

الفصل السابع

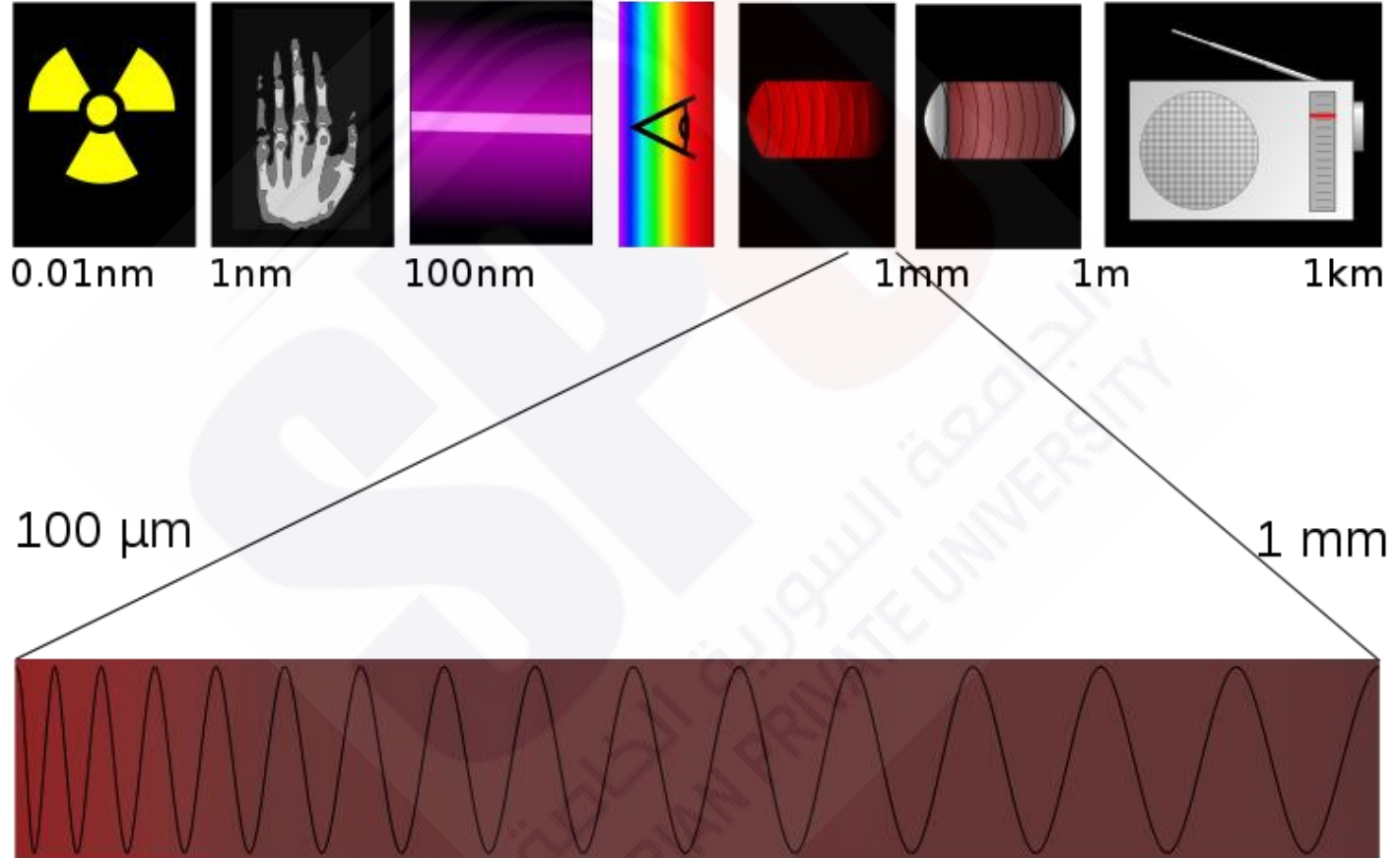
أمواج التيراهرتز أو أشعة التيراهرتز

Terahertz Radiation

أهمية التيرا هرتز

- الكشف عن النخور السنّية في مراحلها المبكرة (خلافًا للأشعة السينية)
- الكشف عن سرطان الجلد في مراحلها 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

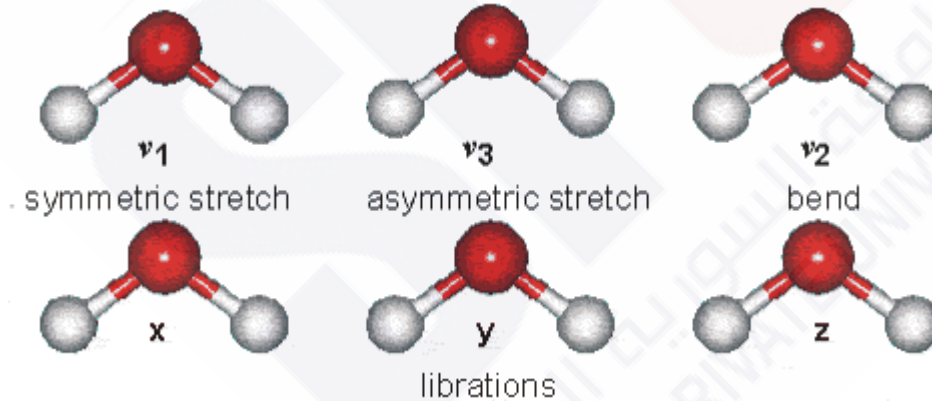


تقع أمواج التيراهرتز عند مجال تحت الأحمر البعيد، قبيل بدء الأمواج المكروية، تضم مجال التواتر الواقع بين 10THz و 300GHz في طيف الإشعاعات الكهرطيسية. وهو يغطي الأطوال الموجية من بضعة ملليمترات إلى بضعة

عشرات المليمترات

مصادر إشعاع التيراهرتز

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



- يعد ليزر الشلال الكمومي من أهم منابع التيراهرتز الاصطناعية

خصائص إشعاع التيراهرتز

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

خصائص أمواج التيراهرتز

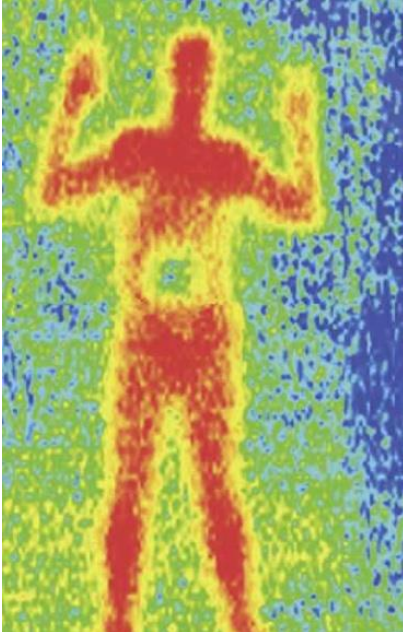
- أمواج التيراهرتز مأمونة عملياً، وغير هجومية وغير تحطيمية، وغنية بمعلومات معالجة فريدة، ويمكن تطبيقها في مجال واسع من العمليات.
- يقدر الطول الموجي لإشعاع كهربي تواتره 1THz في الخلاء بنحو 0.3mm.
- ومن ثم تكون المقدرة الفاصلة للصور التي نحصل عليها بهذه الأمواج من المرتبة نفسها.

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 والسيراميكية، 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 بالتيرا هرتز



التيراهرتز والبصمة الجزيئية

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

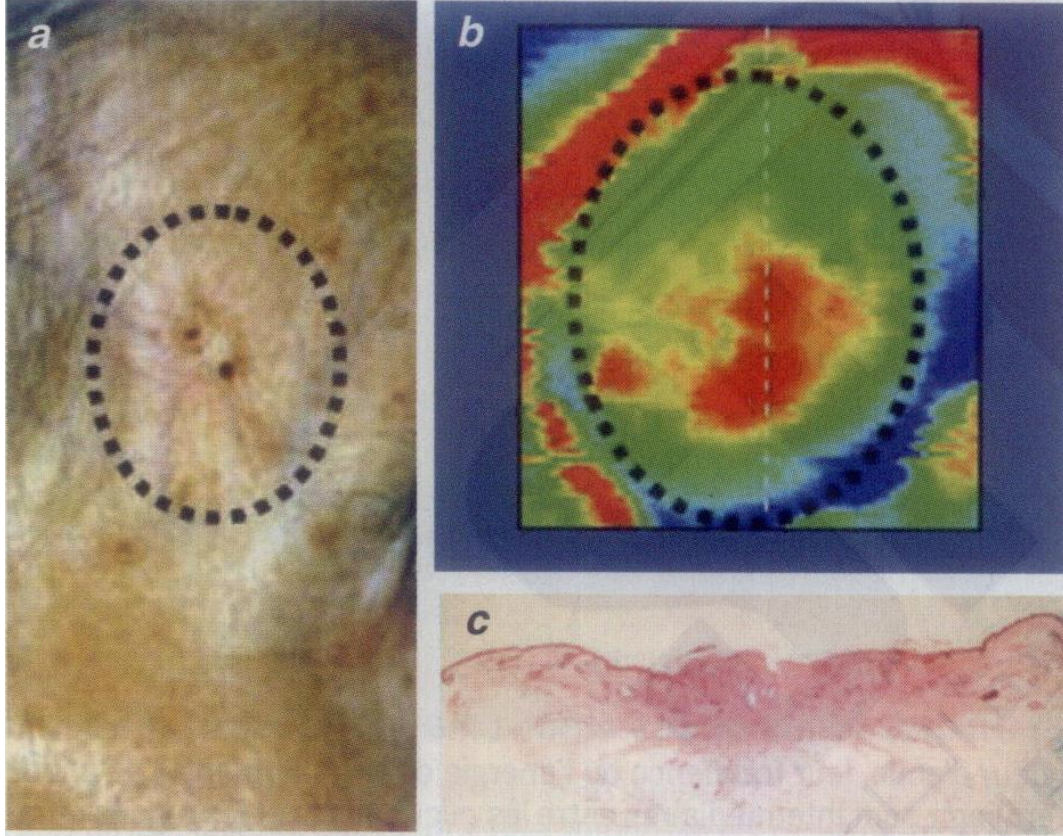
التيراهرتز والمطيافية

- 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

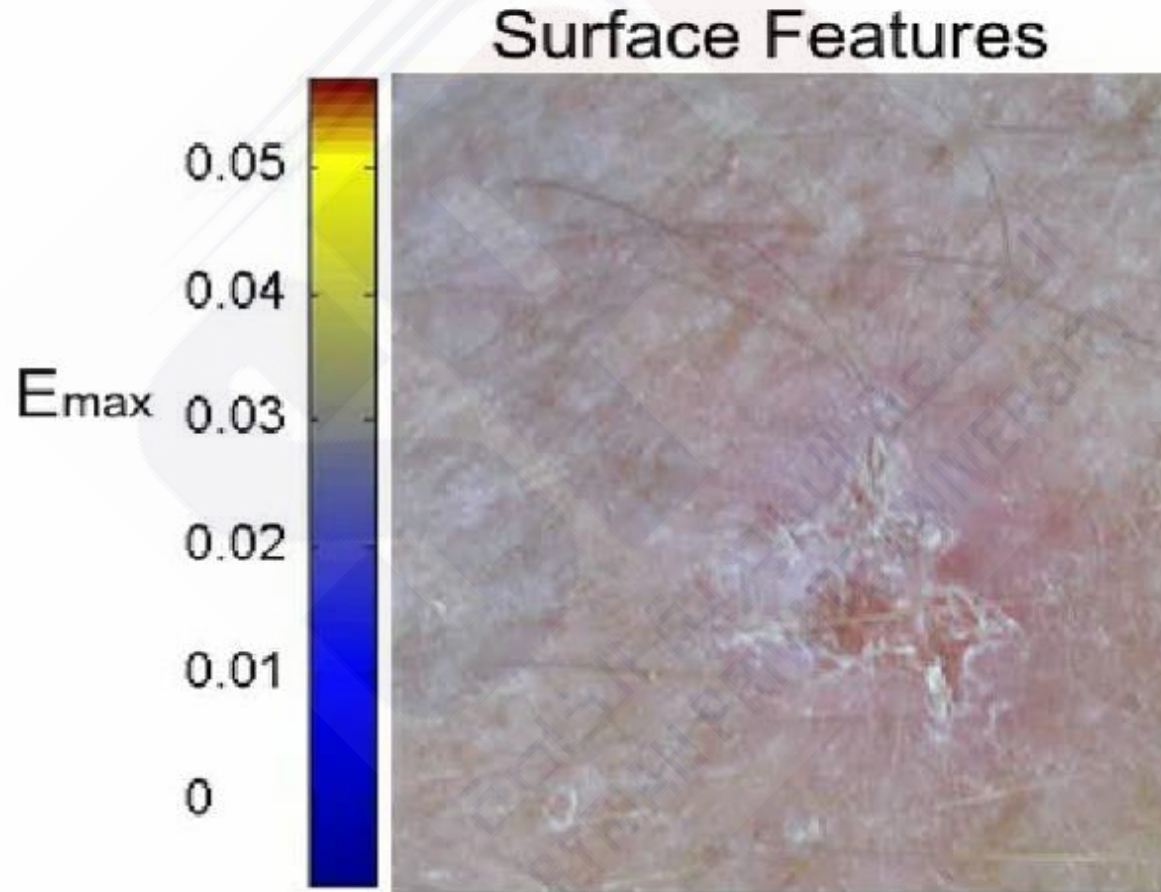
- يمكن لبعض تواترات التيراهرتز أن يخترق بضعة ملترات في النسيج المنخفض المحتوى المائي (كالنسيج الدهني مثلاً) ويرتدُّ عنه.
- يمكن لإشعاع التيراهرتز أيضاً أن يكشف الاختلافات في المحتوى المائي للنسيج وفي كثافته.
- يمكن لمثل هذه الطرائق أن تسمح بالكشف عن السرطان الظهاري بنجاح.

التيراهرتز والتصوير الطبي

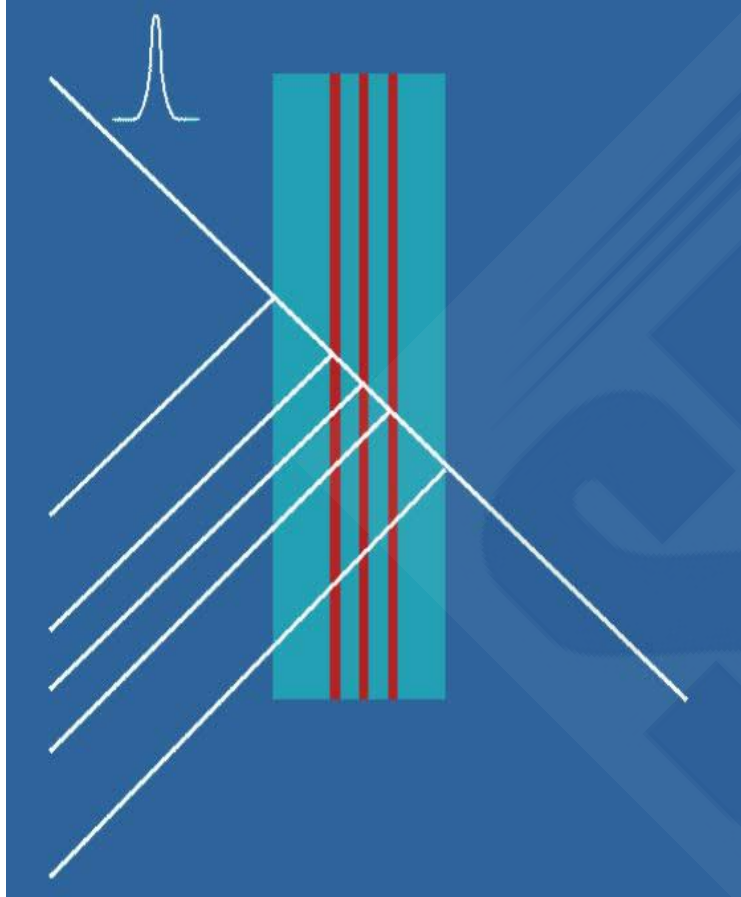


{a} ورم سرطاني في
صدغ مريض. تسمح صورة
التيراهرتز (b) بإظهار
المناطق المصابة على سطح
الجلد، يؤكد التشخيص
الفحص المجهرى لمقطع تم
الحصول عليه بالخزع

الكشف عن سرطان الجلد بالتيرا هرتز

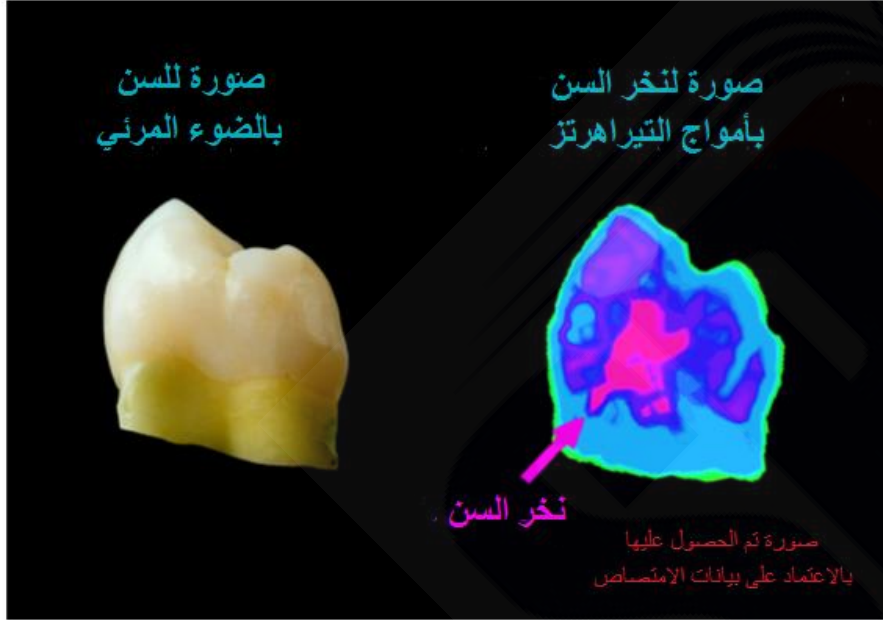


الكشف عن النخور السنية



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

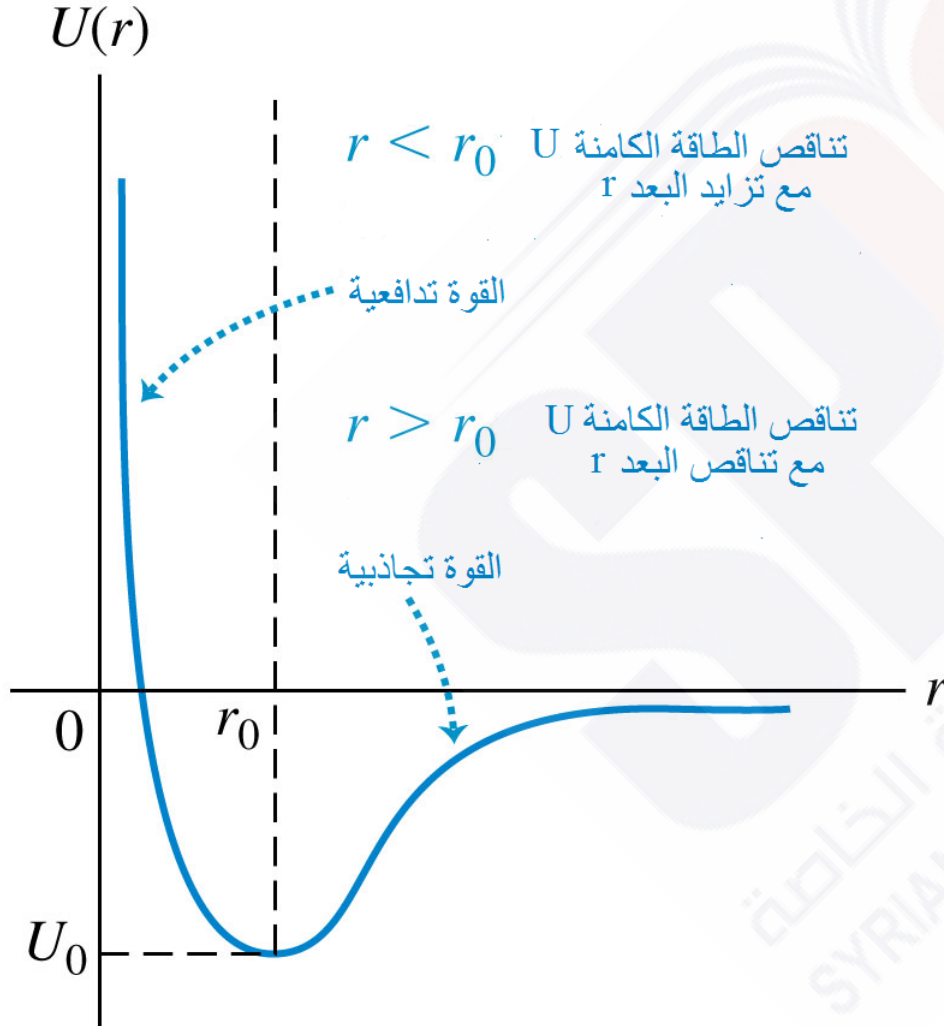


في الشكل صورة للسن تم الحصول عليها
بالاعتماد على زمن الطيران (الزمن الذي
تستغرقه الموجة من المنبع حتى الوصول
إلى السطح ثم الارتداد عنه حتى الوصول
إلى الكاشف).

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



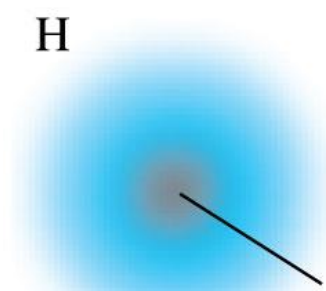
الرابطة الأيونية
(الرابطة بين ذرتين متأينتين
متعاكستين في الشحنة بدلالة
البعد بينهما)

$$U = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} = -6.0eV$$

الرابطة المشتركة

(a) ذرتا الهيدروجين منفصلتان

H



يكون الفاصل بين ذرات الهيدروجين الفردية عادة كبيرا ولا تتفاعل فيما بينها

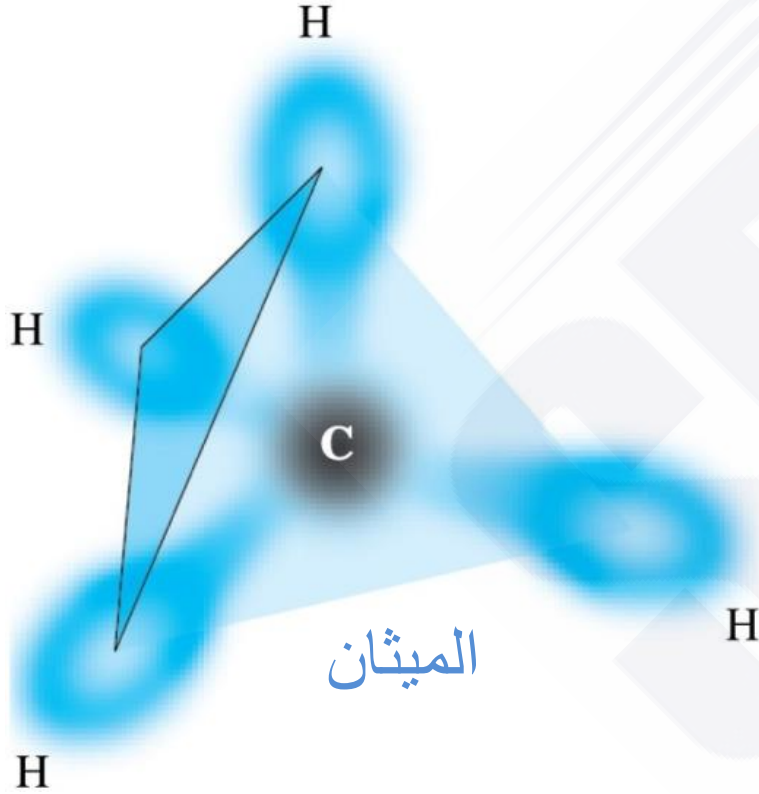
(b) جزيء H_2

H_2

الرابطة مشتركة: تتركز غمامتا الشحنتين الإلكترونية المتعاكستين في السبين في المنطقة بين النواتين



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.

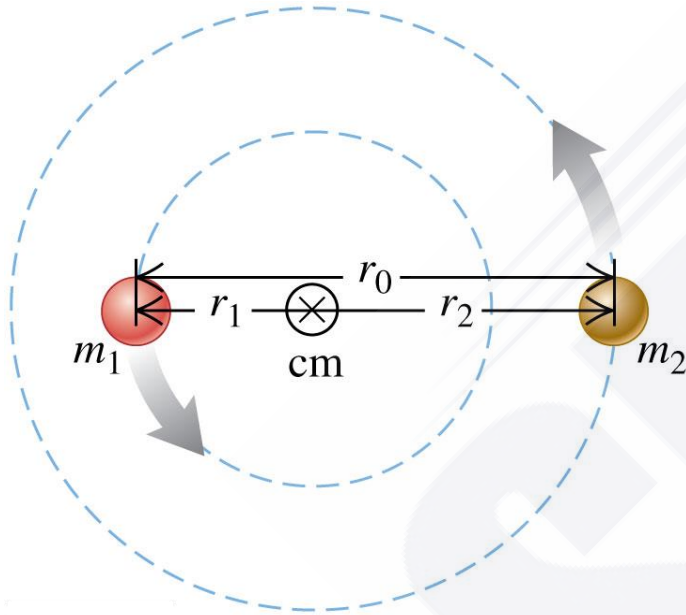
الحركات الجزيئية

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

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

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

مستويات الطاقة الدورانية



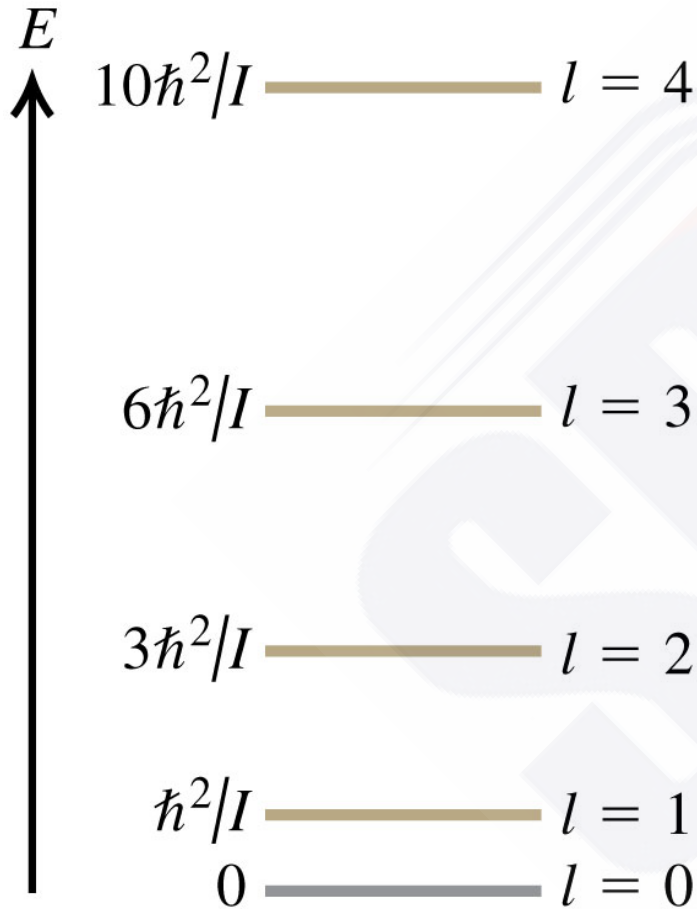
ثمة تشابه جميل مع الحركة
الدورانية التقليدية:

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

وفي حالة ذرة معزولة يكون:

$$\mu = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \quad \text{لأن} \quad U = 0 \quad K = E = \frac{L^2}{2I}$$

مستويات الطاقة الدورانية



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

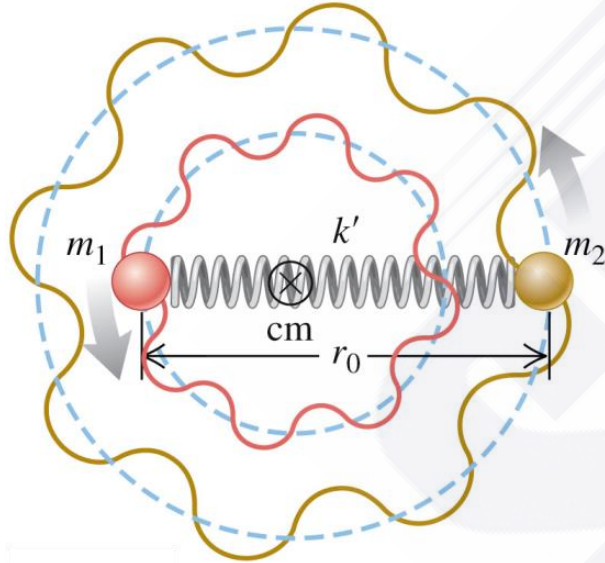
$$L = \sqrt{l(l+1)} \hbar$$

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

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

مستويات الطاقة الدورانية للجزيء
الثنائي الذرة

المستويات الطاقية الاهتزازية



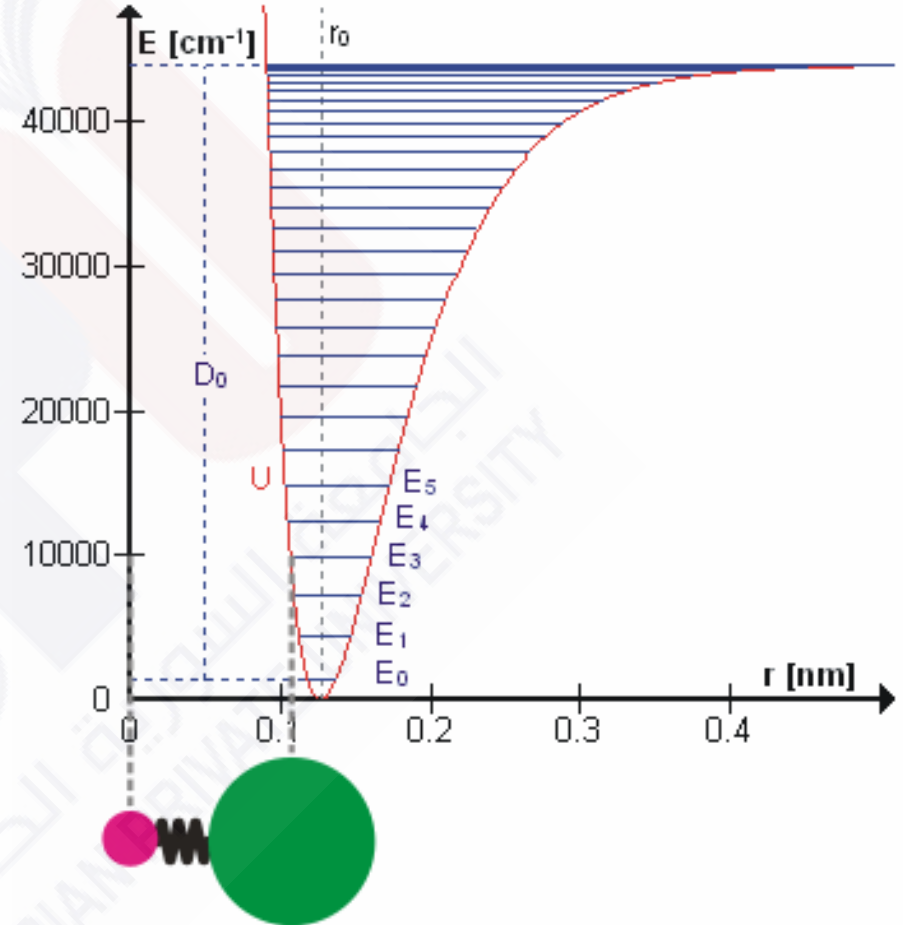
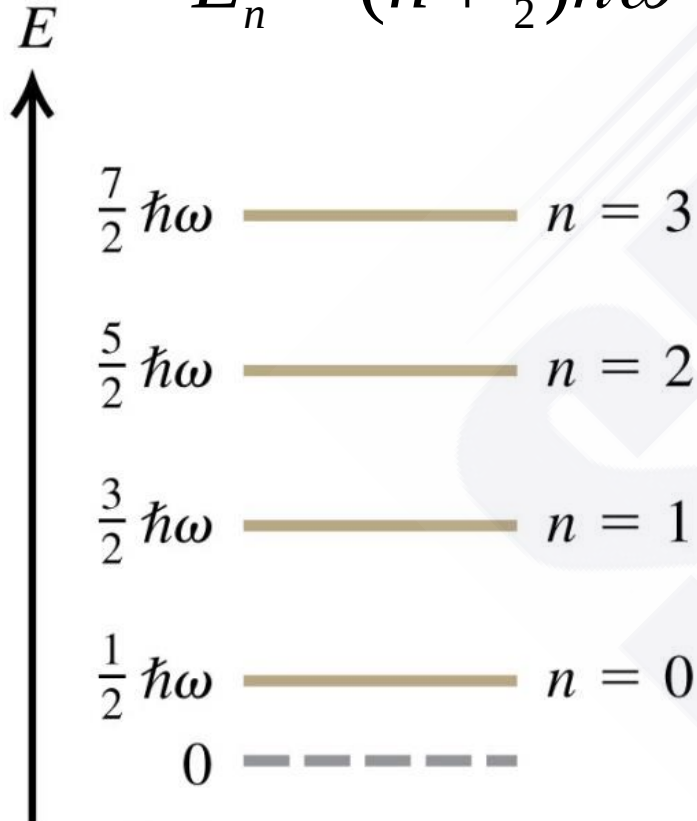
بالمثل يقوم الجزيء الثنائي الذرة بالاهتزاز، كما في المماثل التقليدي كتلتان على نابض. تهتز الذرتان حول مركز كتلتيهما، وهنا أيضاً الكتلة المعنية هي الكتلة المختزلة. ولهذه الجملة المستويات الطاقية نفسها لما يدعى الهزاز التوافقي. تعطى مستويات الطاقة بالعلاقة:

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

حيث k' ثابت النابض

المستويات الطاقية الاهتزازية

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



يبين الشكل بعض المستويات الطاقية الاهتزازية لجزيء ثنائي الذرة.

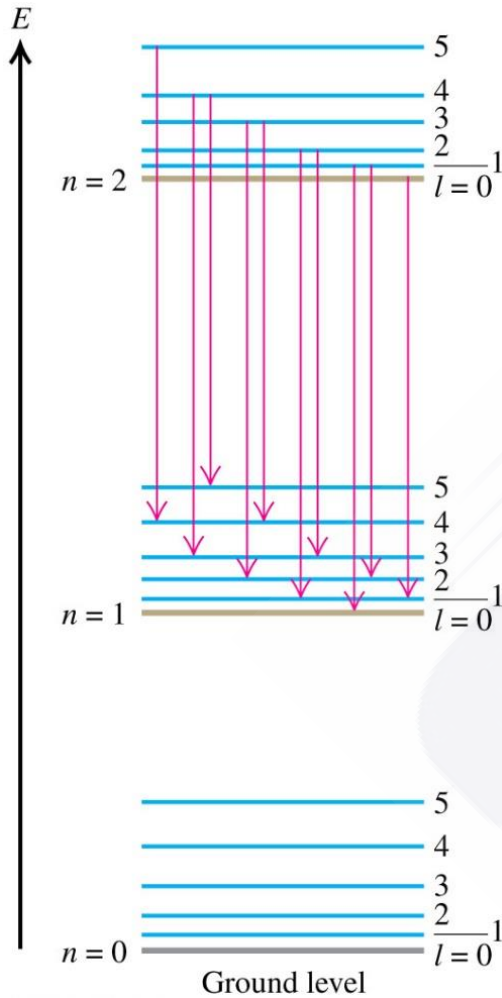
الحركات الاهتزازية لجزيء كلور الهيدروجين تزايد الطاقة الاهتزازية مع ارتفاع درجة الحرارة

المستويات الطاقةية الدورانية + الاهتزازية الجزيئية في جزيء ثنائي الذرة.

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

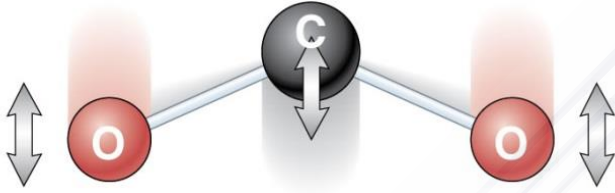
تتطلب قواعد الميكانيك الكمومي أن يكون $\Delta n = \pm 1$ و $\Delta l = \pm 1$ (الزائد لامتناسف فوون والناقص لإصدار فوون). تذل الأسهم في الشكل على الانتقالات المسموحة من المستويات $n = 2$.

الطيف العصافي الجزيئي النموذجي

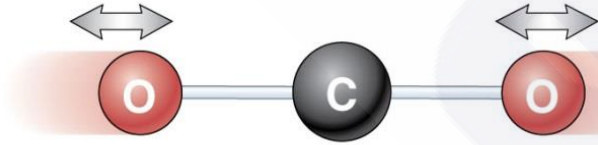


الجزئيات المعقدة Complex Molecules

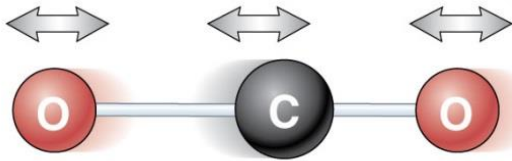
(a) نمط الانثناء



(b) نمط الشد المتناظر



(c) نمط الشد غير المتناظر



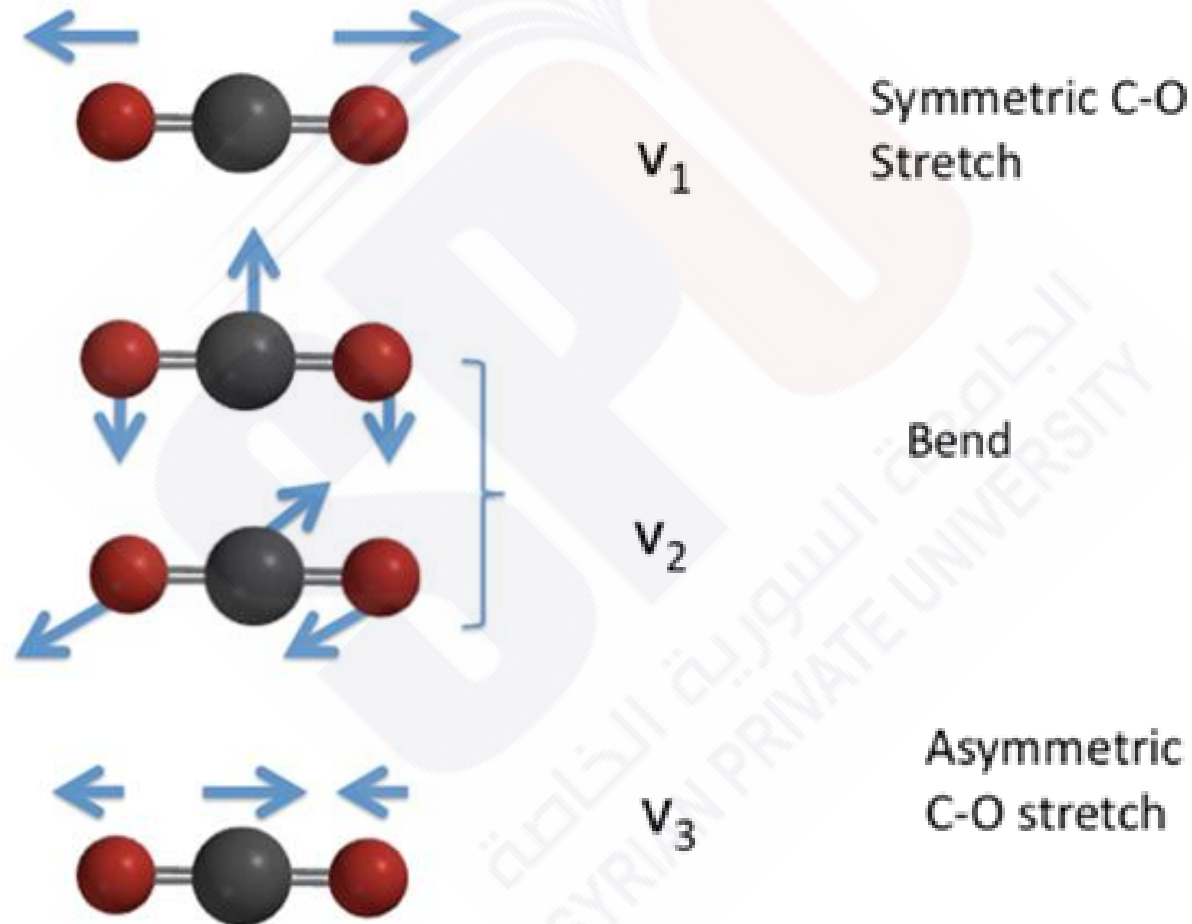
© 2012 Pearson Education, Inc.

تتمتع الجزئيات الأكثر تعقيداً كجزيء ثنائي أكسيد الكربون CO_2 بأنماط اهتزاز إضافية كما هو مبين تخطيطياً في الشكل. يخضع كل من هذه الحركات لقواعد كمية خاصة به، إذ يفصل بين كل اثنين من المستويات الطاقة أقل 1eV ومن ثم فهي تولد فوتونات تحت الأحمر بطول موجي يزيد على $1\mu\text{m}$

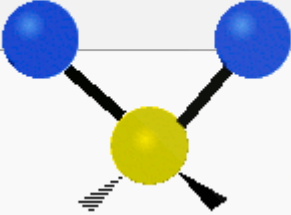
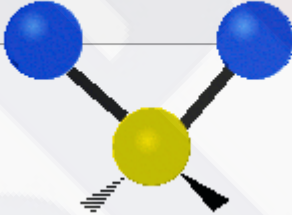
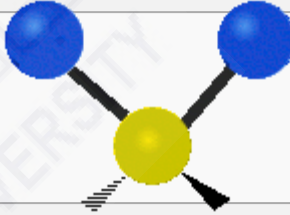
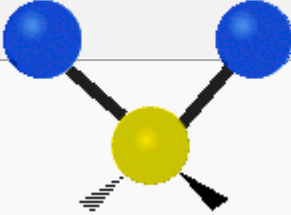
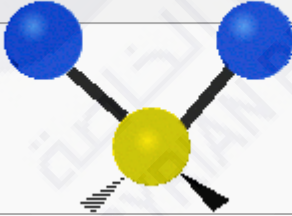
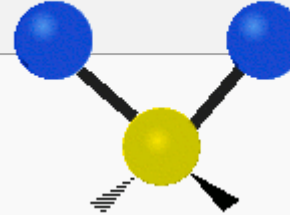
إن هذه الحقيقة تجعل من غاز CO_2 فعالاً جداً كغاز للبيوت الزجاجية، يمتص الحرارة من الأرض ويأسرها الغلاف الجوي.

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



أنواع الحركات الاهتزازية لجزيء الماء

Symmetrical stretching	Asymmetrical stretching	Scissoring (Bending)
		
Rocking	Wagging	Twisting
		

نمط اهتزاز N2O

