

جامعة قاصدي مرباح ورقلة  
كلية الرياضيات وعلوم المادة  
قسم الفيزياء

رقم الترتيب : .....

الرقم التسلسلي: .....



مذكرة  
ماستر أكاديمي  
مجال: علوم المادة  
فرع: فيزياء

التخصص: فيزياء الإشعاعات، كاشف و بصريات الكترونية

من إعداد الطالبة: قلمان شهيناز

بعنوان :

تحديد تركيب عينة من صخور كوكب المريخ إنطلاقا من دراسة الأطياف  
الناجمة عن بلازما تسامي بالليزر (تقنية LIBS)

نوقشت يوم 23 / 05 / 2016.

أمام لجنة المناقشة المكونة من الأساتذة:

عمر بن طويلة	استاذ محاضر ب	جامعة ورقلة	رئيسا
جعفر محجوبي برزخ	استاذة مساعد أ	جامعة ورقلة	مناقشا
بن مبروك لزهر	استاذ محاضر ب	جامعة ورقلة	مشرفا

الموسم الجامعي 2015 / 2016

# الأمم المتحدة

إلى أعلى ما نملك في الوجود شموع الدرب ونور الحياة أبويا الكريمين أمي  
و أبي حفصهما الله و أطال في عمرهما إن شاء الله.

إلى أجمل هدية وهبها الله لي إخواني وأخواني الأعزاء كل واحد باسمه،  
إلى زوج أختي و أبناءهما، إلى زوجة أخي وأبناءهما، إلى كل الأهل و  
الأقارب دون إستثناء إلى كل الأصدقاء و الأحبة التي جمعنا بهم الحياة  
الجامعية و العملية خاصة طلبة تخصص فيزياء الإشعاعات كاشف و  
بصريان إلكترونية دفعة 2016.

إلى من سعى جاهداً من أجل حمل راية العلم عالياً، إلى هؤلاء أهدي  
ثمرة مجهودي هذا.

# شكر وعرفان

الشكر أولاً و أخيراً إلى الله عزوجل الذي كان خير عون لي في هذا البحث  
فوقفت بفضلله إلى تقديمه على هذه الصورة.  
كما أقدم بخالص الشكر و الامنتان إلى كل من الأسناذ  
"الأزهر بن مبروك" على  
قبوله الإشراف على هذه المذكرة و اقتراحاته  
و نصائحه أثناء التحضير للمذكرة و  
الأسناذ "خلفاوي فنجي" الذي ساهم بالتوجيه في هذا العمل.  
كما تخص بالذكر جميع أسانذة قسم الفيزياء  
و بالخصوص الأسناذ "عمر بن طويلة" على قبوله ترأس لجنة المناقشة،  
و الأسناذ "جعفر محجوبي برزخ" على قراءة و  
مناقشة هذه المذكرة و أتمنى أن يفيدوني بأرائهم القيمة و البناءة.  
و نتوجه بجزيل الشكر للمشرفين  
على مخبر فيزياء الإشعاع و البلازما و فيزياء  
السطوح LRPPS بقسم  
علوم امادة جامعة قاصدي مرباخ ورقلة.

## الفهرس

### الفصل الأول: عموميات حول البلازما و الأطياف

أ	مقدمة عامة.....
03	<b>I- البلازما</b> .....
03	<b>I-1-لحة تاريخية</b> .....
04	<b>I-1- أهم خصائص البلازما</b> .....
04	<b>I-1-1- التوصيل الكهربائي</b> .....
04	<b>I-2-1- I</b> التعادل الكهربائي في البلازما.....
04	<b>I-3-1- I</b> تردد البلازما.....
04	<b>I-3-1- I</b> التردد الأيوني للبلازما.....
05	<b>I-2-3- I</b> التردد الإلكتروني للبلازما.....
05	<b>I-3-1- I</b> بعض المقادير المهمة في البلازما.....
05	<b>I-3-1- I</b> درجة تأين الغاز.....
06	<b>I-2-3-1- I</b> درجة حرارة الإلكترونات و الأيونات.....

06	..... <b>3-3-1-I</b> كثافة الجسيمات و دوال التوزيع.
07	..... <b>4-3-1-I</b> نصف قطر ديبي.
08	..... <b>5-3-1-I</b> معامل البلازما ( $\eta$ ).
08	..... <b>4-1-I</b> القوانين الإحصائية لتوازن الترموديناميكي.
09	..... <b>1-4-1-I</b> توزيع ماكسويل بولتزمان.
09	..... <b>2-4-1-I</b> قانون بولتزمان.
09	..... <b>3-4-1-I</b> قانون ساها – أغريت <b>saha – eggert</b> .
10	..... <b>4-4-1-I</b> قانون بلانك.
10	..... <b>5-4-1-I</b> قانون دالتون.
10	..... <b>6-4-1-I</b> قانون الحياد الكهربائي.
11	..... <b>5-1-I</b> نماذج التوازن في البلازما.
11	..... <b>1-5-1-I</b> التوازن الحراري الكلي.
12	..... <b>2-5-1-I</b> التوازن الحراري المحلي.
12	..... <b>3-5-1-I</b> التوازن الحراري الجزئي المحلي.
13	..... <b>4-5-1-I</b> التوازن الإشعاعي.
13	..... <b>5-5-1-I</b> البلازما الغير متوازنة.
13	..... <b>2-I</b> الأطياف.
14	..... <b>1-2-I</b> تعريف الأطياف.
14	..... <b>2-2-I</b> أنواع الأطياف.

14	..... I-2-2-1 طيف الإصدار
15	..... I-2-2-2-I طيف الامتصاص
15	..... I-3-2-1- التعريضات و أشكال الخطوط في البلازما
16	..... I-4-2-1-دراسة بعض أسباب تعريضات الخطوط الطيفية
16	..... I-1-4-2-1-التعريض الطبيعي
17	..... I-2-4-2-1- تعريض دوبلر
18	..... I-3-4-2-1-تعريض بالتصادم
18	..... I-5-2-1- شكل الخط
19	..... I-1-5-2-1- شكل غوص
19	..... I-2-5-2-1- شكل لورنتز
19	..... I-3-5-2-1- شكل فويت
19	..... I-4-5-2-1-الشكل المركب
20	..... I-2- الطرق المستعملة لتحليل الأطياف
20	..... I-1-2-1-شدة الخطوط الطيفية
20	..... I-1-1-2-1- شدة الخطوط الطيفية الذرية
20	..... I-2-1-2-1-شدة الخطوط الطيفية الجزئية
21	..... I-3-1-2-1-تحديد درجة حرارة الإلكترونات
21	..... I-1-3-1-2-1- نسبة الشدة بين الخطين
22	..... I-2-3-2-1- طريقة الرسم التخطيطي لبولترمان

## الفصل الثاني: عموميات حول الليزر و تقنية LIBS و الصخور

23	.....II-الليزر
23	.....II-1-تعريف الليزر
23	.....II-2-1-خصائص أشعة الليزر
23	.....II-1-2-1-أحادي اللون <b>Monochromatic</b>
24	.....II-2-2-1-توازن الحزمة الضوئية <b>collimation</b> أو الاتجاهية <b>Directionality</b>
24	.....II-3-2-1-الترابط <b>coherece</b>
24	.....II-4-2-1-الشدة الضوئية <b>Light Lntensity</b>
	II-3-1-شروط الانبعاث الليزري
25	.....II-1-3-1-الانبعاث المستحث (المحفز) <b>Stimulated Emission</b>
26	.....II-2-3-1-التعداد المعكوس <b>population Inversion</b>
26	.....II-3-3-1-التكبير الضوئي <b>Light Amplification</b>
26	.....II-4-1-مكونات جهاز إنتاج الليزر
27	.....II-1-4-1-المادة الفعالة <b>(Active Material)</b>
27	.....II-2-4-1-المرآتان <b>(Mirror)</b>
27	.....II-3-4-1-عملية الضخ <b>(Pumping)</b>
28	.....II-5-1-أنواع الليزر
28	.....II-1-5-1-ليزر العوازل المطعمة (الليزر الصلب)
28	.....II-2-5-1-ليزر أشباه الموصلات

28	..... ليزر الغازات. <b>3-5-1-II</b>
29	..... ليزر السائل ( ليزرات الصبغة )..... <b>4-5-1-II</b>
29	..... استخدامات الليزر..... <b>6-1-II</b>
30	..... تقنية LIBS <b>2-II</b>
30	..... تقنية التحليل الطيفي المستحث بواسطة الليزر..... <b>1-2-II</b>
31	..... فكرة عمل تقنية LIBS <b>2-2-II</b>
32	..... بعض مميزات هذه التقنية..... <b>3-2-II</b>
32	..... بعض التطبيقات تقنية LIBS <b>4-2-II</b>
32	..... البيولوجيا..... <b>1-4-2-II</b>
33	..... البيئة..... <b>2-4-2-II</b>
33	..... الأمن المدني، العسكري، التزوير..... <b>3-4-2-II</b>
33	..... تعريف الصخور..... <b>5-2-II</b>
34	..... تصنيف الصخور..... <b>1-5-2-II</b>
35	..... بعض أنواع الأسطح لكوكب المريخ..... <b>2-5-2-II</b>
<b>الفصل الثالث: التجربة والحسابات العددية، النتائج و المناقشة</b>	
38	..... مقدمة.....
38	..... التجربة..... <b>1-III</b>
39	..... مبدأ عمل تقنية LIBS <b>1-1-III</b>
39	..... نوع الليزر المستعمل في LIBS <b>1-1-1-III</b>



39	..... <b>III-1-1-2</b> -تأثير طول الموجة.....
40	..... <b>III-1-1-3</b> - مبدأ تشكل البلازما.....
40	..... <b>III-1-1-4</b> -الطيف الناتج (التجريبي).....
41	..... <b>III-2</b> - دراسة تركيب عينة صخور كوكب المريخ.....
42	..... <b>III-2-1</b> - حساب شكل الخط الطيفي.....
42	..... <b>III-2-2</b> - شرح البرنامج.....
44	..... <b>III-2-2-1</b> - قاعدة المعطيات الذرية.....
44	..... <b>III-2-2-2</b> - إدخال المعطيات في البرنامج.....
45	..... <b>III-2-3</b> -الأطياف النظرية.....
49	..... <b>III-2-4</b> -تحديد العناصر المكونة لعينة صخور المريخ.....
51	..... <b>III-2-5</b> - حساب نسبة تواجد كل عنصر.....
52	..... <b>III-2-5-1</b> -حساب دالة التوزيع $B(T)$ لكل عنصر.....
54	..... <b>III-2-5-2</b> -حساب كثافة كل عنصر.....
54	..... <b>III-2-5-3</b> حساب نسبة تواجد كل عنصر في صخور المريخ.....
55	..... <b>III-2-6</b> - المناقشة.....
56	.....الخلاصة العامة.....
	الملحق
	المراجع
	المخلص

## فهرس الأشكال

### الفصل الأول: عموميات حول البلازما و الأطياف

14 الشكل (I-1): طيف الإصدار(الإنبعث) .....

15 الشكل (I-2): أنواع الطيف .....

### الفصل الثاني: عموميات حول الليزر، تقنية LIBS و الصخور المريخ

24 الشكل (II-1): الأطوال الموجية عند تحليل الضوء بإستخدام الموسور.....

25 الشكل (II-2): عملية الإنبعث التلقائي و الإنبعث الإستحثائي.....

25 الشكل (II-3): إنتقال الإلكترونات.....

26 الشكل (II-4): التعداد المعكوس.....

27 الشكل (II-5): كيفية توضع المرآتان.....

28 الشكل (II-6): عملية الضخ بمصباح فلاش.....

31 الشكل (II-7): مخطط تركيبة LIBS.....

34 الشكل (II-8): تصنيفات الصخور.....

### الفصل الثالث: التجربة و الحسابات العددية، المناقشة و النتائج

39	الشكل (III-1): جهاز LIBS المرسل إلى سطح كوكب المريخ .....
39	الشكل (III-2): مبدأ عمل LIBS .....
41	الشكل (III-3): مبدأ تشكل البلازما.....
42	الشكل (III-4): الطيف التحريبي الناتج من صخور المريخ .....
43	الشكل (III-5): مخطط البرنامج .....
45	الشكل (III-6): طيف الألمنيوم العادي .....
45	الشكل (III-7): طيف الألمنيوم المؤين مرة .....
45	الشكل (III-8): طيف الألمنيوم المؤين مرتين .....
45	الشكل (III-9): طيف المغنيزيوم العادي .....
46	الشكل (III-10): طيف المغنيزيوم المؤين مرة .....
46	الشكل (III-11): طيف المغنيزيوم المؤين مرتين .....
46	الشكل (III-12): طيف السليسيوم العادي .....
46	الشكل (III-13): طيف السليسيوم المؤين مرة .....
47	الشكل (III-14): طيف السليسيوم المؤين مرتين .....
47	الشكل (III-15): طيف الحديد العادي .....
47	الشكل (III-16): طيف الحديد المؤين مرة .....
47	الشكل (III-17): طيف الأكسجين العادي .....
47	الشكل (III-18): طيف الأكسجين المؤين مرة .....

47	الشكل (III-19): طيف الأكسجين المؤين مرتين .....
48	الشكل (III-20): طيف الصوديوم العادي .....
48	الشكل (III-21): طيف الصوديوم المؤين مرتين .....
48	الشكل (III-22): طيف الأزوت المؤين مرة .....
48	الشكل (III-23): طيف الأزوت المؤين مرتين .....
48	الشكل (III-24): طيف الكالسيوم العادي .....
48	الشكل (III-25): طيف الكالسيوم المؤين مرتين .....
55	الشكل (III-27): العناصر المتواجدة في صخور المريخ ضمن المجال الأشعة فوق البنفسجية .....

## فهرس الجداول

### الفصل الثاني: عموميات حول الليزر، تقنية LIBS و الصخور المريخ

الجدول (II-1): العناصر الكيميائية المتوسطة التركيب .....

37

### الفصل الثالث: التجربة والحسابات العددية، المناقشة والنتائج

الجدول (III-1): الأطوال الموجية للعناصر المطابقة لطيف التجريبي .....

49

الجدول (III-2): الشدات في الطيف التجريبي و النظري لكل عنصر .....

51

الجدول (III-3): معاملات التعديل في الشدات النظرية المختارة بالوسط .....

52

الجدول (III-4): معطيات الفيزياء الذرية للإنتقالات المختارة .....

53

الجدول (III-5): نتائج حساب دالة التوزيع لكل عنصر .....

53

الجدول (III-6): معاملات المرتبطة بالكثافة الذرية .....

54

الجدول (III-7): نسبة تواجد كل عنصر في عينة صخور المريخ .....

54



# مقدمة عامة

كثيراً ما تتم دراسة البلازما من خلال الإشعاع الكهرومغناطيسي الصادر عنها، إذ يحلل الطيف الوارد منها كيقياً لمعرفة العناصر التي تتشكل منها هذه البلازما، وكمياً لمعرفة تركيزها ودرجة حرارتها، وبصفة أعم، يمكن القول أن دراسة الإشعاع الوارد عن البلازما مشحص مهم لمعرفة حالة البلازما [1] [2].

من المعلوم لدى المشتغلين بمطيافية البلازما أن أشكال الخطوط الطيفية الصادرة عن المشعات المعزولة، تكاد تكون خطأ لا عرض له، أما إذا كانت غير معزولة، أي داخل وسط مادي، فإنها تتفاعل مع بقية جسيمات هذا الوسط، مما يجعل الخطوط الطيفية لها عريضة.

تؤثر الحقول الكهربائية (فعل ستارك) الناشئة عن الجسيمات المشحونة في البلازما على خصائصها الضوئية و الترموديناميكية، فهي تتسبب في تعريض الخطوط الطيفية وانزياحها [3] [4].

أسباب عديدة تساهم في الطيف الحاصل لإعطاء شكله النهائي أهمها: دور الجهاز، مدة حياة المستويات، وينشأ عنها التعريض الطبيعي، فعل دوبلر، الموافق لحركة غير منتظمة للذرات المشعة المرتبطة بالإنارة الحرارية، فعل التصادمات، إذ تخضع المشعات إلى التصادمات مع بقية الجسيمات المحيطة بها، وينشأ عنها التعريض التصادمي، و يدعى أيضاً تعريض الضغط [5]. وهذا ما سنتعرف عليه في الفصل الأول.

علم الأطياف القائم على استخدام الليزر المطبق وفق معايير تتناسب مع المادة المدروسة، حيث أصبح الأداة أساسية في علم التحليل.

لقد أحرقت دراسة تجريبية من أجل تحليل الطيفي للضوء المنبعث يسمح بتحديد التركيب الكيميائي العنصري للمادة المدروسة المتمثلة في صخور المريخ التي قامت بدراسته مديرية الطاقة النووية، التي تم تحليلها بواسطة مطيافية المستخدمة في عملنا هذا و المبنية على تقنية « LIBS » التي تعتمد على الليزر في تطبيقها على مادة الهدف، حيث تكون طاقتها كافية لإنترع الجسيمات من سطح العينة و بالاستمرار تسمح بحدوث إنارة للذرات و الايونات الصادرة، مما يؤدي إلى تشكل البلازما، وعند



الرجوع للاستقرار الضوء المنبعث يمثل الطيف المتشكل من الخطوط الذرية، الطول الموجي يسمح له بالتعرف على العناصر الموجودة في حين أن شدتها تتناسب و تركيز الذرات الباعثة [6]. وهذا ما سنتطرق إليه في الفصل الثاني.

من أجل تحليل الطيف التجريبي الناتج، سنقوم بإعداد برنامج بلغة الفورتران، إن الهدف من هذه الخطوة هو إعادة رسم الأطياف النظرية إنطلاقاً من قاعدة المعطيات الفيزياء الذرية بناءً على تصورات ومجهودات ذاتية، وذلك حتى نختبر تصوراتنا من جهة، وحتى نحسن التحكم في المحاكاة العددية من جهة أخرى، إذ لم نجد فيما إطلعنا عليه من أعمال، شرحاً كافياً لكيفيات الحساب. وبالمقارنة بين الأطياف النظرية والطيف التجريبي، تحديد العناصر الكيميائية المكونة لهذه العينة.

من الأهداف الأبعد لهذا العمل حساب نسبة تواجد كل عنصر في هذه العينة بالإعتماد على نسبة الشدات في الطيف التجريبي ومساواته بالطيف النظري، و سنناقش الخطوات والنتائج أثناء عرض التفاصيل الحسابية و بعد الحصول على النتائج.

الفصل الأول

عموميات حول البلازما

والأطياف

## I- البلازما

لقد بينت الأبحاث أن معظم المواد التي تشكل الكون في حالة بلازما ( ما يقارب 99% ) ، و تشترك كل أنواع البلازما بأنها تخضع و تفسر بنفس الآليات و تديرها نفس القوانين الفيزيائية حتى باختلاف مقادير وسائطها، كما تعرف البلازما بالحلة الرابعة للمادة لكونها لا هي صلبة و لا سائلة و لا حتى غازية [7]، فهي عبارة عن حالة مخففة للمادة تشبه الغاز إلا أنها مؤلفة من جسيمات مشحونة إلكترونات وأيونات موجبة متناسب معين يجعل الوسط إجمالاً متعادلاً كهربائياً [8].

## I - 1 - لمحة تاريخية

إن أول من أطلق مصطلح الحالة الرابعة للمادة هو الإنجليزي « sir william grookes » عام 1879 لوصف القسم المتأين من الإنفراغات الغازية، و قد علل مصطلحه هذا على الشكل التالي [7] : تتحول المادة الصلبة بالتسخين إلى سائلة و باستمرار التسخين تتحول إلى غاز، و عند رفع درجة حرارة الغاز إلى حد معين يصل إلى 100000 كلفن [9] تزداد طاقته الحركية إلى الحد الذي يؤدي إلى تصادمها مع بعضها البعض إلى إنفلاتها إلى إلكترونات وأيونات موجبة الشحنة.

استخدم مصطلح البلازما بداية من قبل « langnuir » سنة 1923 للدلالة على غاز مضيء يحوي إلكترونات و أيونات موجبة و بعض الذرات المتعادلة، و في عام 1929 وضع العلمان « langnuir » و « tonks » وصفاً للبلازما بأنها مائع شبه معتدل كهربائياً و مكون من جزيئات مشحونة و أخرى متعادلة و هي تسلك سلوكاً جماعياً.

تحتوي البلازما على جزيئات وعند حركة الجزيئات تنشأ تجمعات موضعية لشحنات موجبة أو سالبة والتي تؤدي بدورها إلى نشوء مجالات كهربائية تؤثر بذلك على باقي الجزيئات، وبالتالي فإن جزيئات البلازما تتبادل التأثير فيما بينها حتى ولو كانت المسافة بينهما كبيرة وقوى التأثير هذه تسمى بقوى كولوم المؤثرة عن بعد، وهذه القوى هي السبب في الحركة الجماعية للبلازما والتي يمكن أن تحدد عبارة السلوك الجماعي بأنها الحركة التي لا تتعلق فقط بالشروط الموضعية وإنما بحالة البلازما في المناطق البعيدة [7].

## 1-1- أهم خصائص البلازما

### 1-1-1- التوصيل الكهربائي :

بما أن البلازما غاز عالي التأين يضم عددا هائلا من الجسيمات المشحونة المتحركة بحرية داخلها، فإنها تعد موصلا جيدا للكهرباء، تتبادل هذه الجسيمات المشحونة التأثير مع الحقل الكهربائي الموضعي، كما أن الحركة المنظمة لها تحدث تيارات كهربائية وتغيرات لكثافة الشحنة، تؤدي إلى نشوء حقول كهرومغناطيسية [11].

### 1-1-2- التعادل الكهربائي في البلازما :

إحدى الصفات المهمة في البلازما هي نزعتها لتبقى متعادلة كهربائيا، أي ميلها إلى توازن الشحنة الفراغية السالبة مع الشحنة الفراغية الموجبة في كل جزء من الحجم العيني، وأن أي اختلاف بسيط في كثافة الشحنة الفراغية يسبب نشوء قوى كهروستاتيكية قوية تؤثر في اتجاه إعادة التعادل، من جهة أخرى إذا تعرضت البلازما إلى حقل كهربائي خارجي فإن كثافة الشحنات الفراغية ستتنظم نفسها بحيث يحجب الجزء الأعظم من البلازما من تأثيرات هذا الحقل [8].

### 1-1-3- تردد البلازما :

1-3- التردد الأيوني للبلازما [12] :

$$W_{Pi} = \sqrt{\frac{4\pi n_i(Ze)^2}{m_i}} \dots\dots\dots(1-1)$$

حيث:

$n_i$  : الكثافة الأيونية.

$m_i$  : كتلة الأيون.

$Z_e$  : شحنة الأيون.

3-2- التردد الإلكتروني للبلازما [12]:

$$\omega_{pe} = \sqrt{\frac{4\pi n_e e^2}{m_e}} \dots \dots \dots (2-1)$$

حيث:

$n_e$ : الكثافة الإلكترونية.

$m_e$ : كتلة الإلكترون.

$e$ : شحنة الإلكترون.

### 1-3-1- بعض المقادير المهمة في البلازما

1-3-1-1- درجة تأين الغاز : تمثل درجة التأين إحدى المعايير لتصنيف البلازما، الغازات تكون في حالتها العادية

عازلة كهربائياً، وتصبح موصلة إذا أخضعت لحقول كهربائية شديدة [13]. تعطى بالعلاقة التالية: حيث:

$$\alpha = \frac{n_{e,i}}{n_{e,i} + n_N} \dots \dots \dots (3-1)$$

$n_{e,i}$ : تمثل الكثافة العددية للجسيمات المشحونة (إلكترونات و أيونات) .

$n_N$ : تمثل الكثافة العددية للجسيمات المحايدة .

تنقسم الغازات حسب درجة تأينها إلى قسمين كبيرين ، غازات ضعيفة التأين ، و غازات شديدة التأين، في الغازات ضعيفة التأين

( البلازما الباردة) تتراوح درجة التأين بين  $10^{-6}$  و  $10^{-4}$  وتحقق:  $\alpha < \alpha_0$

$\alpha_0$ : تمثل القيمة الحرجة لدرجة التأين، بحيث تظهر أفعال البلازما. وبذلك تعتبر درجة الحرارة هو العامل المؤثر [11].

### 1-1-3-2-درجة حرارة الإلكترونات و الأيونات :

درجة الحرارة  $T_e$  تشير لدرجة حرارة الإلكترونات الأكثر أهمية مقارنة بدرجة حرارة الجسيمات الأخرى (أيونات، جسيمات محايدة) في تحديد الظواهر التي تحدث في البلازما [14]، إذ أن الإلكترونات هي العامل الأكثر فعالية في تأين البلازما، في نظام التوازن الترموديناميكي درجة حرارة الإلكترونات تحقق المعادلة الآتية:

$$E_c = \frac{1}{2} m_e \langle V \rangle^2 = \frac{3}{2} K_B T_e \dots \dots \dots (4-1)$$

حيث :

$E_c$  : تمثل الطاقة الحركية.

$m_e$  : تمثل كتلة الإلكترونات.

$V$  : تمثل سرعة الإلكترون.

$T_e$  : تمثل درجة حرارة الإلكترونات بالكلفن.

$K_B$  : تمثل ثابت بولتزمان.

تعبّر هذه المعادلة عن تساوي الطاقة الحركية المتوسطة للجسيمات مع طاقة التحريض الحراري، و بما أن كتلة الجسيمات المحايدة و الأيونات متقاربة فتكون لهم درجة حرارة متساوية و تقارب درجة حرارة الغرفة، بخلاف الإلكترونات التي تكون لها درجة حرارة مرتفعة.

### 1-1-3-3-كثافة الجسيمات و دوال التوزيع :

كثافة البلازما  $N$  تمثل الجسيمات في وحدة الحجم لكل صنف (أيونات، إلكترونات، جسيمات حيادية)، و يخضع توزيعها لعبارات إحصائية تدعى دوال التوزيع التي تصف عدد الجسيمات في اللحظة  $t$  و الموضع بين  $r$  و  $r+dr$  حيث:  $f$  دالة في الزمن و الموضع و السرعة .

$$f=(5-1) f ( t , r , v )$$

في فيزياء الإحصائية نميز ثلاث دوال لتوزيع الجسيمات: توزيع فيرمي ديراك، توزيع بوز-إنشتاين، توزيع ماكسويل بولتزمان.

إذا كان الغاز في حالة توازن ترموديناميكي وطاقة التفاعل بين الجسيمات مهمة أمام الطاقة الحركية فإن الجسيمات تخضع لتوزيع ماكسويل بولتزمان، التي تعبر عن التصادمات أثناء الحركة العشوائية وتكتب دالة توزيع السرعات في هذه الحالة كما يلي:

$$f_m = \left( \frac{m}{2\pi k_B T} \right)^{3/2} \exp \left( \frac{-m v^2}{K_B T} \right) \dots \dots \dots (6-1)$$

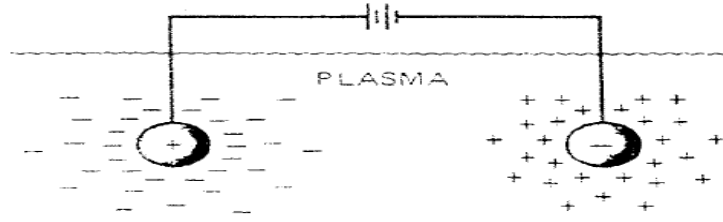
### 1-3-4- نصف قطر ديبي :

قبل التطرق إلى نصف قطر « Debye » لا بد من الإشارة إلى ظاهرة مهمة تحدث في البلازما وهي ظاهرة الحجب ، و المقصود بها حجب شحنة من البلازما بواسطة سحابة من الشحنات المعاكسة ، و من هذه الظاهرة أستنتج بعد ديبي الذي يعتبر أحد أهم خصائص البلازما، و يمكن فهم هذه المسافة بتصور شحنة موجبة تحيط بها إلكترونات تخضع لقوتين متعاكستين: قوة التجاذب الكولوني التي تؤثر بها الشحنة الموجبة ، و قوة أخرى سببها التهيج الحراري . ويتضمن التوازن بين هاتين القوتين عدم الإنحداد بين الشحنات الموجبة والسالبة في البلازما، و نصف قطر ديبي يشير إلى أقصر مسافة تتحرك فيها الإلكترونات عشوائيا في البلازما ويعطى بالعلاقة التالية [16]:

$$\lambda_D = \sqrt{\frac{\epsilon_0 K_B T}{e^2 n_e}} \dots \dots \dots (7-1)$$

حيث:  $\epsilon_0$  السماحية في الفراغ،  $n_e$  كثافة الجسيمات. ويمكن كتابة العلاقة بالتطبيق العددي نجد:

$$\lambda_D (cm) = 9,6 \sqrt{\frac{T_e(K)}{n_e(cm^3)}} \dots \dots \dots (8-1)$$



الشكل 2

تجدر الإشارة هنا إلى أنه عندما تزداد الكثافة فإن  $\lambda_D$  يتناقص بسبب زيادة عدد الإلكترونات، كما أن المقدار  $\lambda_D$  يتزايد بزيادة  $KT_e$ ، وعند إنعدام الحركة الحرارية تنقلص طبقة الشحنات إلى صفيحة من البلازما لا متناهية الرقة و بالتالي فإن حرارة الإلكترونات  $T_e$  هي التي تستخدم لتعيين  $\lambda_D$  [16].

### 1-3-5-معامل البلازما ( $\eta$ ):

وهو يؤخذ بعين الاعتبار إذا كانت الطاقة الكامنة المتوسطة للجسيمات المشحونة أصغر من طاقتها الحركية، وعندها تسلك الجسيمات المشحونة سلوك جسيمات حرة وتنتقل في مسارات على شكل خط مستقيم، وهذا الشرط يحدد بالمعامل  $\eta$  حيث:

$$\eta = \frac{r_{av}^2}{3\lambda_D^2} \ll 1 \quad \Omega \cdot m \dots \dots \dots (9 - I)$$

$r_{av}$ : المسافة المتوسطة بين الأيونات [7].

### 1-4-1-القوانين الإحصائية لتوازن الترموديناميكي:

من أجل التعرف على مختلف القوانين المسؤولة عن التوازن الحراري، فرضنا بأن البلازما المدروسة تم إنتاجها إطلاقاً من غاز محايد في وسط معزولة عن الخارج. في درجة الحرارة العادية 300 K و في غياب مصدر كهربائي، الطاقة الحركية المتوسطة للجزيئات غير كافية لإنتاج أزواج إلكترون - أيون بالتصادم [17].



1-4-1-1- توزيع ماكسويل بولتزمان :

يحدد قانون ماكسويل- بولتزمان من توزيع السرعات المجهرية  $v$  ، و الجزئيات للإلكترونات في حالة وجود توزيع الخواص :

$$\mathcal{F}(v)d(v) = 4\pi v^2 \left(\frac{m_e}{2\pi T}\right)^{3/2} \exp\left(-\frac{m_e v^2}{2K_B T}\right) \dots \dots \dots (10-1)$$

حيث :  $K_B$  ثابت بولتزمان .

$m_e$ : كتلة الإلكترون .

$T$  : درجة حرارة بالكلفن.

1-4-1-2- قانون بولتزمان :

يعطى قانون بولتزمان توزيع الكثافة السكانية للحالة المثارة نسبة للكثافة السكانية للحالة الأساسية.

$$\frac{N_i}{N_0} = \frac{g_i}{g_0} \exp\left[-\frac{E_i - E_0}{K_B T}\right] \dots \dots \dots (11-1)$$

حيث:

$N_0$  : كثافة الذرة في الحالة الأساسية ذات طاقة  $E_0$ .

$N_i$  : كثافة الذرة في الحالة المثارة ذات طاقة  $E_i$ .

$g_0$  و  $g_i$ : تمثل درجة التوالد [18] .

1-4-1-3- قانون ساها - أغريت saha - eggert :

لوصف خصائص هذا التوازن يتم وضعها في حالة بسيطة لغاز أحادي الذرة، في عام 1920 استخدمت هذه الصيغة من قبل عالم

الفيزياء  $M.N$  ساها .

$$\frac{N_e N_i}{N_0} = \frac{g_e g_i}{g_0} \left( \frac{2\pi m_e K_B T}{h^2} \right) \exp\left(-\frac{E_i}{K_B T}\right) \dots \dots \dots (12-1)$$

حيث:  $m_e$ : كتلة الإلكترون .

$K_B$ : ثابت بولتزمان.

$h$ : ثابت بلانك .

$g_e, g_i, g_0$ : هي الوزن الإحصائي منها للإلكترونات و الأيونات و الذرات المحايدة . و  $g_i, g_0$  تعتمد على الأنواع الذرية و لكن دائما  $g_e = 2$  ( حالتين سبين ) [19].

### 1-4-4-1- قانون بلانك :

يعبر قانون بلانك عن كمية الطاقة، يشع في وحدة الزمن ولكل وحدة مساحة من الجسم الأسود في درجة حرارة  $T$  في إتجاه معين. هذه الكمية تتوافق مع الإنارة الطيفية التي تعتمد على درجة الحرارة  $T$  والطول الموجي  $\lambda$ . يتم إعطاء وصف الإشعاع الطيفي من الجسم الأسود عند درجة حرارة  $T$ ، القانون من قبل بلانك (الذي يستخدم لتحديد المتغير تتعلق بالجسم الأسود) [18],[20].

$$I_\nu = \frac{8h\nu^3}{c^2} \left( \exp\left(\frac{h\nu}{K_B T}\right) - 1 \right)^{-1} \dots \dots \dots (13-1)$$

### 1-4-5-1- قانون دالتون :

يتم توصيل الضغط الكلي  $P$  للبلازما بدرجة حرارة  $T_i$  للجزيئات المتوسطة من خلال كثافة الجسيمات وفق العلاقة [21]:

$$P = \sum_i k_B T_i n_i \dots \dots \dots (14-1)$$

### 1-4-6-1- قانون الحياد الكهربائي : البلازما محايد كهربائي [21] :

$$n_e q_e + n_p q_p + n_n q_n = 0 \dots \dots \dots (15-1)$$

حيث : " $n_e$ " : تمثل كثافة الإلكترونات .

" $q_e$ " : تمثل شحنة الإلكترونات .

" $n_p$ " : تمثل كثافة الأيون الموجب .

" $q_p$ " : تمثل شحنة الأيون الموجب .

" $n_n$ " : تمثل كثافة الأيون السالب .

" $q_n$ " : تمثل شحنة الأيون السالب .

### 1-1-5- نماذج التوازن في البلازما

يمكن تصنيف مختلف أنواع البلازما، ويعتمد على درجة حرارة التوازن وهكذا نجد البلازما [22]:

- التوازن الحراري الكلي أو الكامل ( ETT أو ETC ) .
- التوازن الحراري المحلي (ETL).
- التوازن الحراري الجزئي المحلي (ETP).
- البلازما الغير المتوازنة (ET).

### 1-1-5-1- التوازن الحراري الكلي :

تتميز البلازما ذات التوازن الحرارية الكلي بنفس درجة الحرارة T لجميع الأنواع المشكل لها البلازما. في وسط ذو توازن حراري كلي، تكون الظواهر التصادمية الإشعاعية مجهرية عكسية. كل عملية يقابلها عملية معاكسة لها حيث يتميز الوسط بدرجة حرارة وحيدة. تكون الجسيمات موزعة حسب توزيع سرعات ماكسويل. ونتيجة لهاته المميزات يمكن أن نحقق مجموعة من القوانين.

تسمح هذه القوانين بإعطاء كل تفاصيل الكثافات ولا تتعلق إلا بطاقة كل عنصر معتبر [23]. وفي هذه الظروف، تكون قوانين التوازن صالحة في أي نقطة:

- قانون ماكسويل – بولتزمان.
- قانون بولتزمان.
- قانون بلانك.
- قانون ساها saha.

### 1-5-2- التوازن الحراري المحلي :

في كل البلازما، في بعض الظروف تعرف بحالة توازن حراري محلي. نفرض درجة حرارة  $T$  المحلية تكون معرفة في هذه النقطة من البلازما. كل القوانين تكون صالحة في هذه الحالة ماعدا قانون بلانك [17]، [18].

### 1-5-3- التوازن الحراري الجزئي المحلي :

عند كثافة منخفضة جدا (خصوصا كثافة الإلكترونات)، عدد الاصطدامات في وحدة الزمن ليست كافية لتحقيق توازن مجهري عكسي لكلا المستويين. كون قانون بولتزمان لا يتحقق إلا في الحالات الأكثر إثارة (القريبة من التأين) [17]. مستويات الطاقة المجاورة للمستوى الأساسي لديها عمر إشعاعي من شدة قصره لمقارناً بتصادمين بين إلكترون-محايد، و بالتالي الانتقال من حركة الإلكترونات، ( قانون Saha و بولتزمان ) ؛ بالعكس تماماً في المستويات العليا التي تقع تحت المستوى الأول للأيون لأنها تخضع لعدد أكبر من التصادمات في الحالات المنخفضة تكون في توازن تصادمي مع الإلكترونات.

و قانون بولتزمان، الذي نضع فيه  $T_e = T_{exc}$  ، تسمح بتحديد شدة كثافة . بالتوازي. درجة حرارة الغاز (أساسية تلك المتعلقة بالذرات في الحالة الأساسية لأنها الأكثر عدداً)، نضع  $T_g$  حيث  $T_e \leq T_g$  [18].

### 1-1-5-4-التوازن الإشعاعي :

يعد تحديد جميع وسائط تبادل الطاقة، ومفهوم التوازن يمكن أن نفضلها في حالة معينة من البلازما، يتميز التوازن الحراري الكلي بالعكسية المجهرية في كل عمليات التصادم والإشعاع في البلازما، في كل درجات الحرارة متساوية مهما كانت الأنواع الكيميائية معتبرة.

$$T_{\text{cinétique}} = T_{\text{excitation}} = T_{\text{ionisation}} = T_{\text{rayonnement}}$$

إذن تكون الأطوال المميزة لمختلف عمليات (تصادم-إشعاع) للبلازما أقل بكثير من الأبعد المميزة للبلازما. هذه الحالة المثالية لا تكون صالحة في البلازما المدروسة على مستوى المخبر، وذلك لأن الإشعاع لا يكون أبداً في حالة التوازن [29].

### 1-1-5-5-البلازما الغير متوازنة :

يعرف بأنه وسط لا يحقق أي قانون من قوانين التوازن الحراري [23].

### 1-2- الأطياف

إن الطيف الكهرومغناطيسي المنبعث من الذرة له أهمية بالغة في علم الفيزياء الذرية في التعرف على العناصر المختلفة، حيث أن لكل عنصر من العناصر الموجودة في الطبيعة طيف كهرومغناطيسي خاص به، ويمكن إثارة ذرة العنصر إما بواسطة المنشور أو بواسطة الحيود وتدعى بالطيف أو الراسم الطيفي [24]. حيث تعتبر طرق التحليل من أهم وأشمل الطرق للتحليل الطيفي نظراً لسهولة دقتها وحساسيتها العالية وتطبيقاتها المتعددة، حيث تعتمد على امتصاص وانبعاث الطاقة الإشعاعية، إذ بتفسير هذه المعلومات يمكن الحصول على معلومات كمية ونوعية، فمن الناحية النوعية تستخدم مواقع الخطوط أو الحزم الامتصاصية أو الانبعاثية التي تحدد من الطيف الكهرومغناطيسي دليلاً على وجود عناصر خاصة، أما من الناحية الكمية فيمكن تقدير تركيز المكونات من قياس شدة خطوط الامتصاص والانبعاث، حيث تعطى المعلومات التي نحصل عليها من القياسات الطيفية على شكل رسم بياني بين الطاقة الممتصة أو المنبعثة بدلالة الموقع على الطيف الكهرومغناطيسي ويدعى بالطيف، و يقاس موقع الامتصاص أو الانبعاث بوحددة الطاقة أو الطول الموجي [25].

## I-2-1- تعريف الأطياف :

الطيف ناتج عن تشتت شعاع (تحلل) ذو طاقة إلى عدة أطوال موجية (شريط مكون من لون واحد أو عدة ألوان) [26]. وهي تعرف بأنها مكونات متميزة تصنف من جنس واحد كالفوتونات فهي عبارة عن جسيمات تحمل طاقة كهرومغناطيسية جزء منها نعرفه وهو الضوء المرئي، حيث عندما تصلنا هذه الفوتونات من أي مصدر للمنايع الضوئية مثل المصابيح أو الشمس أو النجوم، حيث يتم تصنيف الفوتونات الواردة وفق ألوانها نكون قد حصلنا على ما يسمى بالطيف [27].

## I-2-2- أنواع الأطياف :

لدراسة المعلومات التي يحملها الفوتون يجب أن نميز بين أنواع الأطياف الممكنة:

### I-2-2-1- طيف الإصدار :

يتم الحصول على طيف الإصدار بإثارة ذرات المادة مثل مصباح الصوديوم أو مصباح الزئبق بوسائل مختلفة كهربائية أو (حرارية : طيف اللهب) فالطاقة المتصدة تجعل الإلكترونات ترتقي من المستوى الأرضي إلى المستوى أعلى طاقة ، و من المعروف أن عمر الحالة المهيجة للإلكترونات قصير ، فتعود إلى المستوى الأرضي فتحرر طاقة المتصدة التي هي عبارة عن فوتونات على شكل ضوء "طيف إصدار الصوديوم" ، إذا صدرت فوتونات من نفس الذرة معنى ذلك أنه يعطى طيف الإصدار الخاص بهذه المادة ، و كل مادة تعطي خطوطاً مختلفة عن خطوط الذرات الأخرى ، و كلما كانت المادة نقية فإنها تعطي طيفاً محددًا تماماً خاصاً بالمادة يسمى بهوية المادة و نستفيد منها بالتحليل لمعرفة مكونات المادة ، و من جهة أخرى يمكن للحالات المثارة أن يكون لها أعمار مرموقة بحيث يستمر معها إصدار الضوء بعد توقف الإثارة ، و تعرف هذه الحادثة بالفسفرة .



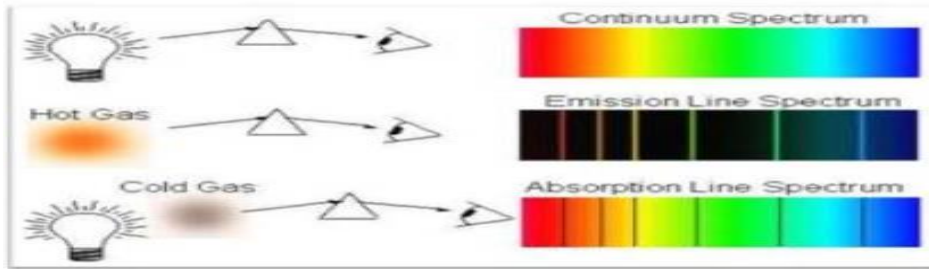
شكل (I-1): يوضح طيف الإصدار (الانبعاث) [27].

وهناك نوعان من طيف الإصدار (الانبعاث) هما: طيف المستمر والغير مستمر (الطيف المتقطع)

• **الطيف المستمر:** ويتكون الطيف المستمر من حزمة متجانسة ومتسلسلة من ألوان (من الأحمر إلى الأزرق) وأطوال جميع الموجات المرئية، وذلك مثل الطيف الذي تعطيه غالب المواد الصلبة عند درجات حرارة عالية.

• **الطيف المنقطع:** ويتكون طيف الإصدار المنقطع (غير مستمر) من نمط لخطوط مضيئة على أرضية داكنة ويسمى بخط الطيف المرئي الطيف الخطية.

**1-2-2-2- طيف الامتصاص:** إذا كنا نريد معرفة طيف مادة ولا نستطيع جعلها تتوهج عن طريق التسخين إما لأننا لا نستطيع تسخينها أو لأنها تتخرب بالحرارة مثل المواد الزيتية عندها نضع منبعاً لطيف مستمر ونمرره عبر هذه المادة فتمتص المادة الفوتونات التي تتوافق معها كذرة بحسب بنيتها الداخلية، فتظهر أماكن الامتصاص بلون الأسود وهذا ما يسمى بطيف الامتصاص، ويساعد هذا الطيف في معرفة نوع المادة. ولا توجد غير هذه الطرق الطيفية لدراسة الأطياف والفوتونات.



شكل (I-2): أنواع الطيف [27].

### 1-2-3- التعريضات و أشكال الخطوط في البلازما

تم تطوير واستعمال عدة تقنيات بنجاح من أجل تحديد عوامل مختلفة الأوساط (غاز، بلازما...) إن الطرق النظرية هي التقنيات الأكثر استعمالاً عموماً، ومن بين هذه الطرق نجد طريقة مطيافية الإصدار والامتصاص.

عند إصدار أو امتصاص الإشعاعات، تكون الأشعة الطيفية ليست رقيقة جداً، لكنها تمثل بعض المقاطع، وهي تمثل توزيعات الإشعاعات  $(I\nu)$  أو  $(I\omega)$  حول تردد مركزي  $\nu_0$  أو  $\omega_0$  و مطيافية الإصدار الذري هي طريقة توافق جداً تشخيص الغازات و البلازما [30].

1-2-4-دراسة بعض أسباب تعريضات الخطوط الطيفية :

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

- التعريض بواسطة الإشعاع: التعريض الطبيعي.
- التعريض بواسطة فعل دو بلر.
- التعريض بواسطة التصادم.
- التعريض الناتج عن الأجهزة.

1-4-2-1-التعريض الطبيعي :

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

كميا: مستوى إصدار الإثارة لذرة لديه عمر محدود وفقاً لمبدأ الارتباب  $\Delta t$  لهازنبرغ، وهذا عمر إنتاجي محدد يؤدي إلى

التعريض لمستوى لمستوي الطاقة  $\Delta E$  الإصدار من قبل الارتباب:

$$\Delta E \Delta t = \frac{h}{2\pi} \dots \dots \dots (16-1)$$

$\Delta E$  و  $\Delta t$ : تمثل على التوالي عمر المستويات و الطاقة و هذا يؤدي إلى تعريض هذه المستويات.

عادة ما يأخذ هذا التعريض شكل لورنتز، و التعريض الطبيعي لعرض الخط للإنتقال بين مستويات الطاقة يكون من  $i \rightarrow j$

كما يلي :

$$\Delta \lambda_n = \frac{A_{ij} \lambda^2}{2\pi C} \dots \dots \dots (17-1)$$

$\lambda$  : الطول الموجي.

$A_{ij}$ : احتمال الانتقال (معامل أنشتاين) للانبعاث التلقائي.



C : تمثل سرعة الضوء .

التعريض الطبيعي في كثير من الأحيان يكاد يكون مهملاً مع عرض دوبلر بسبب التعريض وتعريض التصادم [28].

### 1-2-4-2- تعريض دوبلر :

هذا التعريض ناتج عن حركة الذرات التي تنبعث منها في البلازما، و ذلك بإصدار ذرة ذات تردد الأخير  $\nu$  ، و هذا بسرعة  $V$  و تردد واضح تحت مبدأ دوبلر هو :

$$\nu = \nu_0 \left(1 - \frac{V}{c}\right) \dots \dots \dots (18-1)$$

C : تمثل سرعة الضوء و تساوي  $3,10^8$  m/s.

وبالنظر إلى سرعة البلازما التي تنبعث منها ذرات مختلفة تتبع توزيعات ماكسويل بولتزمان، وتعريض دوبلر يكون وفق المعادلة التالية:

$$\Delta\lambda_D = 7,16 \times 10^{-7} \lambda_D \sqrt{\frac{T(k)}{m (u.ma)}} \dots \dots \dots (19-1)$$

حيث:  $\Delta\lambda_D$  : يمثل عرض منتصف الإرتفاع بسبب تأثير دوبلر .

$\lambda_0$  : تمثل الطول الموجي في مركز الخط.

T: تمثل درجة الحرارة بالكلفن .

m : يمثل الكتلة الذرية في وحدة u.a .m .

\_ تعريض دوبلر عموماً صغير بالمقارنة مع تعريض الذي سببه التصادم [29].

### 1-2-4-3- تعريض بالتصادم :

إن السبب الأساسي لتعريض خطوط الطيف في البلازما هو الاصطدام الناجم عن الذرات وذلك بمختلف جزئياتها المشحونة والغير مشحونة، وفي هذه الحالة يحدث التعريض بواسطة التصادم ويمكن تقسيمه إلى ثلاث فئات [31]:

**التعريض بالرنين:** سببه اصطدام الذرات في حالة مثارة للجزيئات الغير مشحونة (المحايدة) اي ذات نفس النوع لذرات المصدر مثل (تفاعل ثنائي الأقطاب - ثنائي الأقطاب).

**تعريض فاندرفالز:** سببه اصطدام الذرات في الحالة المثارة للجزيئات الغير مشحونة (حيادية) مع مختلف أنواع ذرات المصدر في الحالة الأساسية (تفاعل ذرة من نوع A - ذرة من نوع B).

**تعريض ستارك:** وهو تعريض ناتج عن اصطدام الجسيمات المشحونة (إلكترونات و أيونات ) مع ذرات المصدر ، و يتم العبير عن هذا التفاعل بواسطة تأثير حقل ضعيف (micro-champ) أيوني و إلكتروني مع ذرات المصدر ، الإلكترونات تسمح بتباين عمر المستويات مع إعطاء انتشار مستويات الطاقة و التعريضات الإلكترونية و الأيونية ، عموماً تسمح برفع جزئي لمستويات الطاقة.

التعريض الإلكتروني عادة هو المسيطر أو بالأحرى هو التعريض الغالب.

### 1-2-5- شكل الخط :

$g(x)$  شكل الخط المنبعث بوظيفة من الطول الموجي و تنعكس هذه من مختلف القيم و العمليات المصاحبة وليكن للإصدارات ( الانبعاث)، و هذه الوظيفة  $g(x)$  يمكن أن تكون في شكل بسيط ( شكل غوص، شكل لورنتز ، شكل فويت ) أو شكل مركب . والشكل المركب ناتج عن تكوين العديد من الظواهر.

1-2-5-1- شكل غوص : شكل غوص يكون من الشكل :

$$g(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi\beta}} \exp\left(-\frac{x^2}{\beta^2}\right) \dots\dots\dots (20-1)$$

$$x = \Delta v = v - v_0 \quad , \beta = \Delta v_D$$

1-2-5-2- شكل لورنتز : شكل لورنتز من الشكل :

$$L(x) = \frac{1}{\pi} \frac{\delta}{(x^2 + \delta^2)} \dots\dots\dots (21-1)$$

حيث  $\delta = \Delta v/2$  و  $x = v - v_{ij}$  .

1-2-5-3- شكل فويت : وظيفة فويت هي مركبة من الشكل غوص و لورنتز و يقترب من وظيفة بسيطة :

$$\Phi(v) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{1}{\Delta v_0} \exp\left(-\left[\frac{v-v_0}{\Delta v_0}\right]^2\right) \dots\dots\dots (22-1)$$

$$\Delta v_0^2 = \Delta v_L^2 + \Delta v_G^2 ; \Delta v_0 \text{ يكافئ العرض}$$

$\Delta v_L$  : يمثل العرض شكل لورنتز .

$\Delta v_G$  : يمثل العرض لشكل غوص .

1-2-5-4- الشكل المركب : ينتج الشكل المركب من أسباب متعددة تعمل في وقت واحد لتعريض الخط ، فمن

الضروري العثور على شكل مركب  $f(x)$  و  $g(x)$  وظيفتين تتميز بتوزيع الكثافة في حالتين تعريفين للتعريضات، ليكن الشكل

المركب  $f(x)$  و  $g(x)$  ينتج من وظيفتين :

$$F(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x-y)g(y)dy = \int_{-\infty}^{+\infty} f(y)g(x-y) dy \dots\dots\dots (23-1)$$

إذا  $f(x)$  و  $g(x)$  وظيفتي لورنتز من خصائص  $\gamma_1$  و  $\gamma_2$  ، و  $f(x)$  وظيفة لورنتز من خاصية  $\gamma$  حيث  $\gamma = \gamma_1 + \gamma_2$  ،  
 إذا  $f(x)$  و  $g(x)$  وظيفتي غوص من خصائص  $\beta_1$  و  $\beta_2$  ، و  $F(x)$  وظيفة لورنتز من خاصية  $\beta$  حيث  $\beta = \beta_1^2 + \beta_2^2$  ،  
 و  $f(x)$  لغوص و  $g(x)$  لورنتز من خاصية  $\gamma$  و  $\beta$  حيث الشكل النهائي هو شكل فويت [23].

## 1-2- الطرق المستعملة لتحليل الأطياف

### 1-2-1- شدة الخطوط الطيفية : يوجد طريقتين :

#### 1-1-2-1- شدة الخطوط الطيفية الذرية : تتميز الخطوط الطيفية بشدة كثافة الخط الطيفي الموافق للانتقال

من المستوي الأولي إلى المستوي النهائي و تعطى من قبل القانون الكلاسيكي :

$$I_{if} = N_i A_{if} h\nu_{if} \quad (24-1)$$

حيث:  $A_{if}$  : احتمال الانتقال (معامل انشتاين).

$N_i$  : عدد الذرات في المستوى الأول  $i$  في وحدة الحجم.

$\nu_{if}$  : نبض المقابلة لهذا التحول.

$h$  : ثابت بلانك.

$I_{if}$  : وحدتها تكون  $w / m^2$  .

#### 1-2-1-2- شدة الخطوط الطيفية الجزيئية : هي الانتقال من حالة تتميز بأعداد كمية $(n', \nu', j')$ إلى

حالة تتميز بأعداد كمية  $(n'', \nu'', j'')$  ، شدة الخط الطيفي للإصدار خلال هذا التحول هي الطاقة المنبعثة في وحدة الحجم

$4\pi$  وتعطى بالعلاقة التالية :

$$I_{n'' \nu'' j''}^{n' \nu' j'} = h\nu_{n'' \nu'' j''}^{n' \nu' j'} A_{n'' \nu'' j''}^{n' \nu' j'} N(n', \nu', j') \dots \dots \dots (25-1)$$

حيث:

$h$  : ثابت بلانك.

$N(n', v', j')$ : تمثل الكثافة في حالة الإصدار و تعطى ب  $\text{cm}^{-3}$ .

$A_{n'v'j'}^{n''v''j''}$ : احتمال الانتقال (معامل انشطار) و يعطى ب  $S^{-1}$ .

$\mathcal{V}_{n''v''j''}^{n'v'j'}$ : عدد موجة الانتقال من  $(n', v', j')$  إلى  $(n'', v'', j'')$  و تعطى ب  $\text{cm}^{-3}$ .

$I_{n''v''j''}^{n'v'j'}$ : و تعطى بوحدة  $w / m^2$ .

لوحظ أن الخطوط الطيفية أثناء الامتصاص أو الانبعاث ليست رقيقة ولديها عرض وشكل معين، الذي يعطي توزيع الكثافة حول التردد المركزي [32].

### 1-2-1-3- تحديد درجة حرارة الإلكترونات :

هناك عدة طرق لتحديد درجات حرارة البلازما، وتشمل نسبة الشدة بين الخطين، أو الرسم التخطيطي بولتزمان:

### 1-2-1-3-1- نسبة الشدة بين الخطين :

شروط توازن مستويات الطاقة الحرارية المحلية (توازن حراري محلي) لدرجة حرارة معينة التي تنبعث من نوع الإشعاع المنبعث، نستخدم نسبة شدة الخطين (2) و(1) من نفس النوع .

$$\frac{I_{ij}}{I_{kl}} = \frac{g_i \cdot A_{ij} \cdot \lambda_{kl}}{g_k \cdot A_{kl} \cdot \lambda_{ij}} \exp\left(\frac{E_k - E_i}{KT}\right) \dots \dots \dots (26-1)$$

و منه :

$$KT(ev) = \frac{(E_k - E_i)}{\left(\ln\left(\frac{I_{ij} \cdot g_k \cdot A_{kl} \cdot \lambda_{ij}}{I_{kl} \cdot g_i \cdot A_{ij} \cdot \lambda_{kl}}\right)\right)} \dots \dots \dots (27-1)$$

1-2-3-2 - طريقة الرسم التخطيطي لبولتزمان :

يتم تقييم درجة حرارة الإثارة ( $T_{exc}$ ) من قياس شدة الخط الطيفي للانبعاث الضوئي  $I_{if}$  المتعلقة بالانتقال من المستوى  $i$  إلى المستوى  $f$  على افتراض أن عدد السكان في المستويات الذرية يحقق توزيع بولتزمان، و تعطى شدة الخطوط الطيفية ب [33] :

$$I_{if} = \frac{hc n A_{if} g_i}{\lambda B (T_{exc})} \dots\dots\dots(28-1)$$

$h$  : ثابت بلانك ،  $C$  : هي سرعة الضوء في الفراغ .

$B(T_{exc})$  : تمثل دالة التوزيع.

$\lambda$  : يمثل الطول الموجي الموافق للانتقال.  $A_{if}$  : احتمال الانتقال.

# الفصل الثاني

عموميات حول الليزر- تقنية LIBS

وصخور المريخ

## II-الليزر

II-1-تعريف الليزر : (بالإنجليزية : LASER و هي اختصاراً لعبارة : Amplification by Stimulated

(Emission of Radiation Light

وتعني تكبير وتضخيم الضوء بواسطة الانبعاث الإستحثاثي للإشعاع الكهرومغناطيسي [34] [35]، وهي عبارة عن حزمة ضوئية ذات فوتونات تشترك في ترددها وتتطابق موجهاتها، بحيث تحدث ظاهرة التداخل البناء بين موجهاتها لتتحول إلى نبضة ضوئية ذات طاقة عالية [36]، وقد تنبأ بوجود الليزر العالم ألبرت أينشتاين في 1917 حيث وضع الأساس النظرية لعملية الانبعاث الإستحثاثي، وتم تصميم أول جهاز في 1960 من طرف العالم T.H.Maiman باستخدام بلورة الياقوت ويعرف بليزر الياقوت [37].

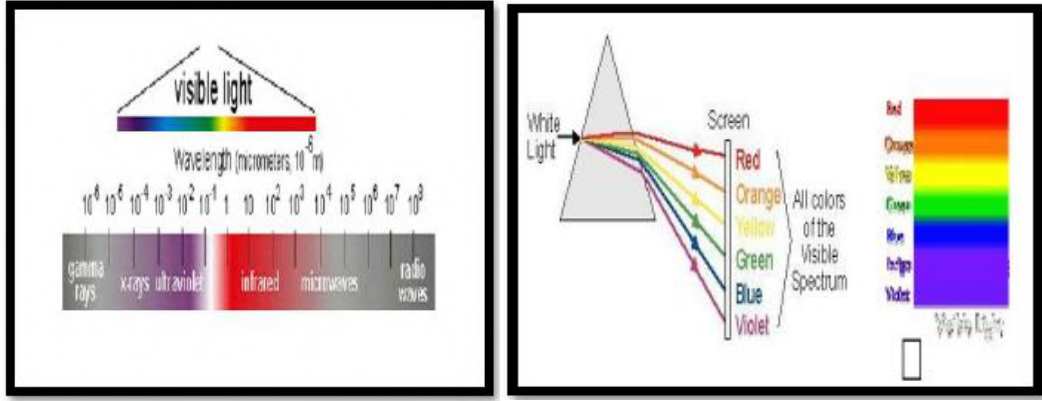
## II-1-2- خصائص أشعة الليزر :

إن حزمة أشعة الليزر تكون متميزة عن أي مصدر من مصادر الكهرومغناطيسية مما يجعلها تمتلك الخواص التالية:

## II-1-2-1- أحادي اللون Monochromatic :

و تعني أن الليزر له مجال ضيق جداً و السبب يعود إلى أن أشعة الليزر تنتج عن إنتقالات محددة بين المستويات الذرية أو الجزيئية، مما يسبب إصدار ضوء على درجة عالية من النقاء الطيفي و هذا ما يميزه عن الضوء العادي حيث أن بتحليل الضوء الأبيض الصادر من الشمس أو مصباح ضوئي مثلاً فإنه يحتوي على مجموعة من الأطوال الموجية من الطيف الكهرومغناطيسي [36]، [38]. كما هو موضح في الشكل.





الشكل (II-1): الأطوال الموجية عند تحليل الضوء باستخدام المشور [36].

### II-1-2-2-2- توازن الحزمة الضوئية collimation أو الاتجاهية Directionality :

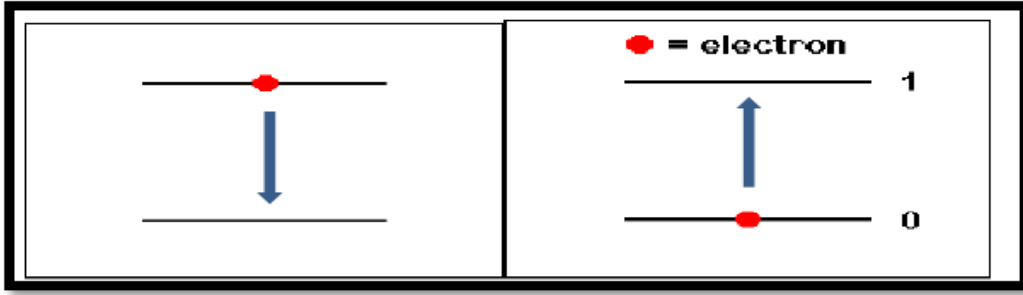
الضوء الصادر عن الليزر له اتجاه واحد يمكن أن تنتقل حزمة الليزر إلى مسافات بعيدة دون أن يحصل لها توسع كبير في القطر و لهذا تمتلك أجهزة الليزر زاوية إنفراج لحزمة أشعة الليزر صغيرة جداً [36]، [38].

### II-1-2-1-3- الترابط coherence : يجب أن يكون الترابط بين موجات الحزمة الليزر عالية جداً و هذا يساعد

على تقوية بعضها مما يعطي الحزمة قوة و طاقة عالية ، و يكون هذا الترابط بناء عندما يكون فرق الطور معدهم أو هدام عندما يكون فرق الطور بين الموجات ثابت [36]، [38].

### II-1-2-1-4- الشدة الضوئية Light Intensity : يتميز شعاع الليزر بشدة عالية و مركزة في حزمة ذات

قطر ضيق لا يتجاوز 1 ملليمتر و المسؤول عن هذه الخصائص عملية الانبعاث الإستحثاثي (المحفز) بينما في الضوء العادي يكون الانبعاث تلقائي [36]، [38].



الانبعاث التلقائي الانبعاث الإلتهائي

الشكل (II-2): عملية الانبعاث التلقائي والانبعاث الإلتهائي [37].

II-1-3- شروط الانبعاث الليزري : يجب توفر ثلاثة شروط أساسية وهي :

3-1-1-3- الإنبعاث المستحث (المحفز) Stimulated Emission :

في الحالة العادية تكون غالبية الذرات في المستوى الطاقة الأقل، وعدد قليل منها يكون في المستويات العليا. والذرات التي تكون في المستويات العليا هي في الحالة المثارة، تنبعث فوتونها تلقائيا لتلخص من الحالة المثارة والزول إلى مستويات طاقة أقل تكون هذه العملية عشوائية الحدوث، والفوتونات المنبعثة لا تكون مرتبطة مع بعضها البعض (أي لا تكون بنفس الطور) [36][38].



انتقال الإلكترون من  $E_1$  إلى  $E_2$

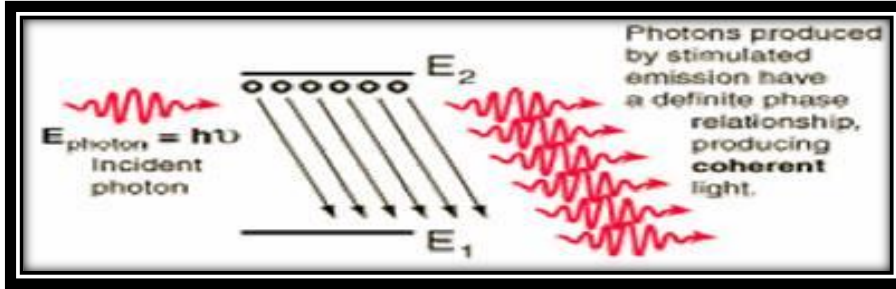


انتقال الإلكترون من  $E_2$  إلى  $E_1$

الشكل (II-3): إنتقال الإلكترونات [39].

## II-1-3-2-التعداد المعكوس population Inversion :

حيث يتطلب انبعاث أشعة الليزر توفر عدد كبير من الفوتونات و يتحقق ذلك بزيادة عدد الذرات في مستويات الطاقة العليا أكثر من عدد الذرات في مستويات الطاقة الدنيا نستطيع القول أنه حصل انقلاب في التعداد و هو ما سميناه بالتعداد المعكوس [36]. [38].



الشكل (II-4): التعداد المعكوس [34].

## II-1-3-3-التكبير الضوئي Light Amplification :

عندما تعطى مجموعة من الذرات طاقة لتصبح في وضع التهيج فإن انبعاث فوتون من أحد هذه الذرات بسبب عودة إلكترونات إلى المستوى الطاقى الأرضي، سوف يحدث غالبية الذرات الأخرى الموجودة في نفس مستويات الطاقة للانتقال، وتكون ما يسمى بالتعداد المعكوس، وبعدها يبعث الطاقة الزائدة على شكل فوتون [36].

## II-1-4-مكونات جهاز إنتاج الليزر :

يتكون جهاز الليزر عادة من العديد من المكونات الكهربائية والإلكترونية والبصرية وأجهزة السيطرة والتضمين، من أهم المكونات الرئيسية هي: المادة الفعالة - المرنان - المضخ حيث ينبغي توفرها لأجل إنتاج شعاع الليزر [35]:

## II-1-4-1- المادة الفعالة (Active Material) :

تستخدم المادة الفعالة في جميع أجهزة إنتاج الليزر بأنواع مختلفة، وقد تكون المادة الفعالة في حالة صلبة كالياقوت.... إلخ، أو في حالة غازية كغاز ثاني أكسيد الكربون وغاز الهليوم-نيون، أو في حالة سائلة كالأصبغ العضوية، مادام لكل مادة فعالة طريقة خاصة للضخ وإثارة ذراتها، فإن اختبار طريقة الضخ تكون على أساس نوع المادة الفعالة وإمكاناتها على امتصاص الطاقة الناتجة عن عملية الضخ [35].

## II-1-4-2- المرآتان (Mirror) :

تكون المرآتان مستويتان أو مقعرتان وموضوعتان على التوازي إحداهما عاكسة كلياً والأخرى نافذة جزئياً، ويتم وضع المادة الفعالة بين هاتين المرآتين ويجب التأكد من تحقق شرط التوازي بشكل دقيق، لأن أي إخلال في هذا الشرط يقلل من طاقة أشعة الليزر الناتجة [35].



الشكل (II-5): كيفية توضع المرآتان [35].

## II-1-4-3- عملية الضخ (Pumping) :

لأجل أن تثار الذرات المستقرة، ينبغي توفير طاقة تمتصها هذه الذرات لتنتقل إلى مستويات ذات طاقة كبيرة، وهناك ثلاث طرق لضخ الطاقة معروفة ومتداولة تؤدي إلى إثارة المادة الفعالة للحصول على حالة التوزيع العكسي وهي [34]:

❖ الضخ الضوئي (Optical Pumping).



الشكل (II-6): عملية الضخ بمصباح فلاش [34].

❖ الضخ الكيميائي (Chemical Pumping).

❖ الضخ الكهربائي (Electrical Pumping).

## II - 1-5- أنواع الليزر :

يمكن تفسيرها وفقاً لطبيعة الوسط الفعال المستخدم إلى الأنواع التالية:

### II-1-5-1- ليزر العوازل المطعمة (الليزر الصلب) :

المواد الصلبة ، و من أشهرها ليزر الياقوت و ليزر النديميوم الزجاجي النديميوم ياك و تتميز هذه الليزرزات عادة بقدر خرج عالية و تكون أطوالها الموجية في منطقة تحت الحمراء [35][39] .

### II-1-5-2- ليزر أشباه الموصلات :

يطلق عليه أحياناً بالليزر الديود و يعتمد على المواد شبه موصلة و هي تصنف ضمن فصيلة الثنائيات المشعة للضوء المستخدمة في الدوائر الإلكترونية و تختلف عنها من حيث طبيعة الضوء المشع و من أشهرها ليزر كاليود ارسنايد .

### II-1-5-3- ليزر الغازات :

و هو يعتمد على مادة غازية مثل النيون و الهليوم و غاز ثاني أكسيد الكربون و يمكن تشغيلها بنمط نبضي أو مستمر و يتراوح مدى الأطوال الموجية لهذه الليزرزات الغازية بين الأشعة فوق البنفسجية و الضوء المرئي و الأشعة تحت الحمراء ، و أشهرها ليزر الهليوم-نيون ، ليزر ثاني أكسيد الكربون ، ليزر أيونات الأركون .

II-1-5-4- ليزر السائل ( ليزرات الصبغة ): يتكون الوسط الفعال عادة من الجزيئات أصباغ عضوية مذابة عضوية، كصبغة الرودامين مذابة في محلول كحولي و ينتج ليزر يمكن التحكم في الطول الموجي الصادر عنه ، يتم الحصول على ليزر الصبغة في المنطقة تحت الحمراء ، و من أشهرها ليزر أبخرة المعادن ، ليزرات كيميائية ، ليزرات الإلكترونية الحرة [39].

## II-1-6- استخدامات الليزر :

منذ اكتشاف الليزر أدى إلى تطوير الكثير من التقنيات حيث فتحت حقول جديدة و توسعت ففرضت نفسها في الكثير من الاستخدامات العلمية و العملية، و قد استخدم كمصدر حراري في التطبيقات الصناعية ( قطع و لحم و ثقب المعادن الصلبة) و الطبية ( العمليات الجراحية المختلفة و إزالة الأورام السرطانية و الجراحة العامة ) و يستخدم أيضاً في الاتصالات و دخلت في مجال البحث العلمي [38]، كدراسة تفاعل أشعة الليزر مع المواد ( غازية - سائلة - صلبة كالصخور و غيرها )، كما يمكن استخدام الليزر مصدراً طيفياً عالي النقاوة لدراسة طيف امتصاص المواد و بتطبيق هذه التقنية يمكن إثارة بعض الجزيئات و فصلها عن مركباتها الكيميائية، مثال على ذلك استخدام الليزر في دراسة طيف ريمان الذي يعتمد على تشتت حزمة الليزر نتيجة لاصطدامها بجزيئات المادة و من بين تطبيقاتها هو إحداث التسامي من أجل تحديد نسب تركيب المواد الصلبة [34].

حيث التسامي: هو الانتقال المباشر من الحالة الصلبة إلى الحالة الغازية دون المرور بالحالة السائلة [15] وذلك باستخدام الليزر حيث يتم تسليط حزمة من أشعة الليزر ذات طاقة عالية على العينة (الصخور) وتحرير العناصر المكونة لها على شكل غازات ذات حركية عالية ومنه تقوم بتسجيل الطيف الصادر من هذه الغازات التي تأتت لتكون سحابة من البلازما وبذلك نستطيع تحديد العناصر المكونة لهذه العينة وذلك بمقارنة الطيف الصادر بالأطياف النظرية، و تتم هذه الظاهرة عن طريق تقنية التحليل الطيفي المستحث بواسطة الليزر الذي يطلق عليه LIBS ، سنتناول فيما يلي مفهوم هذه التقنية و أهم تطبيقاتها .

## II-2- تقنية LIBS :

عندما اخترع العالم ميمان أول نبضة ليزر في العام 1960، فإن البعض وصف هذه التقنية إنها الحل الذي يبحث عن مشكلة. ولكن العلماء بسرعة اكتشفوا إن الليزر ليس مجرد هواية وإنما له الكثير من التطبيقات العملية. في مجال الطب والصناعات الإلكترونية وغيرها.

الليزر مهم بشكل خاص في مجال التحليل الطيفي المستخدم من قبل الكيميائيين والفيزيائيين. إن الخبراء في علم الكيمياء التحليلية طوروا تقنيات تمكن من تحديد المركب الكيميائي للمادة. وبواسطة هذه تقنيات تمكن العلماء من قياس الخصائص الفيزيائية، مثل الكتلة ومعامل انكسار والتوصيل الحراري. وبعض التقنيات الأخرى تعتمد على الشحنة الكهربائية والتيار الكهربائي لتساعد في التعرف على المركبات الأساسية للمادة. وهناك المزيد من التقنيات لقياس مقدار الامتصاص والانبعث و التشتت للإشعاع الكهرومغناطيسي وهذه التقنية تعرف بعلم Spectroscopy أي علم الأطياف.

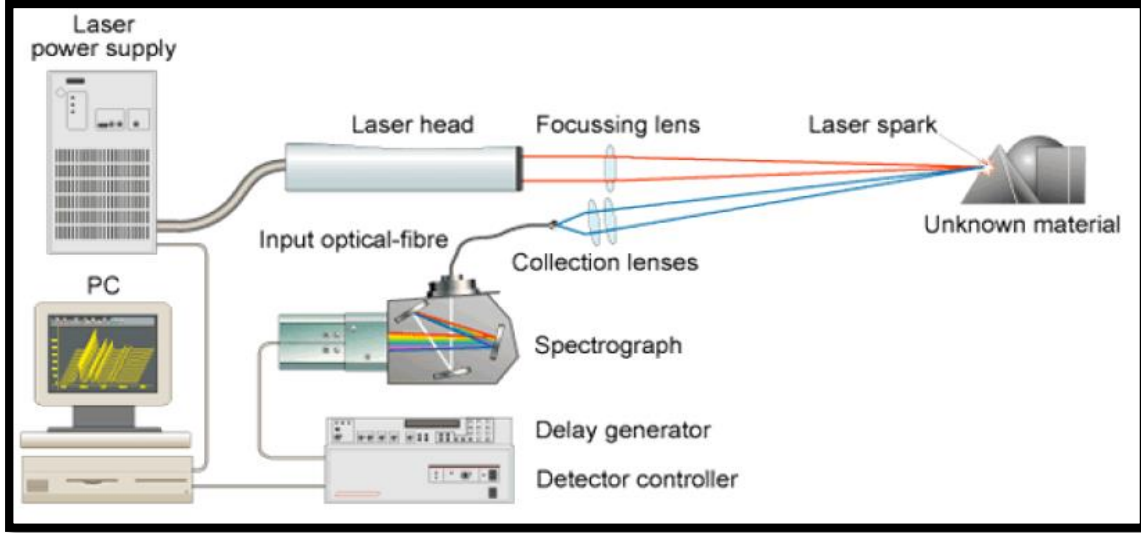
علم الأطياف القائم على استخدام الليزر Laser-baser spectroscopy أصبح الآن أداة أساسية في علم التحليل. تحليل نظام ليزر مثبت على عربة فضائية تسير في كوكب المريخ. فعندما تنطلق نبضة الليزر على تربة المريخ فإن تشتت ضوء الليزر المنتشت عن تربة المريخ ينعكس ويلتقط بواسطة أجهزة خاصة مثبتة على عربة فضائية يمكنها من معرفة التركيب الكيميائي للتربة، وهذه التقنية تدعى بتقنية LIBS [6].

## II-2-1- تقنية التحليل الطيفي المستحث بواسطة الليزر : التحليل الطيفي المستحث بواسطة الليزر أو ما

نطلق عليه LIBS يعتبر تقنية متقدمة و مهمة ، و في هذه التقنية يستخدم الليزر لإنتزاع الجسيمات من المادة و أيضاً للحصول على البلازما ، حيث بما يمكن تحليل المواد الصلبة و السائلة و الغازية و الحصول على نتائج بسرعة كبيرة ، و بدون أن تسبب ضرر يذكر للعينة . ليس هذا فحسب، بل إنما يمكن أن تعمل على مسافة أكبر نسبياً من التقنيات الأخرى التي تتطلب إحصار العينة إلى المختبر لتحليلها. وتسمح هذه التقنية العمل خلف جدار واقى من الإشعاع بالاعتماد على المرايا والعدسات لتوجيه الليزر للمنطقة المراد فحصها [6].

II-2-2- فكرة عمل تقنية LIBS : تتكون تقنية LIBS من أربعة أجزاء أساسية كما هو موضح في الشكل

المقابل :



الشكل (II-7): مخطط يوضح تركيب LIBS [46].

1- الجزء الرئيسي هو الليزر: يتم ضخ الليزر بواسطة مصباح فلاش، و يستخدم LIBS ليزر Nd : YaG الذي

طول الموجي 1064 nm يعمل الليزر بنظام النبضات حيث كل نبضة تصل إلى العينة يكون لها زمن يتراوح بين 5 إلى 20 نانوثانية.

2- يمز شعاع الليزر عبر العدسة: فتقوم بتجميع طاقته على العينة حيث أنه كلما كان تركيز أشعة الليزر أكبر

كلما كانت الطاقة اللازمة لانتزاع الجسيمات من سطح العينة أكبر، حيث أن كل نبضة من نبضات الليزر تحمل طاقة في حدود 10 إلى 100 ملي جول، وهذه الطاقة كافية لانتزاع بعض جسيمات المادة وتكون هذه الجسيمات متأينة (التأين هو إنتقال إلكترونات من المدار الأرضي إلى مدار أعلى طاقة منه بعد أن يمتص طاقة ليصبح الإلكترون في حالة إثارة ويشكل ما يعرف باسم سحابة البلازما.

3- تمدد سحابة البلازما: المتكونة من الغاز المتأين وتبدأ الذرات خلال فترة زمنية في حدود الميكروثانية في الإسترخاء

وتنتقل إلى المدارات الأرضية مطلقة فوتونات تعرف باسم طيف الانبعاث (Spectral emission)، تسقط هذه



الفوتونات الضوئية على عدسات تجمعها و تركزها على نظام من الألياف البصرية (Opticfiber) فتقوم هذه الأخيرة بنقل الضوء إلى المطياف.

#### 4- يحتوي المطياف على المنشور: يعمل على تشتيت الضوء الساقط عليه حسب طوله الموجي، المطياف يحصل

على حزمة من الضوء كل حزمة لها لون محدد ويحتوي كذلك على مجس و هو نظام حساس للأشعة فوق بنفسجية و المجال المرئي و كذا كاميرا خاصة تقوم بتسجيل الطيف لمزيد من الدراسة و التحليل و بدراسة الأطوال الموجية للضوء المنبعث و مقدار شدته فيقوم المطياف بعرض خطوط الأطياف للعناصر الموجودة في العينة و مقدار تركيزها على شاشة الكمبيوتر [6] [44].

#### II-2-3- بعض مميزات هذه التقنية : تقنية LIBS تختلف عن التقنيات الطيفية الأخرى في سهولة تنفيذه ،

وقابلية النقل ، و ايضاً :

- القدرة على تحليل العينات في صورة صلبة أو سائلة أو غازية.
- الكشف عن غالبية العناصر الكيميائية في تحليل واحد.
- لديها القدرة على التحليل في وقت قياسي.
- العمل عن بعد.
- لا يتطلب إعداد العينة [43].

#### II-2-4- بعض التطبيقات تقنية LIBS :

##### II-2-4-1- البيولوجيا : الكشف عن العوامل البيولوجية، بكتيريا، فيروسات بواسطة LIBS يستند أساساً على

وجود مؤشرات حيوية مميزة للعامل المعني.

- المؤشرات الحيوية المحتملة التي تم تحديدها هي عناصر معدنية مثل: النترات، المغنيزيوم، الكالسيوم، الحديد.... أو عضوية مثل الكربون، الهيدروجين أو الأكسجين، مميزات للحالة المؤكسدة. من أجل التمييز بين مختلف هذه العوامل نلجأ إلى معالجات إحصائية التي تستعمل معطيات منجزة مسبقاً.

- من أجل تفادي أي خلل في الإشارة المرتبطة بالوسط، الكشف بواسطة LIBS يمكن أن يكون مرتبط بتقنيات الفصل، مثل الطرد المركزي من أجل تحليل مادة طيارة واحدة أو الكروماتوغرافيا من أجل السوائل. وأكثر من هذا الدراسات المنجزة حول استعمال تقنية LIBS من أجل الكشف المبكر للعوامل الضارة والمسببات للأمراض في المستشفيات.

- في هذا المجال، (La direction de l'énergie nucléaire)، ومديرية علوم الأحياء "CEA" تضافرت الجهود والمهارات من أجل تطوير ماسح ضوئي سريع لكمية البروتين بواسطة LIBS المرتبطة بمستوى الفسفرة على مستوى قاعدة تحليل البيولوجي من نوع شريحة ADN "حمض النووي" [40].

**II-2-4-2- البيئة :** يتم استعمال وسائل وأجهزة مركبة جد مواكبة ومتطورة ب "LIBS" من أجل حماية البيئة "الهواء، التربة، الماء". هذه التطبيقات بصفة عامة يتم البحث عن المعادن الثقيلة أساساً التي تعتبر عامل مسبب للتلوث "النفايات الغازية للمصانع، المساحات الزراعية....".

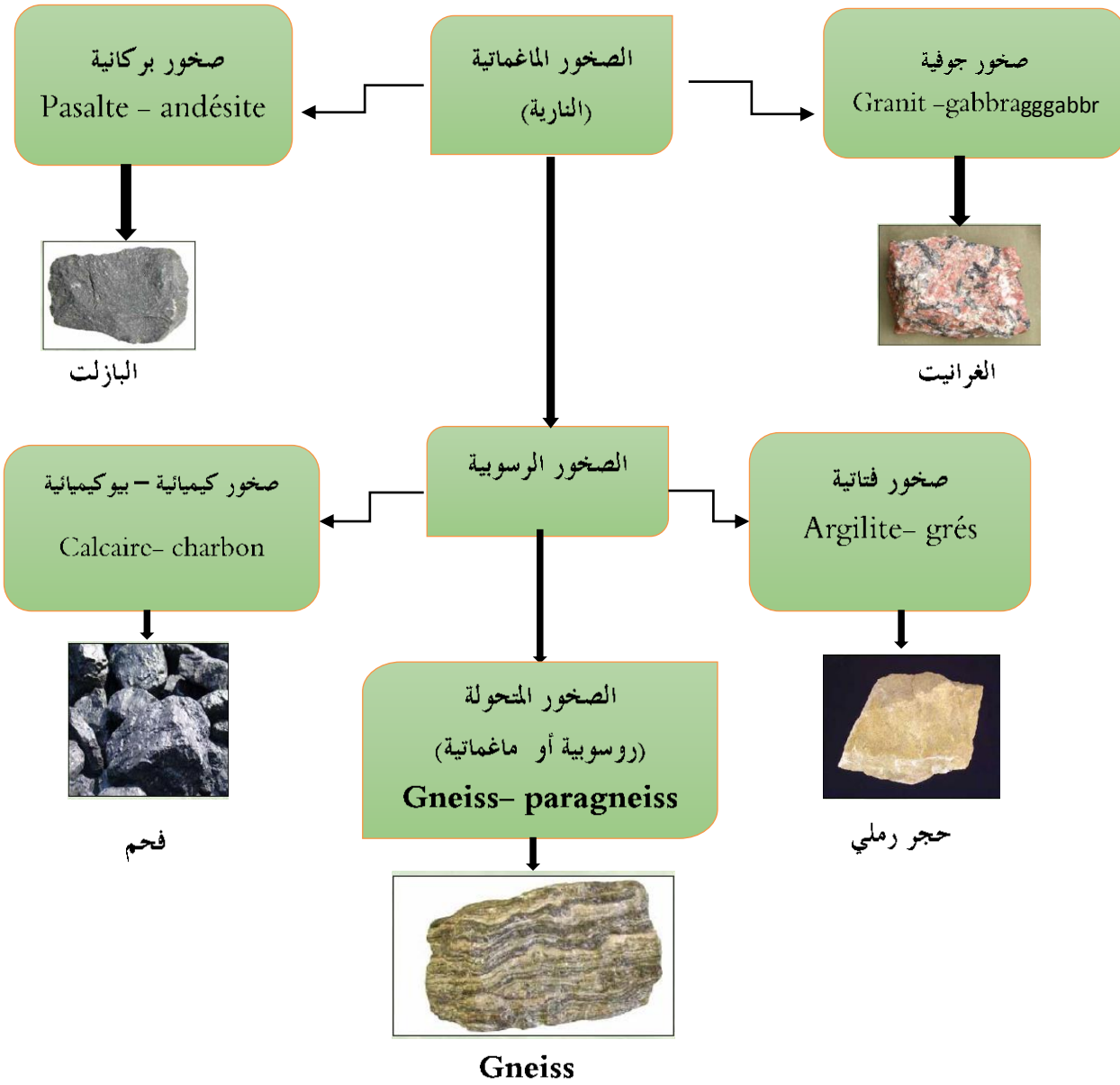
-في النهاية، تقنية LIBS هي تقنية جد موافقة للتصنيف السريع للمواد. بالإضافة لهذا يمكن أيضاً استعمالها في مجال التصنيف المادة ورسكلة المخلفات [40].

### II-3-4-2- الأمن المدني، العسكري، التزوير :

تقنية LIBS جد فعال ومساعدة لتحليل مناطق تطبيقات الأمن المدني أو العسكري والجرائم، وأيضاً محاربة الغش والتزوير. LIBS- تسمح لنا أيضاً بالتعرف على تلوث الأسطح بواسطة المواد الكيميائية الضارة للحروب. التعرف عليها يعتمد أساساً على كشف "تركيب الذرات" المميزة للمركبات السامة [40].

**II-5-2- تعريف الصخور :** هي مادة صلبة تتكون عادة من مجموعة من المعادن. تتكون الصخور من المعادن في حين المعادن تتكون من العناصر الكيميائية [49].

II-2-5-1- تصنيف الصخور : هناك ثلاث أنواع رئيسية :



الشكل (II-8): تصنيفات الصخور [49].

## II-2-5-2- بعض أنواع الأسطح لكوكب المريخ :

يوجد ثلاث أنواع للأسطح لوحظت في المريخ:

- مناطق فاتحة، داكنة، وأجزاء قطبية. أولى المعطيات البيتروغرافيا حصل عليها بواسطة جهاز "TES" Thermal "Emission Spectrometer".

في عام 1997. هذا الجهاز سمح بتحليل مساحة سطح المريخ على عمق يتراوح من 6 إلى 50 ميكرون. سمحت لنا هذه الأخيرة أن نميز نوعين من الأسطح.

- الأسطح البازلتية(أساساً في نصف الكوكب الجنوبي، مناطق داكنة)
- الأسطح مشابهة للبازلت andésite: صخور بركانية سوداء أو رمادية عموماً تحتوي على فجوات.
- مناطق فاتحة أساساً في نصف الكوكب الشمالي وهذا النوع الأخير جد سائد.

**TES** (مطيافية الانبعاث الحراري): هي أساساً تسمح لنا بتعين بطاقات لمعرفة نوعية معادن كوكب المريخ، المعادن الأكثر كشافاً هي: Olivine، pyroxènes، plagioclanu . أساساً في نصف الكوكب الجنوبي. أيضاً اكتشفت TES وجود Hématite يغطي منطقة Sinus planum. هذا المعدن يتكون أساساً فوق أرض حيث يكون محيطها يحوي ماء سائل.

جهاز **GRS**(مطيافية أشعة غاما): في 2001 ل يتم كرتوغرافيا العنصرية لسطح المريخ. وهذا الأخير أكد التحانس الكيميائي للكواكب.

GRS أثبتت أساساً أن كسر K/Th للمساحات المريخية في المتوسط هي أكبر مرتين من صخور القشرة الأرضية. أيضاً كمية كبيرة من الهيدروجين لوحظت أساساً في المناطق القطبية في أقل من متر على سطح كوكب المريخ وهذا دليل على إمكانية تواجد الجليد.

جهاز OMEGA ) observatoire pour la minéralogie l'eau, les glaces et

(l'activité) في عام 2003 سمح لنا بالتعمق في الدراسة المعدنية للكواكب. في حين أن دخوله فقط لا يتعدى 2,5-0,35

ميكرون. وقد أكد لنا أن:

- \* تواجد olivine بكمية كبيرة في بعض المناطق، توزعه الصافي جد متمركز مقارنة بما لوحظ في TES.
- \* Pyroxènes: موزعين أساساً في نصف الكوكب الجنوبي، بالإضافة إلى الأسطح ضعيفة Albédo مقسمة إلى نوعين: كالسيوم بروكسان ضعيف LCP و كالسيوم بروكسان عالي HCP.
- \* من خلال معطيات OMEGA: مستوى HCP دوماً أكثر أهمية من LCP.
- \* OMEGA: كشفت عن تواجد Phyllosilicates في المناطق Noachiens و Sulfates في المناطق Hespériens. هذه الملاحظات احتملت أن الماء يتواجد في كل مساحة Noachien، وليس فقط في نصف الكرة الشمالية [41].

جهاز LIBS: في عام 2010، هذا الجهاز سمح لنا بدراسة و تحليل صخور كوكب المريخ من أجل تحديد التركيب الكيميائي العنصري لهذه الصخور.

بما أن الأسطح في كوكب المريخ تحتوي على صخور من نوع البازلت يمكن تصنيفه ضمن الصخور الماغماتية.

التركيب الكيميائي لصخور الماغماتية : تصنف ضمن مجال ضيق. الأكسجين و العناصر الأكثر تواجد في الحجم و الكتلة، يليها Si، و بعدها AL، Fe، Mg، Ca، N، K... الخ. الجدول يمثل نسب العناصر الكيميائية الأكثر أهمية [50]:

الجدول (III-1): العناصر الكيميائية المتوسطة التركيب [50].

العنصر	نسبة تواجد العناصر
الأكسجين (O)	45,2 %
السيليسيوم (Si)	27,2 %
الألنيوم (AL)	8 %
الحديد (Fe)	5,8 %
الكالسيوم (Ca)	5,1 %
المغنيزيوم (Mg)	2,8 %
الصوديوم (Na)	2,3 %
البوتاسيوم (K)	1,8 %
التيتان (Ti)	0,9 %
الهيدروجين (H)	0,14 %
التنغستان (Mn)	0,1 %
الفسفور (P)	0,1 %

## الفصل الثالث

التجربة والحسابات العددية - المناقشة

والنتائج

مقدمة:

سنهتم في هذا الفصل بحساب نسبة تواجد العناصر في عينة صلبة المتمثلة في صخور المريخ، مفترضة أنها مجهولة التركيب، حيث سنقوم بتحليل الطيف التحريبي الصادر عن الوسط الذي تشكلت به البلازما نتيجة هذه الصخور. وقبل التطرق إلى البرنامج الرياضي المتبع في هذه التجربة التي من خلالها تحصلنا على الطيف التحريبي المراد دراسته.

تعتمد هذه التجربة على تقنية التحليل الطيفي المستحث بالليزر وتسمى هذه التقنية بـ LIBS، وهي اختصار لـ (laser-induced breakdown spectroscopy)، ويستخدم LIBS ليزر ذو طول موجي مناسب و طاقة كافية لانتزاع الجسيمات من سطح العينة وتكون هذه الجسيمات متأينة و تشكل ما يعرف باسم سحابة البلازما، حيث بما يمكن تحليل المواد الغازية و السائلة و الصلبة، وهذا ما سنطبقه في دراستنا هذه حيث اخترنا عينة صخور المريخ مجهولة التركيب الكيميائي. هذه الدراسة قام بها مخبر الدراسات التحليلية والتفاعلات السطوح (CEA/DPC/SERS) من (CEA)

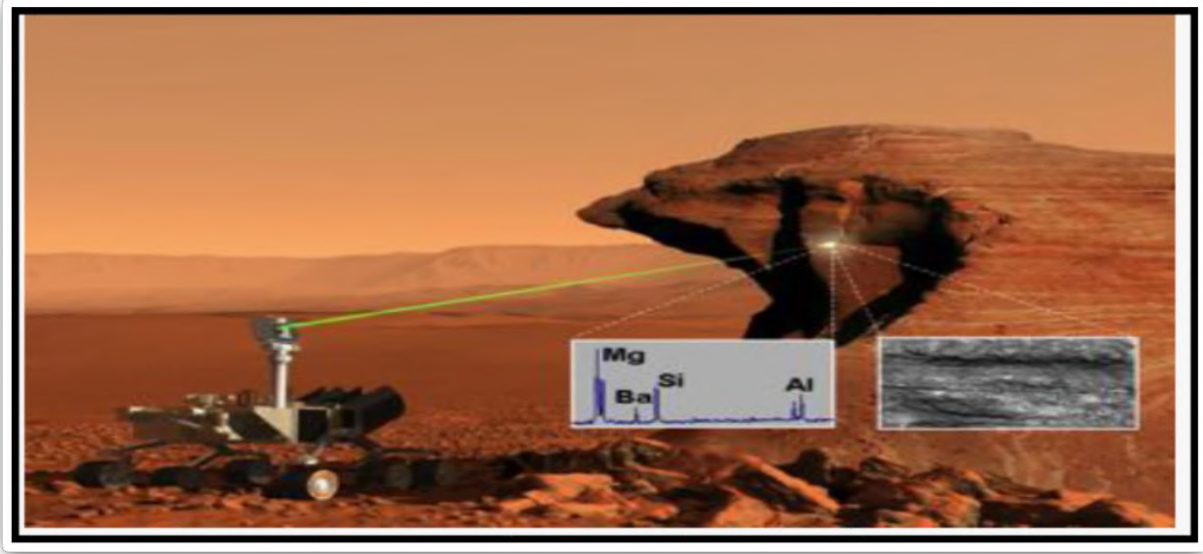
[40] (La direction de l'énergie nucléaire).

ومن أجل دراسة دقيقة لطيف التحريبي الناتج من العينة، قمنا بإعداد برنامج رياضي بلغة الفورتران يتضمن معادلات " قوانين التوازن الحراري والتعريضات، أشكال الخطوط وبعض القوانين الأخرى الضرورية "، و ذلك انطلاقاً من قاعدة المعطيات الذرية NIST حيث قمنا باستخراج بعض العناصر المتوقع تواجدها: Ca، Na، N، O، Mg، Si، Fe، AL، وذلك بإعادة رسمها نظرياً في Origin6 بالاعتماد على النتائج المعطاة من البرنامج الرياضي و مقارنتها مع الطيف التحريبي. تحديد العناصر المجهولة لصخور كوكب المريخ وكذا نسبة تواجد كل عنصر، وفق التطبيق العددي.

III-1- التجربة: هذا الجهاز يمثل العربة الفضائية التي تم إرسالها إلى سطح كوكب المريخ بعد التخفيف من وزنها من أجل

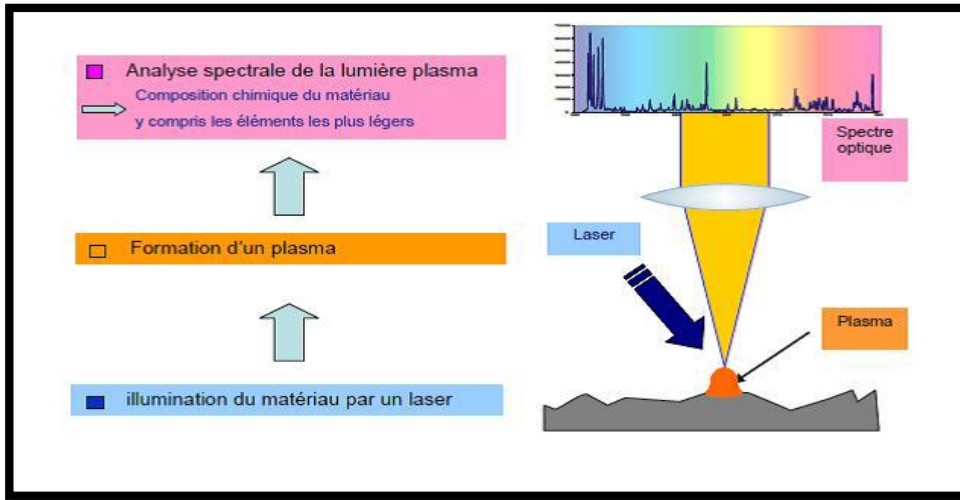
تنقل أسهل.





الشكل (III-1): يمثل جهاز LIBS المرسل إلى سطح كوكب المريخ [45].

### III-1-1-1- مبدأ عمل تقنية LIBS :



الشكل (III-2): يمثل مبدأ عمل LIBS [47].

### III-1-1-1- نوع الليزر المستعمل في LIBS : الليزر يلعب دور أساسي في تقنية LIBS لأنه هو مصدر

تكوين البلازما. لذا يظهر أن جل المعايير مرتبطة بالليزر تظهر تأثير على إشارة LIBS المحللة.

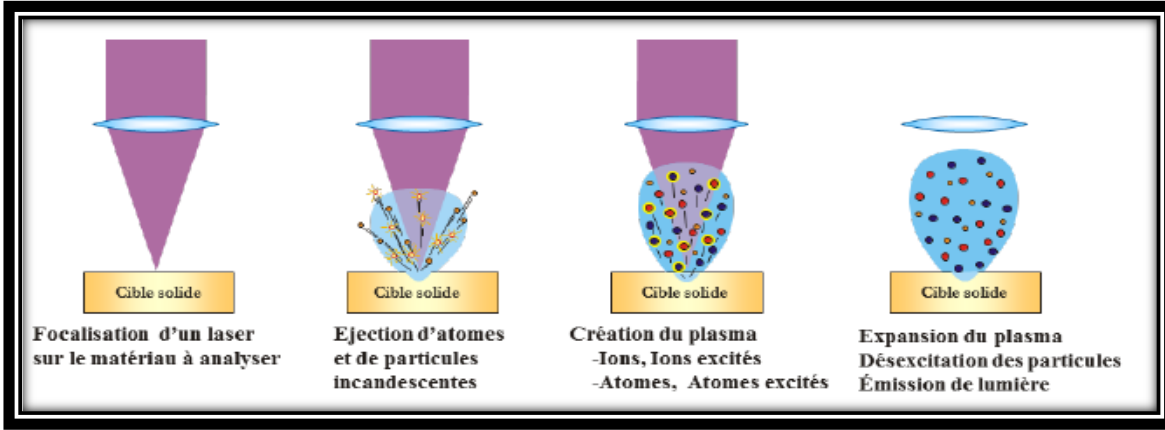
الليزر المستعمل يجب أن يحقق تأثير كافي على المستهدف من أجل نزع المادة. الليزر الصادر تسمح بالوصول إلى استطاعات موافقة لهذا التطبيق. الليزر يتميز بطول موجي، طاقة، ومدة النبض وأيضاً بمعدل تكرار. كقاعدة عامة، نوع المصدر الأكثر شيوعاً هو الليزر الحالة الصلبة Nd:YAG مستعمل في النمط التشغيل (المسمى أيضاً بـ « Q-Switché ») مضخة بواسطة مصباح فلاش أو بواسطة صمامات. الطول الموجي المعمول به يصل إلى 1064 nm (الطول الموجي الأساسي) ومن الممكن استعمال التوافقيات 532، 355 و 266 نانومتر إذا كان ذلك مطلوب من قبل التطبيق. هذه الليزر يمكن أن تصل إلى حذف ما بين 5 إلى 20 نانوثانية من أجل معدل تكراري عموماً أقل من 20 Hz. في حين أن أنواع أخرى من الليزر المستعملة مثل ليزر المثار، ليزر CO<sub>2</sub>، الليزر التي تتميز بقصر مدة الحذف ( Picoseconde voire femtoseconde) أو حديثاً الليزر الليفية، و ليزر Nd : YaG يبقى أيضاً الاختيار الأفضل. في الواقع، الطول يمكن ببساطة تقليص مما يسمح بحمله ذو إيجابية عالية من أجل تطوير التحليل في الداخل [44].

### III-1-1-2- تأثير طول الموجة : الطول الموجي ومدة النبض لها تأثير على عملية نزع (الفصل) والتفاعل بين

حزمة الليزر والبلازما. قام بعض الكتاب بوصف تجارب مع ليزر ذو طول موجي قصير في الأشعة فوق بنفسجية. نخص بذلك مجال نانوثانية. في الواقع، كقاعدة عامة، الحذف جد فعال مع نبض UV أفضل من IR. الفوتونات IR لليزر هي جد ممتصة. يتابع، فقط الجزء الأقل طاقة لليزر يمكن أن يصل إلى الهدف ويساعد على انتزاع المادة. زيادة على ذلك، الترع في UV يؤدي إلى تكوين الحفر إنتاجية. عملية الانتزاع يمكن أيضاً مراقبتها بسهولة في UV أفضل من IR. من جهة أخرى، حزمة UV عادة تختار من أجل تطبيقات تحليل السطح الخرائط التي تحتاج حل جانبي جيد [44].

### III-1-1-3- مبدأ تشكل البلازما : تقنية LIBS تسمح بتركيز نبضة الليزر على المادة المدروسة من أجل

تبخيرها في شكل بلازما ; تحليل طيفي للضوء المنبعث يسمح بتحديد التركيب الكيميائي العنصري للمادة. التفاعل الحزمة نبضة الليزر له إضاءة عالية (استطاعة الإضاءة تؤخذ على وحدة السطح)، تصل موضعياً بعض مليارات الواط/cm<sup>2</sup>، مع المادة، تسمح بحدوث تسخين كلي للسطح المضاء وتبخيره في شكل بلازما.



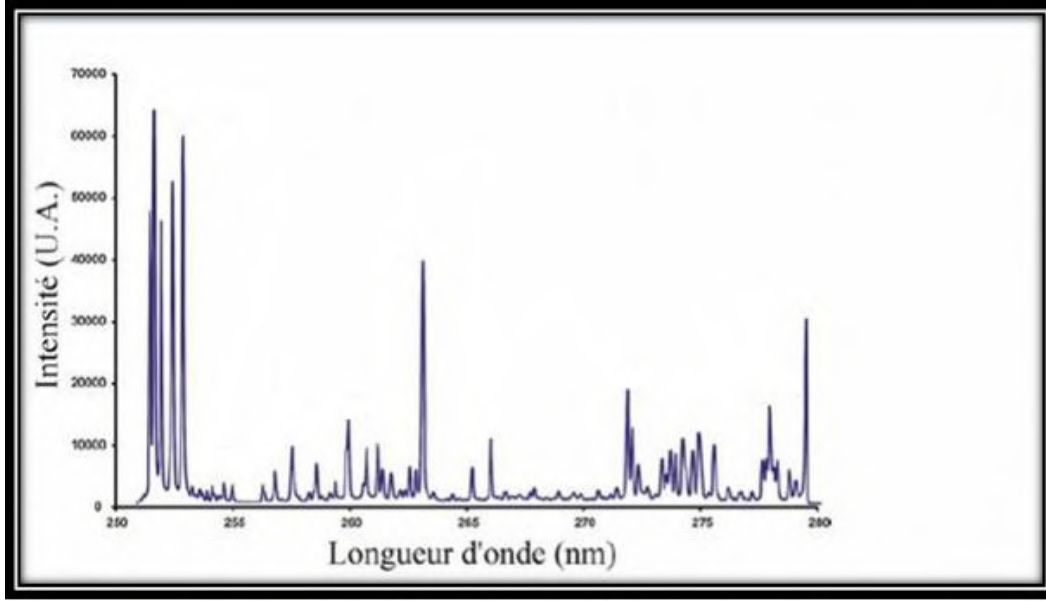
الشكل (III-3): يوضح مبدأ تشكل البلازما [48].

الذرات والأيونات الصادرة تنتقل في مستويات الطاقة المثارة منتشرة، وتبدأ الذرات في الإسترخاء وتعود إلى مداراتها الأرضية مطلقة فوتونات تمثل الطيف المشكل من خطوط ذرية، طوله الموجي يسمح له بالتعرف على العناصر الموجودة، حيث أن شدته متناسبة مع تركيز الذرات المشعة. كما يمكن أيضاً استنتاج التركيب العنصري للمادة [40] [48].

### III-1-1-4- الطيف التجريبي الناتج : تركيز العناصر يمكن تحديدها بطرق مختلفة، والأكثر شيوعاً هو معايرة

قياس باستخدام عينات مماثلة (مثل الصخور من نفس النوع) من تكوين معروف، مقاسة بتقنية أخرى.

هذه الطريقة يمكن إنجازها في المختبر. خارج المختبر، تختلف تماماً لأن المواد المراد تحليلها مجهل تكوينها، يمكن أن تقاس بأسلوب آخر. إذن من الضروري البحث عن طرق مبتكرة لمعالجة الإشارات تسمح بربط شدة خطوط الانبعاث لتركيب المادة بدون الرجوع إلى معايرة مسبقة. الدراسة وضبط طرق ناجحة تشكل واحدة من أهم مواضيع البحث حول LIBS، مرفقة مخبر دراسات تحليلية وتفاعلات السطوح (CEA /DPC/SERS) من (La direction de l'énergie nucléaire) CEA. الطيف العام يمكن أيضاً اعتباره "بصمة رقمية" العينة. طرق متطورة لمعالجة المعطيات تسمح بالتعرف سريعاً على المواد وفقاً لطيف LIBS [40].



الشكل (III-4): الطيف التجريبي الناتج عن صخور المريخ.

### III-2- دراسة تركيب عينة صخور كوكب المريخ :

من أجل تمييز الإشعاعات المنبعثة من البلازما، من الضروري توقع العناصر الرئيسية المتواجدة في هذا الانبعاث.

#### III-2-1- حساب شكل الخط الطيفي :

من أجل دراسة دقيقة للطيف التجريبي الناتج عن عينة من صخور المريخ، نقوم بإعادة رسمها نظرياً، انطلاقاً من قاعدة

المعطيات الفيزياء الذرية باستخدام البرنامج الرياضي تم إعداده بلغة الفورتران وفق المعادلات التالية:

- توزيع ماكسويل بولتزمان.

- قانون بولتزمان.

- قانون سaha .Saha.

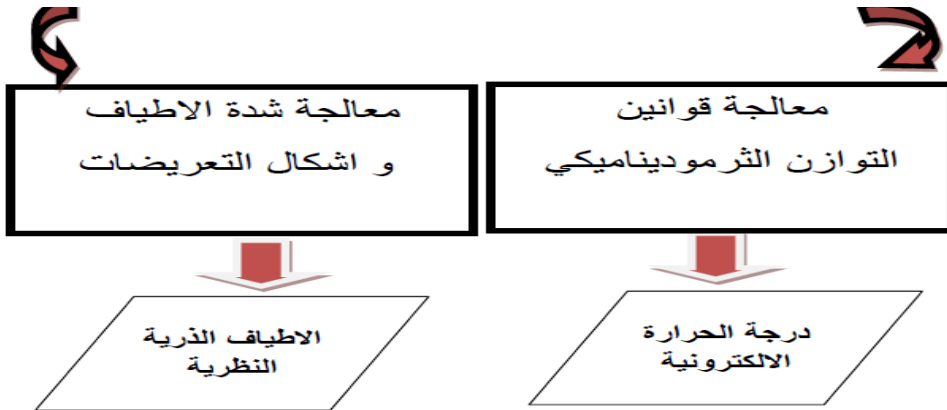
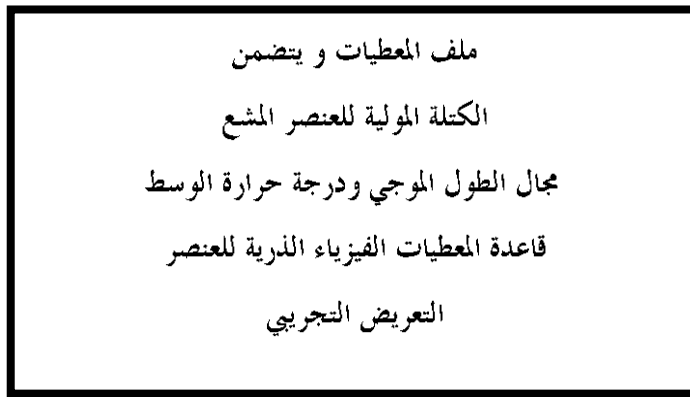
- قانون دالتون.

- قانون الحياض الكهربائي.

- قانون إنحفاظ المادة.

وعلى أسباب تعريض شكل الخطوط:

- التعريض الطبيعي.
- تعريض دوبلر.
- تعريض التصادمات.
- تعريض تجريبي شكل غوص.
- تعريض تجريبي شكل لورنتز.
- شكل فويت.



الشكل (III-5): مخطط البرنامج.

### III-2-2- شرح البرنامج :

#### III-2-2-1- قاعدة المعطيات الذرية : العمل التمهيدي الذي يتعين القيام به هو إعداد قاعدة المعطيات الذرية

ضمن مجال الأشعة فوق بنفسجية المدروس 250nm إلى 280nm من أجل تنسيقه في ملف « .txt ». بحيث يصبح قابل للقراءة من قبل برنامج الحساب. إختارنا معطيات NIST (Bureau Américain de normalisation) من موقع [51].

لدراسة الطيف التجريبي وتشخيصه نقوم باستخراج قواعد البيانات الذرية للعناصر المتوقع تواجدها في صخور المريخ وبعض الشوائب الممكنة مثل: Ca, Na, N, O, Fe, Mg, Si, AL, في الحالة العادية والمؤين مرة والمؤين مرتين.

وتشمل قاعدة البيانات هذه الطول الموجي  $\lambda_{ij}$  لكل انتقال، مستويات الطاقة المعنية  $E_i$  و  $E_j$ ، و احتمالية الانتقال  $A_{ji}$ ، و درجة التوالد  $g_i$  و  $g_j$ ، و  $f_{ij}$ .

#### III-2-2-2- إدخال المعطيات في البرنامج :

1. الطول الموجي الأقل.
2. الطول الموجي الأكبر.
3. عدد النقاط التي تمثل الطيف.
4. الكتلة الذرية لكل عنصر.
5. تعريض تجريبي: شكل غوص.
6. تعريض تجريبي: شكل لورنتز.
7. إدخال ملف قاعدة المعطيات الذرية.
8. شدة الطيف التجريبي.

وبعد التأكد من صحة المعطيات التي تم إدخالها

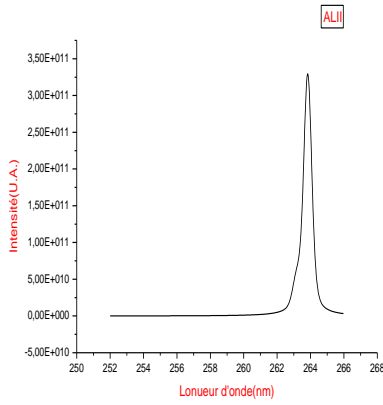
-تقوم بربطها ببرنامج حساب الأطياف "spad" هو الملف التنفيذي الذي يعطينا الشكل النهائي للطياف النظري لكل عنصر، يعطى مباشرة شكل الخط.

-حيث « .txt » يمثل ملف الإخراج يعطي شكل الأخير المركب "الطول الموجي – الشدة" لكل عنصر.

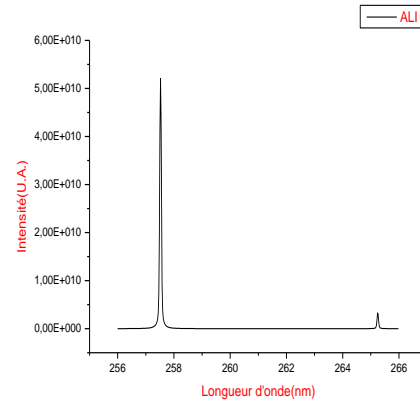
-نقوم برسم الأطياف النظرية الناتجة عن جميع التعريضات (voigt) بما فيها التعريض التجريبي المتوقع وفق برنامج لرسم الأطياف.

### III-2-3- الأطياف النظرية : و تظهر الأطياف المحسوبة ضمن المجال الأشعة فوق البنفسجية و بتعريض تجريبي

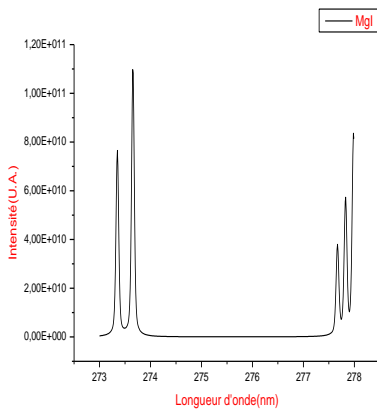
(0,001nm) في الأشكال التالية :



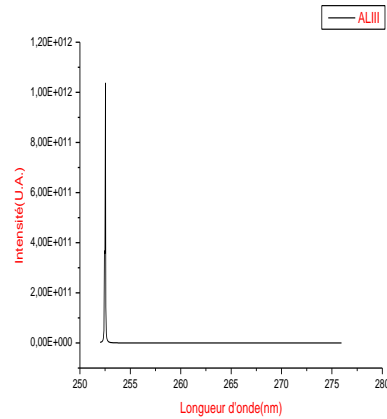
الشكل (III-7): طيف الألمنيوم المؤين مرة.



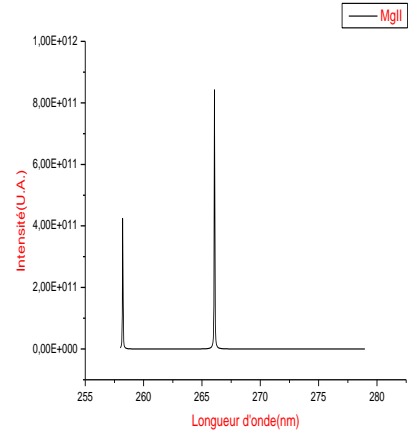
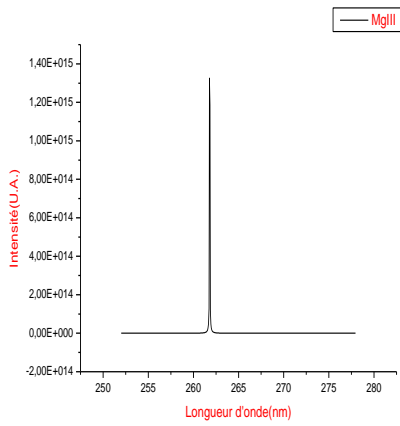
الشكل (III-6): طيف الألمنيوم العادي.



الشكل (III-9): طيف المغنيزيوم العادي.

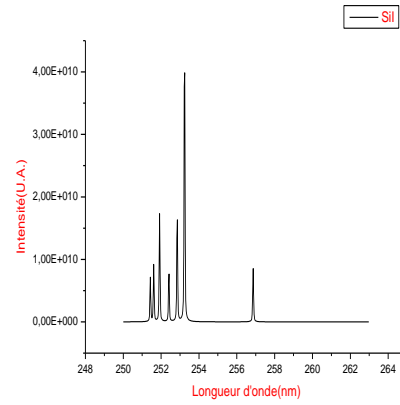
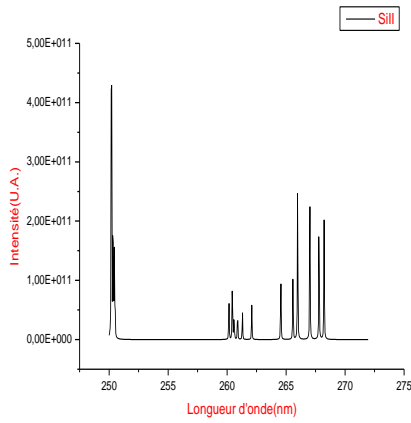


الشكل (III-8): طيف الألمنيوم المؤين مرتين.



الشكل (III-11): طيف المغنيزيوم المؤين مرتين.

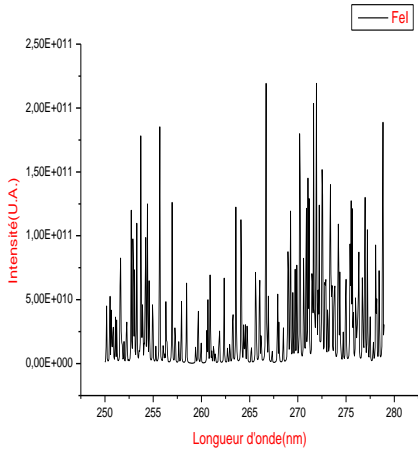
الشكل (III-10): طيف المغنيزيوم المؤين مرة.



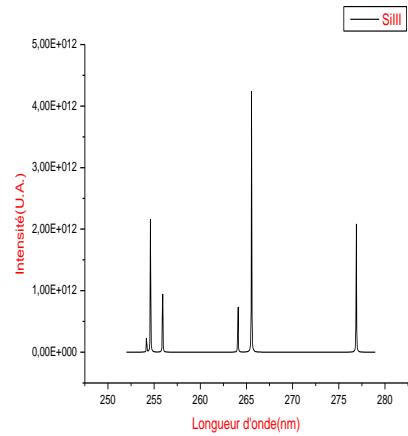
الشكل (III-13): طيف السليسيوم المؤين مرة.

الشكل (III-12): طيف السليسيوم العادي.

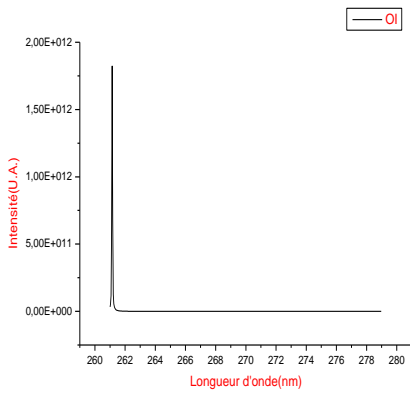




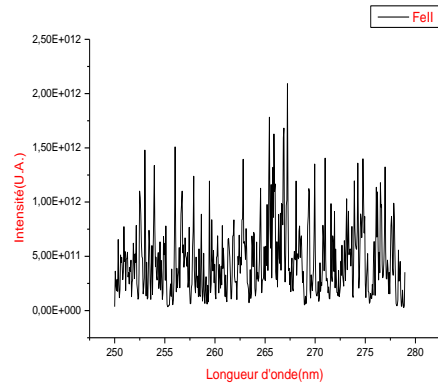
الشكل (III-15): الحديد العادي.



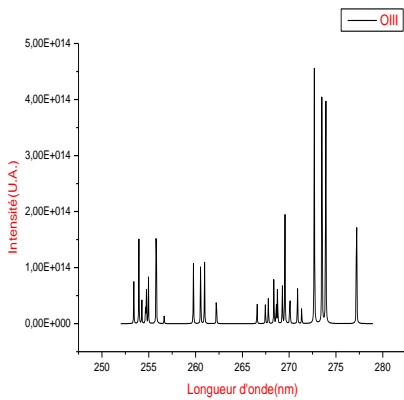
الشكل (III-14): طيف السليسيوم المؤين مرتين.



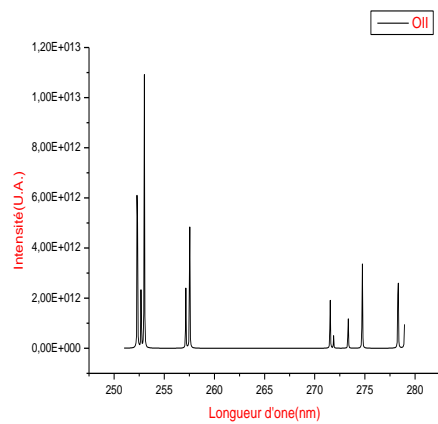
الشكل (III-17): الأكسجين العادي.



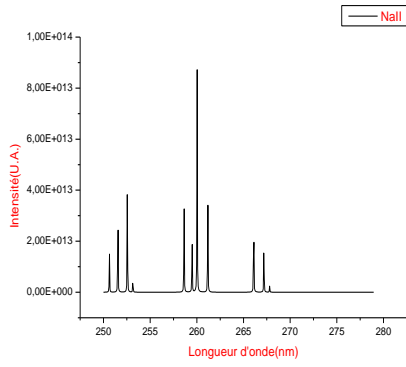
الشكل (III-16): طيف الحديد المؤين مرة.



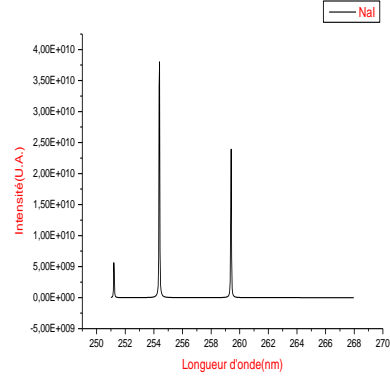
الشكل (III-19): طيف الأكسجين المؤين مرتين.



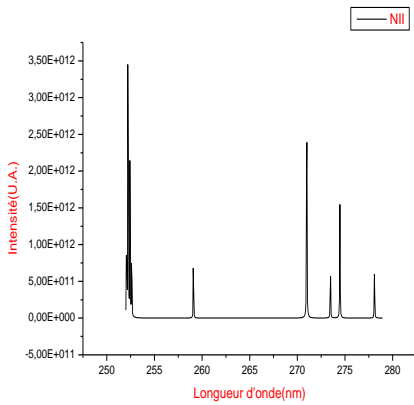
الشكل (III-18): طيف الأكسجين المؤين مرة.



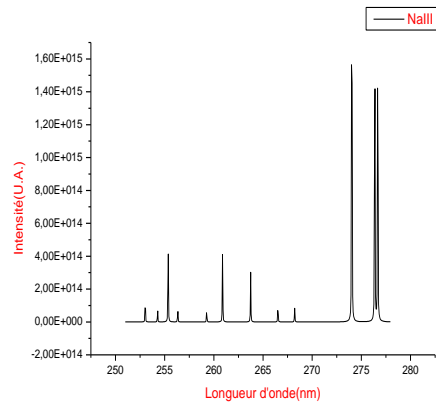
الشكل (III-21): طيف الصوديوم المؤين مرة.



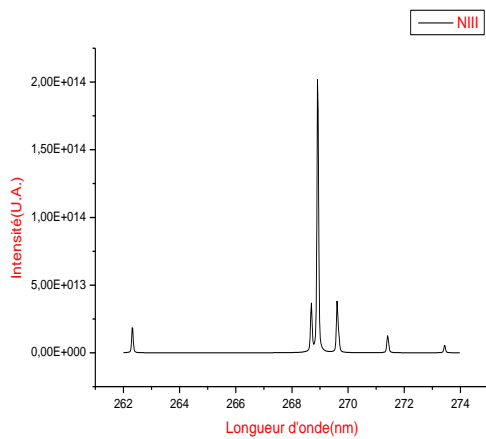
الشكل (III-20): الصوديوم العادي



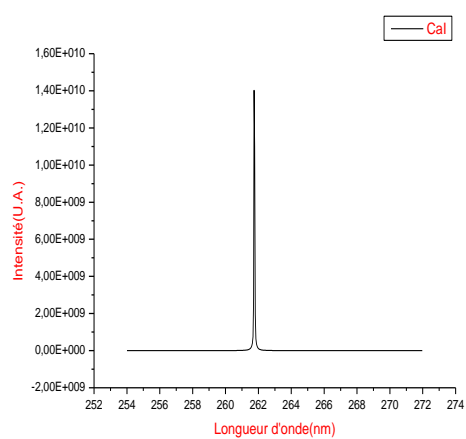
الشكل (III-23): طيف الأزوت المؤين مرة.



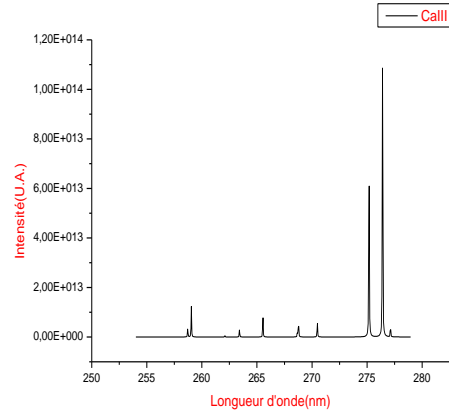
الشكل (III-22): طيف الصوديوم المؤين مرتين.



الشكل (III-25): طيف الكالسيوم العادي.



الشكل (III-24): طيف الأزوت المؤين مرتين.



الشكل (III-26): طيف الكالسيوم المؤين مرتين.

### III-2-4- تحديد العناصر المكونة لعينة صخور المريخ :

بالمطابقة و المقارنة بين الطيف التجريبية والأطياف النظرية التي تم إعدادها وفق برنامج عددي بلغة الفورتران الناتج عن

بلازما التسامي بالليزر، تمكنا من تحديد العناصر المتواجدة في صخور كوكب المريخ الموضحة في الجدول:

الجدول (III-1): الأطوال الموجية للعناصر المطابقة لطيف التجريبي.

العنصر	الأطوال الموجية المطابقة (nm)	العنصر	الأطوال الموجية المطابقة (nm)	العنصر	الأطوال الموجية المطابقة (nm)
SiI	252,4 253,2	SiII	251	SiIII	/
AlI	257,5 متداخل: 263	AlII	متداخل: 263	AlIII	متداخل: 252,5
FeI	272	FeII	275	FeIII	

		متداخل: 274		260	
/		متداخل: 263		253,5	
		261		255	
		256			
/	MgIII	/	MgII	278	MgI
/	OIII	/	OII	متداخل: 261	OI
/	NIII	252,5	NII	/	NI
متداخل: 274	NaIII	261	NaII	/	NaI
		متداخل: 260			
275	CaIII	/	CaII	متداخل: 261	CaI

من نتائج المقارنة بين الأطياف النظرية بالطيف التجريبي نلاحظ أن العناصر ذات احتمال تواجد كبير في عينة صخور كوكب

المريخ الناتج عن تقنية LIBS هي: Fe, Mg, Al, Si و بالتالي يمكننا اعتبار العناصر الأقل تواجد كشوائب: N, O ,

. Ca, Na

III-2-5- حساب نسبة تواجد كل عنصر :

حساب نسبة تواجد كل عنصر في العينة، نعلم على معادلة بولتزمان، حيث نأخذ في كل مرة نسبة الشدة بين الطولين الموجين  $\lambda_1, \lambda_2$  مع افتراض أن الوسط في توازن حراري محلي.

هذا من جهة ومن جهة أخرى ننتقل في عملية التشخيص بانفترض أن لدينا 1مول من كل عنصر ثم ندرس التعديلات الممكنة:

- سنقوم بأخذ عنصر الحديد FeI كمعيار من أجل حساب نسبة تواجد العناصر الأخرى SiI, AlI, MgI انطلاقاً من شدة كل عنصر في الطيف النظري و مساواته بالطيف التجريبي وفق العلاقة التالية:

$$\left(\frac{I_{\lambda_1}}{I_{\lambda_2}}\right)_E = \left(\frac{I_{\lambda_1}}{I_{\lambda_2}}\right)_T \dots\dots\dots(1-III)$$

- اخترنا عنصر الحديد FeI وذلك لعدم وجود تداخل لعنصر الحديد مع عناصر أخرى، حيث وجدنا أن FeI في الطيف التجريبي والنظري متطابق في نفس الطول الموجي 272 nm ونفس الشدة، وهذه المعطيات تبرهن صحة الفرضية بأن وسط البلازما في حالة توازن حراري محلي.

-الجدول يمثل الشدات في الطيف التجريبي والطيف النظري لكل عنصر.

الجدول (III-2): الشدات في الطيف التجريبي والنظري لكل عنصر.

العنصر	الطول الموجي الموافق (nm)	شدة الخط في الطيف التجريبي (U.A)	الشدة في الطيف النظري (U .A)
FeI	272	1,8	$22.10^{10}$
SiI	253	5,7	$4.10^{10}$
AlI	257,5	1	$5,2.10^{10}$
MgI	278	1,5	$8,5.10^{10}$

- لحساب نسبة تواجد كل عنصر بالإعتماد على المعايرة الرقمية ب1 مول من عنصر الحديد FeI، نقوم أولاً بحساب معاملات التعديل في الشدات النظرية للعناصر المختارة بالوسط من أجل الحصول على التطابق في الطيف التجريبي.

حيث إنطلاقاً من الأطياف النظرية و بالمطابقة مع الطيف التجريبي وكذلك بتطبيق النتائج المعطاة في الجدول (III-2) و العلاقة (III-1) نجد ما يلي:

الجدول(III-3): معاملات التعديل في الشدات النظرية المختارة بالوسط.

العنصر	الشدات النظرية المفترضة للتطابق	معاملات التعديل في الشدة
FeI	22, 00	01, 00
SiI	69, 66	17, 41
AlI	12, 22	05, 20
MgI	18, 33	02, 15

نتائج الجدول اعلاه محسوبة بدالة توزيع تساوي الواحد و من خلالها نلاحظ ما يلي:

- شدة المغنيزيوم المتواجد في العينة صخور المريخ يمثل الضعف بالمقارنة مع شدة الحديد.
- شدة عنصر السليسيوم يمثل 17 مرة بالمقارنة مع شدة الحديد.
- شدة عنصر الألمنيوم تقارب 3 مرات شدة عنصر الحديد.

### III-2-5-1- حساب دالة التوزيع B(T) لكل عنصر:

لما تكون الذرات في حالة مثار كلياً تصبح دالة التوزيع معطاة بالعلاقة التالية:

$$B(T) = g = 2J + 1 \dots \dots \dots (III-2)$$

وبتطبيق المعطيات في العلاقة نتحصل على دالة التوزيع لكل عنصر. و من أجل التأكد من شدة و نسبة تواجد كل عنصر

في العينة يكون أكبر يجب أخذ القيمة الأكبر احتمالاً الانتقال بين المستويات  $A_{ij}$ . الجدول (III-4): يمثل معطيات الفيزياء الذرية التي تم إستغلالها [51].

الجدول (III-4): معطيات الفيزياء الذرية للإنتقالات المختارة.

العنصر	(nm)	$A_{ij}$	$g_i$	$g_j$	$j_i$	$j_j$
FeI	272,09	$1,04 \cdot 10^8$	7	5	3	2
SiI	253,2	$2,45 \cdot 10^7$	1	3	0	1
AlI	257,5	$3,60 \cdot 10^7$	4	6	3/2	5/2
MgI	278,14	$5,04 \cdot 10^8$	3	1	1	0

نتائج حساب دالة التوزيع التقريبية لكل عنصر موضحة في الجدول التالي:

الجدول (III-5): نتائج حساب دالة التوزيع لكل عنصر.

العنصر	B (T)
FeI	5
SiI	3
AlI	6
MgI	1

III-2-5-2- حساب كثافة كل عنصر:

بالأخذ بعين الاعتبار نتائج دوال التوزيع بالجدول اعلاه (III-5)، وادراجها بمعادلة بولتزمان رقم (III-1) لحساب الشدات

نتحصل على معاملات مرتبطة بالكثافة الذرية للعناصر المحتمل تواجدها و المدونة بالجدول التالي:

الجدول (III-6): معاملات المرتبطة بالكثافة الذرية.

العنصر	معامل الكثافة
FeI	5
SiI	52.25
AlI	14.1
MgI	2.15

III-2-5-3- حساب نسبة تواجد كل عنصر في صخور المريخ :

$$N_{\text{total}} = 73,499$$

انطلاقا من مجموع الكثافات

نجد النسب التالية:

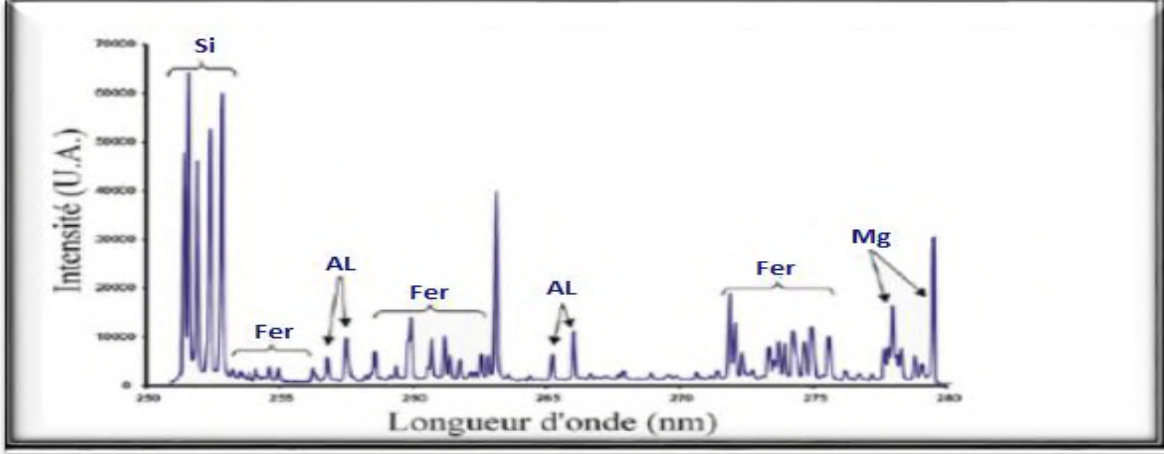
الجدول (III-7): نسبة تواجد كل عنصر في صخور المريخ.

العنصر	نسب التواجد
FeI	6,8 %
SiI	71 %
AlI	19,1 %
MgI	2,96 %



الطيف (III-27): يوضح مناطق توجد العناصر الكيميائية الناتجة عن عينة صخور كوكب المريخ في الطيف التجريبي الناتج عن

بلازما التسامي بالليزر ( تقنية LIBS)، ضمن مجال الأشعة فوق بنفسجية.



الشكل (III-27): العناصر المتواجدة في صخور المريخ.

III-2-6- المناقشة: من خلال نتائج حساب نسبة تواجد العناصر في عينة صخور كوكب المريخ نلاحظ أن عنصر

السليسيوم هو الغالب في هذه العينة 71 % ثم عنصر الألمنيوم بنسبة أقل 19 % يليها عنصر الحديد بنسبة 6,8 % ونسبة ضئيلة

من عنصر المغنيزيوم تمثل 2,96 % ، حيث أن مجموع نسب تواجد عناصر Si, Fe, Mg, Al، الناتج عن التحليل

الطيفي لبلازما تسامي بالليزر "تقنية LIBS" تمثل 99,86 % في صخور كوكب المريخ التي تم دراستها في المجال الأمواج فوق

بنفسجية. كما يبقى تواجد العناصر أخرى وارد ولو بنسب ضعيفة حيث أن البحث في هذا المجال لا يزال قائماً

ويتسم بقلة النتائج الدقيقة سواءً من طرف المحطات الأوروبية أو الأمريكية.

# خلاصة عامة

### خلاصة عامة:

في هذا العمل تمكنا من تحديد التركيب الكيميائي للمادة الصلبة المتمثلة في صخور كوكب المريخ، و كذا تحديد نسبة تواجد كل عنصر في العينة، إنطلاقاً من دراسة الطيف الناتج عن بلازما المتشكلة إثر التسامي بالليزر، ولإتمام هذه الدراسة قمنا بشرح الحالة الرابعة للمادة المتمثلة في البلازما و أهم خصائصها و بعض المقادير المهمة و أيضاً قوانين التوازن الحراري، كما قمنا بتعريف ظاهرة التسامي التي هي الانتقال من الحالة الصلبة إلى الحالة الغازية، حيث تتم هذه الظاهرة باستخدام أشعة الليزر، و تم عرض أنواع الليزر و خصائصه ، كما تم تعريف الأطياف الذري والتعريضات الممكنة، وأيضاً عرض المطيافية المستخدمة في عملنا هذا المبنية على تقنية "LIBS". حيث قمنا بشرح وتوضيح التركيب التجريبي الذي من خلاله تحصلنا على الطيف التجريبي المتعلق بصخور المريخ.

تم التطرق إلى البرنامج الرياضي الذي تم إعداده بلغة الفورتران وفق معادلات من أجل إستخراج الأطياف النظرية باعتماد على قاعدة المعطيات الذرية المدروس ضمن المجال الأشعة فوق بنفسجية، وبالمقارنة الأطياف النظرية بالطيف التجريبي قمنا بتحديد العناصر المتواجدة في العينة المتمثلة في  $MgI$  ،  $FeI$ ،  $SiI$ ،  $Al$  و بالمساواة الشدة في الطيف النظري بالطيف التجريبي تمكنا من حساب نسبة تواجد كل عنصر في العينة، تحصلنا على السليسيوم بنسبة % 71 و الألمنيوم بنسبة % 19,1 و الحديد بنسبة % 6,8 و المغنيزيوم بنسبة % 2,96.

ومن أجل نتائج أكثر دقة يمكننا مستقبلاً إعادة الحساب مع الأخذ بعين الإعتبار القيمة الدقيقة لدوال التوزيع للعناصر المشعة كما نرغب في تطبيق هذا النموذج على عينة أخرى لتأكيد.

# قائمة المراجع

- [1] H .R.GRIEM, " Plasma Spectroscopy ", Mc Grawhll (1964) .
- [2] H .R.GRIEM , " Principles of plasma spectroscopy " , Cambridge U . Press (1997) .
- [3] M .Baranger ,Phys.Rev .112,855 (1958).
- [4] A .C. Kolb and H .R .Griem ,Phys .Rev .111,514 (1958).
- [5] Olivier Vallée , " Rayonnement des plasmas et profil des raies spectrales " .  
LASEP ( Laboratoire d'Analyse Spectroscopique et d'Energétique des Plasma ) .  
UPRES EA 3269, Faculté des Sciences – Université d'orléans (2002).
- [6] [www.hazemsakeek.com](http://www.hazemsakeek.com).
- [7] وليد مصطفى صهيوني، مقدمة في فيزياء البلازما، أستاذ في البلازما النظرية، يونيو 2006، سلطنة عمان.
- [8] إسماعيل شبحي، حساب دوال الحقل الكهربائي الموضوعي و مشتقاتها داخل البلازما باستخدام المحاكاة العددية موني كارلو تطبيقاً لطيف الهليوم، رسالة دكتوراه دولة، جامعة منتوري قسنطينة 2005.
- [9] علي إبراهيم مهدي العزاوي، الكهرومغناطيسيات، الجامعة المنتصرية بغداد.
- [10] R. O. Dendy ; " Plasma Dynamics" ; Oxford Science Publications ;  
Clarendon Press (1990).
- [11] فريشة سليمة، أطروحة دكتوراه " استخدام نموذج الجسيمات المستقلة لحساب دوال توزيع المشتقات الفضائية للحقل الكهربائي الأيوني الموضوعي في البلازما " ، جامعة ورقلة 2014.

[12] P. Tardiveau ; “ Physique des plasma ” cuor–Master de physique Fondamental–  
M<sub>1</sub> ; Laboratoire de Physique des gaz et des plasmas Pierre , France (2012–2013) .

[13] J. L. Delcroix, A. Bers, “ Physique des Plasmas ” , Ed . CNRS;Paris (1994) .

[14] J. M. Rax ; “ Physique des Plasmas cour et applications ” ; Dunod ; Paris  
(2005) .

[15] الموقع الإلكتروني: [http://www.byto.com/vb\\_showthread.php](http://www.byto.com/vb_showthread.php)

[16] سعد الله براهيم، توثيق خاص، مدرسة عليا القبة، الجزائر .

B. Held ; “ Physique des Plasmas Froids ” Masson. Paris (1994).]17[

M. Moisan et J. Pelletier ; “Physique des Plasmas Collisionnels ” ; EDP]18[

Sciences, France, (2006).

[19] J.L. Delcroix et A. Bers ; “ Physique des Plasmas ” ; Volume 1. Inter Editions,  
Paris 1994.

[20] Arslane. Boudghane Stambouli ; “ Calcul du rayonnement toutal émis par un  
Plasma non homogène ” ; Mémoire de magister ; Université Aboubaker Belkaid de  
Tlemsan (2006).

[21] P. Freton “ Etude d’un arc de découpe par plasma d’oxygène Modélisation  
Expérience “ Doucteur de L’université de Paul Sabatier Toulouse ; III,(2002).

[22] A. Deneunille , J.C.Bruyère, A. Mini , H. Hmide et H.Kahil ; “ Cellules  
Solaires : quelques aspects des Structures “ Schottky ” à base de silicium amorphe

hydrogène ”, Revue de physique Appliquée, Vol. 15, n° 2 , PP. 233-240, 1980 .

[23] F. Khelfaoui ; “ Cour de Magister Physique du rayonnement ” ; 2010 – 2009.

[24] الدكتور: محمد خليل أبو زلطة. أمجد حسين أبو جزر مصباح جمعة عقل. زياد عبد الكريم القاضي، فيزياء الضوء و الصوت و الفيزياء الحديثة (النظرية النسبية و الإشعاع و الفيزياء الذرية)، الطبعة العربية الأولى 2010م. 1431هـ: عمان. الأردن.

[25] سميحة بضيف: دراسة التركيب الجزيئي لرمال كئبان منطقة ورقلة، بإستخدام مطيافية الإمتصاص ما تحت الأحمر و حيود الأشعة السينية 2012.

[26] الموقع الإلكتروني:

[http:// www . byto.com/vbshowthread.php](http://www.byto.com/vbshowthread.php)

[27] د. فواز سيوف ” الأطياف في الفلك أستاذ المعهد العالي لبحوث الليزر و تطبيقاتها. جامعة دمشق. جمعية الفلك السورية.

[www.saaa-sy.org](http://www.saaa-sy.org).

[28] Karl GIROUX ; “ Etude Critique de la densité électronique et des températures ( excitation et ionisation d’un plasma aluminum induit par laser université de Montréal (2009).

[29] Azzaoui Mohammed “ Etude de Spectoscopie atomique et moléculaire dans un pulvérisateur cathodique magnétron. Mémoire magister 2013.

[30] F.Khelfaoui , “ Cour de Master Physique du Royonnement ”, 2012- 2013.

[31] SAMI DILMI “ Etude quelques processus atomiques affectant la cinétique atomique : Application à l’ionisations de l’hélium neutre et quelques ions héliumoids , Thèse Docteur, Université Badji Mokhter Annaba .

[32] S. Lemkeddem et F. Khlfoui ; “ Spectre de raies d’emission d’un torche plasma en utilisant la technique de l’inversion d’ablel ” , Séminaire Internatonal sur physique des plasmas (SIPP 2011), Ouargla , 2011.

[33] H. Park, S. J.You et W. Choe ; “ Correlation between excitation temperature and éléctron temperature with two groups of éléctron energy distributions ” . physics of plasmas.Vol. 17. P ; 103501. 2010.

[34] الدكتور صالح مصطفى الأترشي و الدكتور رياض وديع يوسف، كتاب الليزر أسس و إستخدامات. كلية الهندسة/ جامعة دهوك- دار دجلة لطباعة و النشر- الطبعة الأولى 1429هـ/ 2008م.

[35] الدكتور يوسف مولود حسين و الدكتور صالح الأتروشي، كتاب تقنيات الليزر و إستخداماته. كلية الهندسة / جامعة دهوك. دار دجلة لطباعة و النشر- الطبعة الأولى 2008م.

[36] الدكتور سعود بن حميد اللحياي، فيزياء الليزر و تطبيقاته. (جامعة أم القرى) 2010-2011.

[37] بيلا آ. ليكيل، كتاب الليزر. جامعة فرنالديو، ترجمة فاروق عبودي قصير، جامعة الموصل 1984 م / 1403هـ.

[38] د- فالخ حسن الأحمدى- د. عصام جورج شماني، الليزر و تطبيقاتها.

[39] الدكتور محمد الكوسا، فيزياء الليزر و تطبيقاته. جامعة دمشق 2005-2006.

[40] La LIBS : les applications d’un laser d’analyse, des systèmes nucléaires à

L’exploration spatiale, 2014.

[41] Agnes Cousin, LIBS( Laser-Induced Breakdown Spectroscopy) pour

L’exploration martienne ; Thèse doctorat de l’université de Toulouse 2012



[42] Technologies Laser Pour la Prévention des Risques industriels ET des  
Pollutions.

[www.cea.fr](http://www.cea.fr)

[43] <http://www.libs-France.com/index.php/qu-est-ce-que-la-libs/avantages>.

(visité Mrs 2016).

[44] ISMEAL AMINA, 2011, PH. D. Thèse Université Bordeaux1.

[45] <http://www.Critt.Fr/dpimages/fichier/335/LIBS.PDF> (visité Avril 2016).

[46] <http://www.pharmalser.com/content/?id=59&locale=fr> (visité mai 2016).

[47] <http://www.fonderie-durable.fr/pagelibs000105F0.aspx> (visité avril 2016).

<http://www.uwindsor.ca/people/rehse/15/what-is-libs> (visité mai 2016).]48[

[www2.cslaval.qc.ca/paul-vi/IMG/PDF/mineraux-roches-ngolo-logola.PDF](http://www2.cslaval.qc.ca/paul-vi/IMG/PDF/mineraux-roches-ngolo-logola.PDF)]49[

[50] Dr. Chabou Maulley Charaf, Université Farhat AbbasSétif. cour de  
pétrographie Endogène , 2<sup>ème</sup> année-LMD Géosciences- Semester 4, Les roches  
magmatiques : composition chimique.

[51] NIST Atomic Spectre Data base, <http://physics.nist.gov>.(visité Mars 2016).

الملاحق

الملحق

الجدول يمثل معطيات الفيزياء الذرية لعنصر Si :

Ritz Wavelength h Air (nm)	$A_{ki}$ (s <sup>-1</sup> )	$E_i$ (eV)		$E_k$ (eV)	Lower Level J	Upper Level J	$g_i$	-	$g_k$
250.6897	5.47e+07	0.0095610	-	4.9537952	1	2	3	-	5
251.4316	7.39e+07	0.000000	-	4.9296470	0	1	1	-	3
251.6112	1.68e+08	0.0276679	-	4.9537952	2	2	5	-	5
251.9202	5.49e+07	0.0095610	-	4.9296470	1	1	3	-	3
252.4108	2.22e+08	0.0095610	-	4.9200851	1	0	3	-	1
252.8508	9.04e+07	0.0276679	-	4.9296470	2	1	5	-	3
253.2381	2.45e+07	1.9086586	-	6.8031407	0	1	1	-	3
256.1823	4.62e-03	0.7809579	-	5.6191929	2	3	5	-	7
256.3677	4.20e-03	0.7809579	-	5.6156942	2	2	5	-	5
256.4825	1.78e-03	0.7809579	-	5.6135318	2	1	5	-	3
256.8640	4.24e+06	1.9086586	-	6.7340551	0	1	1	-	3
263.1282	1.06e+08	1.9086586	-	6.6191858	0	1	1	-	3

الجدول يمثل معطيات الفيزياء الذرية لعنصر ALI:

Ritz Wavelength Air (nm)	$A_{ki}$ ( $s^{-1}$ )	$f_{ik}$	$E_i$ (eV)	$E_k$ (eV)	Lower Level J	Upper Level J	$g_i$	$g_k$
256.79823	1.92e+07	3.80e-02	0.000000	4.8266320	$1/2$	$3/2$	2	4
257.50940	3.60e+07	5.37e-02	0.0138938	4.8271968	$3/2$	$5/2$	4	6
257.53962	5.99e+06	5.96e-03	0.0138938	4.8266320	$3/2$	$3/2$	4	4
265.24758	1.42e+07	1.50e-02	0.000000	4.6728909	$1/2$	$1/2$	2	2
266.03863	2.84e+07	1.51e-02	0.0138938	4.6728909	$3/2$	$1/2$	4	2

الجدول يمثل معطيات الفيزياء الذرية لعنصر MgI

Ritz Wavelength Air (nm)	$A_{ki}$ (s <sup>-1</sup> )	$f_{ik}$	$E_i$ (eV)	$E_k$ (eV)	Lower Level J	Upper Level J	$g_i$	$g_k$
273.19940	6.97e+06	2.34e-02	2.7091049	7.2459928	0	1	1	3
273.34925	5.21e+06	5.84e-03	2.7115919	7.2459928	1	1	3	3
273.34941	9.37e+06	1.75e-02	2.7115919	7.2459902	1	2	3	5
273.65391	3.46e+05	2.33e-04	2.7166398	7.2459928	2	1	5	3
273.65407	3.12e+06	3.50e-03	2.7166398	7.2459902	2	2	5	5
273.65414	1.25e+07	1.96e-02	2.7166398	7.2459890	2	3	5	7
277.6690	1.32e+08	2.54e-01	2.7115919	7.175454	1	2	3	5
277.8271	1.82e+08	6.32e-01	2.7091049	7.170428	0	1	1	3
277.9820	1.36e+08	1.58e-01	2.7115919	7.170428	1	1	3	3
277.9834	4.09e+08	4.74e-01	2.7166398	7.175454	2	2	5	5
278.1416	5.43e+08	2.10e-01	2.7115919	7.167870	1	0	3	1
278.2971	2.14e+08	1.49e-01	2.7166398	7.170428	2	1	5	3

الجدول يمثل معطيات الفيزياء الذرية لعنصر Fe:

Ritz Wavelength h Air (nm)	$A_{ki}$ (s <sup>-1</sup> )	$f_{ik}$	$E_i$ (eV)	$E_k$ (eV)	Low er Level J	Upp er Leve l J	$g_i$	$g_k$
250.11317 4	6.75e+ 07	4.93e- 02	0.000000	4.9556301	4	3	9	7
250.14242 8	1.56e+ 05	1.46e- 04	0.9581573	5.9132080	3	3	7	7
250.16937 7	3.69e+ 06	2.84e- 03	0.8589957	5.8135126	5	4	1	9
250.50081	2.56e+ 07	2.94e- 02	2.5591715	7.5071336	4	5	9	1
250.65716 5	2.04e+ 07	2.47e- 02	2.5881059	7.5329818	3	4	7	9
250.79001 7	1.93e+ 07	2.34e- 02	0.9581573	5.9004139	3	4	7	9
250.87531 4	1.71e+ 06	2.26e- 03	0.9901111	5.9306875	2	3	5	7
251.08346 8	1.29e+ 08	8.71e- 02	0.0515691	4.9880499	3	2	7	5
251.22752 4	2.19e+ 06	1.70e- 03	0.8589957	5.7926461	5	4	1	9
251.23646 5	2.00e+ 06	1.89e- 03	0.0515691	4.9850439	3	3	7	7
251.58532 2	1.22e+ 06	8.28e- 04	1.5573573	6.4839917	3	2	7	5
251.62500 3	3.73e+ 05	3.54e- 04	0.9146022	5.8404596	4	4	9	9
251.65707	1.71e+	2.09e-	0.9581573	5.8833870	3	4	7	9

6	06	03							
251.76611 2	1.58e+ 07	2.10e- 02	0.9901111	-	5.9132080	2	3	5	- 7
251.81014 5	1.93e+ 08	1.10e- 01	0.0872857	-	5.0095217	2	1	5	- 3
251.96293 0	1.34e+ 07	2.13e- 02	1.0110557	-	5.9303071	1	2	3	- 5
252.19186 4	2.42e+ 06	1.79e- 03	0.9146022	-	5.8293883	4	3	9	- 7
252.24797 4	1.14e+ 06	1.33e- 03	0.9146022	-	5.8282951	4	5	9	- 1
252.28491 7	2.13e+ 08	2.03e- 01	0.000000	-	4.9129735	4	4	9	- 9
252.42922 8	3.23e+ 08	1.03e- 01	0.1101143	-	5.0202793	1	0	3	- 1
252.72654 8	3.46e+ 07	3.32e- 02	2.4040744	-	7.3084633	6	6	1 3	1 - 3
252.74344 2	1.93e+ 08	1.85e- 01	0.0515691	-	4.9556301	3	3	7	- 7
252.91348 0	9.91e+ 07	9.51e- 02	0.0872857	-	4.9880499	2	2	5	- 5
252.93077	4.86e+ 08	6.53e- 01	2.6085019	-	7.5089311	2	3	5	- 7
252.98352 3	3.83e+ 07	3.68e- 02	0.1101143	-	5.0095217	1	1	3	- 3
253.06871 6	6.40e+ 05	8.61e- 04	0.0872857	-	4.9850439	2	3	5	- 7
253.28759 3	1.43e+ 06	9.82e- 04	0.9581573	-	5.8516834	3	2	7	- 5
253.31409 5	2.07e+ 07	1.99e- 02	2.4326947	-	7.3257088	5	5	1 1	1 - 1

253.56068 2	9.59e+ 07	2.77e- 01	0.1212657	-	5.0095217	0	1	1	-	3
253.71743 5	3.70e+ 08	4.12e- 01	2.4040744	-	7.2893105	6	7	1	3	1 -5
253.74587 6	3.19e+ 06	3.76e- 03	1.4848644	-	6.3695530	4	5	9	-	1
253.86990 7	2.74e+ 05	3.40e- 04	0.9581573	-	5.8404596	3	4	7	-	9
253.93565 5	2.41e+ 06	1.81e- 03	0.9146022	-	5.7956404	4	3	9	-	7
254.06603 2	1.41e+ 06	1.36e- 03	0.0872857	-	4.9658194	2	2	5	-	5
254.09718 6	9.59e+ 07	1.55e- 01	0.1101143	-	4.9880499	1	2	3	-	5
254.21012 5	4.47e+ 08	5.12e- 01	2.4326947	-	7.3084633	5	6	1	1	3
254.39223 5	4.70e+ 08	5.58e- 01	2.4534304	-	7.3257088	4	5	9	-	1
254.46563 2	2.86e+ 06	1.67e- 03	0.9901111	-	5.8609843	2	1	5	-	3
254.59781 8	7.16e+ 07	9.75e- 02	0.0872857	-	4.9556301	2	3	5	-	7
254.95249 5	6.62e+ 05	6.46e- 04	0.9901111	-	5.8516834	2	2	5	-	5
254.96129 9	2.31e+ 07	2.90e- 02	0.0515691	-	4.9129735	3	4	7	-	9
255.26057 6	6.19e+ 05	1.01e- 03	0.1101143	-	4.9658194	1	2	3	-	5
255.28303 9	1.43e+ 06	9.97e- 04	0.9581573	-	5.8134351	3	2	7	-	5
255.63037	2.55e+	3.21e-	1.5573573	-	6.4060386	3	4	7	-	9



2	06	03							
255.68626 9	7.51e+ 05	8.70e- 04	0.8589957	-	5.7066171	5	6	1 1	1 -3
256.05570 0	1.59e+ 06	2.61e- 03	1.0110557	-	5.8516834	1	2	3	- 5
256.18547 3	1.67e+ 06	1.64e- 03	1.0110557	-	5.8492315	1	1	3	- 3
256.33989 5	1.12e+ 06	7.89e- 04	0.9581573	-	5.7934188	3	2	7	- 5
256.45592 8	1.43e+ 06	2.35e- 03	1.0110557	-	5.8441295	1	2	3	- 5
256.88643 3	2.04e+ 06	1.21e- 03	0.9901111	-	5.8150860	2	1	5	- 3
256.95967 8	1.01e+ 06	8.18e- 04	0.8589957	-	5.6825954	5	4	1 1	- 9
256.97436 2	1.17e+ 06	1.16e- 03	0.9901111	-	5.8134351	2	2	5	- 5
257.27537 2	2.49e+ 06	3.46e- 03	1.6078958	-	6.4255769	2	3	5	- 7
257.66900 4	1.13e+ 07	1.12e- 02	0.8589957	-	5.6693175	5	5	1 1	1 -1
257.92700 1	3.15e+ 05	3.84e- 04	0.9146022	-	5.7201126	4	5	9	- 1
258.45357 6	3.15e+ 07	3.73e- 02	0.8589957	-	5.6547160	5	6	1 1	1 -3
259.41510 6	1.86e+ 06	1.46e- 03	0.9146022	-	5.6925481	4	3	9	- 7
259.66172 6	5.79e+ 04	4.79e- 05	0.8589957	-	5.6324040	5	4	1 1	- 9
259.95664 2	1.47e+ 07	1.49e- 02	0.9146022	-	5.6825954	4	4	9	- 9

260.56567 8	1.45e+ 06	1.47e- 03	0.8589957	-	5.6158451	5	5	1 1	1 -1
260.68263 2	2.43e+ 07	3.03e- 02	0.9146022	-	5.6693175	4	5	9	1 -1
260.92201	4.60e+ 07	4.70e- 02	2.7585776	-	7.5089311	3	3	7	- 7
261.07503 8	3.61e+ 05	2.21e- 04	0.0872857	-	4.8348550	2	1	5	- 3
261.27717 8	5.07e+ 05	3.71e- 04	0.0515691	-	4.7954656	3	2	7	- 5
261.44944 4	1.80e+ 06	1.32e- 03	0.9581573	-	5.6989283	3	2	7	- 5
261.80180 4	1.50e+ 07	1.54e- 02	0.9581573	-	5.6925481	3	3	7	- 7
261.87094 9	5.21e+ 05	4.17e- 04	0.000000	-	4.7331407	4	3	9	- 7
262.33655 4	8.61e+ 05	8.89e- 04	0.1101143	-	4.8348550	1	1	3	- 3
262.35336 0	2.13e+ 07	2.82e- 02	0.9581573	-	5.6825954	3	4	7	- 9
262.72241 9	1.09e+ 05	1.13e- 04	0.9146022	-	5.6324040	4	4	9	- 9
262.95722 6	2.00e+ 06	6.21e- 03	0.1212657	-	4.8348550	0	1	1	- 3
263.22373 6	1.21e+ 07	1.26e- 02	0.9901111	-	5.6989283	2	2	5	- 5
263.25936 7	9.00e+ 05	9.35e- 04	0.0872857	-	4.7954656	2	2	5	- 5
263.57191 8	4.29e+ 06	3.66e- 03	2.4326947	-	7.1352918	5	4	1 1	- 9
263.58089	2.11e+ 06	3.08e- 03	0.9901111	-	5.6925481	2	3	5	- 7

7	07	02							
263.64784 2	7.86e+ 05	1.00e- 03	0.9146022	-	5.6158451	4	5	9	1
264.10291 2	7.71e+ 06	6.28e- 03	2.4534304	-	7.1465732	4	3	9	7
264.16455 9	6.47e+ 06	5.27e- 03	0.9146022	-	5.6066498	4	3	9	7
264.39983 9	2.34e+ 07	4.09e- 02	1.0110557	-	5.6989283	1	2	3	5
264.54213 0	3.38e+ 05	5.91e- 04	0.1101143	-	4.7954656	1	2	3	5
264.75572 0	5.20e+ 05	5.47e- 04	0.0515691	-	4.7331407	3	3	7	7
265.17064 2	9.72e+ 05	1.32e- 03	0.9581573	-	5.6324040	3	4	7	9
265.61450 8	1.63e+ 07	1.99e- 02	2.4040744	-	7.0705104	6	7	1	1
265.67915 0	1.45e+ 06	1.87e- 03	1.4848644	-	6.1501651	4	5	9	1
266.03974 5	6.32e+ 05	9.40e- 04	0.9901111	-	5.6490888	2	3	5	7
266.20563 9	4.64e+ 06	3.52e- 03	0.9581573	-	5.6142317	3	2	7	5
266.63985 7	1.79e+ 06	1.91e- 03	0.9581573	-	5.6066498	3	3	7	7
266.68122 1	8.91e+ 06	7.77e- 03	0.8589957	-	5.5067673	5	4	1	9
266.69646 8	5.16e+ 06	6.73e- 03	1.4848644	-	6.1323702	4	5	9	1
266.79124 0	1.69e+ 05	2.52e- 04	0.0872857	-	4.7331407	2	3	5	7

266.94928 3	1.34e+ 07	1.69e- 02	2.4326947	-	7.0757993	5	6	1 1-3	1
267.32129 3	2.27e+ 06	2.43e- 03	1.0110557	-	5.6476993	1	1	3-3	
267.90221	1.10e+ 07	1.45e- 02	2.4534304	-	7.0800205	4	5	9-1	1
267.90615 3	1.50e+ 07	1.61e- 02	0.8589957	-	5.4855178	5	5	1-1	1
268.04529 2	3.42e+ 06	3.68e- 03	0.9901111	-	5.6142317	2	2	5-5	
268.48553 6	1.87e+ 05	2.83e- 04	0.9901111	-	5.6066498	2	3	5-7	
268.92124 6	1.68e+ 07	1.42e- 02	0.9146022	-	5.5236615	4	3	9-7	
268.98286 1	3.04e+ 06	4.24e- 03	1.5573573	-	6.1653609	3	4	7-9	
269.00461 9	1.69e+ 06	1.83e- 03	2.4534304	-	7.0610613	4	4	9-9	
269.00682 0	2.53e+ 05	2.14e- 04	0.000000	-	4.6075932	4	3	9-7	
269.22481 1	6.27e+ 05	6.82e- 04	1.4848644	-	6.0887271	4	4	9-9	
269.26497 2	3.99e+ 05	7.23e- 04	1.0110557	-	5.6142317	1	2	3-5	
269.50352 9	4.77e+ 05	4.25e- 04	0.8589957	-	5.4580974	5	4	1-9	
269.70208 1	3.51e+ 06	4.93e- 03	1.5573573	-	6.1530734	3	4	7-9	
269.91064 1	5.59e+ 06	6.11e- 03	0.9146022	-	5.5067673	4	4	9-9	
270.19091	1.05e+ 06	8.93e- 03	2.5591715	-	7.1465732	4	3	9-7	

9	07	03							
270.244950	4.23e+06	3.92e-03	2.4040744	-	6.9905591	6	5	13	1-1
270.601226	2.28e+07	2.50e-02	2.4040744	-	6.9845208	6	6	13	1-3
270.658205	2.69e+07	2.11e-02	0.9581573	-	5.5376395	3	2	7	-5
270.857054	6.49e+07	7.14e-02	2.5591715	-	7.1352918	4	4	9	-9
271.054351	5.99e+06	9.25e-03	1.6078958	-	6.1806854	2	3	5	-7
271.165486	4.99e+06	6.73e-03	0.9146022	-	5.4855178	4	5	9	-1
271.486912	8.38e+05	9.27e-04	0.9581573	-	5.5236615	3	3	7	-7
271.625767	3.70e+06	4.10e-03	2.4534304	-	7.0166009	4	4	9	-9
271.641821	4.96e+06	4.49e-03	2.4326947	-	6.9955955	5	4	11	-9
271.736595	1.92e+05	1.65e-04	0.9146022	-	5.4759116	4	3	9	-7
271.778632	1.92e+06	1.52e-03	0.9581573	-	5.5187613	3	2	7	-5
271.843604	3.79e+07	2.52e-02	0.9901111	-	5.5496252	2	1	5	-3
271.902720	1.42e+08	1.22e-01	0.000000	-	4.5585228	4	3	9	-7
271.906026	7.40e+07	8.21e-02	2.5881059	-	7.1465732	3	3	7	-7
271.941996	3.20e+07	3.55e-02	2.4326947	-	6.9905591	5	5	11	1-1

272.09020 4	1.04e+ 08	8.24e- 02	0.0515691	-	4.6069510	3	2	7	-	5
272.20383 6	6.31e+ 05	7.01e- 04	1.4848644	-	6.0383447	4	4	9	-	9
272.35770 9	5.69e+ 07	3.80e- 02	0.0872857	-	4.6381937	2	1	5	-	3
272.49530 9	4.76e+ 06	6.81e- 03	0.9581573	-	5.5067673	3	4	7	-	9
272.50153 4	3.10e+ 04	3.45e- 05	0.000000	-	4.5485061	4	4	9	-	9
272.56012 7	4.92e+ 05	5.48e- 04	0.9901111	-	5.5376395	2	2	5	-	5
272.58065 4	2.41e+ 06	3.45e- 03	2.5881059	-	7.1352918	3	4	7	-	9
272.60549 6	5.52e+ 07	2.05e- 02	1.0110557	-	5.5578272	1	0	3	-	1
272.80208 1	3.45e+ 06	3.85e- 03	0.9146022	-	5.4580974	4	4	9	-	9
272.88197 8	2.98e+ 07	3.33e- 02	2.4534304	-	6.9955955	4	4	9	-	9
272.89689 9	1.56e+ 05	2.90e- 04	0.1101143	-	4.6520310	1	2	3	-	5
273.09817 2	6.28e+ 06	7.02e- 03	1.0110557	-	5.5496252	1	1	3	-	3
273.12815 3	6.84e+ 06	1.07e- 02	2.6085019	-	7.1465732	2	3	5	-	7
273.33670 3	4.75e+ 05	5.32e- 04	1.5573573	-	6.0919664	3	3	7	-	7
273.35802 0	7.10e+ 07	6.51e- 02	0.8589957	-	5.3932512	5	4	1	-	9
273.40053	2.20e+	3.45e-	0.9901111	-	5.5236615	2	3	5	-	7

8	06	03							
273.46153 7	9.68e+ 05	7.76e- 04	0.9581573	-	5.4906965	3	2	7	- 5
273.54751 8	5.03e+ 07	4.39e- 02	0.9146022	-	5.4457167	4	3	9	- 7
273.73089 1	7.25e+ 07	8.14e- 02	0.1101143	-	4.6381937	1	1	3	- 3
273.76397 3	1.14e+ 07	1.08e- 02	2.4040744	-	6.9316066	6	5	1 3	1 - 1
273.82133 2	4.10e+ 05	7.68e- 04	1.0110557	-	5.5376395	1	2	3	- 5
274.15764 4	6.99e+ 05	7.88e- 04	1.6078958	-	6.1289271	2	2	5	- 5
274.20154 6	4.11e+ 05	6.49e- 04	0.0872857	-	4.6075932	2	3	5	- 7
274.22539 8	3.41e+ 07	2.75e- 02	0.9581573	-	5.4780717	3	2	7	- 5
274.24051 2	4.70e+ 07	5.30e- 02	0.0872857	-	4.6069510	2	2	5	- 5
274.35651 9	4.84e+ 06	5.46e- 03	0.9581573	-	5.4759116	3	3	7	- 7
274.40671 4	3.09e+ 07	1.05e- 01	0.1212657	-	4.6381937	0	1	1	- 3
274.45271 6	2.53e+ 07	1.71e- 02	0.9901111	-	5.5062820	2	1	5	- 3
274.70022 4	6.61e+ 06	4.49e- 03	0.9901111	-	5.5022131	2	1	5	- 3
274.96815 3	4.85e+ 05	9.16e- 04	1.0110557	-	5.5187613	1	2	3	- 5
275.01403 2	2.74e+ 07	3.11e- 02	0.0515691	-	4.5585228	3	3	7	- 7

275.36867 2	4.00e+ 07	1.52e- 02	1.0110557	-	5.5122052	1	0	3	-	1
275.40319 8	7.29e+ 06	8.29e- 03	0.9901111	-	5.4906965	2	2	5	-	5
275.44268 8	1.62e+ 06	2.37e- 03	0.9581573	-	5.4580974	3	4	7	-	9
275.51811 0	5.13e+ 06	4.78e- 03	2.4326947	-	6.9314030	5	4	1	-	9
275.62664 4	6.56e+ 05	9.61e- 04	0.0515691	-	4.5485061	3	4	7	-	9
275.63279 2	1.41e+ 07	2.68e- 02	0.1101143	-	4.6069510	1	2	3	-	5
275.73153 6	2.85e+ 07	3.25e- 02	1.0110557	-	5.5062820	1	1	3	-	3
275.74222 2	7.26e+ 05	1.01e- 03	1.4848644	-	5.9799165	4	5	9	-	1
275.98135 7	7.60e+ 06	8.68e- 03	1.0110557	-	5.5022131	1	1	3	-	3
276.06160 3	1.81e+ 06	2.07e- 03	2.1759451	-	6.6657971	3	3	7	-	7
276.17795 9	1.94e+ 07	2.22e- 02	0.9901111	-	5.4780717	2	2	5	-	5
276.20264 4	1.76e+ 07	2.01e- 02	0.9581573	-	5.4457167	3	3	7	-	7
276.30921 3	3.93e+ 05	3.68e- 04	0.8589957	-	5.3448245	5	4	1	-	9
276.31095 4	3.27e+ 06	5.24e- 03	0.9901111	-	5.4759116	2	3	5	-	7
276.69091 1	4.04e+ 06	7.73e- 03	1.0110557	-	5.4906965	1	2	3	-	5
276.75218	1.48e+	1.70e-	0.9146022	-	5.3932512	4	4	9	-	9



4	07	02							
276.92980 0	1.80e+ 07	2.07e- 02	2.4040744	-	6.8798511	6	6	1 3	1 -3
276.96706 6	7.17e+ 05	6.75e- 04	0.8589957	-	5.3341703	5	4	1 1	1 -9
277.20737 1	2.34e+ 06	2.70e- 03	0.8589957	-	5.3302910	5	5	1 1	1 -1
277.21098 4	4.12e+ 06	6.65e- 03	0.0872857	-	4.5585228	2	3	5	7
277.47294 4	2.64e+ 06	5.08e- 03	1.0110557	-	5.4780717	1	2	3	5
277.82200 4	9.08e+ 06	1.05e- 02	0.8589957	-	5.3203996	5	5	1 1	1 -1
278.06973 5	9.01e+ 06	1.05e- 02	2.5591715	-	7.0166009	4	4	9	9
278.08824 6	7.20e+ 04	6.49e- 05	0.9146022	-	5.3717349	4	3	9	7
278.18356 3	2.25e+ 06	3.65e- 03	0.9901111	-	5.4457167	2	3	5	7
278.43404 1	2.30e+ 06	2.67e- 03	2.4326947	-	6.8842922	5	5	1 1	1 -1
278.79314 4	2.27e+ 06	3.23e- 03	1.4848644	-	5.9307283	4	5	9	1
278.81046 1	5.92e+ 07	8.15e- 02	0.8589957	-	5.3045835	5	6	1 1	1 -3
278.98013 2	2.36e+ 07	2.25e- 02	2.6924076	-	7.1352918	5	4	1 1	1 -9
279.23987 1	1.17e+ 06	1.76e- 03	1.5573573	-	5.9961091	3	4	7	9
279.47018 9	1.10e+ 06	1.66e- 03	0.9581573	-	5.3932512	3	4	7	9

279.50051 5	9.29e+ 04	1.09e- 04	0.000000	-	4.4346127	4	4	9	-	9
279.55398 6	1.42e+ 06	1.29e- 03	0.9146022	-	5.3483667	4	3	9	-	7
279.77751 8	4.52e+ 06	5.30e- 03	0.9146022	-	5.3448245	4	4	9	-	9

**المخلص:** في هذه المذكرة قمنا بحساب نسبة تواجد العناصر في عينة صلبة المتمثلة في صخور كوكب المريخ، مفترضة أنها مجهولة التركيب، إنطلاقاً من التحليل الطيفي المستحث بالليزر وتسمى هذه التقنية بـ LIBS، حيث قمنا بتحليل الطيف التحريبي الصادر عن الوسط الذي تشكلت به البلازما نتيجة هذه الصخور، ومن أجل نتائج دقيقة قمنا بدراسة مفصلة للطيف التحريبي باستخدام برنامج عددي بلغة الفورتران حيث من خلاله قمنا بإنجاز الأطياف النظرية بإعتماد على قاعدة المعطيات الفيزياء الذرية، وبالمقارنة و المطابقة ما بين الأطياف النظرية و الطيف التحريبي من خلال الشدة التي تتناسب و تركيز الذرات المشعة، تحصلنا على نتائج مشجعة لتركيب عينة من الصخور المريخية بالنسب التالية (Si71%، Fe 6,8 %، AL 19,1 %، Mg 2,96 %).

**الكلمات المفتاحية:** البلازما - الليزر - الصخور - LIBS - الأطياف.

### Résumé :

Dans cette mémoire, on a calculé le pourcentage des éléments dans un échantillon solide de la planète Mars. On supposant que sa composition est inconnue, par l'utilisation de la l'analyse spectrale induit par laser (LIBS). On a analysé le spectre expérimental qu'il a entraîné par la sublimation du plasma.

Pour atteindre des résultats juste et exacte, on a subi le spectre expérimental à une étude détaillée, toute on prendre le programme numérique (Fortron), ce qu'il fait les spectres théoriques on basant sur la base des données de la physique atomique. Et par la comparaison et la conformation des spectres expérimentaux et celle-ci théoriques par la calcul de l'intensité qui correspond la concentration des atomes radiants. On a obtenu des bons résultats pour composer un échantillon des roches martiennes avec le suivant pourcentage : (Mg 2.96 % Al 19.1%, Fe 6.8%, Si 71%)

**Les mots clés :** Le plasma, le laser, les roches, LIBS, les spectres.

### Summary:

Within this graduation memoir, we have calculated the percentage of elements in a solid sample of Mars planet. -Supposed that its composition is unknown- by using the laser induced breakdown spectroscopy (LIBS). We analyzed the experimental spectrum which derived from the sublimation of the plasma.

In order to get accurate results, we have submitted the experimental spectrum to a detailed study; by using a numeric programme (Fortron) which revealed to us the theoretical spectrums based on data base of atomic physics. Through the comparison and conformation of experimental and theoretical spectrums by the calculation of intensity which correspond the radiant atoms concentration.

We have got good results to compose a sample of Martian rocks with the following percentage:

(Mg 2.96 % Al 19.1%, Fe 6.8%, Si 71%)

**Key words :** Plasma, Laser, Rocks, LIBS, Spectrum.