وزارة التعليم العالي
MINISTRY OF HIGHER EDUCATION

الجمهورية العربية السورية

الفصل السابع
أمواج التيراهرتز أو أشعة التيراهرتز

Teraherz Radiation

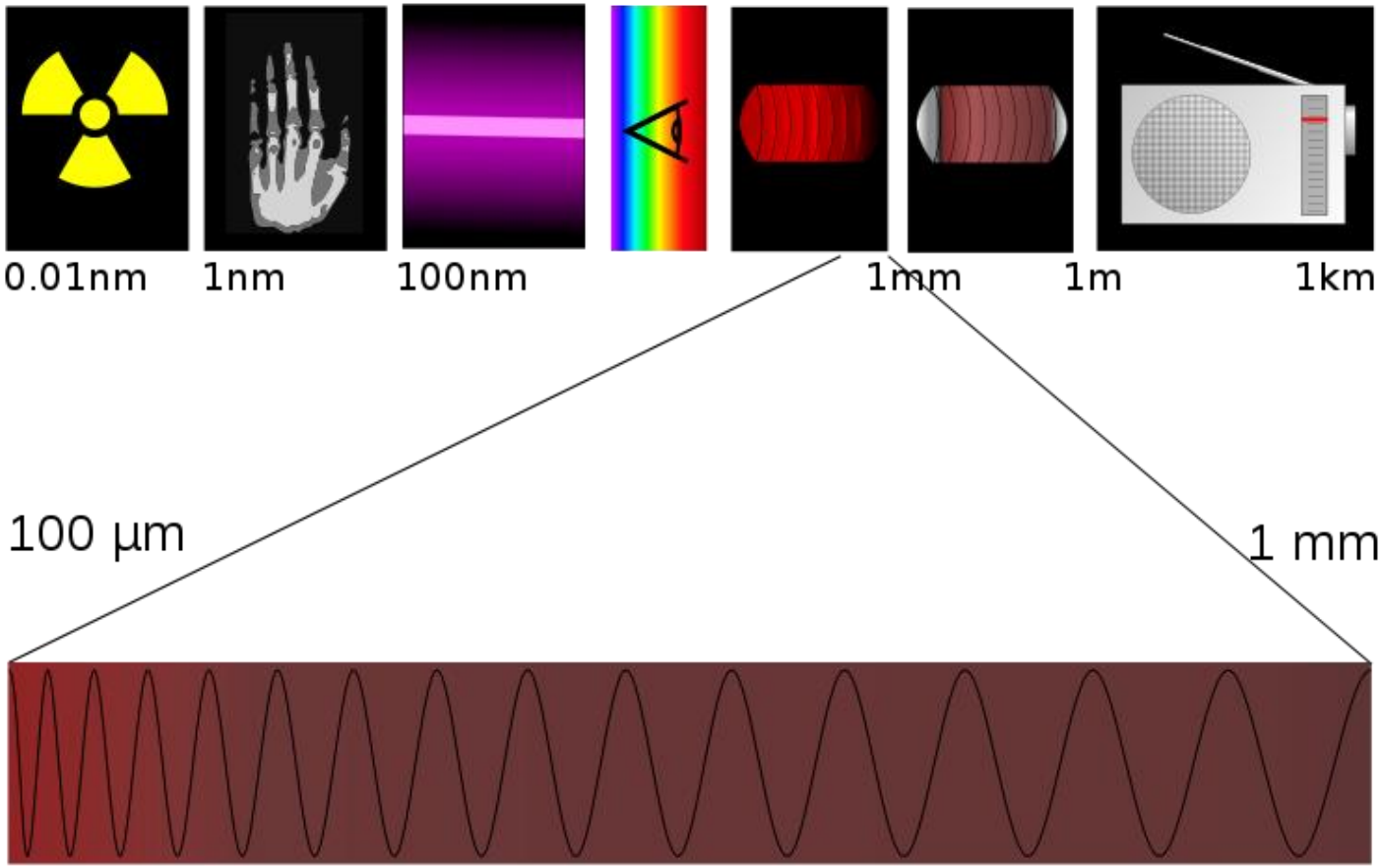
جامعة الشام الخاصة
Al-Sham Private University

جامعة الشام الخاصة
ASPU
2011

أهمية التيراهرتز

- الكشف عن النخور السنية في مراحلها المبكرة (خلافاً للأشعة السينية)
- الكشف عن سرطان الجلد في مراحله المبكرة أيضاً
- الكشف عن المادة الفعالة في الدواء
- الكشف عن المستقلبات في الأورام لأنها تشكل بصمة لكل جزيء من الجزيئات الحيوية.
- تكشف عن الجراثيم

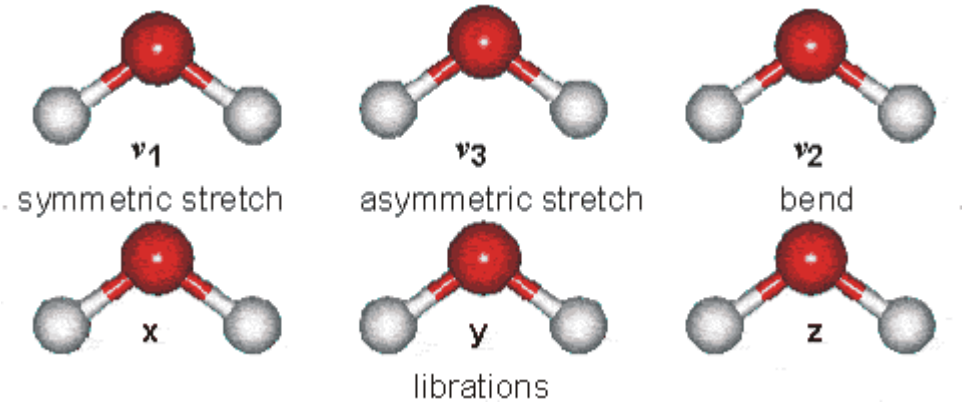
موقع أمواج التيراهرتز في طيف الإشعاعات الكهرطيسية



تقع أمواج التيراهرتز عند مجال تحت الأحمر البعيد، قبيل بدء الأمواج المكروية، تضم مجال التواتر الواقع بين 300GHzو10THz في طيف الإشعاعات الكهرطيسية. وهو يغطي الأطوال الموجية من بضعة ملمترات إلى بضع عشرات المكرومترات.

مصادر إشعاع التيراهرتز

- يصدر إشعاع الليزر من الجمادات والأحياء على السواء
- ينشأ عن الحركات الدورانية والاهتزازية للجزيئات التي تتكون منها النسج.



- يعد ليزر الشلال الكمومي من أهم منابع التيراهرتز الاصطناعية

خصائص إشعاع التيراهرتز

- نظراً لوقوع التيراهرتز بين الإشعاع تحت الأحمر والأمواج المكروية فهو يشترك ببعض الخصائص لكل منها .
- فهو إشعاع غير مؤين.
- إشعاع التيراهرتز يشبه الأمواج المكروية، في أنه يخترق تشكيلة كبيرة من المواد غير الناقلة.
- يمكنه أن ينفذ من خلال القماش والورق والكرتون والخشب ومواد البناء والبلاستيك والسراميك.
- ولا يمكن أن يخترق الماء السائل أو المعادن.

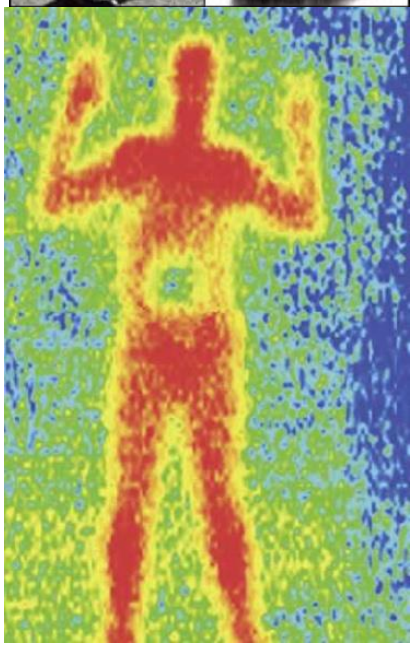
خصائص أمواج التيراهرتز

- أمواج التيراهرتز مأمونة عملياً، وغير هجومية وغير تحطيمية، وغنية بمعلومات معالجة فريدة، ويمكن تطبيقها في مجال واسع من العمليات.
- يقدر الطول الموجي لإشعاع كهرطيسي تواتره 1THz في الخلاء بنحو 0.3mm.
- ومِنْ ثَمَّ تكون المقدرة الفاصلة للصور التي نحصل عليها بهذه الأمواج من المرتبة نفسها.

خصائص أمواج التيراهرتز

- إن إصدار ذرة أو جزيء لفوتون له التواتر نفسه 1THz يقابل انتقالاً بين مستويين للطاقة يفصل بينهما 4.1meV.
- ومن ثم فإن طاقة الشعاع T ضعيفة نسبياً، وهي أصغر بعشرة آلاف مرة منها في حالة شعاع سيني.
- إن أطوالها الموجية: الأقصر من الأمواج المكروية والأطول من الأشعة تحت الحمراء تتفق بشكل واضح مع الحركات الاهتزازية للجزيئات الحيوية.

تطبيقات التيراهرتز



- تعبر الكثير من الحواجز: كالثياب أو الأحزمة، والورق، والكرتون والخشب ومواد البناء والمواد البلاستيكية والسراميكية، وغيرها....إلخ.
- ولكنها، خلافاً لأمواج الراديو، تشبه الضوء في إمكانية تقريبها وتشكيل صور للأجسام بمقدرة فاصلة مناسبة.
- تستخدم في المطارات للكشف الخامل عن الأسلحة المخبأة

نظام مسح الجسم بالتيراهرتز

التيراهرتز والبصمة الجزيئية

- تتميز معظم الجزيئات العضوية، ولا سيما الكثير من الملوثات، بتواترات دوران أو اهتزاز أساسية تقع ضمن مجال التيراهرتز.

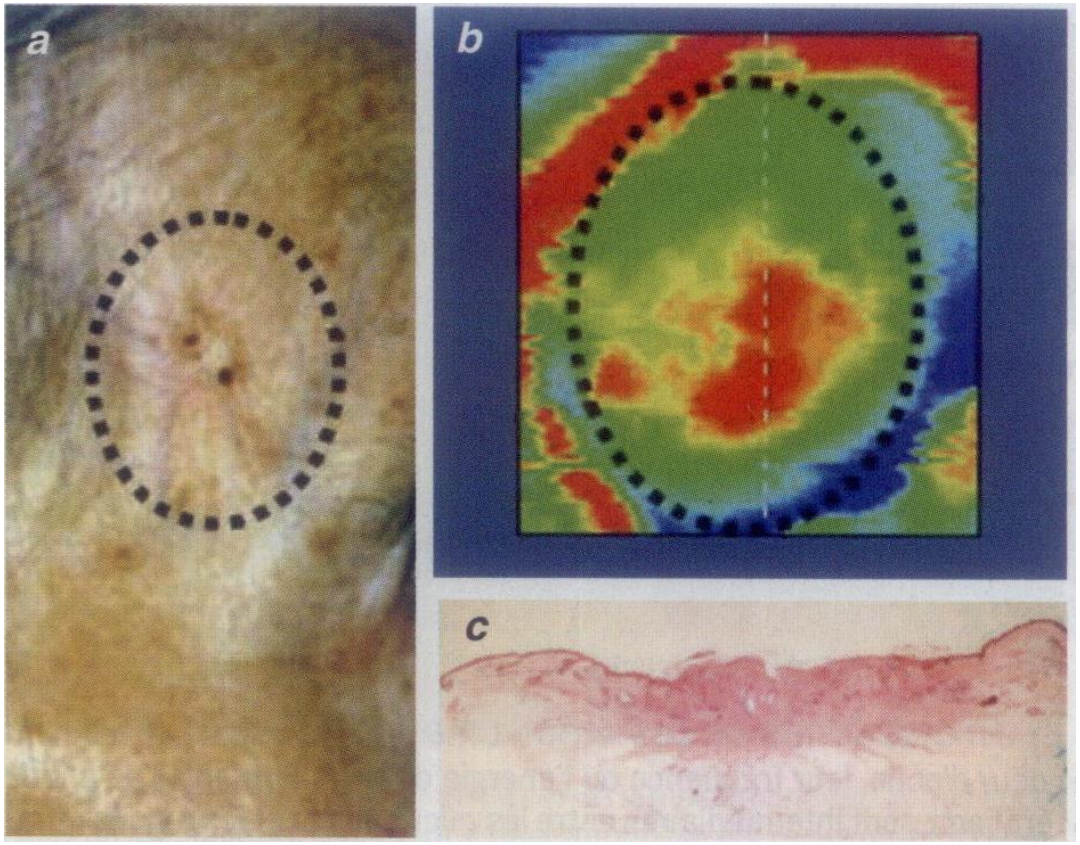
التيراهرتز والمطيافية

- إن القياس الدقيق لتواترات إصدار المادة أو امتصاصها في مجال التيراهرتز يفسح المجال أمام التعرف على بعض الأنواع الكيميائية المتوافرة فيها.
- تتطلب المطيافية إضاءة العينة بأمواج التيراهرتز
- تسمح المطيافية بالكشف عن مواد غير مسموح فيها وعن العناصر الممرضة كعصية الجمرة الخبيثة.

التيراهرتز والتصوير الطبي

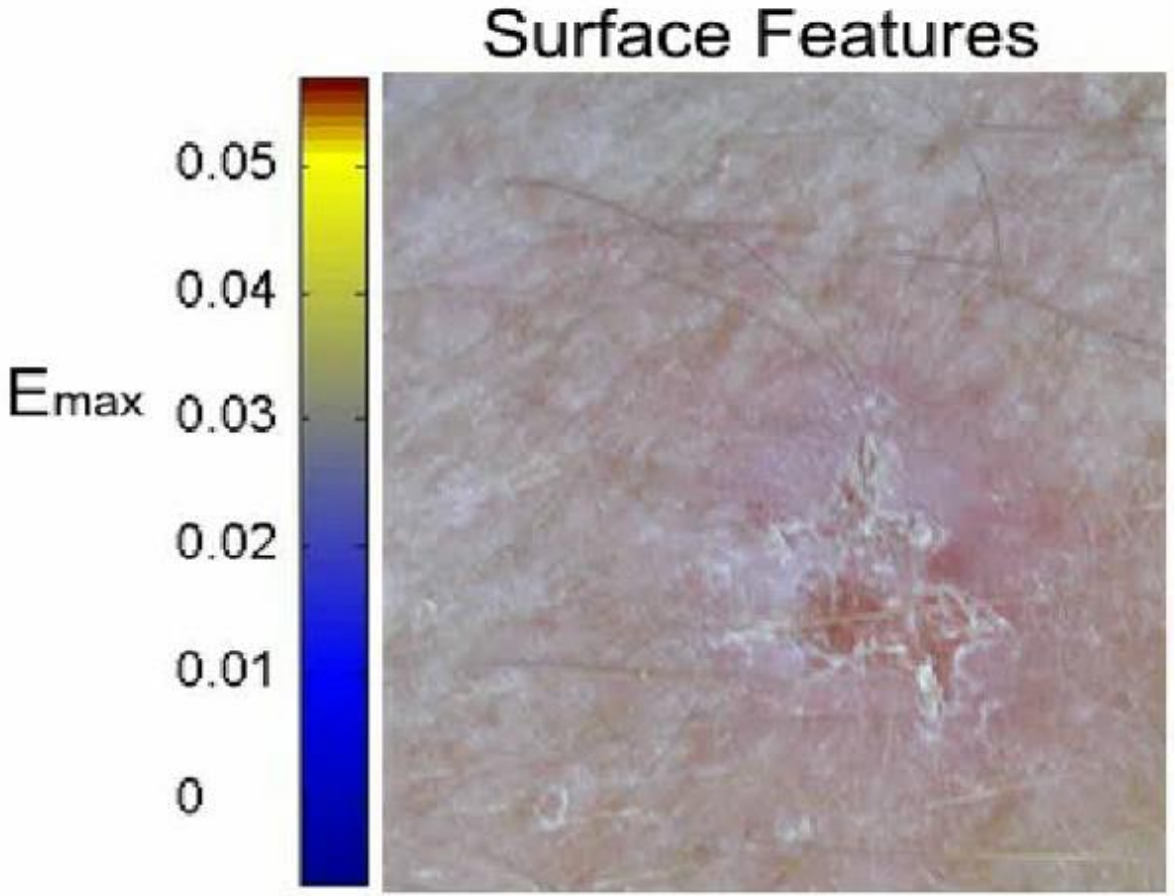
- يمكن لبعض تواترات التيراهرتز أن يخترق بضعة ملمترات في النسيج المنخفض المحتوى المائي (كالنسيج الدهني مثلاً) ويرتدُّ عنه.
- يمكن لإشعاع التيراهرتز أيضاً أن يكشف الاختلافات في المحتوى المائي للنسيج وفي كثافته.
- يمكن لمثل هذه الطرائق أن تسمح بالكشف عن السرطان الظهاري بنجاح.

التيراهرتز والتصوير الطبي

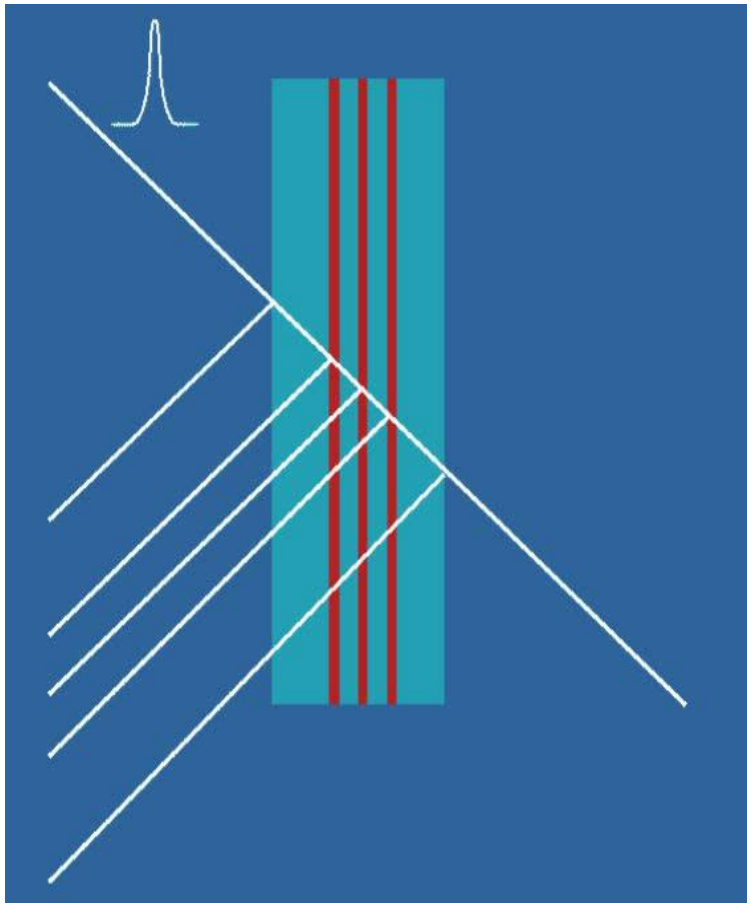


{a) ورم سرطاني في صدغ مريض. تسمح صورة التيراهرتز (b) بإظهار المناطق المصابة على سطح الجلد، يؤكد التشخيص الفحص المجهري لمقطع تم الحصول عليه بالخزع

الكشف عن سرطان الجلد بالتيراهرتز



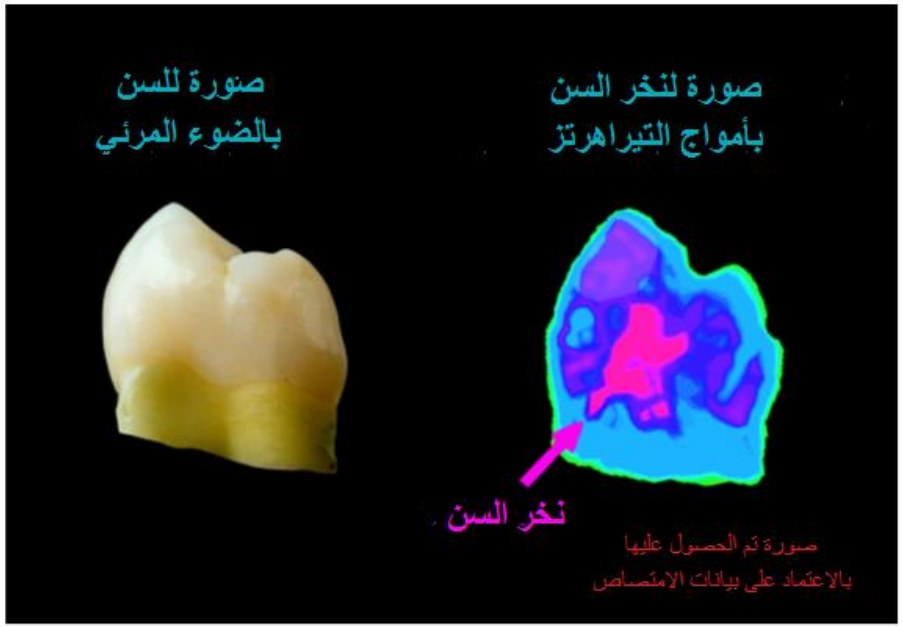
الكشف عن النخور السنية



- **مبدأ التصوير بنبضات التيراهرتز**
- يتم الكشف عن النخور السنية بالاعتماد على الاختلاف بقرينة الانكسار لدى الانتقال من نسيج السن السليم إلى النسيج المنخور.

الكشف عن النخور السنية

في الشكل صورة للسن تم الحصول عليها بالاعتماد على زمن الطيران (الزمن الذي تستغرقه الموجة من المنبع حتى الوصول إلى السطح ثم الارتداد عنه حتى الوصول إلى الكاشف).

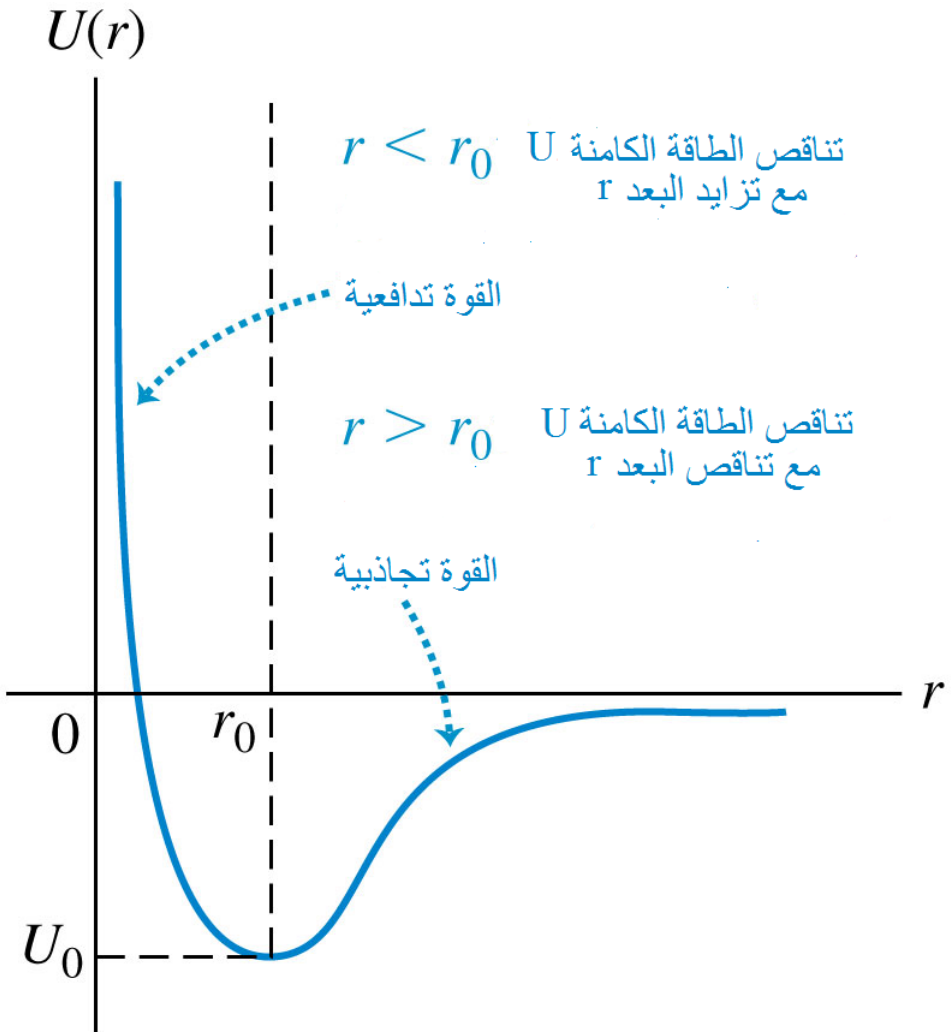


في الشكل صورة لنخر في السن بأشعة التيراهرتز تم الحصول عليها بالاعتماد على بيانات الامتصاص.

منشأ البصمة الجزيئية

للتعرف على منشأ البصمة الجزيئية
نحتاج إلى فهم الروابط التي تمسك الذرات معاً لتشكيل الجزيئات
ورؤية كيفية تأثير الحركات الدورانية والاهتزازية للجزيئات على الأطياف.

منشأ البصمة الجزيئية

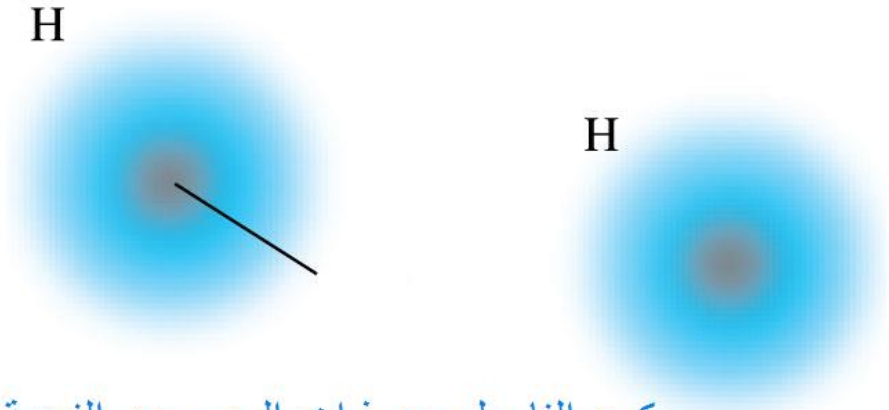


الرابطة الإيونية
(الرابطة بين ذرتين متأينتين متعاكستين في الشحنة بدلالة البعد بينهما)

$$U = -\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r} = -6.0eV$$

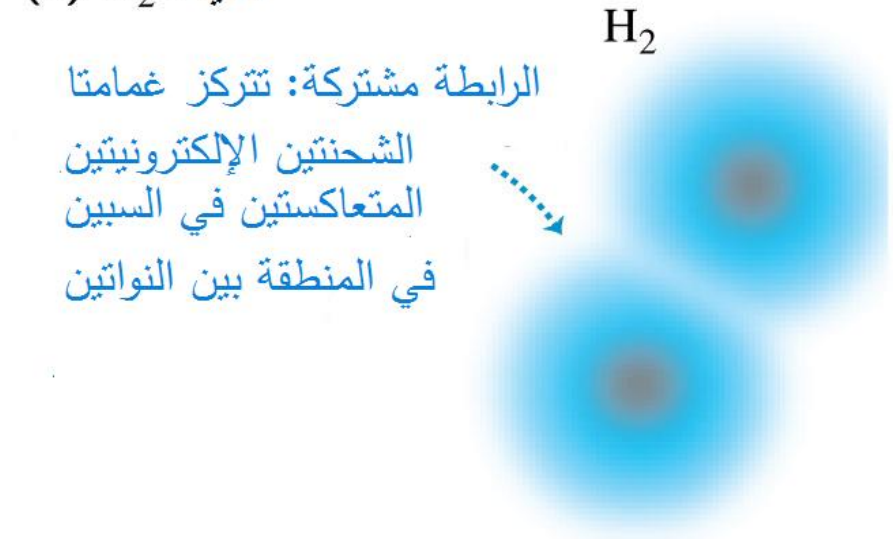
الرابطة المشتركة

(a) ذرتا الهدروجين منفصلتان

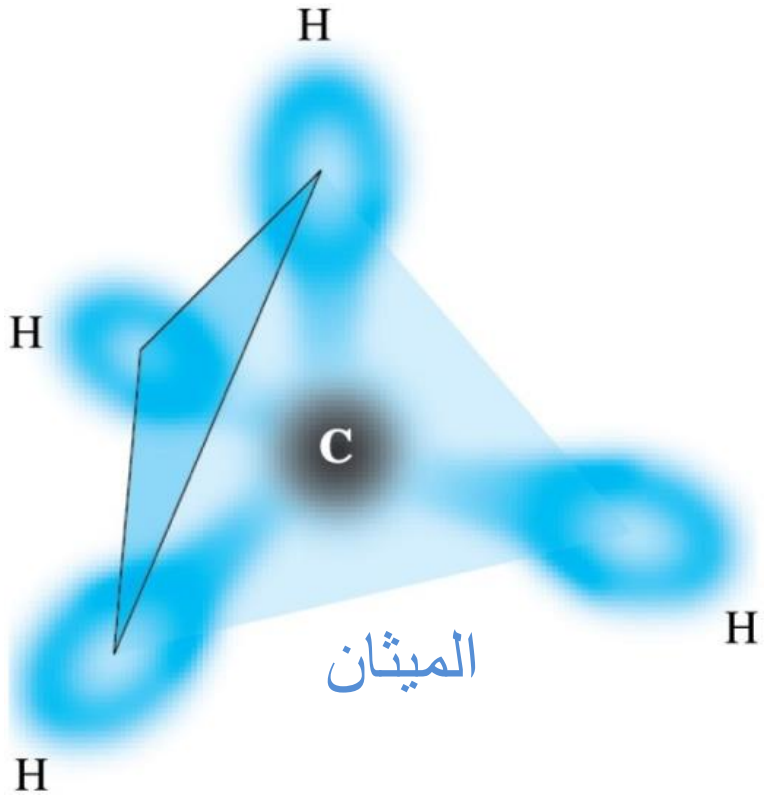


يكون الفاصل بين ذرات الهدروجين الفردية
عادة كبيراً ولا تتفاعل فيما بينها

(b) H_2 جزيء



الرابطة المشتركة



بالتشابه مع معالجة الذرة، يمكن الحديث عن مستويات طاقة رئيسية تحكمها n و l ومستويات طاقة فرعية تحكمها l و m.

يوجد للجزيئة مستويات طاقة تباعدها كبير ومستويات طاقة تباعدها صغير آتية من معالجة الجزيئة جسيماً صلباً يمكنه الدوران أو الاهتزاز داخلياً بين ذراته وروابطه.

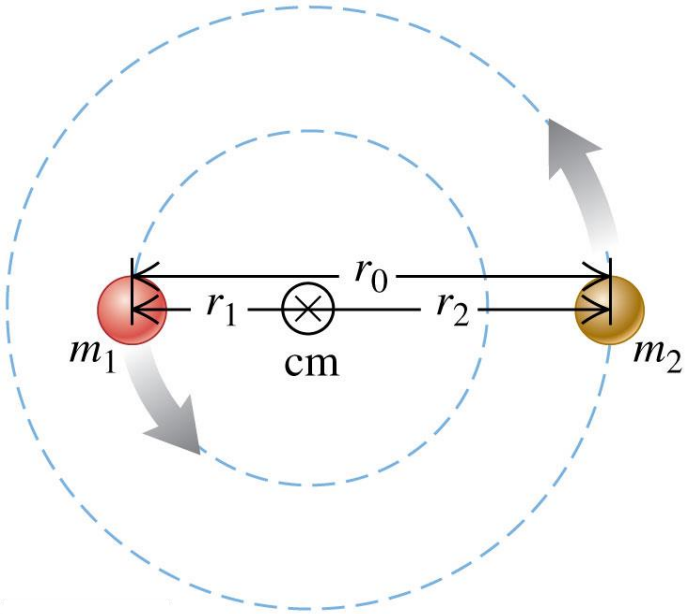
الحركات الجزيئية

1- تشرع الجزيئات فور ارتباط ذرتين أو أكثر بالقيام بحركات دورانية واهتزازية مختلفة

– ونظراً لصغر حجم الذرات فإن هذه الحركات تكمّى في حالات طاقية دورانية Rotational energy levels مسموحة معينة.

2- الكتلة المعنية في الحركات الدورانية والاهتزازية هي الكتلة المختزلة.

مستويات الطاقة الدورانية



ثمة تشابه جميل مع الحركة الدورانية التقليدية:

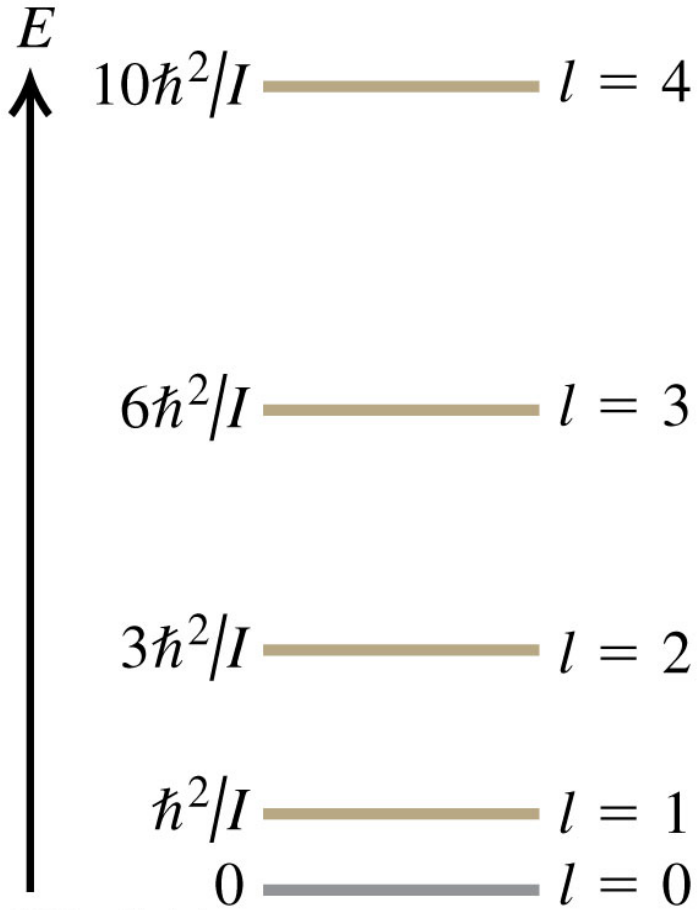
$$K = \tfrac{1}{2} I\omega^2 \quad \text{و} \quad L = I\omega$$

وفي حالة ذرة معزولة يكون:

$$K = E = \frac{L^2}{2I} \quad \text{لأن} \quad U = 0$$

$$\mu = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}$$

مستويات الطاقة الدورانية



مستويات الطاقة الدورانية للجزيء الثنائي الذرة

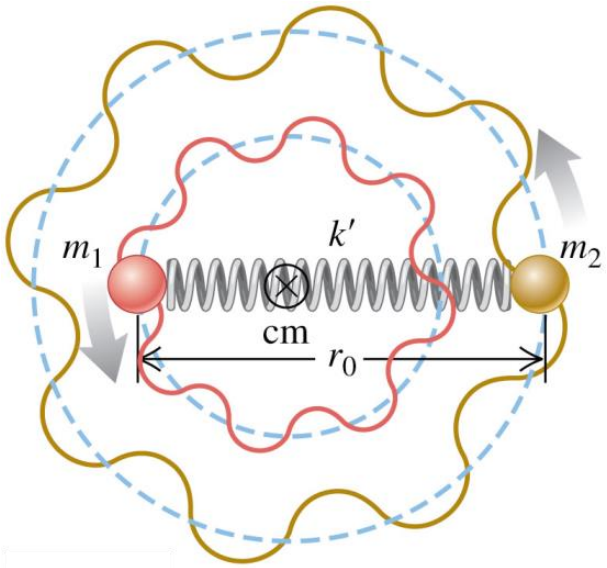
حلول الاندفاع الزاوي لمعادلة شرودنغر Schrödinger equation، هي نفسها لجزيء الهدروجين

$$L = \sqrt{l(l+1)}\,\hbar$$

بجمع هذه العلاقة مع العلاقة التقليدية للطاقة نحصل على الطاقات المكماة:

$$E_l = l(l+1)\frac{\hbar^2}{2I} = l(l+1)\frac{\hbar^2}{2\mu r_0^2}$$

المستويات الطاقية الاهتزازية



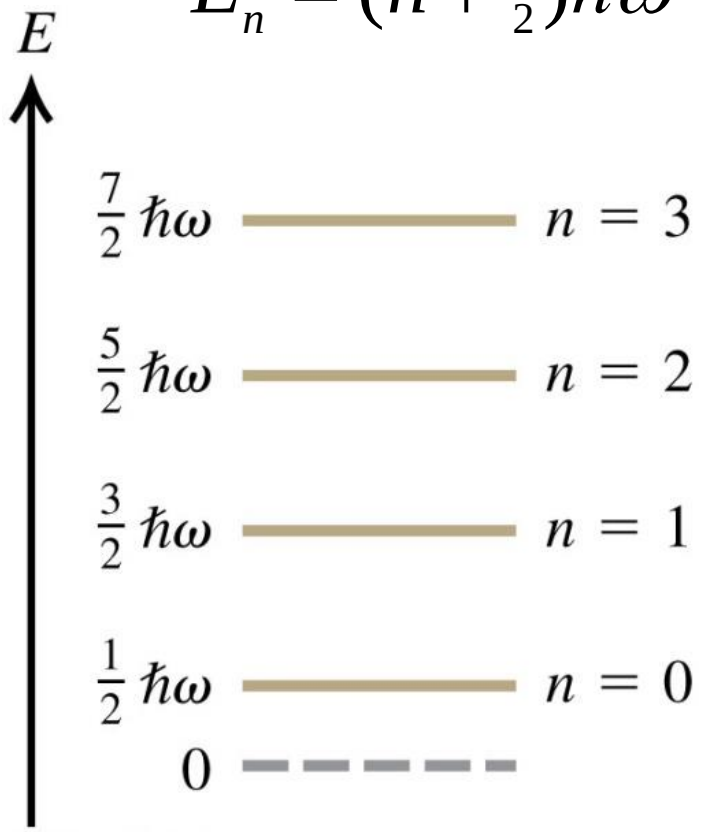
بالمثل يقوم الجزيء الثنائي الذرة بالاهتزاز، كما في المماثل التقليدي كتلتان على نابض. تهتز الذرتان حول مركز كتلتيهما، وهنا أيضاً الكتلة المعنية هي الكتلة المختزلة. ولهذه الجملة المستويات الطاقية نفسها لما يدعى الهزاز التوافقي.
تعطى مستويات الطاقة بالعلاقة:

$$E_n = (n+\tfrac{1}{2})\hbar\omega = (n+\tfrac{1}{2})\hbar\sqrt{\frac{k'}{\mu}}$$

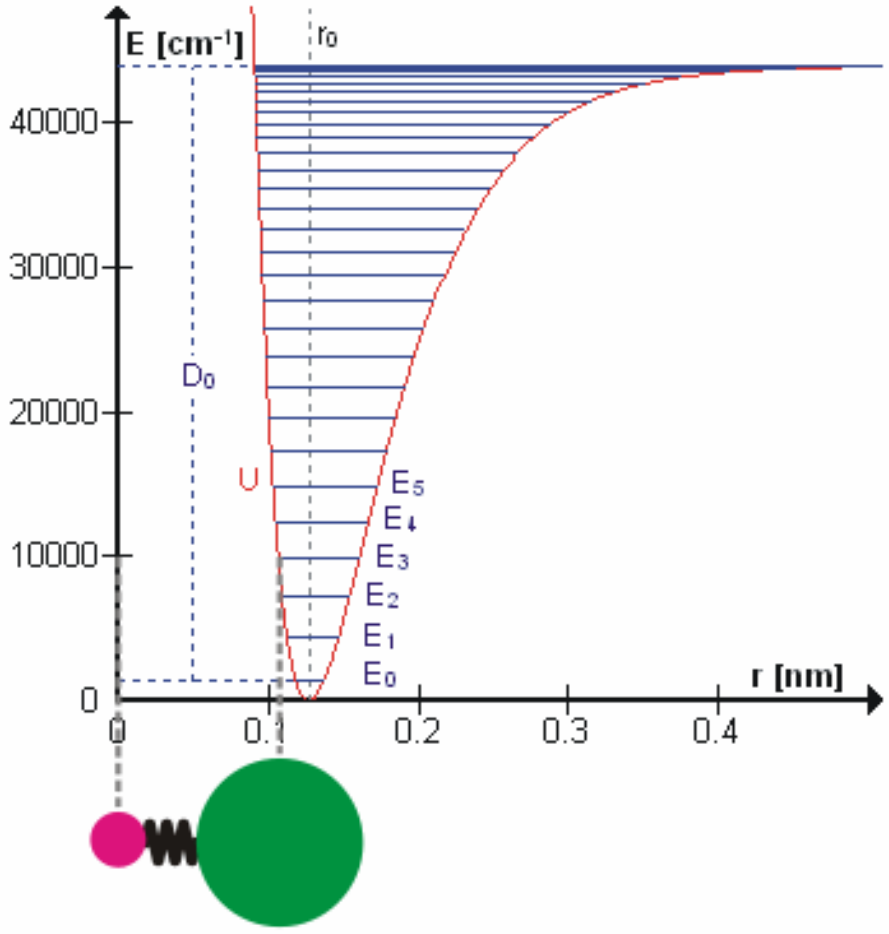
حيث k' ثابت النابض

المستويات الطاقية الاهتزازية

$$E_n = (n + \tfrac{1}{2})\hbar\omega$$



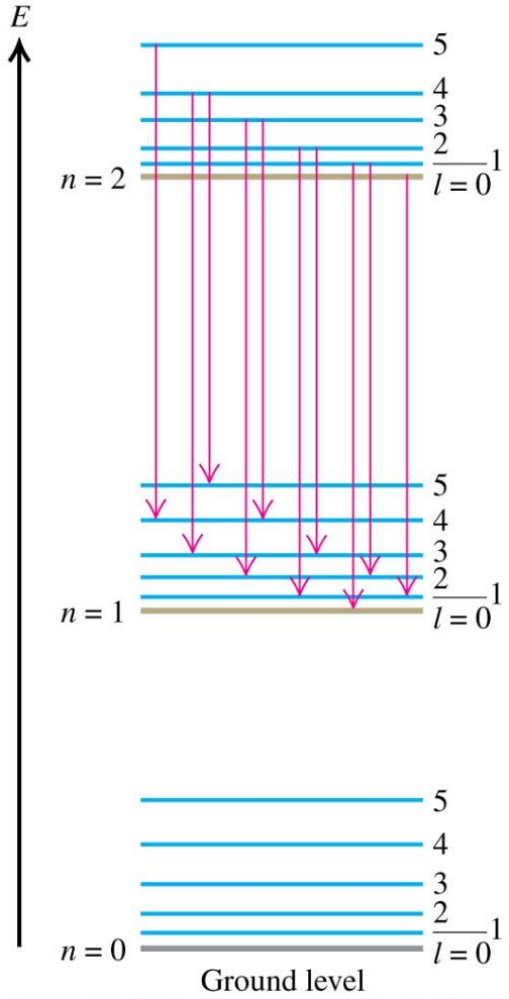
يبين الشكل بعض المستويات الطاقية الاهتزازية لجزيء ثنائي الذرة.



الحركات الاهتزازية لجزيء كلور الهدروجين
تزايد الطاقة الاهتزازية مع ارتفاع درجة الحرارة

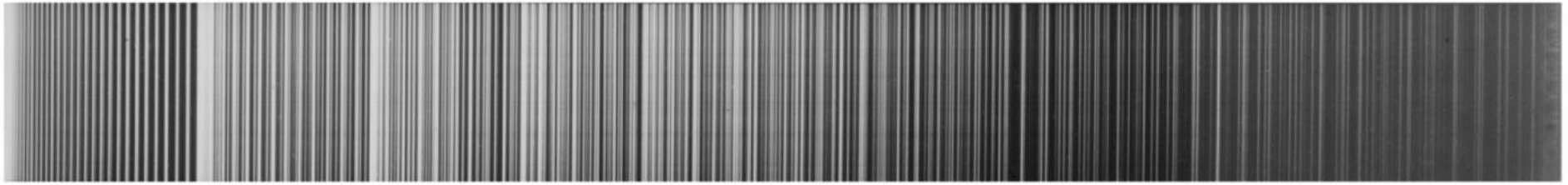
المستويات الطاقية الدورانية + الاهتزازية الجزيئية في جزيء ثنائي الذرة.

$$E_{nl} = l(l+1)\frac{\hbar^2}{2I} + (n+\tfrac{1}{2})\hbar\sqrt{\frac{k'}{\mu}}$$

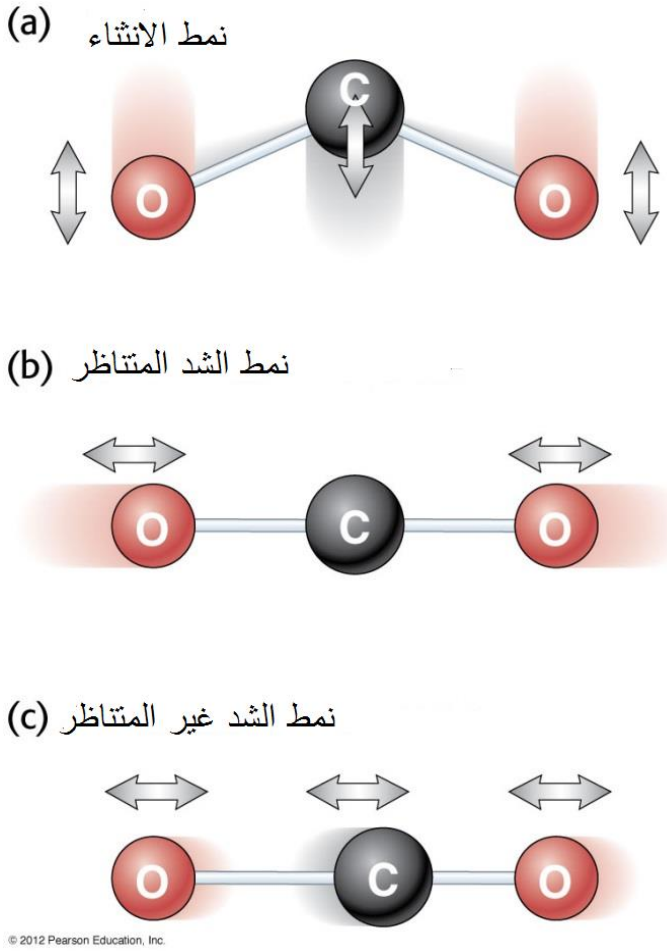


تتطلب قواعد الميكانيك الكمومي أن يكون $\Delta l = \pm 1$ و $\Delta n = \pm 1$ (الزائد لامتصاص فوتون والناقص لإصدار فوتون). تدل الأسهم في الشكل على الانتقالات المسموحة من المستويات $n = 2$.

الطيف العصابي الجزيئي النموذجي



الجزيئات المعقدة Complex Molecules

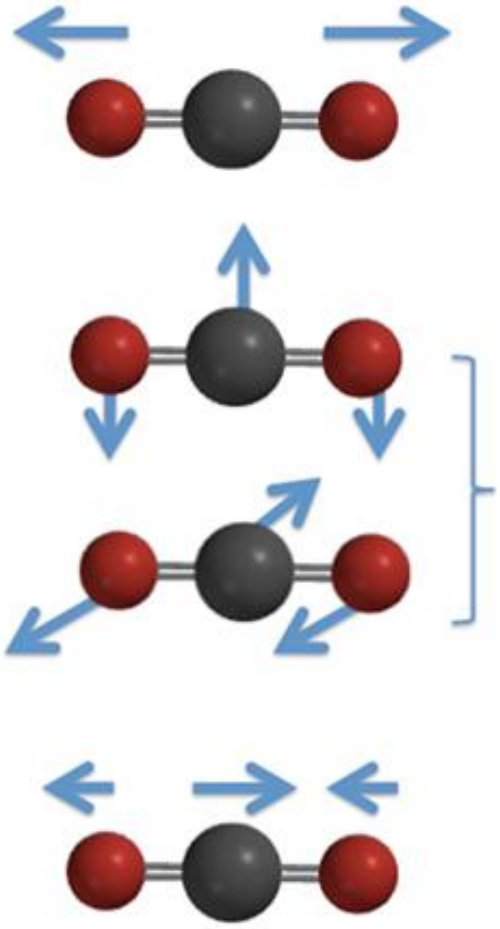


تتمتع الجزيئات الأكثر تعقيداً كجزيء ثنائي أكسيد الكربون CO_2 بأنماط اهتزاز إضافية كما هو مبين تخطيطياً في الشكل. يخضع كل من هذه الحركات لقواعد تكمية خاصة به، إذْ يفصل بين كل اثنين من المستويات الطاقية أقل 1eVومِنْ ثَمَّ فهي تولد فوتونات تحت الأحمر بطول موجي يزيد على $1\mu m$

إن هذه الحقيقة تجعل من غاز CO_2 فعالاً جداً كغاز للبيوت الزجاجية، يمتص الحرارة من الأرض ويأسرها الغلاف الجوي.

يتكون غلاف الزهرة كلياً تقريباً من CO_2 ومن ثم فإن درجة حرارة سطح الزهرة نحو 800K. ويعد الميثان أكثر فعالية كغاز للبيوت الزجاجية.

أنماط اهتزاز CO_2

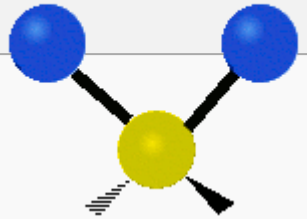
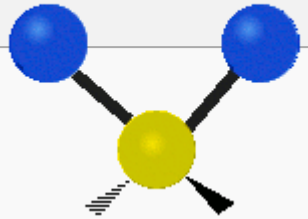
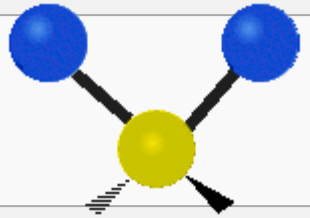
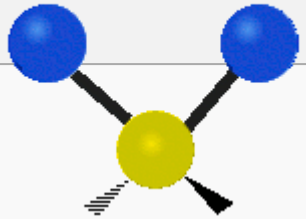
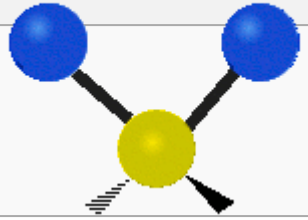
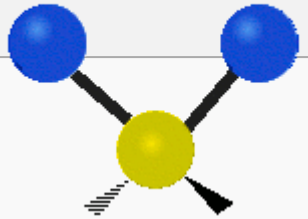


v_1 Symmetric C-O Stretch

v_2 Bend

v_3 Asymmetric C-O stretch

أنواع الحركات الاهتزازية لجزيء الماء

Symmetrical stretching 	Asymmetrical stretching 	Scissoring (Bending) 
Rocking 	Wagging 	Twisting 

نمط اهتزاز N2O