



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
جامعة قاصدي مرباح ورقلة



كلية الرياضيات وعلوم المادة

قسم الفيزياء

مذكرة محاضرة لنيل شهادة الماستر ل.م.د

تخصص: فيزياء الأرصاد الجوية

إعداد: بن ساسي جويده

عبايدي نادية

## تشخيص طبقة التروبوسفير باستخدام تقنية الليدار (LIDAR)

نوقشت يوم: 2018/ 06/ 06

أمام لجنة المناقشة المكونة من:

رئيسا	جامعة قاصدي مرباح ورقلة	أستاذ محاضر (أ)	د. معريف يسين
مناقشا	جامعة قاصدي مرباح ورقلة	أستاذ مساعد (أ)	ناقص محمد الطاهر
مشرفا	جامعة قاصدي مرباح ورقلة	أستاذ محاضر (أ)	د. بن مبروك لزهر

السنة الجامعية 2017-2018



## الإهداء

إلى **أبي** الذي لم يبخل علي يوماً بشيء و إلى **أمي** التي زودتني بالحنان و المحبة  
أقول لهما: أنتما وهبتماني الحياة و الأمل و النشأة على شغف الاطلاع و المعرفة  
إلى من كانوا يضيئون لي الطريق و يساندوني و يتنازلون عن حقوقهم لإرضائي

إخواني: **محمد ياسين، طارق و محمد الأحسن، و أخواتي: دليلة، سعاد و شيماء،** زوج أختي **لمين**

و زوج إبنتها **سحنون** و زوجتنا أخوي **عائشة و أمينة**

إلى القلوب الطاهرة و النفوس البريئة

**رافع، عائشة، بسملة، خديجة، تسنيم، بوبكر، محمد عبد الله**

إلى أساتذتي، زملائي و زميلاتي خاصة **نادية**

إلى كل عائلة **بن ساسي و حجاج**

إلى كل من أضاء بعلمه عقل غيره أو هدى بالجواب الصحيح حيرة سائله

فأظهر بسماحته تواضع العلماء و برحابته سماحة العارفين

# جريدة





## الإهداء

إذا كان الإهداء يعبر و لو بجزء من الوفاء فالإهداء إلى معلم البشرية و منبع العلم نبينا محمد صلى الله عليه وسلم إلى من جرع الكأس فارغا ليستقي قطرة حب إلى من كلت أنامله ليستقينا لحظة سعادة إلى من عمل بكد في سبيلي و علمني معنى الكفاح إلى من دفعني إلى العلم و بيه أزداد افتخارا **والدي العزيز** إلى من رتني و أنارت دربي إلى معنى الحب و بسمه الحياة إلى من كان دعائها سر نجاحي إلى أعلى الجباب **أمي الحبيبة** إلى من هم أقرب إلى روحي و بيهم أستمد عزتي و إصراري إلى زينة الحياة و شموع الدرب إخوتي و أخواتي الأعزاء من كبيرهم إلى صغيرهم:

**أسماء ،سميرة ،محمد العيد ،فخر الدين ، نسرین ولخضر**

إلى جدتي **الحبيبة كلثوم** إلى رمز انتمائي كل أقاربي الأعزاء

إلى رفيق درب حياتي إلى صاحبة القلب الطيب و النوايا الصادقة إلى من رافقتني منذ أن حملنا حقائب صغيرة و معك سرت الدرب خطوة بخطوة ولا تزال ترافقيني حتى الآن صديقاتي كل منهما باسمها

إلى من ساندتني في هذا العمل بكل كد و جهد و إخلاص صديقتي **جويدة**

إلى كل من ساعدني بغية إتمام هذا العمل : **بن ساسي شيماء**

إلى كل الأحبة و الأصدقاء التي جمعتنا بيهم الحياة الجامعية و العلمية في جميع التخصصات

إلى كل الأساتذة الذين رافقوني طيلة مشواري الدراسي من الابتدائي إلى الجامعة

إلى هؤلاء جميعا أهدي ثمرة مجهودي هذا .

و الله ولي التوفيق

# نادية





## شكر و تقدير

” كن عالما.. فإن لم تستطع فكن متعلما، فإن لم تستطع فأحب العلماء، فإن لم تستطع فلا تبغضهم“

بعد رحلة بحث و جهد و اجتهاد تكلفت بإنجاز هذه المذكرة، نحمد الله عز و جل على نعمه التي من بها علينا فهو العلي القدير، كما لا يسعنا إلا أن نخص بأسمى عبارات الشكر و التقدير للدكتور المشرف

"**بن مبروك زهر**" لما قدمه لنا من جهد و نصح و معرفة طيلة إنجاز هذه المذكرة.

أتوجه بالشكر الجزيل إلى الدكتور **معريف يسين** على قبوله رئاسة لجنة المناقشة.

كما أشكر الدكتور **ناقص محمد الطاهر** على قبوله المشاركة في لجنة المناقشة.

كما أشكر مؤسسة الأرصاد الجوية ورقلة خاصة السيد **طالب عبد المجيد** والسيد **هبال بلخير**

و قبل و بعد فالشكر لله و لله الحمد في الأول و الأخير



الصفحة	الفهرس
i	الإهداء
iii	شكر و تقدير
iv	الفهرس
viii	قائمة الأشكال
x	قائمة الجداول
xi	قائمة الرموز
1	المقدمة العامة
<b>الباب الأول: الدراسة النظرية</b>	
<b>الفصل الأول- الغلاف الجوي و طبقة التروبوسفير</b>	
6	I - 1 مقدمة
7	I - 2 تعريف الغلاف الجوي
8	I - 3 تركيب الغلاف الجوي
10	I - 4 طبقات الغلاف الجوي
11	I - 4 - 1 طبقة التروبوسفير
14	I - 4 - 2 طبقة الستراتوسفير
15	I - 4 - 3 طبقة الميزوسفير
15	I - 4 - 4 طبقة الثيرموسفير
17	I - 5 أهمية الغلاف الجوي
18	I - 6 تلوث الغلاف الجوي
19	I - 6 - 1 معنى تلوث الغلاف الجوي
19	I - 6 - 2 مصادر تلوث الغلاف الجوي
19	I - 6 - 2 - 1 مصادر طبيعية
21	I - 6 - 2 - 2 مصادر غير طبيعية
22	I - 6 - 3 أضرار تلوث الغلاف الجوي
23	I - 6 - 4 الحد من تلوث الغلاف الجوي
<b>الفصل الثاني: الإستشعار عن بعد، الليزر و الأطياف الذرية</b>	

26	II - 1 مقدمة
27	II - 1 - 1 نبذة تاريخية عن الإستشعار عن بعد
28	II - 1 - 2 تعريف الإستشعار عن بعد
29	II - 1 - 3 مكونات الإستشعار عن بعد
31	II - 1 - 4 أنواع الإستشعار عن بعد
32	II - 1 - 5 تقنيات الإستشعار عن بعد
34	II - 1 - 6 آلية الإستشعار
41	II - 2 الليزر
42	II - 2 - 1 تعريفه
43	II - 2 - 2 مبدأ عمل الليزر
44	II - 2 - 4 خصائص الليزر
44	II - 2 - 4 - 1 أحادي اللون Monochromatic
44	II - 2 - 4 - 2 توازي الحزمة الضوئية Collimation أو الاتجاهية Directionality
45	II - 2 - 4 - 3 الترابط Coherence
45	II - 2 - 4 - 4 الشدة الضوئية Light Intensity
46	II - 2 - 5 شروط الإنبعاث الليزري
46	II - 2 - 5 - 1 توفر الإنبعاث الإستحثاثي Stimulated Emission
47	II - 2 - 5 - 2 التعداد المعكوس Population Inversion
47	II - 2 - 5 - 3 التكبير الضوئي Light Amplification
48	II - 2 - 6 مكونات جهاز الليزر
48	II - 2 - 6 - 1 الوسط الفعال
48	II - 2 - 6 - 2 المرنان (المرآتان)
49	II - 2 - 6 - 3 الضخ
49	II - 2 - 7 أنواع الليزر
49	II - 2 - 7 - 1 ليزر الحالة الصلبة
50	II - 2 - 7 - 2 ليزر الغاز
50	II - 2 - 7 - 3 ليزر السائل

50	8- 2 - II استخدامات الليزر
50	9- 2 - II مميزات الليزر
51	3 - II الأطياف الذرية
51	1- 3 - II مقدمة
51	2- 3 - II تعريف الأطياف
52	3- 3 - II أنواع الأطياف
52	1 - 3 - 3 - II طيف الإصدار
52	1 - 1 - 3 - 3 - II الطيف المستمر
52	2 - 1 - 3 - 3 - II الطيف المتقطع
53	2 - 3 - 3 - II طيف الإمتصاص
53	4- 3 - II التعريضات و أشكال الخطوط
54	1 - 4 - 3 - II دراسة بعض أسباب تعريضات الخطوط الطيفية
54	1 - 1 - 4 - 3 - II التعريض الطبيعي
55	2 - 1 - 4 - 3 - II تعريض دوبلر
57	3 - 1 - 4 - 3 - II تعريض التصادمات
57	1 - 3 - 1 - 4 - 3 - II التعريض بالرنين
57	2 - 3 - 1 - 4 - 3 - II تعريض فاندرفالز
57	3 - 3 - 1 - 4 - 3 - II تعريض ستارك
58	5 - 3 - II الطرق المستعملة لتحليل الأطياف
58	1 - 5 - 3 - II شدة الخطوط الطيفية
58	1 - 1 - 5 - 3 - II شدة الخطوط الطيفية الذرية
59	2 - 1 - 5 - 3 - II شدة الخطوط الطيفية الجزيئية

## الباب الثاني: الدراسة التجريبية

### الفصل الثالث: تقنية الليدار و التحليل الطيفي لعينة من الهواء

62	1 - III مقدمة
62	2 - III تقنية الليدار LIDAR
62	1 - 2 - III تعريف الليدار LIDAR

63	III - 2 - 2 مبدأ عمل الليدار LIDAR
64	III - 2 - 3 أنواع الليدار LIDAR
64	III - 2 - 3 - 1 ليدار تباين امتصاص الضوء (تفاضلي)
65	III - 2 - 3 - 2 ليدار دوبلر
65	III - 2 - 3 - 3 تبعثر مي (Mie)
66	III - 2 - 3 - 4 ليدار رامان
67	III - 2 - 4 مميزات تقنية الليدار LIDAR
67	III - 3 شرح التجربة
69	III - 3 - 1 دراسة الأطياف التحريبية
70	III - 3 - 2 رسم الأطياف النظرية للغازات
72	III - 3 - 3 دراسة و مناقشة الإشارة الناتجة
74	III - 3 - 4 الخلاصة
75	الخاتمة العامة
77	المراجع

الصفحة	قائمة الأشكال
الفصل الأول	
7	الشكل (I - 1) : الغلاف الجوي
9	الشكل (I - 2) : النسبة المئوية للغازات في الغلاف الجوي
11	الشكل (I - 3) : طبقات الغلاف الجوي
14	الشكل (I - 4) : طبقة التروبوسفير
17	الشكل (I - 5) : تغير درجة الحرارة في طبقات الغلاف الجوي بتغير الارتفاع
22	الشكل (I - 6) : مصدر تلوث الغلاف الجوي
الفصل الثاني	
31	الشكل (II - 1) : مكونات الإستشعار عن بعد
32	الشكل (II - 2) : أنواع الإستشعار عن بعد
35	الشكل (II - 3) : الإشعاع الكهرومغناطيسي
35	الشكل (II - 4) : طول الموجة في الإشعاع الكهرومغناطيسي
37	الشكل (II - 5) : المجال الكهرومغناطيسي
38	الشكل (II - 6) : نطاق الأشعة فوق البنفسجية
38	الشكل (II - 7) : نطاق الضوء المرئي
39	الشكل (II - 8) : مركبات الضوء المرئي
40	الشكل (II - 9) : نطاق الأشعة تحت الحمراء
41	الشكل (II - 10) : نطاق أشعة الميكروويف
42	الشكل (II - 11) : الليزر
42	الشكل (II - 12) : مكونات ليزر الياقوت
43	الشكل (II - 13) : مبدأ عمل الليزر
44	الشكل (II - 14) : تحليل ضوء الليزر باستخدام موشور
45	الشكل (II - 15) : الترابط
46	الشكل (II - 16) : عملية الانبعاث التلقائي و الانبعاث الاستحثاثي
46	الشكل (II - 17) : انتقال الإلكترون من E1 إلى E2
47	الشكل (II - 18) : انتقال الإلكترون من E2 إلى E1

47	الشكل (II – 19) : التعداد المعكوس
48	الشكل (II – 20) : ليزر الياقوت
49	الشكل (II – 21) : رسم تخطيطي لجهاز الليزر
52	الشكل (II – 22) : يوضّح طيف الإصدار (الانبعاث)
53	الشكل (II – 23) : يوضّح طيف الامتصاص
الفصل الثالث	
63	الشكل (III – 1) : الليدار
68	الشكل (III – 2) : التركيب التجريبي لتحليل عينة من الهواء
68	الشكل (III – 3) : الطيف التجريبي في المجال (680-920)(nm)
70	الشكل (III – 4) : مخطط العمل
71	الشكل (III – 5) : طيف الامتصاص لعنصر الأكسجين في المجال (704-686)(nm)
71	الشكل (III – 6) : طيف الامتصاص لعنصر الماء في المجال (740-680)(nm)
73	الشكل (III – 7) : جزء من الطيف التجريبي في المجال (680-740) (nm)
73	الشكل (III – 8) : تداخل طيفي الامتصاص لعنصري الأكسجين والماء في المجال (740-680)(nm)
74	الشكل (III – 9) : جزء من الطيف التجريبي في المجال (680-740) (nm) بعد المقارنة بالأطياف النظرية

الصفحة	قائمة الجداول
	الفصل الأول
8	الجدول (1 - I) : تركيب الغلاف الجوي
	الفصل الثالث
72	الجدول (1 - III) : تطابق المجالات النظرية للغازات

الرمز	مألوله
$\theta_0$	التردد المركزي
$\omega_0$	التواتر المتعلق بالمصدر
$\Psi_j(r, t)$	دالة الموجة التي تصف حالة الذرة عند الحالة المثارة $j$
$\gamma$	يمثل معدل الانبعاث
$E_j$	طاقة الذرة عند الإصدار في الحالة $j$
$\omega_0$	التواتر الطبيعي للمشح
$C$	سرعة الضوء في الفراغ
$m$	كتلة ذرات المصدر
$K$	ثابت بولتزمان
$I(\omega)$	توزيع غوصيان لتواتر $\omega$
$A_{if}$	احتمال انتقال (معامل أينشتاين)
$\nu_{if}$	نبض هذا التحوّل (تردد)
$N_i$	عدد الذرات المثارة في وحدة حجم
$h$	ثابت بلانك
$B(T)$	دالة التوزيع
$I_{if}$	الشدة ويعبّر عنها بـ $(W/m^3)$
$N(n', v', j')$	كثافة المرسل $(m^{-3})$
$A_{n'', v'', j''}^{n', v', j'}$	احتمالية الانتقال $(s^{-1})$
$\nu_{n'', v'', j''}^{n', v', j'}$	عدد الموجي للانتقال من $(n', v', j')$ إلى $(n'', v'', j'')$ بـ $(Cm^{-1})$
$I_{n'', v'', j''}^{n', v', j'}$	الشدة ويعبّر عنها بـ $(W/m^3)$
$\alpha(\lambda)$	معامل الامتصاص
$I, I_0$	شدة الاشعاع الساقط قبل وبعد عبوره للمادة بالترتيب
$\mu$	معامل الامتصاص
$\rho$	الكتلة الحجمية للمادة
$x$	المسافة المقطوعة للمادة

## المقدمة العامة

## المقدمة العامة

يقول الله تعالى: ﴿وَجَعَلْنَا السَّمَاءَ سَقْفًا مَّحْفُوظًا وَهُمْ عَنْ آيَاتِهَا مُعْرَضُونَ﴾ [الأنبياء: 32]

يتبين لنا من هذه الآية أنها تتحدث عن سماء تحفظ الأرض، و تقيها شر الأخطار، و هذا الغلاف الذي سماه القرآن (السماء) هو درع قوي يحفظ الأرض و يحافظ على استمرار الحياة عليها.

إن الغلاف الجوي يعتبر عاملاً أساسياً و مهماً جداً في نشأة الحياة على الأرض، و هو عبارة عن هالة رقيقة متكونة من غازات و هي: الأزوت (Ne 78%) ، الأكسجين (O<sub>2</sub> 21%)، الأرجون (Ar 0,39%)، و ثاني أكسيد الكربون (CO<sub>2</sub> 0,33%) و غازات أخرى بنسب ضئيلة، تحيط بالأرض و تحميها و تسبب الحياة فيها. فالغلاف ينقسم إلى عدة طبقات تم الكشف عنها بالاستشعار عن بعد لدراسة خواصها الفيزيائية و الكيميائية [3,1].

فعملنا هذا يهدف لتشخيص الطبقة الأولى من طبقات الغلاف الجوي و هي طبقة التروبوسفير لتحديد نسبة تواجد بعض العناصر (كالأكسجين و الأزوت و بخار الماء)، فهناك عدة طرق لتشخيصها و لقد اخترنا طريقة الليدر (LIDAR) و التي يتم تطبيقها باستخدام أشعة الليزر لدراسة الأطياف، حيث قسمت هذه المذكرة إلى مقدمة عامة و باين لتنتهي بخاتمة عامة.

حيث يعالج الباب الأول الدراسة النظرية و الذي يشمل فصلين: الفصل الأول نتعرف على الغلاف الجوي وتركيبته و طبقاته و أهميته و تلوثه كما أننا سنتعمق نوعاً ما في تشخيص طبقة التروبوسفير.

أما الفصل الثاني سنتحدث عن الاستشعار عن بعد (نبذة تاريخية عنه، تعريفه، مكوناته، أنواعه، وتقنياته وآليته، الأشعة الكهرومغناطيسية) كما سنتطرق إلى الليزر (تعريفه، تصميمه، مبدأ عمله، خصائصه، شروط انبعاثه، مكوناته و أنواعه) و نتطرق إلى الأطياف الذرية (تعريفها، أنواعها، تعريضاتها و أشكال خطوطها و الطرق المستعملة لتحليلها).

بينما يعالج الباب الثاني الدراسة التجريبية و الذي يشمل الفصل الثالث فهو الجزء التطبيقي في المذكرة، حيث سنتعرف على تقنية LIDAR نظرا لأهميتها، و نقوم فيه بشرح التجربة و هي تحليل عينة من الهواء (الأكسجين، الآزوت و بخار الماء) باستخدام طريقة الليدر (LIDAR) و مقارنة الأطياف التجريبية الناتجة من الأطياف النظرية بواسطة برنامج عددي بلغة الفورترن.

الباب الأول

الدراسة النظرية

## الفصل الأول

الغلاف الجوي و طبقة التروبوسفير

## I - 1 مقدمة

يعتقد الكثير من الناس أن الغلاف الجوي ليس سوى طبقة الهواء التي نسبح فيها و التي تتكون فيها أنواع الغيوم المختلفة وهي طبقة لا يتجاوز ارتفاعها 10 كلم فوق سطح الأرض. و تتناقص فيها كمية الهواء كلما زاد الارتفاع ولعل الكثيرون منا لا يعلمون أن من يتسلقون جبال الهمالايا يحملون معهم أسطوانات الهواء المضغوط ،لأن كميات الهواء هناك تنقص كثيرا عما هي عليه بقرب سطح الأرض فيصبح التنفس صعبا ،إن منبع هذا الاعتقاد الذي أشرنا إليه في البداية فهو عدم معرفتهم بوجود طبقات غلاف جوي أخرى على ارتفاعات أكبر أو عدم الاهتمام بمعرفتها بالنظر لأنها لا تؤثر مباشرة على الحياة الإنسانية على الأرض وقد بدأ بعض الناس يعرفون وجود هذه الطبقات بالنظر لتأثيرها على استقبال موجات الراديو في بعض الأحيان [1].

باختصار الغلاف الجوي ليس طبقة الهواء القريبة فحسب إنه غلاف كبير وعمال درسه العلماء مباشرة في مناطقه وبطريقة غير مباشرة عن طريق أجهزة أرضية وأجهزة فضائية. يرسلونها مع الأقمار الصناعية والمراكب الفضائية عند ارتياد الفضاء [1].

## I - 2 تعريف الغلاف الجوي

هو طبقة أو هالة شفافة تحيط بالكرة الأرضية بما فيها من يابس وماء وإحاطة تامة ويعرف أحيانا بالغلّاف الغازي أو الهوائي، لأنه يضم الهواء الذي يحوي مختلف أنواع الغازات وتمتد من سطح الأرض إلى ارتفاع غير محدد بدقة والغلّاف الغازي (الجوي) الأتموسفير مصطلح مأخوذ من كلمتين يونانيتين هما Atmos وتعني هواء و Sphere وتعني كرة أو غلاف ويرجح أن الغلاف الجوي تكوّن أثناء تكوّن الأرض، إلا أن مكوناته قد تعرضت للتغيير عدة مرات خلال الأزمنة الجيولوجية وكانت هذه المكونات في البداية غير صالحة للحياة. وبعد تكوّن غاز الأكسجين وغاز الأوزون وغيره من الغازات أصبحت الحياة ممكنة، حيث يتكوّن هذا الغلاف من عدد كبير من الغازات الغير مرئية وتنجذب هذه الغازات نحو الكرة الأرضية بفعل الجاذبية الأرضية. فلولا هذه الجاذبية لتشتتت هذه الغازات في الفضاء وتخلخت نسبة الغازات الضرورية لحياة الكائنات الحية وأصبحت الحياة على الأرض مستحيلة وتقدر كتلة الغلاف الجوي ب  $56 \times 10^{14}$  طن وذلك ناتج عن الضغط الذي تولده جزيئات الهواء، لذلك تتركز معظم الكتلة في أول 30 كلم بالقرب من سطح الأرض نتيجة الضغط الواقع عليها من الطبقات العليا

[3-1].



الشكل (I - 1): الغلاف الجوي [1]

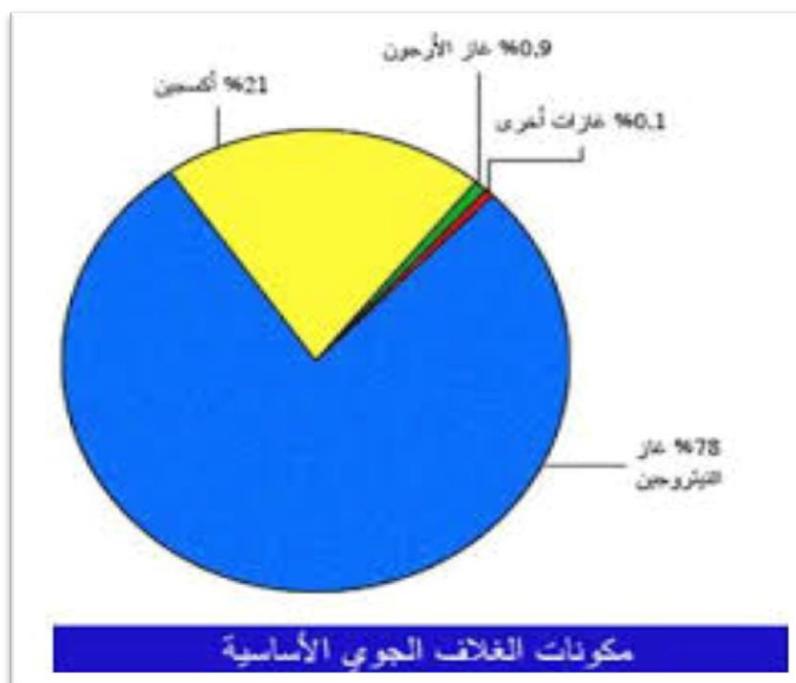
## I - 3 تركيب الغلاف الجوي

إذا جمعت عينات من الهواء الجوي الجاف الموجود في الغلاف الغازي المضطرب (بدون بخار ماء وملوثات)،

ثم حللت هذه العينات فإن نتيجة التحليل مقاسة بالنسبة المئوية الحجمية هي [2،3]:

الجدول (I - 1) : تركيب الغلاف الجوي

مكونات الهواء	الرمز	حجمًا %
نيتروجين	N <sub>2</sub>	78.07
أكسجين	O <sub>2</sub>	20.9
آرغون	Ar	0.934
ثاني أكسيد الكربون	CO <sub>2</sub>	0.03
نيون	Ne	0.00182
هيليوم	He	0.00052
ميثان	CH <sub>4</sub>	0.00015
كريبتون	Kr	0.00011
هيدروجين	H <sub>2</sub>	0.00005
أكسيد النيتروجين	N <sub>2</sub> O	0.00005
زينون	Xe	0.000009



الشكل (I - 2): النسبة المئوية للغازات في الغلاف الجوي [2,3]

والنسب السابقة التي يتركب منها الهواء ثابتة في كل مكان عند سطح الأرض، وذلك باستثناء ثاني أكسيد الكربون الذي يتغير تغيرا طفيفا على حسب توفر مصادره وأهمها عمليات الاحتراق والتلوث في المناطق الصناعية والمدن المزدحمة، أو طبقا لزيادة استخلاصه من الجو أو عدم استخلاصه حسب الفترات الزمنية على مدار السنة حيث تزيد نسبته في الجو في فصلي الخريف والشتاء مع توقف نمو النباتات، وتقل نسبته في الجو في فصلي الربيع والصيف مع ازدهار عملية النمو. وينطبق هذا أيضا على عنصر الأوزون، وهو شكل من الأشكال التي يتحول إليها الأكسجين، إذ تتغير نسبته تغيرا طفيفا مع تغير الأحوال الجوية، حيث ترتفع نوعا ما في الجو المضطرب عنها في الجو الساكن، كما تقل نسبته مع تزايد الملوثات الهوائية كما هو واقع الآن [2,3].

وعلى وجه العموم، يتغير تركيب الهواء تدريجيا. كلما زاد الارتفاع. حيث تتناقص نسب العناصر الغازية الثقيلة وهي النتروجين والأكسجين وثاني أكسيد الكربون أثقل من الغازات وزنا، بينما تتزايد نسب عناصره الخفيفة مثل

الهيدروجين والهيليوم والنيون ، وإن كانت لا تلبث هي الأخرى أن تتناقص في القطاعات العليا حتى تختفي تقريبا على ارتفاع يتراوح بين 300 إلى 500 كلم ، وهو أعلى ارتفاع للغلاف الغازي، كما يقدر أن حوالي 50 % من الوزن الكلي للغازات التي يتألف منها الغلاف الغازي تتجمع في الجزء الأسفل حتى ارتفاع ستة كيلو مترات، وأن حوالي 25% من هذا الوزن يوجد في الستة كيلو مترات والنصف التي تعلو ذلك مباشرة [2,3].

وإن كان الغلاف الجوي يتركب أساسا من العناصر الغازية السابقة، فإنه يحتوي في مكوناته نسب متباينة من الهباء وبخار الماء، وهي مواد عالية تنفاوت كمياتها ومعدلاتها من مكان إلى آخر، ومن وقت لآخر على حسب توافر مصادرها، ومع تزايد الارتفاع تتناقص نسب هذه المواد خصوصا الهباء. ويمتلك كل من بخار الماء و الهباء أهمية مناخية خاصة، فبخار الماء هو مصدر كل مظاهر التكاثف، من سحب وبرد وضباب وندى وصقيع وثلج وأمطار، وتختلف نسب هذه المظاهر حسب توافر مصادر بخار الماء وأهمها المسطحات المائية التي تساعد على زيادة نسبة الرطوبة ( بخار الماء ) نتيجة ما يتبخر من مياهها ويضاف إلى الهواء [2,3].

بينما يتكون الهباء من كل الجزيئات و الحبيبات الصلبة و السائلة التي يحملها الهواء، وأهمها جزيئات الأتربة والرمال الناعمة والأملاح، وحبوب اللقاح المتطايرة من الأشجار و جزيئات النباتات الجافة والرماد والغبار المنطلق من فوهات البراكين، هذا إلى جانب الغبار الكوني المتخلف عن احتراق كل من الشهب والنيازك [2,3].

ويمثل الغبار أهم الملوثات الطبيعية للهواء، كما أنه هو مصدر النويات التي يتكاثف عليها بخار الماء في الهواء، كما وأنه يساعد الهواء على امتصاص الحرارة من أشعة الشمس أثناء النهار وعلى سرعة فقدانها بالإشعاع أثناء الليل. ويشترك مع بخار الماء في إحداث بعض الظواهر الضوئية المعروفة مثل الشفق الذي يظهر عادة عند غروب الشمس وأحيانا عند شروقها [2,3].

## I - 4 طبقات الغلاف الجوي

يتكون الغلاف الجوي من أربعة طبقات رئيسية و هي [3-4]:



الشكل (I-3): طبقات الغلاف الجوي

#### I-4-1 طبقة التروبوسفير

إن كلمة تروبو سفير هي تسمية يونانية، فالتروبو تعني متغير وسفير تعني الكرة، فطبقة التروبوسفير هي الطبقة السفلى من الغلاف الجوي والملاصقة لسطح الأرض. تعتبر هذه الطبقة من أهم طبقات الغلاف الجوي الأرضي بالنسبة لجميع أنواع الحياة على سطح الأرض. حيث يبلغ متوسط ارتفاع هذه الطبقة حوالي 11 كلم، بالرغم من قلة سمك طبقة التروبوسفير مقارنة بسمك الغلاف الجوي فإن حوالي 75% من كتلة ومادة الغلاف الجوي الأرضي توجد في هذه الطبقة حيث يختلف سمك هذه الطبقة بين خط الاستواء والأقطاب وذلك بسبب الاختلاف في درجات الحرارة في هذه المنطقتين، وتتميز هذه الطبقة بالآتي [3-4]:

- تعتبر طبقة التروبوسفير الطبقة الفعالة في تغيرات المناخ، حيث يطلق عليها الطبقة المناخية لأنه يحدث بها جميع الظواهر الجوية كالضباب والغيوم والأمطار والعواصف الرعدية والعواصف الرملية وكذلك حدوث تقلبات المناخ

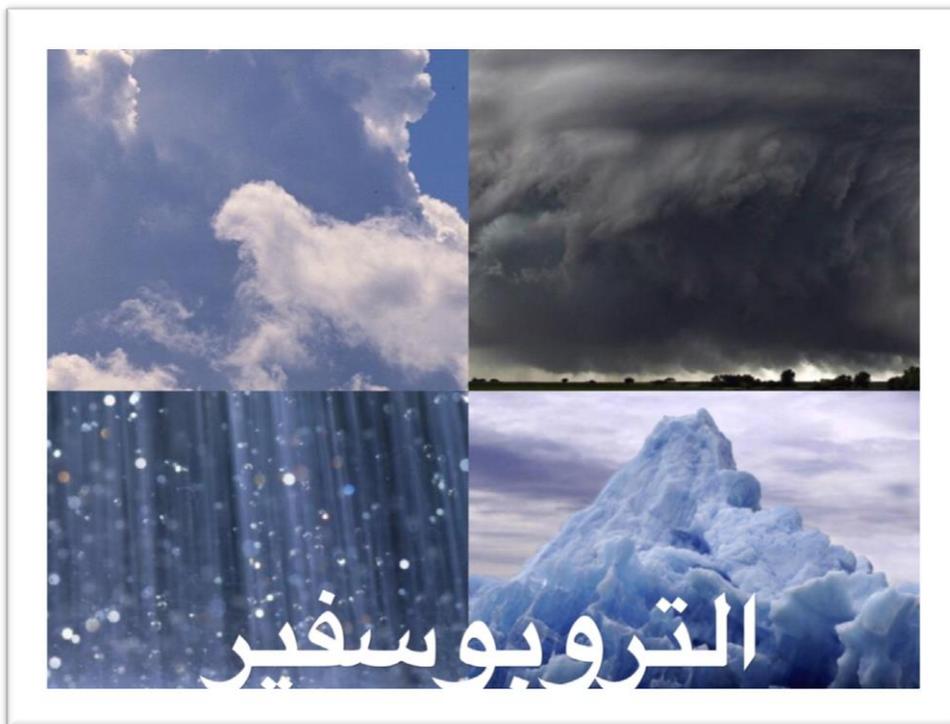
والطقس وما يتبع ذلك من رطوبة وحرارة وضغط، تحوي طبقة التروبوسفير أيضا على معظم بخار الماء الموجود في الغلاف الجوي لذلك تعتبر هذه الطبقة من اهم طبقات الغلاف الجوي بالنسبة لعلماء الأرصاد الجوية meteorology وعلماء المناخ climatologic يبلغ متوسط درجة حرارة سطح الأرض في اسفل هذه الطبقة حوالي 15 درجة مئوية تتميز طبقة التروبوسفير بانخفاض في درجة الحرارة مع الارتفاع بمعدل 6 درجات مئوية لكل كيلومتر حيث يقل معدل التناقص هذا على ارتفاع 15 كلم على ان يتوقف هذا التناقص تماما على ارتفاع حوالي 20 كلم والتي هي الحد الفاصل بين طبقة التروبوسفير والطبقة التي تليها طبقة الستراتوسفير، يعرف هذا الفاصل بطبقة التروبوبوز (التروبو تعني تغير، بوز تعني الاستقرار، أي طبقة وقف التغيرات) كما تعرف طبقة التروبوسفير والتروبوبوز لدى العلماء بالغلاف الجوي السفلي [4-3].

- كلما زاد البعد في هذه الطبقة عن سطح الأرض قلت درجات الحرارة، لذلك تنخفض درجات الحرارة بشكل ملحوظ في القمم الجبلية العالية [4-3].

- تنتهي طبقة التروبوسفير عند ثبات درجة الحرارة مع الارتفاع ( منطقة التوقف)، ثم تبدأ درجات الحرارة بالارتفاع ، وهنا تبدأ طبقة الستراتوسفير، وبسبب هذا الارتفاع في الحرارة يجبس الهواء في الطبقة السفلى من الغلاف الجوي ولا يتجاوزه [4-3].

- تحتوي على النسبة الأكبر من جزيئات بخار الماء المتواجدة في طبقات الغلاف الجوي، مما يعني أنها صاحبة الدور الأبرز والأكثر تأثير في تنظيم درجة الحرارة على سطح كوكب الأرض و جعلها دائما في النطاق الآمن بالنسبة للكائنات الحية، فمن المعلوم أن بخار الماء يعمل على امتصاص نسبة كبيرة من الإشعاع الأرضي فيساعد بذلك على الحفاظ على معدلات درجات الحرارة، أو ما يعرف علميا بما يسمى تنظيم عملية فقدان الحراري من الأرض، بجانب أن له تأثير في الحرارة المحسوسة أو Sensible والتي يقصد بها الحرارة التي يستشعرها الجسم البشري [4-3].

- كل طبقة من طبقات الغلاف الجوي لها من الخصائص ما يميزها ويكسبها أهميتها، ولكننا لن نبالغ إذ قلنا بأن طبقة التروبوسفير هي سر استمرار الحياة على سطح الأرض، دليل على ذلك، هو أنها من بين جميع الطبقات الأخرى تحتوي على النسبة الأكبر من الغازات الهامة اللازمة لحياة الإنسان والكائنات الحية المختلفة، وعلى رأسها بالتأكيد غاز الأكسجين وكذا غاز النيتروجين .
- قد تكون حماية الأرض من أشعة الشمس الضارة ليست ميزة تنفرد بها طبقة التروبوسفير دون غيرها من طبقات الغلاف الجوي الأخرى لكن لا يمكن أن نغفل دورها كمعزز لدور الطبقات الأخرى في حماية الأرض حيث تعمل هذه الطبقات معا على منع الأشعة الضارة وخاصة الأشعة فوق البنفسجية من النفاذ إلى الأرض والتي ثبت علميا تأثيرها السلبي على حياة البشر وأنها من مسببات مرض السرطان وخاصة سرطان الجلد، بجانب هذا فإن طبقة التروبوسفير تلعب دور مماثل في حماية الأرض من سقوط النيازك والشهب المشتعلة إليها من الفضاء الخارجي.
- طبقة التروبوسفير هي طبقة الغلاف الجوي الأقرب على سطح كوكب الأرض، وتركيب هذه الطبقة يُمكنها من التحكم في الضوء المنبعث من الشمس، أثبتت الدراسات العلمية أن التروبوسفير تمنع تركيز أشعة الشمس على بقعة واحدة من الأرض، فهي تقوم بتشتيت أشعة الشمس مما يمنع تسليطها بشكل مركز مع منطقة محدودة وبالتالي تساعد على نشر ضياء الشمس على مساحات شاسعة، كما أكد العلماء أنه إذا حدث عكس ذلك وتركزت أشعة الشمس على نطاق محدود من الأرض لتسببت في تدميره، وجدير بالذكر أن في ضل سباق التسليح الذي يشهده العالم حاليا بعد تعدد أسباب الحروب وانتشارها يحاول بعض العلماء إلى تطوير سلاح يعمل على تركيز ضوء الشمس على جزء موقع معين بهدف تدميره وهذا خير دليل على أن طبقة التروبوسفير تعمل كحائط صد يجب عنا ذلك الدمار ولولاها لا تحولت الأرض إلى كتلة مشتعلة[3-4].



الشكل (I - 4): طبقة التروبوسفير [4-3]

### I - 4 - 2 طبقة الستراتوسفير

هي الطبقة الثانية من طبقات الغلاف الجوي، فهي تبدأ من نهاية طبقة التروبوسفير، وتمتد حتى 50 كم،

وحدها السفلي يكون اقل ارتفاعا في القطبين عن منطقة خط الاستواء، ومن مميزات هذه الطبقة [4-3]:

- حركة الهواء في طبقة الستراتوسفير حركة أفقية (رياح أفقية).
- تحتوي على طبقة الأوزون المشهورة، حيث تحتوي هذه الطبقة على كميات كبيرة من غاز الأوزون.
- ترتفع درجات الحرارة في هذه الطبقة بسبب امتصاص الأوزون لأشعة الشمس فوق البنفسجية حيث تقترب الحرارة من الصفر المئوية.

- إن كثافة الهواء في هذه الطبقة منخفضة مما يؤدي لزيادة كبيرة وملحوظة في درجات الحرارة بمجرد حدوث امتصاص ولو طفيف لأشعة الشمس.
- تعدّ طبقة الستراتوسفير مستقرّة نسبياً ولا يتواجد فيها غيوم، عكس طبقة التروبوسفير، لذلك تكون مناسبة جداً للملاحة الجوية ذات المسافات البعيدة.

### I - 4 - 3 طبقة الميزوسفير

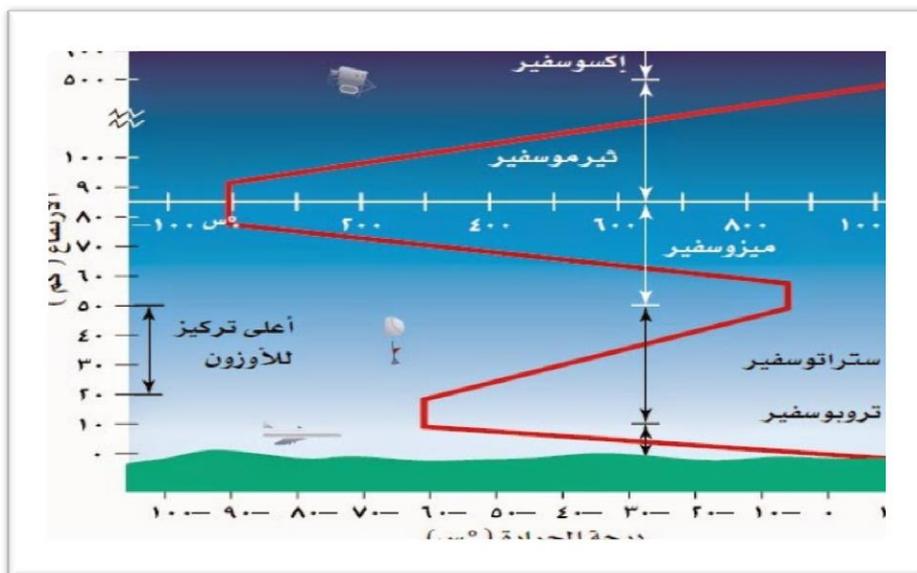
- الطبقة الثالثة هي طبقة الميزوسفير أو الطبقة المتوسطة والتي تبدأ من نهاية الستراتوسفير في منطقة التوقف وحتى بداية التيرموسفير في منطقة التوقف أيضاً، أي إنّها تبدأ من 50 كلم و حتى 80 كلم من سطح الأرض، ومن مميّزاتها [4-3]:

- تعدّ من أبرد أقاليم الغلاف الجوي، حيث تقلّ فيها الحرارة عن طبقة الستراتوسفير بنحو 100°م، فدرجات الحرارة فيها تقل كلما زاد الارتفاع عن سطح الأرض، وتعدّ الحرارة فيها منخفضة أكثر من القطب المتجمد الجنوبي.
- من شدّة برودتها تكوّن سحباً ثلجية داخلها، تظهر بعد غروب الشمس على شكل غيوم مضيئة نتيجة انعكاس أشعة الشمس عليها، وتسمّى الغيوم الليلية المضيئة، وتظهر أشكالاً جميلة في السماء.
- تحترق فيها النيازك التي تحاول دخول الغلاف الجوي، وتظهر عند احتراقها على شكل شهب.

### I - 4 - 4 طبقة التيرموسفير

- طبقة التيرموسفير أو طبقة الغلاف الحراري هي آخر طبقات الغلاف الجوي، وتعدّ غلafa خارجياً خاصا يغطي كوكب الأرض، وهي تعلو طبقة الميزوسفير، وتفصل الطبقتان عن بعضهما طبقة تسمى "الميزوبوز"، ويميّز هذه الطبقة الآتي [4-3]:

- تبدأ حرارة هذه الطبقة بالارتفاع تدريجياً وتصل إلى  $1000^{\circ}\text{C}$ ، لأن الجزيئات الموجودة في هذه الطبقة تمتص حرارة استثنائية من الشمس مباشرة.
- تحول الطاقة القوية القادمة من الشمس الجزيئات و الذرات إلى أيونات، وذلك بعد تحطيمها.
- الشعور الفعلي للحرارة في هذه الطبقة لا يكون مرتفعاً، فقد يشعر الإنسان على سبيل المثال بالبرودة فيها لو كان هناك، رغم أنّ حرارتها عالية، والسبب يعود لقلة الجزيئات و الذرات الموجودة في الطبقة، بالتالي لا يكون هناك وسط ناقل للحرارة إلى الجسم.
- تنقسم هذه الطبقة إلى طبقتين مختلفتين يعتبران جزءاً من التيرموسفير، وهما:
  - طبقة الأيونوسفير:** تمتد من 80 كلم حتى 550 كلم، وهي طبقة من الأيونات الناتجة من طاقة الأشعة فوق البنفسجية للشمس.
  - طبقة الإكسوسفير:** تمتد لمسافة 10 آلاف كلم، حتى ينتهي الغلاف الجوي ويتحد بالفضاء الخارجي.
- تحدث ظاهرة الشفق القطبي بطبقة الأيونوسفير، وهي ظاهرة ذات أضواء خلابة من الأحمر و الأخضر بالقرب من القطبين، وتنتج بسبب اصطدام الرياح الشمسية بالأيونات في هذه الطبقة.
- يعود الفضل لطبقة الأيونوسفير إلى ارتداد موجات الراديو على الأرض، مما يجعل التواصل على الراديو لمساحات كبيرة على الأرض.
- تدور الأقمار الاصطناعية في طبقة الإكسوسفير ذات الكثافة قليلة جداً، وتحتوي هذه الطبقة على غازات الهيدروجين و الهيليوم بكثافة قليلة جداً، وتستمر هذه الذرات بالهروب إلى الفضاء الخارجي.



الشكل (I-5): تغير درجة الحرارة في طبقات الغلاف الجوي بتغير الارتفاع [4]

### I-5 أهمية الغلاف الجوي: نذكر منها ما يلي [3]:

- يزود الكائنات الحية الموجودة على سطح الكرة الأرضية بالهواء اللازم للتنفس من أجل البقاء على قيد الحياة، أنه يحتوي على العديد من المكونات الأساسية اللازمة للحياة كالأكسجين والنيتروجين وثاني أكسيد الكربون بالإضافة إلى غازات ومركبات كيميائية أخرى تدخل في معظم أنشطة الإنسان سواء بطريقة مباشرة أو غير مباشرة.
- يسمح بمرور الأشعة الضوئية والحرارية الصادرة من الشمس، بحيث تعمل الأرض على امتصاصها، مما يوفر لها الحماية و الدفء .
- يمنع وصول الأشعة فوق البنفسجية الضارة إلى سطح الأرض.

- يساعد على توزيع درجة الحرارة على سطح الأرض، حيث إنه ينظم وصول أشعة الشمس، كما أنه يمنع تسرب كل الإشعاع الأرضي إلى الفضاء الخارجي، فلولا وجود الغلاف الجوي لتجاوز المدى اليومي لدرجة الحرارة على سطح الأرض حوالي 200 درجة مئوية.
- يعمل بمثابة الدرع الواقي الذي يحمي سطح الأرض من وصول الشهب التي تحترق في أعلى الغلاف الجوي لتصل إلى الأرض على شكل نيازك صغيرة.
- يشكل واسطة اتصال بين الأرض و الفضاء الخارجي، كما أن الطائرات تستخدمه للتنقل من مكان لآخر بالإضافة إلى أنه يشكل وسطا لانتقال الأمواج فلولا وجوده لساد هدوء مخيف على سطح الأرض.
- تساهم حركة الغلاف الجوي في حدوث الكثير من الظواهر الطبيعية مثل تكوّن السحب والغيوم و حدوث الأمطار، و تجانس مكونات الهواء وهبوب الرياح، كما أنه يساهم في حفظ كوكب الأرض من التغيرات الكبيرة و المفاجئة التي قد تحدث نتيجة ارتفاع درجات الحرارة.
- يعطي السماء اللون الأزرق الجميل أثناء النهار و الذي ينعكس على المسطحات المائية التي تظهر باللون الأزرق أيضا.

## 6-I تلوث الغلاف الجوي

ماذا لو زال الغلاف الجوي عن الأرض وزالت كل فوائده، هذا سيعني انعدام الحياة على كوكبنا ولكن هذا احتمال وارد إذا استمر تلوث الغلاف الجوي.

ولم يدرك الإنسان مقدار خطره على تغيير مكونات غازات الغلاف الجوي إلا منذ ظهور النهضة الصناعية في الدول الأوروبية والولايات المتحدة الأمريكية. ومنذ ذلك الحين تميزت مدنها الصناعية بكثرة تعرضها للضباب

الأسود القاتل، وزيادة تلوث هوائها بالغبار والدخان وغازات ثاني أكسيد الكربون وأول أكسيد الكبريت الناتجة عن النشاط الصناعي فيها[5]:

### I - 6 - 1 معنى تلوث الغلاف الجوي

يعني وجود شوائب غازية أو جسيمات أو طاقة أو عناصر مشعة في الهواء جراء الأنشطة الطبيعية أو البشرية وبكميات كبيرة ولمدة طويلة تكفي للإضرار بالبيئة وتشكل خطراً على حياة الإنسان والحيوان والنبات. أو يعرف على أنه مجموعة التغيرات التي تحدث في طبقات الغلاف الجوي بسبب وجود مواد صلبة، أو سائلة أو غازية بنسب كبيرة جدا سببتها مجموعة من العوامل الطبيعية، والبشرية، مما يلحق ضرراً كبيراً في الكائنات الحية التي تعيش على سطح الأرض[5].

### I - 6 - 2 مصادر تلوث الغلاف الجوي

تشير مصادر تلوث الهواء إلى المواقع والأنشطة والعوامل المختلفة المسؤولة عن تسرب المواد الملوثة إلى الغلاف الجوي. ويمكن تصنيف هذه المصادر إلى نوعين رئيسيين: المصادر الطبيعية والمصادر غير الطبيعية[5].

#### I - 6 - 2 - 1 مصادر طبيعية

وتتمثل فيما يلي:

**الغبار والأترية:** يعتبر الغبار والأترية من أكثر الملوثات شيوعاً، وهي المسؤولة الأولى عن وجود جسيمات في الهواء علماً أن مصدر هذا الغبار يكون من البناء ، ومن قيادات السيارات على الطرق غير المعبدة أو المعبدة ، أو بسبب تساقط الأترية عن النيازك والشهب نحو طبقات الجو السطحية[5].

- **الحرائق:** تعتبر الحرائق مصدرا أساسيا لمعظم الملوثات، سواء كانت هذه الحرائق طبيعية نتيجة الارتفاع الشديد في درجة الحرارة، أم بسبب الممارسات الخاطئة في الزراعة، الأمر الذي يؤثر على توازن النظام البيئي، حيث تساهم هذه الحرائق في تدمير الحياة البرية، كما تزيد من حدوث تلوث الهواء.
- **الزراعة:** تؤدي الزراعة إلى دخول مركبات عضوية متطايرة في الغلاف الجوي، ومن هذه المركبات الغبار الناتج عن المخلفات الحيوانية، وعن استعمال الأسمدة، والمبيدات الحشرية الضارة، إضافة إلى حبوب اللقاح المسؤولة عن تكاثر النبات، الأمر الذي يؤدي إلى تلوث الهواء، والتأثير على تركيبته الطبيعية.
- **البراكين:** وذلك بتصاعد العديد من الغازات من البراكين المضطربة، مثل غازات ثاني أكسيد الكبريت و كلوريد الهيدروجين، و فلوريد الهيدروجين.
- **السحب الرعدية:** وذلك بسبب التفريغ الكهربائي لهذه السحب، إذ ينتج عنه تصاعد لأكاسيد النيتروجين في الهواء.
- **الغاز الطبيعي:** يؤدي انتزاع الغاز الطبيعي من باطن الأرض إلى تصاعد كبريتيد الهيدروجين في الهواء، وبالتالي تلوثه.
- **الرياح والعواصف:** تؤدي العواصف، والرياح، والمنخفضات الجوية إلى انتشار الأملاح في الهواء وبالتالي تلوثه.
- **غاز الأوزون:** ويعتبر هذا الغاز طبيعيا، ويتخلق في الهواء الجوي بشكل ضوئي، ويسبب تلوثا في الهواء.
- **البكتيريا والفطريات والميكروبات:** حيث تنتشر هذه الكائنات في الهواء، مهما اختلف مصدر تواجدتها، سواء كانت من التربة، أم من تعفن الطيور والحيوانات الميتة.
- **المواد ذات النشاط الإشعاعي:** وهي المواد الموجودة في صخور القشرة الأرضية، أو الناتجة من تأين بعض الغازات نتيجة الأشعة الكونية.

## I - 6 - 2 - 2 مصادر غير طبيعية

وتتمثل فيما يلي [5]:

- **انبعاثات السيارات:** تؤدي السيارات إلى انبعاث المركبات العضوية، والرصاص، وأول أكسيد الكربون، وأكاسيد النيتروجين في الهواء، الأمر الذي يضر بالبيئة نتيجة تلوث الهواء فيها.
- **إحتراق الوقود الأحفوري:** يؤدي احتراق الوقود إلى بعث عنصر ثاني أكسيد الكبريت في الهواء، مما يؤدي إلى حدوث ظاهرة الأمطار الحمضية، والضباب الدخاني، وانبعاث غازات الاحتباس الحراري .
- **الصناعة:** تؤدي الصناعات إلى انبعاث الرصاص، والمركبات العضوية، وأكاسيد النيتروجين في الهواء، حيث تنتج هذه الانبعاثات من العمليات الصناعية، مثل إنتاج الغاز والنفط، والتعدين وصناعة الإسمنت، والصناعات الكيماوية، ومصافي النفط .
- **استخدام المذيبات:** يؤدي استخدام المذيبات من أجل عمليات إزالة الشحوم، و التنظيف الجاف، وطلاء الأسطح إلى تواجد بعض المركبات العضوية في الهواء، الأمر الذي يؤدي إلى تلوثه.
- **محطات البنزين وغاز البوتان في المنازل:** يؤدي استعمال البنزين إلى بعث جسيمات ومركبات عضوية في الهواء، فيؤثر على جودته ويؤدي إلى تلوثه.
- **النشاط الإشعاعي:** حصول نشاط إشعاعي واحد كفيل بتلويث الهواء، وإحداث كوارث صحية.



الشكل (I - 6): مصدر تلوث الغلاف الجوي [5]

### I - 6 - 3 أضرار تلوث الغلاف الجوي

إن تلوث الغلاف الجوي يترتب عنه أضرار كثيرة نذكر منها [5]:

- نزول الأمطار الحامضية، والتي تسبب خطراً على كافة الكائنات الحية على الأرض.
- اتساع ثقب طبقة الأوزون، وبالتالي وصول أشعة الشمس الضارة على الأرض.
- ارتفاع فرص الإصابة بالأورام الخبيثة، و لاسيما سرطان الجلد.
- الإصابة بمشاكل في العيون، من أهمها الماء البيضاء، وخاصة عند كبار السن.
- التأثير السلبي على الجهاز التنفسي، وتعرض الإنسان لنزلة الشعب التنفسية.
- تسريع ظهور علامات التقدم في السن، والتي تظهر بشكل أساسي على البشرة.
- الإصابة بأمراض القلب و الشرايين.
- انخفاض مناعة الجسم، حيث سيصبح أكثر عرضة للإصابة بالأمراض المختلفة.
- إتلاف المحاصيل الزراعية، والتأثير السلبي على الغطاء الأخضر.

- التأثير على الثروة الحيوانية و الكائنات البحرية بشكل سلبي.
- حدوث تغيرات في المناخ وعدم استقرار الحالة الجوية .
- زيادة فرص حدوث تصادمات بين الطائرات في الجو.
- إتلاف المباني ومواد البناء و المعادن.

### I - 6 - 4 الحد من تلوث الغلاف الجوي

نتبع ما يلي [5]:

- العمل على صيانة المركبات بين الفترة والأخرى من أجل التأكد من سلامة وصحة المداخن وعدم قيامها بنفث أي دخان ضار يؤثر على الهواء ، بالإضافة إلى تشجيع استعمال السيارات الكهربائية التي تعتبر صديقة للبيئة.
- وضع التشريعات و القوانين التي تحتوي على عقوبات تعمل على ردع الأشخاص الذين يعملون على تلويث الهواء من خلال المركبات أو المصانع.
- إلزام المعامل و المصانع بضرورة وضع المصافي على كافة مداخنها من أجل منع خروج الملوثات نحو الهواء الخارجي، ومن أجل العمل على استعمال التقنيات الحديثة للحد و التقليل من تلوث الهواء كالمرسبات الدوّارة التي تعمل على تخفيض معدل انبعاث المواد الصلبة داخل الهواء الجوي، وتقنية غرف الترسيب ،بالإضافة إلى أنه من الممكن كذلك تحويله إلى عدّة أشكال تكون أقل ضرراً ويمكن الاستفادة منها.
- القيام بزراعة الأشجار في عدّة مناطق من أجل إنتاج الأوكسجين والتقليل من ثاني أكسيد الكربون الموجود في الهواء، حيث تعمل الأشجار والنباتات من خلال عملية البناء الضوئي على أخذ ثاني أكسيد الكربون من الهواء وإنتاج الأوكسجين الهام والضروري من أجل عملية التنفس التي تقوم بها كافة الكائنات الحية على سطح الأرض.

- توعية المواطنين بضرورة الحفاظ على الغلاف الجوي الذي يعد أكثر الأغلفة المحيطة بسطح الأرض أهمية ، وكذلك إطلاعهم على مدى خطورة تلوث الغلاف الجوي.
- مراقبة استخدام المواد المضرّة بطبقة الأوزون، والتخلص من النفايات بطرق صحيحة ومنع دفنها و حرقها ( إعادة تدويرها).
- التقليل من استخدام المبيدات الحشرية، و تطوير استخدام مصادر الطاقة النظيفة، مثل الطاقة الشمسية، وطاقة الرياح وغيرها.

## الفصل الثاني

الإستشعار عن بعد، الليزر و الأطياف الذرية

## II - 1 مقدمة

من المعروف لدينا أن تطور أي بلد يعتمد على جمع و حصر المعلومات الخاصة بالمواد الطبيعية و الصناعية و الاقتصادية و غيرها. و ذلك لاستخدامها في التخطيط المستقبلي أو لإيجاد الحلول للمشكلات المرتبطة بهذا البلد. وقد تعددت طرق و مصادر جمع المعلومات. ومن هذه الطرق: الطرق التقليدية، مثل الأعمال الميدانية و الإحصاءات و غيرها. إلا أن التوسع في الحاجة إلى البيانات المكانية، سواء من حيث الحجم المساحي أو دقة التفاصيل، جعلت المصادر التقليدية غير كافية أو غير عملية من ناحية سرعة الحصول على المعلومة أو دقتها. فدعت الحاجة لابتكار طرق جديدة لجمع المعلومات، ومن هذه الطرق جمع المعلومات أو البيانات عن هدف دون الوصول إليه أو ملامسته وذلك ما يعرف اليوم بعلم الاستشعار عن بعد (Remote Sensing). الذي كان يعرف سابقا بمصطلح تحليل ودراسة الصور الجوية (Aerial Photo Interpretation). وكان يقصد بذلك الصور الفوتوغرافية التي تؤخذ بواسطة الطائرات أو المناطيد أو غيرها باستخدام الأفلام التقليدية. و في عام 1960 م ظهر لفظ الاستشعار عن بعد لأول مرة، فقد أصبحت هناك مناظر أو مرئيات تؤخذ من بعد ولكنها تختلف في طريقة تشكيلها واستخراجها عن الصور الفوتوغرافية، وان كانت لا تختلف عنها من حيث المظهر، وأصبح لفظ الصور الجوية يعني الصور المأخوذة بواسطة الطائرات أو المناطيد، التي تستخدم طرق التصوير التقليدية في النطاق المرئي من الأشعة الكهرومغناطيسية.

أما الاستشعار عن بعد فهو أعم واشمل حيث يقصد به كل طرق الاستشعار عن بعد بما في ذلك الصور الجوية

والمناظر الفضائية [6].

## II - 1-1 نبذة تاريخية عن الإستشعار عن بعد

علم الاستشعار عن بعد مثل العلوم الأخرى مر بمراحل تطور إلى يومنا هذا، وما زال يتطور و تزداد أهميته مع زيادة إمكانياته و سهولة الحصول على المعلومات من مخرجاته.

حيث انطلق علم الاستشعار عن بعد من اختراع آلة التصوير عام 1839م، و لكن أخذت أول صورة من الجو عام 1858م، على ارتفاع 80 متر لقرية فرنسية. ثم أخذت صورة لمدينة بوسطن عام 1860م من منطاد على ارتفاع 360 متر. وبعدها أخذت صورة لأغراض الأحوال الجوية من طائرة ورقية عام 1882م. ثم جاء اختراع الأخوين (رايت) الطائرة عام 1903 م، الذي ساهم بدوره في تطور طرق التصوير، ثم أخذت صورة عام 1909 م لمدينة ايطالية. و في عام 1915 م تم تصنيع جهاز تصوير خاص بالطائرات قام بتصميمه ضابط في السلاح الجوي البريطاني. و لكن تفسير الصور الجوية بدأ بمعناه الحقيقي خلال الحرب العالمية الأولى. وقد ساعد ذلك على ظهور أجهزة الرؤية المجسمة عام 1915م. واستخدمت الصور الجوية عام 1920 م في عمليات التنقيب عن النفط. ثم ساعد تطور علم العدسات عام 1934 م على الحصول على صور جوية بمقاييس صغيرة. و استمر استخدام الصور الجوية في عمليات الحصر وإنتاج الخرائط الشاملة و خرائط المناطق. إلى أن استخدمت الصور الجوية في عمليات التجسس في الحرب العالمية الثانية، وذلك لتحديد الأهداف العسكرية و تقدير الخسائر و حصرها [6].

وعندما دخلت الولايات المتحدة الأمريكية الحرب العالمية الثانية لم تكن لديها أي خبرة في تفسير الصور الجوية، فتم إنشاء مدرسة تحليل الصور الجوية التابعة لسلاح البحرية الأمريكية عام 1942 م، التي خرجت الآلاف من المحللين و المتخصصين في هذا المجال بعد نهاية الحرب. ثم توالى المعاهد و الانتشار الأكاديمي حتى بلغ عدد المعاهد و الجامعات التي تدرس موضوع التصوير الجوي عام 1946 م حوالي 13 مركزا أكاديميا في الولايات المتحدة الأمريكية [6].

أما استخدام الصور الجوية في المناطق العربية فكان من خلال الحرب العالمية الأولى بواسطة الغرب و ذلك بتصوير مناطق السويس و بعض مناطق مصر. و بعد الاحتلال الإسرائيلي في المنطقة و اكتشاف النفط ظهر التصوير الجوي في المنطقة مرة أخرى، و لكن كان معظمها مقتصرًا على الأغراض العسكرية و العمليات الاقتصادية[6].

و مع بداية عصر الفضاء و الاتصالات بالأقمار الصناعية حيث أطلقت الولايات المتحدة الأمريكية صاروخا عام 1946 م لغرض الاستكشافات الفضائية على ارتفاع 120 كلم، و في عام 1957 م أطلق الاتحاد السوفيتي القمر الصناعي الأول. وبعدها أطلقت أمريكا أول أقمارها الصناعية في عام 1958 م. وتوالى الانجازات حتى تم في عام 1965 م إطلاق المركبة المأهولة (جيمي 3)، ثم استمر التصوير الفضائي في سلسلة رحلات (أبولو) التي بدأت عام 1968 م و انتهت عام 1972 م، و في منتصف عام 1972 م وضع القمر الصناعي الأمريكي (ERTS-1) الذي يعرف الان باسم لاندسات 1 (Landsat -1) في مداره حول الأرض، وتبع برنامجي (أبولو و جيمي) برنامج العمل الفضائي الذي استمر ثمانية أشهر ما بين 1973 م و 1974 م تم من خلالها إرسال ثلاث رحلات مأهولة، و من أهم المجالات التي استفادت من تجارب العمل الفضائي: الزراعة، الغابات، الجغرافيا، دراسة البحار و المحيطات، التلوث، استخدام الأراضي، الطقس و المناخ[6].

## II - 1 - 2- تعريف الإستشعار عن بعد

الإستشعار عن بعد هو علم وفن، يهدف إلى الحصول على معلومات عن جسم أو منطقة أو ظاهرة من خلال تحليل معطيات يتم اكتسابها بجهاز استشعار لا يلمس ذلك الجسم أو الظاهرة المدروسة. فقراءتك لهذه الكلمات هي في الواقع إستشعار عن بعد، إذًا إن عيونك تقوم بدور مستشعرات تتحسس بالضوء المنعكس في هذه الصفحة، و المعطيات التي تحصل عليها إنما هي نبضات تتناسب مع كمية الضوء المنعكس من الصفحة، ويقوم

حاسوبك العقلي بتحليل هذه المعطيات و تفسيرها لتعرف أنها مجموعة حروف وكلمات، و بعد ذلك تستطيع التعرف على الجمل و من ثم المعلومات التي تتضمنها الجمل[6].

و الاستشعار عن بعد يشبه عملية القراءة، ففي عملية القراءة العين البشرية تتحسس الضوء المرئي المنعكس من الأجسام، أما في عملية الاستشعار عن بعد فهناك أجهزة تستشعر الطاقة المنعكسة من الأجسام، و لكن ليست هذه الطاقة فقط في المجال المرئي فهناك مستشعرات مختلفة تتحسس أنواعا كثيرة من هذه الأشعة المنعكسة من الأجسام، فالضوء المنعكس من الأجسام هو عبارة عن طاقة كهرومغناطيسية[6].

و بذلك يمكن تعريف الاستشعار عن بعد بأنه مصطلح يصف تقنية و مراقبة و دراسة و التعرف على الأشياء من بعد، باستخدام الموجات الكهرومغناطيسية، ويتم بهذه التقنية اقتناء المعلومات من خلال جهاز ليس في احتكاك مباشرة مع الأجسام المدروسة، بواسطة تسجيل الموجات الكهرومغناطيسية المنعكسة من هذه الأجسام[6]، أو عبارة أخرى هو، علم تجميع المعلومات من سطح الأرض دون الاتصال أو التلامس الفعلي معه، وذلك من خلال تحسس وتسجيل الطاقة المنعكسة أو المنبعثة ومعالجتها وتحليلها وتطبيق هذه المعلومات[7].

## II - 1 - 3 مكونات الاستشعار عن بعد

في معظم تقنيات الإستشعار عن بعد فإن هذه العملية تشمل التفاعل بين الإشعاع الساقط والأهداف ذاتها. ولتبسيط هذه العملية فستحدث عن نظم التصوير حيث توجد سبعة عناصر متفاعلة مع بعضها وهي كالتالي[7]:

**1- مصدر للطاقة أو الضوء (أ) Energy Source or ILluminatation**

أول متطلبات الاستشعار عن بعد وجود مصدر يُرسل ضوءاً أو طاقة كهرومغناطيسية *Electromagnetic* على الهدف المراد دراسته.

**2- الإشعاع والغلاف الجوي (ب)**

مع رحلة الطاقة من مصدرها إلى الهدف يحدث اتصال و تفاعل مع الغلاف الجوي الذي تمر الطاقة خلاله. و قد يحدث هذا التفاعل مرة ثانية مع عودة الطاقة من الهدف إلى المستشعر.

**3- تفاعل مع الهدف (ت)**

بمجرد أن تقطع الطاقة طريقها إلى الهدف عبر الغلاف الجوي تتفاعل معه بناء على خصائص الإشعاع وسمات الهدف.

**4- تسجيل الطاقة من خلال المستشعر(ث)**

بعد أن تشتت الطاقة بسبب تصادمها مع الهدف (أو بعد أن تنبعث منه بعد مرحلة الامتصاص) نحتاج إلى مستشعر من بعد (ليس على اتصال مع الهدف) لجمع وتسجيل الإشعاع الكهرومغناطيسي.

**5- الاستقبال و المعالجة (ج)**

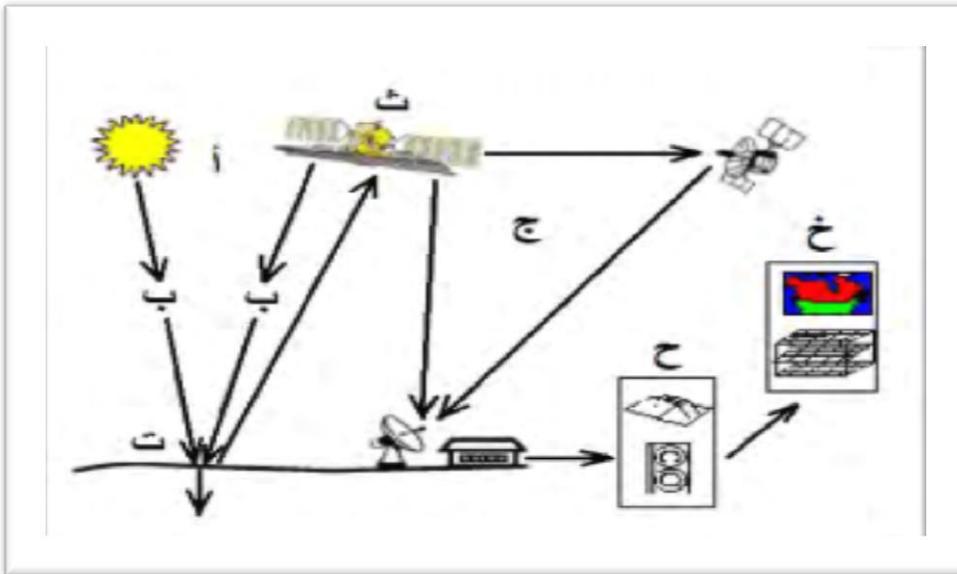
ترسل الطاقة التي سجلها المستشعر، و التي غالباً ما تكون في شكل كهرومغناطيسي إلى محطة استقبال و معالجة تتحول منها البيانات إلى شكل مرئي (في نسخته ورقية أو رقمي على الكمبيوتر).

## 6- التفسير و التحليل (ح)

يتم تفسير المرئية المنتجة، بصريا *Visual* أو رقميا *Digital* أو إلكترونيا *Electronic* و ذلك لاستخراج معلومات عن الهدف الذي تم استشعاره.

## 7- التطبيق(خ)

يتحقق العنصر الأخير حين نطبق المعلومات التي استطعنا استخراجها من المرئية عن الهدف كي تفهم بصورة أفضل وكي نكشف عن المعلومات الجديدة أو نساعد في حل مشكلة معينة. هذه هي العناصر السبعة لعلمية الاستشعار عن بعد من البداية للنهاية.



الشكل (II - 1): مكونات الإستشعار عن بعد [7]

## II - 1- 4 أنواع الإستشعار عن بعد

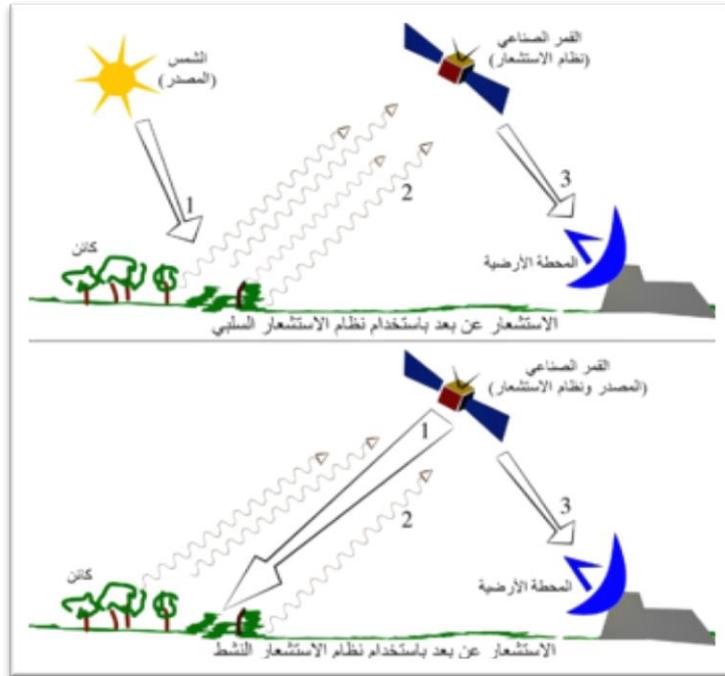
يمكن تصنيف الاستشعار عن بعد طبقاً لنوع البيانات المستقبلية إلى [8]:

1. الاستشعار عن بعد النشط **Active Remote Sensing**: وهو النظام الذي يعتمد على مصدر صناعي

للمرور الطاقة الكهرومغناطيسية ، بحيث يكون جهاز الاستشعار يصدر أشعة كهرومغناطيسية نحو الأجسام فتنعكس منها ليستقبلها جهاز الاستشعار مرة أخرى.

## 2. الإستشعار عن بعد غير النشط Passive Remote Sensing : وهو النظام الذي يعتمد على المصدر

الطبيعي للطاقة الكهرومغناطيسية و هو الشمس ، ثم التصوير المرئي و الحراري، حيث تنطلق الأشعة الكهرومغناطيسية من الشمس نحو الأجسام فتنعكس منها ليستقبلها جهاز الاستشعار .



الشكل (II - 2): أنواع الإستشعار عن بعد [8]

## II - 1 - 5 تقنيات الإستشعار عن بعد

تعتمد تقنيات الاستشعار عن بعد على حمل أنواع متعددة من المستشعرات Sensors ، لتسجيل الظواهر المراد دراستها وقياسها، بناء على مفهوم؛ أن كل جسم يشع ويعكس مدى من الطاقة الكهرومغناطيسية، تكون غالباً في مجموعات متميزة، تسمى "بصمات طيفية Spectral Signature" ، توضح معلومات عن خاصية معينة للجسم.

و عموماً، فإنه يمكن للإشعاع أن ييث من خلال الجسم، أو يمتص بواسطة الجسم، أو يشتم بواسطة الجسم، أو قد ينعكس الإشعاع، ويعني بذلك عودة الإشعاع دون تغيير، أي يكون الجسم في هذه الحالة مثل المرآة . و يحدد اختيار أحد هذه التفاعلات السابقة طول الموجة لكل مادة، التي تعتمد أساساً على خصائص سطحها وجزئيات بنيتها، وهذه هي قواعد القياس بواسطة الاستشعار عن بعد. وجدير بالذكر أن للغلاف الجوي للأرض بعض المميزات الخاصة به، والمؤثرة في اختيار النطاقات الكهرومغناطيسية في الاستشعار. و تختلف دقة كل جهاز استشعاري عن الآخر بدرجة التفريق Resolution، التي يحققها في رصد الأهداف، ويعتمد ذلك على خواص كل مادة بالنسبة لعكس الأشعة الساقطة عليها، أو امتصاص هذه الأشعة، جزئياً أو كلياً. واهم تقنيات الاستشعار عن بعد [8]:

**الأقمار الصناعية:** وهو جهاز التقاط الاستشعار النشط، حيث يتولى بث الأشعة، والتقاطها، وإرسالها إلى محطات الاستقبال الأرضية. ويستعمل فيها جميع الأمواج.

**الرادار:** وهو جهاز التقاط الاستشعار النشط، حيث يتولى بث الأشعة، والتقاطها، وإرسالها إلى محطات الاستقبال الأرضية. ويستعمل فيها أمواج الراديو للاستشعار.

**السونار:** وهو جهاز التقاط الاستشعار النشط، حيث يتولى بث الأشعة، والتقاطها، وإرسالها إلى محطات الاستقبال الأرضية. و يستخدم فيه الأمواج الصوتية .

**الليدار:** وهو جهاز التقاط الاستشعار النشط، حيث يتولى بث الأشعة، والتقاطها، وإرسالها إلى محطات الاستقبال الأرضية. ويستخدم فيه أشعة الليزر الذي ستتطرق إليها في عملنا هذا .

## II - 1 - 6 آلية الإستشعار

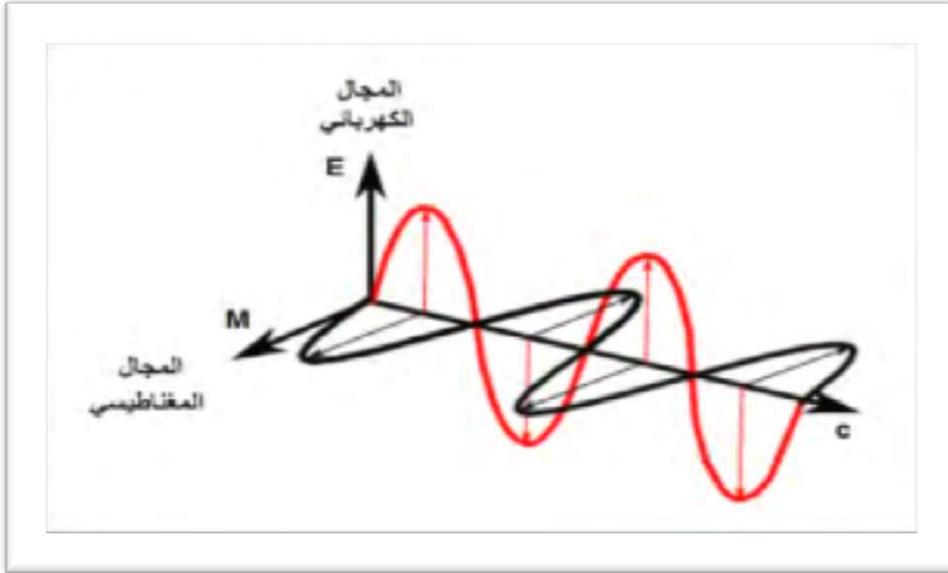
تم آلية الاستشعار عن بعد على مراحل أربع [8]:

1. جمع المعلومات بواسطة المستشعرات، و بثها إلى محطات الاستقبال الأرضية.
2. خضوع هذه المعلومات لمعالجة أولية و تصحيحات، ثم معالجة نهائية.
3. تفسير هذه المعطيات بعد تحويلها إلى صور.
4. استخدام الصور في رسم البيانات الدقيقة والخرائط، التي تخدم المجالات المختلفة.

## - الإشعاع الكهرومغناطيسي

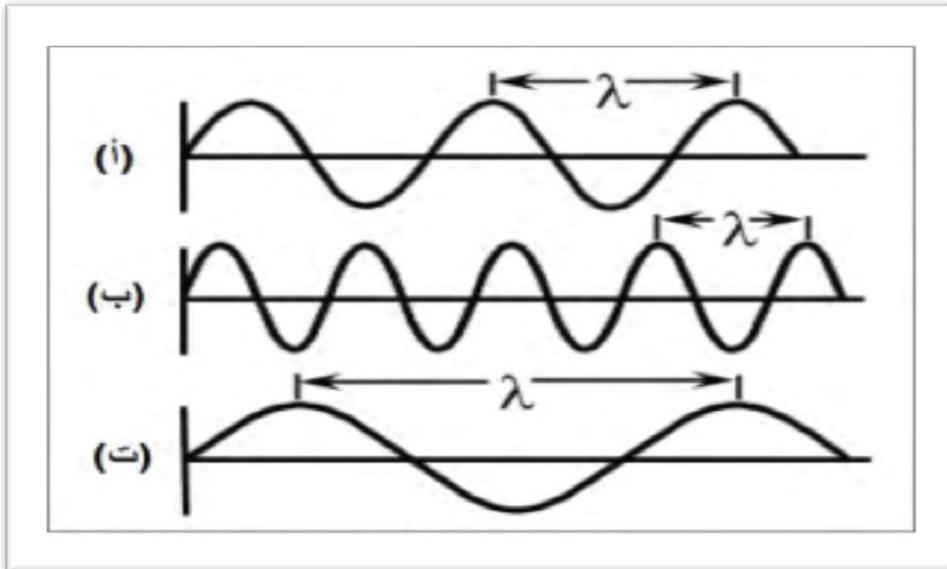
إن أول متطلب للاستشعار عن بعد هو توفر مصدر للطاقة ليشتع على الهدف (في حالة أن يكون الهدف غير مشع من تلقاء نفسه) و تكون هذه الطاقة في شكل إشعاع كهرومغناطيسي. ولكافة الأشعة الكهرومغناطيسية قوانين ثابتة ومتوقعة بناء على تاريخ الموجات الكهرومغناطيسية [8].

و يتكون الإشعاع الكهرومغناطيسي من مجال كهربائي ( E ) مختلف الحجم ويسير في اتجاه عمودي على الاتجاه الذي يسير فيه الإشعاع، كما يتكون أيضا من مجال مغناطيسي (M) يتجه في زوايا قائمة بالنسبة للمجال الكهربائي.



الشكل (II - 3): الإشعاع الكهرومغناطيسي [8-7]

و هناك صفتان للإشعاع الكهرومغناطيسية لهما أهمية بالغة في فهم الاستشعار عن بعد. وهما الطول الموجي والتردد.



الشكل (II - 4): طول الموجة في الإشعاع الكهرومغناطيسي [8-7]

## يقصد بالطول الموجي Wavelength:

طول دورة موجية، ويمكن قياسها من خلال حساب المسافة بين قمتين موجتين متتابعين. ويعبر عن الطول الموجي عادة بالحرف اللاتيني ( لامدا  $\lambda$  )، ويقاس الطول الموجي بالمتر ( m ) أو بعض عناصره أو أجزاء المتر مثل: النانومتر أو الميكروميتر.

Nanometres (nm,  $10^{-9}$  metres)

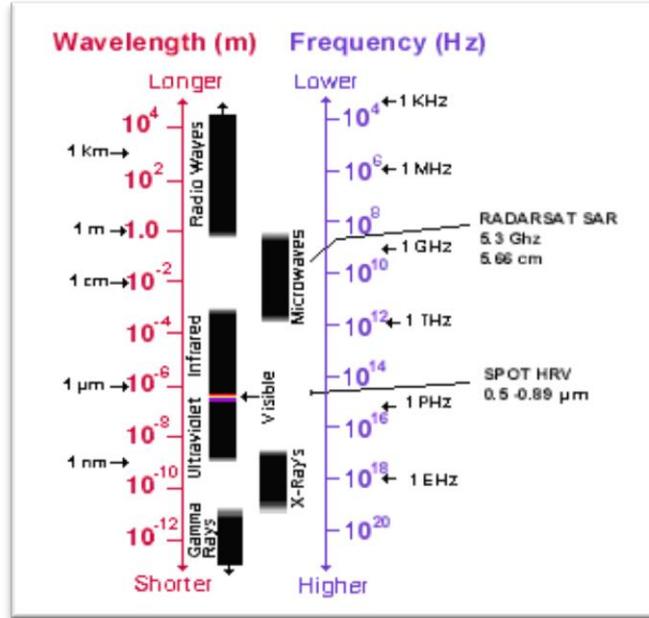
Micrometres ( $\mu\text{m}$ ,  $10^{-6}$  metres)

Centimetres (cm,  $10^{-2}$  metres)

أما التردد: فيشير إلى عدد دورات الموجة المارة في الثانية، ومضاعفات هذا العدد قياسا بوحدة الهرتز Hertz.

و يرتبط الطول الموجي والتردد ببعضهما ارتباطا عكسيا. فكلما كان الطول الموجي قصيرا كلما كان التردد كبيرا، كلما كان الطول الموجي طويلا كان التردد قصيرا ويعتبر فهم خصائص الإشعاع الكهرومغناطيسي بمصطلحات الطول الموجي والتردد أمرا بالغ الأهمية لفهم المعلومات التي سيتم استخلاصها من بيانات الاستشعار عن بعد.

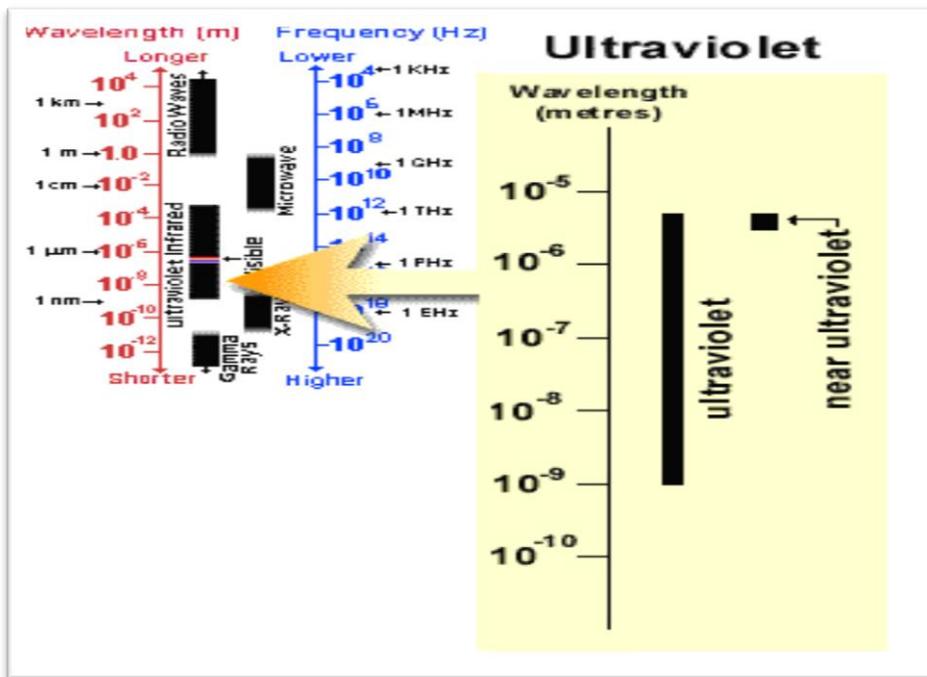
و فيما يلي سنشرح الطريقة التي يتم من خلالها تصنيف الإشعاع الكهرومغناطيسي الطيف. الكهرومغناطيسي Electromagnetic Spectrum يتراوح الطيف الكهرومغناطيسي ما بين موجات قصيرة (بما فيها أشعة جاما واكس) وموجات طويلة (بما فيها موجات الميكروويف)، وهناك نطاقات عديدة للطيف الكهرومغناطيسي مفيدة للاستشعار عن بعد لمعظم الأغراض. تعتبر الأشعة فوق البنفسجية (Ultra Violet (UV) من الطيف الكهرومغناطيسي أقصر الموجات المستخدمة في الاستشعار عن بعد ويقع هذا الإشعاع (فوق البنفسجي) فيما وراء الجزء البنفسجي من الموجات المرئية، و من هنا تأتي تسميته [7].



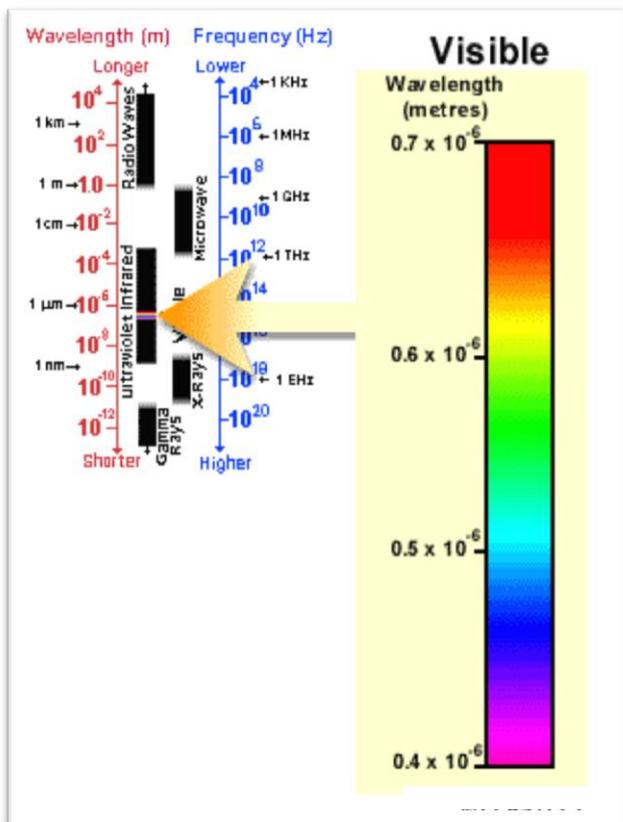
الشكل (II - 5): المجال الكهرومغناطيسي [7]

و هناك بعض مواد سطح الأرض، مثل أنواع الصخور و المعادن، التي تشع أو تبعث ضوءاً مرئياً حين يسقط عليها الإشعاع فوق البنفسجي. ويعتبر الضوء الذي تراه أعيننا ( مستشعراتنا عن بعد) جزءاً من الطيف المرئي Visible Spectrum. ومن المهم إدراك صغر الجزء المرئي مقارنة ببقية الأطياف.

فهناك إشعاع كبير من حولنا ولكنه إشعاع غير مرئي لأعيننا، وان كان في حقيقته إشعاعاً قابلاً للتسجيل من قبل وسائل استشعار بعيدة بما يحقق فائدة لنا، و تغطي الموجات المرئية مدى يتراوح بين 0.4 إلى 0.7 ميكرومتر  $\mu\text{m}$  [7].



الشكل (II - 6): نطاق الأشعة فوق البنفسجية [7]

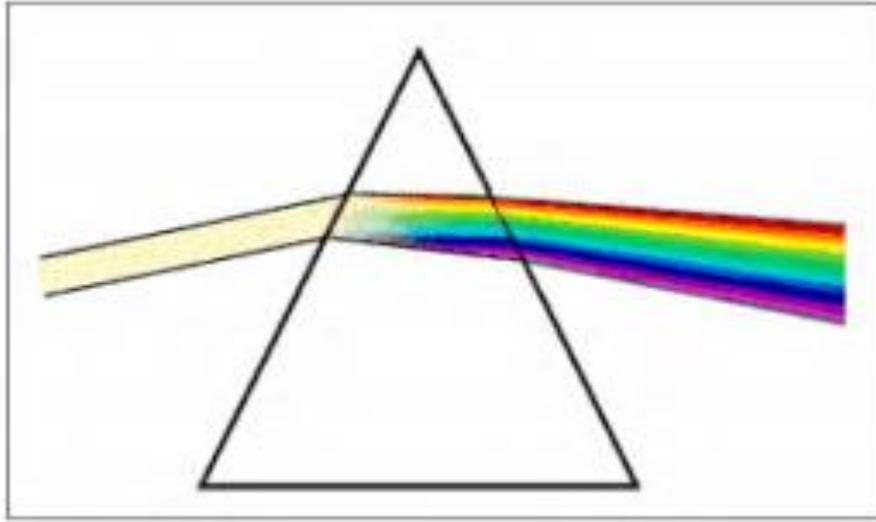


الشكل (II - 7): نطاق الضوء المرئي [7]

و أطول موجات مرئية هي الموجات الحمراء، وأقصر موجات هي الموجات البنفسجية. وفيما يلي الأطوال الموجية الشهيرة التي ندرکها كألوان بعينها ضمن الجزء المرئي من الطيف الكهرومغناطيسي. ومن المهم أن نلاحظ أن هذا هو مجرد جزء من الطيف، و هو الذي نسميه بالألوان المتعارف عليها.

- البنفسجي 0.4 - 0.446 : ميكرومتر.
- الأزرق 0.446 - 0.5 ميكرومتر.
- الأصفر 0.57 - 0.59 ميكرومتر.
- البرتقالي 0.59 - 0.62 ميكرومتر.
- الأحمر 0.62 - 0.7 ميكرومتر.

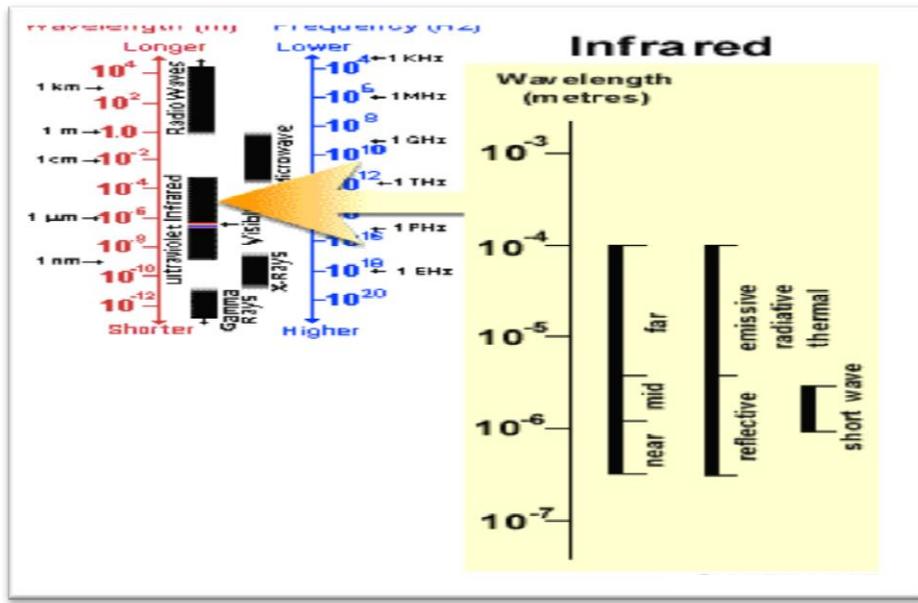
و الألوان الأزرق والأخضر والأحمر هي الألوان الأساسية أو الأطول الموجية للطيف المرئي. و تعرف بهذا لأنه يمكن تكوين لون أساسي واحد من اللونين الأساسيين الباقين، لكنه في المقابل كل الألوان الأخرى يتم تكوينها من خلال دمج الأزرق و الأخضر و الأحمر بنسب متفاوتة. وعلى الرغم من أننا نرى ضوء الشمس كلون متجانس إلا أنه مؤلف في الحقيقة من أطوال موجية مختلفة أهمها فوق البنفسجية، و الموجات المرئية، والموجات تحت الحمراء و يمكن ظهور الجزء المرئي من الإشعاع في ألوانه المؤلف منها إذا تم تمرير ضوء الشمس من خلال منشور زجاجي Prism و الذي يؤدي إلى ثني الضوء Bend بكميات مختلفة حسب كل طول موجي [7].



الشكل (II - 8): مركبات الضوء المرئي [7]

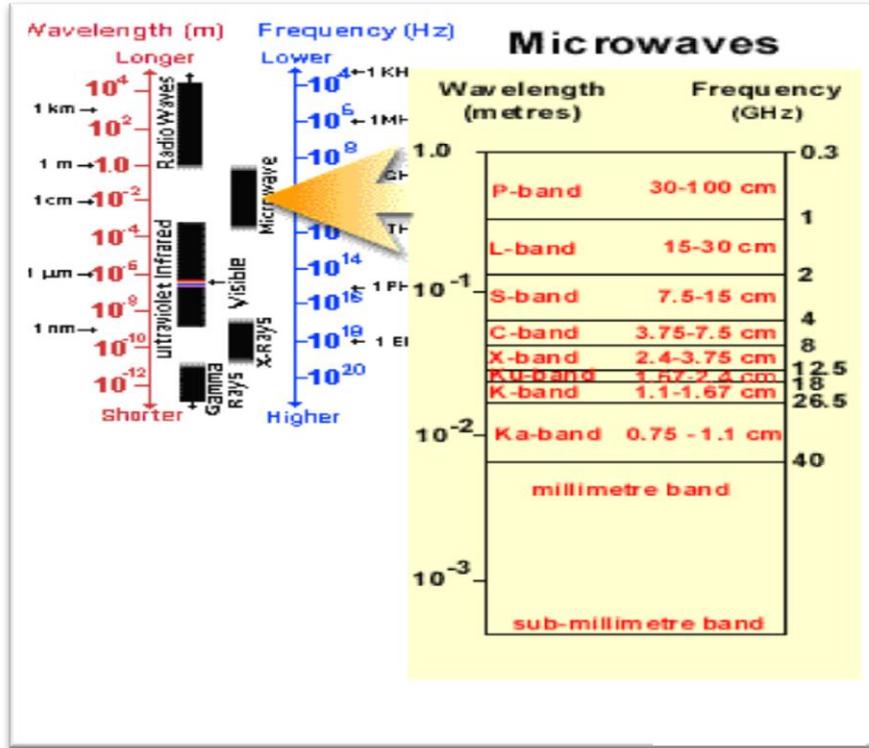
الجزء التالي من الطيف الكهرومغناطيسي و الذي يستوجب الاهتمام هو النطاق الموجي للأشعة تحت الحمراء، و التي تشمل مدى يتراوح بين 0.7 ميكرومتر إلى 100 ميكرومتر. وهو أكبر بنحو 100 مرة قدر اتساع الأطياف الموجية في النطاق المرئي. و يمكن تقسيم النطاق الموجي للأشعة تحت الحمراء إلى فئتين بناء على خصائصها الإشعاعية وهي الأشعة تحت الحمراء المنعكسة Reflected IR و الأشعة تحت الحمراء المنبعثة أو الحرارية Emitted or Thermal IR، و تستخدم الأشعة تحت الحمراء المنعكسة RIR لأغراض الإستشعار عن بعد بطريقة مشابهة جدا للإشعاع في النطاق المرئي Visible. و تغطي الأشعة تحت الحمراء المنعكسة أطوالا موجية تتراوح

بين 0.7 إلى 3.0 ميكرومتر. أما الأشعة تحت الحمراء الحرارية فمختلفة تماما عن الموجات المرئية و تحت الحمراء المنعكسة، فهذه الطاقة هي الإشعاع الأساسي المنبعث من الأرض في شكل حرارة. و تغطي الأشعة تحت الحمراء الحرارية أطوالا موجية تتراوح بين 3.0 و 100 ميكرومتر.



الشكل (II - 9): نطاق الأشعة تحت الحمراء [7]

و في الفترة الأخيرة بدأ الاهتمام بنطاق من الطيف الكهرومغناطيسي في الاستشعار عن بعد ألا و هو نطاق أشعة الميكروويف و التي يتراوح طولها الموجي بين 1 ملم إلى 1 متر أطول الموجات المستخدمة في الاستشعار عن بعد. و للموجات الطويلة سمات مشابهة للنطاق الموجي في الأشعة تحت الحمراء الحرارية، بينما تقترب الموجات الطويلة من الموجات المستخدمة في البث الإذاعي.

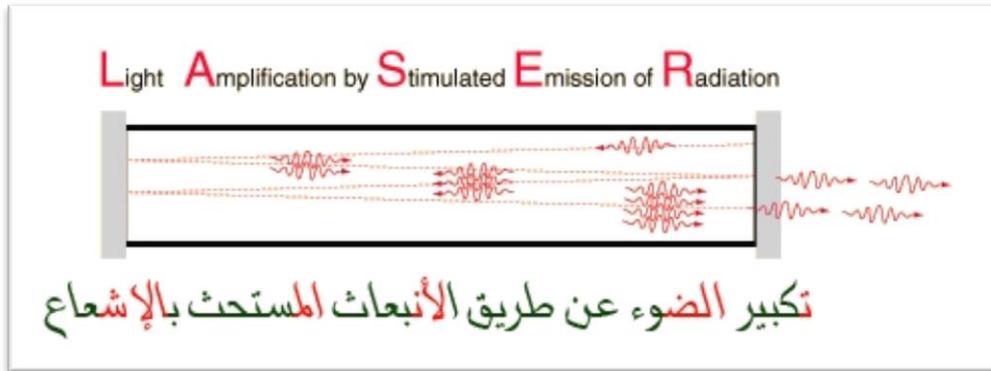


الشكل (II - 10): نطاق أشعة الميكروويف [7]

## II - 2 الليزر

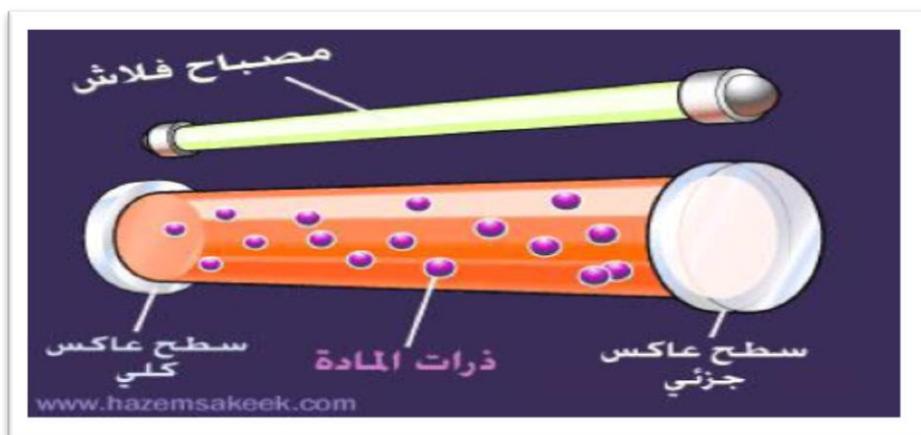
هي أجهزة تولد أو تضخم الإشعاعات ذات الترددات الواقعة في مجال تحت الحمراء المرئي أو فوق البنفسجي من الأمواج الكهرومغناطيسية، يستعمل مبدأ الليزر في عدد كبير لمجموعة أجهزة تعمل في أقسام مختلفة من طيف الأمواج الكهرومغناطيسية من الترددات السمعية و حتى فوق البنفسجية، تستخدم أجهزة الليزر العملية مواد مختلفة و متعددة و طرق ضخ و تصميمات منوعة لها تطبيقات متنوعة في مجال الطب و الاتصالات و الأبحاث العلمية و الهندسية و العسكرية و تعود غالبًا لميدان في الفيزياء هو حقل الإلكترونات الضوئية و من هنا نبدأ في موضوع و توضيح عمل الليزر [9].

## II - 2 - 1 تعريفه



الشكل (II - 11): الليزر [9]

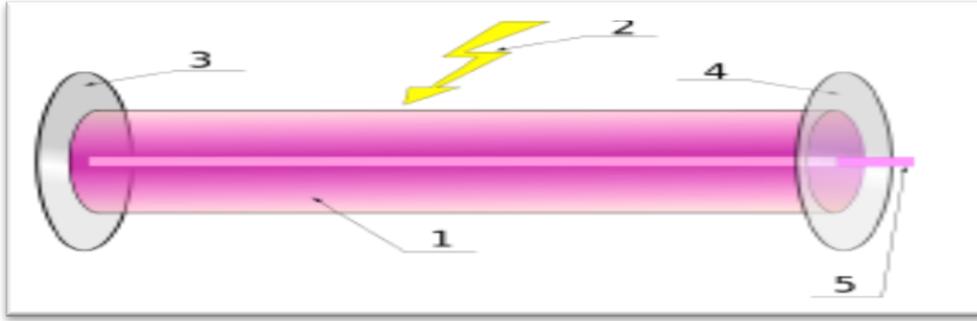
و هي كلمة مؤلفة من الأحرف الأولى لكلمة انجليزية LASER و هي اختصار لعبارة (Light Amplification by Stimulated Emission Of Radiation) و تعني تكبير و تضخيم الضوء بانبعث الإشعاع المحفز و هو عبارة عن إشعاع كهرومغناطيسي تكون فوتوناته مساوية في التردد و متطابقة الطور الموجي حيث تتداخل تداخلا بناء بين موجاتها لتتحول إلى نبضة ضوئية ذات طاقة عالية وشديدة التماسك زمانيا ومكانيا .وقد تنبأ بوجوده العالم ألبرت اينشتاين في 1917 م حيث وضع الأساس النظرية لعملية الانبعث المحفز .وتم تصميم أول جهاز 1960م من طرف العالم T.H.Maiman باستخدام بلورة الياقوت و يعرف بليزر الياقوت [9].



الشكل (II - 12): مكونات ليزر الياقوت [9]

## II - 2-2 مبدأ عمل الليزر: هذا شكل يوضح أجزاء جهاز الليزر [10]:

- 1- الوسط أو البلورة المنتجة لأشعة الليزر.
- 2- طاقة كهربائية لتحفيز الوسط الفعال على إصدار الموجات الضوئية.
- 3- عاكس للضوء (مرآة) عال الأداء.
- 4- عدسة خروج الشعاع وقد تكون مستوية أو عدسة مقعرة.
- 5- شعاع الليزر الخارج (خرج ليزر).



## الشكل (II - 13): مبدأ عمل الليزر [10]

و يعمل جهاز الليزر على انعكاس ضوء ذو لون واحد، أي طول موجة واحدة بين المرآة الخلفية و العدسة. و يتم ذلك بتحفيز الوسط على إنتاج ذلك اللون من الضوء و هي خاصية من خصائص البلورة المختارة أو الوسط. و بعد انعكاس شعاع الضوء داخل الوسط عدة مرات تصل الموجات الضوئية المتجمعة إلى وضع الاتزان. عندئذ تتميز بانتظار طورها (خطوطها) و تخرج كشعاع ليزر شديد الطاقة.

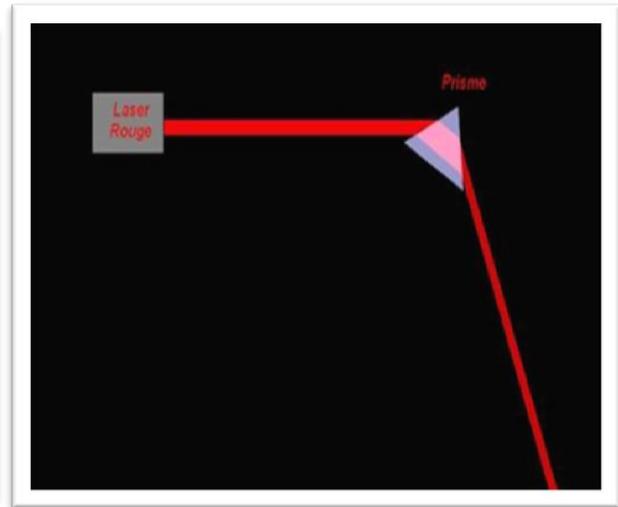
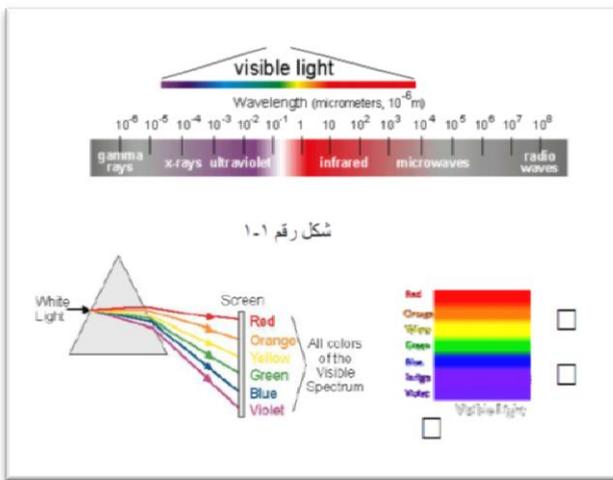
## II - 2-4 خصائص الليزر

شعاع الليزر يمتلك خصائص تميزه عن أي مصدر من مصادر الإشعاع الكهرومغناطيسي و هذه الخصائص هي [10]:

II - 2-4-1 أحادي اللون **Monochromatic**: دون الدخول في التفاصيل الدقيقة نستطيع القول أنّ هذه

الخاصية ناشئة عن إمكانية تضخيم شبه انتقائي للموجات الكهرومغناطيسية ذات التردد  $\nu_0$  المحددة بالمعادلة

و هذا يؤدي إلى كون عرض خط الانتقال  $2 \leftarrow 1$  في الإصدار التلقائي [10].



الشكل (II - 14): تحليل ضوء الليزر باستخدام موشور [10]

II - 2-4-2 توازي الحزمة الضوئية **Collimation** أو **الاتجاهية Directionality**: إنّ خاصية

الاتجاهية هي نتيجة مباشرة لكون أنّ المادة الفعالة موضوعة داخل مجاوبة مثل المرآتين المستويتين المتوازيتين و

الحقيقة هي أنّ تلك الأشعة التي تسير على طول محور المجاوبة (والتي تسير مجاورة) هي وحدها التي تطيل

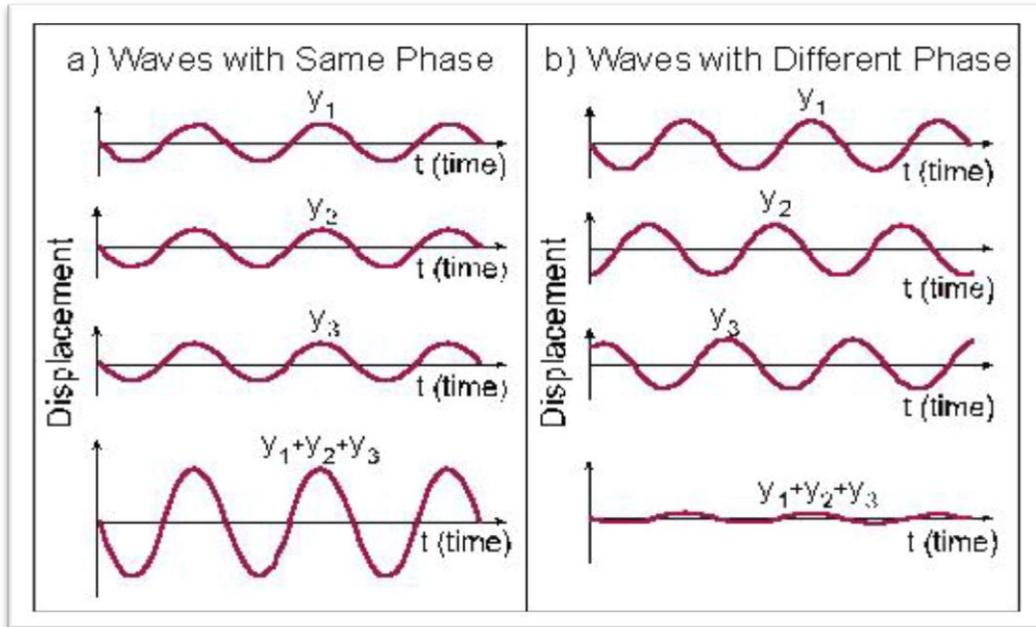
البقاء داخل المجاوبة أي أنّ الضوء الصّادر عن الليزر له اتجاه واحد بجيود مهمل [10].

**II - 2- 4- 3 الترابط Coherence:** ويجب أن يكون بين موجات الحزمة عالي جداً و مترامن و هذا يساعد

الموجات الضوئية أو الفوتونات في تقوية بعضها البعض لتعطي طاقة و قدرة عالية للحزمة، و يكون هذا

الترابط إما بناءً و فرق الطور بين الموجات يساوي الصفر، أو هداما و فرق الطور بين الموجات يختلف عن

الصفر [10].

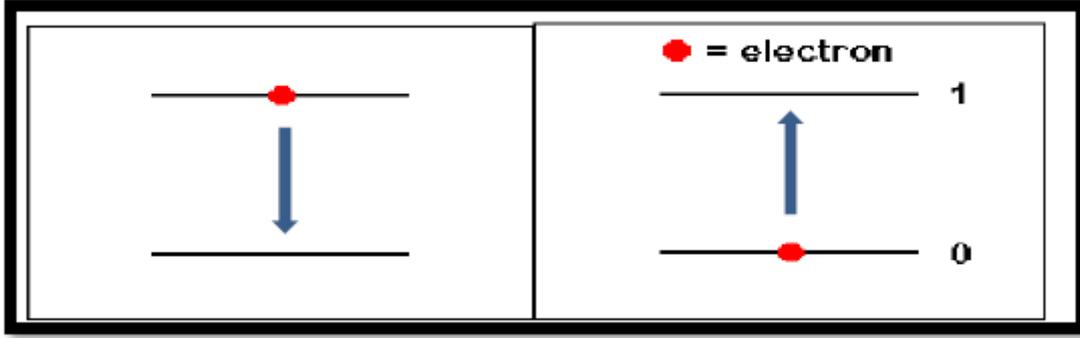


الشكل (II - 15): الترابط [10]

**II - 2- 4- 4 الشدة الضوئية Light Intensity:** و تكون عالية و مركزة في حزمة ذات قطر ضيق لا

يتجاوز المليمتر، المسؤول عن هذه الخصائص هي عملية الانبعاث الاستحثائي بينما في الضوء العادي يكون

الانبعاث تلقائي الشكل (II - 16) [10].



الانبعاث الاستحثاثي

الانبعاث التلقائي

الشكل (II - 16): عملية الانبعاث التلقائي و الانبعاث الاستحثاثي [10].

II - 2 - 5 شروط الانبعاث الليزري: يجب توفر ثلاثة شروط أساسية و هي:

II - 2 - 5 - 1 توفر الانبعاث الاستحثاثي Stimulated Emission

في الظروف العادية تكون غالبية الذرات في مستوى الطاقة الأقل، و عدد قليل منها يكون في المستويات

العليا.

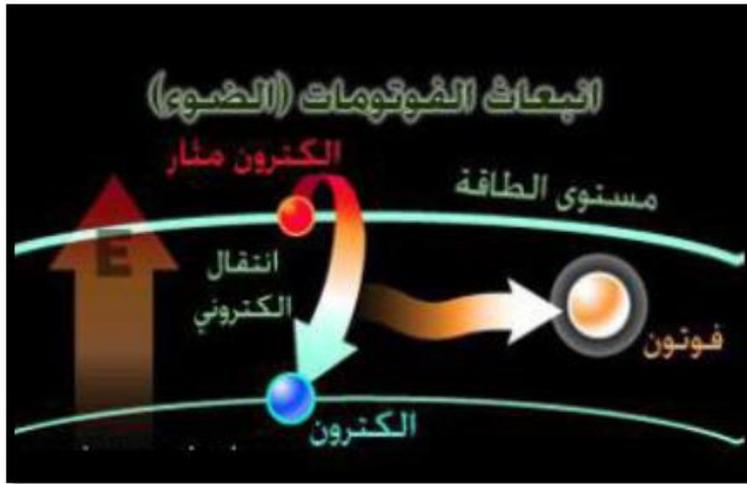
و الذرات التي تكون في حالة تهيج تنبعث فوتونات تلقائياً، و للتخلص من حالة التهيج و النزول إلى

مستويات طاقة أقل تكون هذه العملية عشوائية الحدوث، و الفوتونات المنبعثة لا تكون مترابطة مع بعضها البعض

(أي لا تكون بنفس الطور) [11].



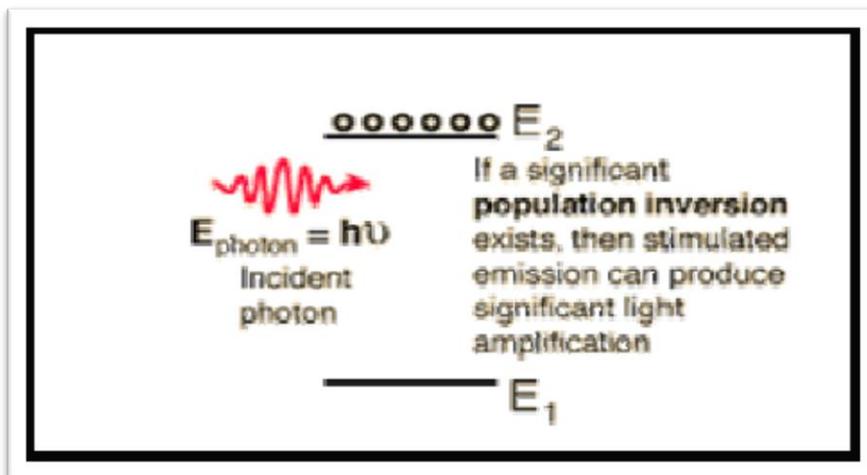
الشكل (II - 17): انتقال الإلكترون من E1 إلى E2 [11].



الشكل (II - 18): انتقال الإلكترون من E2 إلى E1 [10].

### II - 2 - 5 - 2 التعداد المعكوس Population Invesion

يتطلب انبعاث أشعة الليزر العمل على زيادة عدد الذرات في مستويات الطاقة العليا أي زيادة تعدادها عن الحالة الطبيعية، و عندما يكون عدد الذرات في مستويات الطاقة العليا أكثر من عدد الذرات في مستويات الطاقة الدنيا نستطيع القول بأنه حصل انقلاب في التعداد وهو ما سميناه بالتعداد المعكوس [11].



الشكل (II - 19): التعداد المعكوس [11]

II - 2 - 5 - 3 التّكبير الضوئي Light Amplification: يجب أن يضح الوسط المادي من مصدر طاقة لحثّ الذرات والجزيئات على التهيج أي الارتفاع إلى مستوى طاقة أعلى لا تتواجد فيه عادة تحت الظروف الطبيعية،

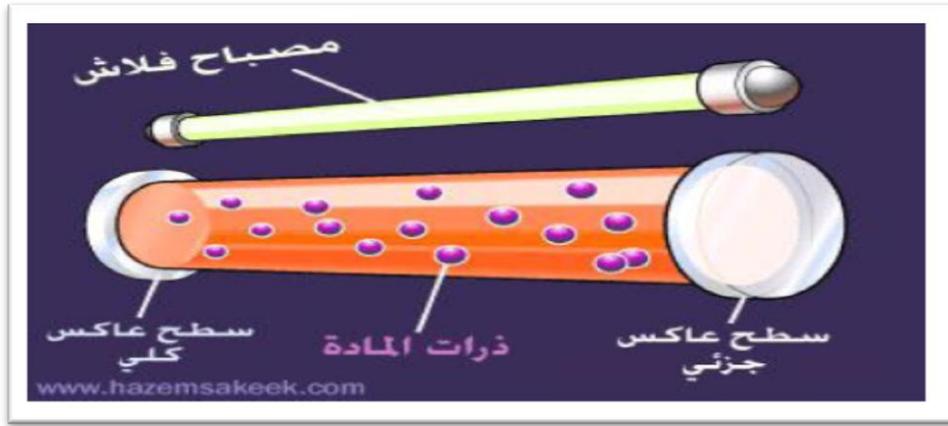
وتكون ما يسمّى بالتعداد المعكوس، والذي فيه تكون غالبية ذرات وجزيئات المادة في مستويات الطاقة العليا بدلاً من المستويات المنخفضة و بعدها ينبعث الشعاع ليزري بواسطة الانبعاث المحث وعمليات التكبير الضوئي.

## II - 2-6 مكونات جهاز الليزر

يتكوّن جهاز الليزر عادة من العديد من المكونات الكهربائية و الإلكترونية و البصرية وأجهزة السيطرة و التضمين، و من أهمّ المكونات الرئيسية التي يشترط وجودها في أجهزة الليزر هي [12]:

II - 2-6-1 الوسط الفعال: إنّ الوسط الفعال المستخدم في الليزر يكون عادة في حالة صلبة أو سائلة

أو غازية ومن الليزر الصلبة ليزر الياقوت أنظر الشكل (II - 20).



الشكل (II - 20): ليزر الياقوت [11]

II - 2-6-2 المرنان (مرآتان): و يقوم المرنان بمساعدة الفوتونات المنبعثة لتنعكس ملايين المرات في الثانية

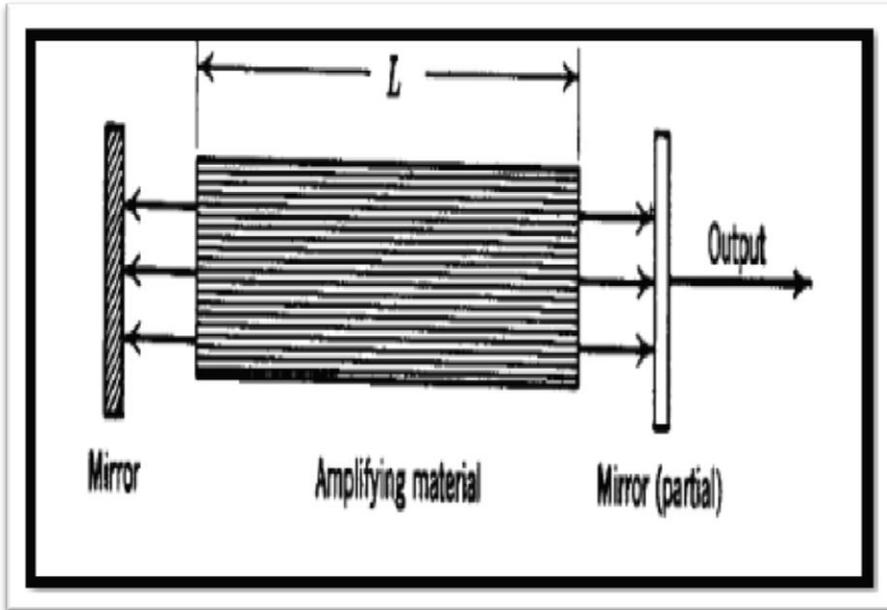
ذهابًا و إيابًا بين المرآتين، مارة في كلّ جولة خلال الوسط الفعال لتحفيز عددًا كبيرًا من الذرات أو الجزيئات

المتهيجة لكي تنبعث فوتونات جديدة أخرى للحصول على حزمة الليزر.

II - 2 - 6-3 الضّخ: حيث تقوم الطّاقة الضّاخة بإثارة الذرات المستقرّة في الوسط الفعّال لتنتقل إلى

المستويات المثيعة لكي يتحقّق التوزيع العكسي المناسب الذي يضمن توليد الليزر، و هناك ثلاث تقنيات

للضّخ و هي تقنية الضّخ الضوئي و الضّخ الكهربائي و الضّخ الكيميائي.



الشكل (II - 21): رسم تخطيطي لجهاز الليزر [11]

## II - 2 - 7 أنواع الليزر

يمكن التعرف على نوع الليزر من خلال طبيعة المادة الفعّالة، و هناك ثلاثة أنواع رئيسية وهي:

II - 2 - 7-1 ليزر الحالة الصلبة: تضم الليزرز الصلبة معظم الليزرز التي تكون مادتها الفعّالة في حالة

صلبة كليزر الياقوت Rubg-Laser و ليزر النديميوم الزجاجي Glass-laser Neodymium و كذلك ليزر

أشباه الموصلات مثل ليزر فوسفيد الكالسيوم Gap-laser و غيرها و يكون طوله الموجي في منطقة الأشعة

تحت الحمراء [12].

**II - 2 - 7- 2 ليزر الغاز:** تعدّ الليزرز الغازية من أشهر الليزرز المستخدمة في مجال الصّناعة، حيث تكون بعض هذه الليزرز ذات قدرة منخفضة جدًّا كليزر ثاني أكسيد الكربون- نيون وبعضها الآخر ذات قدرة عالية جدًّا كليزر ثاني أكسيد كربون و تكون أطولها الموجية في مدى الأشعة تحت الحمراء[12].

**II - 2 - 7- 3 ليزر السائل:** إنّ الليزرز السائلة التي سوف ندرسها هي التي يتكوّن الوسط الفعال فيها من محاليل مركبات معينة لصبغة عضوية مذابة في سوائل مثل كحول مثيلي أو ماء، كحول إثيلي[12].

## II - 2 - 8 استخدامات الليزر

إنّ تطبيقات الليزر في الوقت الحاضر متعدّدة جدًّا و تغطي مجالات مختلفة في العلوم والتكنولوجيا وتشمل الفيزياء و الكيمياء وعلم الأحياء والإلكترونيات ولقد استخدم كمصدر حراري في التطبيقات الصّناعية و الطّبية (يستخدم في العمليات الجراحية مثل جراحة المخ و القلب و الأوعية الدموية والجراحة العامة )، و في تنقيب المعادن وقطعها و لحامها، و يستخدم أيضا في الاتصالات.... الخ، كما يستخدم في تحليل المادة الصلبة و غيرها[12].

## II - 2 - 9 مميزات الليزر [12]

- (1)- الحزمة الضوئية لشعاع الليزر لا تملك كتلة. نظرا لأن كتلة الفوتونات المكونة لهذا الشعاع الليزري يساوي صفرا.
- (2)- يمكن أن تكون الحزمة الضوئية مستمرة التدفق، أو نبضة، وتتخذ هذه النبضات أشكالا متعددة مختلفة. تبدأ من نبضة في الثانية الواحدة أو أجزاءها إلى ملايين النبضات في الثانية.
- (3)- سهولة السيطرة على حزمة الليزر خصوصا ذات الترددات الضوئية المرئية للعين المجردة.
- (4)- سهولة إدارة وإدامة الليزر إذا ما قرنت بالإشعاعات الذرية والنوية الأخرى.

## II - 3 الأطياف الذرية

## II - 3 - 1 مقدمة

يهتم علم الأطياف Spectro Scopy بدراسة التداخل بين المادة و الإشعاع الكهرومغناطيسي والذي يمتد من أشعة غاما العالية الطاقة إلى درجات الراديو المنخفضة الطاقة جدًا مرورًا بالأشعة السينية وأشعة المايكروويف والأشعة فوق البنفسجية والمرئية وتحت الحمراء [13]. تعتبر طرق التحليل الطيفي من أهم وأشمل الطرق للتحليل الطيفي نظرًا لسهولة ودقتها وحساسيتها العالية وتطبيقاتها المتعددة، حيث تعتمد على امتصاص و انبعاث الطاقة الإشعاعية، إذ بتفسير هذه المعلومات يمكن الحصول على معلومات كمية ونوعية فمن الناحية النوعية نستخدم مواقع خطوط أو الحزم الامتصاصية و الانبعاث التي تحدّد في الطيف الكهرومغناطيسي للدلالة على وجود عناصر خاصّة، أمّا من الناحية الكمية فيمكن تقدير تركيز المكونات من قياس شدّة خطوط الامتصاص و الانبعاث، حيث تعطى المعلومات التي نحصل عليها من القياسات الطيفية على شكل منحنى بياني يبين الطاقة الممتصة أو المنبعثة بدلالة المواقع على الطيف الكهرومغناطيسي ويدعى بالطيف ويقاس موقع الامتصاص أو الانبعاث بوحدّة الطاقة أو الطول الموجي [13].

## II - 3 - 2 تعريف الأطياف

هو مجموعة الأطوال الموجية المنبعثة من أحد العناصر الكيميائية بعد إثارته بارتفاع درجة الحرارة إلى درجة التوهج حيث استطاع بوهر عام 1913م وضع نظرية لذرة الهيدروجين و التي بموجبها فسّر الطيف المنبعث من الذرة، و لذلك فإنّ الطيف الذري نوعان [14]:

- طيف ذري انبعاث Emission atomic spectrin.
- طيف ذري امتصاص Absorption atomic spectrin.

## II - 3 - 3 أنواع الأطياف

إنّ الطّيف يتكوّن من الألوان السّبعة ويمكن رؤيته بالعين المجردة وينقسم إلى نوعين:

**II - 3 - 3 - 1 طيف الإصدار:** تعطي العناصر عندما تمتص كمية كافية من الطّاقة طيفًا يسمى طيف الانبعاث فلو سخن عنصر ما باللّهب أو بواسطة قوس كهربائي فإنّ الطاقة يمتصها هذا العنصر تؤدي إلى تهيج ذراته بمعنى أنّ هذه الطّاقة التي سلطت على ذرات العناصر أدت إلى اختلاف مواضع الإلكترونات في تلك الذرات [15-16] أي هو انتقال من سوية منخفضة إلى سوية أخرى أعلى منها ويتشخص طيف الإصدار لمجموعة ذرية بمعرفة شدّة وتواتر كلّ خطّ طيفي أو تواتر وشدّات القطاعات للمجموعة وكذلك نجد أنّ شدّة طيف الإصدار يتعلّق بإسكانات السويات المرتفعة [15].



الشكل (II - 22): يوضّح طيف الإصدار (الانبعاث) [17]

و هناك نوعان من طيف الإصدار "الانبعاث" هما: الطيف مستمر والغير مستمر "الطيف المتقطع".

**II - 3 - 3 - 1 - 1 الطيف المستمر:** ويتكون الطيف المستمر من حزمة غير متقطعة من ألوان وأطوال جميع الموجات المرئية، وذلك مثل الطّيف الذي تعطيه غالب المواد الصّلبة عند درجة حرارة عالية "أبيض ساخن"، فلا يمكن تحديد عدم غياب لون الفراغات الداكنة عند تحليل الضّوء بالمطياف، ويمكن استخدام العناصر والمركبات ذات درجات الانصهار العالية كمصادر ملائمة للطيف المستمر.

**II - 3 - 3 - 1 - 2 الطيف المتقطع:** و يتكوّن طيف الإصدار المتقطع (غير المستمر) لمادة من نمط لخطوط

مضيئة على أرضية داكنة و يُسمّى بخطّ الطّيف المرئي للطيف الخطية [16-18].

## II - 3-3-2 طيف الإمتصاص

تعطي معظم المواد الصلبة إذا سخنت إلى درجة حرارة عالية جدًا لهبة بيضاء ساخنة، وينطلق منها إشعاع طول موجته مساوي لطول موجة الضوء المرئي، يشكل هذا الإشعاع عادة طيفًا مستمرًا فلا يشكل مناطق مظلمة وبعبارة أخرى فإن كل مادة تمتص موجات ذات أطوال معينة خاصة بها إما الشكل الناتج للطيف بعد نفوذه فلا يبقى مستمرًا إذ يتألف من خطوط لذلك يسمّى بطيف الامتصاص [16-18] وهو كذلك بعبارة أخرى انتقال من مستوى طاقتي أعلى إلى مستوى أقل منه في الطاقة و بتشخيص طيف الامتصاص لمجموعة ذرية بمعرفة شدة و تواتر كل خطّ طيفي نجد أنّ شدة طيف الامتصاص يتعلق بإسكانات السويات المنخفضة [15].



الشكل (II - 23): يوضح طيف الامتصاص [17]

## II - 3-4- تعريضا و أشكال الخطوط

تمّ تطوير و استعمال عدّة تقنيات بنجاح من أجل تحديد عوامل مختلف الأوساط (غاز، بلازما،...)، إنّ الطّرق النظرية هي التقنيات الأكثر استعمالا عمومًا، ومن بين هذه الطّرق نجد طريقة مطيافية الإصدار والامتصاص.

عند إصدار أو امتصاص الإشعاعات، تكون الأشعة الطيفية ليست رقيقة جدًا، لكنّها تمثّل بعض العرض وبعض المقاطع، وهي تمثّل توزيعات الإشعاعات  $I(v)$  أو  $I(w)$  حول تردد مركزي  $\theta_0$  أو  $\omega_0$  ومطيافية الإصدار الذري هي طريقة توافق جدًا تشخيص الغازات والبلازما [19].

## II - 3 - 4 - 1 دراسة بعض أسباب تعريضات الخطوط الطيفية

أسباب تعريضات الخطوط الطيفية المنبعثة من المرسل كثيرة، نذكر منها:

- التعريض بواسطة الإشعاع: التعريض الطبيعي.
- التعريض بواسطة فعل دوبلر.
- التعريض بواسطة التصادم.

## II - 3 - 4 - 1 - 1 التعريض الطبيعي

كلاسيكيا: سببه يكمن في كبح حركة الإلكترون المهتز الذي يفقد طاقته عند الإشعاع.

كميًّا: تعريض المستويات سببه يتعلق بمدة حياة محدودة للمستويات الذرية، حيث أننا لا نستطيع تحديد الزمن والطاقة في آن واحد (مبدأ الارتياب لهيزنبرغ).

$$\Delta E_j = \frac{h}{\tau_j} \dots\dots\dots (1- II)$$

الذرات تستطيع أن تؤثر على الانتقال من الحالة (a) إلى الحالة المثارة (b) بطاقة منخفضة، الحالة (a) لا يمكن اعتبارها حالة مستقرة والخطوط الطيفية غير متناهية الدقة لكن لديها توزيع لتواترها، واحتمال العثور على ذرة تصدر في الحالة j تعطى بالعلاقة [21-20]:

$$p_j = \Psi_j(r, t) \times \Psi_j(r, t) \times \exp(-\gamma t) \dots\dots\dots (2- II)$$

$\Psi_j(r, t)$  دالة الموجة التي تصف حالة الذرة عند الحالة المثارة j.

$\gamma$ : يمثل معدل الانبعاث.

الدالة  $\Psi_j(r, t)$  يمكن التعبير عنها بجزأين أحدهما موضعي والآخر زمني على النحو التالي:

$$\Psi_j(r, t) = U(r) \times \exp\left(\frac{-iE_j t}{\hbar}\right) \dots\dots\dots (3- II)$$

حيث  $E_j$ : طاقة الدّرة عند الإصدار في الحالة  $j$ .

بفرض أنّ الاهتزاز يبدأ عند  $t=0$  وتوزيع الطّاقة يعطى بالعلاقة التّالية:

$$E(\omega) = \frac{1}{2\pi} f^*(\omega) f(\omega) \dots\dots\dots (4- II)$$

$$f(\omega) = A \int_0^{+\infty} e^{-i(\omega-\omega_0)t} \frac{\gamma t}{2} dt \dots\dots\dots (5- II)$$

$\omega_0$ : التواتر الطبيعي للمشع.

$$E(\omega) = \frac{1}{2\pi} \frac{A^2}{(\omega-\omega_0)^2 + \frac{\gamma^2}{4}} \dots\dots\dots (6- II)$$

شدة الإشعاع اللورنتزية تأخذ الشكل:

$$I(\omega) = \frac{\gamma}{2\pi} \frac{1}{(\omega-\omega_0)^2 + \frac{\gamma^2}{4}} \dots\dots\dots (7- II)$$

عرض نصف الخطوط يعطى بالمعادلة

$$(I\omega_1) = (I\omega_2) = \frac{I(\omega_0)}{2} \dots\dots\dots (8- II)$$

### II - 3 - 4 - 1 - 2 تعريف دوبرير

أصل فعل دوبرير هو حركة الذرات والأيونات المرسلّة (تحرك ذرات المصدر). وهو أوّل وصف دقيق قدّمه رايلي 1889م، حيث لاحظ ذرات المصدر تتحرك بسرعة  $v$  اتجاه يصنع زاوية  $\theta$  مع الاتجاه الملاحظ، ويسجل تواتر  $\omega$ . وتعطى عبارته كالتالي:

$$\omega = \omega_0 \left( 1 - \frac{v}{c} \cos \theta \right) \dots\dots\dots (9- II)$$

حيث:  $\omega_0$  التواتر المتعلق بالمصدر.

C: سرعة الضوء في الفراغ.

من خلال العلاقة (9- II) نحصل على:

$$\frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} = \frac{\Delta\omega}{\omega_0} = \frac{v}{c} \cos\theta = \frac{v_x}{c} \dots\dots\dots (10- II)$$

إذا كان الوسط يتميِّز بدرجة حرارة T وبفرض دالة توزيع السرعة لماكسويل نكتبها من الشكل:

$$W(v_x) dv_x = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp\left(\frac{v_x^2}{v_0^2}\right) \frac{dv_x}{v_0} \dots\dots\dots (11- II)$$

$$\frac{1}{2} m v_0^2 = kT \quad \text{حيث } v_0 \text{ نعرفها بالعلاقة:}$$

m: كتلة ذرات المصدر.

K: ثابت بولتزمان.

بوضع  $\Delta\omega_D = \frac{v_0}{c}$  توزيع الشدة في خطوط الطيف من الانتقال  $j \rightarrow i$  ، فنحصل على شكل دوبلر الغاوسي

وعبارته تأخذ الشكل التالي [26]:

$$I(\omega) d\omega = w \left( c \frac{\Delta\omega}{\omega_D} \right) d\omega \frac{1}{\sqrt{\pi}} \left[ - \left( c \frac{\Delta\omega}{\Delta\omega_D} \right)^2 \right] d\omega \dots\dots\dots (12- II)$$

$I(\omega)$ : توزيع غوصيان لتواتر  $\omega$

## II - 3 - 4 - 1 - 3 تعريض التصادمات

إنّ السبب الأساسي لتعريض خطوط الطيف هو الاضطراب الناجم عن الذرات وذلك بمختلف جزيئاتها المشحونة والغير مشحونة، وفي هذه الحالة يحدث التعريض بواسطة التصادم يمكن تقسيمه إلى ثلاث فئات:

**II - 3 - 4 - 1 - 3 - 1 التعريض بالرنين:** ويكون ذلك بواسطة اضطراب الجزيئات الغير مشحونة (تفاعل ثنائي الأقطاب، ثنائي الأقطاب).

**II - 3 - 4 - 1 - 3 - 2 تعريض فاندرفالز:** ويكون ذلك بواسطة اضطراب الجزيئات الغير مشحونة مع مختلف أنواع ذرات المصدر. (تفاعل ذرة من نوع A. ذرة من نوع B).

**II - 3 - 4 - 1 - 3 - 3 تعريض ستارك:** سببه تفاعل الجسيمات المشحونة (أيونات، إلكترونات) مع ذرات المصدر. ويتم التعبير عن هذا التفاعل بواسطة تأثير حقل ضعيف أيوني و إلكتروني مع ذرات المصدر. الحقل E يعمل على اضطراب مستويات الطاقة الذرية لتصل إلى أدنى المستويات، هذا الطرح يعمل على تحلل مستويات الطاقة الذرية إلى عدّة مستويات [19-22].

$$\delta_S[A^\circ] = 2w\left(\frac{n_e}{10^{16}}\right) + 3.5A \left(\frac{n_e}{10^{16}}\right)^{1/4} \left[1 - BN_D^{\frac{1}{3}}\right] 2W\left(\frac{n_e}{10^{16}}\right) \dots\dots\dots (13- II)$$

وإذا كان الوسط ذو ضغط منخفض نسبياً فإنّ الطيف يأخذ الشكل اللورانتزي [19].

## II - 3 - 5 الطرق المستعملة لتحليل الأطياف

### II - 3 - 5 - 1 شدة الخطوط الطيفية

#### II - 3 - 5 - 1 - 1 شدة الخطوط الطيفية الذرية

و تتميز الخطوط الطيفية ليس فقط من جانب الترددات المنقولة ولكن أيضا من الشدة التي بها، وشدة الخط الطيفي الموافقة للانتقال من المستوى الأولي إلى المستوى النهائي، وتعطى من قبل القانون الكلاسيكي (1):

$$I_{if} = N_i A_{if} h \nu_{if} = N_i A_{if} h \frac{c}{\lambda_{if}} \dots\dots\dots (14- II)$$

$$N_i = \frac{N g_i}{B(T)} \exp\left(\frac{-E_i}{K_B T}\right) \dots\dots\dots (15-II) \quad B(T) = \sum_i g_i \exp\left(\frac{-E_i}{K_B T}\right) \dots\dots\dots (16- II)$$

حيث  $A_{if}$ : احتمال انتقال (معامل أينشتاين).

$\nu_{if}$ : نبض هذا التحوّل (تردد).

$N_i$ : عدد الذرات المثارة في وحدة حجم.

$h$ : ثابت بلانك.

$B(T)$ : دالة التوزيع.

$I_{if}$ : الشدة ويعبر عنها بـ  $(W/m^3)$ .

### II - 3 - 5 - 1 - 2 شدة الخطوط الطيفية الجزيئية

في حين الانتقال من حالة تتميز بأعداد الكم  $(n', v', j')$  إلى حالة تتميز بأعداد الكم  $(n'', v'', j'')$ ، وشدة الخطوط الطيفية المنبعثة خلال هذه المرحلة الانتقالية هي الطاقة المنبعثة في وحدة الزمن  $\pi^4$  استراديانو تعطى المعادلة بـ:

$$I_{n'',v'',j''}^{n',v',j'} = h\nu_{n'',v'',j''}^{n',v',j'} A_{n'',v'',j''}^{n',v',j'} N(n', v', j') \dots\dots\dots (17- II)$$

حيث  $h$ : ثابت بلانك.

$N(n', v', j')$ : كثافة المرسل ( $m^{-3}$ ).

$A_{n'',v'',j''}^{n',v',j'}$ : احتمالية الانتقال ( $s^{-1}$ ).

$\nu_{n'',v'',j''}^{n',v',j'}$ : عدد الموجي للانتقال من  $(n', v', j')$  إلى  $(n'', v'', j'')$  بـ: ( $cm^{-1}$ ).

$I_{n'',v'',j''}^{n',v',j'}$ : الشدة ويعبر عنها بـ: ( $W/m^3$ ).

## الباب الثاني

### الدراسة التجريبية

## الفصل الثالث

الفصل الثالث: تقنية الليدار و التحليل الطيفي لعينة من الهواء

## III - 1 مقدمة

ستنطلق في هذا الفصل إلى تقنية الليدار وطريقة عملها والتعرف أيضاً عن مميزاتها وكذلك سوف نقوم بشرح عملنا وهو المقارنة بين النتائج التجريبية والنظرية لعينة من الهواء ولقد اخترنا الغازات التالية (النيتروجين  $N_2$ ، والأكسجين  $O_2$ ، و بخار الماء  $H_2O$ ) وذلك انطلاقاً من تحضير قاعدة المعطيات الجزئية لها، ونقوم بكتابة وتنفيذ البرنامج الرقمي بلغة الفورترن وحساب الأطياف النظرية ورسمها ويتم مقارنتها مع الأطياف التجريبية.

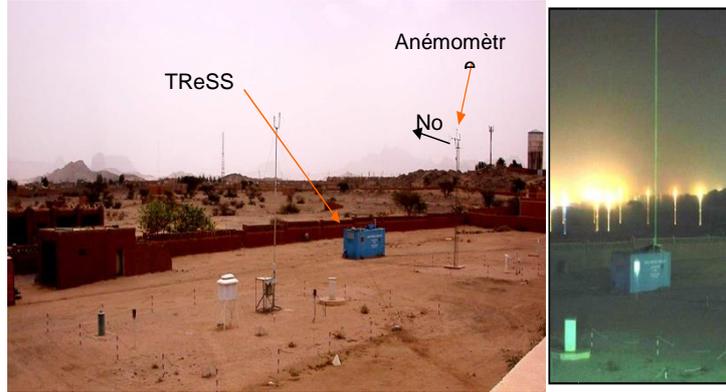
## III - 2 تقنية الليدار LIDAR

تم تطوير العديد من تقنيات الاستشعار عن بعد لتسهيل معرفة مركبات الغلاف الجوي. حيث تعتبر تقنية الليزر الجوي المحمول أحدث تقنية مستخدمة في هذا المجال وقد حققت انتشاراً واسعاً. وتعمل هذه التقنية على مسح الغلاف الجوي.

## III - 1-2 تعريف الليدار LIDAR

الليدار LIDAR أو ما يسمى أحياناً LADAR أو Laser Altimetry وهو اختصار لـ Light Detection And Ranging فهو مستشعر فعّال Active sensor يسمح بتحديد موقع وبعد هدف معين بالنسبة للمرسل وذلك عبر قياس زمن انتشار الشعاع الضوئي باتجاه هذا الهدف ذهاباً وإياباً حيث ينتج عن ضرب هذه القيمة المقاسة بسرعة انتشار الضوء حساب المسافة range بين المرسل والهدف. يتم استخدام الليدار في قياس المسافات واستشعار وتحديد موقع مكونات الأوساط التي يمر بها الإشعاع.

أو بعبارة أخرى الليدار (LIDAR) وهو تحديد المدى عن طريق الضوء أو الليزر وهي تكنولوجيا استشعار عن بعد مرئية باستخدام نبضات من الضوء، عادة ما تكون أشعة ليزر ويتم عن طريقها حساب المسافات أو خصائص الأهداف المرصودة [22].



الشكل (III - 1): الليدار [23]

### III - 2- 2 مبدأ عمل الليدار LIDAR

بوجهٍ عام، يقوم مبدأ الليدار، كما في الشكل (III - 2)، على إرسال نبضة ليزرية قصيرة الأمد طاقتها  $P_0(\lambda)$  في اللحظة  $t=0$ . عبر الغلاف الجوي من خلال تليسكوب. فيتبعثر جزء صغير منها راجعاً، من خلال التليسكوب نفسه، إلى مجموعة الكشف التي تسجل إشارة شدتها  $S(\lambda, t)$ ، تقاس بمقدرة فصل طيفية وزمنية عالية. تتعلق هذه الإشارة في اللحظة  $t_1 = 2R/C$ ، بالتبعثر على الجسيمات الواقعة على مسافة  $R$ ، فإذا سمح الكاشف بمرور الإشارة الراجعة خلال مجال زمني:

$$t_1 \pm \frac{1}{2} \Delta t$$

عندئذ تعطى شدة الإشارة المقاسة المكاملة زمنياً كما يأتي :

$$S(\lambda, t_1) = \int_{t_1 - \frac{1}{2}\Delta t}^{t_1 + \frac{1}{2}\Delta t} S(\lambda, t) dt$$

تناسب هذه الإشارة المقاسة المكاملة زمنياً مع طاقة شدة الضوء المتبعثر على الجسيمات الواقعة ضمن مسافة تساوي.

$$R \pm \frac{1}{2} \Delta R = \frac{1}{2} C (t_1 \pm \frac{1}{2} \Delta t)$$

تتعلق شدة الإشارة المسجلة  $S(\lambda, t)$  بتوهين النبضة الأصلية المرسلية  $P_0(\lambda)$ ، وأيضاً بطريقها ذهاباً وإياباً وبالزاوية الجسمة  $d\Omega = D^2/R^2$  التي يغطيها التليسكوب ذو القطر  $D$  والفتحة الدائرية  $A = \pi(D/2)^2$ . إلى جانب ذلك تتعلق هذه الشدة بتركيز الجسيمات المبعثرة  $N$ . والمقطع الفعال للتبعثر الراجع  $\sigma^{scatt}$ ، وفق العلاقة:

$$S(\lambda, t) = P_0(\lambda) e^{-2a(\lambda)R} N \sigma^{scatt}(\lambda) D^2 / R^2$$

إن المقدار الهام في هذه العامل  $\exp[-2a(\lambda)R]$  لأنه يعطي المعلومات الضرورية عن الأنواع الماصة، لاحتوائه على معامل التوهين المعطى بالعلاقة الآتية:

$$a(\lambda) = \alpha(\lambda) + \sum_k N_k \sigma_k^{scatt}$$

حيث  $\alpha(\lambda)$ : معامل الامتصاص، ويساوي جداء كثافة الجزيئات الماصة بالمقطع الفعال للامتصاص.  $(\alpha(\lambda) = N_i \sigma_i^{abs})$ . أما الحد الثاني، فيعبر عن معامل تبعثر الضوء على جميع الجسيمات الموجودة في الغلاف الجوي [25].

### III - 2-3 أنواع الليدار LIDAR

وجود أربعة أنواع من جهاز الليدار [23]:

#### III - 2-3-1 ليدار تباين امتصاص الضوء (تفاضلي)

وهو يستخدم لقياس درجة التشبع الكيميائية (مثل الأوزون وبخار الماء والشوائب في الهواء). و يستخدم الليدار موجتين ضوئيتين مختلفتين في طول الموجة يتم اختيارهم حسب المادة المراد قياس درجة التشبع لها يتم امتصاص

أحد الموجتين الضوئيتين بواسطة هذه المادة ولا يتم امتصاص الموجة الأخرى بل يرتد جزء منها، يقوم الجهاز بتحليل الفرق في الكثافة الضوئية بين الموجتين المرتدتين ويحتسب درجة التشبع للمادة المراد اختبارها.

### III - 2 - 3 - 2 ليدار دوبلر

وهو يستخدم لقياس سرعة الأجسام المتحركة سواء الصلبة أو الغازية مثل الرياح والعواصف. عندما يسقط الضوء على جسم يتحرك في اتجاه الليدار سواء بالاقتراب أو الابتعاد فيمكن تحديد سرعته فعندما يتحرك اقتراباً من الليدار سيستقبل الليدار موجة ضوئية أقل طول موجي من الموجة الأصلية وعندما يتحرك الجسم مبتعداً عن الليدار سيستقبل الليدار موجة ضوئية أكثر طول موجي من الموجة الأصلية و تسمى هذه الخاصية بخاصية تأثير دوبلر.

### III - 2 - 3 - 3 تبعثر مي (Mie)

تبعثر مي (Mie) يعبر عن الجسيمات (الأيروسولات) وتبعثر رايلي عن الجزيئات، حيث يعطي إشارات قوية تلاحظ بوضوح عند دراسة التبعثر الراجع الناجم عن مسح الغلاف الجوي بواسطة الليدار. ولما كانت هذه الإشارات واضحة، كان بالإمكان اعتبارها ناتجة عن هدف طبوغرافي، ذي توزيع مكاني على كامل المسافة. يسيطر تبعثر رايلي عند الأطوال الموجية القصيرة (uv) لتعلقه بالمقدار  $(1/\lambda^4)$ ، أما تبعثر مي فيسيطر عند الأطوال الموجية المرئية، وتحت الحمراء القريبة لتعلقه بالمقدار  $(1/\lambda^n)$ ، حيث  $n \leq 4$ ، لهذا يستخدم تبعثر مي (Mie) المرتد عن الجسيمات لرسم خريطة للتوزيع الاتجاهي لهذه الايروسولات على مساحات واسعة عند استخدام الليدار. تعطى معادلة الليدار العامة، أي شدة الضوء المبعثر الراجع المسجلة كتابع لطول الموجي  $\lambda$  والمسافة كما يأتي:

$$P(\lambda, R) = C W n_b(R) \sigma_b \frac{\Delta R}{R^2} \exp\left[-2 \int_0^R [\sigma(\lambda)N(r) + K_{ext}(r)dr] \right]$$

حيث C: ثابت الجملة، W: طاقة النبضة الليزرية المرسله،  $n_b(R)$ : الكثافة العددية للجسيمات، و  $\sigma_b$  المقطع الفعال للتبعثر الراجع. أما العامل الآسي فيعبر عن توهين الحزمة الليزرية، والأشعة المتبعثرة الراجعة الناتجة عن وجود

جزيئات ماصة تركيزها  $N(r)$ ، والمقطع الفعال لامتصاصها  $\sigma(\lambda)$  وعن وجود الجسيمات الموهنة، حيث معامل التوهين  $k_{ext}(r)$  مستقل عن طول الموجة.

### III - 2 - 3 - 4 ليدار رامان

يستخدم تبعثر رامان ، لإجراء قياسات كمية للمكونات الغازية للغلاف الجوي . وفي هذه الحالة ، تأخذ الثوابت في المعادلة الليدار معنى جديداً. فتصبح الكثافة العددية لجزيئات رامان المبعثرة للضوء،  $n_b(R)$  المقطع الفعال  $\sigma_b$  لرامان . ولما كان تبعثر رامان لا مرن، لذا تبدي الإشارات المسجلة انزياحات رامان المميزة للجزيئات المعتبرة. لكن هذه الإشارات ، تكون اصغر من ناحية الشدة، بمقدار  $10^3$  مرة من تلك الناتجة عن تبعثر رايلي للجزيئات نفسها . لتلاقي إشارات تبعثر رايلي الشديدة، تستخدم مرشحات تداخلية، يوافق مركز عصابة نفوذيتها طول موجة تبعثر رامان، أما خارج هذا المجال، فنفوذيتها معدومة. مع ذلك تبقى إشارة تبعثر رامان ضعيفة، ويمكن زيادة شدتها بزيادة التركيز وتقصير المجال لقياس. لهذا السبب يستخدم ليدار رامان بحالة دراسة المكونات الأساسية للغلاف الجوي  $H_2O$ ،  $N_2$ ،  $O_2$ ، نظراً للأهمية الكبيرة لهذه القياسات في علم الأرصاد الجوية.

- وفي هذا العمل سوف نستخدم ليدار الامتصاص التفاضلي

- مبدأه [24]:

يحتوي الغلاف الجوي الطبيعي بحالة التوازن البيئي، على توزيع منتظم للجسيمات ، تتبعثر عنها النبضات الليزرية المرسله وفقاً لتبعثر مي (Mie). يتغلغل المركب الغازي، في حال وجوده داخل التوزيع المنتظم المفترض للجسيمات مشكلاً أهدافاً طبوغرافية موزعة حجمياً في الغلاف الجوي. لدراسة هذا الغاز يجري اختيار طولين موجيين من ضوء ليزري، الأول  $\lambda_{on}$  يوافق الامتصاص الأعظمي للغاز، أو كما يقال داخل التجاوب، والثاني  $\lambda_{off}$  يقع خارج الامتصاص، أي خارج التجاوب. تتخامد الإشارة المسجلة عند إرسال النبضات الليزرية بطول موجة  $\lambda_{on}$  ، ويزداد هذا التخامد بزيادة تركيز الغاز. أما الإشارة الحاصلة عند إرسال النبضات  $\lambda_{off}$ ، فلا تعاني مثل هذا

التخامد، وتخضع فقط لتخامد بسبب تبعثر مي (Mie) يتناسب مع  $1/R^2$ ، حيث R: البعد عن الليدار، فإنه مهما تبدل حجم الجسيمات المسببة لتبعثر مي (Mie) في الغلاف الجوي، ومهما كان توزيعها غير منتظم، بالنتيجة يمكننا الحصول على منحني لليدار الذي يمثل تركيز الغازات المدروسة كتابع للمسافة وذلك بتطبيق قانون بير-لامبرت ومعرفة المقطع الفعال للامتصاص للغازات المدروسة.

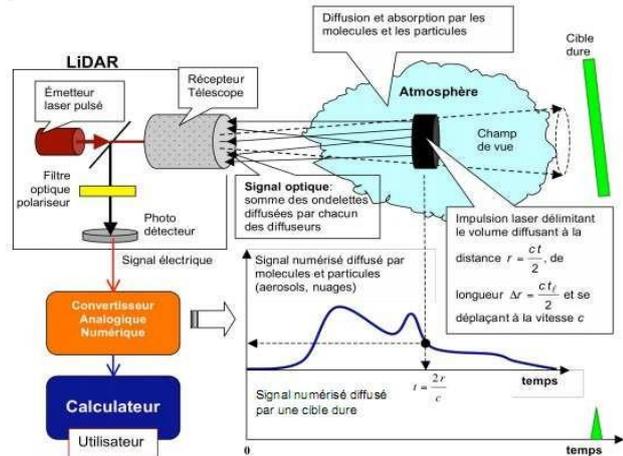
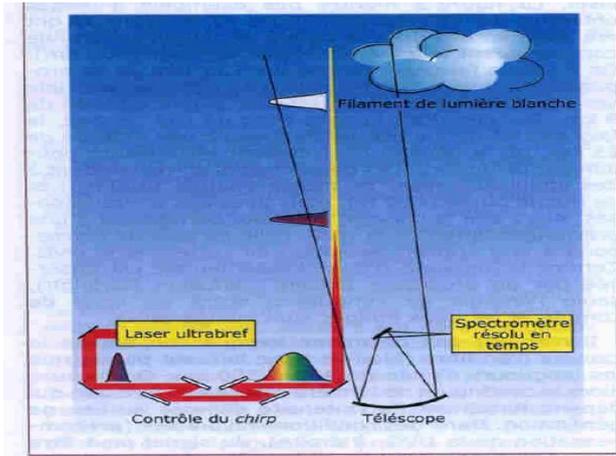
### III - 2 - 4 مميزات تقنية الليدار LIDAR

ومن أهمها مايلي [24]:

- (1) جميع البيانات التي نحصل عليها تكون بصيغة رقمية.
- (2) البيانات التي نحصل عليها مرجعة جغرافيا.
- (3) إمكانية المسح نهارا او ليلا.
- (4) القدرة على مسح مناطق واسعة وبسرعة كبيرة.
- (5) البيانات ذات دقة مكانية عاليا.
- (6) أقل كلفة من طرق المساحة التصويرية التقليدية.
- (7) يمكن الحصول على بيانات للمناطق الواعرة (الجبال) وذات الظلال (مباني).

### III - 3 شرح التجربة

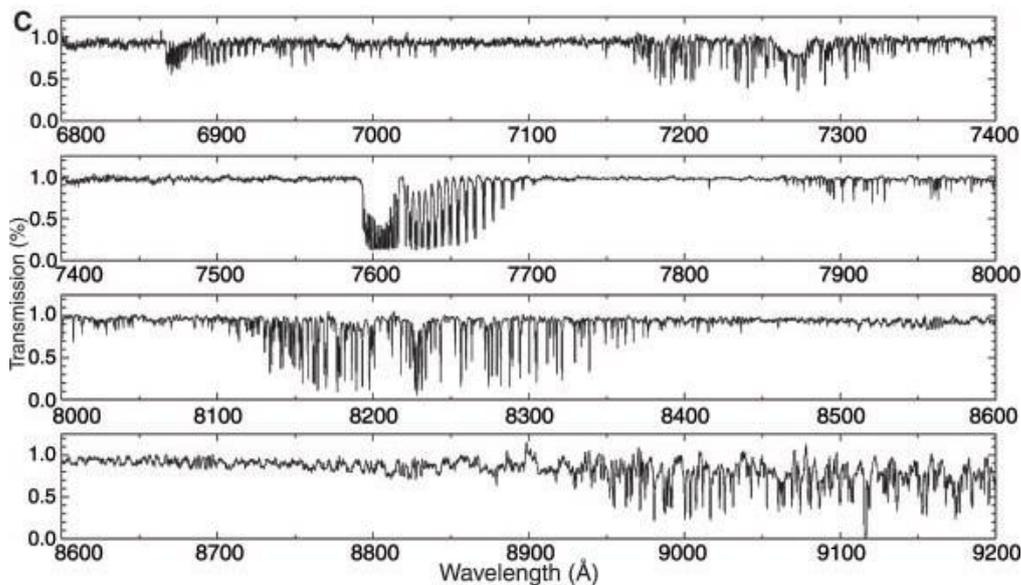
تعتمد هذه التجربة على تحليل الطيفي بواسطة الليزر (LIDAR)، الشكل (III - 2) يوضح تركيب التحريبي للتقنية والتي تحوي بشكل أساسي على مايلي:



الشكل (III - 2): التركيب التجريبي لتحليل عينة من الهواء [26-23]

- مرسل (transmitter): لإرسال الإشارات ناحية الأهداف المرجوة.
- مستقبل (receiver): لاستقبال الإشارات المرتدة من الهدف.
- مستشعرات (antennas): لتقوية وتركيز الإشارات المنبعثة من جهاز الإرسال.
- ملحقات الكترونية وحواسيب: لتحليل البيانات المرسله إليه.
- نظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية (GPS)

حيث أعطت هذه التجربة الإشارة الموضحة بالشكل (III - 3):



الشكل (III - 3): الطيف التجريبي في المجال (680-920) (nm) [26]

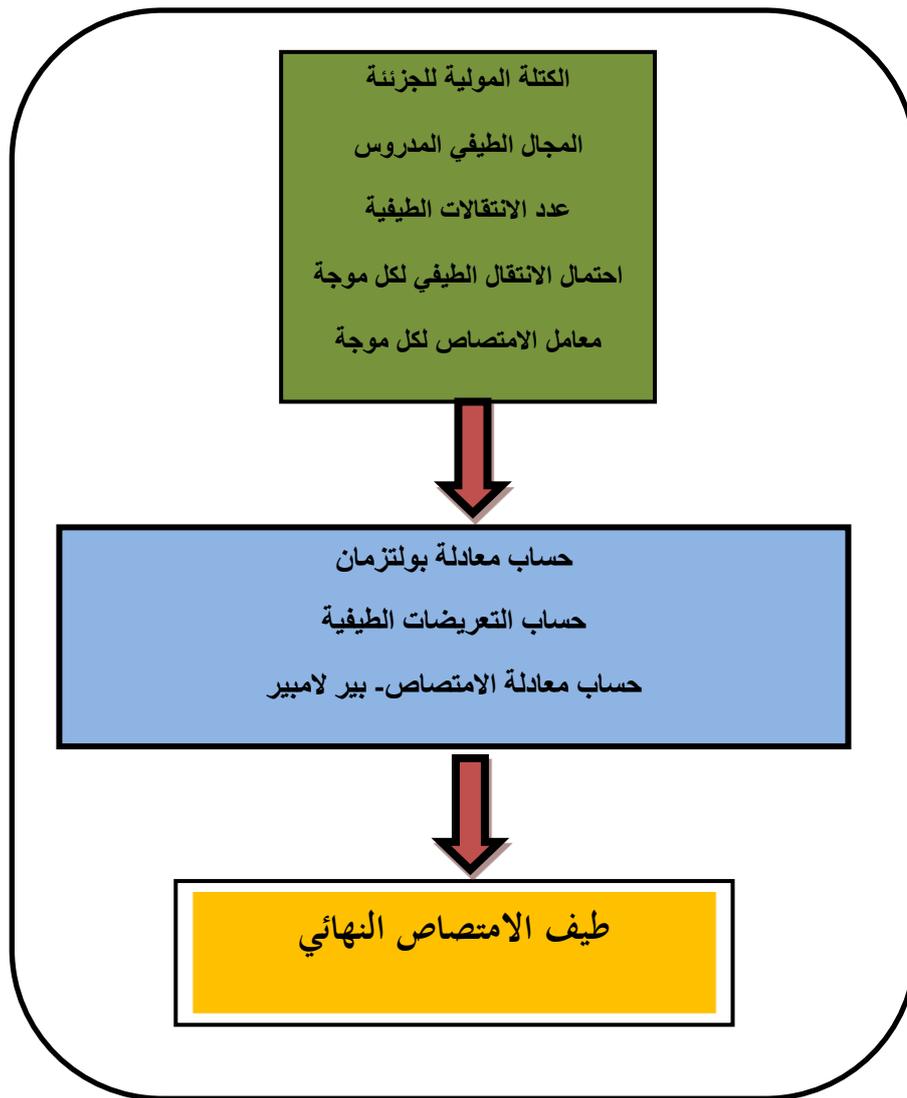
## III - 3 - 1 دراسة الأطياف التجريبية

لدراسة الأطياف التجريبية الناتجة عن عينة من الهواء نقوم برسم أطياف الغازات التالية (الأكسجين  $O_2$ ، النيتروجين  $N_2$ ، الماء (بخار الماء)  $H_2O$ ) وذلك انطلاقاً من قاعدة معطيات الفيزيائية الجزئية من الموقع التالي :

<https://www.cfa.harvard.edu/hitran> [25].

حيث يتم بعد ذلك الخطوات التالية:

- أخذ القيم من الرابط الأعلى للغازات.
- يتم تعديل القيم في ملف لكل قيمة.
- إدخال المعلومات في برنامج الفورترون وإعطاء الأوامر لترتيب القيم في ملف واحد.
- بعد ذلك يتم حساب عدد الإنتقالات في برنامج .
- نقوم برسم الأطياف التجريبية في برنامج الـ Origin6 (البرنامج العددي)

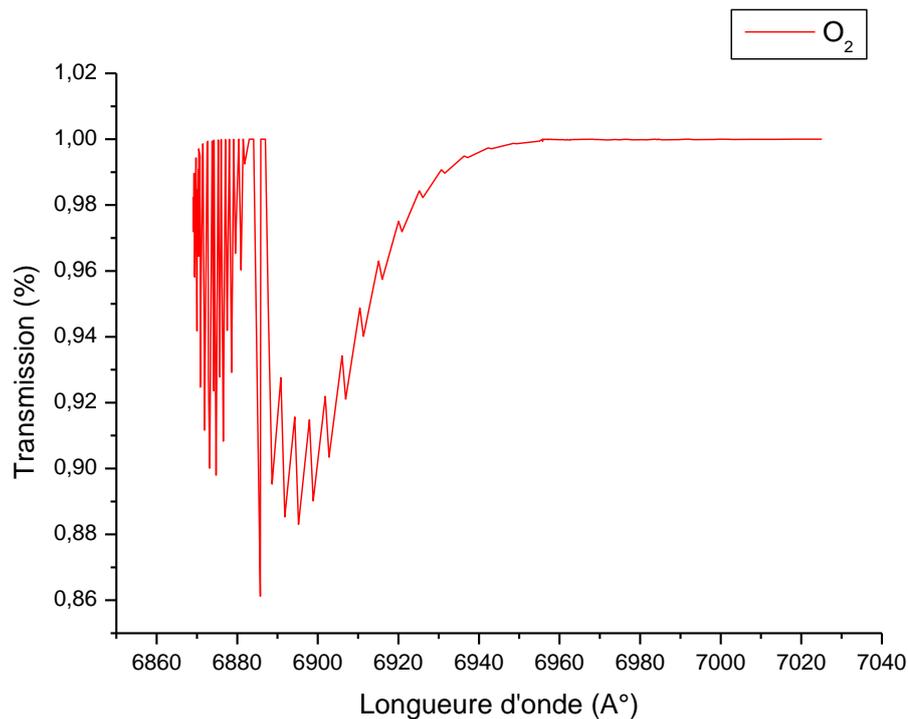


الشكل (III-4): مخطط العمل

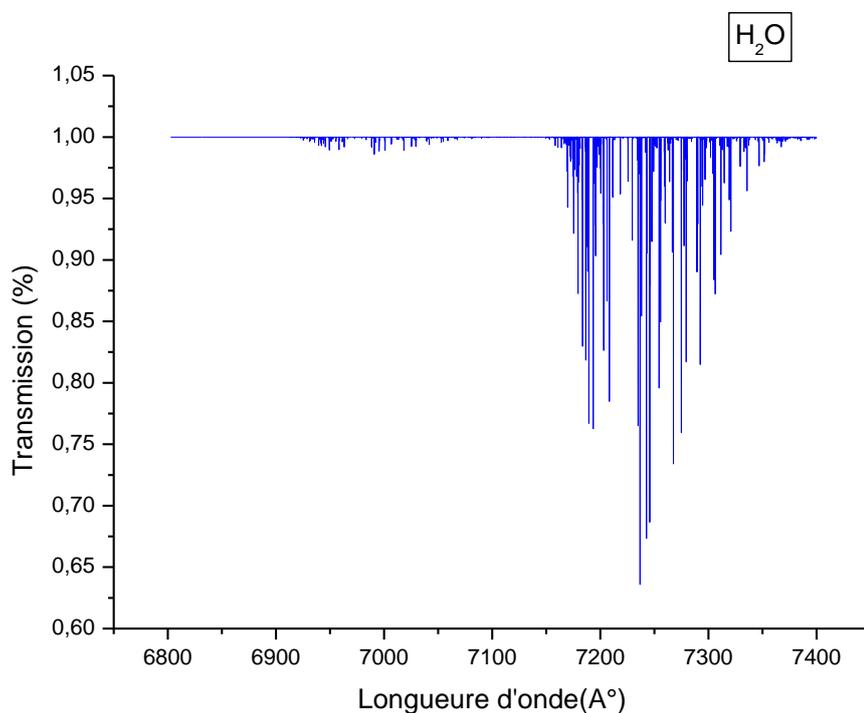
### III - 3 - 2 رسم الأطياف النظرية للغازات

نقوم برسم الأطياف النظرية للغازات ( $H_2O$ ,  $N_2$ ,  $O_2$ )، المتوقع وجودها في العينة بالاعتماد على قاعدة المعطيات

الدولية للفيزياء الجزيئية بفرض أن العينة في توازن ترموديناميكي.



الشكل (III - 5): طيف الامتصاص لعنصر الأوكسجين في المجال (686-704)(nm) [25]



الشكل (III - 6): طيف الامتصاص لعنصر الماء في المجال (680-740)(nm) [25]

### III - 3 - 3 دراسة و مناقشة الإشارة الناتجة

من أجل تحديد العناصر الكيميائية المسؤولة عن امتصاص موضحة بالإشارة انطلاقاً من قاعدة المعطيات الفيزيائية

الجزئية: <https://www.cfa.harvard.edu/hitrans>

حيث أنه لكل عنصر مجال امتصاص محدد وباختيار العناصر المهمة في الوسط، نلاحظ أن  $N_2$  لا يمتص في أي موجة في هذا المجال.

أما بالنسبة لـ  $O_2$  و بخار الماء  $H_2O$  فإننا نستنتج مجال امتصاصهما موضحة في الجدول التالي مرفقة بمعاملات امتصاص:

الجدول (III - 1): تطابق المجالات النظرية للغازات [25]

العنصر	شدة الامتصاص (I)	معامل الامتصاص ( $\mu$ )	طول موجة الامتصاص ( $\lambda$ )
$O_2$	40%	0.14	687
بخار الماء $H_2O$	70%	7.87	727

بالاعتماد على قانون بير-لامبرت (Loi de Beer - Lambert):

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot \rho \cdot x}$$

حيث:

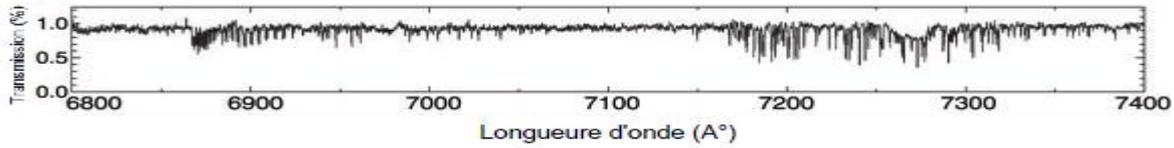
$I, I_0$ : شدة الاشعاع الساقط قبل وبعد عبوره للمادة بالترتيب.

$\mu$ : معامل الامتصاص.

$\rho$ : الكتلة الحجمية للمادة.

$x$ : المسافة المقطوعة للمادة.

سنقصر الدراسة على المجال الطيفي الاول المحصور ما بين 6800 الى 7400 انغستروم، و الإشارة المعنية هي الموضحة بالشكل التالي:



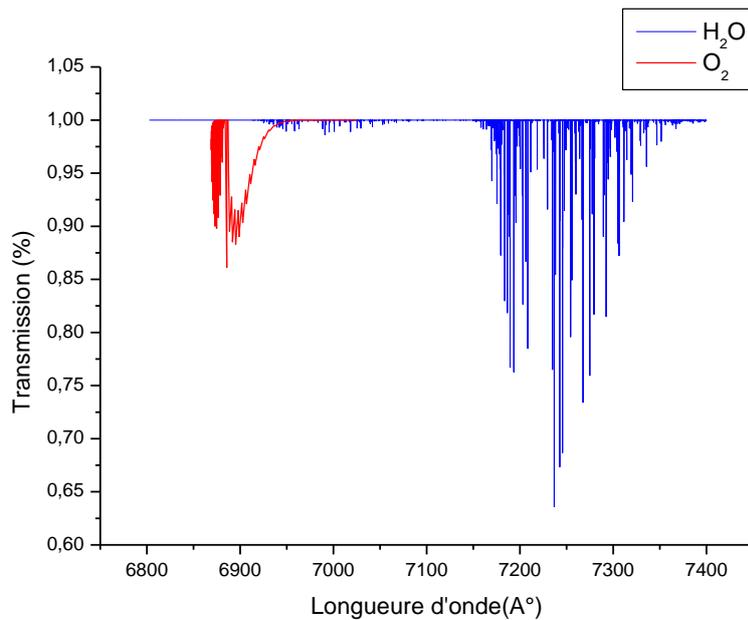
الشكل (III - 7): جزء من الطيف التجريبي في المجال (680-740) (nm) [26]

وحتى تتمكن من معرفة العناصر الكيميائية التي قامت بامتصاص الأشعة الليزرية التي تم إرسالها خلال تجربة ليدار نحتاج الى جلب المعطيات الطيفية الجزيئية للعناصر المتوقع تواجدها بالوسط.

وبعدها وبواسطة برنامج رقمي معد بلغة الفوترون نقوم بحساب طيف الامتصاص للعناصر المختارة حيث يعتمد هذا البرنامج على معادلة بير لامبرت للامتصاص، مخطط البرنامج موضح بالشكل (III - 4).

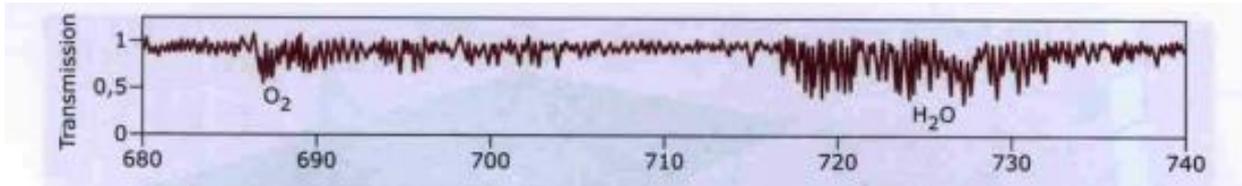
وبادخال المعطيات اللازمة والتي تم تحضيرها بالاعتماد دائما على قاعدة HITRAN نتحصل على اطياف الامتصاص لعنصري الأوكسجين و بخار الماء و الموضحة بالأشكال (الشكل III-5) و (الشكل III-6).

و من خلال تركيب الطيفين كما هو موضح بالشكل (III-8) :



الشكل (III - 8): تداخل طيفي الامتصاص لعنصري الأوكسجين والماء في المجال (740-680) (nm) [25]

و بالمقارنة مع الطيف التجريبي يتضح أنه يجب أن تكون نسبة الأكسجين أكبر من نسبة بخار الماء، حيث بالاعتماد على الطيفين حسب الجدول (III - 1) بعد المعايرة الرقمية نستنتج أنه يجب مزج 1 مول من الأكسجين مقابل 0.245 مول من بخار الماء أي أن لو كانت نسبة الأكسجين في الوسط المدروس 21 % فإن نسبة بخار الماء 5.14 % . وعليه نستنتج أن العناصر الموجودة فعلا هي  $O_2$  و بخار الماء  $H_2O$ .



الشكل (III-9): جزء من الطيف التجريبي في المجال (680-740) (nm) بعد المقارنة بالأطياف النظرية [26]

### III - 3 - 4 الخلاصة

تمكنا خلال هذه العمل من تحليل و تفسير إشارة ليدار LIDAR حيث انطلاقا من برنامج رقمي و بناء على المعطيات الطيفية توصلنا إلى معرفة ان الإشارة تحوي عنصري الأكسجين و بخار الماء. كما تمكنا من معرفة أيضا أن الوسط المدروس يغلب عليه الأكسجين حيث بعد المقارنة الطيفية استنتجنا أن لكل 1 مول من جزيئة الأكسجين يقابلها 0.245 مول من جزيئة بخار الماء. أي أن نسبة غاز الأكسجين 21 % تقابله نسبة 5.14 % من بخار الماء.

الخاتمة العامة

## الخاتمة العامة

في عملنا هذا تمكنا من تحديد بعض مركبات الغلاف الجوي (طبقة التروبوسفير) انطلاقا من دراسة الأطياف الجزيئية إثر تحليل الطبقة بتقنية الليدار، وإتمام دراستنا هذه قمنا بعرض شامل نوعا ما حول الغلاف الجوي (تعريفه، طبقاته،...) و قمنا أيضا بالتعرف على الإستشعار عن بعد (تعرفه، أنواعه،...) و الليزر (تعريفه، أنواعه،...)، كما تم تعريف الأطباق الذرية و التعريضات الممكنة وتم عرض المطيافية المستخدمة في عملنا هذا و المبنية على تقنية " LIDAR "، حيث تم شرح وتوضيح التركيب التحريبي الذي من خلاله تحصلنا على الأطياف التجريبية المتعلقة بعينة الهواء.

وتم التطرق كذلك للطريقة والنموذج المتبع من أجل تشخيص هذه العينة وذلك باعتمادنا على دراسة الأطياف الناتجة، حيث تحصلنا على النتائج بتطبيق المعايرة الرقمية بتطبيق قانون بير لامبرت. وكذلك قمنا أيضا بحساب نسبة تواجد كلا من بخار الماء والأكسجين بالوسط وتحصلنا على 21 % من الأكسجين و 5.14 % من بخار الماء.

ومن أجل نتائج أكثر دقة سنسعى مستقبلا على أخذ بعين الاعتبار جميع مكونات الوسط من أجل تحديد نسبتها في نطاقات مختلفة (كتحديد نسبة الملوثات في الغلاف الجوي).

## المراجع

## باللغة العربية

- [1]: الموقع الإلكتروني [www.elbassair.net](http://www.elbassair.net).
- [2]: م. أ. م. الشيخ، علم التحسس البعيد. 1991، بغداد، دار الكتب والوثائق، ص 10، 3.
- [3]: د. إ. م. ع. بدوي، كتاب الغلاف الجوي. 1430 هـ، ص 2، 8.
- [4]: د. ج. ح. جودة، د. ف. أبوعيانة، كتاب قواعد الجغرافيا العامة. الطبيعية و البشرية. 1989 م، دار المعرفة الجامعية، ص 4، 16.
- [5]: د. أ. د. ندهم، كتاب أساسيات تلوث الهواء. المملكة العربية السعودية الطبعة الرابعة 2012، ص 33، 17.
- [6]: ج. شعوان، الاستشعار عن بعد، المملكة العربية السعودية، المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني، ص 10، 5.
- [7]: د. ج. م. داود، أسس وتطبيقات الاستشعار عن بعد. 2015، النسخة الأولى، الإسكندرية مصر، ص 15، 2.
- [8]: د. ع. م. عبد الحميد، أسس الاستشعار عن بعد. 2008، القاهرة مصر، دار قسم الجغرافيا. كلية الأدب، 4، 22.
- [9]: خ. الصوصو، الاهتزازات والأمواج، دمشق سوريا، كلية العلوم.
- [10]: م. الكوسا، فيزياء الليزر وتطبيقاته، دمشق.
- [11]: ف. ح. الأحمد، ع. ج. الشامي، الليزر وتطبيقاته، سوريا، دار الكتب والوثائق.
- [12]: ي. م. حسن، ص. م. الأتروشي، تقنيات الليزر وإستخداماته، كلية الهندسة جامعة دهوك.

[13]: دورة تدريبية حول محاكاة مونت كارلو لعملية القياس الإشعاعي المطيافي بهدف المعايرة و إصلاح كفاءة القياس، 2015/06/08، تونس.

[14]: Atomic Spectra، م. شتولي، ص. م.

[15]: م. أ. بطل، الفيزياء الذرية والجزيئية.

[16]: س. مليباري، عبد الغني، كيمياء العامة.

[17]: ع. بن. الهزاري، pdfactory.com .//w ww .hett

[24]: ع. ف. الجغمي، الليدار واستخداماته في الكشف عن بعض الملوثات الغازية، مجلة جامعة دمشق للعلوم الأساسية، 2003، العدد الثاني، المجلد 19.

[22]: ح. سليمان، Automation of Earth Surface Extracting From Aerial LIDAR، 2015، جامعة دمشق سوريا.

## باللغة الأجنبية

[18]: F. Khelfaoui : « Cour de Master Physique du rayonnement », 2012 – 2013.

[19]: W. Demtröder, Atoms Molecules and photons, Springer – Verlag, 2006, Berlin Heidelberg.

[20]: M. O. cheibetta, contribution à la théorie d'élargissement des raies Spectralesémise par les plasma: Application la raie Ly- $\alpha$  de l'atome d'hydrogène, Doctorat de 3ème cycle, Université cheikh AntaDiop de Dakar-Sènegal, 2004.

[21]: S. Lemkeddem et F. Khelfaoui ; « spectre de raies d'émission d'une torche plasma en utilisant la technique de l'inversion d'abel », SéminairInternational sur la Physique des Plasmas (SIPP2011), Ouargla, 2011.

[23]: ABDERRAHIM Hamza Apport du sondeur à laser (lidar) dans l'étud de la pollution par les aérosols 15 février 2012 Oran-Algérie.

[25]: <https://www.cfa.harvard.edu/hitrans>, P2,5, .

[26]: J. KASPARIAN, Les lasers femtoseconde : applications atmosphériques : 2004. P.2-5.

## الملخص

إن الهدف الرئيسي لهذا العمل هو دراسة أطياف عينة من الهواء عن طريق الإستشعار عن بعد باستخدام الليزر بتقنية الليدار "LIDAR" وهي التحليل الطيفي بواسطة الليزر، حيث تم تطبيقه على عينة من الهواء والتي تحتوي في الاغلب على الغازات التالية (الأزوت، الأكسجين وبخار الماء... )، من خلال الدراسة النظرية تم تأكيد وجود غاز الأكسجين بنسبة 21% وكذلك حددت نسبة بخار الماء بـ 5.14% تجريبيا.

الكلمات المفتاحية: التروبوسفير، تقنية الليدار، الاستشعار عن بعد، الأطياف الجزيئية.

## Résumé

L'objectif principal de ce travail est d'étude les spectres d'un échantillon d'air à travers la télédétection laser en utilisant le laser par la technique de LIDAR, qui a été appliquée à un échantillon d'air contenant la plupart des gaz suivants: (azote, oxygène et de la vapeur d'eau...). L'étude théorique a confirmé la présence d'oxygène gazeux à 21% et le taux de vapeur d'eau était de 5,14% expérimentalement.

**Mots-clés:** troposphère, technologie lidar, télédétection, les spectres moléculaires.

## Abstract

The main objective of this work is to study the spectra of a sample of air through laser remote sensing using laser by LIDAR Technical, which was applied to a sample of air which contains most of the following gases (nitrogen, oxygen and water vapor...). The theoretical study confirmed the presence of oxygen gaseous 21% and the water vapor ratio was 5.14% experimentally.

**Keywords:** troposphere, lidar technology, remote sensing, molecular spectra.