وزارة التعليم العالي
MINISTRY OF HIGHER EDUCATION

الجمهورية العربية السورية

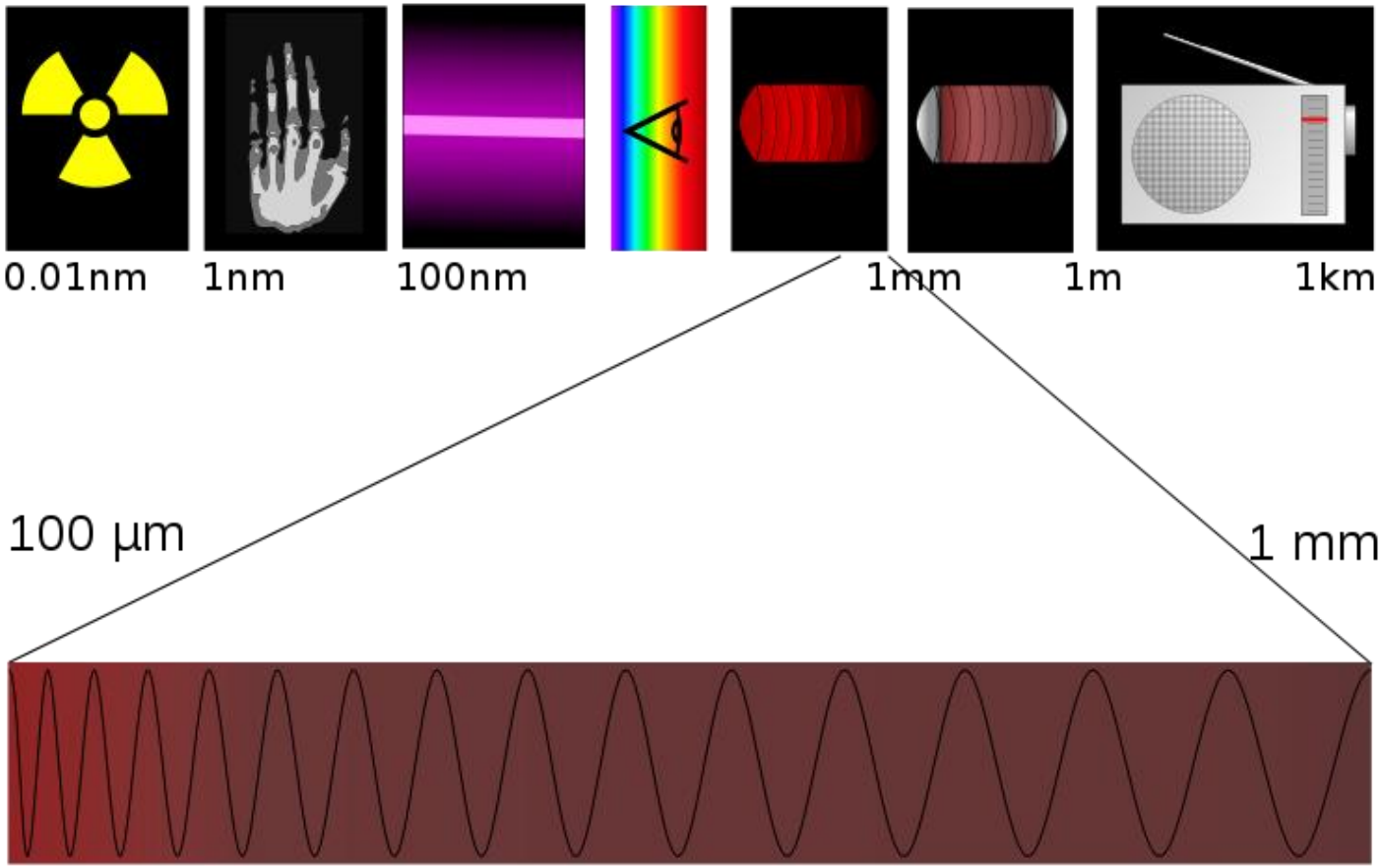
الفصل السابع
أمواج التيراهرتز أو أشعة التيراهرتز

Teraherz Radiation

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.

1- يجب الانتباه في بادئ الأمر إلى موقع التيراهرتز في طيف الإشعاعات الكهرطيسية (على النحو الموجود في تعليق الشكل) وأن التيراهرتز تعني عشرة قوة 12 وكلمة تيرا يونانية الأصل وتعني الوحش، في حين أن الـ Giga تعني في اللغة اليونانية أيضاً عملاق.

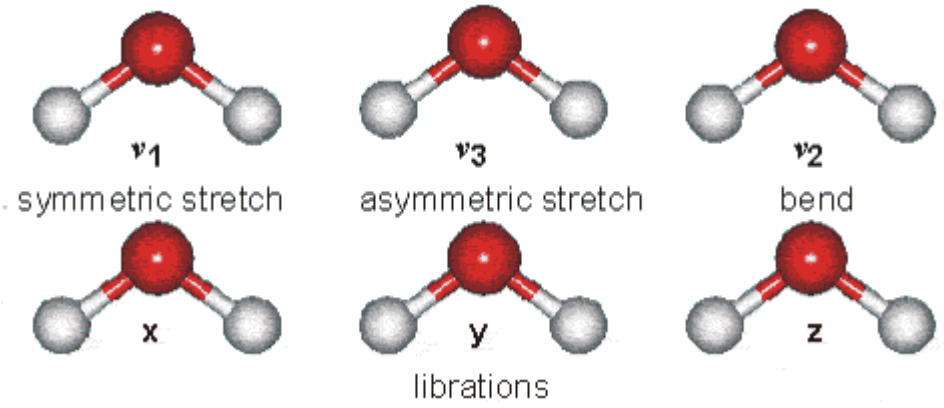
2- نذكر بأنها كانت تشكل الجزء الأخفض من تواترات مجال الإشعاع تحت الأحمر البعيد قبل أن يتم توليدها،

3- وأن الجزء الأقرب إلى الأمواج المكروية يغلب عليه إطلاق اسم الأمواج ويتم توليده بنبضات ليزرية فائقة القصر، والجزء الأقرب إلى الأشعة تحت الحمراء يغلب أن يطلق عليه إشعاع لقصر أطواله الموجية بالنسبة للجزء الآخر.

4- التأكيد على أن الأطوال الموجية لهذا المجال من مرتبة الملمتر ولذلك يطلق عليه أحياناً مجال الأمواج الملمترية.

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.

1- قبل استعراض التطبيقات الطبية للتيراهرتز، لنر ما أمواج التيراهرتز والخصائص التي تجعل منها أداة مفيدة في التصوير؟

2- لنعرف مرتبة الأطوال الموجية وتواترات التيراهرتز نأخذ 1THz كقيمة نموذجية ونحسب الطول الموجي من العلاقة التي تربط بين سرعة الإشعاعات الكهرطيسية والتواتر والطول الموجي التي تعرفنا عليها في أول فصل.

3- من المعروف أن المقدرة الفاصلة (أصغر جزء يمكن تمييزه) تكون من مرتبة الطول الموجي للإشعاع الذي يتم استخدامه في التصوير

4- في حال طرح السؤال عن فشل الأشعة السينية في الكشف المبكر عن النخر فإن التصوير بالأشعة السينية يعتمد على التباين في امتصاص الأشعة السينية وليس على انعراج الأشعة السينية .

خصائص أمواج التيراهرتز

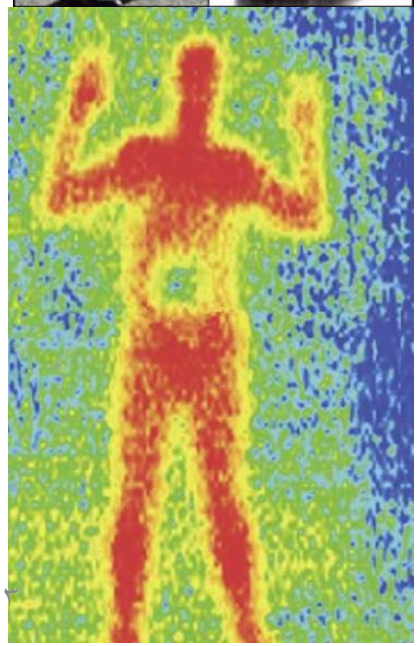
- إن إصدار ذرة أو جزيء لفوتون له التواتر نفسه 1THz يقابل انتقالاً بين مستويين للطاقة يفصل بينهما 4.1meV.
- ومن ثم فإن طاقة الشعاع T ضعيفة نسبياً، وهي أصغر بعشرة آلاف مرة منها في حالة شعاع سيني.
- إن أطوالها الموجية: الأقصر من الأمواج المكروية والأطول من الأشعة تحت الحمراء تتفق بشكل واضح مع الحركات الاهتزازية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

1- لنعرف مرتبة طاقة التواتر 1THz تطبق العلاقة ’(1.3) (التي مرت في الفصل الأول) E=12400/λ(Ao) أو من العلاقة الموجودة في فقرة النظرية الفوتونية والمفعول الكهرضوئي في الفصل الثالث

2- يفترض أننا قمنا في كل من الفصل الأول (مقدمة في الفيزياء الحديثة) والفصل السادس (الأشعة تحت الحمراء) بتدريبات على حساب طاقات الفوتونات ذات الأطوال الموجية البسيطة كالأنغستروم أو النانومتر مثلاُ. وهنا في الحالة التي كان فيها الطول الموجي من مرتبة الملمتر تكون طاقة الفوتون من مرتبة 0.00124eV، وإذا كان الطول الموجي من مرتبة 0.3mm تكون طاقة الفوتونات 0.0041eV أو 4.1meV.

3- يمكن تناول الحركات الاهتزازية للجزيئات بالمطيافية الجزيئية.

تطبيقات التيراهرتز

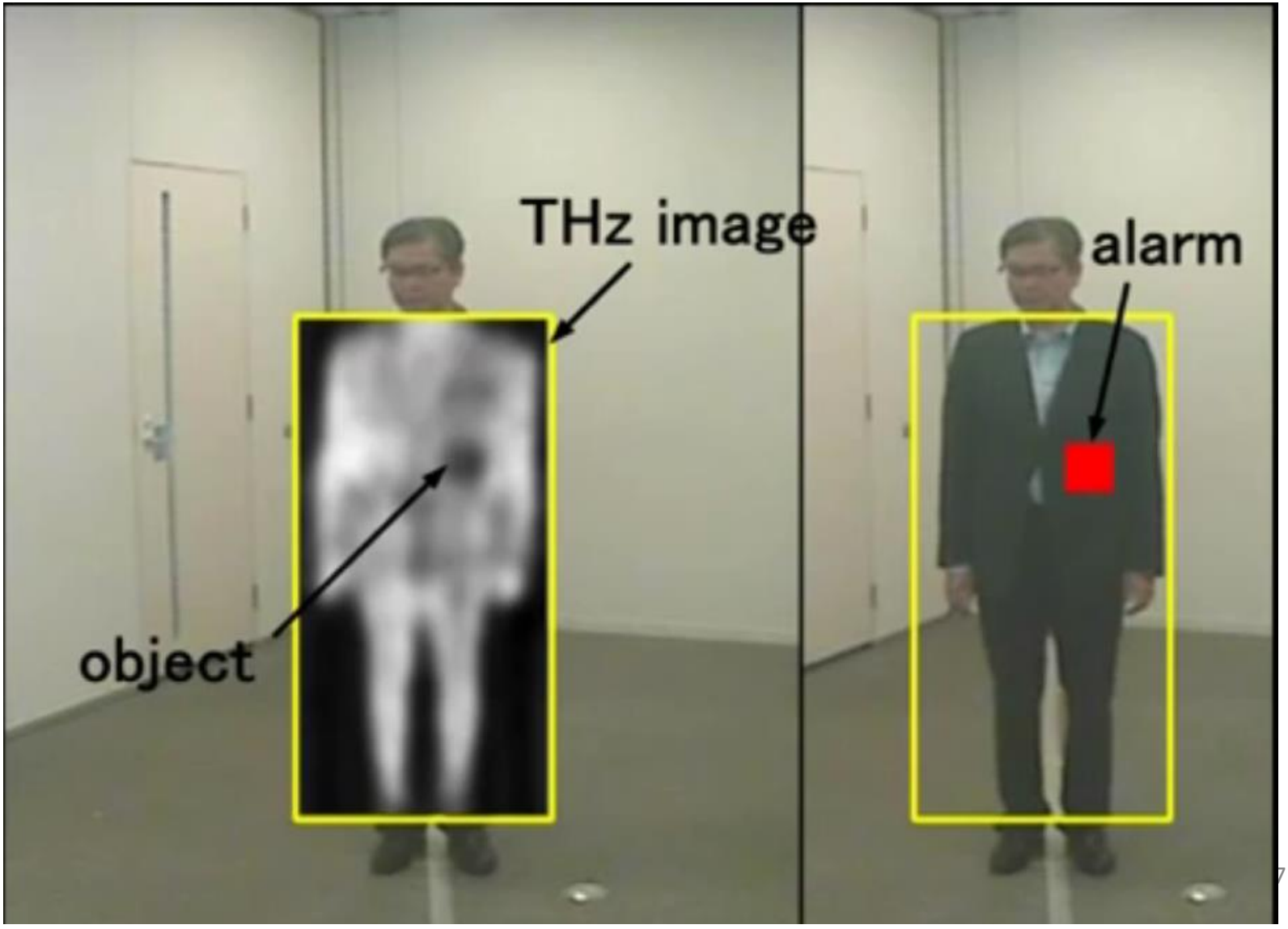


- تعبر الكثير من الحواجز: كالثياب أو الأحزمة، والورق، والكرتون والخشب ومواد البناء والمواد البلاستيكية والسراميكية، وغيرها....إلخ.
- ولكنها، خلافاً لأمواج الراديو، تشبه الضوء في إمكانية تقريبها وتشكيل صور للأجسام بمقدرة فاصلة مناسبة.
- تستخدم في المطارات للكشف الخامل عن الأسلحة المخبأة

1- التصوير الخامل يتم من دون الاستعانة بمنبع خارجي وإنما بالاعتماد على الإشعاع الذي يصدره الجسم.

2- الشكل العلوي يمثل صورة لشخص مرتد كامل ثيابه بأمواج التيراهرتز التي تصدر من جسمه وتخترق ثيابه. يبدو في الصورة السلاح الأبيض الذي كان يخفيه وراء الصحيفة التي يحملها ويوقف إشعاع التيراهرتز الذي يصل إليه من الجسم فلا يبلغ المصورة (الكاميرا).

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.

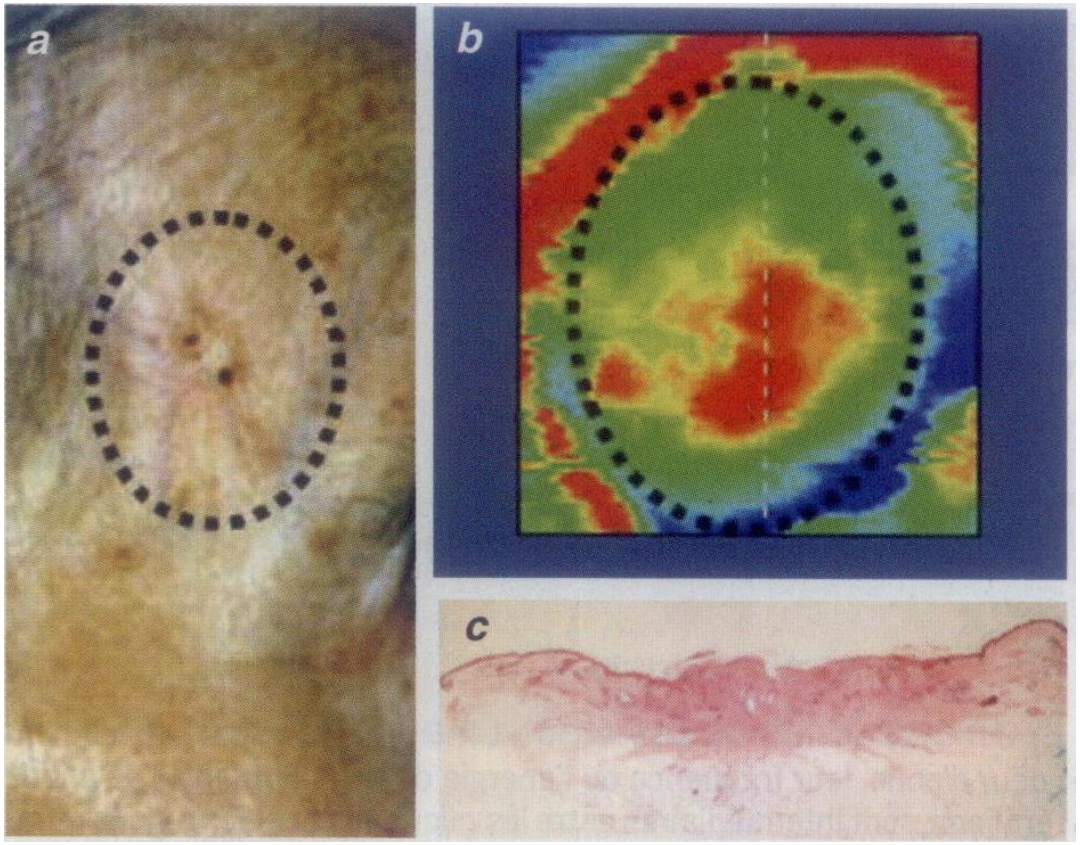
التيراهرتز والمطيافية

- 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

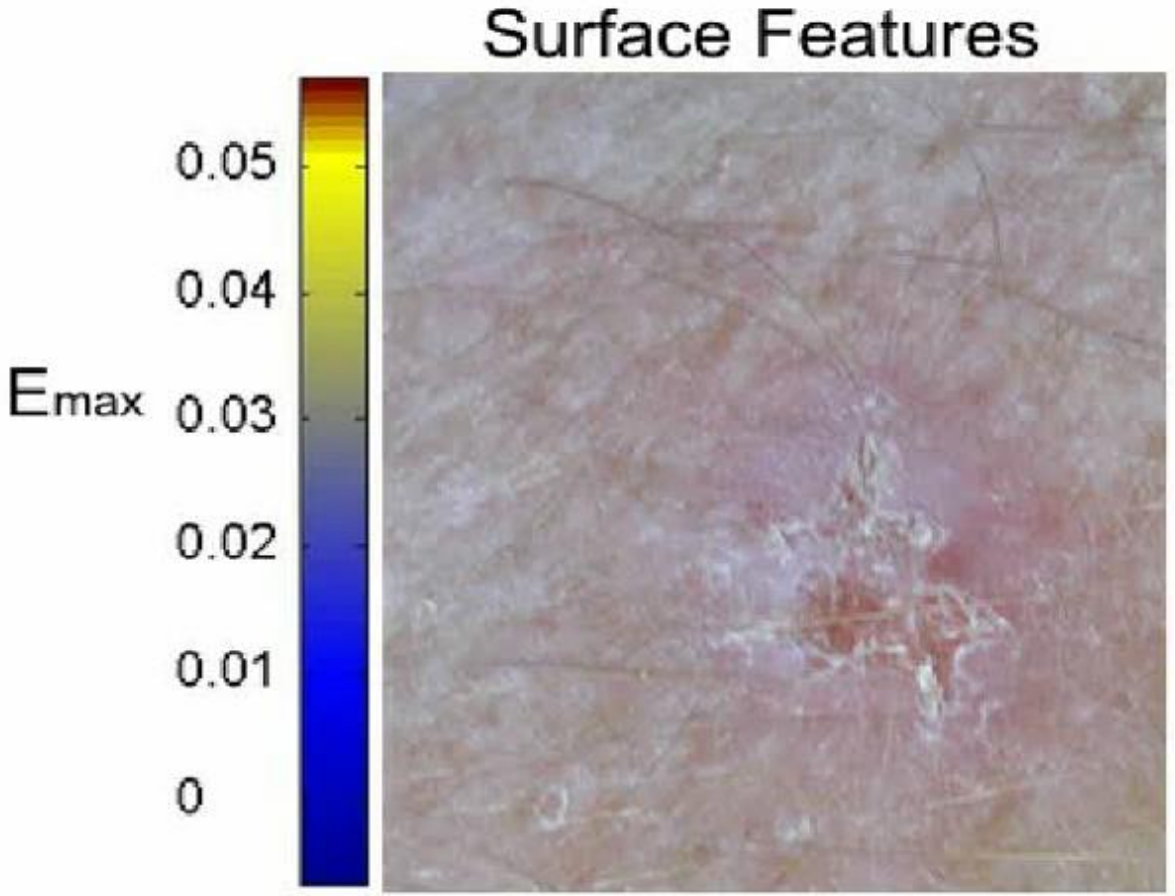
- يمكن لبعض تواترات التيراهرتز أن يخترق بضعة ملمترات في النسيج المنخفض المحتوى المائي (كالنسيج الدهني مثلاً) ويرتدُّ عنه.
- يمكن لإشعاع التيراهرتز أيضاً أن يكشف الاختلافات في المحتوى المائي للنسيج وفي كثافته.
- يمكن لمثل هذه الطرائق أن تسمح بالكشف عن السرطان الظهاري بنجاح.

التيراهرتز والتصوير الطبي

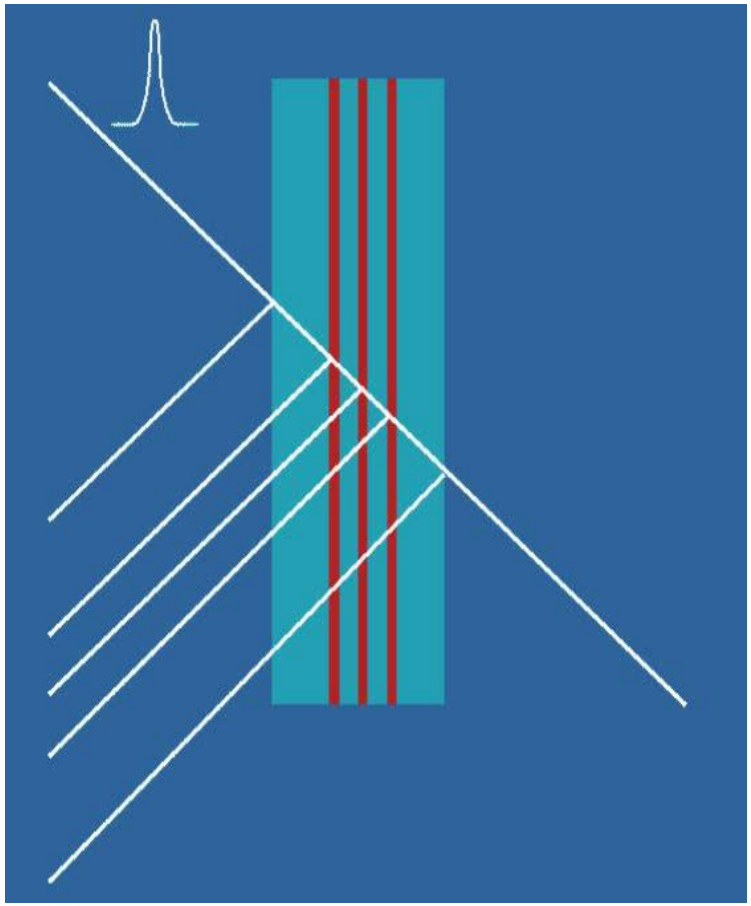


{a) ورم سرطاني في صدغ مريض. تسمح صورة التيراهرتز (b) بإظهار المناطق المصابة على سطح الجلد، يؤكد التشخيص الفحص المجهري لمقطع تم الحصول عليه بالخزع

الكشف عن سرطان الجلد بالتيراهرتز

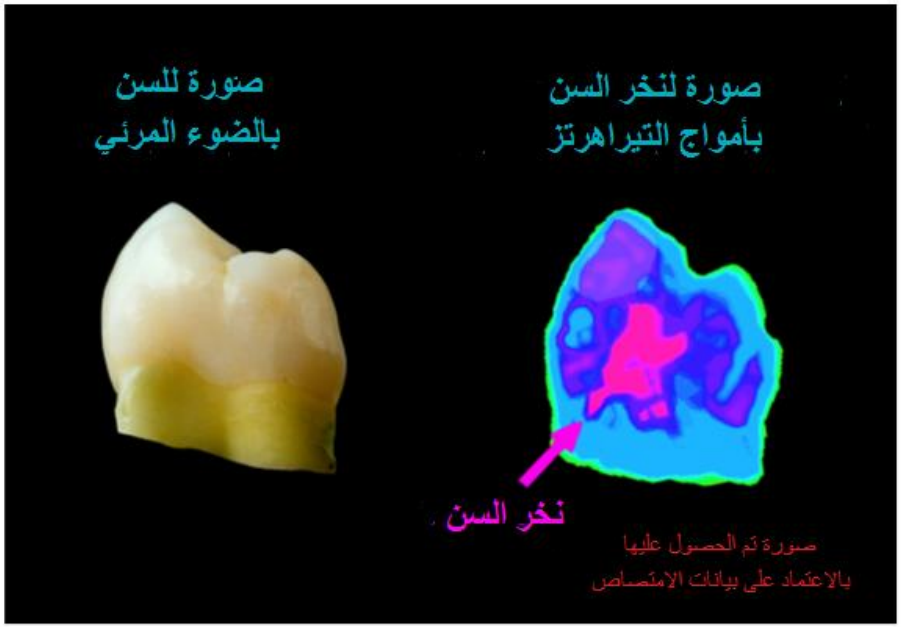


الكشف عن النخور السنية



- **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.

لابد من الإشارة إلى تغير طاقة الرابطة الإيونية بدلالة البعد.

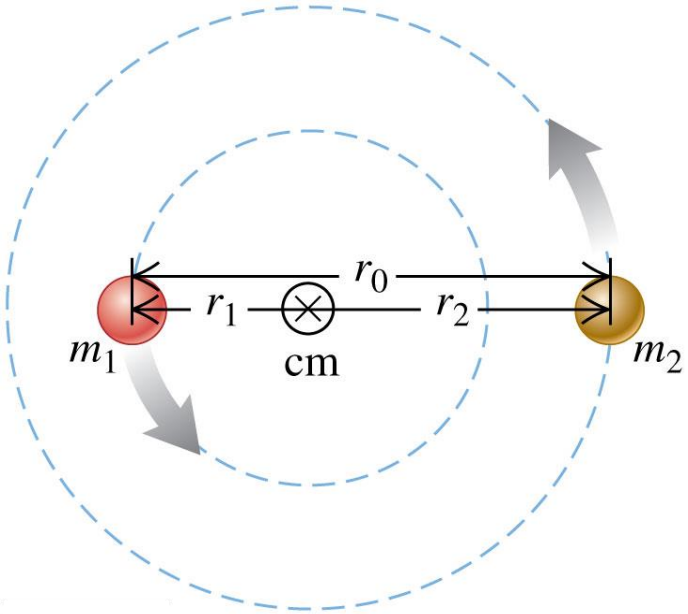
الحركات الجزيئية

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 levelsمسموحة معينة.

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

مستويات الطاقة الدورانية



ثمة تشابه جميل مع الحركة الدورانية التقليدية:

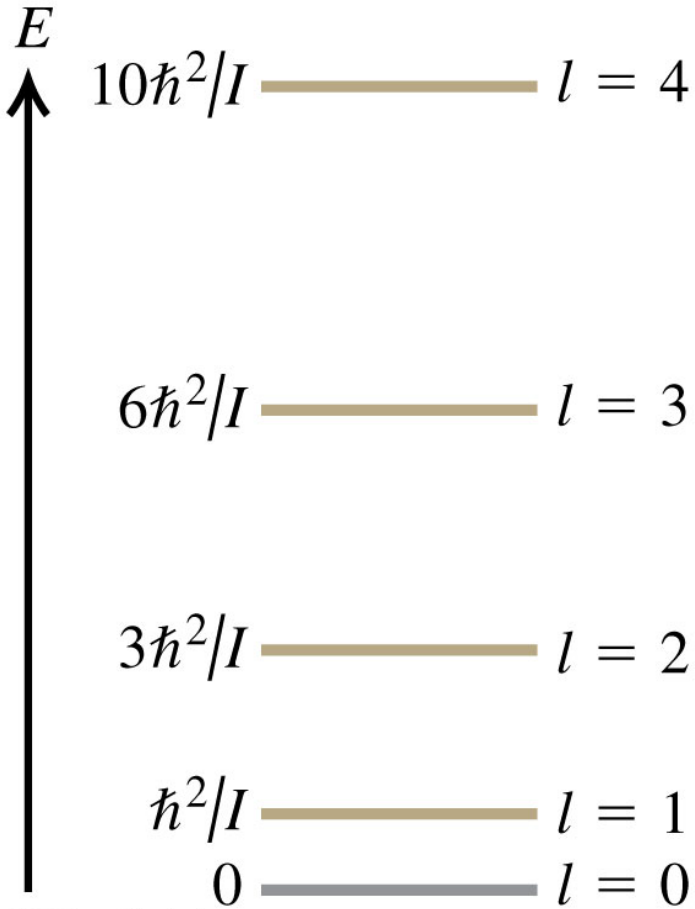
$$K = \tfrac{1}{2} I\omega^2 \quad \text{و} \quad L = I\omega$$

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

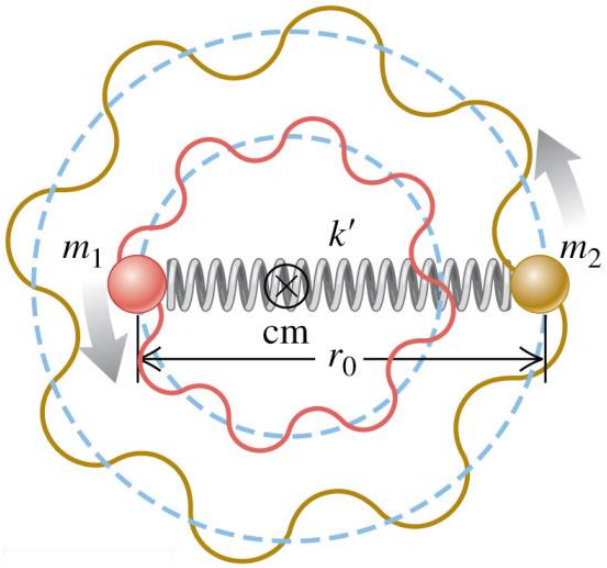
حلول الاندفاع الزاوي لمعادلة شرودنغر Schrödinger equation، هي نفسها لجزيء الهدروجين

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

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

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

المستويات الطاقية الاهتزازية

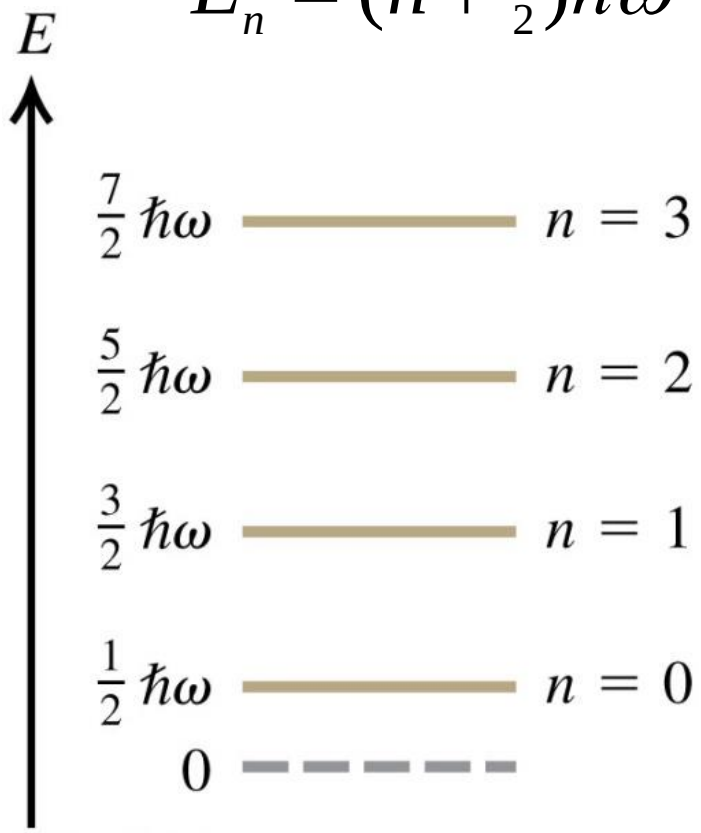


بالمثل يقوم الجزيء الثنائي الذرة بالاهتزاز، كما في المماثل التقليدي كتلتان على نابض. تهتز الذرتان حول مركز كتلتيهما، وهنا أيضاً الكتلة المعنية هي الكتلة المختزلة. ولهذه الجملة المستويات الطاقية نفسها لما يدعى الهزاز التوافقي.
تعطى مستويات الطاقة بالعلاقة:

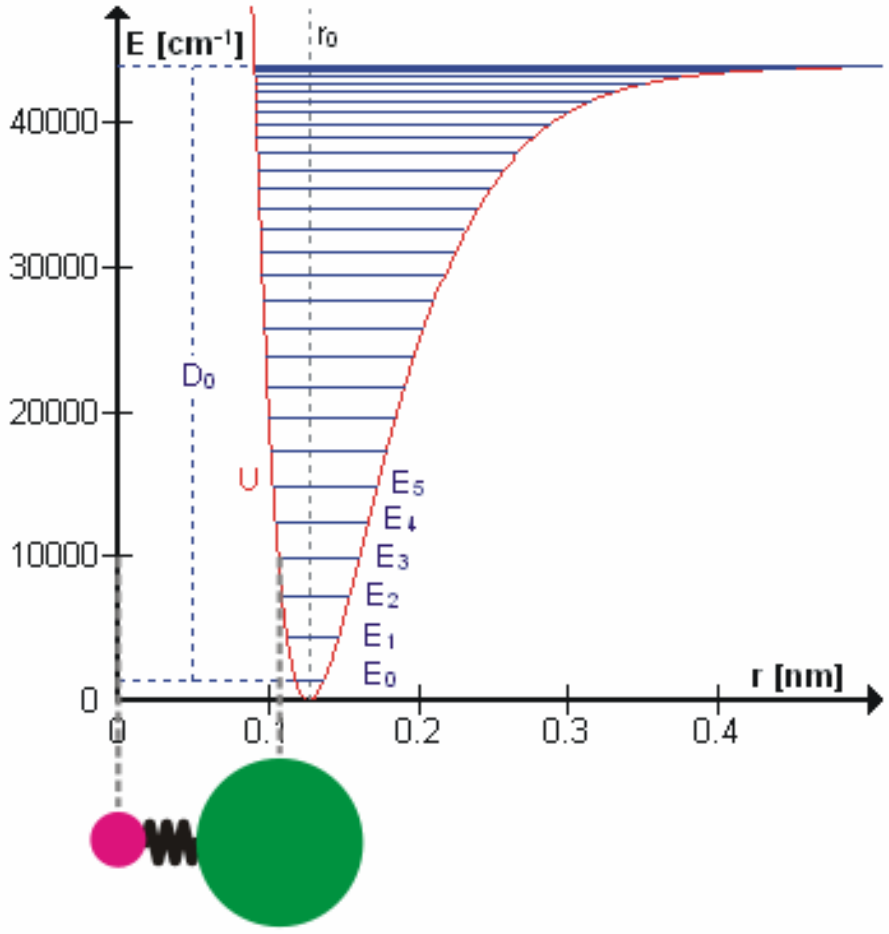
$$E_n = (n + \frac{1}{2})\hbar\omega$$

المستويات الطاقية الاهتزازية

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



يبين الشكل بعض المستويات الطاقية الاهتزازية لجزيء ثنائي الذرة.

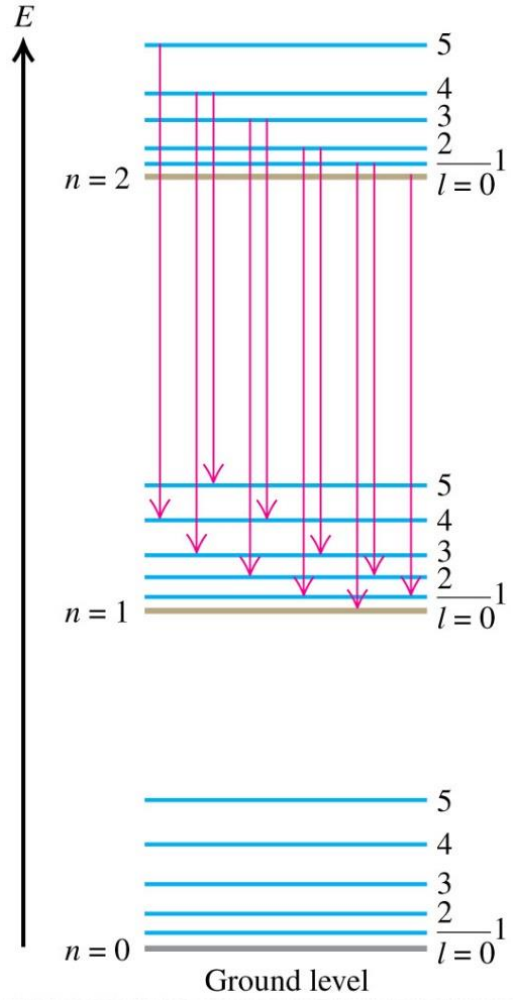


الحركات الاهتزازية لجزيء كلور الهدروجين
تزايد الطاقة الاهتزازية مع ارتفاع درجة الحرارة

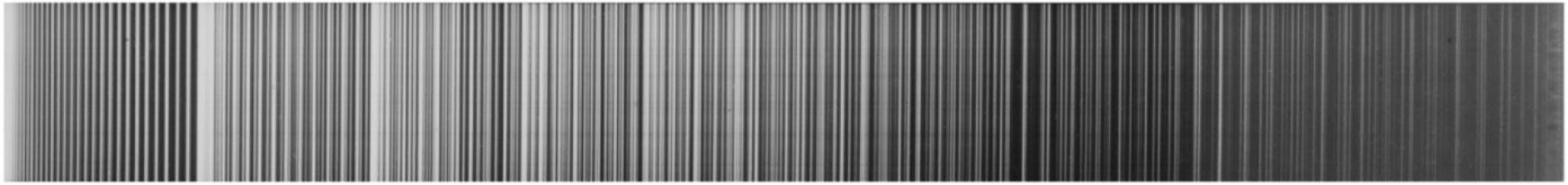
المستويات الطاقية الدورانية + الاهتزازية الجزيئية في جزيء ثنائي الذرة.

$$E_{nl} = l(l+1)\frac{\hbar^2}{2I} + (n+\tfrac{1}{2})\hbar\omega$$

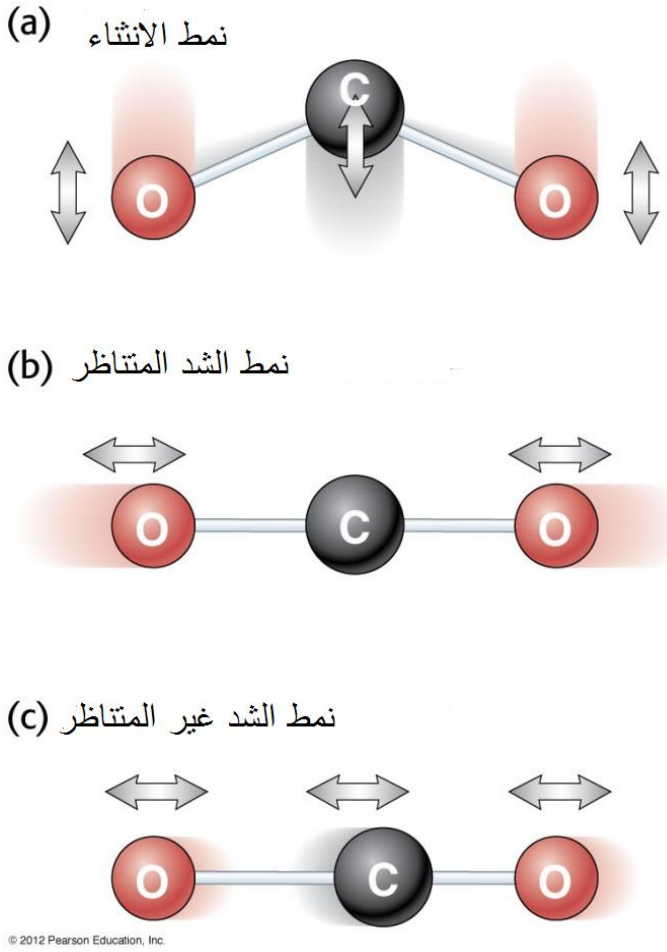
تتطلب قواعد الميكانيك الكمومي أن يكون $\Delta l = \pm 1$ و $\Delta n = \pm 1$ (الزائد لامتصاص فوتون والناقص لإصدار فوتون). تدل الأسهم في الشكل على الانتقالات المسموحة من المستويات $n = 2$.



الطيف العصابي الجزيئي النموذجي



Complex Molecules الجزيئات المعقدة

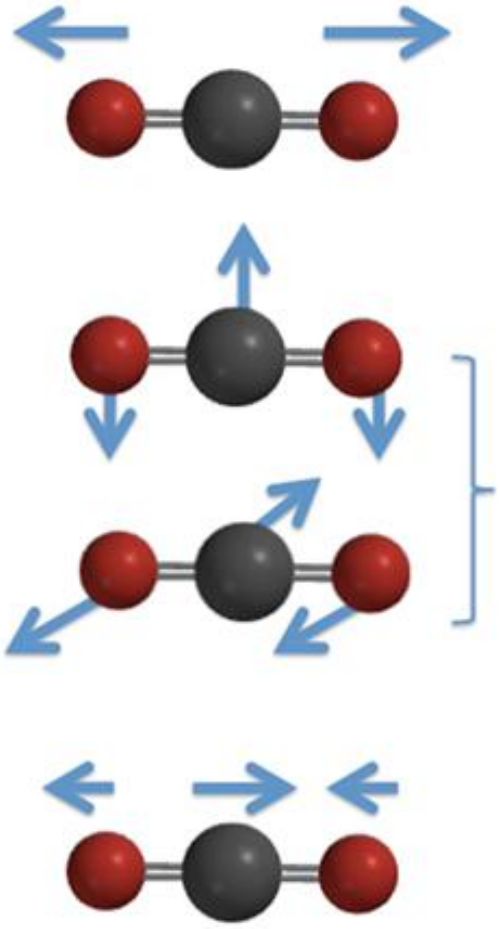


تتمتع الجزيئات الأكثر تعقيداً كجزيء ثنائي أكسيد الكربون CO_2 بأنماط اهتزاز إضافية كما هو مبين تخطيطياً في الشكل. يخضع كل من هذه الحركات لقواعد تكمية خاصة به، إذْ يفصل بين كل اثنين من المستويات الطاقية أقل 1eV ومِنْ ثَمَّ فهي تولد فوتونات تحت الأحمر بطول موجي يزيد على $1\mu m$

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

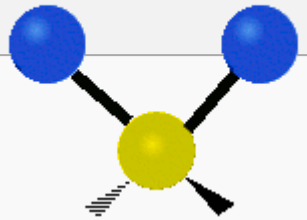
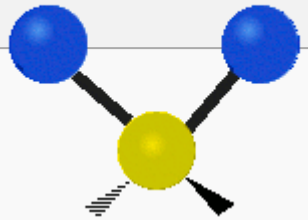
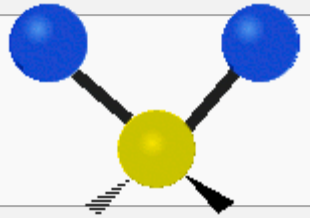
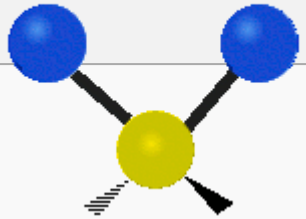
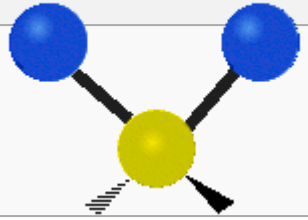
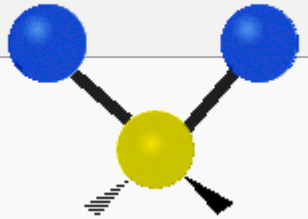


v_1 Symmetric C-O Stretch

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