((دراسة الخصائص الفيزيائية لأواصر المادة الفعالة لأنواع من الليزرات))

زيد عبد ألزهره حسن ألشمري
كلية ألتربية – جامعة بابل – ص . ب ٤ – العراق
Email : zaid .shimary @ yahoo.com

الخلاصة :

تتنوع الليزرات حسب نوع المادة الفعالة حيث تكون غازيه أوسائله أوصلبه ، تم في هذا البحث دراسة الخواص الفيزيائية لاواصر المادة الفعالة لأنواع من هذه الليزرات و هي (ثابت الآصرة) حسب المعادلة الزمنية بطريقة ولسون التي تضم الكتل الذرية للمادة والأطوال الموجية كما تم دراسة طول الآصرة ومقدار عزم القصور الذاتي .

وقد وجد أن الجزئيات التي تمتلك ثوابت قوى كبيرة تؤدي إلى ترددات عالية وأن نتائج الكتل الثقيلة تعطي ترددات أوطأ ، كما أتضح أن الطاقة تتناسب طرديا مع ثابت القوة ومع مقدار الإزاحة للكتلتين عن موضع التوازن .

Abstract:

Laser devices is divided for many types depended to the active medium (solid ,liquid , semiconductor ,gas) ,In the present work the physical properties of effective material bond to different lasers so as (force constant) according to the time equation by wilson method which include atomic masses for material and wave lengths has been studied, also bond length and Moment of inertias has been studied.

المقدمة :

دخلت أشعة الليزر في العديد من المنتجات التكنولوجيه فتجدها عنصر أساسي في أجهزة تشغيل الاقراص المدمجه أو في ألات طبيب الاسنان أو في معدات القطع ولحام الحديد أو في أدوات القياس وغيرها من المجالات .كل تلك الاجهزة تستخدم الليزر ولكن ما هو الليزر وما الذي يجعل الليز مميزا عن غيره من المصادر الضوئية .الليزر هو أختصار لجملة (تضخيم الضوء بواسطة الانبعاث المحفز) أي (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) بال رغم من وجود عدة انواع من الليزرات الا أنها جميعا تشترك في نفس الخصائص ففي الليزر يوجد المادة التي تنتج الليزر يتم أثارتها بواسطة عملية ضخ (pumping) للالكترونات من المستوى الارضي الى مستوى الاثارة حيث يستخدم للضخ الضوئي فلاش قوي في حالة ليزر الياقوت الاحمر مثلا بينما يستخدم التفريغ الكهربائي في حالة ليزرات أشباه الموصلات والغازيه يعمل الضخ على أنتقال الالكترونات الى مستويات الاثارة ومن الجدير بالذكر أنه من الضروري جدا أثارة عدد كبير من الذرات للحصول على الليزر وتسمى هذه العملية بالتعداد المعكوس (population inversion) أي جعل عدد الذرات المثارة في مادة الليزر أكبر من عدد الذرات الغير مثارة .كما يتميز ضوء الليزر بعدة صفات هي (التشاكه ، ذات طول موجي محدد ، الاتجاهية) وهذة الصفات تكون غير متوفرة في ضوء المصادر الاخرى [عاشور ،(٢٠٠٧)] .

تقسم الليزرات حسب نوع مادة الوسط الفعال فهي :

١- ليزرات الحالة الصلبة :

ينتج الليزر فيها بواسطة مادة أوخليط من المواد الصلبة مثل الياقوت (ruby) أو خليط من الالمنيوم و اليتريم و النيوديميم (neodymium : yltrium – aluminum) ويسمى بليزر ال TAG أختصارا ويكون طوله الموجي في منطقة الاشعة تحت الحمراء بحدود (1064 nm) [Stewen,C.,et.al(2000)] .

٢- ليزرات أشباه الموصلات :

يطلق على هذا النوع بالليزرات الدايود وتعتمد على المواد شبه الموصلة ويمتاز بحجم ليزر صغير ويستهلك طاقة قليلة ولذلك تستخدم في الاجهزة الدقيقة مثل السي دي وطابعات الليزر ومن امثلتها (Neodymium- Yltrium Orthovanadte) ويرمز له بالرمز (Nd:YVO4) وكذلك (Neodymium – Yltrium lithium Fluoride) ويرمز له بالرمز (Nd:YLF) ويكون اطوالها الموجية تقع ضمن المنطقة تحت الحمراء[Tyrell,J.(2006)] .

٣- الليزرات الكيميائية :

أن اول جهاز ليزر كيميائي أكتشف من قبل العالم (George C.Pimentel) ينتج الليزر من هذا النوع بواسطة التفاعلات الكيميائية التي تبعث طاقة تعمل على أثارة الذرات حسب معظم أنواع الليزر الكيميائي تعمل بالقرب أو في وسط المدى الخاص بالاشعة تحت الحمراء فمثلا (Deuterium Fluoride) يعطي طيفا بحدود (3800nm) وكذلك (Hydrogen Fluoride) يعطي طيفا يتراوح (2700 -2900 nm) [Hecht,(2008)] .

٤- الليزرات الغازية :

في عام ١٩٦٠ أستطاع عدد من العلماء منهم العالم الايراني (Ali Javan) والعلماء (William R.,Bennettand,Donald Herriot) من تصميم أول جهاز ليزر غازي يستخدم (هليوم –نيون He-Ne)الذي يكون

متعدد الاطوال الموجية وهي (494nm) في مدى الضوء الاصفر من الطيف و(543.5 nm) وهي في مدى الضوء الاخضرمن الطيف و(623.8 nm) ضمن مدى الضوء الاحمر من الطيف وهذا النوع من الليزرات شائع الاستخدام في مجال التعليم وذلك بسبب رخص ثمنه وينتج قدرة تتراوح ما بين (0.5 – 50 m watt) والليزر الغازي عامة يعمل بنمط الموجات المستمرة CW ويمتاز بالضوضاء القليلة عند الخرج وبالاستقرارالتام [(Hecht,(2005] . وهناك ليزر (Carbon Dioxide) الذي يبعث ليزر بقدرة تتراوح بمئات من (KiloWatts) عند أطوال موجية هي (9600,10600 nm) وتستخدم غالبا للقطع وفي لحام المعادن ، كما أن ليزر النيتروجين الذي يستخدم التفريغ الكهربائي في عملية الضخ تحت الضغط الجوي الاعتيادية بأتجاه المستعرض (TEA) فينتج ليزر ضمن المنطقة فوق البنفسجية (UV) بطول موجي قدره (337.1 nm) [Csele,(2004)] يمكن الحصول من الليزر على قدرة تبلغ (1M Watt) على هيئة نبضات عرضها (10 ns) وبمعدل (100Hz) ويستخدم ليزر النيتروجين كثيرا في عمليات الضخ لليزر السوائل أيضا يمكن أن يستخدم مع ليزر السوائل لانتاج ليزر نبضي يمكن التحكم فيه حيث يغطي الخرج كل المنطقة المنظوره من الطيف [عاشور ،(٢٠٠٧)]

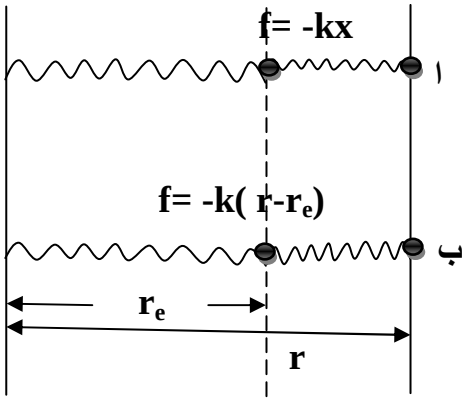
٥- ليزرات الغازات النبيلة:

ويطلق عليها أسم (Excimer Laser) وهي التي تستخدم الغازات الخاملة مثل الغاز الجزيئي (F_2) الذي يعطي طول موجي (157 nm) والغاز المتكون من (ArF) الذي يعطي طول موجي (193 nm) و(KrCl) الذي يعطي طول موجي (222 nm) و (KrF) طوله الموجي (248 nm) و (XeCl) طوله الموجي (308 nm) و (XeF) طوله الموجي (351 nm) [Silfvast,(1996)] .

هنالك انواع من الاهتزازات وهي :

١- اهتزاز الدقيقة الواحدة Vibration of a single particle

أذا بدأنا بكتلة مربوطة بسلك حلزوني (نموذج الكرة والسلك الحلزوني) كما في الشكل (١) [سليم ، (١٩٨٥)]



شكل رقم (١) يمثل العلاقة بين قوة هوك والمسافة البينية بين الأواصر

ولو أزيحت هذه الكتلة بمسافة معينة من موضعها المتوازن فان السلك سيعاني من قوة حسب قانون هوك Hook law :

$f \alpha X$ ---------- - ----------(1)

$f = - kx$ ---------- ----------(2)

حيث أن f القوة التي يبديها السلك نحو الدقيقة (الكتلة)

K ثابت التناسب (ثابت القوة) مقاسا بوحدة (dyne/cm)

X الإزاحة من موضع التوازن

ومن الضروري أيجاد القوة اللازمة لإعادة الكتلة إلى موضع التوازن أو تحديد ما يكافئها من طاقة الجهد للنظام كدالة للمسافة البينية :

$E=(1/2)kx^2$ طاقة الجهد ----------(3)

ويمكن الحصول على الحل الكلاسيكي وإيجاد التردد من تطبيق قانون نيوتن الثاني للحركة :

$M(d^2x/dt^2) = f = ma$ ---------- ----------(4)

وبمساواة هاتين القوتين :

$f = - kx = ma = m (d^2x/dt^2)$ ----------(5)

$m (d^2x/dt^2) + kx = 0$ ----------(6)

وتعتبر هذه المعادلة معادلة تفاضلية من الدرجة الثانية ويمكن حلها بطريقة التعويض بالمعادلة (7) وهي الحل :

$X = A \cos (2\pi\omega t)$---------- ----------(7)

ومشتقتها الثانية هي :

$(d^2x/dt^2) = - 4 \pi^2\omega^2 A \cos (2\pi\omega t)$----------(8)

وبتعويض المعادلة (7) و(8) في المعادلة (6) نحصل على :

$M - 4\pi^2\omega^2 A\cos(2\pi\omega t) + Ka\cos(2\pi\omega t) = 0$ --------(9)

$K = 4\pi\omega^2 m$ ----------(10)

$$\omega = (1/2\pi)\sqrt{k/m} \quad \text{- ---------- -------- (11)}$$

حيث أن ω هي التردد ، k ثابت القوة ، m كتلة الجسيم

٢- ألاهتزاز لجزيئه ذات ذرتين Vibration of diatomic molecule

لو أننا استبدلنا النموذج السابق بذرتين مفصولتين مكونتين لجزيئه تساهمية مثل (HCl) فعند سحب هاتين الذرتين عن بعضها فأن هنالك مقاومة نتيجة لقوى التجاذب بين نواة إحدى الذرتين والكترونات الذرة الأخرى ولو أننا حاولنا أن نقرب الذرات من بعضها فستظهر قوى التنافر بين السحابتين الالكترونيين السالبتين لذلك فأننا في أي من الحالتين نحتاج إلى طاقة لتشويه الآصرة .ويمكن ربط هذا التقلص والتمدد للآصرة بسلوك السلك الحلزوني الذي افترضنا انه يتحرك بحركة توافقية بسيطة وأن نفترض بأن الآصرة الكيميائية مثل السلك الحلزوني باستخدام قانون هوك يمكننا أن نكتب [Herzberg,G.(1950)] :

$f = -k(r - r_{eq})$ ---------- (12)

حيث أن r_{eq} هي مسافة التوازن أو ببساطة طول الآصرة ، r تمثل الطول الجديد .

ولو أننا افترضنا أن الذرتين لهما كتلتان M_1 و M_2 وان r_1 و r_2 تمثلان المسافات بين الكتل وبين مركز الجاذبية فأن :

$r = r_1 + r_2$ ----------(13)

وبما أن نقطة الأصل هي مركز الجاذبية فأن :

$r_1 = (M_2 r)/(M_1 + M_2)$ ---------- (14)

وبمساواة القوة الارجاعية $-K(r - r_e)$ بحاصل ضرب(القوة × التعجيل بالنسبة للذرتين) قانون نيوتن ينتج :

$M_1(d^2r_1/dt^2) = -k(r - r_e)$ ---------- (15-a)

$M_2(d^2r_2/dt^2) = -k(r - r_e)$ ---------- --- (15 –b)

وبتعويض المعادلة (14) في المعادلة (15) بالنسبة للذرة (١) ينتج :

$$\frac{M_1 M_2}{M_1 + M_2}\frac{d^2 r}{dt^2} = -k(r - r_e) \qquad \text{----------(١٦)}$$

$r - r_e$ تمثل إزاحة الآصرة عن موضع التوازن .

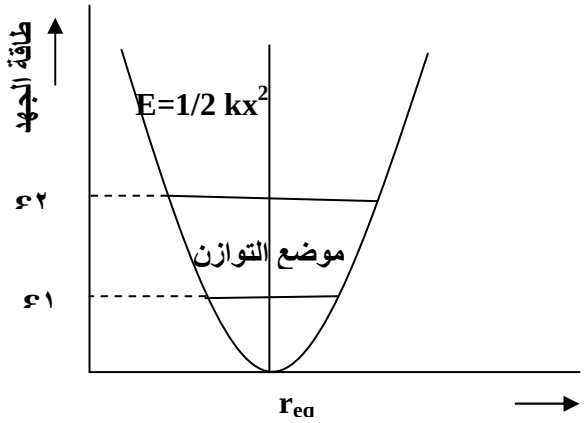
أن حل المعادلة السابقة والتي تمثل الحركة التوافقية البسيطة يمكن أن يعطى :

$(r - r_e) = A\cos 2\pi\omega t$ ---------- (17)

وبذلك فان تردد الاهتزاز لنظام ذو ذرتين يمكن أن يعطى بالمعادلة الآتية :

$$\omega = \frac{1}{2\pi}\sqrt{k/\mu} \qquad \text{---------- (١٨)}$$

وهذه المعادلة تشابه لمعاداة التردد للكتلة الواحدة عدا أن الكتلة M استبدلت بالكتلة المختزلة μ و k تمثل القوة اللازمة لسحب الآصرة بمسافة معينة . ويمكن رسم العلاقة بين الطاقة وبين المسافة البينية كما في الشكل (٢) [سليم ، (١٩٨٥)] :



شكل رقم (٢) يمثل العلاقة بين مستويات الطاقة والمسافة البينية بين الأواصر

وحسب المعادلة الكلاسيكية للطاقة :

$$E = \frac{1}{2}K(r - r_e)^2 \qquad \text{---------- (١٩)}$$

ويظهر من الشكل أن منحني الطاقة هو منحني القطع الناقص وان نقطة الصفر من المنحني هي ($r = r_{eq}$) . أن الزيادة في الطاقة إلى E_1 أو E_2 تسبب زيادة التذبذب أكثر أوبمعنى أخر زيادة المطاطية أو درجة التقلص والتمدد ألا أن تردد الاهتزاز لا يتغير وذلك لكون الآصرة لها خاصية مطاطية ولها ترددا يعتمد على كتلة النظام وثابت القوة ولكنه لايعتمد على مقدار التشويه .ويعد نموذج الجزيئة المهتزة ذات الذرتين والذي يطلق عليه بنموذج المهتز المتوافق البسيط نموذجا تقريبا [Barrow,G.M.(1962)] .

أن المعادلة (١٩) تبين أن قيمة طاقة الجهد E تتناسب طرديا مع ثابت القوة K ومع مقدار الإزاحة للكتلتين عن موضع التوازن .ويبين الجدول رقم (١) ثوابت القوى لبعض الجزيئات [سليم ، (١٩٨٥)] :

جدول(١) يوضح ترددات الاهتزازالاساسية($v = 0 \rightarrow 1$) وثوابت قوى الأواصر محسوبة من هذه المعلومات

K (dyne/cm)	ω cm^{-1}	الجزيئة
-7.41×10^5	١٤٨٧	BeO
5.2×١٠^{٥}	2990.3	H_2
5.3	3958.4	D_2
8.8	2885.6	HF
3.8	2230.0	HBr
18.7	2143.3	C0
15.5	1867.0	NO
4.5	892.0	F_2
3.2	556.9	Cl_2
2.4	321.0	Br_2
1.7	213.4	I_2
11.4	1556.3	O_2
1.3	246.3	Li_2
1.7	157.8	Na_2
1.2	378.0	NaCl
0.8	278.8	KCl

حساب ثوابت القوة للأواصر باستخدام المعادلة ألزمنيه لولسون :

طورت الطرق ألوصفيه لتحليل مسألة التذبذبات الجزيئية ، أي طرق أيجاد عدد الأشكال الاعتيادية لكل نوع تماثل الناتجة في الجزيئة الكلية وفي كل تجمع من الإحداثيات الداخلية المتكافئة هناك أيضا مسالة كمية عن كيفية ارتباط ترددات هذه الذبذبات ،التي يمكن الحصول عليها بالتجربة مع كتل الذرات زوايا وأطوال الآصرة والأكثر أهمية ثوابت قوة الأواصر الأحادية والزوايا ما بين الأواصر . سنتبنى لهذا الغرض طريقة ولسون لمصفوفات F و G كما في العلاقة السائدة [سلومي ، (١٩٨٤)] :

$$|FG - E\lambda| = 0 \quad \text{---------- (٢٠)}$$

إذ تمثل G,F,E مصفوفات وتمثل الجهة اليسرى جميعا من المعادلة محددة وتعد F مصفوفة ثوابت القوة وهكذا تجلب الطاقات الكامنة للتذبذب إلى المعادلة G مصفوفة تشتمل على الكتل والعلاقات الفراغية المعنية للذرات وهكذا تجلب الطاقات الحركية إلى المعادلة وE وحدة مصفوفة وتعرف λ التي تجلب التردد ν إلى المعادلة كالأتي :

$$\lambda = 4\pi^2 C^2 \nu^2 \quad \text{---------- (21)}$$

أذا عبر عن الكتل الذرية في عناصر مصفوفة G بوحدة الكتلة الذرية بدلا من الغرامات وعبر عن الترددات بوحدة cm^{-1} قد تكتب المعادلة (٢١) كالأتي :

$$\lambda = 5.8890 \times ١٠^{-٢} \nu^{٢} \quad \text{---------- (٢٢)}$$

تصبح صحة المعادلة (٢٠) ملموسة بمقارنتها مع المعادلة التي تم الحصول عليها بمعادلة الجزيئة ثنائية الذرة (AB) على شكل تذبذب توافقي :

$$f\mu^{-1} - \lambda = 0 \quad \text{---------- ----------(٢٣)}$$

حيث تعرف λ كما في أعلاه و f ثابت القوة و μ الكتلة المصححة ، من الثابت أن المعادلة (٢٣) هي الحالة الحدية لمعادلة المصفوفة (F-G) حيث تكون مصفوفات G,F,E أحادية البعد .وهذه هي المعادلة الزمنية للمسالة التذبذبية المشابهة لمعادلة الطاقة الزمنية .

باستخدام ترددات معروفة يمكن تطبيق المعادلة الزمنية لحساب ثوابت القوة أو الاستفادة من ثوابت القوة لحساب ترددات الأشكال الاعتيادية وعلى اية حال .للجزيئة غير الخطية المتكونة من عدد N من الذرات تشتمل هذه المعادلة على (3N × 3N) من المحددات مكافئة لمعادلة متعدد الحدود من الرتبة N فيها ستة جذور فقط تساوي صفرا [BanWell,C.N. (1972)]

طول وطاقة الاصرة:

يعرف طول الاصرة كيميائيا بانه المسافة بين مركزي الذرتين كما يعرف بواسطة متغيرات تجريبيه حسبت بطرق الهندسة الجزيئية التي قادت اقل تقريب يتراوح مقدار الاختلاف بين (0.02 -0.01) بين التقنيات المختلفة فمثلا في حالة الغاز تحسب بطريقة الحيود الالكتروني كما أن أستخدام طريقة الطيف الالكتروني أعطت حالات الاهتزاز التي تخضع الى درجات الحرارة وهناك أيضا طريقة (x-ray) التي تعطي التركيب البلوري لذرات المادة وبدورها نجد العلاقة بين طول الاصرة مع المسافة بين مركز الالكترونات التي تدور بمسافات معينة حول النواة كما ان طاقة الاواصر يمكن حسابها من جمع كثافة الطاقة الحركية مع كثافة الطاقة الكامنة مثلا في حالة الاواصر الالكترونية أثبتت أنها تعتمد على كثافة الشحنة الالكترونية [Gibbs,GV.,et.al (2009)] .

أن الفرق في الطاقة بين مستويين من مستويات الطاقة الدورانية (ΔE) يمثل خطا واحدا في الطيف الناتج وان هذا الخط يكون مفصولا عن الخط الذي يليه بمسافة ثابتة مقدارها (2B) [Wilson,et.al.(1955)] .من معرفة الفرق بين الخطين المتتاليين نتمكن من حساب (B,I) و بالتالي (r) بتطبيق العلاقات التالية [Nakamoto,k.(1970)] .

$$I = \frac{h}{8\pi^2 BC} \quad \text{---------- ----------(٢٤)}$$

$$\Delta E = 2B \quad \text{---------- ---------- (25)}$$

$$I = \mu r^2 \quad \text{---------- (26)}$$

النتائج والمناقشة :

أولا: باستخدام المعادلة الزمنية لولسون :

$$f\mu^{-1} - \lambda = 0$$

تم حساب ثوابت القوة للأواصر المادة الفعالة لأنواع من الليزرات الغازية والكيميائية وأشباه الموصلات حيث تم دراسة:

١- الليزرات الغازية :

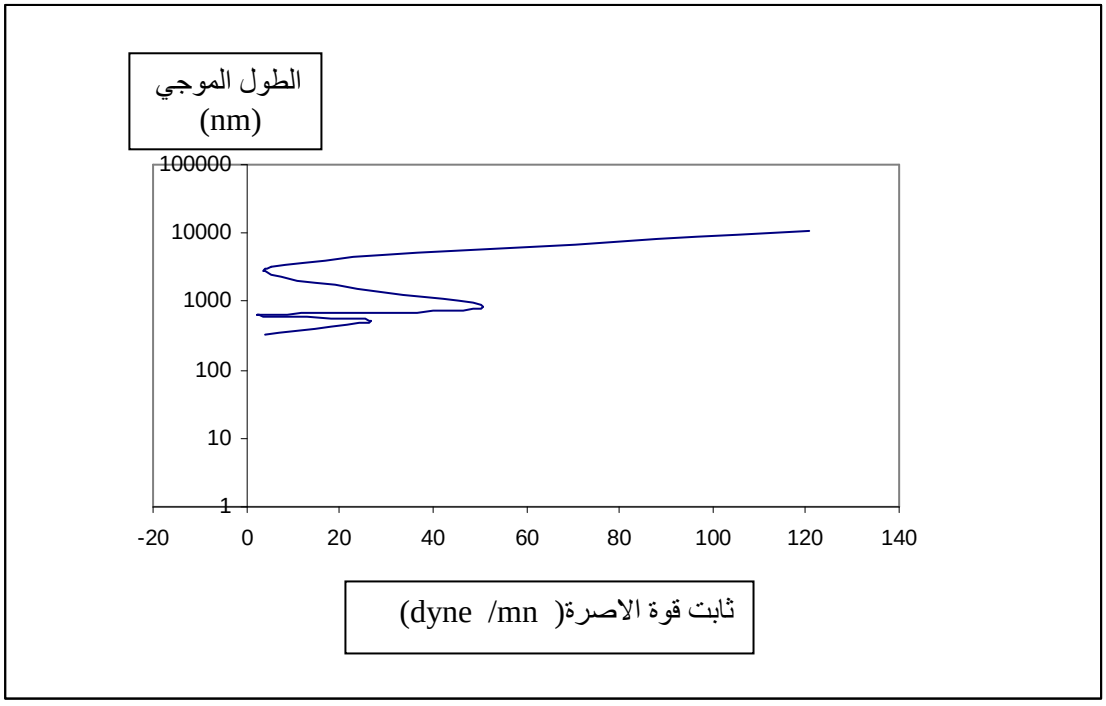
a- ليزر هليوم – نيون (He- Ne) ذات الطول ألموجي 632.8 nm
b- ليزر ثاني اوكسيد الكاربون (CO_2) ذات الطول ألموجي 10600 nm
c- ليزر أيون الاركون (Ar^+) ذات الطول ألموجي 514.5 nm
d- ليزر بخار النحاس (Cu) ذات الطول ألموجي 510.5 nm
e- ليزر النتروجين (N_2) ذات الطول ألموجي 337.13 nm
٢- الليزر الكيميائي وهو ليزر فلوريد الهيدروجين (HF) ذات الطول ألموجي 3300 nm
٣- ليزر شبه الموصل نوع زرنيخات الكاليوم (GaAs) ذات الطول ألموجي 840 nm

بتطبيق المعادلة الزمنية تم الحصول على قيم ثوابت القوة للأواصر وكما مبين في الجدول أدناه:

جدول رقم (٢) يبين مقدار تأثير قوة الأواصر

نوع الليزر	الطول ألموجي (nm) λ	ثابت القوة (dyne/nm) f
N_2	337.13	3.917
Cu	510.5	26.694
He – Ne	632.8	2.752
GeAs	840	50.862
HF	3300	5.181
CO_2	١٠٦٠٠	120.628

وبتمثيل القرا أت في الجدول (٢) بيانيا نحصل على الشكل التالي :



شكل رقم (٣) يبين ثابت القوة للأواصر والطول ألموجي

يظهر من الشكل أن ثوابت القوى الكبيرة تؤدي إلى ترددات عالية وأن نتائج الكتل الثقيلة تعطي ترددات أوطأ . وبالرغم من العلاقات المعضلة في الجزيئات متعددة الذرات تعتبر أكثر تعقيدا ألا أن هذه الميولات العامة بالنسبة لثوابت القوى والكتل لا تزال سارية .

كما يتضح لنا أن الطاقة (E) تتناسب طرديا مع ثابت القوة (f) ومع مقدار الإزاحة للكتلتين عن موضع التوازن فكلما ازداد ثابت القوة كلما ازدادت الطاقة فمثلا الآصرة الثلاثية أقوى من الآصرة الثنائية والتي بدورها تعتبر أقوى من الآصرة الأحادية حيث نجد أن الآصرة في CO_2 هي أقوى من الآصرة التي تربط N_2 أو GaAs وغيرها التي تمتلك أصرة أحادية وهذا تطابق مع ما أوجده العالم ولسون [Wilson,et.al.(1955)] .

ثانيا : حساب عزم القصور الذاتي (I) لبعض أنواع الليزرات :

باستخدام المعادلات (٢٤،٢٥،٢٦) تم حساب عزم القصور الذاتي لبعض أنواع من أللليزرات علما أن قيم اطوال الاواصر قد حسبت من طريقة تحليل أطياف المايكروويف . لقد أخذت قيمة واحدة لعزم القصور الذاتي لان الجزيئة ذات الذرتين لها ثلاثة عزوم للقصور أثنان متساويان في القيمة I_B و I_C والثالث I_A الذي يعتبر صغيرا جدا وقد أهمل لسببين هما :

١- أن عزم القصور الذاتي حول الآصرة صغيرا جدا وعند تطبيق معادلة الطاقة يلاحظ بان مستويات الطاقة ستكون متباعدة جدا ولكي نرفع الجزيئة من مستوى إلى أخر نحتاج إلى طاقة هائلة وهذه الطاقة لايمكن استخدامها في هذه المنطقة من الطيف وبذلك فانه لا يمكن الحصول على الطيف في الظروف الطيفية الاعتيادية .

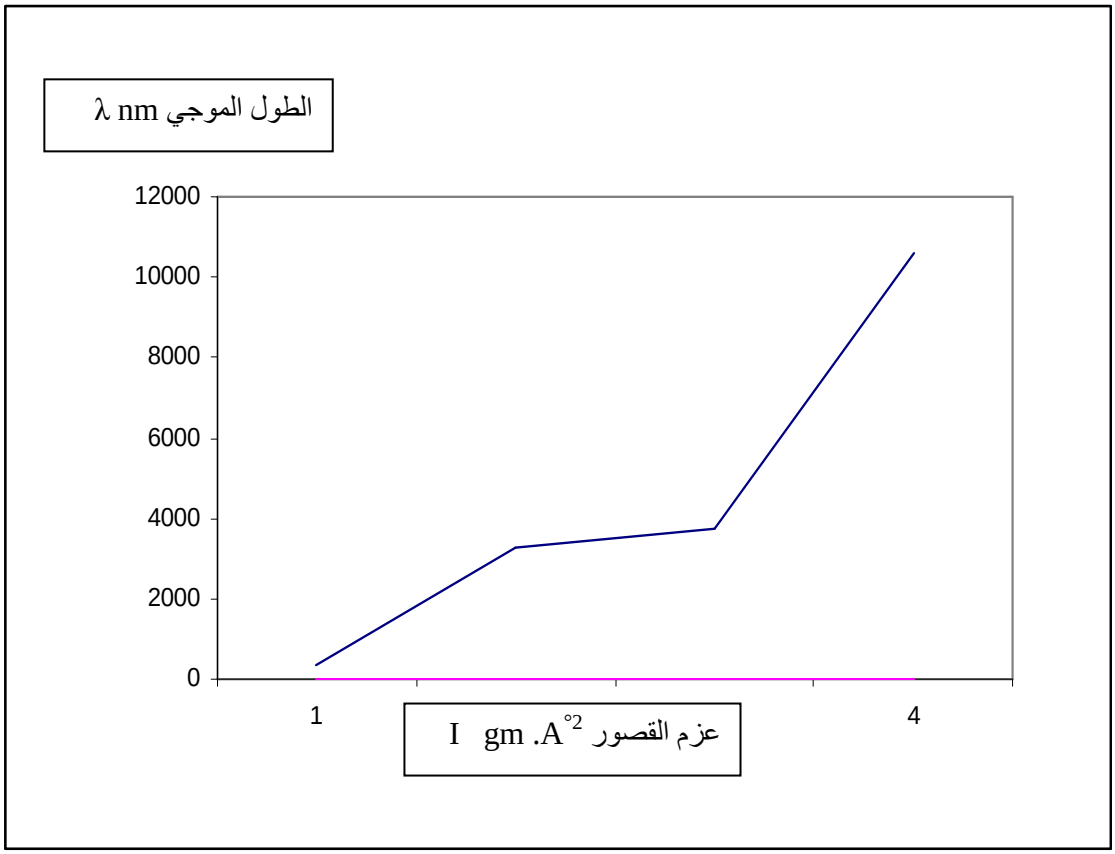
٢ -ا ذا افترضنا حتى لو حصل انتقال فانه لايوجد تغير في العزم وبذلك لايكون هنالك طيفا .

بعد أن تم حساب عزم القصوريتم وضعها في الجدول أدناه :

جدول رقم (٣) يبين قيم طول الآصرة ومقدار عزم القصور الذاتي

نوع أللليزر	الطول ألموجي λ nm	طول الآصرة r A°	عزم القصور الذاتي I $(grm \cdot A^{\circ 2})$
N_2	337.1	1.126	0.0147
HF	3300	0.917	1.2613
HCl	3770	1.275	2.6660
CO_2	10600	1.128	0.0144

بتمثيل القراءات لعزم القصور مع الطول ألموجي نحصل على الشكل البياني الأتي :



شكل رقم (٤) يبين تأثير عزم القصور الاصرة على الطول ألموجي

ألاستنتاجات :

١- أن الجزيئات التي تمتلك عزما دائميا لثنائي القطبين مثل جزئيتي HF و CO_2 يمكن أن تعطي أطيافا دورا نية وذلك لإمكانية حصول تغير في مكونة ثنائي العزم عند دوران الجزيئة حيث أن ثنائي القطبين الدوار يولد مجالا كهربائيا يمكنه أن يتحد مع مكونه الشعاع الكهرومغناطيسي في منطقة المايكروويف وتسمى هذه الجزيئات غير المتماثلة بالجزيئات الهجينة النوى (Hetronuclear molecules)) أما الجزيئات المتجانسة النوى (Homonuclear molecules) ،مثل N_2 فأنها لا تعطي أطيافا دورانية ألا انه يمكن دراسة هذه الجزيئات في طيف رامان الدوران.

٢- أن عزم القصور الذاتي يتناسب مع قيمة الطول الموجي لليزر وأن الاخير يعتمد على نوع المادة الفعالة المولدة لضوء الليزر وهذا ما توضح في الشكل رقم (٤) حيث ان ليزر CO_2 الذي يبلغ طوله الموجي (10600 nm) أمتلك أكبر قيمة لعزم القصور الذاتي .

٣- أن الجزيئات التي تمتلك ثوابت قوى كبيرة تودي الى اطوال موجية كبيرة وأن نتائج الكتل الثقيلة تعطي ترددات أوطا كما أتضح أن الطاقة تتناسب طرديا مع ثابت القوة ومع مقدار الازاحة للكتلتين عن موضع التوازن .

Reference:

- عاشور، سمير ،(٢٠٠٧)، مقدمة في الليزر وتطبيقاته ، دار الكتب العلمية للنشر ، القاهرة ، مصر .
- سليم ، ليلى محمد ، (١٩٨٥) ، الطيف ، جامعة الموصل ، العراق .
- سلومي ، عصام جرجيس ،(١٩٨٤) ، التطبيقات الكيميائية لنظرية المجموعة ، جامعة الموصل ، العراق .

- Barrow,G.M.,(1962), ((Introduction to Molecular Spectroscopy)), Mc Graw Hill.
- Banwell,C.N.,(1972), ((Fundamentals of Molecular Spectroscopy)), McGraw Hill, London .
- Csele,Mark,(2004),((The TEA Nitrogen Gas Laser)), http://www.technology.niagarac.on.ca /people/mcsele/laser/Laser TEA- htm. Retrieved 2007 -09 -15.
- Gibbs,GV.,Spackman,M.A.,and Jayat,(2009),((Bond length and local energy density property connections for non-transition – metal oxide – bonded interactions)),Journal of physical Chemistry A,Vol.110,No.44,12259 – 12266.
- Hecht,Jeff,(2008),((The history of the laser)),Optics and Photonics,Optical Society of America,Washington,19(5)pp.26-33.
- Hecht,Jeff,(2005),((The Race to Make the Laser)),Oxford University Press,ISBN 0-19-514210-1.
- Herzbery,G., (1950),((Spectra of Diatomic Molecules)), D.Van Nostrand Co.,Princeton,N.J.
- Nakamoto,K.(1970),((Infrared Spectra of Inorganic and Coodination Compounds)), John Wiley and Son ,New York.
- Silfvast,William T., (1996),((Laser Fundamentals)),Cambridge University Press.ISBN 0-521-55617-1.
- Stewen,C.,Larionov,M.and Giesen,A., (2000),((Yb:YAG thin disk with 1KW output power)),Optical Society of America,Washington,DC.pp.35-41.
-Tyrell,James,(2006),((Diode laser get fundamental push to higher power)),Optics Org.,URL.accessed 27 May.
- Wilson,E.B.,Decins,J.C.,Cross,P.C., (1955),((Molecular Vibration)), Mc Graw Hill ,New York.