وزارة التعليـم العالـي والبحـث العلمـي
جامعـة قاصـدي مربـاح ورقلـة
كليـة الرياضيات وعلـوم المـادة
قسـم الكيمياء

مذكـرة مقدمة ضمن استكمال متطلبات نيل شهادة ماستر أكاديمي
فـــي الكيـمياء.
التخصص:كيمياء تحليلية

من إعداد:أماني صفاء

بعنـــوان

دراسة نظرية حول طرق تشخيص المحفزات الضوئية النانوية

نوقشت علنا يوم: 2022/06/06 أمام لجنة المناقشة:

د. بن علي مصطفى	أستاذ محاضر .أ	جامعة قاصدي مرباح ورقلة	رئيسا
بن منين عبد القادر	أستاذ محاضر. أ	جامعة قاصدي مرباح ورقلة	مناقشا
د.علاوي عبد الفتاح	أستاذ محاضر.أ	جامعة قاصدي مرباح ورقلة	مـقررا
خالدي سمية	طالبة دكتوراه	جامعة قاصدي مرباح ورقلة	مدعوة

السنة الجامعية : 2022/2021

الإهداء

قال تعالى(*وَقُلِ اعْمَلُوا فَسَيَرَى اللَّهُ عَمَلَكُمْ وَرَسُولُهُ وَالْمُؤْمِنُونَ*)التوبة الآية 105

إلـهي لا يطيب الليل إلا بشكرك ولا يطيب النهار إلا بطاعتك...

ولا تطيب اللحظات إلا بذكرك ...ولا تطيب الآخرة إلا بعفوك ولا تطيب الجنة إلا برؤيتك، الله جـــل جلاله

إلى من بلغ الرسالة وأدى الأمانة ..... و نصح الأمّة.....إلى نبي الرحمة ونور العالمين

سيدنا محمد صلى الله عليه وسلـــم

إلى مصدر قوتي وإلهامي إلى من علمني العطاء دون انتظار، وإلى من أحمل اسمه بكل افتخار

أبـــــي العزيز حفظه الله وأطال في عمره

إلى ملاكي في هذه الحياة ...إلى معنى الحب والحنان إلى بسمة الحياة وسر الوجود

إلى من كَانَ دعائها سر نجاحي وحنانها بلسم جراحي إلى أغلى الحبايب

"أمي الحبيبة"

إلى سندي في هذه الحياة .....إخواتـي وأخواتي

إلى أحبتي وإخوتي التي لم تلدهم أمي والذين تقاسمت معهم أحزاني وأفراحي

إلى منارة العلم والعلماء.....جامعة قاصدي مرباح ورقلة

إلى الذين حملو أقدس رسالة هذه الحياة .....الأساتذة الأفاضل لهم كل الشكر والامتنان.

الشكر والتقدير

الحمد لله الذي هداني الى سبيل الرشاد، وألهمني من العلم والعمل ما يشد أزرنا في هذه الحياة، الحمد الذي وفقني وهيأ لي من الظروف ما به ومكنني من إنجاز هذا البحث.

نتوجه بشكري الجزيل وبخالص الشكر والاحترام والتقدير إلى الأستاذ الفاضل:

د. علاوي عبد الفتاح على تأطيره وتشجيعه الدائم لي، وأيضا على مجهوداته الجبارة وكذا إرشاداته التي أنارت لي الدرب لإتمام هدا العمل المتواضع.

أتقدم بالشكر الجزيل إلى السيد رئيس اللجنة الأستاذ: د. بن علي مصطفى على قبوله رئاسة لجنة المناقشة ولا سيما في تصويب وتدقيق هذا العمل. كما أتوجه بالشكر الجزيل للأستاذ بن منين عبد القادر على قبوله المشاركة في مناقشة وتصويب وإثراء هذا العمل.

شكري موصول إلى كل من ساهم من قريب أو من بعيد في إتمام هذا العمل، واشكر جميع زملائي الأعزاء وأساتذتي الأفاضل على كل حرف أناروا به درب العلم جعله الله في ميزان حسناتهم، كما أتقدم بأثمن عبارات الشكر والعرفان إلى كل القائمين على قسم الكيمياء وكل طلبة الكيمياء.

الفهرس

الترقيم	العنوان	الصفحة
الإهداء		
الشكر والتقدير		
	الفهرس	I
	قائمة الأشكال	V
	قائمة الجداول	VII
	قائمة الاختصارات والرموز	VIII
	المقدمة العامة	1
	مراجع المقدمة	3
الفصل الأول :التحفيز الضوئي		
1.I	تمهيد	5
2.I	نبذة عن الضوء	5
1.2.I	المنابع الضوئية	7
2.2.I	امتصاص الضوء	8
3.2.I	الانتقال الالكتروني	9
3.I	عمليات الأكسدة المتقدمة (AOPs)	10
4.I	التحفيز الضوئي	11
1.4.I	أنواع التفكك الكيميائي الضوئي	11

5.I	مزايا التحفيز الضوئي	17
6.I	مجالات استخدام التحفيز الضوئي	18
	المراجع I	19
	الفصل الثاني : المحفزات الضوئية	
1.II	تمهيد	22
2.II	تاريخ النانو	22
1.2.II	تعريف النانو	23
2.2.II	تقنية النانو	23
3.2.II	المواد النانوية	24
3.II	مفهوم الجسيمات النانوية	27
1.3.II	أنواع الجسيمات النانوية	27
2.3.II	محفز قائم على المواد النانوية	30
4.II	المحفزات الضوئية	30
1.4.II	خصائص المحفزات الضوئية	30
2.4.II	أنواع المحفزات الضوئية المستخدمة	31
3.4.II	أمثلة لبعض المحفزات الضوئية	32
5.II	آلية التحفيز الضوئي	35
	المراجع II	37
	الفصل الثالث: طرق تشخيص المحفزات الضوئية النانوية	
1.III	تمهيد	40
2.III	حيود الأشعة السينية (XRD)	40

1.2.III	مبدأ الأشعة السينية (XRD)	41
2.2.III	تطبيقات الأشعة السينية (XRD)	42
3.III	مطيافية الأشعة تحت الحمراء بتحويل فورييه (FTIR)	43
1.3.III	مبدأ مطيافية الأشعة تحت الحمراء بتحويل فورييه (FTIR)	43
2.3.III	مجالات تطبيق مطيافية الأشعة تحت الحمراء (FTIR)	44
4.III	المجهر الالكتروني الماسح (SEM)	44
1.4.III	مبدأ المجهر الالكتروني الماسح (SEM)	44
2.4.III	مجالات استخدام المجهر الالكتروني الماسح (SEM)	45
5.III	مطيافية الأشعة فوق البنفسجية–المرئية(UV-Vis)	45
1.5.III	مبدأ التحليل الطيفي للأشعة فوق البنفسجية–المرئية (UV-Vis)	46
2.5.III	استخدامات التحليل الطيفي للأشعة فوق البنفسجية–المرئية (UV-Vis)	47
6.III	مطيافية رامان (Raman spectrum)	47
1.6.III	مبدأ مطيافية رامان (Raman spectrum)	47
2. 6.III	مجالات استخدام مطيافية رمان (Raman spectrum)	48
7.III	بعض الأمثلة في تشخيص المحفزات الضوئية النانوية	48
1.7.III	الدراسة الأولى: المحفز الضوئي المركب لفيلمZnO / TiO2 النانوي	48
2.7.III	الدراسة الثانية:TiO2 مشوب بالمعادن تحت الأشعة الشمسية لتنقية المياه المنقولة المسببة للأمراض البكتيرية	51
3.7.III	الدراسة الثالثة: تصنيع مركبAg2O / TiO2 – الزيوليت وأداءه التحفيزي الضوئي المعزز بالضوء الشمس	53
4.7.III	الدراسة الرابعة: توصيف وتطبيق المركبات النانوية TiO2– زيوليت للمعالجة المتقدمة للصبغة الصناعية مياه الصرف الصحي	55

مراجع III	57
خلاصة عامة	59
ملخص	

قائمة الأشكال

الشكل	التسمية	الصفحة
1-I	الأمواج الكهرومغناطيسية.	6
2-I	الأشعة الكهرومغناطيسية	9
3-I	مخطط جابلونسكي للانتقالات الإلكترونية الناتجة عن امتصاص الشعاع الضوئي	10
4-I	الهياكل البلورية لثاني أكسيد التيتانيوم	16
5-I	مخطط تمثيلي لسطح أكسيد التيتانيوم $\boldsymbol{TiO2}$	17
1-II	مقدار النانو متر من خلال 13 ذرة هيدروجين قطر كل ذرة يساوي 0.075nm	23
2-II	الأشكال التي تصنع من خلالها المواد النانوية علي هيئتها وهي : طبقات نانوية أحادية البعدأنابيب نانوية ثنائية البعد : جسيمات نانوية ثلاثية البعد	25
3-II	مجموعة من أحجام الجسيمات النانوية مقارنة بأحجام الهياكل التركيبات الكيميائية والبيولوجية	27
4-II	مختلف أنواع الجسيمات النانوية العضوية	29
5-II	مختلف أنواع الجسيمات النانوية غير العضوية	29
6-II	آلية التحفيز الضوئي الكيميائي بالاستخدام $\boldsymbol{TiO2}$	35
1-III	جهاز انعراج الأشعة السينية	41
2-III	امتصاص الأشعة تحت الحمراء	43
3-III	جهاز المجهر الالكتروني الماسح	45
4-III	جهاز التحليل الطيفي UV-Vis	46
5-III	طيف انعراج أشعة السينية XRD لمسحوق مركب نانوZnO / TiO2 النانوي	49
6-III	دراسة مقارنة XRD بين مسحوق مركب ZnO / TiO2 و TiO2	49

	خليط مسحوق ZnO	
7-III	مورفولوجياSEM للفيلم المركب ZnO / TiO2 نانوي	50
8-III	أنماطXRD لـ TiO2 مخدر المنغنيز و مخدر المشترك المنغنيز وشركاه TiO2	52
9-III	صورة بالمجهر الالكتروني الماسح لـ TiO2–الزيوليت (أ)Ag2O / TiO2 – الزيوليت (ب)المركبات .	54
10-III	أنماطXDR لمركبات TiO2-Zeolite و Ag2O / TiO2– الزيوليت	54
11-III	مقارنة أطياف FTIR للزيوليت النقي و TiO2 – الزيوليت النانوي	56

قائمة الجداول

الرقم	التسمية	الصفحة
1-I	الطيف الكهرومغناطيسي	6
2-I	خصائص ثاني أكسيد التيتانيومTiO_2	13
1-II	أنواع المحفزات الضوئية المستخدمة	31
2-II	الخصائص الفيزيائية والكيميائية لمركب ZnS.	32
3-II	الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمحفز الضوئي SnO_2 .	33
4-II	الخصائص الفيزيائية والكيميائية لمركب CdS	34

قائمة الرموز

الرمز	دلالته بالانجليزية	دلالته بالعربية
Eg	Énergie gap	فجوة الطاقة
BC	Conduction Band	حزمة التوصيل
BV	Valence Band	حزمة التكافؤ
SE	Secondary electron	إلكترون الثانوي
LUMO	Lowest Unoccupied Molecular Orbital	مدار جزيئي ادني شاغر
HOMO	Highest Occupied Molecular Orbital	مدار جزيئي أعلى مشغول
XDR	X-ray Diffraction	حيود الأشعة السينية
FTIR	Fourier-transform infrared spectroscopy	مطيافية الأشعة تحت الحمراء بتحويل فورييه
UV-VIS	Ultraviolet- visible spectrometry	مطيافية الأشعة فوق البنفسجية –المرئية
SEM	Scanning Electron Microscopy	المجهر الالكتروني الماسح

المقدمة

العامة

المقدمة العامة :

تعد الصناعات دورا هاما في السنوات الأخيرة القائمة على المواد الكيميائية في الحضارة البشرية ، حيث أدخلت الأنشطة البشرية والصناعية الواسعة كميات كبيرة من المواد الكيميائية في البيئة ، التي أصبحت مصدرًا رئيسيًا للتلوث البيئي نظرًا لأن المعايير البيئية الدولية أصبحت أكثر صرامة وقائمة على المواد الصناعية. [1]

في السنوات الأخيرة شهد العالم تطورات سريعة وهائلة للتقنيات النانوية وذلك لخواصها الفريدة واتساع مجال تطبيقاتها وعليه استنبطت هذه التقنية اهتمام لدى الباحثين إلا أنها مازالت تحتاج إلى أبحاث ودراسات، حيث سيكون له ذه التقنية التأثير الكبير في كافة مجالات الحياة الصناعية والطبية والزراعية وفي أبحاث القضاء على الملوثات وتنقية المياه [2] .

تمت دراسات حول هذا الموضوع وتطوير تقنيات فعالة جديدة لإزالة هذه الملوثات العضوية وتحللها وتقليل تأثيراتها السلبية على الطبيعة وإيجاد حلول لها، فسعت التكنولوجيا والأبحاث الواعدة إلى إيجاد تقنيات حديثة لإزالة هذه الملوثات والتخلص من آثارها السلبية، من بين هذه الطرق الحديثة التي أثبتت جدارتها تقنية التحفيز الضوئي [3] .

حيث يعتبر التحفيز الضوئي عملية فيزيائية وكيميائية وهو عبارة عن تفاعل يستخدم فيه الضوء كمنشط للمادة التي سوف تعمل على زيادة معدل تحول المواد المتفاعلة بدون أن تتأثر هذه المادة وتعرف هذه المادة بالمحفز الضوئي[3]، ولاكتشاف بنية هذه المحفزات لابد من التحليل و لجؤ إلى عدة طرق لتشخيص هذه المحفزات الضوئية النانوية للوصول إلى نتائج وخصائص المادة وتركيبتها استخدمت عدة تقنيات منها: المجهر الالكتروني الماسح(SEM)، ومطيافية الأشعة تحت الحمراء

بتحويل فورييه (FTIR)، و مطيافية رمانRaman spectru وحيود الأشعة السينية(XDR)

ومطيافية الأشعة البنفسجية – المرئية (UV-VIS)،

وقد قسمت عملي هذا إلى مقدمة عامة وثلاثة فصول :

في الفصل الأول قمت ببحث توثيقي و قدمت من خلاله معلومات عن الضوء وتأثيره على المادة ومصادره، ثم تطرقت إلى التحفيز الضوئي وأنواع التفكك الكيميائي والية عمل هذا التحفيز الضوئي في وجود أكسيد التيتانيوم .

الفصل الثاني تضمن نبذة تاريخية عن المواد النانوية وتعريفها وأنواع الجسيمات النانوية، كما تم تطرق إلى المحفزات الضوئية وخصائصها وشرح لبعض أنواع المحفزات الضوئية وآلية التحفيز الضوئي .

الفصل الثالث تم الاهتمام فيه بذكر مختلف تقنيات تشخيص المحفزات الضوئية مع ذكر المبدأ العام لكل تقنية ومجال استخدامها ومن بين هذه الطرق المتبعة المعاينة بالأشعة السينية والمجهر الالكتروني الماسح و مطيافية رمان ومطيافية الأشعة تحت الحمراء بتحويل فورييه ومطيافية الأشعة البنفسجية – المرئية .

ختمت هذه المذكرة بخلاصة عامة جمعت أهم النقاط التي تم التطرق إليها في المذكرة .

المراجع :

[3] بوكلبة.ر، هباز.ر (2021). *دراسة نظرية لتعديل فجوة الطاقة للمحفز الضوئي ثاني أكسيد التيتانيوم TiO_2 بإضافة المتحسسات الضوئية* ، مذكرة ماستر، جامعة ورقلة .صفحة (12،13)

[1] Ameta, R., & Ameta, S. C. (2016). *Photocatalysis: principles and applications*. Crc Press.(2-1)

[2] Mousavi, S. R., & Rezaei, M. (2011). *Nanotechnology in agriculture and food production*. *J Appl Environ Biol Sci*, *1*(10), 414-419.

الفصل الأول

التحفيز الضوئي

1.I. تمهيد:

يعتبر التحفيز الضوئي من الطرق ذات الأهمية البالغة في معالجة الكثير من المشاكل البيئية، كما أن لها تطبيقات واستخدامات لأغراض مختلفة مثل: تفكيك الملوثات العضوية في مختلف الأوساط كما أنها تستخدم في إنتاج الهيدروجين في الأغراض الطاقوية وكذلك يعتمد عليها في تنقية الهواء بيولوجيا وكيميائيا، وهذا كله في وجود الضوء الذي يعمل علي تسريع التفاعل الكيميائي بشكل كبير بحيث يؤدي إلي تغيرات كيميائية تحت ظروف ملائمة لا يوفرها التنشيط الحراري [4].

2.I. نبذة عن الضوء:

عرف الضوء على أنه شكل من أشكال الطاقة حيث يعد عنصر أساسي في التفاعلات الكيميائية الضوئية، كماعرف من قبل العالم إسحاق نيوتن (Isaac Newton) أنه عبارة عن جسيمات تنبعث من المصدر الضوئي بشكل خطوط مستقيمة في الوسط واستخدمت هذه الفكرة لتفسير ظاهرة الانعكاس والانكسار [1].

- جاء الفيزيائي الهولندي كريستيان هوغنز(Christian Huygens) عام 1678 وافترض أن الضوء هو نوع من أنواع الأمواج، بعدها تطورت الأبحاث وفي عام1801 أثبت العالم توماس (Thomas) نظرية هوغنز على أن الضوء عبارة عن أمواج [1].
- لحق العالم ماكسويل (Maxwell) الذي دعم نظرية الموجات للضوء على أنه شكل من أشكال الأمواج الكهرومغناطيسية كما هو موضح في الشكل (I-1)، [1].

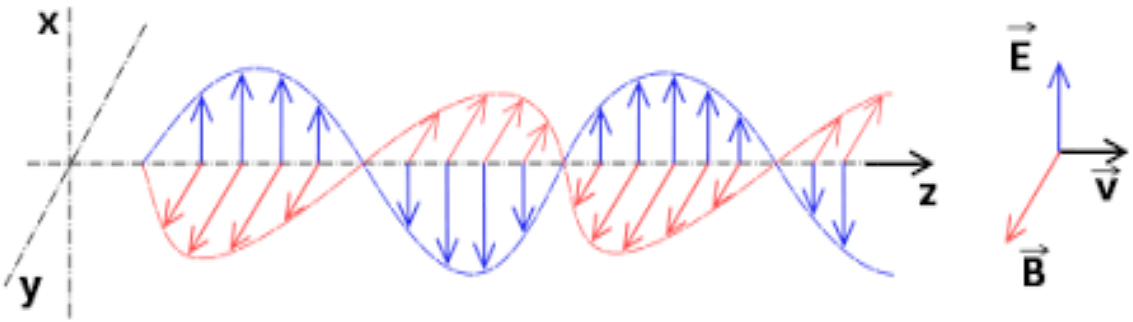
فنظرية العالم ماكسويل تنبأت بأن الأمواج لابد وأن يكون لها سرعة في الفراغ تقدرب $3 * 10^8 m/s$ ، وفي سنة 1887 تمكن العالم هرتز (Hertz) من إثبات ذلك عمليا، حيث لجأ إلى إنتاج والتقاط الأمواج الكهرومغناطيسية وبين أن لها خاصية الانعكاس والانكسار ويبين الجدول(I-1)

الامتداد الكبير للأمواج وترددات الطيف الكهرومغناطيسي ابتداء من موجات الراديو مرورا بالأمواج المرئية حتى أمواج أشعة جاما [2] .

كما أن الوحدة الأساسية للضوء بطبيعته الجسيمية هي الفتونات والتي هي عبارة عن كمات عنصرية من الطاقة.

الجدول (I-1): الطيف الكهرومغناطيسي [2].

نوع الإشعاع Type of radiation	الطول الموجي	التردد Hz
أمواج الراديو Radiowaves	100 Km – 300mm	$3 * 10^3 - 10^9$
أمواج الميكرو Microwaves	300mm _ 0.3 mm	$10^9 - 10^{12}$
تحت الحمراء Infrared	0.3 mm _0.8 µm	$10^{12} - 4.3 * 10^{14}$
المرئي Visible	0.8µm _ 0.4 µm	$4.3*10^{14} - 7.5 * 10^{14}$
فوق البنفسجي Ultraviolet	0.4µm _ 0.03µm	$7.5 * 10^{14} - 10^{16}$
الأشعة السينية X-rays	0.03µm – 0.1 nm	$10^{16} - 3 * 10^{18}$
أشعة جاما γ-rays	0.1nm _ 1pm	$3 * 10^{18} - 3 * 10^{20}$



الشكل (I-1): الأمواج الكهرومغناطيسية. [1]

I. 2.2.المنابع الضوئية :

يعد الضوء ذو أهميّة كبيرة للكائنات الحيّة، وتوجد له مصادر عديدة، طبيعيّة و اصطناعية حيث استطاع الإنسان تصنيعها وهي في تطور دائم، يرتبط إنتاج الضوء علي ظاهرة الذرات الثقيلة أو الجزيئات المثارة، في التحولات الالكترونية تكون باكتساب إلكترون لطاقة فينتقل من حالة أساسية إلى حالة مثارة وتتعدد مصادر الضوء وفقا للحالات المثارة في المادة المضيئة فنذكر منها [3]:

1 -**المصباح القوسي** :هو مصباح كهربائي شديد التوهج والإضاءة، يطلق الضوء بفعل القوس الكهربائي ويتكون المصباح من قطبين يصنعان عادة من مادة تنغستن ويفصل بينهما غاز، عادة يسمى نوع المصباح بحسب نوع الغاز المستعمل فيه[3] .

2 -**مصباح الفلوريسنت** :هو المصباح الذي يعتمد في إضاءته على التفريغ التألقي حيث يعمل ببخار الزئبق عندما يمر به تيار كهربائي يطلق أشعة فوق بنفسجية تصطدم بالمادة الفلورية التي تغطي السطح الداخلي للمصباح فيضاء بلون أبيض[3] .

3 -**المصباح الوهاج** : هو مصباح كهربائي يصدر ضوء ناتج عن توهج الفتيل وهو عبارة عن سلك معدني من التنغستين، يتم تمرير تيار كهربائي فيه لتسخينه ليتوهج عند درجة حرارة عالية[3] .

4 -**مصباح الليزر** : هو الشعاع الكهرومغناطيسي أحادي الطول الموجي حيث يكون له فوتونات متساوية في التردد الموجي، مما يجعل لهذه الأشعة طاقة عالية وزاوية انفراج صغيرة جدا[3] .

5 -**مصباح بخار الزئبق** : هو عبارة عن مصباح تفريغ غازي يحتوي علي فلز الزئبق في حالة مهيجة بحيث يساهم في إصدار الضوء يستخدم فلز الزئبق السائل في الإضاءة، حيث يتحول الزئبق إلى بخار الزئبق ثم يتحول من زئبق في حالة عادية إلى زئبق في حالة مثارة عند تأثير درجة الحرارة وفرق الجهد ومن ثم يعود إلى الحالة العادية الأولى منتجا فتون الذي يصطدم بالفسفور محدثا الضوء [3].

هناك في الواقع ثلاثة أنواع رئيسية من مصابيح بخار الزئبق:

- الضغط المنخفض .
- الضغط المتوسط .
- الضغط العالي .

I.3.2.امتصاص الضوء:

امتصاص الشعاع الكهرومغناطيسي الشكل (I-2) هي عملية تمتص فيها طاقة الفوتونات الضوئية من قبل جزيئات المادة المتفاعلة ويكتسب أحد إلكترونات الذرة طاقة من أحد الفوتونات ، حيث أثناء عودة الإلكترون إلى مستواه الأصلي يمكن للطاقة الممتصة أن تصدر على هيئة فوتون تكون طاقته تساوي أو اقل من طاقة الفتون الأصلي أو تتحرر كلها على شكل طاقة حرارية [4].

هناك حالتان يكون فيهما الجزيء مثار كهرومغناطيسيا، حيث يكون الجداء السبيني حسب المعادلة التالية :

$$M = 2S + 1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

في الحالة المثارة التي يكون فيها الدوران الكلي الإلكترونات على شكل أزواج مختلفة في سبين فإن مجموع اللف المغزلي لها $S = 0$ وعليه فإن $M = 1$ هذه الحالة تسمى بالإثارة الأحادي(Singulet)، أما في حالة ما إذا كان الإلكترونين بنفس السبين فإن مجموع اللف المغزلي له $S = 1$ وعليه $M = 3$ هذه الحالة تسمى بالإثارة الثلاثية (Triplet) .

كما تتميز الالكترونات في حالة ازدواجية بطاقه أكبر، أي انه في الحالة (Triplet) تكون أقل طاقة من الحالة (Singulet)[5] .

من المعروف أن الضوء شكل من أشكال الطاقة، حيث تكون طاقته محكومة بقانون بلانك Planck :

$$E = hc / \lambda = h\upsilon \quad (j/photon) \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

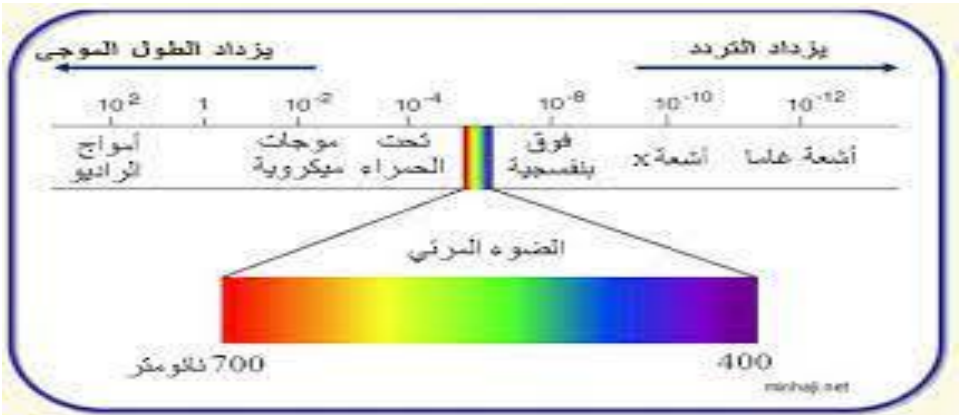
C:سرعة الضوء في الفراغ $C=3*10^{8}$ m /s

h: ثابت بلانك $h= 6.62*10^{-34}$ j /s.photon

λ: الطول الموجي (m)

υ:تردد الإشعاع (s^{-1})

لكي تصبح الجزيئة A مثارة يجب أن تمتص كما واحدا من الطاقة :



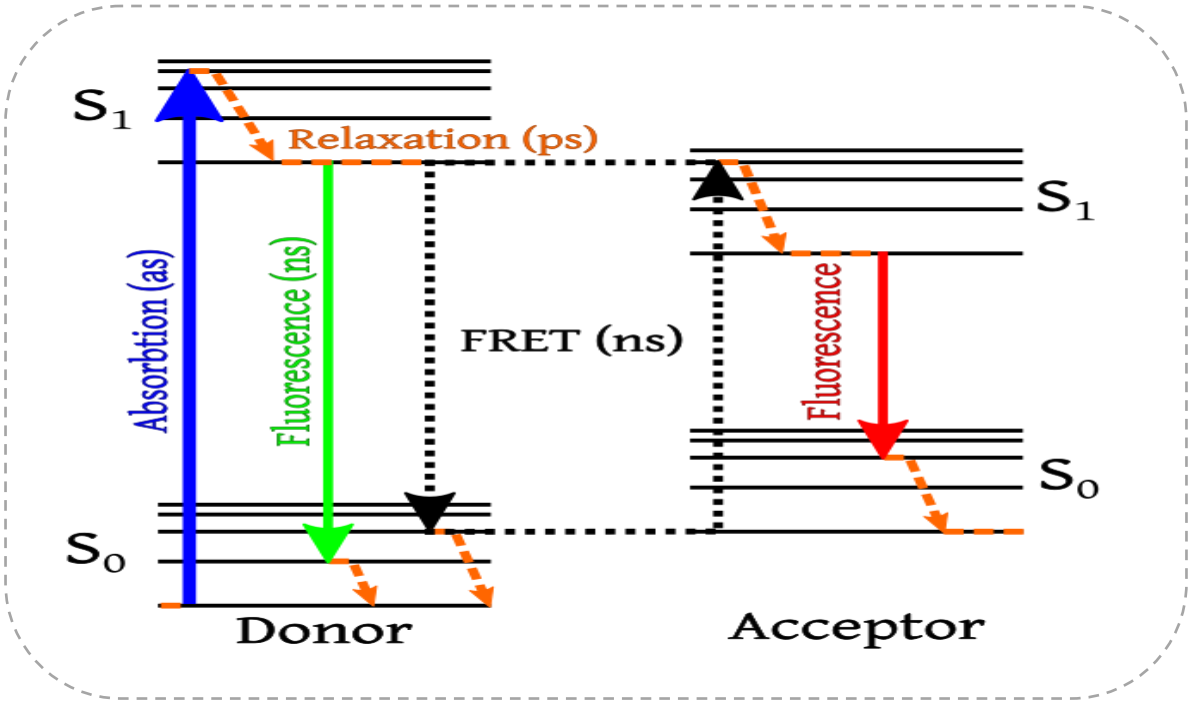
الشكل (I-2) :الأشعة الكهرومغناطيسية.[1]

I. 4.2.الانتقال الالكتروني :

إن انتقال الالكترونات من مستوى أساسي إلى مستوى أعلى نتيجة إثارة وفقا لقواعد الانتقال، يؤدي هذا إلى انتقال إلكترون إلى مستوى طاقة آخر، فإن حافظ على سبينه يكون في حالة إثارة أحادية نسبة إلى الجداء السبيني، وإن حدث انقلاب في السبين يكون فانه سيكون في حالة إثارة الثلاثية يصاحبه انخفاض في الطاقة إذا عاد الإلكترون من حالة الإثارة الأحادية إلى الحالة الأساسية فإن الإلكترون يمكن أن يفقد طاقته شكل ضوء ويسمى هذا بظاهرة الفلورة ف[6].

وإن عاد الإلكترون من مستوى إثارة ثلاثية إلى مستوى الإثارة الأساسي فإنه يمكن أن يصاحب ذلك انبعاث ضوئي أطول عمرا من ظاهرة الفلورة ويسمى الفسفرة .

الشكل (I-3) يمثل مخطط جابلونسكي الذي يلخص الانتقالات الالكترونية التي تحدث للمركب بفعل امتصاص الضوء [6]



الشكل (I-3) : مخطط جابلونسكي للانتقالات الإلكترونية الناتجة عن امتصاص الشعاع الضوئي.[6]

I.3.عمليات الأكسدة المتقدمة(AOPs) :

هي عبارة عن تفاعلات كيميائية تعمل على إزالة الملوثات العضوية وغير العضوية في المياه وذلك عن طريق الأكسدة .

تعتمد عمليات الأكسدة المتقدمة على توليد كواشف فعالة لتفكيك الملوثات العضوية غير القابلة للتفكك الطبيعي الكيميائي أو البيولوجي، باستخدام أنواع من المؤكسدات مثل جذور $OH^{\cdot}$ذات كمون الأكسدة المرتفع، كمؤكسد قوي في تفكيك الملوثات العضوية المنتشرة في الأوساط المائية ، يتفاعل جذر $OH^{\cdot}$ مع المركبات العضوية من خلال روابط مزدوجة $-C = C-$ وتهاجم الحلقات العطرية، وتتميز جذور الهيدروكسيل مقارن

مع غيرها من المؤكسدات بعدم الانتقائية في مهاجمة المركبات العضوية وقابليتها لأكسدة جميع المواد الموجودة في الماء وبسرعة عالية [7،8].

I.4 . التحفيز الضوئي :

التحفيز الضوئي هو كلمة من أصل يوناني مركبة من شقين Photo تعني الضوء و catalysis تعني التحفيز، حيث تعتمد على وجود الضوء لإثارة مادة تعمل علي زيادة سرعة تفاعل ويتم تسريع معدل التفاعل الكيميائي دون أن يدخل المحفز الضوئي في التفاعل، حيث يقوم بزيادة معدل التفاعل للتقليل من طاقة التنشيط اللازمة له، كما يعتمد التحفيز الضوئي على إثارة أشباه الموصلات بواسطة إشعاع ضوئي تحت تأثير الفوتونات يؤدي إلى إنتاج جذور الهيدروكسيل $OH^{\cdot}$ وهي تشبه في آليتها تفاعل الكلوروفيل كونه محفز طبيعي في النباتات، حيث يقوم بامتصاص الأشعة الضوئية لتحويل الماء وثاني أكسيد الكربون إلى أكسجين وجلوكوز، ولكن المحفز الصناعي عند تعرضه لضوء شمس أو ضوء عادي ينتج مركب مؤكسد قوي جدا يعمل علي كسر روابط المواد العضوية السامة و البكتيريا ويحولها إلى ثاني أكسيد الكربون وماء [9، 10، 11].

I.4.1.أنواع التفكك الكيميائي الضوئي :

استخدمت طريقة التفكك الضوئي لكسر روابط المركبات وتبسيطها إلى جزيئات اقل وزنا وينقسم هذا التفكك إلى نوعين:

I.4.1.1.التفكك الكيميائي الضوئي المباشر:

يمكن أن تتفكك الملوثات بواسطة إثارتها بالأشعة الضوئية المباشرة ، ولكي يثار هذا الملوث يجب أن يكون له قدرة عالية على امتصاص الضوء حيث يصبح نشطا كيميائيا ويمكنه الدخول في التفاعلات كيميائية تؤدي

إلى تحويله إلى نواتج ابسط في وزنها الجزيئي إلى أن يتفكك تفككا تاما و يتحول إلى ثاني أكسيد الكربون وماء [5].

$$R+h\nu \rightarrow R^{\cdot} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(4)$$

$$R^{\cdot} + O_2 \rightarrow R^{\cdot +} + O_2^{\cdot -} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

$$R^{\cdot +} \rightarrow \text{produit} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

كما يرافق تشعيع جزيء في مجال طيف امتصاص معين تحولات و انتقالات إلكترونية بين المدارات الجزيئية من نوع $\delta-\delta^*$ و $\pi-\pi^*$ و $n-\pi^*$ [12].

2.1.4.I.التفكك الكيميائي الضوئي غير مباشر(التحفيز الضوئي):

تعتمد عملية التحفيز الضوئي على تفاعل مادة تعمل على زيادة معدل التفاعل الكيميائي للمواد المتفاعلة دون أن تدخل في التفاعل نفسه، حيث يعمل التحفيز الضوئي على إزالة العديد من الملوثات والتمعدن الكامل للمواد العضوية [9].

كما تطورت الأبحاث والدراسات في مجال التحفيز الضوئي واقترحت تقنية استخدام الأشعة فوق البنفسجية مع ثاني أكسيد التيتانيوم TiO_2 في إزالة ملوثات المياه، وقد أظهرت العديد من الدراسات فعالية هذا المحفز في تفكيك مجموعة من المركبات العضوية المختلفة جدا مثل الهيدرو كربونات المشبعة وغير المشبعة ، المركبات الأكسجينية ، الأصباغ، الأحماض الدهنية ، مشتقات المركبات العطرية [5].

وينقسم التحفيز الكيميائي الضوئي غير مباشر بدوره إلى قسمين :

أ.التحفيز الضوئي المتجانس:

الحفز الكيميائي المتجانس هو تفكيك ضوئي محفز حيث يكون فيه المحفز الضوئي قابل للذوبان في وسط التفاعل، حيث يتم فيه تكوين نواتج ثانوية غير مستقرة بين المحفز والمواد المتفاعلة والتي يحدث عندها التفكيك ويعاد استرجاع المحفز ثانيا، كما تعتمد سرعة تفاعل العمليات المتجانسة للمحفزة على عدة عوامل منها:[5]

تركيز المحفز، تركيز المواد المتفاعلة، الضغط و درجة الحرارة الرقم الهيدروجيني لوسط التفاعل.

ب .التحفيز الضوئي غير متجانس :

التحفيز الضوئي غير المتجانس هي تفاعلات تحفيزية، حيث تتم هذه العملية عندما يكون المحفز غير قابل للذوبان في وسط التفاعل، المحفز تحدث له إثارة بواسطة شعاع الضوئي مما يؤدي إلى تسريع التفاعل الضوئي ، وجد من بين هذه المواد التي يمكن استخدامها كمحفز ضوئي هو ثاني أكسيد التيتانيوم TiO_2، حيث أنه يمتلك فجوة طاقة بين حزمة التكافؤ وحزمة التوصيل تساوي 3.2ev وهذه الطاقة تعادل طاقة فوتون له طول موجي 388 nm، و يعتبر الأنسب كمحفز ضوئي لتعدد مزاياه منها أنه مقاوم للتآكل وخامل كيميائيا ويحتاج إلى معالجة أقل من غيره من أشباه الموصلات وهذا يجعله أقل تكلفة كما أن له خصائص كيميائية وفيزيائية مميزة موضحة في الجدول (I-2)،[7،13]

الجدول (I-2): خصائص ثاني أكسيد التيتانيومTiO_2 [5].T

الاسم النظامي	ثاني أكسيد التيتانيوم
الصيغة الكيميائية	
الكتلة الجزيئية	79.87 g/mol
الكثافة	$4.23 g/cm^3$

اللون	ابيض
نقطة الغليان	2972 C°
نقطة الانصهار	1870 C°
الانحلالية	لا ينحل في الماء
الحرارة النوعية	298.13 J/(mol `C)

1.العوامل المؤثرة في التحفيز الضوئي غير المتجانس :

ترتبط عملية التفكك الضوئي غير المتجانس بعدة عوامل نذكر منها[7] :

- تركيز المحفز المستعمل .
- التركيز الابتدائي للملوث .
- درجة الحموضة .
- طول الموجة .
- تأثير الهيكل البلوري و حجم جسيمات المحفز .
- درجة الحرارة.

2.أشباه الموصلات:

هي عبارة عن مواد تشبه المواد العازلة من حيث بناء وتركيب حزمة الطاقة، إلا أن فرق الطاقة بين حزمتي التكافؤ والتوصيل صغيرة ، ومن أجل حدوث عملية التحفيز الضوئي تمتص مادة شبه الموصل طاقة من أشعة الشمس أو من أشعة فوق بنفسجية تساوي أو أكبر لفجوة الطاقة فتنتقل الكترونات من حزمة التكافؤ إلى

حزمة التوصيل فيصبح لدينا إلكترون في حزمة التوصيل وفجوة موجبة في حزمة التكافؤ، حيث الفجوة الموجبة تعتبر مؤكسد قوي يمكنه أكسدة الجزيئات .

و أمثلة على ذلك السيلكون والقصدير وتدعى هذه المواد بأشباه الموصلات الداخلية ويزداد التوصيل الكهربائي لأشباه الموصلات عند وصولها لدرجة حرارة عالية، والفائدة من هذه الظاهرة هي تحويل المواد العازلة إلى مواد موصلة عند صناعة بعض الأجهزة الإلكترونية [13].

3.ثاني أكسيد التيتانيوم TiO_2 :

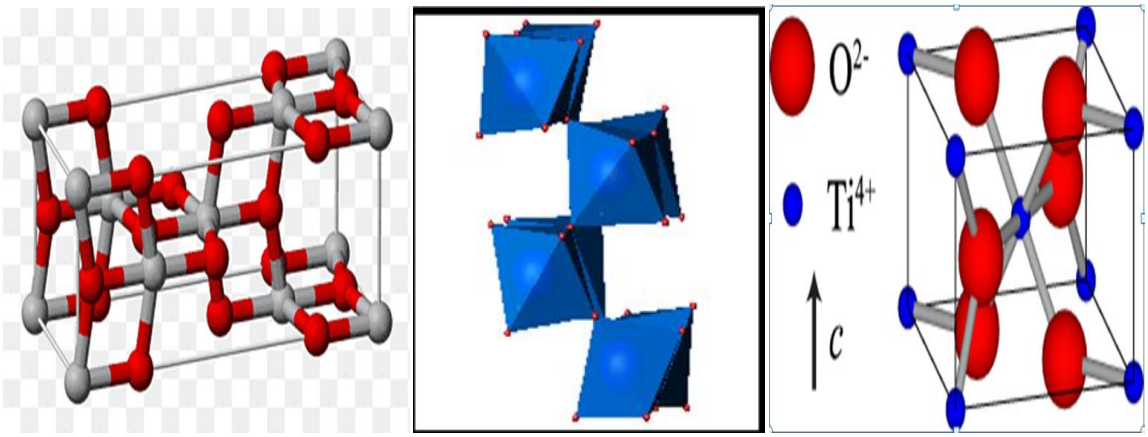
هو أكسيد يتكون طبيعيا من التيتانيوم صيغته الكيميائية TiO_2، وهو عبارة عن مسحوق أبيض قابل للطرق ومقاوم للتآكل عندما يستخدم كخضاب فإنه يسمى التيتانيوم الأبيض أو الصباغ الأبيض، كما يستخدم أكسيد التيتانيوم علي نطاق واسع من صناعات متعددة مثل صناعة الدهنيات (كصباغ أبيض) ومستحضرات التجميل (كحاجب للأشعة الشمسية) وكذلك صناعة الأدوية.

شهد ثاني أكسيد التيتانيوم اهتماما كبيرا في مخابر البحوث العلمية نظرا لامتيازه بخصائص عديدة يمكن إيجازها كما يلي[15،16]

- خصائص ميكانيكية قوية .
- استقراره كيميائيا .
- غير سام وقليل التكلفة .
- شبه موصل مثالي .

يعد ثاني أكسيد التيتانيوم نصف الناقل الأكثر ملائمة للتطبيقات البيئية، وهذا لسبب خموله الكيميائي الحيوي ورخص ثمنه كما أنه يمتص في المجال فوق البنفسجي UV القريب والذي يشكل 5 %من الأشعة الشمسية، وهو من أهم أوائل أشباه الموصلات التي تم استخدامها كمحفز ضوئي [8].

يوجد أكسيد التيتانيوم تحت هياكل بلورية مختلفة منها :أناتاز(anatase) ، بروكيت (Brookite) حيث يكون غير فعال ضوئيا ، والروتيل (Rutile)، الشكل (I–4) يوضح ذلك [16]:



الروتيل**Rutile** بروكيت **Brookite** أناتاز**anatase**

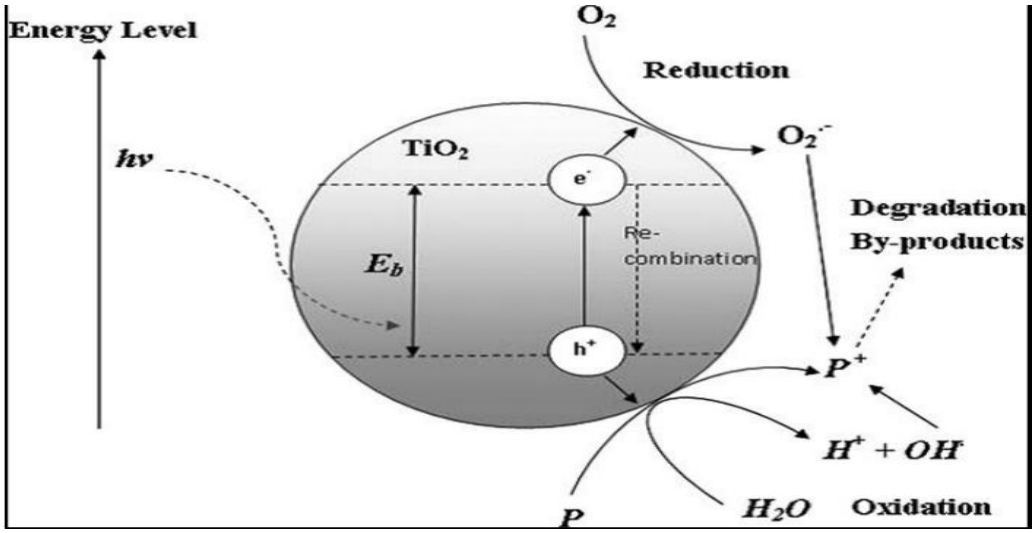
الشكل(I-4) : الهياكل البلورية لثاني أكسيد التيتانيوم [14]

4.آلية عمل التحفيز الضوئي في أكسيد TiO2 :

عند تشعيع سطح حفاز TiO2 بإشعاع يتمتع بطاقة تساوي 3.2ev أو اكبر منها ، تنتقل الالكترونات من حزمة التكافؤ إلى حزمة التوصيل الشكل (I–5) مكونة ثنائية (إلكترون– ثقب) على هذا السطح حسب المعادلة:

$$TiO_2 + hv \longrightarrow TiO_2\ (e^-\ ;\ h^+) \qquad (7)$$

يتبع هذا انتشار سريع لحاملات الشحنة على سطح حبيبات الحفاز، كما تشارك كل الالكترونات والثقوب في تفاعلات أكسدة – إرجاع فينتج عنها تفكك كلي للمركبات[8].



الشكل (I-5) :مخطط تمثيلي لسطح أكسيد التيتانيوم TiO_2 [8]

❖ **عند حزمة التكافؤBV :**

الفجوة الموجبة h^+ ثانيفي أكسيد التيتانيوم تعمل علي تحويل جزيء الماء إلى شوارد هيدروجين و جذور هيدروكسيل وفق المعادلة [5] :

$$TiO_2(\mathrm{h}+) + \mathrm{H_2O\ ads} \longrightarrow \mathrm{TiO_2} + \mathrm{H^+} + \mathrm{OH} \qquad (8)$$

❖ **عند حزمة التوصيل BC :**

يتفاعل الإلكترون مع جزيء الأكسجين ويعطي ايون قوي جدا وفق المعادلة التالية [8]:

$$TiO_2(\acute{e}) + O_2 \longrightarrow O_2^{\cdot-} + TiO_2 \qquad (9)$$

5.I.مزايا التحفيز الضوئي:

- تعمل في درجة حرارة و ضغط المحيط وفي الشروط العادية .
- فعال لتركيزات منخفضة من الملوثات .
- يتطلب استهلاكًا منخفضًا للطاقة [7] .

I.6.مجالات استخدام التحفيز الضوئي :

مجالات استخدام التحفيز الضوئي عديدة منها[7]:

- لتفكيك مختلف الملوثات مثل المبيدات و مركبات النيتروجين .
- القضاء علي البيكتيريا والفيروسات والفطريات .
- معالجة المياه وتنقية الهواء .
- طلاء الأسطح الذاتية التنظيف مثل المعادن الزجاج الخرسانة ....الخ .
- علاج السرطان .

المراجعI:

[1] https://www.alfreed-ph.com/2018/03/Lectures-Optics-pdf.html(2022/03/11)

[2]https ://www.alfred-library.com/2018/02/pdf-book-of-light.html(2022/03/16)

[3] بن طبة. ف، حفوظة. ن، خويلدي. ز(2017). *إزالة بعض الملوثات العضوية بتقنية التفكك الكيميائي الضوئي المحفز*، مذكرة ماستر جامعة ورقلة ، صفحة (11-12)

[4] د. مجدي واصل. م(2014). *مبادئ الكيمياء الضوئية* ، دار النشر للجامعات 2009.الطبعة الأولى ،صفحة (11-15).

[5]علي كاطع صالح السعيدي. ر، خيري شمران عبد العمري. ز(2018).*التفكك الضوئي لبعض الملوثات باستخدام أشباه الموصلات النانوية* ، رسالة بكالوريوس، جامعة القادسية جمهورية العراق صفحة (28-42)

[6] د. علاوي عبد الفتاح(2020). *محضرات في الكيمياء الضوئية*، مطبوعة جامعية، جامعة ورقلة.

[8] عبد الاله العاني.ه(2014). *دراسة تفكيك بعض الهرمونات في الأوساط المائية بواسطة تقانات الأكسدة المتقدمة* ، رسالة ماجستر، جامعة دمشق صفحة (25-42) .

[13] د. مجدي واصل. م(2004). *كيمياء الحفز والسطوح* ، جامعة الأزهر ،دار النشر للجامعات الطبعة الأولى، صفحة 65

[15] سعد قيس. ح،.علي عبد حسين. ط(2018). *دراسة الخصائص التركيبية والبصرية لثاني أكسيد التيتانيوم*، ،رسالة ماجستر، جامعة القادسية كلية العلوم قسم البيئة ،جمهورية العراق.

[16] مناهل بابكر .س، محمد صالح. إ، حامد بشير. ر(2016). *دراسة الخواص التركيبية لثاني أكسيد التيتانيوم باستخدام تقنية حيود الأشعة السينية TiO2* ، رسالة بكالوريوس، جامعة السودان ، صفحة(7-9)

[7]Helali, S. (2012). *Application de la photocatalyse pour la dégradation des polluants chimiques et bactériologiques dans l'eau en utilisant des catalyseurs irradiéspar des photons de lumière naturelle ouartificiell(UV-A/UV-B)* (Doctoral dissertation, Université Claude Bernard-Lyon I).

[9]Ameta, R.,&Ameta, S. C. (2016). *Photocatalysis:principles and applications*. CrcPress.

[10]Ridha,D.(2015). *Contribution de la photocatalyse à l'élimination des polluants industriels* (Doctoral dissertation, Université Badji Mokhtar).

[11] Yasmina, M., Mourad, K., Mohammed, S. H., &Khaoula, C. (2014). *Treatment heterogeneous photocatalysis; factors influencing the photocatalytic degradation by TiO2*. EnergyProcedia, 50, 559-566.

[12]Tafer, R. (2007). *Photodégradation directe et induite de micro-polluants organiques* (cas d'un colorant azoique).magister en chimie universite mentouri-connstantine page (4,24-37)

[14]Aliouche,S.(2007)*Etude de l'élimination d'un colorant par différentes méthodes photochimiques en milieu aqueux* ,Constantine .

الفصل الثاني

المحفزات الضوئية

II.1.تمهيد:

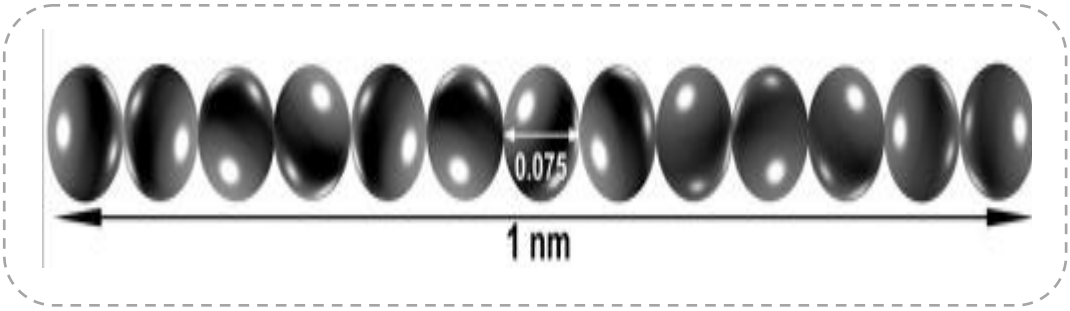
تكنولوجيا النانو تعد ثورة علمية هائلة لا تقل عن الثورة الصناعية التي نقلت الإنسان إلى عصر الآلات أو ثورة التكنولوجيا التي نقلت الإنسان إلى عصر الفضاء والاتصالات والانترنت فما تقدمه تكنولوجيا النانو هو القدرة علي صنع كل ما يتخيله الإنسان بكلفة أقل وجودة أعلى وهذه القدرة ستكون مفتاح التقدم العلمي الذي سيغير معالم الحياة علي نحو قد لا يستطيع الإنسان تصور كل أبعاده اليوم، أصبحت تقنية النانو في طليعة المجالات الأكثر أهمية وإثارة في الفيزياء والكيمياء و الأحياء والهندسة و مجالات عديدة أخرى، فقد أعطت أملا كبيرا للباحثين في المستقبل القريب ومن خلال إدخال التكنولوجيا النانوية فان المحفزات الضوئية تعمل على تحليل وتفكيك الملوثات، وقد تم استخدامها على نطاق واسع للتنظيف والتعقيم فأصبح التحفيز الضوئي موضوعا مهما في العديد من مجالات البحث، وتم اكتشاف العديد من المحفزات الضوئية الأكثر كفاءة في السنوات الماضية. [1،3]

II.2.تاريخ النانو :

استخدمت تقنية النانو مند القدم وتعود إلى الحضارة الإغريقية والتي تعني جزء من البليون من الكل، بدأت هذه التقنية من صانعي الزجاج في العصور الوسطى حيث استخدموا حبيبات الذهب النانوية الغروية للتلوين ، كما تتمثل هذه التقنية في توظيف التركيبات النانوية في أجهزة وأدوات ذات أبعاد نانوية و يعود الاهتمام بهذه التقنية إلى نهاية القرن العشرين، حيث أثبتت الدراسات البحثية في هذا المجال أن سلوك المادة على هذا النطاق تؤدي إلى خصائص أساسية جديدة، مما فتح أفاق وتطبيقات هامة في جميع المجالات العلوم وخاصة الطب، وفي العصر الحديث ظهرت بحوث ودراسات عديدة حول مفهوم تقنية النانو وتصنيع موادها و توظيفاتها في تطبيقات متفرقة وجعلتها تقنية المستقبل [1].

II.2.1. تعريف النانو :

النانو هي كلمة بدائية مشتقة من اللغة اليونانية القديمة يقصد بها "القزم Nanos"، أما في المجالات العلمية تعني جزءا من ألف مليون فهي تستخدم كوحدة لقياس أطوال الأشياء التي لا ترى إلا تحت المجهر الالكتروني، وتستخدم هذه الوحدة لتعبير عن أقطار ومقاييس ذرات وجزيئات المواد و المركبات والجسيمات المجهرية مثل البكتيريا والفيروسات، و النانو متر الواحد يساوي جزء من المليار جزء من المتر أي أن المتر الواحد يحتوي على مليار جزء من النانو متر، و النانو متر يعادل طول 13 ذرات هيدروجين بجانب بعضها البعض و الشكل (II-1) يوضح ذلك. [5]



الشكل (II-1) : مقدار النانو متر من خلال 13 ذرة هيدروجين قطر كل ذرة يساوي 0.075nm [5]

II.2.2.تقنية النانو:

هي علم وهندسة تكوين المواد ذات الأبعاد الصغيرة جدا والخواص المميزة، حيث تهتم بدراسة ومعالجة المادة على المقياس الذري والجزيئي لابتكار بنى وظيفية جديدة تقع أبعادها في سلم النانومتر، تعرف هذه التقنية على أنها عبارة عن مجموعة من الأدوات والتقنيات التي تمكن علم النانو من التقدم خلال توفير طرق لدراسة ومعالجة وصنع مواد نانوية، أي هو إعادة ترتيب وهيكلة الذرات والجزيئات والقدرة على إنتاج مواد ومركبات نانوية جديدة. [2،6،7،8]

II.3.2.المواد النانوية :

هي مواد تتكون كليا أو جزيئيا من جسيمات نانوية تمنحها خواص محسنة أو محددة للبعد النانومتري لها، بحيث تتراوح مقاييس أبعاد حبيباتها الداخلية من 1نانومتر إلى 100 نانومتر، كما تعد جميع أنواع المواد الهندسية المعروفة مثل : أشباه الموصلات العناصر الفلزية وسبائكها والبوليمرات وكذلك الأكاسيد المعدنية و المعادن بمنزلة المواد الأولية التي تعتمد عليها تكنولوجيا النانو، تنقسم المواد النانوية إلى ثلاثة مجموعات رئيسية .[5]

أ. مواد نانوية أحادية البعد 1D:

توجد في هذه الفئة جميع المواد التي يقل احد مقاييس أبعادها عن 100 nm، و تكون على شكل رقائق أو طبقات نانوية .

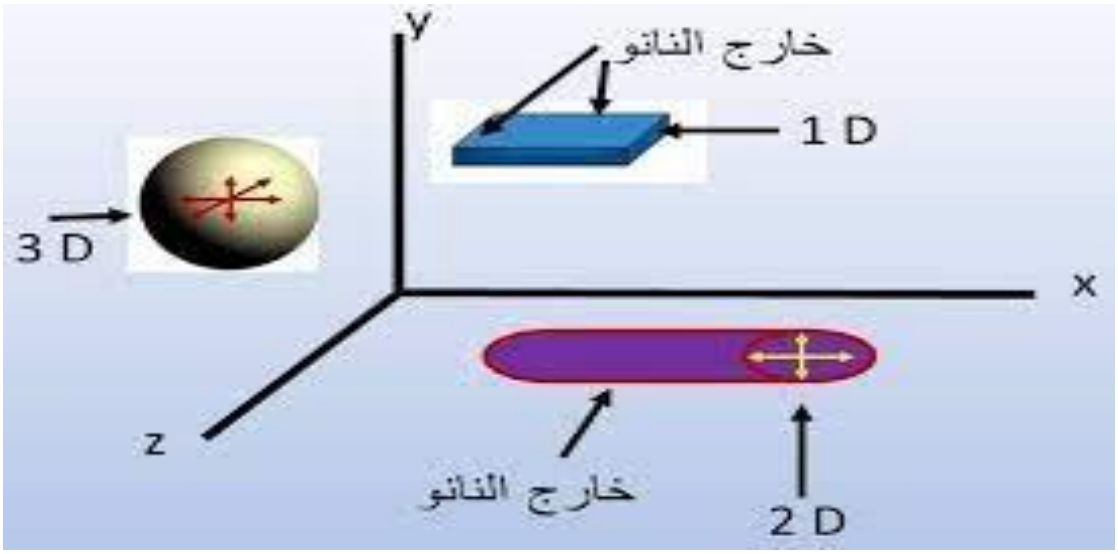
ب. مواد نانوية ثنائية البعد 2D:

يشترط في هذه الفئة من المواد النانوية أن يقل مقياس بعدين من أبعادها عن 100 nm، وتكون على شكل اسطوانات أو أنابيب نانوية .

ج. مواد نانوية ثلاثية البعد 3D:

هذه المجموعة ثلاثية البعد لأنه يشترط أن يكون مقياس أبعادها الثلاثة على المحاور (x–y–z) تقل عن 100nm، و تكون على شكل جسيمات نانوية

والشكل (2.II) يوضح هذه الفئات الثلاثة للمواد النانوية :



الشكل(II-2) : الأشكال التي تصنع من خلالها المواد النانوية علي هيئتها وهي : طبقات نانوية أحادية البعد أنابيب نانوية ثنائية البعد : جسيمات نانوية ثلاثية البعد[5]

II.3.2.1. خواص المواد النانوية :

نتيجة استجابة الجسيمات الدقيقة للضوء تتغير خصائص جميع المواد في الحجم النانوي بما في ذلك اللون والخصائص الكيميائية ويعود هذا إلى سببين أساسيين هما[5] :

- ✓ الزيادة في نسبة المساحة السطحية للحجم الكلي للمادة :

أي كلما صغرنا حجم الدقائق المصنوعة من المادة زادت المساحة السطحية المكشوفة ذات الروابط شديدة التفاعل .

- ✓ التأثير الكمي :

التأثير الكمي للشحنات الكهربائية يحصل عندما تكون أبعاد المادة أصغر من مسافة تحرر الالكترونات الحرة تسبح حول الذرات بمسافة معينة فقط .

ومن أهم الخواص التي تميز المواد النانوية هي[6،5]:

- **الخواص الميكانيكية** : الخواص الميكانيكية على رأس الخواص المميزة، و ذلك بزيادة صلابة المواد الفلزية وسبائكها وزيادة مقاومتها وذلك من خلال تصغير مقاييس حبيبات المادة والتحكم في ترتيب ذراتها .
- **الخواص الكيميائية** : تمتلك المواد النانوية نشاط كيميائي كبير بسبب الزيادة في مساحة السطح بالنسبة للحجم و وجود عدد كبير من الذرات على الأسطح الخارجية لهذه الذرات، حيث أصبحت هذه المواد تستخدم كمواد محفزة.
- **الخواص الفيزيائية** : منها الحرارية تتأثر درجات انصهار المادة بتصغير أبعاد مقاييس حبيباتها، ومنها الضوئية تعمل على التكسير الضوئي لسطح المادة، أما الخواص المغناطيسية كلما صغرت الجسيمات تزداد مساحة أسطحها الخارجية و وجود الذرات على تلك الأسطح، كلما ازدادت قوة وفعالية المغناطيس وشدته .
- **الخواص البيولوجية** : هذه المواد لها القدرة على النفاذ واختراق الموانع والحواجز البيولوجية التي تعيق وصول الأدوية والعقاقير العلاجية للجزء المصاب .
- **الخواص الكهربائية** : صغر حجم الجسيمات والمواد النانوية وزيادة المساحة السطحية يزيد قدرة المواد على توصيل التيار الكهربائي، كما أن هناك مواد عازلة في حجمها العادي لكنها أصبحت مواد ذات قدرة على التوصيل الكهربائي .

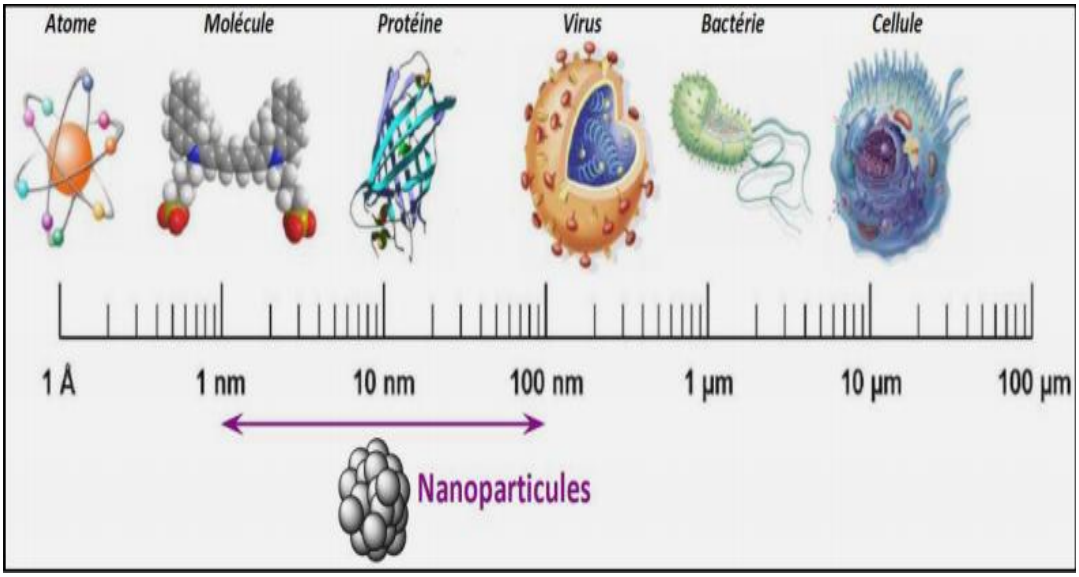
II.2.3.2.المواد النانوية المركبة :

هي مواد غير نانوية تضاف إليها مواد نانوية تكسبها خواص مميزة تمكنها من تحقيق تركيبات فريدة من الخواص التي لا يمكن الوصول إليها بالمواد التقليدية، ما يكسب هذه المواد خواص فيزيائية محسنة غير

مسبقة، كمثال عند إضافة أنابيب نانوية إلى مادة ما تزداد خواص التوصيل الكهربائي والحراري لتلك المادة وقد يحدث تحسين في الخواص الضوئية والميكانيكية [9] .

II.3.مفهوم الجسيمات النانوية:

تعرف الجسيمات النانوية بأنها أصغر وحدة لها الخواص كيميائية وفيزيائية للمادة الحجمية، وهو عبارة عن تجمع ذري أو جزي ميكروسكوبي يتراوح عددها من بضع مئات إلى بضعة آلاف من الذرات مرتبطة مع بعضها البعض بشكل كروي، مكونًا جسيمًا له بعد واحد على الأقل بين 1 و 100 نانومتر. [10]



الشكل (II-3) : مجموعة من أحجام الجسيمات النانوية مقارنة بأحجام الهياكل التركيبات الكيميائية والبيولوجية[10]

II.3.1.أنواع الجسيمات النانوية :

الجسيمات النانوية تتنوع بشكل كبير من حيث تركيبتها الأساسية، فيمكن أن تكون مجموعات عضوية أو غير عضوية، و لها أبعاد تتراوح مابين 1 إلى 100 نانومتر، نذكر منها الأكثر شيوعا [9،6]:

II.1.1.3.الجسيمات النانوية العضوية :

1.الجسيم الليبيديLiposome:

تكون على شكل حويصلات تتكون من طبقة واحدة أو أكثر من الطبقات مزدوجة المركز، يتكون من الفسفور ليبيد و جزيئات الكوليسترول التي تحتوي على جزء محب للماء يتراوح حجم الجسيمات الشحمية بين 30-60 نانومتر . [6]

2. الجسيمات النانوية البوليميرية Polymericnanoparticles:

استخدمت البوليميرات المختلفة بنجاح لتشكيل جسيمات متناهية الصغر، حيث تعد أول جسيمات نانوية بوليميرية تم تطويرها من طرف العالم Couvreur ، كما أن الجسيمات الأكثر شيوعا حاليا هي[5] :

poly (acideglycolique) و poly(acidelactique)

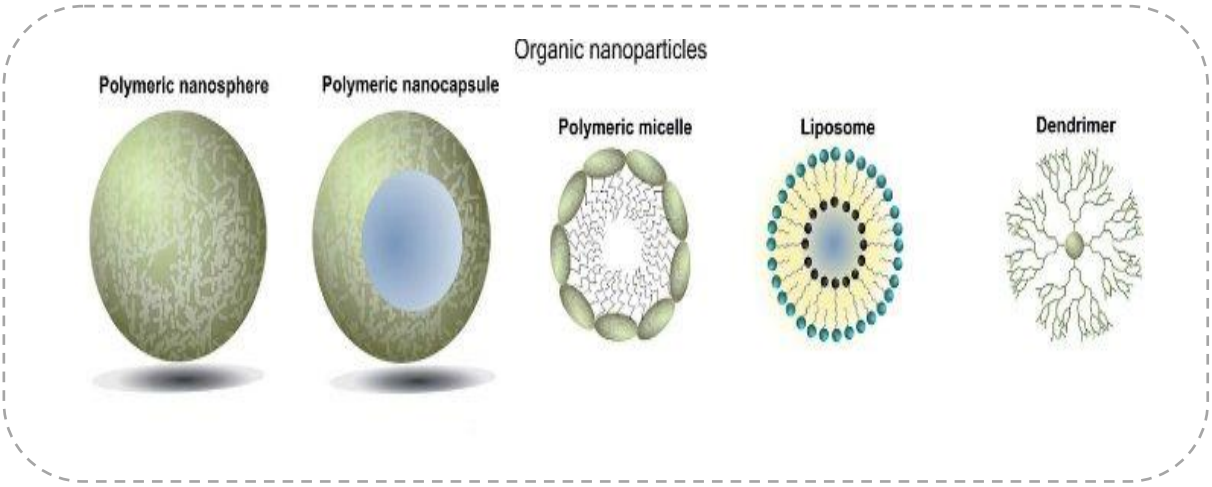
3. المذيلات Polymericmicelle:

المذيلات تتكون من مجموعات أساسية لها قابلية ممتازة في التحكم في الأدوية المغلفة، جزء منها كاره للماء مجتمعة ومحاطة بها سلاسل بوليميرية محبة للماء، يسمح السطح الخارجي المائي لها بفعالية وتغليف الأدوية الكارهة للماء بأمان لتامين عبور آمن للمنافذ عبر الجسم مع الجسيمات النانوية الشحمية [4].

4. البوليمرات ذات التشعبات Dendrimers:

هي عبارة عن جزيئات بوليميرية ذات تفرعات، تكونت خلال عملية التجميع الذاتي الهرمي في حيز النانو، توجد عدة أنواع لها القدرة على حجز أيونات المعادن ولها خواص مهمة جدا من الممكن أن تؤدي إلى تطبيقات مفيدة مثل: أن تعمل كجزيئات حاملة موصلة للدواء. [6]

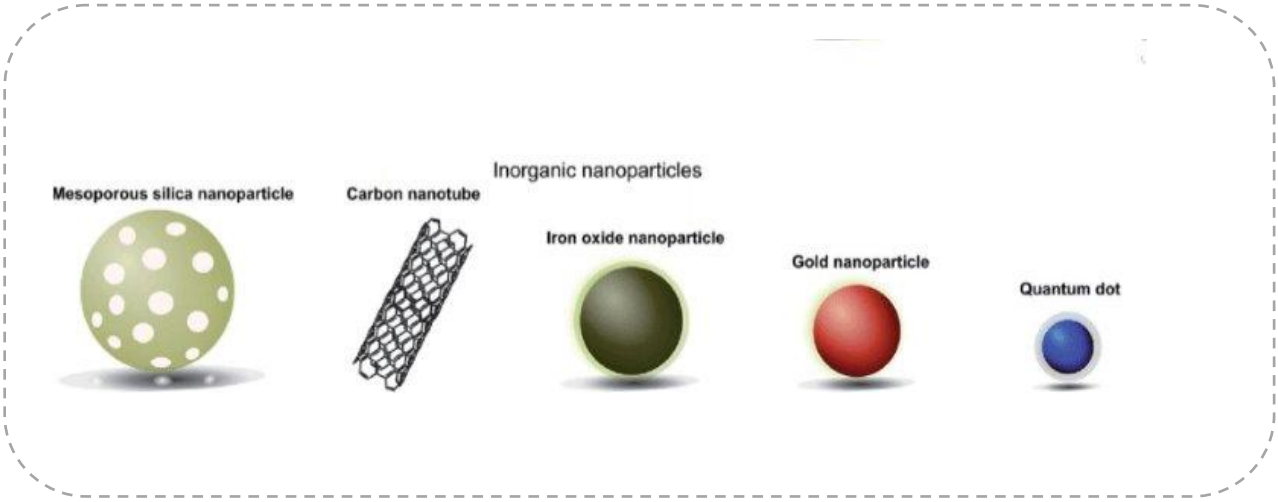
والشكل (II-4) يوضح مختلف أنواع الجسيمات النانوية العضوية :



الشكل(II-4) : مختلف أنواع الجسيمات النانوية العضوية[4]

II.2.1.3.الجسيمات النانوية غير العضوية :

من أهم الجسيمات النانوية الغير العضوية الأكثر شيوعا هي الذهب المعدني أو الجسيمات النانوية الفضية، والجزيئات النانوية المغناطيسية والنقاط الكمية مثل: أنابيب الكربون النانوية والجسيمات النانوية السيليكا وأكسيد الزنك النانوي والبلورات الشبه الموصلة وغيرها.[4]



الشكل (II-5) : مختلف أنواع الجسيمات النانوية غير العضوية [4]

II.2.3.محفز قائم على المواد النانوية :

عادة ما تكون المحفزات الضوئية القائمة على المواد النانوية هي عبارة عن محفزات غير متجانسة مقسمة إلى جسيمات نانوية معدنية من اجل تعزيز العملية التحفيزية، حيث تحتوي الجسيمات النانوية المعدنية على مساحة سطح عالية مما يزيد من النشاط التحفيزي، وسهولة فصل محفزات الجسيمات النانوية وإعاد تدويره [11]

II.4.المحفزات الضوئية :

هي مواد قادرة على تحفيز تفاعل كيميائي ضوئي أو تغيير معدله دون أن تتغير بنيتها خلال التفاعل وذلك من خلال امتصاص فوتونات الضوء .

غالبا ما يكون المحفز الضوئي هو عبارة عن مادة شبه موصلة تمتلك نطاق تكافؤ (VB) ونطاق توصيل (CB)، يُعرف VB بأنه أعلى مدار جزيئي مشغول (HOMO) بينما CB هو أدنى مداري جزيئي شاغر (LUMO)المسافة بين هذين المستويين تسمى فجوة الطاقة Eg، ولكي تكون للمحفز الضوئي كفاءة عالية يجب توفر مزايا منها: فجوة طاقة صغيرة، استقرار كيميائي، مساحة سطح كبيرة، وقابلية إعادة الاستخدام [12]

II.1.4. خصائص المحفزات الضوئية :

للمحفزات الضوئية الجيدة عدة خصائص منها [13]:

- خامل بيولوجيا وكيميائيا .
- سريع التأثر في وجود الأشعة فوق البنفسجية UV .
- نشط ضوئيا .

- مستقر ضوئيا وحراريا .
- غير سام و غير مكلف .

II.2.4.أنواع المحفزات الضوئية المستخدمة:

يوضح الجدول (II-1) التالي بعض أنواع المحفزات الضوئية وعرض فجوة الطاقة Eg (énergie gap) مع كمية غازي الهيدروجين والأكسجين المنتجة وذلك عند الشروط التالية [14]:

- ✓ حجم الماء :390ml .
- ✓ كتلة المحفز الضوئي: 1g.
- ✓ المنبع الضوئي : مصباح زئبقي عالي الضغط 400 w .

الجدول (II-1): أنواع المحفزات الضوئية المستخدمة. [14]

المحفز الضوئي Catalyst	فجوة طاقة Band gap (eV)	نسبة تحميل مساعد التحفيز NiO loaded (mass%)	نشاط الإنتاج Activity (µmol/h)	
			H_2	O_2
$K_3Ta_3Si_2O_{13}$	4,1	None	53	23
$K_3Ta_3Si_2O_{13}$	4,1	1,3	390	200
$LiTaO_3$	4,7	None	430	220
$LiTaO_3$	4,7	0,10	98	52
$NaTaO_3$	4,0	None	160	86
$NaTaO_3$	4,0	0,05	2180	1100
$KTaO_3$	3,6	None	29	13

$KTaO_3$	3,6	0,10	7,4	2,9
$CaTa_2O_6$	4,0	None	21	8,3
$CaTa_2O_6$	4,0	0,10	72	32
$SrTa_2O_6$	4,4	None	140	66
$SrTa_2O_6$	4,4	0,10	960	490
$BaTa_2O_6$	4,1	None	33	15
$BaTa_2O_6$	4,1	0,30	629	303
$Sr_2Ta_2O_7$	4,6	None	57	18
$Sr_2Ta_2O_7$	4,6	0,15	1000	480
$K_2PrTa_5O_{15}$	3,8	None	10	3
$K_2PrTa_5O_{15}$	3,8	0,1	1550	830

II.3.4.أمثلة لبعض المحفزات الضوئية :

II.3.4.1.كبريتيد الزنك ZnS :

هو مركب غير عضوي ذو الصيغة الكيميائية ZnS وهو عبارة عن مسحوق أصفر بلوري، يستخدم على نطاق واسع كصبغة وتطبيقات عديدة، كما يمكن أن يسبب أضرار بيئية لأنه يخترق الأرض ويلوث المياه الجوفية، بالإضافة إلى ذلك انه من أشباه الموصلات ومحفز ضوئي، والجدول(II-2) يوضح بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية لمركب ZnS:[15]

الجدول (II-2): الخصائص الفيزيائية والكيميائية لمركب ZnS.[15]

اسم المحفز الضوئي	كبريتيد الزنك

الصيغة الجزيئية	ZnS
الكتلة المولية	97.475 g/mol
المظهر و اللون	مسحوق بلوري أصفر
الكثافة	4.090 g /Cm^3
نقطة الانصهار	1185C°
الذوبانية	ضعيفة جدا في الماء

II.2.3.4.أكسيد القصدير SnO_2:

أكسيد القصدير هو عبارة عن حجر قصدير معدني، ذو صيغة كيميائية SnO_2 لونه يتغير من الأصفر إلى الأسود، ويكون صلبا صعب الانكسار ذو لمعان ومقاوم للانصهار، والجدول (II-3) يوضح بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية لـSnO_2. [16]

الجدول (II-3) : الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمحفز الضوئي SnO_2 . [16]

اسم المحفز الضوئي	أكسيد القصدير
الصيغة الجزيئية	SnO_2
اللون والمظهر	أبيض أو رمادي يكون صلب بلوري

الكتلة المولية	150.69 g/mol
درجة الانصهار	1630_1500 C°
درجة الغليان	1800_1900 C°
الكثافة	6.90g /Cm^3
الذوبان	غير قابل لذوبان في الماء إمكانية الذوبان في حمض الكبريت المركز

II.3.3.4. كبريتيد الكادميوم CdS :

هو مركب كيميائي ذو الصيغة الكيميائية CdS الذي يعتبر من أنصاف النواقل الثنائية، نتيجة إتحاد الكاتيون الموجود عنصره في العمود الثاني (II) من المجموعة الرئيسة B في الجدول الدوري وهو Cd^{2+} ، و الأنيون الموجود في العمود السادس (VI) من المجموعة الرئيسية A وهو S^{-2}، والجدول (II-4) يوضح بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية ل CdS.[17]

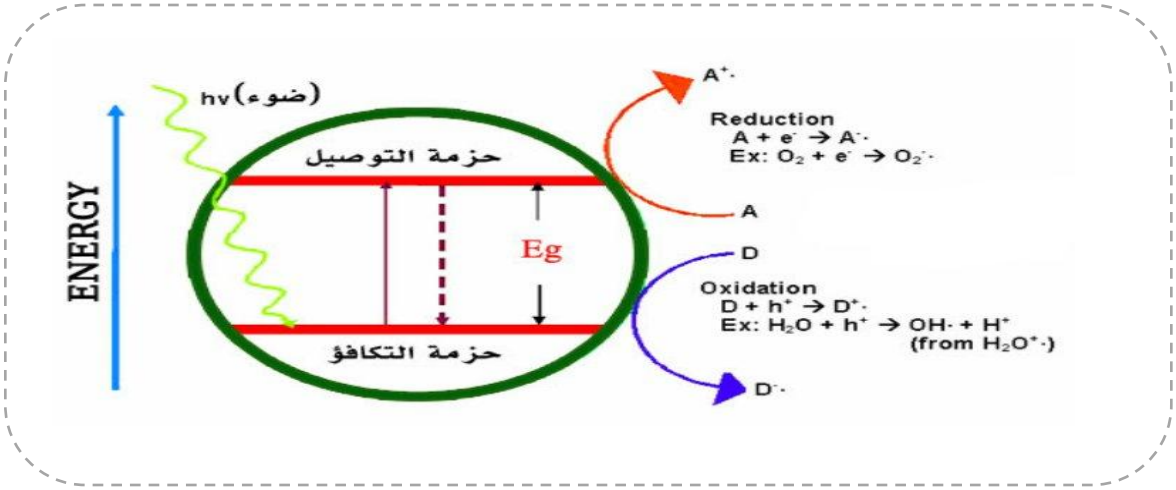
الجدول (II-4): الخصائص الفيزيائية والكيميائية لمركبCdS.[17]

اسم المحفز الضوئي	كبريتيد الكادميوم
الصيغة الجزيئية	CdS
المظهر و اللون	مسحوق صلب ،أصفر فاتح، بلورات بنية أو أصفر مائل للبني
الكتلة المولية	144.46 g/mol

الكتلة الحجمية	$4.82\ g\ /cm^3$
درجة الانصهار	$980\ C^{\circ}$
درجة الغليان	$1750\ C^{\circ}$
الذوبانية	غير قابل لذوبان في الماء

II.5.آلية التحفيز الضوئي:

عند وصول أشعة فوق البنفسجية أو ضوء الشمس على نصف الناقل ثاني أكسيد التيتانيوم TiO_2، يتم امتصاص ضوء ذو طول موجي مساوي أو اقل من 380 nm من قبل المحفز الضوئي ينتج عنه توليد الكترون e^- في حزمة التوصيل (BC) و ثقب موجب h^+ في حزمة التكافؤ (BV) الآلية موضحة في الشكل (II-6)، [12].



الشكل (II-6): آلية التحفيز الضوئي الكيميائي بالاستخدام TiO_2[12]

يثار إلكترون حزمة التكافؤ في ثاني أكسيد التيتانيومTiO_2 عند امتصاصه لأشعة فوق البنفسجية وفق المعادلة :

$$TiO_2 + hv \rightarrow h^+ + e^- \quad (hv \geq Eg) \ldots\ldots\ldots (1)$$

يمكن أن يحدث إعادة تجمع أو تركيب للشحنات فيما بينهما داخل المادة، وفي هذه الحالة يتم إحداث إشعاع يصاحبه انخفاض في نشاط التحفيز الضوئي و تحرير طاقة وفق المعادلة: [12]

$$h^+ + e \rightarrow \text{liberation d'energie} \ldots\ldots\ldots\ldots(2)$$

كما يتفاعل الإلكترون مع جزيء اللأكسجين معطيا جذر أو أنيون فائق الأكسدة وفق المعادلة :

$$O_2 + e^- \rightarrow O_2^{\cdot -} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(3)$$

أما عند انخفاض درجة الحموضة في الوسط المائي تتسابق البروتونات لالتقاط الالكترونات المتولدة ضوئيا مما يحد من دور الأكسجين كمستقبل للالكترونات وفق المعادلة:

$$H^+ + e^- \rightarrow H^{\cdot} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(4)$$

$$O_2^{\cdot -} + H^+ \rightarrow HO_2^{\cdot} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(5)$$

الفجوة الموجبة في المحفز الضوئي TiO_2 تعمل على تحويل سريع لجزيء الماء إلى هيدروجين، و جذور الهيدروكسيل وفق المعادلة :

$$TiO_2 + H_2O \rightarrow TiO_2 + H^+ + OH^{\cdot} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(6)$$

$$2HO_2^{\cdot} + O_2 \rightarrow H_2O_2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(7)$$

طالما الضوء متوفر تستمر عملية إنتاج جذور الهيدروكسيل والهيدروجين وفق المعادلة :[12]

$$H_2O_2 + O_2^{\cdot} \rightarrow HO^{\cdot} + OH^- + O_2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(8)$$

المراجع II:

[1] د.محمد بن صالح الصالحي،د.عبدالله بن صالح الضويان(2007). *مقدمة في تقنية النانو*، جامعة الملك السعودي، المملكة العربية السعودية، صفحة 20

[2] مل شفارتز Mel Schwartz(2011). *المواد الجديدة تقاناتها وسيرورات معالجتها وطرائق تصنيعها* ، سلسلة كتب التقنيات الإستراتيجية والمتقدمة، صفحة 59 .

[3] احمد السيد.ف(2012). *تكنولوجيا النانو في مجال المعلومات والاتصالات*، الفرص والتحديات العلم العدد 11 ،صفحة (18-20).

[5].د.محمد شريف الإسكندراني (2010 أفريل). *تكنولوجيا النانو من اجل غدا أفضل* ،علم المعرفة العدد 374 ،صفحة (17-18).

[9] د.محمود محمد سليم صالح (2015). *تقنية النانو وعصر علمي جديد* ، مكتبة الملك فهد الوطنية ،المملكة العربية السعودية صفحة (23-72)

[11]https://stringfixer.com(2022/04/01)

[14] نزيه عبد القادر.و(2014). *تقييم عملية فصم الرابطة O-H القوية والضعيفة وبوجود محفز بالإثارة الليزرية لتامين الطاقة الهدروجينية* ،رسالة الماجستر، الجمهورية العربية السورية، جامعة دمشق المعهد العالي للبحوث الليزر وتطبيقاته ، صفحة 90 .

[16] سقيني.ل(2016). *تحديد خصائص أكسيد القصدير (SnO_2) المطعم بالحديد (Fe)*، مذكرة ماستر جامعة الوادي الصفحة(29,32)

[17] بن علي.و ، بوشمال.ص(2018). *تحضير ودراسة الأغشية الرقيقة لكبريتيد الكادميوم (CdS) المرسبة بطريقة الحمام الكيميائي (CBD)*، مذكرة ماستر ،جامعة بالوادي الصفحة 15 .

[4]Richards, D. A., Maruani, A., &Chudasama, V. (2017). *Antibody fragments as nanoparticle targeting ligands: a step in the right direction*. *Chemical science*, *8*(1), 63-77.

[6] Belfenache, D. E. (2012). *Elaboratonetetude de nanoparticules Au/TiO 2 ET Ag/TiO 2* (Doctoral dissertation, Université de Constantine 1).

[7]Filipponi,L.,& Sutherland, D. (2013). *Nanotechnologies:principles,applications, implications and hands-on activities*. Publications Office of the European Union, Luxembourg.

[8]Jawad, W. H., &Jader, M. J. (2021, September). *Preparing and Studying the Combination of ZnS/rGO Nano Composite by Laser Ablation Method*. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1999, No. 1, p. 012156). IOP Publishing.

[10]Goutayer, M. (2008). *Nano-émulsions pour la vectorisation d'agents thérapeutiques ou diagnostiques: étude de la biodistribution par imagerie de fluorescence in vivo* (Doctoral dissertation, Université Pierre et Marie Curie-Paris VI).

[12]Fosso-Kankeu, E., Pandey, S., & Ray, S. S. (Eds.). (2020). *Photocatalysts in advanced oxidation processes for wastewater treatment*. John Wiley & Sons.

[13] Bazine, A., & Ferah, M. S. (2017). *Elaboration par sol-gel et caracterisation d'oxyde metallique (type: α-fe2o3) aux propries photocatalytiques* (Doctoral dissertation université Mentori, Constantine,).

[15] Ameta, R., &Ameta, S. C. (2016). *Photocatalysis: principles and applications*. CrcPress.

الفصل الثالث

طرق تشخيص المحفزات الضوئية النانوية

III.1.تمهيد :

إن عملية تشخيص وتوصيف التراكيب الصغيرة أو المواد ذات الحجم الصغير عند المقياس النانومتري تتطلب عادة استخدام أدوات تشخيص متقدمة وتطوير لطرق التشخيص التقليدية المستخدمة لتشخيص المواد التقليدية ذات الحجم الكبير غير النانوي، ولا يحتاج هذا التشخيص حساسية فقط ودقة عالية بل درجة وضوح أيضا عند المستوى الذري، وهناك العديد من التقنيات المايكروسكوبية التي تلعب دورا أساسيا في عملية تشخيص المواد ذات الأحجام النانوية .[1].

تستخدم عدة تقنيات و خصائص فيزيائية و كيميائية مختلفة لدراسة المحفزات النانوية، ومن بين طرق توصيف الجسيمات النانوية منها: المجهر الماسح الالكتروني(SEM)، مطيافية الأشعة تحت الحمراء بتحويل فورييه(FTIR)، التحليل الطيفي للأشعة فوق البنفسجية–المرئية (UV-Vis) و مطيافية رمان Raman (spectrum)، حيود الأشعة السينية(XRD)[2].

III.2. حيود الأشعة السينية (XRD):

يعتبر حيود الأشعة السينية X-ray diffraction من أهم التقنيات المستخدمة لتحديد البنية الدقيقة للمادة وتوفير معلومات حول التركيب البلوري لها، حيث تستخدم بشكل واسع لتحديد خواص الأجسام الصلبة كونها طريقة غير مدمرة للعينة، فعندما تتفاعل الأشعة السينية مع المادة البلورية النقية نحصل على نمط الانعراج الذي يمثل بصمة مميزة للمادة، كما يهدف هذا التشخيص للحصول على معلومات حول البنية مثل دراسة الجهد المطبق على الشرائح بالإضافة إلى البنية المجهرية مثل اتجاهات النمو البلوري للطبقة الرقيقة، قياس ثوابت الشبكة وتحديد الحجم الحبيبي للبلورة. [3]

كما يعمل جهاز انعراج الأشعة السينية الشكل (III-1) على قياس انعراج الزوايا حيث يتكون من مصدر للأشعة السينية أحادي اللون وكاشف، و لكي تتضح لنا الطريقة بشكل جيد من الضروري دراسة المواضيع

الأساسية المتعلقة بالبنية البلورية ومبادئ حيود الأشعة السينية عليها، وتحديد المسافات الفاصلة أثناء دراسة الجسيم البلوري .[4]

الشكل (III-1): جهاز انعراج الأشعة السينية. [3]

III.1.2.مبدأ الأشعة السينية (XRD):

تعتمد هذه الطريقة على تعريض العينة إلى أشعة سينية أحادية الطول الموجي، جزء منها ينعكس عن طريق المستويات الذرية للبلوريات في اتجاهات معينة وبشدة مختلفة وهذا تبعا لتوجيه المستويات وعددها، فيتم تسجيل شدة الأشعة المنعكسة بزاوية انحراف 2ø للشعاع، حسب قانون براغ $2d_{hkl}$ Sinø =nλ حيث :

d_{hkl}: هي المسافة بين مستويين بلوريين متعاقبين .

ø: هي زاوية براغ .

n: عدد صحيح يسمى رتبة الحيود .

λ: هو الطول الموجي للأشعة السينية .

ومن خلال قانون براغ نستنتج أن الزاوية التي يحدث عندها الانعكاس لكل المستويات التي تفصل بينها مسافة بينية d_{hkl}، وبما أن قيمة Sinø لا تزيد على الواحد الصحيح فان قانون براغ يوضح أن القيمة nλ لابد أن تكون اقل من $2d_{hkl}$، وبالاضافة إلى أن أقل قيمة للعدد n هي الواحد الصحيح على هذا يكون الشرط الواجب توافره لحدوث الحيود عند الزاوية ø2 أي الزاوية بين شعاع الحيود والشعاع النافذ هي:

$\lambda \leq 2d_{hkl}$. [5]

III.2.2.تطبيقات الأشعة السينية (XRD):

- ✓ **في مجال الطب :**

– التصوير الإشعاعي للكشف عن الأسنان والعظام والكسور و تحديد مواضع الأجسام الصلبة في الجسم مثل: الرصاص .

– علاج الأورام السرطانية الخبيثة والقضاء عليها، واستعادة خلايا الجسم السليمة حيويتها بعد فترة نقائها وتعود سليمة معافاة . [6]

- ✓ **في مجال الصناعة :**

– تكشف عن الشقوق في القوالب المعدنية والأخشاب المستعملة في صناعة الزوارق .

– الكشف عن العناصر الداخلة في تركيب المواد وتحليلها وكشف العيوب غير الظاهرة .

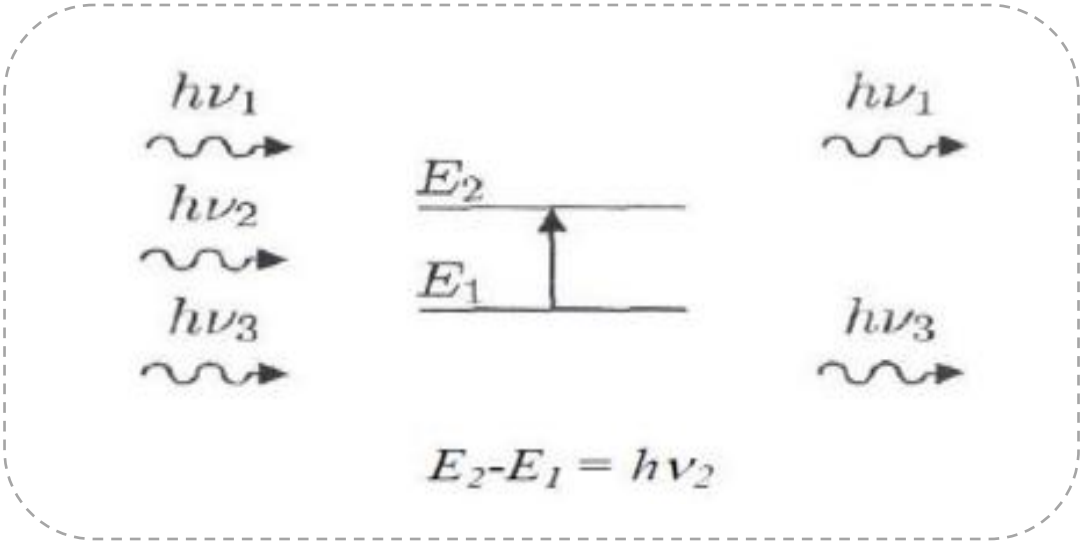
- ✓ **في مجال الأمن** : تستخدم في مراقبة حقائب المسافرين في المطارات قصد البحث عن الأسلحة والمواد الحادة [6].
- ✓ **في مجال الفن** : تستخدم في التمييز بين اللوحات المزيفة والحقيقية نتيجة احتوى ألوان المستعملة في اللوحات الأصلية مركبات معدنية تمتص الأشعة السينية بنسبة اكبر من اللوحات المزيفة والتعرف على أساليب الرسامين[6] .

III.3. مطيافية الأشعة تحت الحمراء بتحويل فورييه (FTIR) :

تعد مطيافية الأشعة تحت الحمراء من أهم الطرق المستخدمة من قبل الكيميائيين بتحويل فورييه في التعرف على المجموعات الوظيفية أو الفعالة في المركبات الكيميائية عن طريق قياس اهتزاز الذرات، كما يمكن بواسطتها التعرف على أي عينة وكيفية الحصول على طيف وتحليل بيانات الأشعة تحت الحمراء، ذلك أن كل مركب له بصمة خاصة به تميزه عن باقي المركبات . [7]

III.3.1.مبدأ مطيافية الأشعة تحت الحمراء بتحويل فورييه (FTIR):

تهتز الجزيئات طبيعيا تبعا لجميع أنماط الاهتزازات بسعات ضعيفة جدا، إذا كان تواتر الفوتون يوافق تواتر اهتزاز الأنماط العادية للجزيء سوف يدخل في الرنين عندئذ بسعات كبيرة، أي أن الفوتون الذي تكون طاقته مساوية للطاقة الضرورية للجزيء حتى يمر من حالة طاقة منخفضة إلى حالة مثارة يمتص ويحول طاقته إلى طاقة اهتزاز الشكل (III-2)، فقط الفوتون الذي طاقته مساوية لطاقة الانتقال هو الذي يمتص وبالتالي يحدث خللا في الإشعاع المنبعث، يميز هذا الامتصاص الروابط بين الذرات بما أن كل نمط اهتزاز يوافق حركة وحيدة للجزيء يوجد إذا توافق مباشر بين تواتر الإشعاع الممتص وبنية الجزئ . [8،7]



الشكل (III-2): امتصاص الأشعة تحت الحمراء [9]

2.3.III.مجالات تطبيق مطيافية الأشعة تحت الحمراء (FTIR):

- ✓ تستخدم في الصيدلة والطب الشرعي لتحديد بنية ونوع المركبات [7].
- ✓ الاغدية (تحليل الغذاء) [10].
- ✓ البيئة لتوصيف الملوثات [10].
- ✓ صناعة الالكترونيات الدقيقة لتوصيف المواد [10].
- ✓ جيولوجيا لتحديد المعادن بواسطة مقياس طيف الأشعة تحت الحمراء الدقيق [10].

4.III. المجهر الالكتروني الماسح (SEM) :

يعد الفحص المجهر الإلكتروني الماسح (S.E.M) تقنية توصيف فعالة للغاية تسمح بمراقبة الأسطح من خلال عرض صورة ثلاثية الأبعاد مع تكبيرات تتراوح من 1000 إلى 50000 أكثر وضوحا من المجهر البصري لتحليل أسطح العينة، والتركيب السطحي والكيميائي لمعظم المواد الصلبة و مورفولوجيا الخاصة بها عن طريق التصوير الإلكترون الثانوي (SE)، حيث تستخدم في هذه التقنية بشكل أساسي ظاهرة انبعاث الإلكترونات الثانوية والإلكترونات المبعثرة من التفاعلات بين الذرات والإلكترونات الساقطة التي يبلغ طول موجتها أقل من الضوء المرئي، كما تستخدم بشكل واسع في تشخيص الدقائق النانوية، و ذلك لأخذ فكرة حول الحجم والشكل والعيوب الموجودة في المواد النانوية . [1،11]

1.4.III. مبدأ المجهر الالكتروني الماسح (SEM) :

عند ورود حزمة من الالكترونات بطاقة ابتدائية E_0 على عينة صلبة سوف يحدث لها عدد من التفاعلات المرنة والغير مرنة، حيث التفاعلات المرنة تكون أساسا مع النواة التي تؤدي إلى تغير في اتجاه الالكترونات الواردة (تشتت)، وبالتالي يصبح لكل إلكترون مسار مختلف عن الأخر وطول موجي محدد وبشكل عشوائي،

أما فيما يخص التفاعلات الغير المرنة فإنها تسبب خسارة تدريجية لطاقة الالكترونات الأولية في شكلين:

الشكل الأول يتمثل في تحويل الجزء الأكبر من طاقة الالكترونات الأولية إلى الكترونات المدرات الذرية مما يؤدي إلى إثارة أو تأين هاته الأخيرة، والشكل الثاني يضيع على هيئة إشعاع عند التفاعل مع النواة [12].

و لغرض الحصول على صورة دقيقة للعينة استعملنا الجهاز المجهر الالكتروني الشكل (III-3)

الشكل (III-3):جهاز المجهر الالكتروني الماسح[12]

III.4.2. مجالات استخدام المجهر الالكتروني الماسح (SEM):

- ✓ تستخدم في علم الأرض بكثرة لتحليل العينات الصلبة كالصخور[13] .
- ✓ الكشف عن نوعية وكمية المواد الكيميائية التي تحتوي عليها العينة[11] .
- ✓ يستخدم في علم الأحياء للكشف عن العينات والمخلوقات الحية الدقيقة بصور عالية الجودة [11].
- ✓ مجال الطب تحليل كيميائي للمركبات الكيميائية الحيوية[13].

III.5. مطيافية الأشعة فوق البنفسجية–المرئية (UV-Vis):

قياس الطيف الضوئي هو أسلوب تحليلي كمي يتضمن قياس امتصاص مادة كيميائية معينة عادة تكون محلول، أي تستخدم تقنية القياس هذه في مجال الأشعة فوق البنفسجية وفي المجال المرئي، حيث تعتبر أداة

لتحديد الخصائص الضوئية: مثل الامتصاص، النفادية الضوئية، تقدير عرض الفاصل الطاقوي وسمك الشرائح .[14،15]

1.5.III. مبدأ التحليل الطيفي للأشعة فوق البنفسجية–المرئية (UV-Vis):

تعتمد هذه التقنية على تفاعل الضوء مع العينة المراد تحليلها، جزء من الإشعاع يمتص والجزء الأخر ينفذ عبر العينة، أي عندما تمتص مادة ضوء في نطاق الأشعة فوق البنفسجية (200–390 نانومتر) والمرئي (390–800 نانومتر)، فان الطاقة الممتصة تسبب اضطرابات في البيئة الالكترونية للذرات أو الايونات أو الجزيئات، حيث يمتص عدد من الالكترونات هذه الطاقة للقفز من مستوى الطاقة الأساسي إلى مستوى طاقة أعلى، كما تمر حزمة الضوء الناتجة عبر موحد الطول الموجي فتنتج حزمة فوتونات في كل مرة لها طول موجي معين، توجه هذه الحزمة نحو مرآة نصف عاكسة لتقسم حزمة الفوتونات إلى حزمتين واحدة تمر عبر العينة والأخرى تمر عبر مرجع يكون عادة من الزجاج، بعد ذلك توجه الحزمتان نحو الكاشف لمقارنة النتائج ورسمها .[14،15]

لذلك نستخدم جهاز المطياف الضوئي الشكل (III-4) مزدوج الحزمة من نوع UV–1800 الذي يمكننا من رسم منحنيات تغير الامتصاصية وفقا لطول الموجة في المجال فوق البنفسجي والمرئي. [15]

الشكل (III–4): جهاز التحليل الطيفي(UV-Vis)[15]

III.2.5.استخدامات التحليل الطيفي للأشعة فوق البنفسجية–المرئية (UV-Vis):

- ✓ **مجال الصناعة** : صناعة الالكترونية عالية الدقة، الطباعة وبلمرة المركبات الكيميائية [15].
- ✓ **مجالات الصحية** : معالجة وتعقيم وتنقية المياه [16] .
- ✓ **المجال البيئي** : دراسة تلوث الهواء ومراقبة تغيرات طبقة الاوزون [16] .
- ✓ **المجالات البحثية** [16] .

III.6. مطيافية رامان (Raman spectrum) :

مطيافية رامان هي تقنية غير مدمرة لوصف التركيب الجزيئي و الهيكلي للمادة، و يمكنها تحليل مجموعة واسعة من المواد ذات الحجم المجهري بسرعة وجمع عدد كبير من الأطياف عالية الدقة في قياس واحد، حيث ترسل أشعة من 75 ضوء أحادي اللون على العينة لدراسة وتحليل الضوء المتناثر، إذا كان لا يوجد تبادل للطاقة بين العينة والفوتون الساقط ثم يكون الانتشار مرنًا و لا يتم إزاحة الطول الموجي للفوتون المتناثر وهذا ما يسمى تشتت رايلي، أما إذا كان التشتت غير مرن فإن الضوء المتناثر لا يكون له نفس طول الموجة من الضوء المنبعث، لذلك فإن مطيافية رامان هي تقنية تسمح بمراقبة حالات اهتزازات جزيء أو بلورة. [2،17]

III.1.6.مبدأ مطيافية رامان (Raman spectrum):

يعتمد مبدأ مطيافية رمان على التشتت غير المرن لضوء أحادي اللون حسب المادة، يؤدي هذا إلى تغيير في مستوى طاقة الإلكترونات إلى أنماط اهتزاز تحدث أوضاع الاهتزازات المختلفة أي إثارة مادة وانتقالها إلى حالة طاقة عالية، تسمى بالحالة الافتراضية، يستخدم فيها شعاع قوي من الضوء أحادي اللون مثل الليزر، تتحلل العينة ثم يعيد انبعاث الضوء المتناثر و يتم تحليل هذا الأخير بعد أن يكون تم جمعها بواسطة كاشف عند تشتت الضوء، يمكن تقسيمه إلى ثلاث حالات:

- يتشتت الضوء على نفس تردد الضوء الساقط وهو في هذه الحالة نثر مرن أو نثر رايلي .
- يتشتت الضوء بتردد أقل من الضوء الساقط نثر ستوكس رامان غير مرن .
- يتشتت الضوء بتردد أعلى من تردد الضوء الساقط نثر رامان مضاد لستوكس غير مرن .

حيث يوفر معلومات نوعية و بيانات كمية متعلقة بأنماط الاهتزاز والدوران للمواد التي تم تحليلها من أجل مراقبة وتوصيف التركيب الجزيئي وهيكل مادة صلبة، سائل أو غازي . [18،2]

III.6. 2. مجالات استخدام مطيافية رمان (Raman spectrum) :

- ✓ **في مجال الطب:** يستخدم في تشخيص المرضي وقدرة تميز بين أنسجة القولون الطبيعية والسرطاني[18] .
- ✓ **تحليلات الطب الشرعي:** المخدرات، المتفجرات، الدم [18] .
- ✓ **يستخدم في علم الأحياء** [18].
- ✓ **في مجال الصناعة** لتحديد التبلور والتعرف على التعدد الشكلي والسمك الرقائقي [18].

III.7. بعض الأمثلة في تشخيص المحفزات الضوئية النانوية :

III.7.1.الدراسة الاولى :

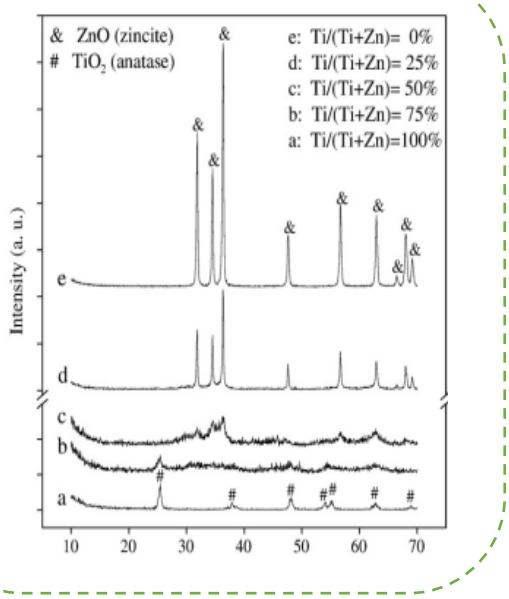
قام الباحث جينتاو تيانو (Jintao Tian) وآخرون سنة 2009 بإجراء بحث بعنوان المحفز الضوئي المركب لفيلم/ ZnO TiO2 النانوي : التحضير، التشخيص، سرعة التفكك الضوئي للميثيل البرتقالي .[19]

تم تحضير الفيلم المركب TiO2 / ZnO nano، باستخدام طريقة سول جال (Sol –gel) في درجة حرارة الغرفة عن طريق الطلاء بالغمس، تم الحصول على TiO2 / ZnO sol.

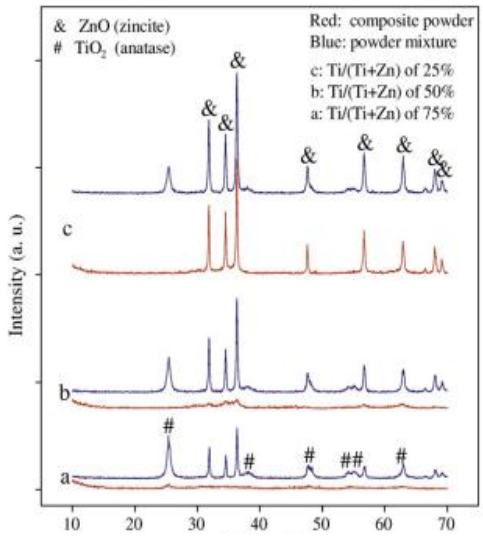
تم توصيف المركب باستخدام طريقة حيود الأشعة السينية XRD، الفحص المجهري الإلكتروني الماسح SEM، فكانت النتائج التجريبية كما يلي:

III.1.1.7.انعراج الأشعة السينية XRD:

- عند استخدام انعراج الأشعة السينيةXRD أظهرت النتائج كما هو موضح الشكل (III-5) ذروة مكثفة، أي عند القياس على مسحوق أسهل وأكثر جدوى من القياس على الفيلم .
- كما تم الحصول على TiO2 anatase بعد المعالجة الحرارية عند 500 درجة مئوية لمدة ساعتين .
- اختلافات كبيرة في شدة الذروة بين المسحوق المركب والمسحوق العادي الشكل (III-6) يوضح ذلك، و هذا يشير مرة أخرى إلى أن سلوك تبلور المسحوق المركب TiO2 / ZnO يبأثر أساسا عند دمج المكون الثاني.



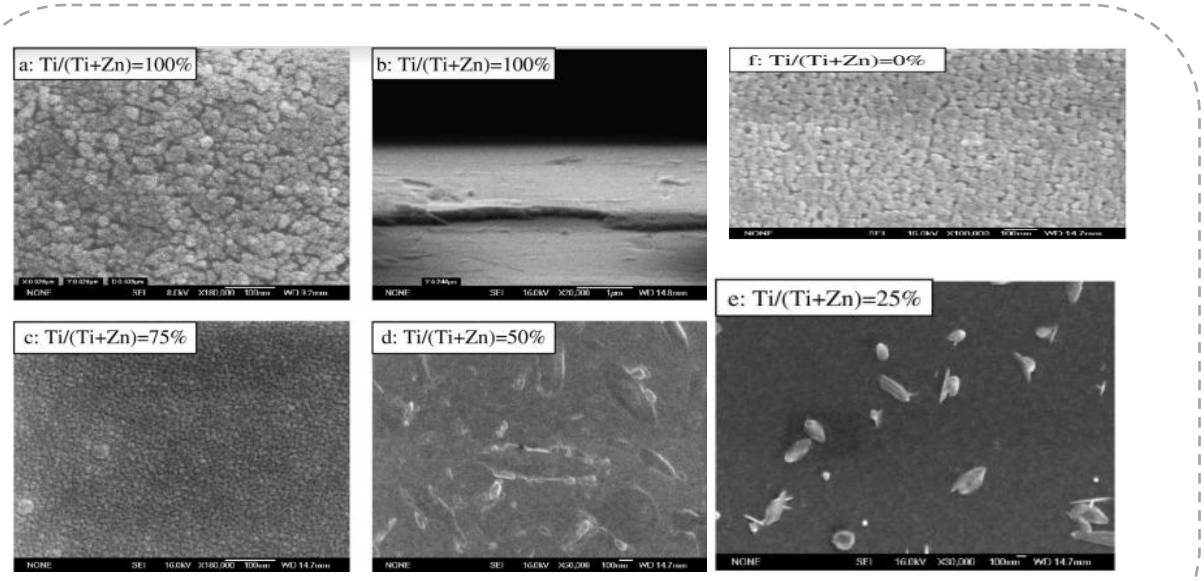
الشكل (III-5): طيف انعراج الأشعة السينية XRDلمسحوق مركب TiO2 / ZnO النانوي.



الشكل (III-6) :دراسة مقارنة XRD بين مسحوق مركب TiO2 / ZnO و TiO2 /خليط مسحوق ZnO

III.7.1.2.نتائج المجهر الالكتروني الماسح (SEM):

تم حدوث تغير في شكل وحجم البنية الدقيقة للغشاء النانوي المركب وتوزيعه بشكل واضح مع تباين (Ti + Zn)/ Ti من الفيلم، وعليه يتكون الفيلم من جسيمات نانوية ذات حجم جسيمي صغير جدا .



الشكل (III-7) : مورفولوجيا SEM للفيلم المركب TiO2 / ZnO نانوي

III.7.1.3.خلاصة:

- من خلال نتائج الدراسة تم التوصل إلى أن كل من المورفولوجيا المجهرية و سلوك التبلور للفيلم مرتبط بتكوين الفيلم .
- تم تحقيق تبلورات جيدة في ZnOfilms، بينما في حالات أخرى لوحظت تبلورات رديئة للأغشية المركبة
- تم التوصل إلى أن TiO2film النقي كان أعلى نشاطا تحفيزيا ضوئيًا، بينما في حالة ZnOfilm النقي كان النشاط ضعيفا .

– تمتلك الأفلام المركبة ZnO / TiO2 نشاطا تحفيزيا ضوئيا معتدلا، مما يعطي بشكل كبير ميلًا خطيًا للقيم k مقابل قيمة Ti / (Ti + Zn).

III.2.7.الدراسة الثانية:

في سنة 2014 قام داناي فينييري (Danae Venieri) وآخرون بإجراء بحث حول TiO2 مشوب بالمعادن تحت الأشعة الشمسية لتنقية المياه المنقولة المسببة للأمراض البكتيرية تم في هذه الدراسة توصيف المحفز الضوئي ودراسة الفعالية المضادة للبكتيريا.

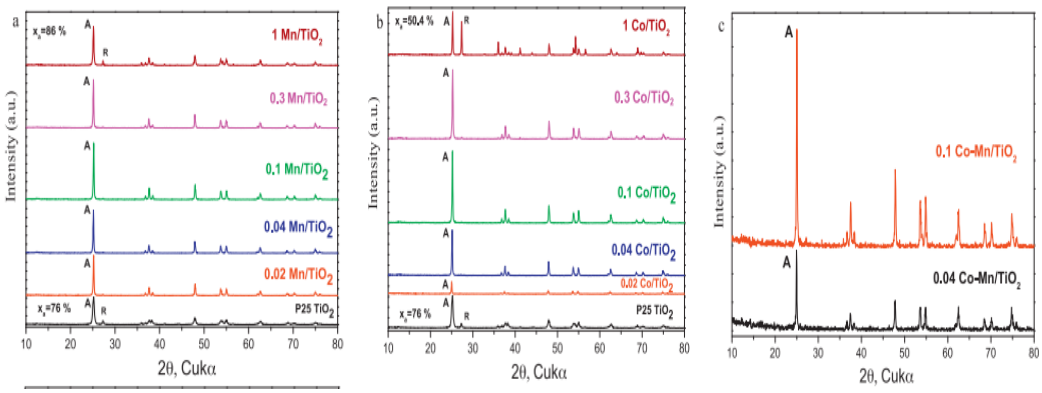
حيث تناولت هذه الدراسة تثبيط الإشريكية القولونية(Escherichia coli) والكلبسيلا الرئوية (Klebsiella pneumoniae) في الماء عن طريق وسائل التحفيز الضوئي غير المتجانسة تحت إشعاع شمسي، تم تحضير محفزات TiO2 المشوب بالمنغنيز المشترك و تم تطوير العملية المباشرة والبسيطة وغير المكلفة على أساس طريقة الترسيب المشترك لتخليق المحفزات المشوبة بالمعادن، فكانت النتائج المتحصل عليها كما يلي: [20]

III.1.2.7.المسح باستخدام المجهر الإلكتروني :

- تحسين زيادة تحميل المحفز معدلات التعطيل لكل من الكائنات الحية الدقيقة.
- تحسن نشاط المحفزات بشكل كبير، كقتل البكتيريا.
- المحفزات المشوبة ب **Mn** و **Co** أظهرت تحفيز ضوئي أفضل من **P25** المتاح تجارياً من حيث تثبيط البكتيريا.
- تأثير نوع المحفز

III.2.2.7. تقنية حيود الأشعة السينية :

- دلت النتائج الموضحة في الشكل (8.III) على الخصائص الهيكلية والبصرية لثاني أكسيد النيتانيوم المشوب بالمعادن النانوية و تأثير نوع المحفز.
- تم الكشف عن TiO2 متعدد الأشكال anatase.
- تعزيز النشاط التحفيزي الشامل في المجال المرئي .
- تأثير تركيز المحفزات .
- تسريع عملية التطهير عند استخدام المحفزات المشوبة بالمعادن .



الشكل (III-8): أنماطXRD لـ TiO2 مخدر المنغنيز و مخدر المشترك المنغنيز وشركاه TiO2

III.3.2.7.خلاصة:

ركزت الدراسة هذه على التطهير الضوئي باستخدام الطاقة الشمسية مع استخدام مواد نانوية جديدة مشوبة بالكوبالت والمنغنيز وسلالات بكتيرية مرجعية من الإشريكية القولونية و الرئوية.

– ساهم نشاط التحفيز الضوئي لثاني أكسيد التيتانيوم تحت الإشعاع الشمسي بشكل كبير في تعطيل البكتيريا .

– أظهرت النتائج تطهير ضوئي جيد باستخدام الطاقة الشمسية مع محفزات مركبة جديدة مشوبة بالكوبالت والمنغنيز وسلالات مرجعية من الإشريكية القولونية و الرئوية .

– كانت جميع المحفزات فعالة في إزالة الكلبسيلا الرئوية، الذي يعتبر من العوامل شديدة المقاومة في معالجات المياه المختلفة .

III.7.3. الدراسة الثالثة :

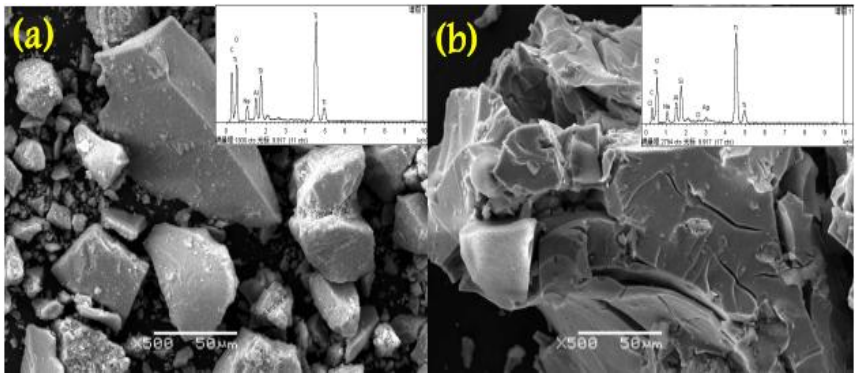
في عام 2016 قام الباحث جيانفنغ قو(Jianfeng Gou) وآخرون بإجراء بحث حول تصنيع مركب Ag2O /TiO2– الزيوليت وأداءه التحفيزي الضوئي المعزز بالضوء الشمسي وآلية تحلل النورفلوكساسين (norfloxacin) [21].

تم تثبيت الزيوليت – أكسيد الفضة المزخرف بثاني أكسيد التيتانيوم، المركب مصنع بطريقة سول جال (sol gel)، و تم دراسة هذه العينة عن طريق المجهر الالكتروني الماسح وحيود الأشعة السينية، فكانت النتائج كما يلي :

III.7.3.1.المجهر الالكتروني الماسح :

يوضح الشكل (9.III) نموذج للعرض العلوي لمركبات TiO2–Zeolite و Ag2O بالمجهر الالكتروني الماسح .

- بينت النتائج توليد الطور غير المتبلور الذي نشأت منه Ti (OH) أثناء عملية التحلل المائي .
- اكتشاف عنصر Ag ، مما يدل على أن أنواع Ag موجودة بالفعل على سطح الزيوليت .

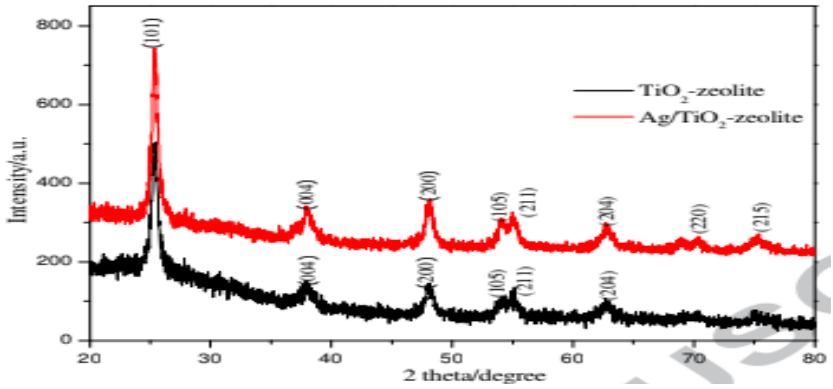


الشكل(9.III): صورة بالمجهر الالكتروني الماسح لـ TiO2-الزيوليت (أ) Ag2O / TiO2 - الزيوليت (ب)المركبات .

3.7.III .2. حيود الأشعة السينة :

تحسين في الهيكل الكامل لبيانات الشكل (10-III) XRD من خلال برنامج Rietveld متعدد الأنماط .

- نستنتج أن الزخرفة بأنواع Ag يمكن أن تزيد من البلورات أحجام TiO2– الزيوليت .
- استنتاج أن عنصر Ag لا يتم حقنه في هيكل TiO2 .
- TiO2–الزيوليت وAg2O / TiO2–الزيوليت المركب يمتلك توزيعًا واسعًا لحجم المسام بمتوسط قطر.



الشكل (10-III): أنماط XRD لمركبات TiO2–Zeolite و Ag2O / TiO2–الزيوليت

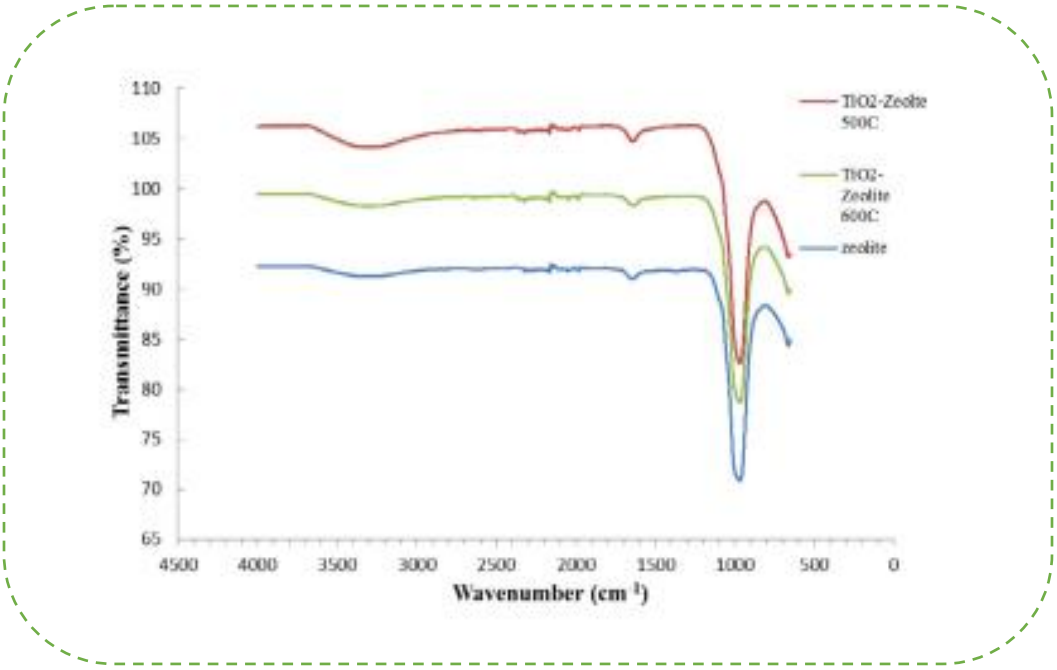
III.7.3.3. خلاصة :

- تشير النتائج إلى أن Ag توجد على شكل أنواع Ag2O، مما يعزز بشكل كبير امتصاص الضوء في المجال المرئي .
- يُظهر مركب TiO2 / Ag2O–الزيوليت ثباتًا عاليًا حتى بعد الاستخدام المتتالي .
- يمكن تطبيق مركب TiO2 / Ag2O–الزيوليت عمليًا بشكل كبير للتخلص من مياه الصرف الصحي وتنقية الهواء الداخل

III.7.4. الدراسة الرابعة:

قام الباحث منغ نان تشونجا (Meng Nan Chonga) وآخرون سنة 2014 بإجراء بحث حول توصيف وتطبيق TiO2– زيوليت المركبات النانوية للمعالجة المتقدمة للصبغة الصناعية مياه الصرف الصحي [22]. من اجل إنتاج شكل وظيفي من ثاني أكسيد التيتانيوم (TiO2) – زيوليت متناهية الصغر عن طريقة – sol gel، تم تمييز المركب بالاستخدام مطيافية الأشعة تحت الحمراء بتحويل فورييه ، فكانت النتائج كما يلي:

- تم ربط عينات المركبات النانوية الزيوليت بامتداد هيدروكسيد الهيدروجين واهتزازات الانحناء لمجموعات(Si – OH) silanol، والتي تكونت بسبب التفاعل بين مجموعات – Si في الزيوليت وجزيئات الماء.
- الاهتزازات في الهياكل الرباعية السطوح SiO4 و AlO4 التي تشكل إطار الزيوليت وعليه يشرح شدة نطاقه .
- أشارت الملاحظة إلى كمية Ti التي تظهر في TiO2يمكن أن تكون المركبات النانوية الزيوليت ضئيلة وقد أثبت مرة أخرى أن طبقة البلورات TiO2 الصغيرة التي يسهل اختراقها محاطة بالسطح دون أي ارتباط في هيكل الزيوليت .



الشكل (11.III): مقارنة أطياف FTIR للزيوليت النقي و TiO2 – الزيوليت النانوي

خلاصة :

- نجحت طريقة sol–gel المعدلة المكونة من خطوتين، تم اعتماده بالكامل لتخليق مركب TiO2–زيوليت متناهي الصغر.
- أظهر تحليل FTIR الذي أجري من Ti الذي يقدم في TiO2–zeolite nanocomposite كان ضئيلاً جدا .
- أثبت أيضًا أن طبقة بلورات TiO2 الصغيرة التي يسهل اختراقها كان محاطًا بالسطح دون أي ارتباط

المراجع III:

[1].د.خماس الساعدي.ع(2021). *تشخيص وتوصيف المواد النانوية* ،دار الأمير، بغداد الطبعة الولى

[5] دقة.ع ، مصباحي.ط (2011). *تحديد بعض الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية* $ONi_{(1-x)}Zn_x$ *المحضرة بطريقة التحلل الكيميائي الحراري* ، رسالة ماجستر العراق ،جامعة بابل .

[16] د.ممدوح برو، د.عصام أبو قاسم(2009). *دراسة إمكان استخدام مقياس الجرعة الهلامي* FXG *في كشف الأشعة فوق البنفسجية*،تقرير عن دراسة علمية مخبرية، جامعة سوريا.

[2]Rosset, A. (2017). *Synthèse et caractérisation de nanoparticules catalytiques pour une application en photocatalyse solaire* (Doctoral dissertation, Perpignan).paga76 75 61

[3]Wu, X., Wei, Z., Zhang, L., Zhang, C., Yang, H., & Jiang, J. (2014). Synthesis and characterization of Fe and Ni co-doped ZnO nanorods synthesized by a hydrothermal method. *Ceramics International*, *40*(9), 14635-14640.

[4]N'Diaye, J. A. (2016). *Synthèse et application du graphène en tant que mousse absorbante de contaminants en milieu aqueux et ainsi qu'électrode pour la détection électrochimique du peroxyde d'hydrogène*. universitè du qubebec a' montrèal

[6] http://dw.com/p/1H1dw(06/05/2022)

[7]Samiha .B.(2016).*determination of the molecular composition and the quartez concentration in the different granular types of ouargla dunes sand using spectroscopic techniques* . thesis doctorate LMD in physics, specialty:spectroscopy of material

[8]B.D.eddine, "*Elaboration et Etude de Nanoparticules Au/TiO2 et Ag/TiO2",*
présenté pour obtenir le Diplôme de Magister en physique, université Mentori, Constantine,2012.

[9]Helali, S. (2012). *Application de la photocatalyse pour la dégradation des polluants chimiques et bactériologiques dans l'eau en utilisant des catalyseurs irradiés par des photons de lumière naturelle ou artificielle (UV-A/UV-B)* (Doctoral dissertation, Université Claude Bernard-Lyon I).

[10]https://sotor.com(2022/05/13)

[11]Bazine, A., &Ferah, M. S. (2017). *Elaboration par sol-gel et caracterisation d'oxyde metallique (type:α-fe2o3) aux propriesphotocatalytiques* (Doctoral dissertation, université Mentori, Constantine,2012 ;pqge 55 56

[12]M.paquton, J Ruste(2006*), Microscopie électronique à balayage*. Techniques de l'ingénieur, P 865U2

[13]Taleb, I. (2013). *Apport de la spectroscopie vibrationnelle, infrarouge et Raman, appliquée au sérum pour le diagnostic de carcinome hépatocellulaire chez les patients atteints de cirrhose* (Doctoral dissertation, Reims).page (37-41)

[14]Frank A. Settle, Prentice Hall, (1997) "*Handbook Of Instrumental Techniques For Analyticalchemistry* ", U.S.A,.

[15] Meyer-Arendt, J. R., & Appelt, H. (1976). Microscopic color schlieren system using a wedge-type interference filter. *Applied Optics*, *15*(9), 2017-2017.

[17]Adjimi, S. (2012). *Contribution à l'élaboration d'un papier photocatalytique. Application à la réduction des* [*COVs* (Doctoral dissertation, Université de Grenoble).

[18] Preud'homme, S. (2021*). Influence de l'origine des gorgones du genre Eunicella (Verril, 1869) sur la production de métabolites secondaires pharmacologiquement actifs*..

[19] Tian, J., Chen, L., Yin, Y., Wang, X., Dai, J., Zhu, Z., ... & Wu, P. (2009). *Photocatalyst of TiO2/ZnOnano composite film: preparation, characterization, and photodegradation activity of methyl orange*. *Surface and Coatings Technology*, *204*(1-2), 205-214.

[20]Venieri, D., Fraggedaki, A., Kostadima, M., Chatzisymeon, E., Binas, V., Zachopoulos, A.,&Mantzavinos, D. (2014). *Solar light and metal-doped TiO2 to eliminate water-transmitted bacterialpathogens: Photocatalyst characterization and disinfection performance*. *AppliedCatalysisB:Environmental*, *154*, 93-101

[21] Gou, J., Ma, Q., Deng, X., Cui, Y., Zhang, H., Cheng, X., ... & Cheng, Q. (2017). Fabrication of Ag2O/TiO2-Zeolite composite and its enhanced solar light photocatalytic performance and mechanism for degradation of norfloxacin. *Chemical Engineering Journal*, *308*, 818-826.

[22] Chong, M. N., Tneu, Z. Y., Poh, P. E., Jin, B., & Aryal, R. (2015*). Synthesis, characterisation and application of TiO2–zeolite nanocomposites for the advanced treatment of industrial dye wastewater*. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, *50*, 288-296.

خلاصة عامة :

يهدف هذا البحث إلى دراسة طرق تشخيص المحفزات الضوئية النانوية، حيث تم تحليل ومناقشة بعض الدراسات السابقة فكانت النتائج كما يلي:

- من خلال الدراسات السابقة تبين أن طرق التشخيص مهمة جدا لمعرفة خصائص المحفزات الضوئية للحصول على أفضل النتائج عند استعمال العديد من التقنيات المتداولة.
- أهمية هذه الطرق في معرفة خصائص وتركيبة المواد التي نعتمدها للحصول على أفضل محفز ضوئي بالطرق التشخيصية التي استعملها الباحثون .
- التعرف على الخصائص الهيكلية والحجمية التي تساعد في اختيار المحفز المناسب .
- زيادة في كفاءة المحفز الضوئي وكذلك تحسين كبير في نشاطه.
- في نهاية هذا العمل يبقى الأمل قائما في استمرار عملية البحث العلمي الفعال لتشخيص المحفزات الضوئية النانوية لما له من خصائص عديدة وتطبيقات متنوعة، وذلك بغية زيادة وتسريع عمل إزالة الملوثات بنسبة كبيرة .

ملخص:

هذا العمل هو دراسة نظرية حول طرق تشخيص المحفزات الضوئية النانوية، من خلال نتائج الدراسات السابقة المتعلقة بهذه التقنيات، بينت أنه هناك عدة طرق حديثة منها تقنية المجهر الالكتروني الماسح (SEM) لدراسة أسطح المادة ونوعية وكمية المواد الكيميائية ، ومطيافية ما تحت الحمراء بتحويل فورييه (FTIR) لتحديد طبيعة الارتباط، أما الأشعة السينية (XDR)تعمل على دراسة الخصائص الهيكلية والبلورية وتركيب المواد، ومطيافية الأشعة فوق البنفسجية– المرئية(UV-Vis) ومطيافية رمان من بين هذه الطرق .

الكلمات المفتاحية : تشخيص المحفزات الضوئية، المحفزات الضوئية النانوية، DRX، FTRI.

Résumé:

Ce travail est une étude théorique sur les méthodes de la caractérisation des nanophotocatalyseurs. A travers les résultats des études précédentes liées à ces techniques, il a été montré qu'il existe plusieurs méthodes modernes tel que spectroscopie UV –Vis , Raman pour identifier les liaisons et la structure de photocatalyseur . La technique de microscopie électronique à balayage (MEB) pour étudier les surfaces du matériaux , la qualité et la quantité des produits chimiques, la spectroscopie infrarouge par la transformation de Fourier (FTIR) pour identifier les groupes fonctionnels chimiques d'une substance. La diffraction des rayons X (DRX) permet d'identifier les composés cristallisés présents dans un matériau ansi que leurs formes cristallographique .

Mots clès : caractérisation des nanophotocatalyseurs, nanophotocatalyseurs, DRX,FTRI

Summary:

This work is a theoretical study of different photocatalyst characterization techniques. Through the results of the previous study related to these techniques, it was shown that there are several modern methods, such as UV-Vis spectroscopy, Raman to identify the bonds and structure of nanophotocatalysts. The scanning electron microscopy technique(SEM) to study the surfaces of the material, the quality and quantity of chemical products, Fourier transform infrared spectroscopy (FTRI) to identify the chemical functional groups of a substance , X-ray Diffraction spectroscopy(XRD) allows identity of the crystalline compounds present in a material as well as their crystallographic forms

Key words : photocatalyst characterization techniques, nanophotocatalysts, XRD , FTIR