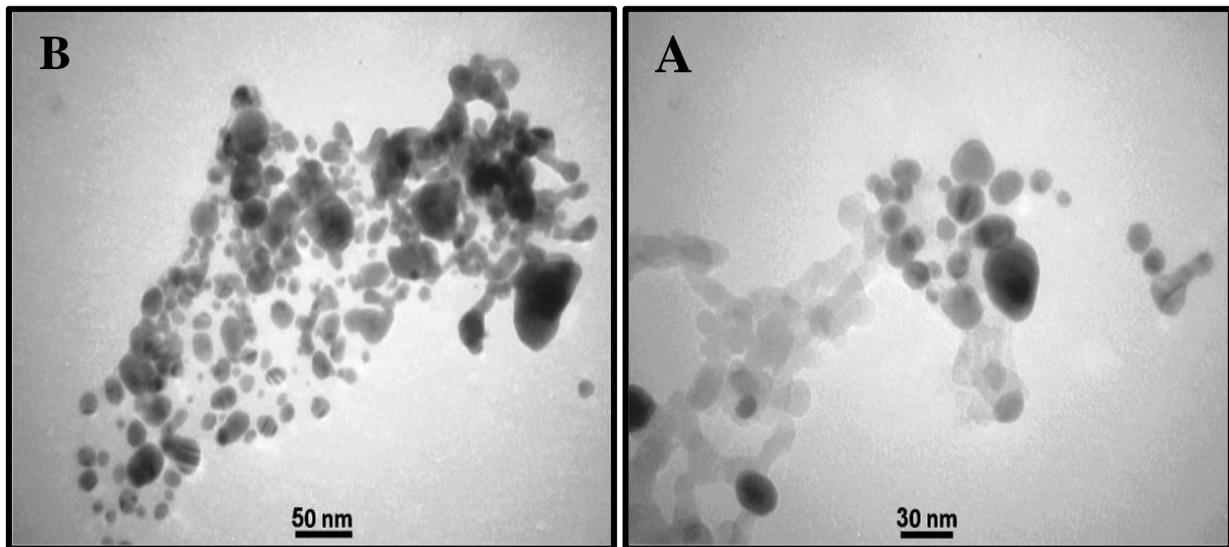
Transmission electron microscopy (TEM) examinations

حجم وشكل الجسيمات النانوية هي العوامل الرئيسية التي تحدد نوع وقوة الاستجابة الضوئية للجسيمات ، وخاصة الاستجابة غير الخطية لذا تم فحص شكل وحجم العوالق النانوية من خلال اجراء قياسات TEM للعينات قيد الدراسة.

٤ - ٢ - ١ - ١ فحص TEM لعوالق شظايا Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> النانوية

TEM examination of suspensions Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nano-Fragments

الشكل (1-4) يوضح فحص TEM لشظايا Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> النانوية.



الشكل (1-4) صور TEM لعوالق Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> NFs النانوية في الإيثانول

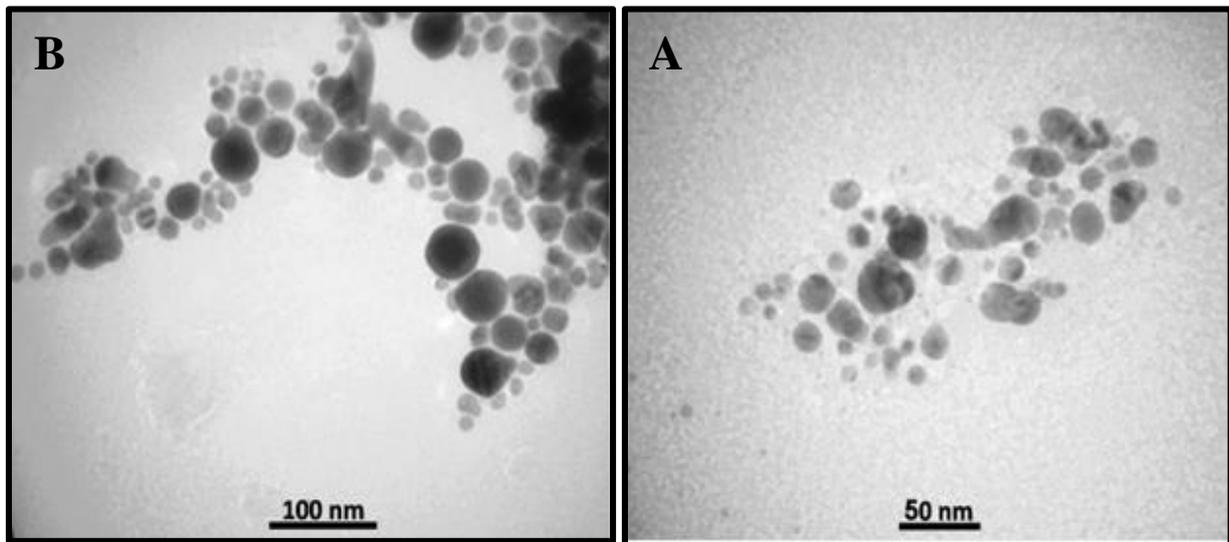
## المناقشة

قبل التجفيف ، كان لجزيئات  $Fe_2O_3$  في المحلول المائي أشكال كروية. ومع ذلك ، تظهر صور TEM في الشكل (٤-١) أن أشكال جزيئات  $Fe_2O_3$  في الإيثانول غير منتظمة في الغالب. إذ تكون على شكل شظايا مختلفة الأشكال. يمكن أن يكون هذا التغيير في الشكل بسبب التصاق جزيئات أكسيد الحديد ببعضها البعض ، مما يؤدي إلى تكوين شظايا بأشكال مختلفة. بشكل عام ، يتراوح حجم هذه الأجزاء من (5-50nm). فضلاً عن ذلك ، يمكن ملاحظة أن بعض هذه الجسيمات تعاني من التكتلات إذ تُظهر الصور الأكبر حجمًا نسبة عالية من هذه الجسيمات تتجمع في شكل كتل كبيرة نسبيًا.

## ٤ - ٢ - ١ - فحص TEM لعوالق اكزالات الحديد الثلاثي

## TEM examination of suspensions iron(III) oxalate

الشكل (4-2) يوضح حجم و شكل المادة النانوية التي تمت معرفتها من خلال فحص TEM.



الشكل (4-2) صور TEM لعوالق Fe(III) Oxalate NPs في الإيثانول

من خلال الشكل أعلاه يمكن ملاحظة ان  $Fe(III)$  Oxalate NPs التي تم تحضيرها بطريقة الاستئصال بالليزر النبضي في السوائل هي جسيمات يتراوح حجمها (5-50nm) و في الغالب تمتلك اشكال كروية و غير كروية و يرجع السبب في اختلاف الأشكال إلى طريقة تحضير المادة لان استخدام كحول الإيثانول في عملية الاستئصال الليزري يؤدي عادة الى تكوين اشكال غير كروية كما ذكر في المصدر [162]. كذلك فإنّ الشكل (٤-٢) يبين وجود بعض التجمعات بنسبة متوسطة تقريبا أي بنسبة اقل من تلك الملاحظة مع جسيمات اكسيد الحديد النانوية.

## ٤ - ٢ - ٢ - فحوصات حيود الأشعة السينية (XRD)

## X-ray diffraction (XRD) examinations

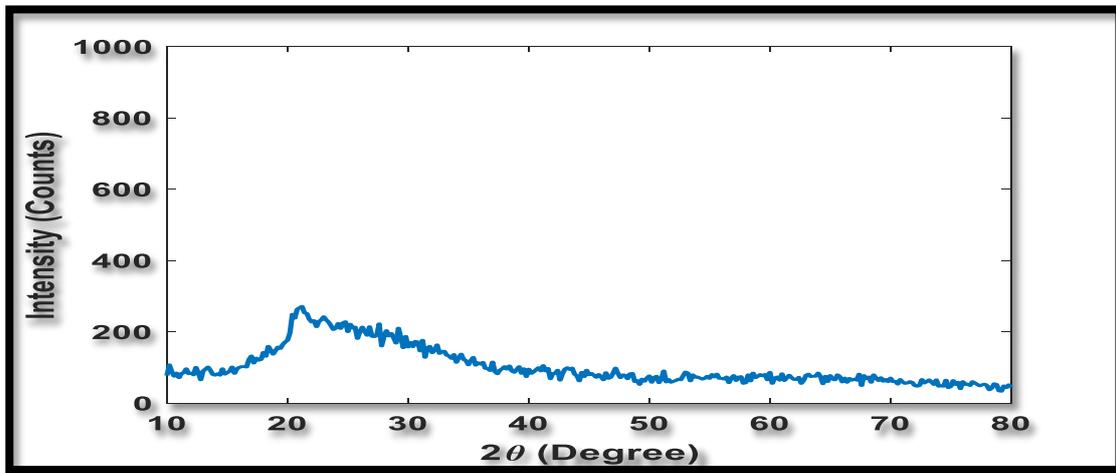
المناقشة

لغرض معرفة التركيب البلوري و الحجم الحبيبي للمادة البلورية و الذي يلعب دورا مهما في خواص المادة تم اجراء فحص XRD للعوالق النانوية المستعملة في البحث.

٤ - ٢ - ٢ - ١ فحص XRD لعوالق شظايا  $Fe_2O_3$

**XRD examination of  $Fe_2O_3$  Nano-fragments**

الشكل (3-4) يوضح فحص XRD للعوالق المستعملة حيث تبين ان  $Fe_2O_3$  NFs التي تم ترسيبها على شريحة زجاجية تمتلك تركيب غير متبلور (عشوائي) و ان القمة العريضة بين ١٨ و ٣٥ درجة هي ناتجة عن وجود الشريحة الزجاجية و بذلك يظهر بوضوح ان  $Fe_2O_3$  Nano-fragments قيد الدراسة لها بنية غير متبلورة.

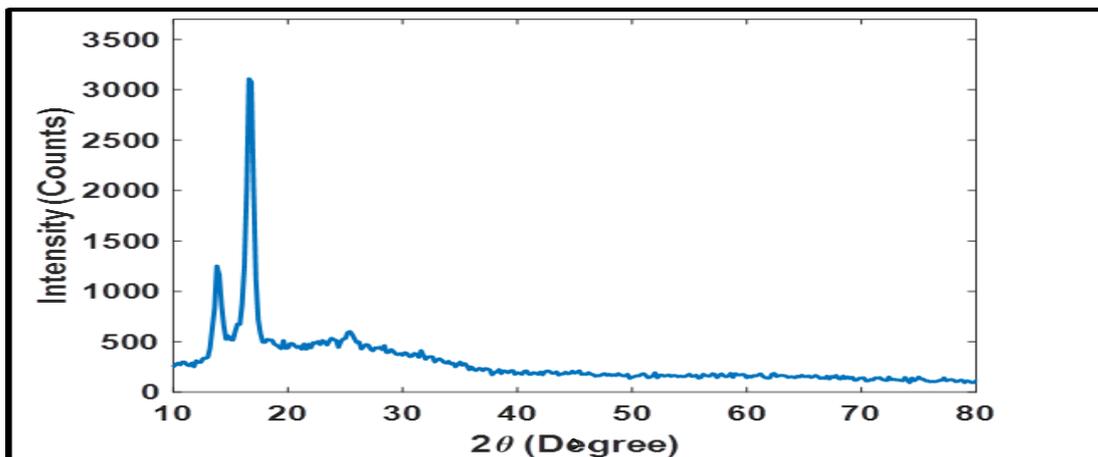


الشكل (3-4) منحنى XRD لـ  $Fe_2O_3$  Nano-fragments المرسبة على قطعة من

٤ - ٢ - ٢ - ٢ فحص XRD لعوالق اكزالات الحديد الثلاثي النانوية

**XRD examination of suspensions Fe(III) Oxalate NPs**

الشكل (4-4) يوضح مخطط حيود الاشعة السينية XRD للمادة قيد الدراسة إذ تكمن اهمية هذا القياس في معرفة التركيب البلوري و طبيعة ترتيب الذرات و بينت نتائج الفحص لعوالق Fe(III) Oxalate NPs ذات تركيب متبلور.



الشكل (4-4) فحص XRD لعوالق Fe(III) Oxalate النانوية

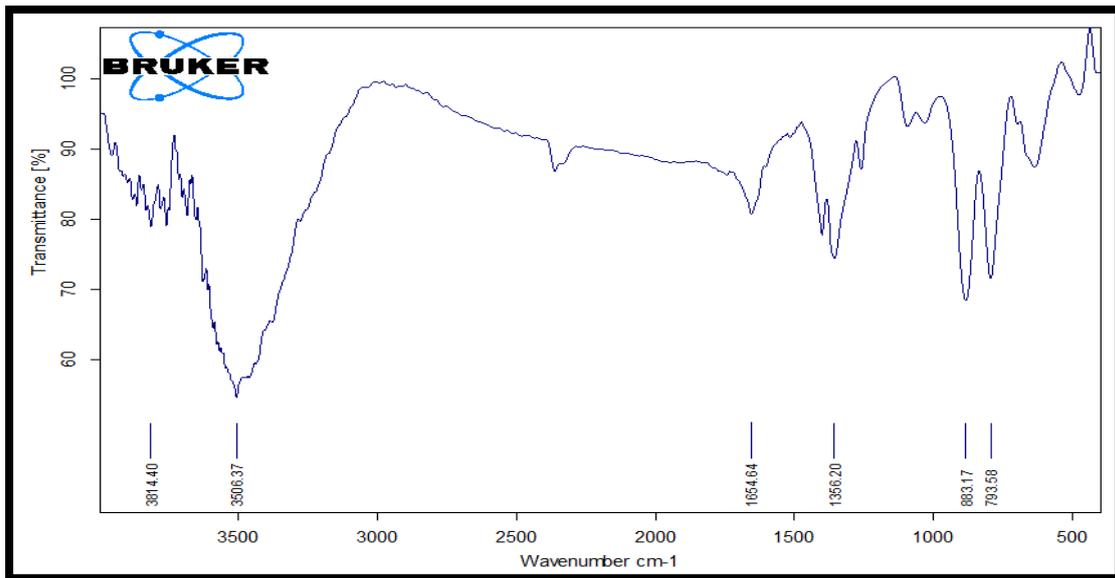
الشكل يشير بصورة مباشرة الى تبلور مادة الاكسالات أو بالأحرى يُعد اول دليل على تكون هذه المادة، إذ إنّ مواقع القمم المتولدة و المسافات بين المستويات البلورية تتطابق بصورة جيدة مع بطاقة المعلومات American Standard Testing Materials (ASTM) المرقمة (14-0762) و كذلك تتطابق مع فحص حيود الاشعة السينية لمادة الاكسالات المدروسة في البحث [54]. من خلال نتائج حيود الاشعة السينية و باستخدام المعادلة (٢-٣٩) تم حساب الحجم حبيبي للجسيمات المتكونة و كان بمعدل (10nm). من خلال مراجعتنا للبحوث و الاعمال السابقة الخاصة بتحضير الاكسالات تبين أنّ توليد جسيمات اكسالات الحديد الثلاثية بطريقة الاستئصال الليزري تم نجاهه لأول مرة في عملنا هذا.

### ٤ - ٢ - ٣ فحص تحويلات فوريير للأشعة تحت الحمراء FT-IR Infrared Fourier transform examination (FT-IR)

لمعرفة هوية المادة من خلال معرفة الاواصر الترابطية تم اجراء فحص FT-IR للمواد قيد الدراسة.

### ٤ - ٢ - ٣ - ١ فحص FT-IR لعوالق شظايا $Fe_2O_3$ النانوية FT-IR examination of suspensions $Fe_2O_3$ nanoparticles

حيث يبين الشكل (4-5) العلاقة بين النفاذية و العدد الموجي لشظايا  $Fe_2O_3$  النانوية .



الشكل (4-5) طيف نفاذية FT-IR لعوالق  $Fe_2O_3$  Nano-fragments

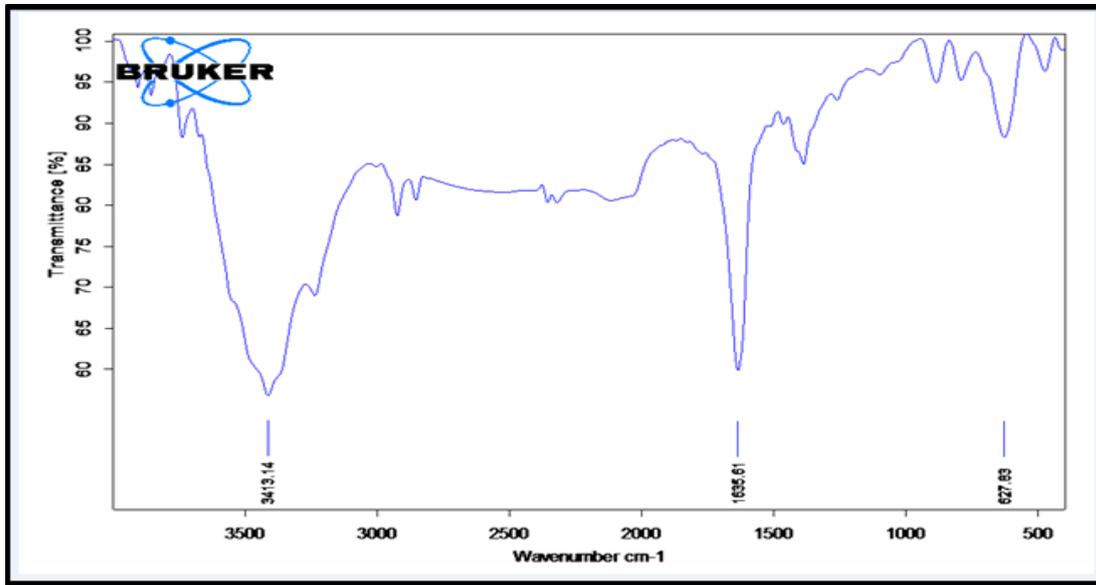
المناقشة

من المعروف ان القمة عند  $3606\text{ cm}^{-1}$  تمثل الاصرة بين O-H اما القمة عند  $1600\text{cm}^{-1}$  تمثل الاصرة بين C=O اما القمم التي تكون عند العدد الموجي اقل من  $700\text{cm}^{-1}$  هي تمثل Fe-O [163]. و ان امكانية تكون احدى مركبات الحديد (اكاسيد الحديد مثلا) ممكن ان يستدل عليها من خلال هذا الفحص.

٤ - ٢ - ٣ - ٢ فحص FT-IR لعوالق اكزالات الحديد الثلاثي

FT-IR examination of suspensions iron (III) oxalate

الشكل (6-4) يوضح العلاقة بين النفاذية و العدد الموجي لعوالق Fe(III) Oxalate NPs و الذي تم تشخيصه من خلال فحص مطيافية الأشعة تحت الحمراء.



الشكل (6-4) طيف نفاذية FT-IR لعوالق Fe(III) Oxalate

من خلال الشكل (٦-٤) يمكن الملاحظة أنّ القمة عند  $(3413.14\text{cm}^{-1})$  تمثل الاصرة بين (OH) اما القمة عند العدد الموجي  $(1635.61\text{cm}^{-1})$  فإنها تمثل الاصرة (CO) اما القمم التي تكون عند العدد الموجي  $(627.83\text{cm}^{-1})$  فإنها تشير الى  $(\text{H}_2\text{O}) + \nu(\text{Fe-O})$ . [164] ان القمم عند  $1600-1700\text{ cm}^{-1}$  هي الصفة المميزة للاكزالات [164] كذلك فإنّ عدم ظهور القمة عند  $1737\text{ cm}^{-1}$  و التي تعود الى مجموعة الكربونيل الطرفية يمكن ان يعزى الى ميول الاكسالات الى تكوين سلاسل بوليميرية و هذه السلاسل ترتبط مع بعضها لتكون صفائح متعرجة و أي لا تبقى مجموعات الكربونيل الطرفية.

Linear Optical Properties

٤ - ٣ الخواص البصرية الخطية

في هذه الفقرة سنستعرض اطياف الامتصاص لـ  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  NFs في سائل الايثانول المحضرة

المناقشة

بتراكيز مختلفة و كذلك اطياف الامتصاص لـ Fe(III) Oxalate NPs المحضرة بطريقة الاستئصال بالليزر النبضي في السوائل و بتراكيز مختلفة.

Linear refractive

١ - ٣ - ٤ معامل الانكسار الخطي

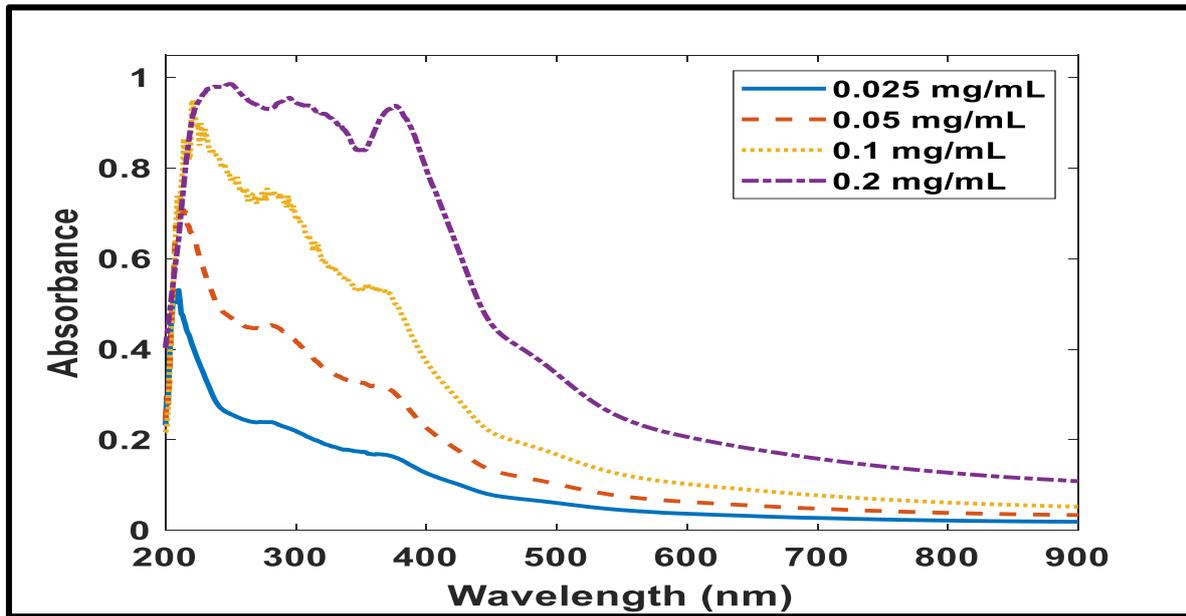
index

تم قياس معامل الانكسار الخطي باستخدام الجهاز المبين في الشكل (3-15) باستخدام الضوء الابيض حيث تبين ان زيادة تركيز المواد النانوية في الايثانول لا يضيف تغيير محسوس في قيمة معامل الانكسار الخطي للسائل كذلك فان اختلاف قيمة معامل الانكسار الخطي باختلاف الطول الموجي لم تعتمد في حساباتنا حيث ان قيمة هذا التغيير اصغر بكثير من نسبة الخطأ في قياس و حساب معاملات الانكسار اللاخطية.

٢ - ٣ - ٤ طيف امتصاص شظايا Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> النانوية

Absorption spectrum of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles

الشكل (4-7) يوضح اطياف الامتصاص للجسيمات النانوية (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> NFs) التي تمت اذابتها في الايثانول و بتراكيز مختلفة .



الشكل (4-7) اطياف امتصاص Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> NFs في الايثانول بتراكيز مختلفة

نلاحظ من الشكل (4-7) ان اطياف الامتصاص تقع في منطقة الاشعة فوق البنفسجية و اعلى امتصاص يقع عند الطول الموجي (210nm) و يمتد الى الطول الموجي (256nm) بعدها يبدأ الامتصاص لـ Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> NFs بالانخفاض تدريجيا حتى يصبح منخفضا نسبيا في المنطقة المرئية الى

المناقشة

ان يصبح قليل جدا في نطاق الاشعة تحت الحمراء كذلك فان الامتصاص يزداد بزيادة تركيز المادة النانوية.

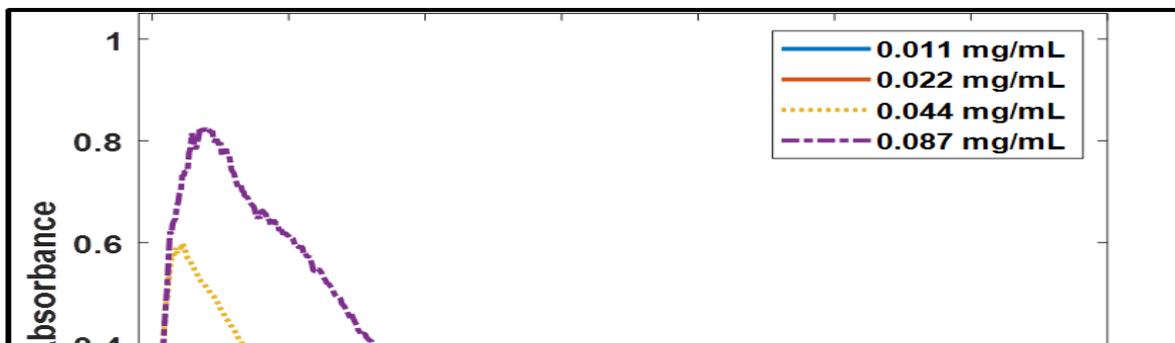
الجدول (4-1) معامل الامتصاص الخطي لعوالق Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> بتركيز مختلفة و بأطوال موجية مختلفة

$\alpha$ (cm <sup>-1</sup> )			
$\lambda$ (nm)	٤٠٥	532	650
C (mg/ml)			
0.2	1.762282	0.634997	0.413742
0.1	0.811115	0.313419	0.204334
0.05	0.495322	0.191397	0.125588
0.025	0.277879	0.113774	0.07233

٤ - ٣ - ٣ طيف امتصاص عوالق اكزالات الحديد الثلاثي

Absorption spectrum of suspensions iron(III) oxalate

الشكل (8-4) يوضح اطياف امتصاص Fe(III) Oxalate NPs المحضرة بطريقة الاستئصال الليزري في سائل الايثانول .



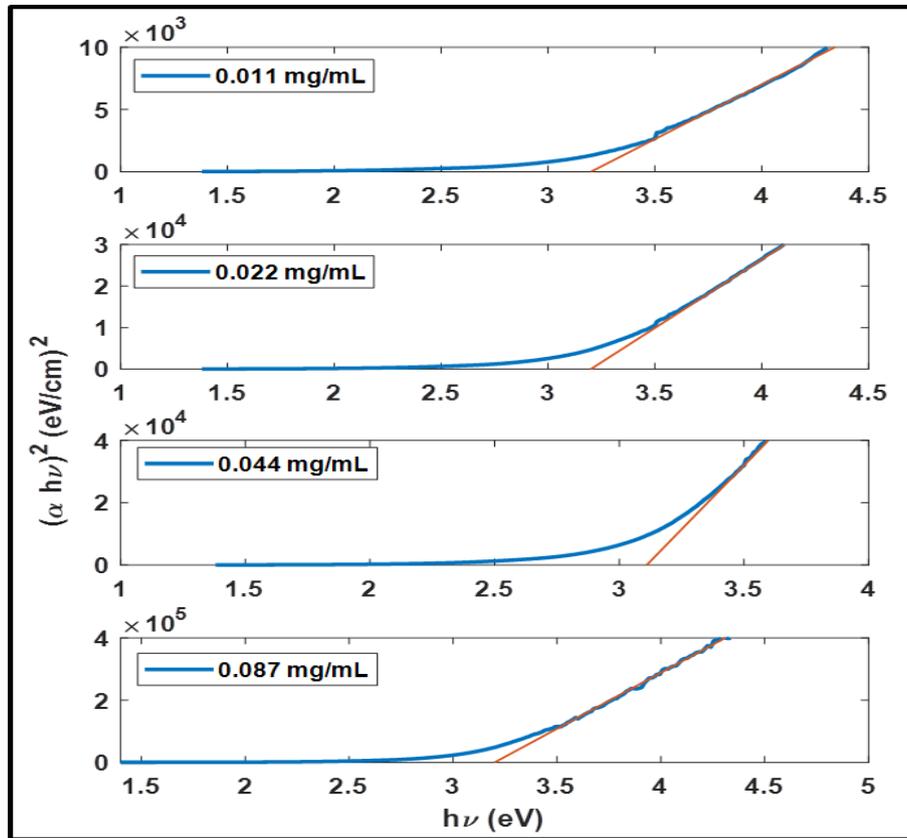
يمكن الملاحظة من الشكل (٤-٨) أنّ الامتصاصية في منطقة الطيف للأشعة فوق البنفسجية تبدأ بالتناقص إلى أن تصبح معدومة و تكون قليلة في المنطقة المرئية و تكون مسطحة في منطقة الأشعة تحت الحمراء القريبة مما يحدد عمل تلك العوالق النانوية و أنّها تمتلك أعلى امتصاص في منطقة الأشعة فوق البنفسجية و أنّ أعلى امتصاص يكون عند الطول الموجي (216nm) إلى (234nm). طيف امتصاص هذه المادة يتطابق تماما مع أطيف مادة الاكسالات المحضرة بطرق كيميائية كما في المصدر [165] و هذا دليل اضافي على تكون مادة اكسالات الحديد الثلاثية بطريقة الاستئصال الليزري.

الجدول (2-4) معامل الامتصاص الخطي لعوالق Fe(III)oxalate بتركيز مختلفة و بأطوال موجية مختلفة

$\alpha$ (cm <sup>-1</sup> )			
$\lambda$ (nm)	٤٠٥	532	650
C (mg/ml)			
0.087	0.479677	0.175433	0.098281
0.044	0.223286	0.083424	0.045675
0.022	0.111801	0.043817	0.024609
0.011	0.073212	0.027776	0.013892

المناقشة

من خلال أطياف الامتصاص تم حساب فجوة الطاقة للانتقال المباشر الموضحة في الشكل (٩-٤) لتراكيز مختلفة. حيث ترسم العلاقة بين طاقة الفوتون ( $h\nu$ ) و  $(\alpha h\nu)^2$  إذ يرسم مستقيم مماس ليقطع محور ( $x$ ) عند النقطة التي تكون فيها  $(\alpha h\nu)^2 = 0$  و بذلك تحدد قيمة فجوة الطاقة البصرية للانتقال المباشر لمادة Fe(III) Oxalate NPs و التي تكون بحدود (3.2eV).



الشكل (9-4) فجوة الطاقة لمادة Fe(III) Oxalate NPs

#### ٤ – ٤ الخواص البصرية اللاخطية (NLO) Nonlinear Optical Properties (NLO)

في هذا الجزء سيتم عرض و مناقشة نتائج الخواص اللاخطية لعوالق Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> NFs و Fe(III) Oxalate NPs النانوية في سائل الايثانول بتراكيز مختلفة باستعمال تقنية Z-scan و تقنية SSPM تحت تاثير ثلاث اطوال موجية (405nm,532nm,650nm) و كذلك بيان تاثير

المناقشة

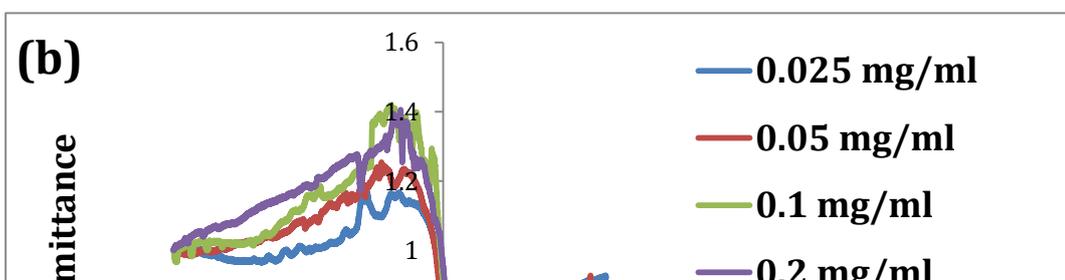
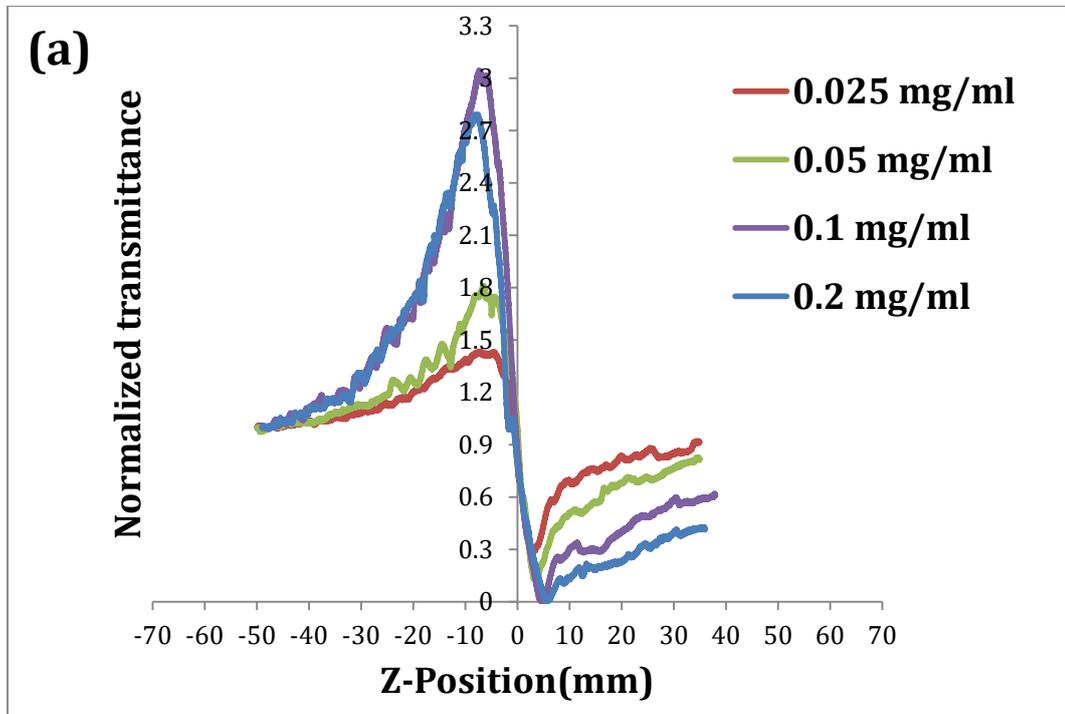
الطول الموجي و تأثير التركيز و شدة الليزر المسلطة وكذلك دراسة امكانية تكوين المفتاح البصري للمادتين كليهما تحت تأثير ثلاث اطوال موجية.

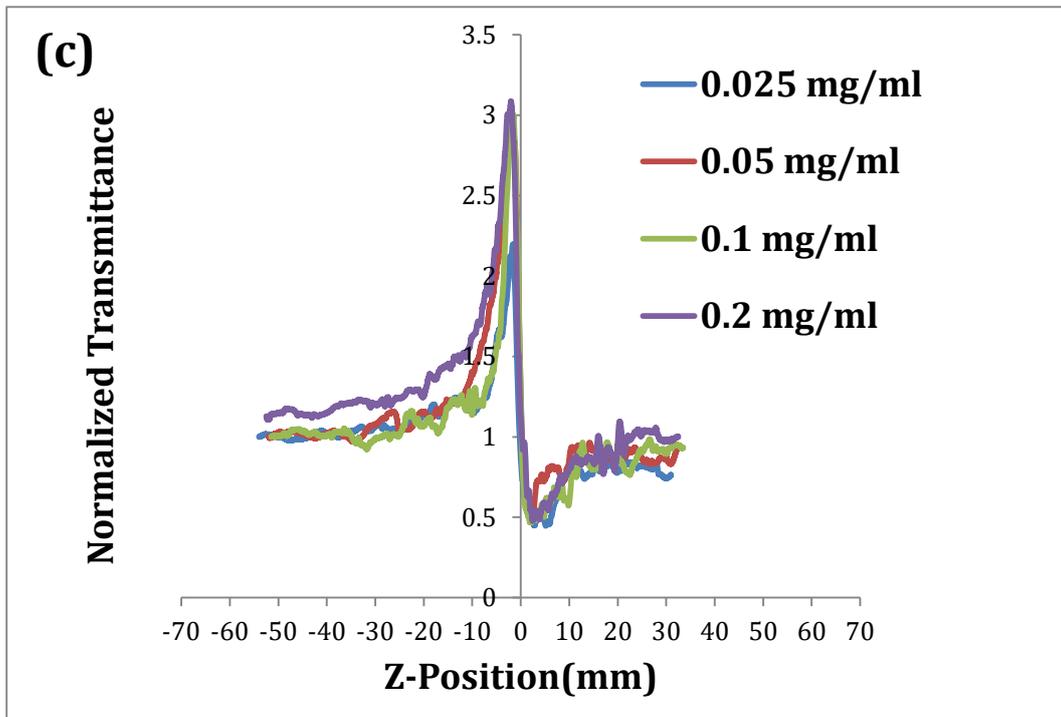
٤ - ٤ - ١ الخصائص البصرية اللاخطية باستخدام تقنية المسح على المحور Z  
Nonlinear optical properties using the Z-scann technique

سيتم في هذا البند عرض نتائج و مناقشة النفاذية اللاخطية المتمثلة بمعامل الانكسار اللاخطي لعوالق (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> NFs – Fe(III) Oxalate NPs) في سائل الايثانول بتركيز مختلفة تحت تأثير ثلاثة اطوال موجية (405 nm,532 nm,650 nm) على التوالي.

٤ - ٤ - ١ الخصائص البصرية اللاخطية لعوالق شظايا Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> النانوية باستخدام تقنية المسح على المحور Z  
Nonlinear optical properties of suspensions Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> NFs using Z-scan technique

الشكل (٤-١٠ a,b,c) يوضح النفاذية اللاخطية لتقنية Z-scan بالمفتحة المغلقة لعوالق Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> NFs النانوية باستعمال ثلاث اطوال موجية.





الشكل (4-10) الانكسار اللاخطي لعوالق  $Fe_2O_3$  NFs النانوية تحت تأثير الاطوال الموجية 650nm , c- 532nm , b- 405nm , a-

نلاحظ من خلال الاشكال (4-10) ان عوالق  $Fe_2O_3$  NFs النانوية تمتلك معامل انكسار لاخطي سالب القيمة لجميع الاطوال الموجية حيث ان منحنى النفاذية يبدأ بقمة يتبعها قعر و يمكن ملاحظة ايضا ان القيمة المطلقة لمعامل الانكسار اللاخطي يزداد بزيادة تركيز العوالق النانوية تحت تأثير الاطوال الموجية المستخدمة كما موضح في الجدول (3-4) حيث تم حساب معامل الانكسار اللاخطي من خلال العلاقة (2-23) و كذلك التأثيرية اللاخطية تم حسابها باستخدام المعادلة (16-2).

الجدول (4-3) معامل الانكسار اللاخطي و التأثيرية اللاخطية لعوالق Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> NFs النانوية بتركيزات مختلفة تحت تأثير ثلاث اطوال موجية

$- n_2 \times 10^{-11}(\text{m}^2/\text{W})$				
C (mg/ml)	0.2	0.1	0.05	0.025
405 nm at 6.41MW/m <sup>2</sup>	7.71	7.7	4.24	2.93
532 nm at 6.58 MW/m <sup>2</sup>	3.5	2.7	2.05	1.85
650 nm at 68.3MW/m <sup>2</sup>	0.998	0.9605	0.922	0.6587
$\chi^{(3)} \times 10^{-5} (\text{e.s.u})$				
405 nm at 6.41MW/m <sup>2</sup>	3.62	3.61	1.99	1.38
532 nm at 6.58 MW/m <sup>2</sup>	1.65	1.27	0.965	0.868
650 nm at 68.3MW/m <sup>2</sup>	0.469	0.45	0.433	0.309

إذ يبين الجدول (٤-٣) ان القيم المطلقة لمعامل الانكسار اللاخطي عند الطول الموجي 405nm اكبر بمرة ونصف تقريبا عما هو عليه عند الطول الموجي 532nm واكبر بكثير عما هو عليه مقارنة مع الطول الموجي 650nm يمكن ان تعزى هذه الفروقات في قيم معامل الانكسار اللاخطي إلى كون الطول الموجي 405nm يقع ضمن حزمة الامتصاص الخطي للمادة مما يعزز امتصاصه بصورة

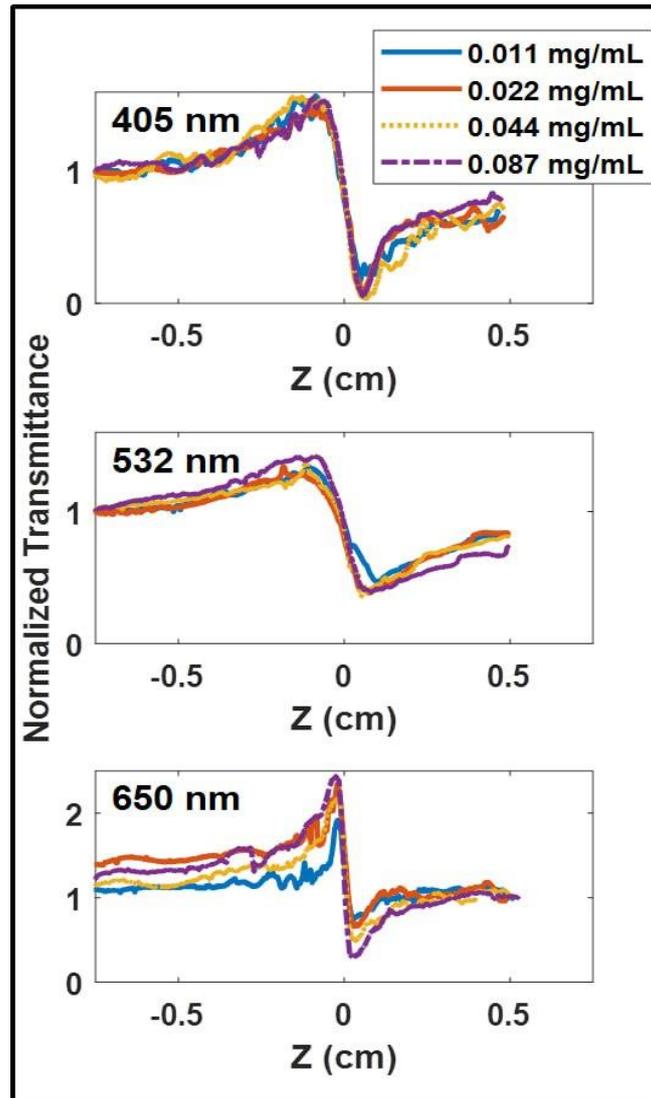
المناقشة

اكبر بكثير من بقية الاطوال الموجية، و هذا يؤدي إلى توليد قدر اكبر من الطاقة الحرارية في المحلول وبالتالي قيمة اكبر لمعامل الانكسار اللاخطي الحراري. كذلك فان قيم التاثيرية اللاخطية و التي يمكن ملاحظتها من الجدول اعلاه تزداد بزيادة التركيز للعوالق النانوية و عند كافة الاطوال الموجية المستخدمة و نلاحظ انها تبلغ اعلى قيمتها عند الطول الموجي (405nm) للسبب نفسه أعلاه.

٤ - ١ - ٢ الخصائص البصرية اللاخطية لعوالق اكزالات الحديد الثلاثي النانوية باستخدام تقنية Z-scan

**Nonlinear optical properties of Fe(III)oxalate NPs using Z-scan technique**

الشكل (٤-١١ a,b,c) يوضح النفاذية اللاخطية لعوالق Fe(III) Oxalate NPs باستعمال ثلاثة أطوال موجية (405,532,650)nm.



الشكل (4-11) الانكسار اللاخطي لعوالق Fe(III) Oxalate NPs تحت تاثير الاطوال الموجية

يمثل الشكل (٤-١١) منحنيات الفتحة المغلقة لعوالق Fe(III) Oxalate NPs ويمكن الملاحظة ان هذه الجسيمات النانوية لها معامل انكسار لاخطي سالب القيمة تزداد قيمته المطلقة عند زيادة التركيز لتلك العوالق النانوية كما موضح في الجدول (4-4).

الجدول (٤-٤) معامل الانكسار اللاخطي و التأثيرية اللاخطية لعوالق Fe(III) Oxalate NPs بتراكيز مختلفة تحت تاثير ثلاث اطوال موجية

$- n_2 \times 10^{-11}(\text{m}^2/\text{W})$				
C(mg/ml)	0.087	0.044	0.022	0.011
405nm at 6.40 MW/m <sup>2</sup>	4.828	2.304	1.0705	0.495
532nm at 11.92 MW/m <sup>2</sup>	8.64	3.29	3.1	2.82
650nm at 68.26 MW/m <sup>2</sup>	1.5	0.7019	0.37002	0.1766
$\chi^{(3)} \times 10^{-5} (\text{e.s.u})$				
405nm at 6.40 MW/m <sup>2</sup>	2.26	1.08	0.502	0.232
532nm at 11.92 MW/m <sup>2</sup>	4.05	1.54	1.45	1.32
650nm at 68.26 MW/m <sup>2</sup>	0.712	0.33	0.174	0.0083

يمكن الملاحظة من الجدول اعلاه ان قيمة معامل الانكسار اللاخطي لعوالق Fe(III) Oxalate NPs عند الطول الموجي (532nm) اعلى من الطولين الموجيين (405nm,650nm) و هذا

المناقشة

خلاف منطق زيادة كمية الحرارة المتولدة بزيادة الامتصاص كما ذكر اعلاه و ذلك يمكن أن يكون بسبب استعمال شدة عالية جدا عند الطول الموجي (405nm) مما ادى الى تشبع التأثير اللاخطي للمادة مما سبب ظهور قيم معامل الانكسار اللاخطي بقيم اقل من تلك عند الطول الموجي (532nm) حيث ان قياس معامل الانكسار بتقنية تعديل الطور الذاتي المكاني (SSPM) و تقنية Z-scan عند الطول الموجي 405nm قد تمت عند شدة عالية جدا ( $8.42\text{MW/m}^2$ ) وهي أعلى بكثير من الشدة المستخدمة عند الطول الموجي (532nm) و التي تبلغ حوالي (2.08nm) و لذلك ظهر معامل الانكسار بقيم اقل. اما قيم القابلية اللاخطية المدرجة في الجدول (٤-٤) تكون قيمتها عند الطول الموجي (532nm) اعلى من باقي الاطوال الموجية المستخدمة تبعا لقيم معامل الانكسار اللاخطي.

٤ - ٤ - ٢ الخصائص البصرية اللاخطية باستخدام تقنية تعديل الطور الذاتي المكاني  
Spatial Self-Phase Modulation (SSPM)

سنستعرض في هذه الفقرة نتائج خواص الانكسار اللاخطي لعوالق Fe(III) Oxalate NPs و Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> NFs باستخدام تقنية (SSPM) تحت تأثير ثلاث اطوال موجية و بشدات و تراكيز مختلفة.

٤ - ٤ - ٢ - ١ الخواص اللاخطية باستخدام تقنية (SSPM) لشظايا Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> النانوية

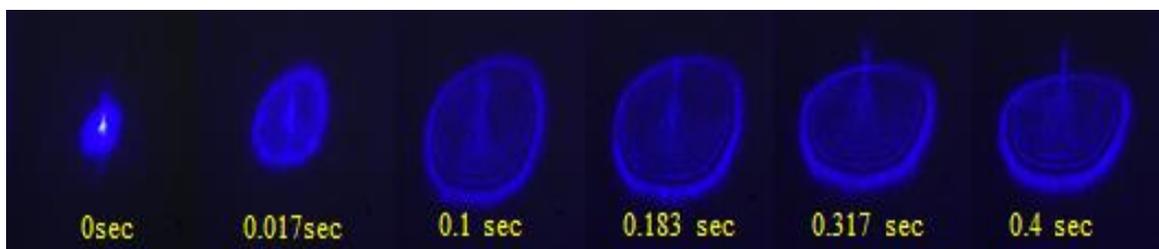
**Nonlinear properties using (SSPM) technique for Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> NFs**

في هذه الفقرة سيتم استعراض الخصائص اللاخطية باستعمال تقنية تعديل الطور الذاتي المكاني لعوالق Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> NPs ودراسة تأثير التركيز و شدة الليزر المسلطة على الخواص اللاخطية تحت تأثير ثلاثة أطوال موجية (405nm,532nm,650nm) و كذلك تنفيذ تجربة المفتاح البصري للعوالق تحت الدراسة.

٤ - ٤ - ٢ - ١ التطور الزمني للحلقات الحيود المتكونة لشظايا Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> النانوية

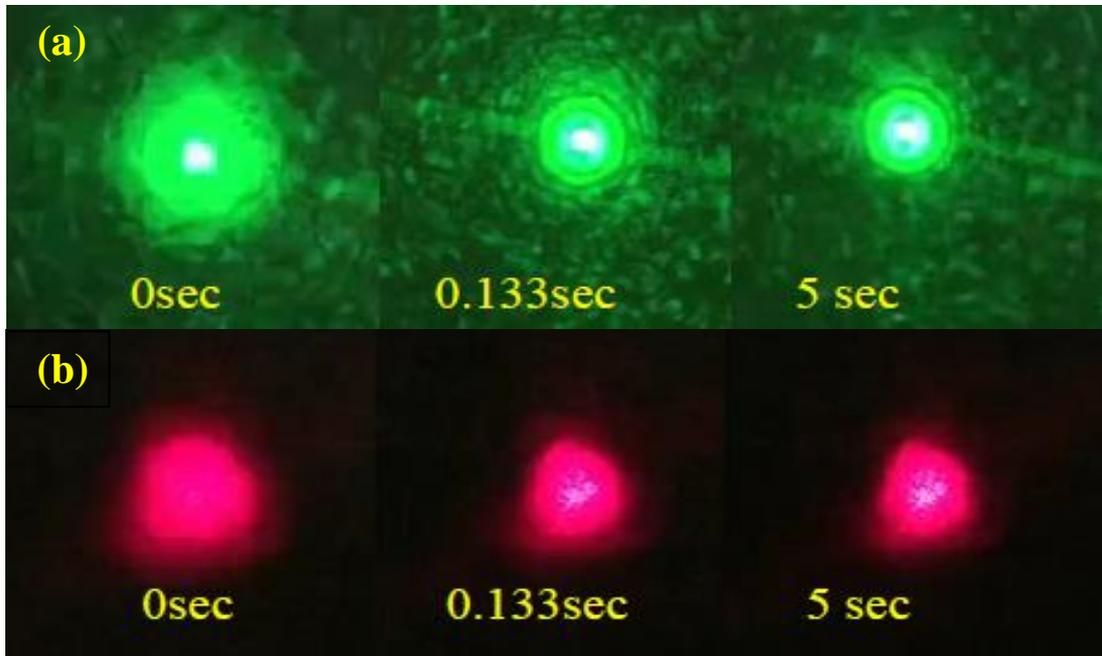
**Time evolution of the formed diffraction rings of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> NFs**

الشكل (4-12) يوضح التطور الزمني للحلقات المتكونة في عوالق Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> النانوية تحت تأثير الطول الموجي (405nm).



الشكل (4-12) تطور الحلقات الزماني لشظايا Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> النانوية عند الطول الموجي 405nm

نلاحظ من خلال الشكل (٤-١٢) ان تكون حلقات الحيود عند الطول الموجي (405nm) يكون واضح نسبيا و بعدد كبير و يلاحظ أنه في بداية تسليط شعاع الليزر على العينة عند (0sec) لا تظهر حلقات كما هو موضح في الشكل (٤-١٢). بعد مرور فترة زمنية قصيرة جداً حوالي (0.017sec) تبدأ الحلقات في التكون بعدد متزايد. يصل عددها إلى أقصى حد بعد حوالي (١,٨٣sec, ٠). بعد ذلك يبدأ الجزء العلوي من هذه الحلقات في الانكماش تدريجياً حتى تستقر الحلقات على شكل نصف دائرة تقريباً بعد مرور (0.4sec) سبب تقلص هذه الحلقات هو الجاذبية التي تسبب التوزيع الحراري غير المنتظم أسفل الحلقات وفوقها كما تم توضيحه في المصدر [٥٩]. اما الشكل (٤-١٣ a,b) يوضح التطور الزمني لحلقات الحيود المتكونة لعوالق  $Fe_2O_3$  النانوية تحت تأثير الطولين الموجيين (532nm, 650nm).



الشكل (4-13) تطور الحلقات الزمني لشظايا  $Fe_2O_3$  النانوية

a- 532nm . b- 650nm

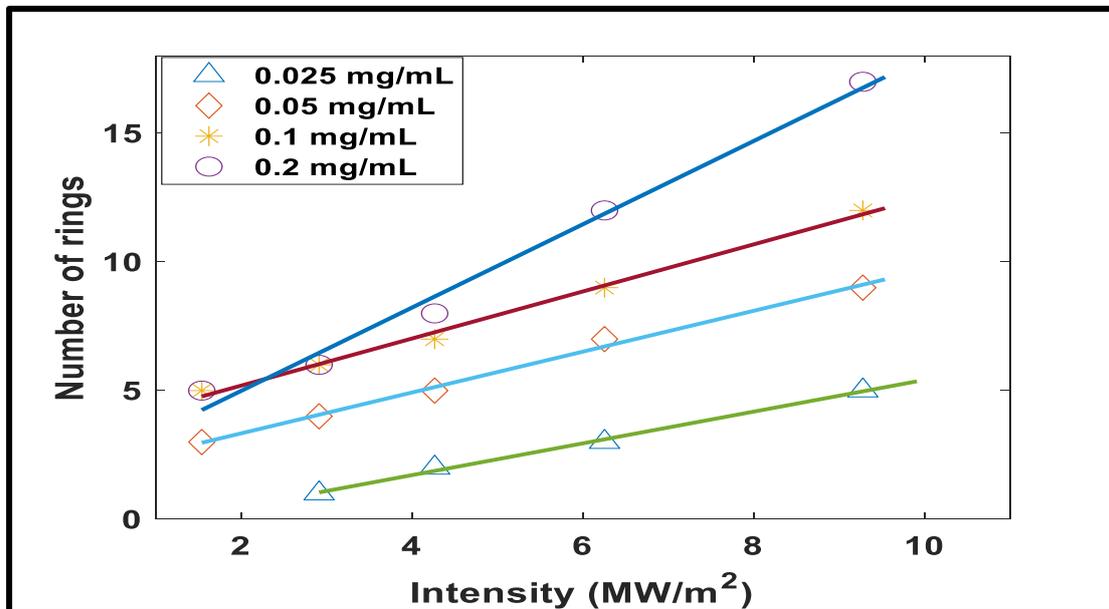
كما موضح في الشكل (٤-١٣) عند الطول الموجي (532nm,650nm) بالرغم من الشدة العالية لليزر المستخدم فإنها لا تظهر اي حلقات. و هذا يعني انه عند هذه الاطوال الموجية تكون الشدة

المناقشة

القصى المستخدمة و التي تكون بحدود ( $25\text{MW/m}^2$ ) اقل من شدة العتبة اللازمة لتشكيل حلقات الحيويد.

٤ - ٢ - ١ - ٢ تأثير شدة الليزر على عدد الحلقات لشظايا  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  النانوية  
Effect of laser intensity on the ring number of  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  NFs

لإظهار تأثير الشدة على عدد حلقات الحيويد لشظايا  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  النانوية المتكونة عند الطول الموجي ( $405\text{nm}$ ) تم دراسة تكون الحلقات عند شدات مختلفة و كما موضح في الشكل (4-14). يمكن الملاحظة من خلال الشكل (٤-١٤) انه عند الطول الموجي ( $405\text{nm}$ ) فان عدد الحلقات يزداد خطياً مع قيمة شدة الضوء التي تم استعمالها و ان هذه الزيادة تكون خطية في جميع التراكيز قيد الدراسة. لكن و بالرغم من هذه الزيادة الخطية الا أنه معامل الانكسار اللاخطي لا يتغير بصورة خطية مع تغيير الشدة الضوئية المستخدمة بل يعتمد التغيير في معامل الانكسار على تركيز الجسيمات النانوية المستخدمة كما سيتم توضيحها لاحقاً.

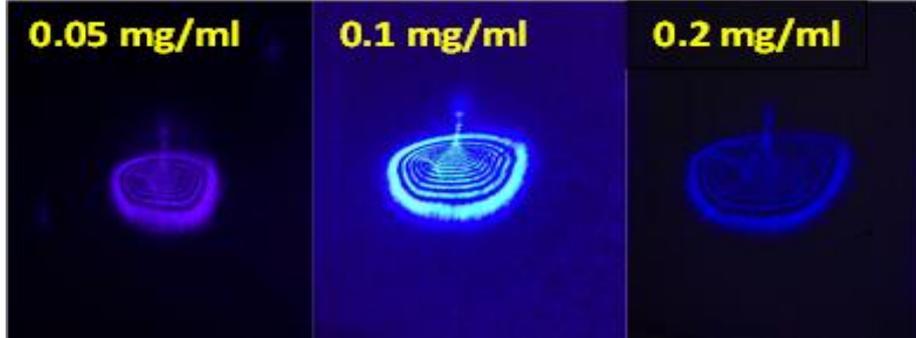


الشكل (4-14) تغيير عدد الحلقات مع الشدة المسلطة عند الطول الموجي  $405\text{nm}$  لشظايا  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  النانوية

الشكل (٤-١٥) يوضح صور مباشرة لتأثير التركيز على عدد الحلقات باستعمال اعلى شدة و تبلغ ( $9.27\text{MW/m}^2$ ) عند الطول الموجي ( $405\text{nm}$ ) إذ نلاحظ انه بزيادة التركيز تزداد عدد الحلقات

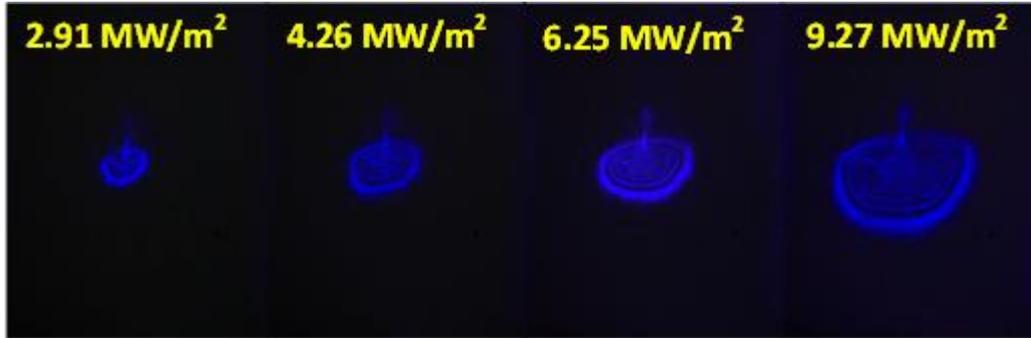
المناقشة

بشكل واضح، و ذلك بسبب زيادة عدد العوالم النانوية الموجودة في المحلول و بذلك ظهور واضح للخواص اللاخطية.



الشكل (4-15) تأثير التركيز على عدد الحلقات لعوالم  $Fe_2O_3$  NFs

اما تأثير الشدة الضوئية المسلطة على عدد الحلقات المتكونة فيمكن ملاحظتها في الشكل (4-16) حيث يوضح زيادة عدد الحلقات النهائي كلما ازدادت الشدة المسلطة عند الطول الموجي (405 nm)

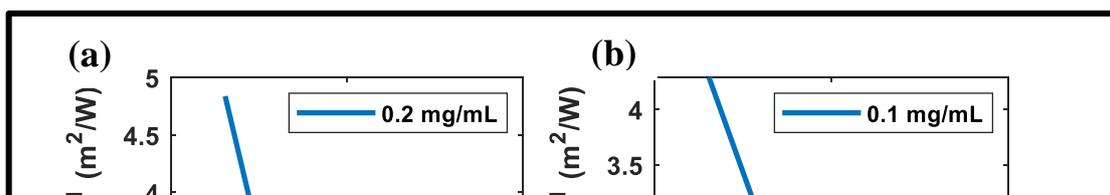


الشكل (4-16) تأثير الشدة على عدد الحلقات لعوالم  $Fe_2O_3$

٤ - ٤ - ٢ - ١ - ٣ علاقة الشدة المسلطة مع معامل الانكسار اللاخطي لشظايا  $Fe_2O_3$  النانوية

Relationship of projected intensity with nonlinear refractive index of  $Fe_2O_3$  NFs

الشكل (4-١٧) يوضح تأثير شدة الليزر على معامل الانكسار لتراكيز مختلفة وانه لا يتغير بصورة خطية معه.

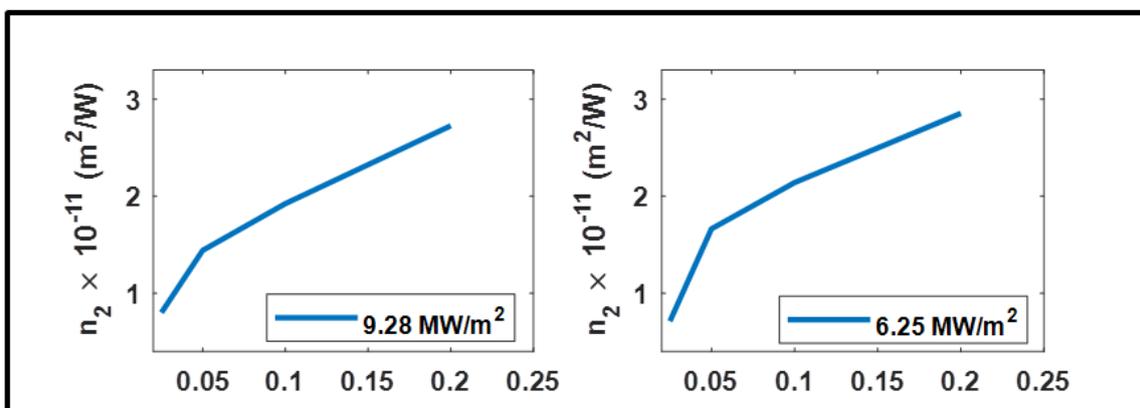


من خلال الشكل (٤-١٧) يمكن الملاحظة انه عند التراكيز العالية (0.2,0.1,0.05) mg/ml فإن قيمة معامل الانكسار اللاخطي تقل مع زيادة شدة حزمة الليزر المسلطة كما موضح في الشكل (٤-١٧a,b,c) و يرجع السبب في ذلك الى التشبع في اللاخطية للمادة النانوية المستخدمة و هذا يعني ان قيمة معامل الانكسار عند هذه التراكيز تكون اعلى ما يمكن اما عند اقل تركيز (0.025) mg/ml فان قيمة معامل الانكسار اللاخطي تزداد بشكل طفيف مع زيادة شدة الليزر المسلطة اشارة الى عدم تشبع الاستجابة اللاخطية للمادة عند القيم التابعة لهذا التركيز.

٤ - ٤ - ٢ - ١ - ٤ تأثير التركيز على معامل الانكسار اللاخطي لشظايا  $Fe_2O_3$  النانوية

**Effect of concentration on the nonlinear refractive index of  $Fe_2O_3$  NFs**

الشكل (4-18) يوضح تأثير التركيز على معامل الانكسار اللاخطي تحت تأثير شدات مختلفة.



من خلال الشكل (٤-١٨) يمكن الملاحظة انه عند تسليط شدة عالية تبلغ  $9.28 \text{ MW/m}^2$  يزداد معامل الانكسار عند زيادة تركيز العوالق النانوية لشظايا  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  و يصل عند قيمة معينة و يستقر و هذا يحدث بسبب التشبع اللاخطي كما ذكر اعلاه و عند تقليل الشدة الى قيم اقل  $6.25, 4.27, 2.9 \text{ MW/m}^2$  فان قيمة التشبع اللاخطي تكون اكثر وضوحا كلما قل مقدار الشدة الضوئية المستخدمة، و يعود السبب في ذلك الى استنزاف الطاقة الضوئية او استنزاف الجزء الفعال منها على الاقل في اثاره الخواص اللاخطية و الذي يكون اكثر وضوحا عند الشدات الضوئية الاقل. إن القيمة المطلقة لمعامل الانكسار اللاخطي تزداد بزيادة تركيز العوالق النانوية و كما موضح في الجدول (٥-٤) إذ إن هذه الزيادة تكون بسبب زيادة عدد الجسيمات الماصة للطاقة الضوئية و التي تؤدي الى زيادة كمية الحرارة المتسربة إلى المحلول و التي تؤدي بدورها الى تاثيرات لاخطية اكبر.

الجدول (4-5) معامل الانكسار اللاخطي و التأثيرية اللاخطية لشظايا  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  النانوية عند الطول الموجي  $405\text{nm}$

$- n_2 \times 10^{-11} (\text{m}^2/\text{W})$				
C (mg/ml)	0.2	0.1	0.05	0.025
Intensity $\text{MW/m}^2$				
9.28	2.726	1.924	1.443	0.801
6.25	2.854	2.141	1.665	0.713

4.27	2.790	2.441	1.744	0.697
2.91	3.065	3.0658	2.0438	0.5109
1.53	4.837	4.397	2.902	—
$\chi^{(3)} \times 10^{-8}$ e.s.u				
9.27mW	8.721	5.1521	4.3061	3.3242

٤ - ٤ - ٢ - ٢ الخواص اللاخطية باستخدام تقنية (SSPM) لعوالق اكزالات الحديد الثلاثي

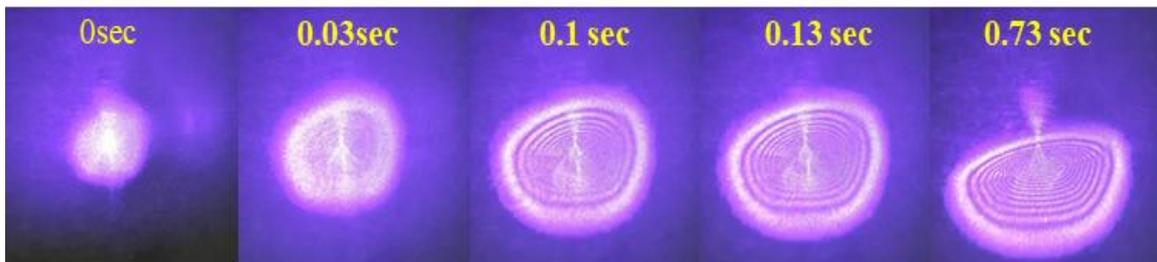
### Nonlinear properties using (SSPM) suspensions of iron(III) oxalates

في هذه الفقرة سيتم استعراض الخصائص اللاخطية باستخدام تقنية تعديل الطور الذاتي المكاني لعوالق Fe(III) Oxalate NPs ودراسة تأثير التركيز و شدة الليزر المسلطة على الخواص اللاخطية تحت تأثير ثلاث اطوال موجية مختلفة و كذلك تنفيذ تجربة المفتاح البصري للعوالق تحت الدراسة.

٤ - ٤ - ٢ - ٢ - ١ التطور الزمني لحلقات الحيود المتكونة في عوالق اكزالات الحديد الثلاثي

### Time evolution of diffraction rings formed in iron(III) oxalate suspensions

الشكل (19-4) يوضح علاقة الزمن مع عدد حلقات الحيود المتكونة لعوالق Fe(III) Oxalate.

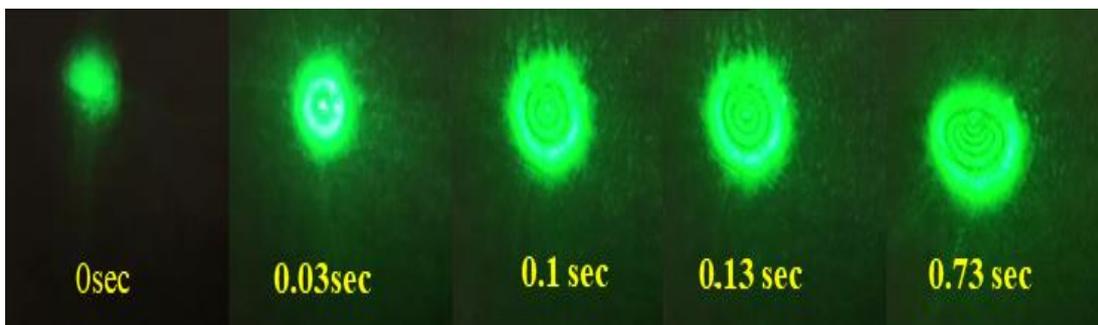


الشكل (19-4) تطور الحلقات الزمنية لعوالق Fe(III) Oxalate النانوية عند الطول الموجي 405nm من خلال الشكل (١٩-٤) نلاحظ انه عند الطول الموجي (405nm) و عند تسليط شدة معينة فإنه عند بداية تسليط الليزر على العينة اي عند زمن (0sec) لا توجد اي حلقات للحيود و بعد مرور فترة

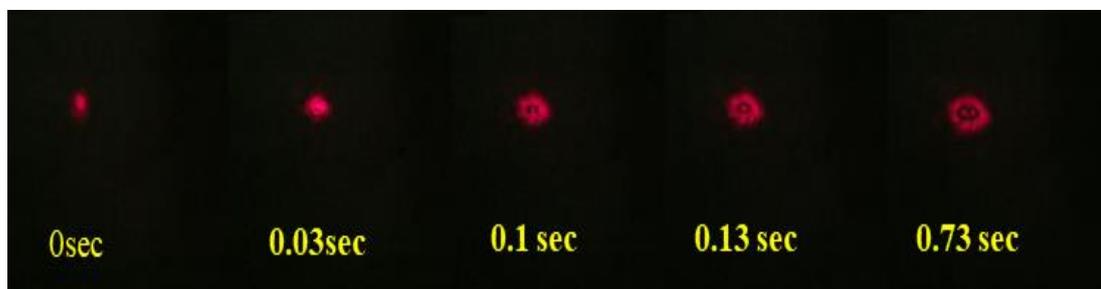
المناقشة

زمنية اقل من (0.03sec) تبدأ الحلقات بالظهور و لكن بصورة غير واضحة، اما عند الزمن (0.1sec) تبدأ الحلقات بالازدياد و بصورة واضحة و تصل الى اقصى حد من حيث العدد و القطر عند الزمن (0.13sec) بعدها تبدأ بالانكماش من النصف الاعلى حتى تستقر عند شكل معين عند الزمن (0.73sec) و يكون السبب الانكماش هو عدم تساوي التوزيع الحراري بسبب الجاذبية و تيارات الحمل الحرارية [59].

عند الطول الموجي (532nm) نلاحظ أنه عند بداية تسليط الليزر لا تظهر اي حلقات للحيود كما مبين في الشكل (٤-٢٠)، و بعد مرور فترة من الزمن تقريبا عند الزمن (0.03sec) تبدأ الحلقات بالتكون و بعدها تبدأ بالازدياد و بصورة واضحة عند الزمن (0.13sec) و تستقر عندها من حيث العدد و القطر بعدها تبدأ الحلقات بالانكماش لتستقر بعد مرور زمن مقداره (0.73sec) منذ تسليط حزمة الليزر بسبب التوزيع الحراري غير المنتظم كما ذكر سابقا.



الشكل (4-20) تطور الحلقات الزمني لعوالق Fe(III) Oxalate النانوية عند الطول الموجي 532nm عند الطول الموجي (650nm) بالرغم من شدة الليزر العالية التي تم تسليطها على العينة فنلاحظ من الشكل (٤-٢١) تولد حلقة واحدة فقط حتى بعد مرور مدة زمنية طويلة مما يدل على ان الشدة الضوئية القصوى المستعملة هي اقل من شدة العتبة اللازمة لتوليد حلقات الحيود عند هذا الطول الموجي و ذلك لصغر قيمة معامل الانكسار اللاخطي عند هذا الطول الموجي.

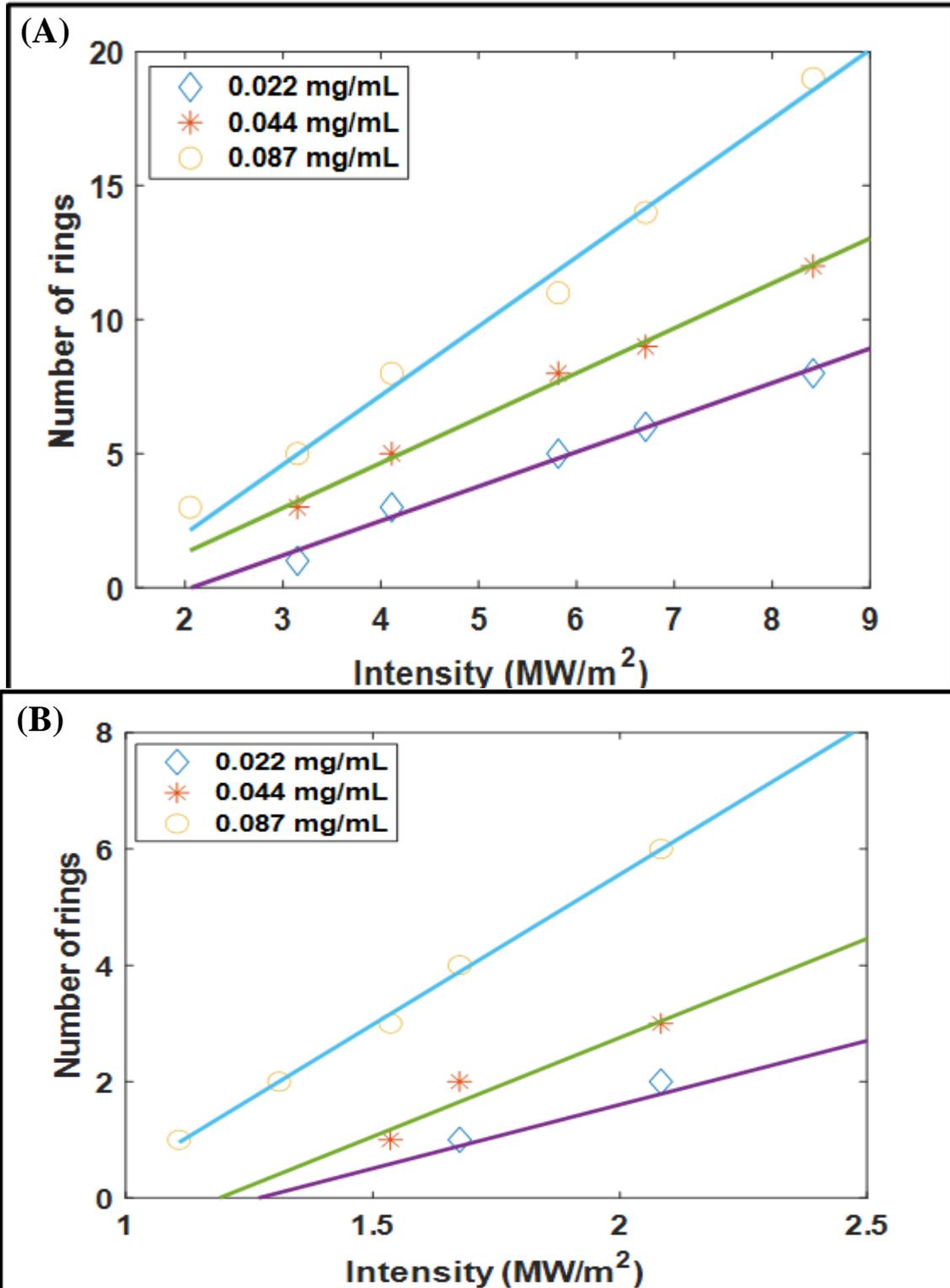


الشكل (4-21) تطور الحلقات الزمني لعوالق Fe(III) Oxalate النانوية عند الطول الموجي 650nm

٤ - ٤ - ٢ - ٢ تأثير الشدة على عدد الحلقات لعوالق اكزالات الحديد الثلاثي

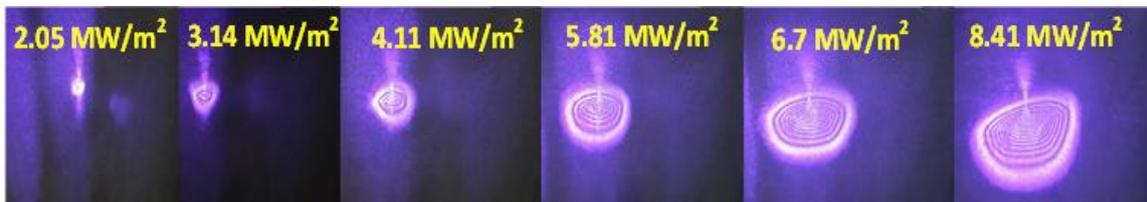
**Effect of the intensity on the number of rings of suspensions iron(III) oxalates**

لبيان تأثير الشدة على عدد حلقات الحيود المتكونة عند الطولين الموجيين (405nm, 532nm) على التوالي لعوالق Fe(III) Oxalate NPs تم اجراء تجارب توليد حلقات الحيود عند شدات ضوئية مختلفة و لتركيز مختلفة و كانت النتيجة كما موضح في الشكل (٤-٢٢).

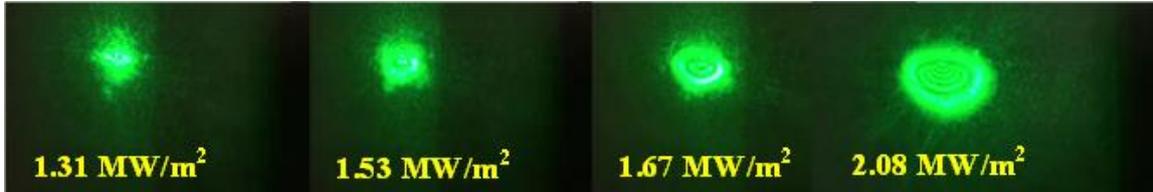


الشكل (٤-٢٢) تغيير عدد الحلقات مع الشدة المسلطة لعوالق Fe(III) Oxalate NPs a- 405nm , b- 532nm

يمكن الملاحظة من الشكل (٢٢-٤) انه زيادة الشدة الضوئية المستخدمة تؤدي الى زيادة خطية في عدد الحلقات المتكونة و لجميع التراكيز و عند كلا الطولين الموجيين. و لتوضيح تأثير شدة الليزر المسلطة على عدد الحلقات بشكل مباشر تم ادراج الشكل النهائي للحلقات المتكونة عند التركيز  $(0.087)\text{mg/ml}$  و باستعمال شدات ضوئية مختلفة وكما موضح في الشكلين (٢٣-٤) و (٢٤-٤) للطولين الموجيين  $405\text{ nm}$  و  $532\text{ nm}$ .



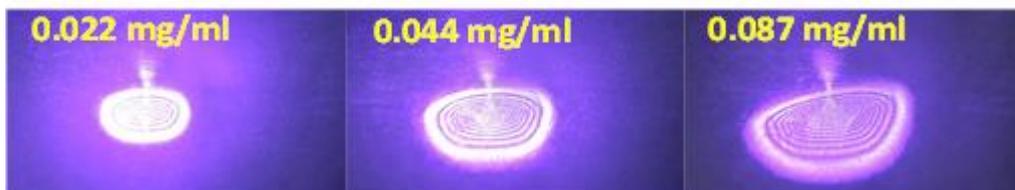
الشكل (23-4) تأثير شدة الليزر على عدد الحلقات لعوالق Fe(III)Oxalate NPs عند الطول الموجي  $405\text{nm}$



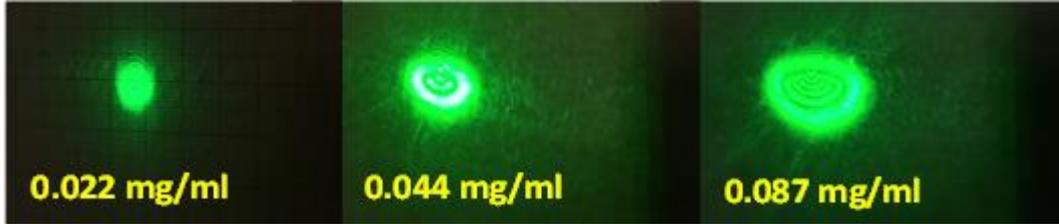
الشكل (24-4) تأثير شدة الليزر على عدد الحلقات لعوالق Fe(III)Oxalate NPs عند الطول الموجي  $532\text{nm}$

نلاحظ من الشكلين (٢٣-٤) و (٢٤-٤) ان القيم القليلة جدا للشدة الضوئية فان حلقات الحيود لا تتكون اشارة الى ان هذه القيم هي اقل من مقدار شدة العتبة اللازمة لتوليد الحلقات عند الطول الموجي المحدد إذ أنّ اهم عامل لتحديد قيمة شدة العتبة عند طول موجي معين هو مقدار الامتصاصية الخطية للمادة عند هذا الطول الموجي.

و لتوضيح تغير عدد حلقات الحيود المتكونة مع تغير التركيز تم ادراج شكل الحلقات النهائي عند تراكيز مختلفة لكن عند شدة ضوئية ثابتة و كما موضح في الشكلين ادناه



الشكل (25-4) تأثير التركيز على عدد الحلقات لعوالق Fe(III) Oxalate NPs عند الطول الموجي  $405\text{nm}$



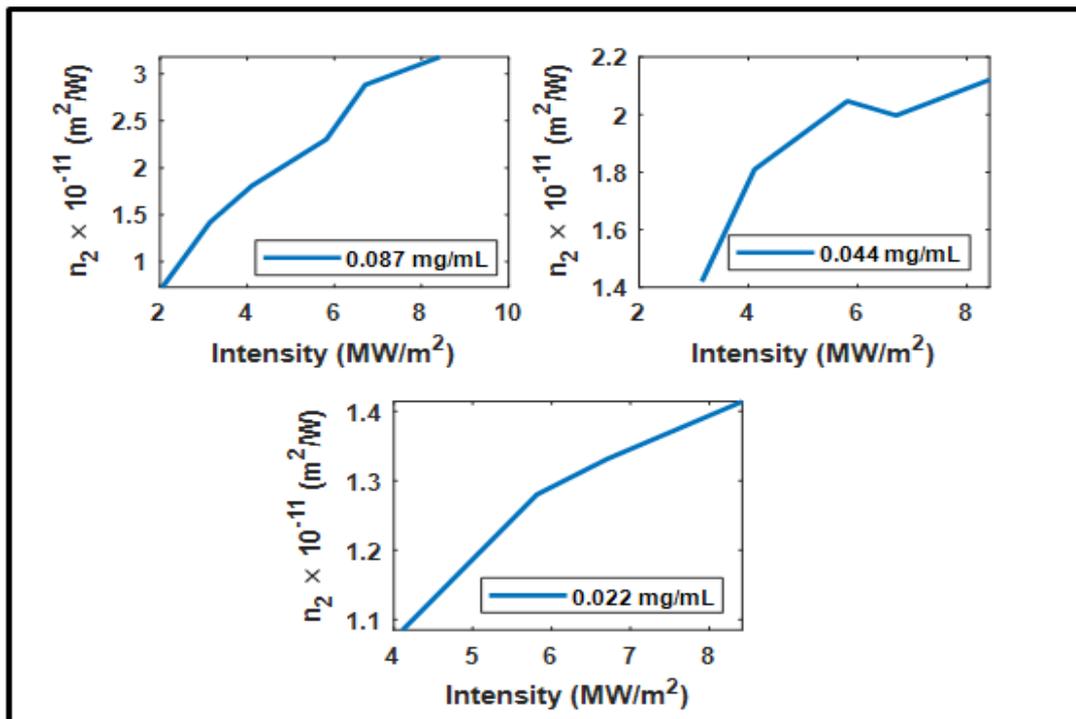
الشكل (4-26) تأثير التركيز على عدد الحلقات لعوالق Fe(III) Oxalate NPs عند الطول الموجي 532nm

نلاحظ من الشكل انه عند التركيز (0.22) mg/ml فان الشدة الضوئية القصوى عند الطول الموجي 532 nm تكون غير كافية لتحفيز اللاخطية لجسيمات الاكسالات النانوية و بالتالي عدم ظهور حلقات الحيود عند هذا التركيز.

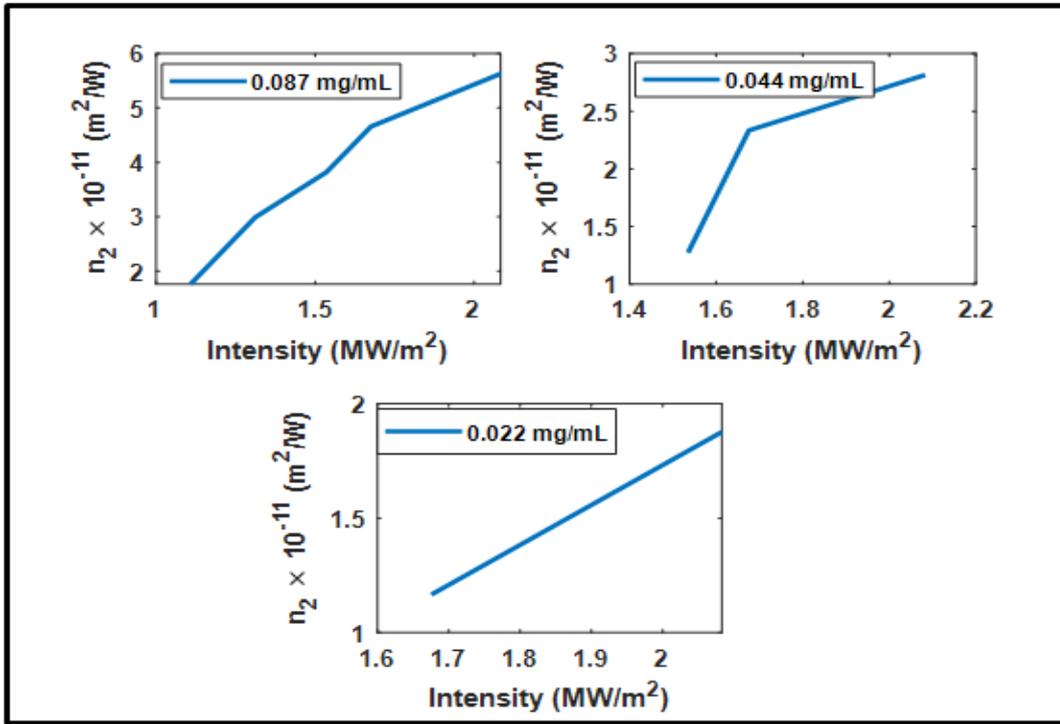
٤ - ٤ - ٢ - ٣ تأثير الشدة المسلطة على معامل الانكسار اللاخطي لعوالق اكزالات الحديد الثلاثي

### Effect of the applied intensity on the nonlinear refractive index of iron(III) oxalates

على الرغم من العلاقة الخطية بين الشدة الضوئية المستخدمة و عدد الحلقات المتكونة عند كل التراكيز المدروسة الا ان علاقة قيمة معامل الانكسار اللاخطي بالشدة الضوئية المستخدمة ليست خطية و شكلها يعتمد على تركيز العوالق النانوية في المحلول. الاشكال (٤-٢٧) و (٤-٢٨) توضح تأثير الشدة على معامل الانكسار اللاخطي لعوالق Fe(III) Oxalate النانوية تحت تأثير الطول الموجي (405nm) و (532nm) و بتراكيز مختلفة.



الشكل (4-27) تغيير الشدة المسلطة مع معامل الانكسار اللاخطي لعوالق Fe(III) Oxalate



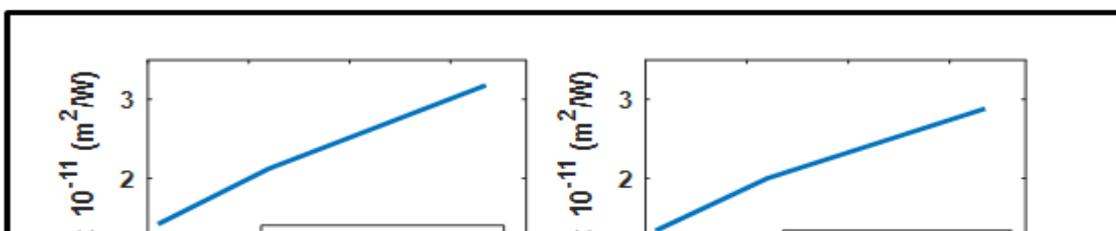
الشكل (4-28) تغيير الشدة المسلطة مع معامل الانكسار اللاخطي لعوالق Fe(III) Oxalate النانوية عند الطول الموجي 532nm

نلاحظ من الشكلين (٤-٢٧) و (٤-٢٨) لان معامل الانكسار اللاخطي يزداد بزيادة الشدة لكن ليس بشكل خطي بل يصل الى قيمة معينة تعتمد على تركيز المادة بعدها يظهر نوع من اللاخطية في علاقته مع الشدة الضوئية المستخدمة ماعدا عند التركيز القليل جدا عند الطول (532)nm، إذ تكون العلاقة خطية. سبب العلاقة غير الخطية بين معامل الانكسار اللاخطي و الشدة المستخدمة يمكن ان يكون التشبع الحاصل في الاستجابة اللاخطية عند الطول الموجي المحدد و التركيز المحدد.

٤ - ٤ - ٢ - ٢ - ٤ تأثير التركيز على معامل الانكسار اللاخطي لعوالق اكزالات الحديد الثلاثي

### Effect of concentration on the nonlinear refractive index of iron(III) oxalates

الشكل (4-29) يوضح تأثير التركيز لعوالق Fe(III) Oxalate النانوية التي قيد الدراسة على معامل الانكسار اللاخطي.



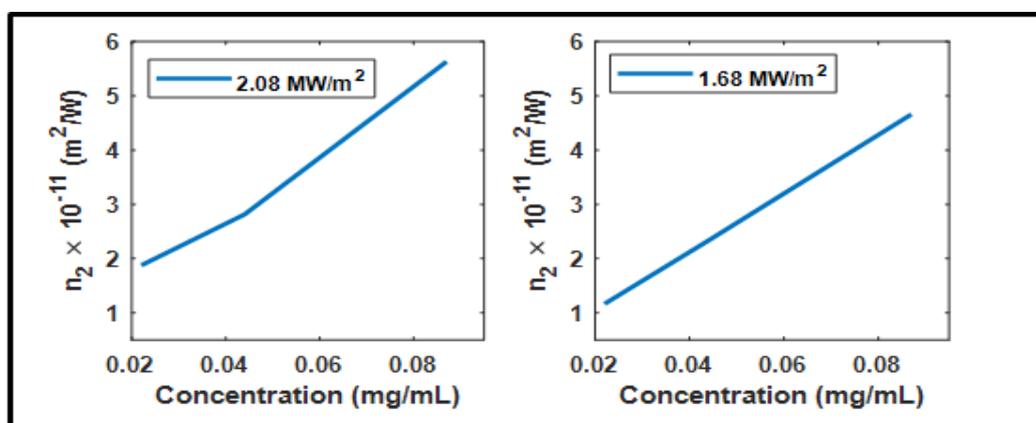
نلاحظ من الشكل (٤-٢٩) نوعين من تصرف تغير معامل الانكسار اللاخطي مع زيادة التركيز. عند الشدة العالية ( $8.42 \text{ MW/m}^2$ ) نلاحظ انه عند زيادة التركيز تزداد القيمة المطلقة لمعامل الانكسار و بشكل خطي تقريبا؛ و ذلك بسبب الوفرة الفوتونية العالية عند هذه الشدة و التي ممكن ان توفر شدة تفوق شدة العتبة بالرغم من زيادة عدد الجسيمات النانوية الماصة للطاقة عند زيادة لتركيز. لكن هذه العلاقة الخطية لا يمكن ملاحظتها عند تقليل مقدار الشدة الضوئية المستخدمة إذ أنه عند الشدات القليلة فإن معامل الانكسار اللاخطي يظهر علاقة غير خطية مع التركيز و ان ابتعاد علاقته مع التركيز عن العلاقة الخطية يزداد كلما قلت الشدة المستخدمة و أنّ سبب هذا هو انه عند الشدات الضوئية القليلة فان زيادة عدد الجسيمات النانوية الماصة للطاقة بزيادة التركيز يؤدي الى استنزاف الطاقة الضوئية الساقطة على النموذج مما يؤدي الى توقف زيادة معامل الانكسار اللاخطي بزيادة التركيز. إذ نلاحظ انه عن الشدة القليلة جدا ( $4.11 \text{ MW/m}^2$ ) في الشكل (٤-٢٩) فانه على الرغم من مضاعفة التركيز إلا أنّ قيمة معامل الانكسار اللاخطي لم تتغير.

الجدول (4-6) معامل الانكسار اللاخطي و التأثيرية اللاخطية لعوالق Fe(III) Oxalate النانوية عند الطول الموجي 405nm

$- n_2 \times 10^{-11} (\text{m}^2/\text{W})$			
C (mg/ml)	0.087	0.044	0.022

Intensity (MW/m <sup>2</sup> )			
8.41	٣,١٨١٥	2.121	1.414
6.70	٢,٨٨٤٥	1.997	1.331
5.81	٢,٣٠٣	2.047	1.28
4.11	١,٨٠٩٤	1.809	1.085
3.14	١,٤٢	1.42	—
2.05	٠,٧٢٦	—	—
$\chi^{(3)} \times 10^{-7}$ e.s.u			
405 nm	١,٣٤١	0.903993	0.693699

اما عند الطول الموجي 532 nm فان الشكل (4-30) توضح تأثير التركيز على معامل الانكسار اللاخطي لعوالق Fe(III) Oxalate NPs عند شدتين مختلفتين.



الشكل (4-30) تأثير التركيز على معامل الانكسار اللاخطي بشدات مختلفة لعوالق Fe(III) Oxalate NPs عند الطول الموجي 532nm

يبين الشكل ان زيادة التركيز تؤدي إلى زيادة خطية تقريبا عند كلا الشدتين مما يوحي بأنه عند هذا الطول الموجي فإن زيادة التركيز لا تؤدي الى استنزاف الطاقة الضوئية الساقطة، و من الممكن ان يعود السبب في هذا إلى كون الامتصاص الخطي للمادة النانوية عند هذا الطول الموجي اقل من تلك عند الطول الموجي 405 nm. قيم معامل الانكسار اللاخطي و قيم التأثيرية اللاخطية لجسيمات اكسالات الحديد الثلاثي مدرجة في الجدول (٧-٤).

الجدول (4-7) معامل الانكسار اللاخطي و التأثيرية اللاخطية لعوالق Fe(III) Oxalate النانوية عند الطول الموجي 532nm

$- n_2 \times 10^{-11}(\text{m}^2 / \text{W})$			
C (mg/ml)	0.087	0.044	0.022
Intensity (MW/m <sup>2</sup> )			
2.08	5.36	2.815	1.876
1.67	4.66	2.332	1.166
1.53	3.81	1.273	—
1.31	2.98	—	—
1.107	1.76	—	—
$\chi^{(3)} \times 10^{-7} \text{ e.s.u}$			
532 nm	2.98229	1.95358	1.41697

### ٤ - ٤ - ٣ المفتاح البصري لشظايا Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

### Optical switch to the Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fragments

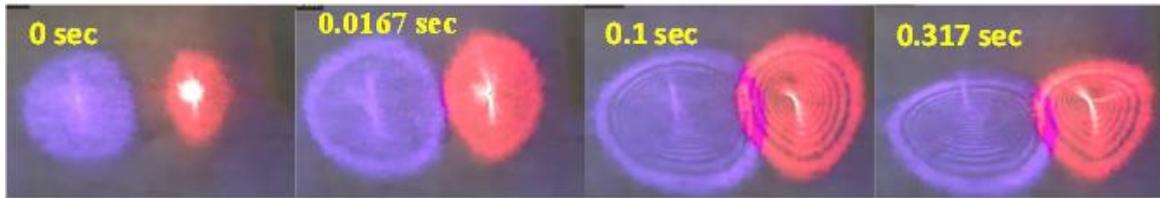
في هذه الفقرة سنستعرض نتائج المفتاح البصري و مناقشته لعوالق Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nano-fragments من اجل عمل المفتاح البصري تم استخدام ليزر (He-Ne) بطول موجي (632.8nm) بشدة واطئة جدا ليعمل كمجس او متحسس probe.

### ٤ - ٤ - ٣ تجربة المفتاح البصري لشظايا Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> النانوية

### Optical switch experiment for Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles

المناقشة

لتصميم مفتاح بصري متكامل تم استعمال حزمة ليزر (Pump=405nm) و حزمة ليزر (Probe=632.8nm) و عند استخدام شدة مناسبة لحزمة ليزر الـ(Pump)، يمكن ان تؤدي هذه الحزمة الى احداث تأثيرات بصرية لاختية للجسيمات النانوية من خلال تكوين حلقات حيود كما موضح اعلاه. من ناحية أخرى لا يستطيع ليزر He-Ne منخفض الشدة وحده إنتاج أي حلقات. ومع ذلك عند وجود حزمة الضخ عند 405nm، يتم تشكيل حلقات الحيود عند هذا الطول الموجي والطول الموجي لحزمة ليزر الـ (Probe)، كما هو موضح في الشكل (4-31).



الشكل (4-31) تكوين حلقات الحيود عند استخدام ليزر (Pump=405nm) وليزر (Probe=632.8nm)

يمكن الملاحظة انه عندما تكون حزم الضخ موجودة فان شدة هذه الحزمة تكون قادرة على تكوين حلقات الحيود و اظهار الخواص للاختية عند هذا الطول الموجي و كذلك لحزمة الـ (Probe) التي تمر عبر نفس منطقة تأثير حزمة الضخ كما موضح في الشكل (4-31).

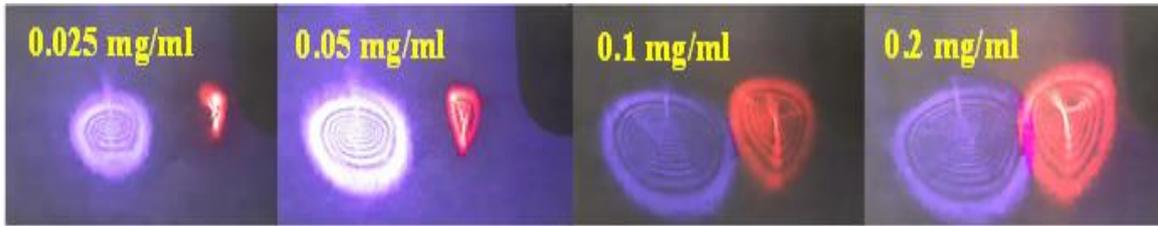
و نتائج هذه التجربة توضح امكانية تعديل الضوء منخفض الشدة بواسطة ضوء عالي الشدة من خلال عملية تعتمد على تعديل الطور العابر (Cross-phase modulation (XPM)). في هذه العملية يعمل شعاع الليزر عالي الشدة على تعديل الخصائص البصرية للاختية للوسط نفسه و للاشارة الضعيفة التي تمر عبر نفس الوسط و هذا يؤدي الى توليد حلقات الحيود من حزمة ليزر الـ (Probe) ويكون تطور الحلقات الزمني لحزمة المجس بنففس كيفية و زمن تطور حلقات حزمة الضخ كما موضح في الشكل اعلاه. و هذا اثبات آخر على أن الاثارة للاختية للمادة تتم عن طريق الليزر عالي الشدة المتمثل بحزمة الضخ. تظهر هذه النتائج إمكانية استعمال شظايا النانو من أكسيد الحديد لتصميم مفتاح ضوئي يمكنه العمل في مجالات مختلفة.

في الأطوال الموجية (532,650) nm، بينما سابقاً أنه من غير الممكن تكوين حلقات ثنائية في شظايا نانو من أكسيد الحديد باستعمال شدة بصرية تتجاوز  $25 \text{ MW/m}^2$ . يشير هذا إلى أنه في حدود الشدة الضوئية المستخدمة في هذا العمل، لا يمكن استعمال شظايا الحديد النانوية في الإيثانول لتصميم مفتاح ضوئي بأطوال موجية (532,650) nm.

٤ - ٣ - ٢ تأثير التركيز على عدد الحلقات في المفتاح البصري لشظايا  $\text{Fe}_2\text{O}_3$

### Effect of concentration on the number of rings in the optical switch of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> NFs

لدراسة تأثير التركيز على حزمتي ليزر (Pump,Probe) الذين يمران في عوالم Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> NFs تم تحقيق مبدأ المفتاح البصري بتركيز مختلفة من العوالم. الشكل (4-32) يوضح عدد حلقات الحيود المتولدة والتي تزداد عند زيادة التركيز للعوالم النانوية تحت الدراسة.



الشكل (4-32) تأثير التركيز على عدد الحلقات لحزمتي ليزر (Pump,Probe)

### ٤ - ٣ - ٣ تأثير الشدة المسلطة على عدد الحلقات في المفتاح البصري لشظايا Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

### Effect of intensity on the number of rings in the optical switch of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fragments

في البداية عند تسليط شدة مقدارها (1.53 MW/m<sup>2</sup>) نلاحظ تكون حلقات الحيود بعدد قليل و غير واضحة لحزمتي ليزر (Pump, Probe) و عند وصول الشدة الى قيمة (9.27 MW/m<sup>2</sup>) تزداد الحلقات بصورة واضحة كما موضح في الشكل (4-33). و هذا يدل على أن عدد حلقات الحيود يزداد خطيا مع زيادة الشدة الساقطة لليزر (Pump) وكذلك يشير إلى أن عدد الحلقات المتكونة من حزمة المجس (Probe) يتغير مع زيادة شدة حزمة الضخ.



الشكل (4-33) تأثير الشدة على حزمتي ليزر (Pump,Probe) لعوالم Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> NFs

### ٤ - ٤ - ٤ المفتاح البصري لعوالم اكزالات الحديد الثلاثي

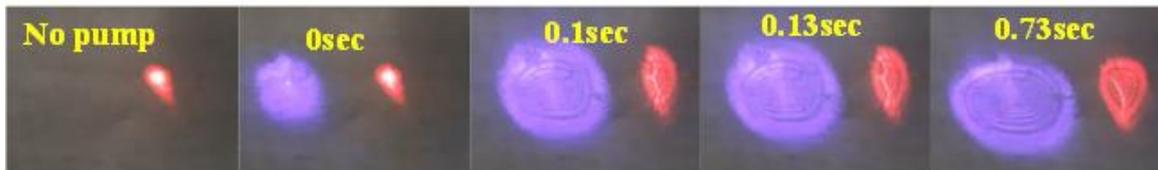
## Optical switch to suspension iron(III)oxalates

في هذه الفقرة سنستعرض نتائج المفتاح البصري و مناقشته لعوالق Fe(III) Oxalate NPs من اجل عمل المفتاح البصري إذ تم استعمال ليزر (He-Ne) بطول موجي (632.8nm) كمجس (Probe) بشدة واطئة جدا وتم استعمال طولين موجيين للضخ (405nm, 532nm) و كذلك تم دراسة تأثير التركيز و الشدة على اداء المفتاح البصري.

### ٤ - ٤ - ٤ - ١ تجربة المفتاح البصري لعوالق اكزالات الحديد الثلاثي

## Optical switch experiment for suspensions iron(III)oxalates

يوضح الشكل (34-4) حلقات الحيود التي تكونت عند استخدام حزمة ليزر (Pump=405nm) و حزمة ليزر (Probe=632.8nm).



الشكل (34-4) تكوين حلقات الحيود عند استخدام ليزر (Pump=405nm) و ليزر Fe(III) Oxalate NPs لعوالق (Probe=632.8nm)

يمكن الملاحظة انه عندما تكون حزمة الضخ غير موجودة فان شدة حزمة الليزر عند (632.8nm) تكون غير كافية لتكوين حلقات الحيود و اظهار الخواص اللاخطية عند هذا الطول الموجي كما مبين في الصورة الاولى لكن عندما تمر حزمة الضخ عبر نفس منطقة تبدأ حلقات الحيود بالظهور و بنفس التطور الزمني لتطور الحلقات في حال وجود حزمة الضخ لوحدها.

اما عند تسليط حزمة ليزر الضخ بطول موجي (532nm) و ليزر (Probe) عند طول موجي (632.8nm) فنلاحظ ان الحال الى حد ما مشابه لعملية تكون حلقات الحيود في اعلاه حيث تتكون الحلقات عند الطولين الموجيين لحزمتي الضخ و المجس بفعل تأثير حزمة الضخ كما موضح في الشكل (35-4).



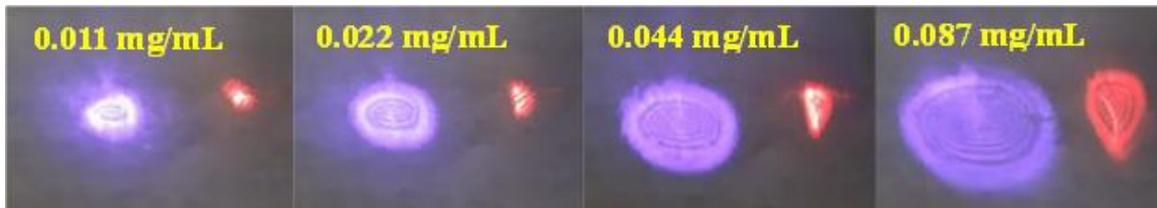
الشكل (35-4) تكوين حلقات الحيود عند استخدام ليزر (Pump=532nm) و ليزر Fe(III) Oxalate NPs لعوالق (Probe=632.8nm)

كذلك نلاحظ من الشكل (٤-٣٥) ان شكل حلقات الحيود غير متناظر الظهور و يكون سبب هذا هو شكل منطقة التقاطع بين حزمتي الضخ و المجس داخل المادة النانوية و يعتمد هذا على شكل الحزمتين و ترصيف المنظومة البصرية.

٤ - ٤ - ٢ تأثير التركيز على عدد الحلقات في المفتاح البصري لعوالق اكزالات الحديد الثلاثي

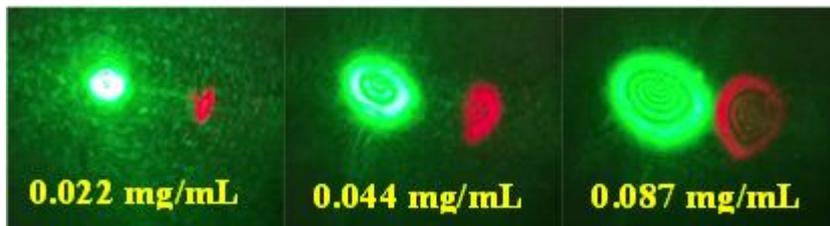
### Effect of concentration on the number of rings in the optical switch of suspensions iron(III) oxalates

لدراسة تائير التركيز على عدد الحلقات عند مرور حزمتي ليزر (Pump) عند الطول الموجي (405nm) و ليزر (Probe) بطول موجي (632.8nm) تم تسليط اعلى شدة لحزمة الضخ على تراكيز مختلفة من المادة النانوية و كانت النتيجة كما موضح في الشكل (4-36) حيث نلاحظ بان عدد الحلقات لحزمتي ليزر (Pump, Probe) تزداد عند زيادة التركيز و ذلك لزيادة عدد الجسيمات النانوية.



الشكل (4-36) تأثير التركيز على عدد الحلقات لحزمتي ليزر  
Pump=405nm,Probe=632.8nm

و كذلك عند تسليط حزمة ضخ بطول موجي (532nm) فنلاحظ انه عند التركيز القليل لا تظهر حلقات الحيود عند اي من الحزمتين لكن بزيادة التركيز فإن عدد الحلقات يزداد كما موضح في الشكل (4-37).

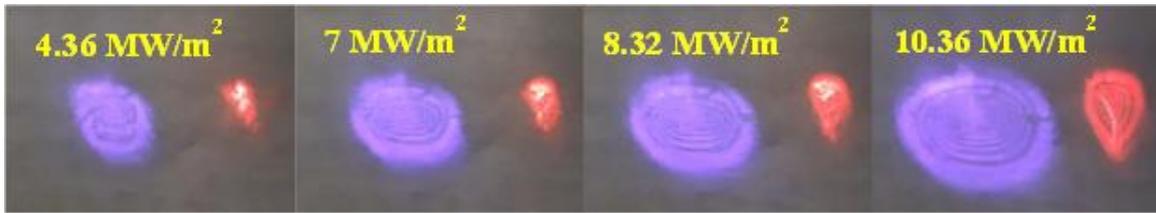


الشكل (4-37) تأثير التركيز على عدد الحلقات لحزمتي ليزر  
Pump=405nm,Probe=632.8nm

٤ - ٤ - ٣ تأثير الشدة المسلطة على عدد الحلقات في المفتاح البصري لعوالق اكزالات الحديد الثلاثي

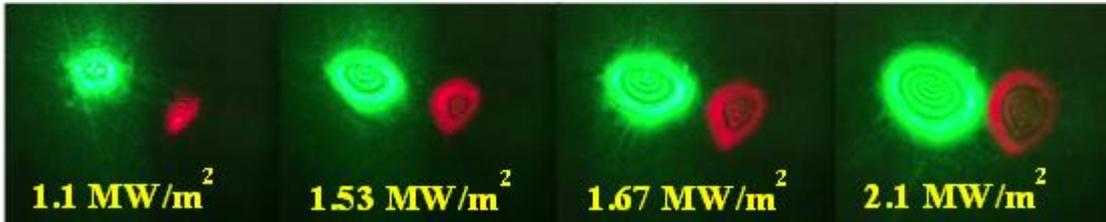
### Effect of intensity on the number of rings in the optical switch of suspensions iron(III) oxalate

عند تسليط حزمة ليزر (Pump) بطول موجي 405nm بشدة قليلة (تبلغ حوالي  $4.36 \text{ MW/m}^2$ ) تكون الحلقات المتولدة قليلة جدا و غير واضحة بعدها تبدأ الحلقات بالظهور بصورة واضحة عندما تبدأ شدة حزمة الضخ بالازدياد كما موضح في الشكل (4-38).



الشكل (4-38) تأثير الشدة على حزمتي ليزر Pump=405nm Probe=632.8nm لعوالق Fe(III) Oxalate NPs

كذلك فان تأثير زيادة شدة حزمة الضخ عند الطول الموجي 532 nm يكون مشابه للحاله اعلاه حيث ان عدد الحلقات تبدأ بالظهور عند زيادة شدة الليزر المسلطة كما موضح في الشكل (4-39).



الشكل (4-39) تأثير الشدة على حزمتي ليزر Pump=532nm Probe=632.8nm لعوالق Fe(III) Oxalate NPs

### Effect of Water

### ٤ - ٥ تأثير اضافة الماء

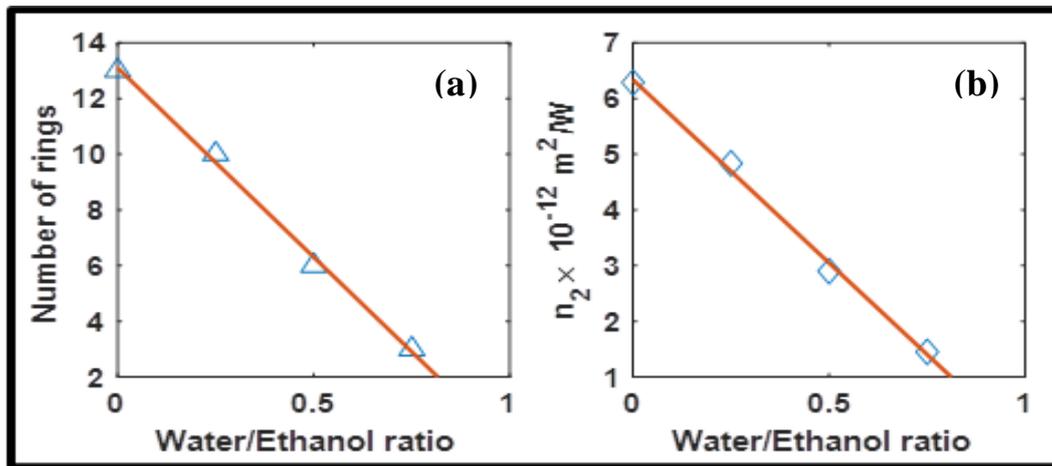
معامل الانكسار اللاخطي يمكن ان يكون سببه تأثيرات فيزيائية مختلفة اي يمكن ان يكون نتيجة لترتيب الجزيئات متباينة الخواص و تأثيرات الرنين و التأثيرات الحرارية فضلاً عن ذلك تعتمد قيمة معامل اللاخطي لنفس المادة على خصائص الجزيئات المحيطة. و بذلك يمكن للمذيب في السوائل ان

المناقشة

يغير بشكل كبير الخصائص اللاخطية للجزيئات المذابة عبر اليات مختلفة. و هناك العديد من العمليات التي يمكن ان تُسهم في تحديد الخواص اللاخطية للمذاب على سبيل المثال المعلمات التي يمكن ان تعدل اللاخطية للمذاب هي السعة الحرارية و التوزيع الحراري للمذيب [166]. و بسبب السعة الحرارية العالية للماء و التوصيلية الحرارية اعلى من الايثانول و هذا يعني ان الماء يحتاج الى حرارة اكثر لكي تظهر الخواص اللاخطية بينما عندما تم استعمال الايثانول يحتاج حرارة اقل و لإثبات ذلك قمنا بدراسة تأثير زيادة نسبة الماء في المحلول على قيمة معامل الانكسار اللاخطي بثبوت تركيز العوالق النانوية و كذلك بثبوت الشدة الضوئية المستخدمة و كانت النتائج كما موضح في الجدول (٤-٨) ادناه. و الشكل (٤-٤) يمثل تغير عدد الحلقات و تغير قيمة معامل الانكسار اللاخطي

الجدول (4-8) عدد الحلقات و معامل الانكسار اللاخطي لشظايا Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> النانوية عند الطول الموجي 405nm

$\lambda=405\text{nm}$				
Water /Ethanol	0%	25%	50%	75%
N	13	10	6	3
$- n_2 \times 10^{-12} (\text{m}^2/\text{W})$	6.28	4.83	2.90	1.45



الشكل (4-4) تأثير اضافة الماء على عدد الحلقات و معامل الانكسار اللاخطي لعوالق Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> NFs نلاحظ من خلال الشكل و الجدول (٤-٨) ان زيادة نسبة الماء في محلول العوالق النانوية يؤدي الى نقصان عدد الحلقات المتكونة و بالنتيجة قيمة معامل الانكسار اللاخطي و يكون هذا النقصان على شكل نقصان خطي. هذه النتيجة تثبت ان تولد الحلقات ناتجة عن معامل انكسار لا خطي سببه التأثيرات الحرارية التي تنتجها حزمة الليزر في المادة.

### الإستنتاجات

- ١- ان مادة اوكسيد الحديد المدروسة  $Fe_2O_3$  تمتلك تركيب عشوائي غير متبلور اما مادة اكسالات الحديد الثلاثي Fe(III) Oxalate فإنها ذات تركيب متبلور.
- ٢- يمكن تحضير مادة اكسالات الحديد الثلاثي النانوية بطريقة الاستئصال بالليزر في الايثانول.
- ٣- ان معامل الانكسار اللاخطي لكلا المادتين هو سالب القيمة ناتج عن تأثيرات حرارية و يتغير بتأثير التركيز و الشدة المسلطة و كذلك الطول الموجي المستخدم و بكيفيات تعتمد على الترابط بين هذه العوامل.
- ٤- عوالت اوكسيد الحديد النانوية ممكن ان توظف في تصميم مفتاح بصري يضخ عند 405nm في حين ان اكسالات الحديد الثلاثي النانوية ممكن ان تعمل بحزمة ضخ عند 532nm فضلاً عن تلك عند 405nm.

### الاعمال المستقبلية

- ١- دراسة تأثير المجال المغناطيسي الخارجي على الخواص اللاخطية للمواد المغناطيسية.
- ٢- دراسة أهم المؤثرات الفعالة على إنتاج اكسالات الحديد و خواصها من حيث التركيب و الخواص البصرية.
- ٣- دراسة تأثير طلاء مركبات الحديد بمواد بوليميرية و مواد فلزية على خواصها البصرية الخطية و اللاخطية.
- ٤- دراسة تأثير درجات الحرارة على ثباتية مركبات الحديد النانوية و خواصها البصرية داخل السائل.

- [1] Ion, John. *Laser processing of engineering materials: principles, procedure and industrial application*. Elsevier, (2005).
- [2] Svelto, Orazio, and David C. Hanna. *Principles of lasers*. Vol. 4. New York: Plenum press, (1998).
- [3] Sona, Alberto. "Lasers and their applications." an English translation of "Lazery i ikh primenenie", Nauka Press, Moscow (1976).
- [4] Brehm, John J., William J. Mullin, Arthur Beiser, T. R. Sandin, Hans C. Ohanian, and William F. Hornyak. "Introduction to the Structure of Matter: A Course in Modern Physics and Concepts of Modern Physics and Essentials of Modern Physics and Modern Physics." *Physics Today* 42, no. 12 (1989): 64.
- [5] Früngel, Frank BA. *Optical Pulses-Lasers-Measuring Techniques*. Academic Press, (2014).
- [6] McClung, F. J., and R. W. Hellwarth. "Giant optical pulsations from ruby." *Applied Optics* 1, no. 101 (1962): 103-105.
- [7] Lamb Jr, Willis E. "Theory of an optical maser." *Physical Review* 134, no. 6A (1964): A1429.
- [8] Boyd, Robert W. *Nonlinear optics*. Academic press, (2020).
- [9] Shen, Yuen-Ron. "Principles of nonlinear optics." (1984).
- [10] Agrawal, Govind P. "Nonlinear fiber optics: its history and recent progress." *JOSA B* 28, no. 12 (2011): A1-A10.
- [11] Sutherland, Richard L. *Handbook of nonlinear optics*. CRC press, (2003).
- [12] Arivuoli, D. "Fundamentals of nonlinear optical materials." *Pramana* 57, no. 5 (2001): 871-883.
- [13] Boyd, R. W., and G. L. Fischer. "Nonlinear optical materials." *Encyclopedia of Materials: Science and Technology* (2001): 6237-6244.

- [14] Innocenzi, Plinio, and Bénédicte Lebeau. "Organic–inorganic hybrid materials for non-linear optics." *Journal of Materials Chemistry* 15, no. 35-36 (2005): 3821-3831.
- [15] Sankar, Pranitha, and Reji Philip. "Nonlinear optical properties of nanomaterials." In *Characterization of nanomaterials*, pp. 301-334. Woodhead Publishing, (2018).
- [16] Prasad, Paras N. *Nanophotonics*. John Wiley & Sons, (2004).
- [17] Mansour, Kamjou, M. J. Soileau, and Eric W. Van Stryland. "Nonlinear optical properties of carbon-black suspensions (ink)." *JOSA B* 9, no. 7 (1992): 1100-1109.
- [18] Nashold, Karen M., and Diane Powell Walter. "Investigations of optical limiting mechanisms in carbon particle suspensions and fullerene solutions." *JOSA B* 12, no. 7 (1995): 1228-1237.
- [19] Geim, Andre K., and Konstantin S. Novoselov. "The rise of graphene." *Nature materials* 6, no. 3 (2007): 183-191.
- [20] Wang, Jun, Yenny Hernandez, Mustafa Lotya, Jonathan N. Coleman, and Werner J. Blau. "Broadband nonlinear optical response of graphene dispersions." *Advanced Materials* 21, no. 23 (2009): 2430-2435.
- [21] Wang, Jun, Yu Chen, and Werner J. Blau. "Carbon nanotubes and nanotube composites for nonlinear optical devices." *Journal of Materials Chemistry* 19, no. 40 (2009): 7425-7443.
- [22] Saito, Riichiro, G. Dresselhaus, and M. S. Dresselhaus. "Trigonal warping effect of carbon nanotubes." *Physical Review B* 61, no. 4 (2000): 2981.
- [23] Nemilentsau, A. M., G. Ya Slepian, A. A. Khrutchinskii, and S. A. Maksimenko. "Third-order optical nonlinearity in single-wall carbon nanotubes." *Carbon* 44, no. 11 (2006): 2246-2253.
- [24] Schwertmann, Udo, and Rochelle M. Cornell. *Iron oxides in the laboratory: preparation and characterization*. John Wiley & Sons, (2008).

- [25] Cornell, R. M., and U. Schwertmann. "Thermodynamics of the Fe-O<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O system." *Iron Oxides* (2003).
- [26] Fernández-Remolar, David C. "Iron oxides, hydroxides and oxy-hydroxides." *Encyclopedia of astrobiology* (2015): 1268-1270.
- [27] Cordova, Gustavo, Simon Attwood, Ravi Gaikwad, Frank Gu, and Zoya Leonenko. "Magnetic force microscopy characterization of superparamagnetic iron oxide nanoparticles (SPIONs)." *arXiv preprint arXiv:1704.08316* (2017).
- [28] F Hasany, S., N. H Abdurahman, A. R Sunarti, and R. Jose. "Magnetic iron oxide nanoparticles: chemical synthesis and applications review." *Current nanoscience* 9, no. 5 (2013): 561-575.
- [29] Xie, Jin, and Sangyong Jon. "Magnetic nanoparticle-based theranostics." *Theranostics* 2, no. 1 (2012): 122.
- [30] Laurent, Sophie, Delphine Forge, Marc Port, Alain Roch, Caroline Robic, Luce Vander Elst, and Robert N. Muller. "Magnetic iron oxide nanoparticles: synthesis, stabilization, vectorization, physicochemical characterizations, and biological applications." *Chemical reviews* 108, no. 6 (2008): 2064-2110.
- [31] Cannas, Carla, D. Gatteschi, A. Musinu, G. Piccaluga, and C. Sangregorio. "Structural and magnetic properties of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles dispersed over a silica matrix." *The Journal of Physical Chemistry B* 102, no. 40 (1998): 7721-7726.
- [32] Tadic, Marin, Matjaz Panjan, Vesna Damnjanovic, and Irena Milosevic. "Magnetic properties of hematite ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) nanoparticles prepared by hydrothermal synthesis method." *Applied Surface Science* 320 (2014): 183-187.
- [33] Sulania, Indra, Jyoti Kaswan, Vinesh Attatappa, Ranjeet Kumar Karn, D. C. Agarwal, and D. Kanjilal. "Investigations of electrical and optical properties of low energy ion irradiated  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (hematite) thin films."

- In *AIP Conference Proceedings*, vol. 1731, no. 1, p. 120021. AIP Publishing LLC, (2016).
- [34] Yeoh, Joyce S., Ceilidh F. Armer, and Adrian Lowe. "Transition metal oxalates as energy storage materials. A review." *Materials today energy* 9 (2018): 198-222.
- [35] Tyapkin, P. Yu, S. A. Petrov, A. P. Chernyshev, A. I. Ancharov, L. A. Sheludyakova, and N. F. Uvarov. "Structural features of hydrate forms of iron (III) oxalate." *Journal of Structural Chemistry* 57, no. 6 (2016): 1134-1140.
- [36] Singh, Abhijeet Kumar, Piyush Jaiswal, and Preetam Singh. "A Review on Transition-metal Oxalate Based Electrode for Supercapacitors." In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 1166, no. 1, p. 012032. IOP Publishing, (2021).
- [37] Garmire, Elsa. "Nonlinear optics in daily life." *Optics express* 21, no. 25 (2013): 30532-30544.
- [38] Li, Chunfei. "All-optical switch based on nonlinear optics." In *Nonlinear optics*, pp. 279-386. Springer, Singapore, (2017).
- [39] Alfano, Robert R. *The supercontinuum laser source: the ultimate white light*. Springer, (2016).
- [40] Sheik-Bahae, Mansoor, Ali A. Said, and Eric W. Van Stryland. "High-sensitivity, single-beam  $n^2$  measurements." *Optics letters* 14, no. 17 (1989): 955-957.
- [41] Yu, Baolong, Congshan Zhu, and Fuxi Gan. "Large nonlinear optical properties of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles." *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures* 8, no. 4 (2000): 360-364.
- [42] Jurdik, E., A. V. Petukhov, A. Anema, A. van Etteger, and Th Rasing. "Strong self-and cross-phase modulation effects in chromium-doped KTiOPO<sub>4</sub> crystals." *Journal of Applied Physics* 90, no. 4 (2001): 1698-1702.

- [43] Brugioni, S., and R. Meucci. "Self-phase modulation in a nematic liquid crystal film induced by a low-power CO<sub>2</sub> laser." *Optics communications* 206, no. 4-6 (2002): 445-451.
- [44] Alencar, Márcio ARC, César M. Nascimento, Sabino Chávez-Cerda, Monique GA da Silva, Mario R. Meneghetti, and Jandir M. Hickmann. "Large spatial self-phase modulation in castor oil enhanced by gold nanoparticles." In *Nonlinear Frequency Generation and Conversion: Materials, Devices, and Applications V*, vol. 6103, pp. 25-32. SPIE, (2006).
- [45] Zamiri, Reza, B. Z. Azmi, Majid Darroudi, Amir R. Sadrolhosseini, M. S. Husin, A. W. Zaidan, and M. A. Mahdi. "Preparation of starch stabilized silver nanoparticles with spatial self-phase modulation properties by laser ablation technique." *Applied Physics A* 102, no. 1 (2011): 189-194.
- [46] Zamiri, Reza, Azmi Zakaria, Mansor Bin Ahmad, Amir Reza Sadrolhosseini, Kamyar Shameli, Majid Darroudi, and Mohd Adzir Mahdi. "Investigation of spatial self-phase modulation of silver nanoparticles in clay suspension." *Optik* 122, no. 9 (2011): 836-838.
- [47] Thomas, Jeevan Job, Shiji Krishnan, K. Sridharan, Reji Philip, and Nandakumar Kalarikkal. "A comparative study on the optical limiting properties of different nano spinel ferrites with Z-scan technique." *Materials Research Bulletin* 47, no. 8 (2012): 1855-1860.
- [48] Zamiri, R., R. Parvizi, A. Zakaria, A. R. Sadrolhosseini, G. Zamiri, M. Darroudi, and M. S. Husin. "Investigation on nonlinear-optical properties of palm oil/silver nanoparticles." *Journal of the European Optical Society- Rapid publications* 7 (2012).
- [49] Sadrolhosseini, Amir Reza, Ahmad Shukri Bin Muhammad Noor, Kamyar Shameli, Ghazaleh Mamdoohi, Mohod Maarof Moksini, and Mohod Adzir Mahdi. "Laser ablation synthesis and optical properties of copper nanoparticles." *Journal of Materials Research* 28, no. 18 (2013): 2629-2636.

- [50] AL-Ahmad, Alaa Y., Mohammed F. AL-Mudhaffer, Hussain A. Badran, and Chassib A. Emsary. "Nonlinear optical and thermal properties of BCP: PMMA films determined by thermal self-diffraction." *Optics & Laser Technology* 54 (2013): 72-78.
- [51] Wang, Gaozhong, Saifeng Zhang, Fadhil A. Umran, Xin Cheng, Ningning Dong, Darragh Coghlan, Ya Cheng, Long Zhang, Werner J. Blau, and Jun Wang. "Tunable effective nonlinear refractive index of graphene dispersions during the distortion of spatial self-phase modulation." *Applied Physics Letters* 104, no. 14 (2014): 141909.
- [52] Iranizad, E. Saievar, Z. Dehghani, and M. Nadafan. "Nonlinear optical properties of nematic liquid crystal doped with different compositional percentage of synthesis of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles." *Journal of Molecular Liquids* 190 (2014): 6-9.
- [53] Shi, Bingxin, Lili Miao, Qingkai Wang, Juan Du, Pinghua Tang, Jun Liu, Chujun Zhao, and Shuangchun Wen. "Broadband ultrafast spatial self-phase modulation for topological insulator Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> dispersions." *Applied Physics Letters* 107, no. 15 (2015): 151101.
- [54] Ahouari, Hania, Gwenaelle Rouse, Juan Rodriguez-Carvajal, Moulay-Tahar Sougrati, Matthieu Saubanere, Matthieu Courty, Nadir Recham, and Jean-Marie Tarascon. "Unraveling the structure of iron (III) oxalate tetrahydrate and its reversible Li insertion capability." *Chemistry of Materials* 27, no. 5 (2015): 1631-1639.
- [55] Zhang, Jingdi, Xuefeng Yu, Weijia Han, Bosai Lv, Xiaohong Li, Si Xiao, Yongli Gao, and Jun He. "Broadband spatial self-phase modulation of black phosphorous." *Optics letters* 41, no. 8 (2016): 1704-1707.
- [56] Jia, Yue, Youxian Shan, Leiming Wu, Xiaoyu Dai, Dianyuan Fan, and Yuanjiang Xiang. "Broadband nonlinear optical resonance and all-optical switching of liquid phase exfoliated tungsten diselenide." *Photonics Research* 6, no. 11 (2018): 1040-1047.

- [57] Shan, Youxian, Leiming Wu, Yunlong Liao, Jie Tang, Xiaoyu Dai, and Yuanjiang Xiang. "A promising nonlinear optical material and its applications for all-optical switching and information converters based on the spatial self-phase modulation (SSPM) effect of TaSe<sub>2</sub> nanosheets." *Journal of Materials Chemistry C* 7, no. 13 (2019): 3811-3816.
- [58] Zhang, Keyu, Yin Li, Yunke Wang, Jinyang Zhao, Xiumin Chen, Yongnian Dai, and Yaochun Yao. "Enhanced electrochemical properties of iron oxalate with more stable Li<sup>+</sup> ions diffusion channels by controlling polymorphic structure." *Chemical Engineering Journal* 384 (2020): 123281.
- [59] Li, Jie, Zilong Zhang, Jun Yi, Lili Miao, Jing Huang, Jinrui Zhang, Yuan He et al. "Broadband spatial self-phase modulation and ultrafast response of MXene Ti<sub>3</sub>C<sub>2</sub>T<sub>x</sub> (T= O, OH or F)." *Nanophotonics* 9, no. 8 (2020): 2415-2424.
- [60] Xu, Danyun, Zhe Guo, Yudi Tu, Xinzhe Li, Yu Chen, Zhesheng Chen, Bingbing Tian et al. "Controllable nonlinear optical properties of different-sized iron phosphorus trichalcogenide (FePS<sub>3</sub>) nanosheets." *Nanophotonics* 9, no. 15 (2020): 4555-4564.
- [61] Zhang, Keyu, Ruhui Xu, Runhong Wei, Yin Li, Yunke Wang, Yenan Zhang, Yongnian Dai, and Yaochun Yao. "Tunable polymorph and morphology synthesis of iron oxalate nanoparticles as anode materials for lithium ion batteries." *Materials Chemistry and Physics* 243 (2020): 122676.
- [62] Dhumad, Adil Muala, Qusay MA Hassan, C. A. Emshary, Tarek Fahad, Nabeel A. Raheem, and H. A. Sultan. "Nonlinear optical properties investigation of a newly synthesised Azo-( $\beta$ )-diketone dye." *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 418 (2021): 113429.
- [63] Tsarukyan, Lusine, Anahit Badalyan, Fabrice Devaux, Mathieu Chauvet, and Rafael Drampyan. "Generation of regular optical patterns and photonic structures by a single Gaussian beam in a photorefractive LiNbO<sub>3</sub>:Fe crystal." *Optics Communications* 478 (2021): 126396.

- [64] Dong, Li, Hongwei Chu, Ying Li, Shengzhi Zhao, Guiqiu Li, and Dechun Li. "Nonlinear optical responses of  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanosheets and application as a saturable absorber in the wide near-infrared region." *Optics & Laser Technology* 136 (2021): 106812.
- [65] Müller, Harald, Léa Bourcet, and Michael Hanfland. "Iron (II) oxalate dihydrate—Humboldtine: Synthesis, spectroscopic and structural properties of a versatile precursor for high pressure research." *Minerals* 11, no. 2 (2021): 113.
- [66] Erken, Ozge. "Effect of cycle numbers on the structural, linear and nonlinear optical properties in Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> thin films deposited by SILAR method." *Current Applied Physics* 34 (2022): 7-18.
- [67] Aboud, Lazem Hassan, Zaineb F. Mahdi, and Worood J. Abed Al-Zahra. "Linear and Nonlinear Optical Properties of the Dye Laser (Acridine Dye)." *Academic Research International* 5, no. 4 (2014): 135.
- [68] Hemerik, Marcel. *Design of a mid-infrared cavity ring down spectrometer*. Technische Universiteit Eindhoven, (2001).
- [69] Andreasen, Jonathan, Patrick Sebbah, and Christian Vanneste. "Nonlinear effects in random lasers." *JOSA B* 28, no. 12 (2011): 2947-2955.
- [70] Fowles, Grant R. *Introduction to modern optics*. Courier Corporation, (1989).
- [71] Li, Jianping, Minqiang Wang, Zhonghai Lin, Xiao Huo, and Guangmei Zhai. "Optical linearity and nonlinearity of ZnSe nanocrystals embedded in epoxy resin matrix investigated by Z-scan technique." *Ceramics International* 34, no. 4 (2008): 1073-1076.
- [72] Verhaegen, Georges, and Jean Drowart. "Mass Spectrometric Determination of the Heat of Sublimation of Boron and of the Dissociation Energy of B<sub>2</sub>." *The Journal of Chemical Physics* 37, no. 6 (1962): 1367-1368.

- [73] Nelson, Jenny A. *The physics of solar cells*. World Scientific Publishing Company, (2003).
- [74] Straughan, B. P., and S. Walker. "Molecular Quantum Numbers of Diatomic Molecules." In *Spectroscopy*, pp. 1-25. Springer, Dordrecht, (1976).
- [75] Parikh, Vastupal M. *Absorption spectroscopy of organic molecules*. Reading, Mass.: Addison-Wesley Publishing Company, (1974).
- [76] Demtröder, Wolfgang. *Atoms, molecules and photons*. Vol. 3, no. 7. Heidelberg:: Springer, (2010).
- [77] McWeeny, Roy. "Atoms, molecules and matter: the stuff of chemistry." (2007).
- [78] Gordon, James, and Stephanie Harman. "A graduated cylinder colorimeter: an investigation of path length and the Beer-Lambert law." *Journal of chemical education* 79, no. 5 (2002): 611.
- [79] Jackson, J. D. "": *Classical electrodynamics*. John Wiley and Sons, Inc., New York-London-Sydney, 641 p." (1962).
- [80] Hollas, J. Michael. *Modern spectroscopy*. John Wiley & Sons, (2004).
- [81] Brown, Matthew S., and Craig B. Arnold. "Fundamentals of laser-material interaction and application to multiscale surface modification." In *Laser precision microfabrication*, pp. 91-120. Springer, Berlin, Heidelberg, (2010).
- [82] László, Pálfalvi. "A LiNbO<sub>3</sub> nemlineáris optikai tulajdonságainak vizsgálata Z-scan módszerrel." PhD diss., Ph. D. thesis, Szegedi Tudományegyetem, (2003).
- [83] Davies, Mansel. "Infra-red spectroscopy and molecular structure." (1963).
- [84] Huang, Ting, Zhonghua Hao, Hongmei Gong, Zijun Liu, Si Xiao, Suyue Li, Yueying Zhai, Sizhu You, Ququan Wang, and Jingui Qin. "Third-order nonlinear optical properties of a new copper coordination compound:

A promising candidate for all-optical switching." *Chemical Physics Letters* 451, no. 4-6 (2008): 213-217.

[85] Costela, A., I. Garcia-Moreno, J. M. Figuera, F. Amat-Guerri, J. Barroso, and R. Sastre. "Solid-state dye laser based on Coumarin 540A-doped polymeric matrices." *Optics communications* 130, no. 1-3 (1996): 44-50.

[86] Sheik-Bahae, Mansoor, Ali A. Said, T-H. Wei, David J. Hagan, and Eric W. Van Stryland. "Sensitive measurement of optical nonlinearities using a single beam." *IEEE journal of quantum electronics* 26, no. 4 (1990): 760-769.

[87] Sheik-Bahae, Mansoor, Ali A. Said, and Eric W. Van Stryland. "High-sensitivity, single-beam  $n^2$  measurements." *Optics letters* 14, no. 17 (1989): 955-957.

[88] Träger, Frank, ed. *Springer handbook of lasers and optics*. Vol. 2. New York, NY, USA:: springer, (2012).

[89] Qi, Shengwen, Chunping Zhang, Xiuqin Yang, Kuan Chen, Lianshun Zhang, Yongliang Liu, Tang Xu, and Jianguo Tian. "Effective indexes of refraction and limiting properties of ethyl red." *Optik* 118, no. 9 (2007): 425-429.

[90] Li, Q. S., C. L. Liu, L. Y. Zang, Q. H. Gong, X. L. Yu, and C. B. Cao. "Broadband optical limiting in the suspensions of lead sulfide nanoparticles." *Laser Physics* 18, no. 4 (2008): 434-437.

[91] Menzel, Ralf. *Photonics: linear and nonlinear interactions of laser light and matter*. Springer Science & Business Media, (2013).

[92] Vinitha, G., and A. Ramalingam. "Spectral characteristics and nonlinear studies of methyl violet 2B dye in liquid and solid media." *Laser physics* 18, no. 1 (2008): 37-42.

[93] Plick, William Nicholas. "Quantum light for quantum technologies." (2010).

- [94] Hecht, Eugene. *Optics*. Vol. 5. San Francisco: Addison Wesley, (2002).
- [95] Blau, W., H. Byrne, W. M. Dennis, and J. M. Kelly. "Reverse saturable absorption in tetraphenylporphyrins." *Optics Communications* 56, no. 1 (1985): 25-29.
- [96] Tutt, Lee W., and Thomas F. Boggess. "A review of optical limiting mechanisms and devices using organics, fullerenes, semiconductors and other materials." *Progress in quantum electronics* 17, no. 4 (1993): 299-338.
- [97] Kiasaleh, Kamran. "Performance of coherent DPSK free-space optical communication systems in K-distributed turbulence." *IEEE transactions on communications* 54, no. 4 (2006): 604-607.
- [98] Sadigh, M. Khadem, M. S. Zakerhamidi, B. Rezaei, and K. Milanchian. "Environment effects on the nonlinear absorption properties of Methylene blue under different power of excitation beam." *Journal of Molecular Liquids* 229 (2017): 548-554.
- [99] Irimpan, Litty. "Spectral and nonlinear optical characterization of ZnO nanocomposites." (2019).
- [100] Marburger, John H. "Self-focusing: theory." *Progress in quantum electronics* 4 (1975): 35-110.
- [101] Jaffar, Amal F. "The Effects of Initial Laser Intensity on the Nonlinear Optical Properties of The Laser Dye DQOCI Doped Films Using Z-Scan Technique." *Iraqi Journal of Science* (2020): 2551-2561.
- [102] Jaffar, Amal F. "Nonlinear optical characteristics of Nile blue films doped with the polymers PMMA, PVC and their blend by using z-scan technique." *Iraqi Journal of Science* (2017): 1839-1848.
- [103] Felip, Sirona Valdueza. *Nitride-based semiconductor nanostructures for applications in optical communications at 1, 5 um*. Diss. Universidad de Alcalá, (2011).

- [104] Durbin, S. D., S. M. Arakelian, and Y. R. Shen. "Laser-induced diffraction rings from a nematic-liquid-crystal film." *Optics letters* 6, no. 9 (1981): 411-413.
- [105] Shen, Y. R., and Guo-Zhen Yang. "Theory of self-phase modulation and spectral broadening." In *The Supercontinuum Laser Source*, pp. 1-32. Springer, New York, NY, (2016).
- [106] Matsuda, Nobuyuki. "Deterministic reshaping of single-photon spectra using cross-phase modulation." *Science advances* 2, no. 3 (2016): e1501223.
- [107] Salem, Reza, Anthony S. Lenihan, Gary M. Carter, and Thomas E. Murphy. "Techniques for polarization-independent cross-phase modulation in nonlinear birefringent fibers." *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics* 14, no. 3 (2008): 540-550.
- [108] Schneider, Thomas. *Nonlinear optics in telecommunications*. Springer Science & Business Media, (2004).
- [109] Li, Chunfei. "Nonlinear optics." *Principles and Applications* (2017).
- [110] Chen, Haitao, Cong Wang, Hao Ouyang, Yufeng Song, and Tian Jiang. "All-optical modulation with 2D layered materials: Status and prospects." *Nanophotonics* 9, no. 8 (2020): 2107-2124.
- [111] Jin, Chao-Yuan, and Osamu Wada. "Photonic switching devices based on semiconductor nano-structures." *Journal of Physics D: Applied Physics* 47, no. 13 (2014): 133001.
- [112] Sharma, Parag, Sukhdev Roy, and C. P. Singh. "Dynamics of all-optical switching in polymethine dye molecules." *Thin Solid Films* 477, no. 1-2 (2005): 42-47.
- [113] Zhou, Linlin, Huang Fu, Ting Lv, Chengbo Wang, Hui Gao, Daqian Li, Leimin Deng, and Wei Xiong. "Nonlinear optical characterization of 2D materials." *Nanomaterials* 10, no. 11 (2020): 2263.

- [114] Motiei, H., A. Jafari, and R. Naderali. "Third-order nonlinear optical properties of organic azo dyes by using strength of nonlinearity parameter and Z-scan technique." *Optics & Laser Technology* 88 (2017): 68-74.
- [115] Cheung, Yiu Ming, and S. K. Gayen. "Optical nonlinearities of tea studied by Z-scan and four-wave mixing techniques." *JOSA B* 11, no. 4 (1994): 636-643.
- [116] Parvin, U. Majitha, and M. Basheer Ahamed. "Nonlinear optical properties of methyl blue dye by Z-scan technique." *Optik* 126, no. 5 (2015): 551-553.
- [117] Wu, Leiming, Xixi Yuan, Dingtao Ma, Ye Zhang, Weichun Huang, Yanqi Ge, Yufeng Song, Yuanjiang Xiang, Jianqing Li, and Han Zhang. "Recent advances of spatial self-phase modulation in 2D materials and passive photonic device applications." *Small* 16, no. 35 (2020): 2002252.
- [118] De Araújo, Cid B., Anderson SL Gomes, and Georges Boudebs. "Techniques for nonlinear optical characterization of materials: a review." *Reports on Progress in Physics* 79, no. 3 (2016): 036401.
- [119] Sheik-Bahae, Mansoor, Ali A. Said, T-H. Wei, David J. Hagan, and Eric W. Van Stryland. "Sensitive measurement of optical nonlinearities using a single beam." *IEEE journal of quantum electronics* 26, no. 4 (1990): 760-769.
- [120] Chapple, P. B., J. Staromlynska, J. A. Hermann, T. J. Mckay, and R. G. McDuff. "Single-beam Z-scan: measurement techniques and analysis." *Journal of Nonlinear Optical Physics & Materials* 6, no. 03 (1997): 251-293.
- [121] Pálfalvi, L., B. C. Tóth, G. Almási, J. A. Fülöp, and J. Hebling. "A general Z-scan theory." *Applied Physics B* 97, no. 3 (2009): 679-685.
- [122] Neethling, Pieter H. "Determining non-linear optical properties using the Z-scan technique." PhD diss., Stellenbosch: University of Stellenbosch, (2005).

- [123] Yunus, Esmail Shahriariand W. Mahmood Mat. "Single beam Z-scan measurements of nonlinear refraction and nonlinear absorption coefficients in silver nano-fluid." *Am. J. Engg. & Applied Sci* 3, no. 1 (2010): 98-101.
- [124] Hassan.A. Majeed," Study the effect of Environment and wavelength on the spectral and nonlinear properties of organic materials", MSc. thesis, University of Babylon. (2021).
- [125] Wang, Gaozhong. "Third-order Nonlinear Optical Response and Ultrafast Carrier Dynamics of 2D Materials." PhD diss., Trinity College Dublin, (2018).
- [126] Dhinaa, A. N., and P. K. Palanisamy. "Z-Scan technique: To measure the total protein and albumin in blood." *J. Biomed. Sci. Eng* 3, no. 03 (2010): 285-290.
- [127] Ali, AS Arabath, V. Sindhu, and A. G. Srinivasan. "Third order nonlinear optical studies of bromocresol purple in liquid and solid media." *Optik* 124, no. 21 (2013): 4836-4840.
- [128] Patil, P. S., Shivaraj R. Maidur, S. Venugopal Rao, and S. M. Dharmaprakash. "Crystalline perfection, third-order nonlinear optical properties and optical limiting studies of 3, 4-Dimethoxy-4'-methoxychalcone single crystal." *Optics & Laser Technology* 81 (2016): 70-76.
- [129] Abrinaei, Fahimeh. "Nonlinear optical response of Mg/MgO structures prepared by laser ablation method." *Journal of the European Optical Society-Rapid Publications* 13, no. 1 (2017): 1-10.
- [130] Zidan, M. D., M. M. Al-Ktaifani, M. S. El-Daher, A. Allahham, and A. Ghanem. "Diffraction ring patterns and nonlinear measurements of the Tris (2', 2-bipyridyl) iron (II) tetrafluoroborate." *Optics & laser technology* 131 (2020): 106449.

- [131] Manshad, R. K. H., and Qusay MA Hassan. "Optical limiting properties of magenta doped PMMA under CW laser illumination." *Adv. Appl. Sci. Res.* 3, no. 6 (2012): 3696-3702.
- [132] Wu, Leiming, Zhongjian Xie, Lu Lu, Jinlai Zhao, Yunzheng Wang, Xiantao Jiang, Yanqi Ge et al. "Few-layer tin sulfide: a promising black-phosphorus-analogue 2D material with exceptionally large nonlinear optical response, high stability, and applications in all-optical switching and wavelength conversion." *Advanced Optical Materials* 6, no. 2 (2018): 1700985.
- [133] Xiao, Si, Ying Ma, Yilin He, Yiduo Wang, Hao Xin, Qi Fan, Jingdi Zhang et al. "Revealing the intrinsic nonlinear optical response of a single MoS<sub>2</sub> nanosheet in a suspension based on spatial self-phase modulation." *Photonics Research* 8, no. 11 (2020): 1725-1733.
- [134] Liao, Yunlong, Chunmei Song, Yuanjiang Xiang, and Xiaoyu Dai. "Recent Advances in Spatial Self-Phase Modulation with 2D Materials and its Applications." *Annalen der physik* 532, no. 12 (2020): 2000322.
- [135] Wang, Wenhui, Yanling Wu, Qiong Wu, Jiaojiao Hua, and Jimin Zhao. "Coherent nonlinear optical response spatial self-phase modulation in MoSe<sub>2</sub> nano-sheets." *Scientific reports* 6, no. 1 (2016): 1-6.
- [136] Ramirez, EV Garcia, ML Arroyo Carrasco, MM Mendez Otero, S. Chavez Cerda, and MD Iturbe Castillo. "Far field intensity distributions due to spatial self phase modulation of a Gaussian beam by a thin nonlocal nonlinear media." *Optics express* 18, no. 21 (2010): 22067-22079.
- [137] Laith . S . Mohammed, "Preparation and study of hybrid junction from copper phthalocyanine and the ability of application in organic solar cells." MSc. thesis . Uneversity of ANBAR . (2021).
- [138] Callister, William D., and David G. Rethwisch. "Materials Science and Engineering: An Introduction, John Wiley & Sons." *Inc: New York, NY, USA* (2007).

- [139] Pandey, B. K., A. K. Shahi, Jyoti Shah, R. K. Kotnala, and Ram Gopal. "Optical and magnetic properties of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles synthesized by laser ablation/fragmentation technique in different liquid media." *Applied surface science* 289 (2014): 462-471.
- [140] Zeng, Haibo, Xi-Wen Du, Subhash C. Singh, Sergei A. Kulinich, Shikuan Yang, Jianping He, and Weiping Cai. "Nanomaterials via laser ablation/irradiation in liquid: a review." *Advanced Functional Materials* 22, no. 7 (2012): 1333-1353.
- [141] Karimzadeh, R., and N. Mansour. "The effect of concentration on the thermo-optical properties of colloidal silver nanoparticles." *Optics & Laser Technology* 42, no. 5 (2010): 783-789.
- [142] Sarmast, Mostafa K., and H. Salehi. "Silver nanoparticles: an influential element in plant nanobiotechnology." *Molecular Biotechnology* 58, no. 7 (2016): 441-449.
- [143] Itina, Tatiana E. "On nanoparticle formation by laser ablation in liquids." *The Journal of Physical Chemistry C* 115, no. 12 (2011): 5044-5048.
- [144] Amendola, Vincenzo, and Moreno Meneghetti. "Laser ablation synthesis in solution and size manipulation of noble metal nanoparticles." *Physical chemistry chemical physics* 11, no. 20 (2009): 3805-3821.
- [145] Liu, Chunyi. *A study of particle generation during laser ablation with applications*. University of California, Berkeley, (2005).
- [146] Zhigilei, Leonid V., Zhibin Lin, and Dmitriy S. Ivanov. "Atomistic modeling of short pulse laser ablation of metals: connections between melting, spallation, and phase explosion." *The Journal of Physical Chemistry C* 113, no. 27 (2009): 11892-11906.
- [147] Quintana, I., J. Etxarri, C. Sanz, and A. Aranzabe. "Laser micro-milling and drilling using microsecond pulses. Applications for mould and

aeronautical industry." In *ICMEN 2008 3rd international conference of manufacturing engineering*, pp. 167-4. 2008.

[148] Sasaki, Takeshi, Yoshiki Shimizu, and Naoto Koshizaki. "Preparation of metal oxide-based nanomaterials using nanosecond pulsed laser ablation in liquids." *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 182, no. 3 (2006): 335-341.

[149] Acacia, N., F. Barreca, E. Barletta, D. Spadaro, G. Currò, and F. Neri. "Laser ablation synthesis of indium oxide nanoparticles in water." *Applied Surface Science* 256, no. 22 (2010): 6918-6922.

[150] Barcikowski, Stephan, and Giuseppe Compagnini. "Advanced nanoparticle generation and excitation by lasers in liquids." *Physical Chemistry Chemical Physics* 15, no. 9 (2013): 3022-3026.

[151] Lee, Ming-Tsang, David J. Hwang, Ralph Greif, and Costas P. Grigoropoulos. "Nanocatalyst fabrication and the production of hydrogen by using photon energy." *international journal of hydrogen energy* 34, no. 4 (2009): 1835-1843.

[152] Sajti, Csaba Laszlo, Ramin Sattari, Boris N. Chichkov, and Stephan Barcikowski. "Gram scale synthesis of pure ceramic nanoparticles by laser ablation in liquid." *The Journal of Physical Chemistry C* 114, no. 6 (2010): 2421-2427.

[153] W. M. A. Soliman, —Fundamental Studies on the Synthesis Dynamic of Nanoparticles by Laser Aalation in Pressurized Waterl, PhD thesis, Nagoya University, Japan, pp. 1-10, (2011) .

[154] Lide, David R., ed. *CRC handbook of chemistry and physics*. Vol. 85. CRC press, (2004).

[155] Windholz, Martha, Susan Budavari, Lorraine Y. Stroumtsos, and Margaret Noether Fertig. *The Merck index. An encyclopedia of chemicals and drugs*. No. 9th edition. Merck & Co., (1976).

- [156] Turro, Nicholas J. *Modern molecular photochemistry*. University science books, (1991).
- [157] Favre, Henri A., and Warren H. Powell. *Nomenclature of organic chemistry: IUPAC recommendations and preferred names 2013*. Royal Society of Chemistry, 2013.
- [158] Reichardt, Klaus, and Luís Carlos Timm. "Water, the Universal Solvent for Life." *Soil, Plant and Atmosphere*. Springer, 7-13 (2020).
- [159] Earnshaw, Alan, and Norman Neill Greenwood. *Chemistry of the Elements*. Vol. 60. Oxford: Butterworth-Heinemann, (1997).
- [160] J.Timmerman, "Physico-Chemical Constants of Pure Organic Compounds", Elsevier Pub Co , 1965.
- [161] Ibrahim, Slafa Ismael, and Majid Hameed Abdulmajeed. "Optical spectral study of rhodamine dyes mixture solution in chloroform." *Engineering and Technology Journal* 31, no. 4 Part (B) Scientific (2013).
- [162] Amendola, Vincenzo, and Moreno Meneghetti. "What controls the composition and the structure of nanomaterials generated by laser ablation in liquid solution?." *Physical Chemistry Chemical Physics* 15, no. 9 (2013): 3027-3046.
- [163] Sobhanardakani, Soheil, Azadeh Jafari, Raziye Zandipak, and Alireza Meidanchi. "Removal of heavy metal (Hg (II) and Cr (VI)) ions from aqueous solutions using Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>@ SiO<sub>2</sub> thin films as a novel adsorbent." *Process safety and environmental protection* 120 (2018): 348-357.
- [164] Edwards, H. G. M., and N. C. Russell. "Vibrational spectroscopic study of iron (II) and iron (III) oxalates." *Journal of molecular structure* 443, no. 1-3 (1998): 223-231.
- [165] Pozdnyakov, Ivan P., Oksana V. Kel, Victor F. Plyusnin, Vjacheslav P. Grivin, and Nikolai M. Bazhin. "New insight into photochemistry of

ferrioxalate." *The Journal of Physical Chemistry A* 112, no. 36 (2008): 8316-8322.

[166] Halboos, Sarah H., and Ahmed B. Sharba. "Solvent Effects on The Nonlinear Refractive Index of Bromocresol Purple at Three Excitation Wavelengths." In *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1818, no. 1, p. 012103. IOP Publishing, (2021).