الفصل الأول

مبادئ الفيزياء الحديثة

Modern Physics Principles

د. سهام الطرابيشي

أهداف هذا الفصل

- دراسة المثنوية الموجية – الجسيمية للإشعاعات الكهرطيسية وأهم تطبيقاتها

- تطبيقات الطبيعة الموجية

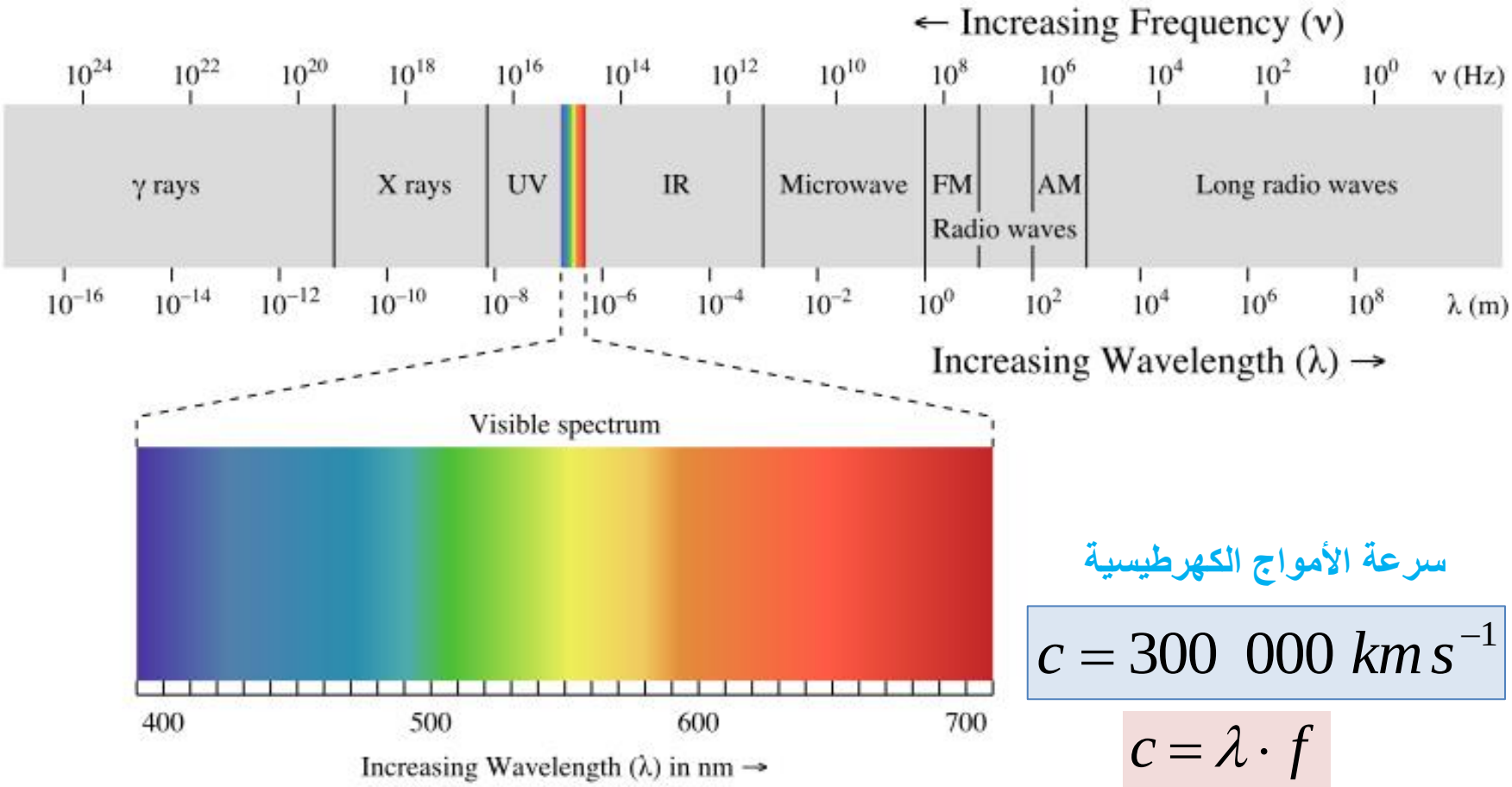
– تطبيقات الطبيعة الجسيمية وأهمها مفعول كومتون الذي يوظف للكشف عن هشاشة أو ترقق العظام عند كبار السن.

- دراسة المثنوية الجسيمية – الموجية للجسيمات المادية وأهم تطبيقاتها

– تطبيقات الطبيعة الجسيمية

– تطبيقات الطبيعة الموجية وأهمها المجاهر الإلكترونية التي أحدثت ثورة في البحث العلمي عموماً وفي العلوم الحيوية بشكل خاص.

طيف الإشعاعات الكهرطيسية



سرعة الأمواج الكهرطيسية

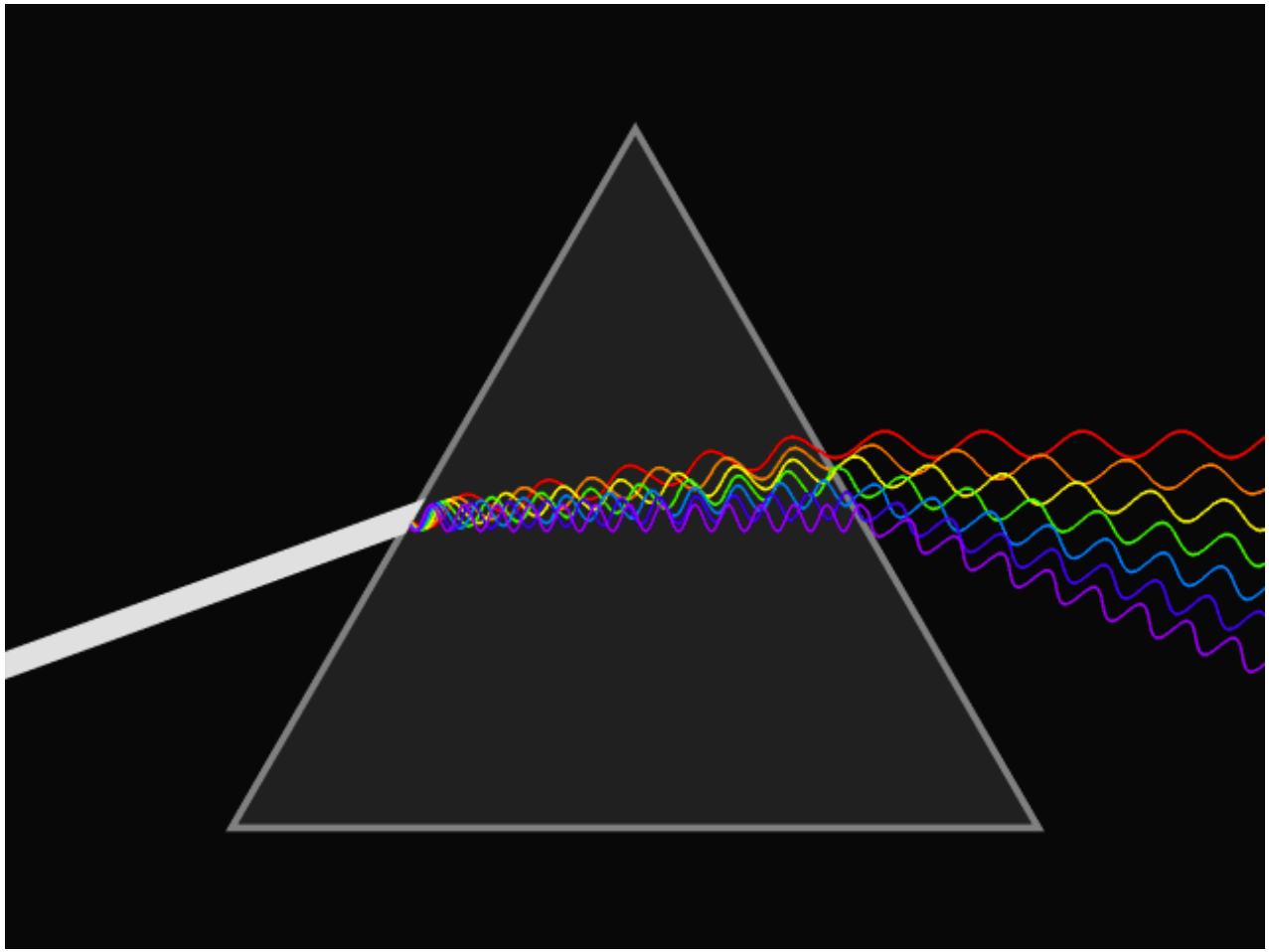
$$c = 300\ \ 000\ km\,s^{-1}$$

$$c = \lambda \cdot f$$

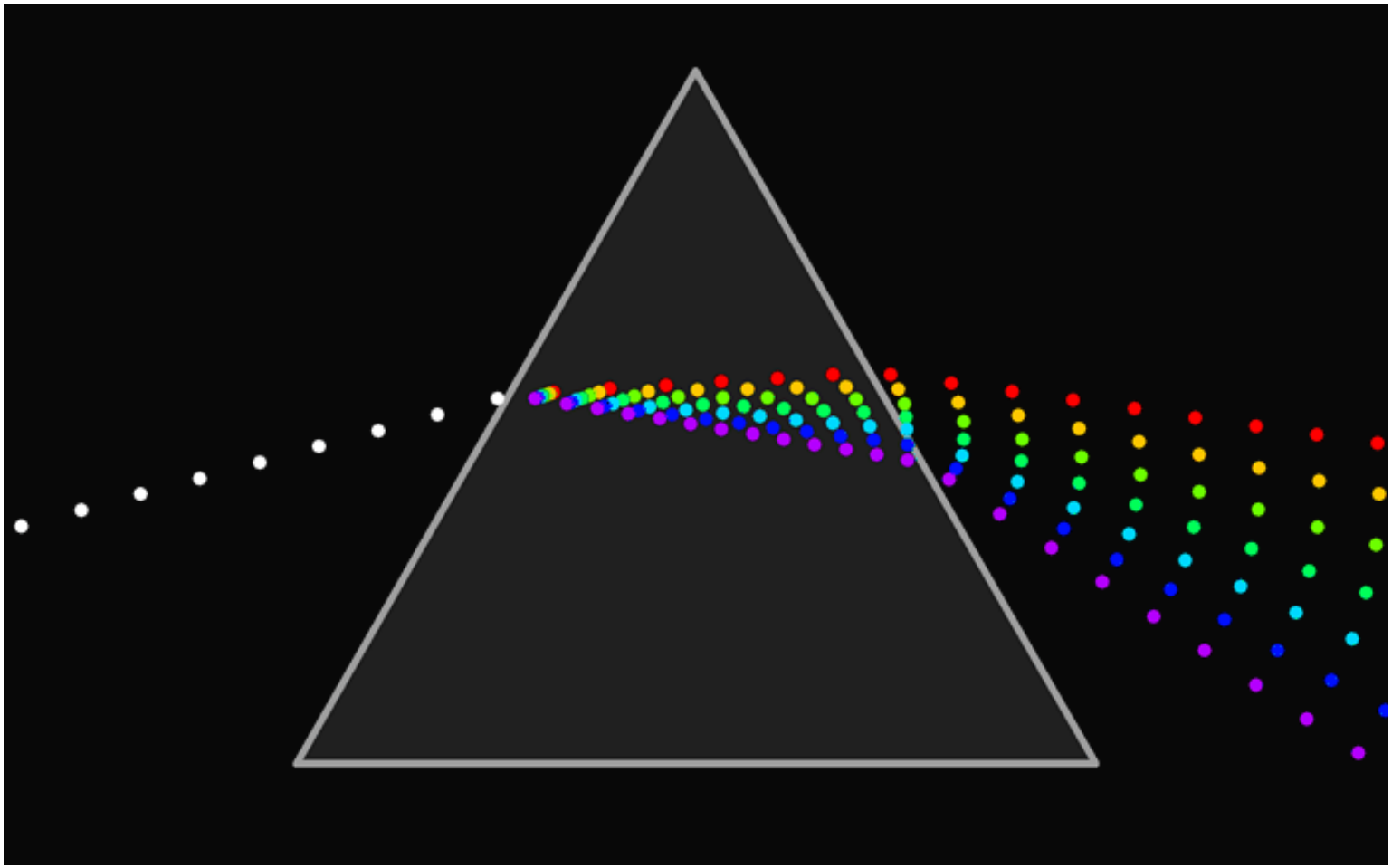
- يستحسن استعراض مجالات طيف الإشعاعات الكهرطيسية وتزايد تواترها بدءاً الأمواج الراديوية مروراً بكل من الأمواج المكروية والأشعة تحت الحمراء والمجال المرئي والأشعة فوق البنفسجية والأشعة السينية وأشعة غاما.
- كما يجب التأكيد على العلاقة العكسية بين التواتر والطول الموجي حيث يزداد الطول الموجي من أشعة غاما والأشعة السينية باتجاه الأمواج الراديوية.
- كما يستحسن ذكر أمواج أو أشعة التيراهرتز الواقعة بين الأمواج المكروية والأشعة تحت الحمراء وسبب عدم وجودها في الطيف تأخر الكشف عنها وهي تصدر عن الأحياء والجمادات على السواء.

- وأن هناك ميل لتسمية مجالات الأطوال الموجية القصيرة بدءاً من الأشعة تحت الحمراء وانتهاءاً بأشعة غاما "إشعاعات". كما إن هناك ميل لتسمية مجالات الأطوال الموجية الطويلة "الأمواج" مثل الأمواج المكروية والراديوية. أما بالنسبة للتيراهرتز الأقرب للأشعة تحت الحمراء فتدعى إشعاعات والأقرب إلى الأمواج المكروية فتدعى أمواج.
- نؤكد هنا على ثبات سرعة الإشعاعات الكهرطيسية وعلى العلاقة العكسية بين الطول الموجي والتواتر على النحو المبين في العلاقة الموجودة في السلايد

الطبيعة الموجية للإشعاعات الكهرطيسية



الطبيعة الجسيمية للإشعاعات الكهرطيسية



العلاقة بين الطبيعة الموجية للإشعاعات الكهرطيسية وطبيعتها الجسيمية

- حسب بلانك طاقة الإشعاعات الكهرطيسية مكماة أي تصدر وفق كميات صغيرة تدعى "كم quantum
- تربط بين طاقة الكم الواحد وتواتر الإشعاع الكهرطيسي العلاقة

$$E_{\min} = hf$$

- بالاعتماد على نظرية بلانك تمكن آينشتاين من تفسير المفعول الكهرضوئي. إذ يبدي الإشعاع الطبيعة الجسيمية باستخراجه إلكترون من الذرة، ويطلق على الكم الضوئي في هذه الحالة اسم الفوتون Photon.

- نشير هنا إلى طلابنا الأعزاء إلى أن المفهوم الكمومي سيمر معنا أيضاً :
- في الفصل الثاني (بنية الذرة وخصائصها) من خلال آلية توليد الإشعاعات الكهرطيسية
- وفي الفصل الثالث (علم الضوء) من خلال التعرف على الضوء الكمومي أو الفوتونيات

العلاقة بين الطبيعة الموجية للإشعاعات الكهرطيسية وطبيعتها الجسيمية

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

$$(1eV = 1.6\times10^{-19}\ Joul) \qquad (1A^{\circ} = 10^{-10}\ m)$$

$$E(eV) = \frac{hc}{\lambda 10^{+10}\ A^{\circ}.10^{-10}.1.6\times10^{-19}}$$

$$E(eV) = \frac{12400}{\lambda(A^{\circ})}$$

ومن ثم

- نشير هنا إلى أنه نظراً لصعوبة التعبير عن طاقة الفوتونات بوحدة الجول في مراكز العمل المهني فإنه يتم التعبير عنها بوحدة الإلكترون – فولت التي سيتم تعريفها لاحقاً في نهاية المحاضرة. وبذلك يتم التعبير عن طاقة الفوتونات بطريقة سهلة بدلالة الطول الموجي مقدراً بالأنغستروم وذلك بأن نضرب الثابتين hc ونقسم المقام ونضربه بـ 10 أس عشرة ثم نقسم على قيمة الإلكترون فولط

- ينصح الطالب هنا بإجراء تدريبات على حساب طاقات الفوتونات ذات الأطوال الموجية البسيطة كالأنغستروم مثلاً فتكون طاقة الفوتون المقابل 12400eV، أو النانومتر فتكون طاقة الفوتون المقابل 1240eV، أو 10nm فتكون طاقة الفوتون 124eV أو ميكرومتر واحد فتكون طاقة الفوتون 1.24eV أو 10 ميكرومتر فتكون طاقة الفوتون 0.124eV وهكذا.

الطبيعة الجسيمية للإشعاعات الكهرطيسية

- طاقة الفوتون $E = hf = hc/\lambda$
- اندفاع الفوتون $p = E/c$

$$p = hf/c = h/\lambda \rightarrow p = h/\lambda$$

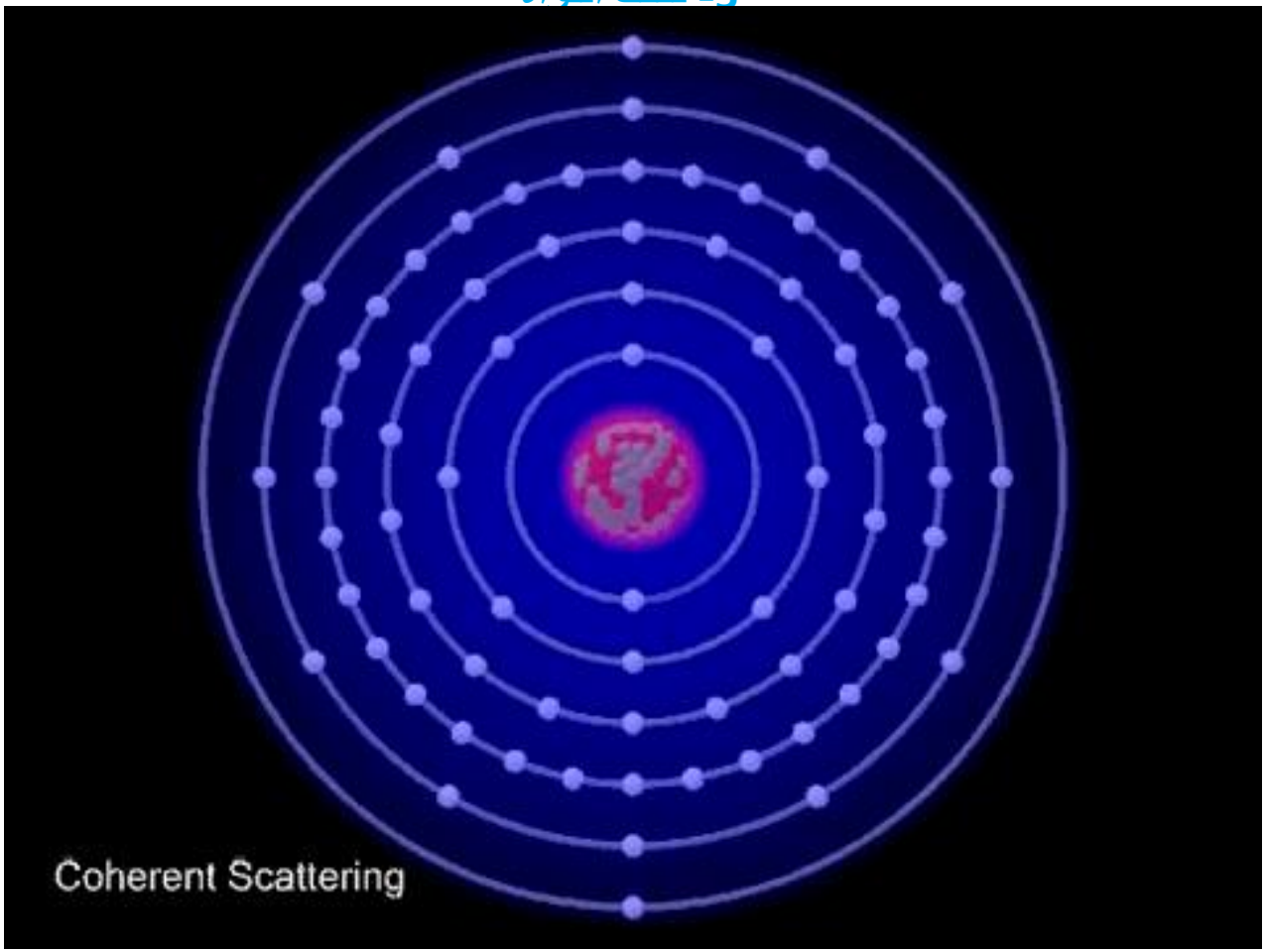
- الاندفاع وفق النظرية التقليدية $p = mc$
- بالمساواة بين علاقتى الاندفاع التقليدية والفوتونية نجد كتلة الفوتون $m = h/\lambda c$

- تجدر الإشارة إلى أن كلاً من المفعول الكهرضوئي ومفعول كومتون أكد النظرية الجسيمية للإشعاع أي النظرية الفوتونية، وينظر إلى الفوتون في عمليتي التصادم على أنه جسيم وبناء على ذلك يعطى كل من طاقته واندفاعه بالعلاقتين أعلاه.
- نذكر طلابنا الأعزاء بأن الاندفاع (اندفاع الفوتون) هي الكمية التي كانوا يطلقون عليها تسمية كمية الحركة في المرحلة الثانوية (حاصل ضرب كتلة الجسم بالسرعة)

- نلفت انتباه طلابنا الأعزاء إلى أننا سنحصل على علاقة مماثلة لـ $m=h/\lambda c$ لدى دراسة الطبيعة الموجية للجسيمات المادية ولو أن الطول الموجي والكتلة سيتبادلان المواقع
- تجدر الإشارة إلى أن الكتلة الناتجة أخيراً هي الكتلة التي يبدو أن الفوتون يحملها في أثناء تصادمه بالإلكترونات وهي ليست كتلة حقيقية وبقدر ما يكون الطول الموجي أقصر تكون كتلة الفوتون أعلى ويمكنه أن يقتلع إلكترونات أعمق في الغمامة الإلكترونية.

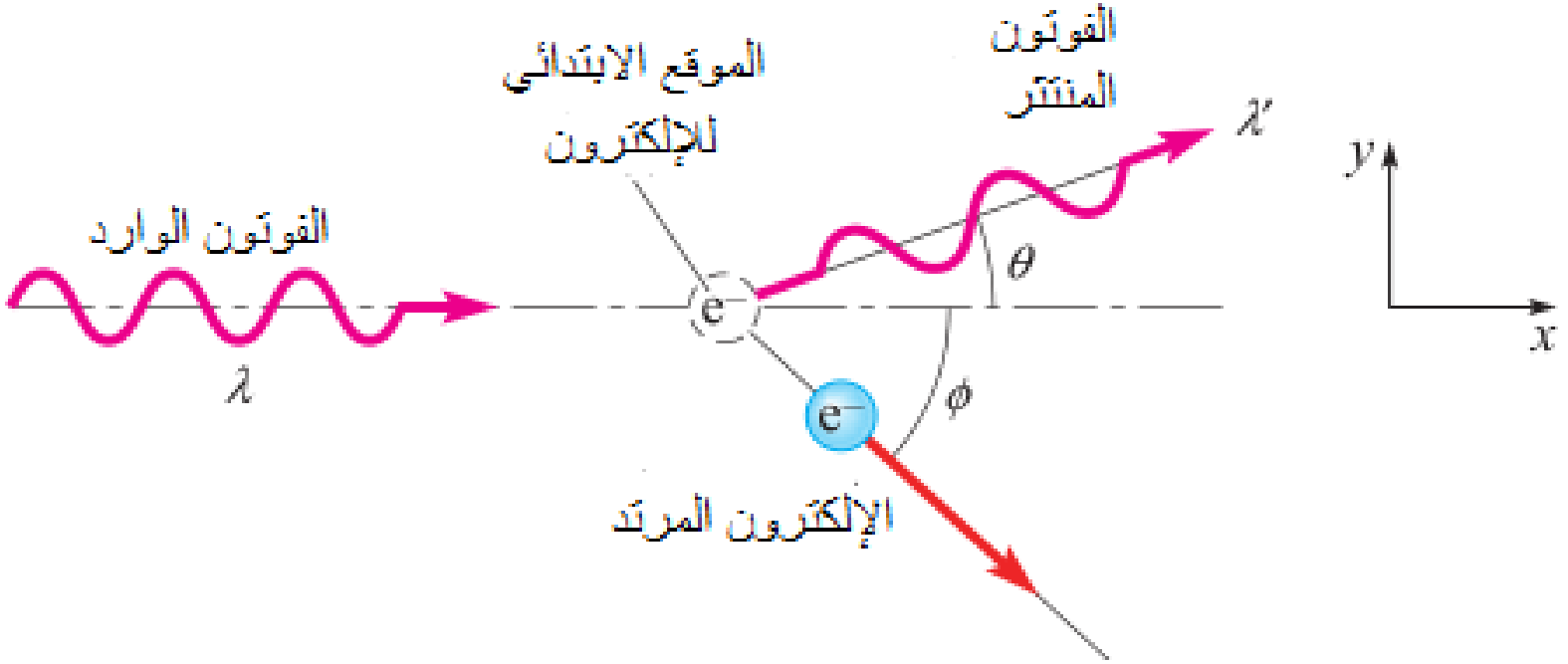
مفعول كومتون من تطبيقات الطبيعة الجسيمية للإشعاعات الكهرطيسية

متابعة المفعولات المختلفة: 1- الانتثار المرن 2- مفعول كومتون 3- المفعول الفوتوكهربائي 4- توليد الأزواج - 5- تفكك النواة



مفعول كومتون من تطبيقات الطبيعة الجسيمية للإشعاعات الكهرطيسية

ينجم مفعول كومتون عن انتثار الأشعة السينية، الأمر الذي يدل على الطبيعة الجسيمية للإشعاع



انتثار كومتون Compton Scattering

- تجدر الإشارة إلى أن مفعول كومتون يحدث في مجال الأشعة السينية المتوسطة الطاقة كما سنرى لدى دراسة الأشعة السينية في الفصل الخامس
- يمكن تلخيص آلية انتثار كومتون بأنه عندما يسقط فوتون على أحد إلكترونات ذرة ثقيلة كذرة الكالسيوم مثلاً، كما في الشكل أعلاه، فإنه ينتثر وقد فقد جزءاً من طاقته لإخراج الإلكترون.

- تكون طاقة الفوتون المنتثر أخفض وتواتره أخفض وطوله الموجي أطول.
- تحدد قوانين انحفاظ كل من الاندفاع والطاقة (التي لن ندرسها) في عملية الانتثار اتجاه كل من الفوتون المنتثر والإلكترون المرتد.
- يتم الكشف عن هشاشة العظام لدى مسح عظام الفرد بالأشعة السينية من خلال تغير شدة الانتثار من نقطة إلى أخرى .

علاقة انتثار أو مفعول كومتون

باستخدام علاقة اندفاع الفوتون $p = h/\lambda$ وتطبيق قانوني انحفاظ الاندفاع والطاقة على التصادم في الشكل، اشتق كومتون المعادلة التالية لطول موجة الفوتونات المنتثرة:

$$\lambda' = \lambda + \frac{h}{m_0 c}(1 - \cos\theta)$$

حيث h/m_0c طول موجة كومتون

- **مثال على مفعول كومتون:**

؟(c) 180° و(b) 90° و (a) 0°

$$\lambda = 0.140nm$$

$$\lambda' = \lambda + \frac{h}{m_0 c}(1-\cos\theta)$$

$$\lambda' = \lambda = 0.140nm$$

$$\lambda' = \lambda + \frac{h}{m_0 c} = 0.140\,nm + \frac{6.6\times10^{-34}\,J\cdot s}{9.11\times10^{-31}kg\times3\times10^{8}\,m/s}$$

$$= 0.140\,nm + 2.4\times10^{-12}\,m = 0.142\,nm$$

$$\lambda' = \lambda + 2\frac{h}{m_0 c} = 0.140nm + 2(0.0024nm) = 0.145nm$$

- المطلوب في هذا المثال حساب الطول الموجي للفوتون المنتشر في الحالات الخاصة الثلاث: الانتشار المرن حيث يحافظ الفوتون على منحى انتشاره، والحالة التي ينتشر فيها عمودياُ على منحاه الأصلي والثالثة حين يرتد إلى الخلف.
- فنجد أن الفوتون يحافظ على طوله الموجي في الحالة الأولى، ويزداد طوله الموجي بمقدار طول موجة كومتون في الحالة الثانية، ويزداد بمقدار ضعف طول موجة كومتون في الحالة الثالثة.

- ينصح الطالب بمناقشة تغير الطول الموجي في الحالة التي تكون فيها زاوية الانتشار بين 0 و 90 درجة (الإجابة: تكون الزيادة في الطول الموجي بين الصفر وطول موجة كومتون) والحالة التي تكون فيها زاوية الانتشار بين 90 درجة و180درجة (الإجابة: تكون أن مقدار الزيادة في الطول الموجي يقع بين طول موجة كومتون وضعف طول موجة كومتون)

الطابع المثنوي الموجي الجسيمي للجسيمات المادية

- اقترح دوبروي الفيزيائي الفرنسي أن للمادة أيضاً طبيعة موجية بالإضافة إلى طبيعتها الجسيمية.
- اندفاع الطبيعة الموجية $p = h / \lambda$
- بالمبادلة بين موقعي الطول الموجي والاندفاع

$$\lambda = h / p = h / mv$$

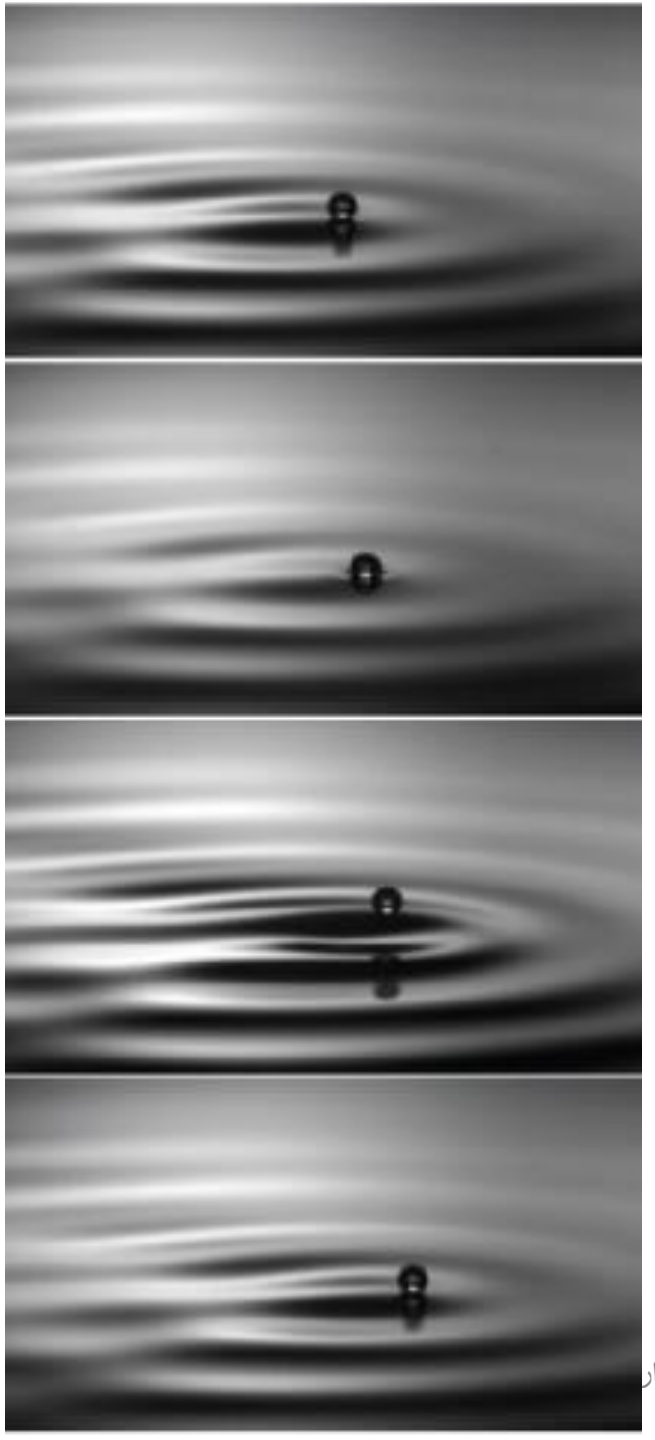
- وقد وجد تجريبياً أن الطول الموجي للإلكترونات التي تتحرك بالسرعة $5.9 \times 10^6 m/s$ من مرتبة $1A^o = 10^{-10} m$

وهو من مرتبة البعد بين الذرات في بلورة معينة

- نذكر طلابنا الأعزاء هنا بالتشابه بين علاقة الطول الموجي الذي يرافق حركة الإلكترون المسرع من جهة وعلاقة الكتلة التي يبدو أن الشعاع يحملها لدى تفاعله مع المادة.
- كما نلفت انتباههم إلى أن الطول الموجي الذي يرافق الإلكترونات المسرعة يكون أقصر بقدر ما تكون سرعتها أكبر، وإلى أهمية قصر الطول الموجي لهذه الأمواج في رفع المقدرة الفاصلة للعينات الحيوية المراد تصويرها.

مقارنة بين انعراج الإلكترونات والأشعة السينية والضوء

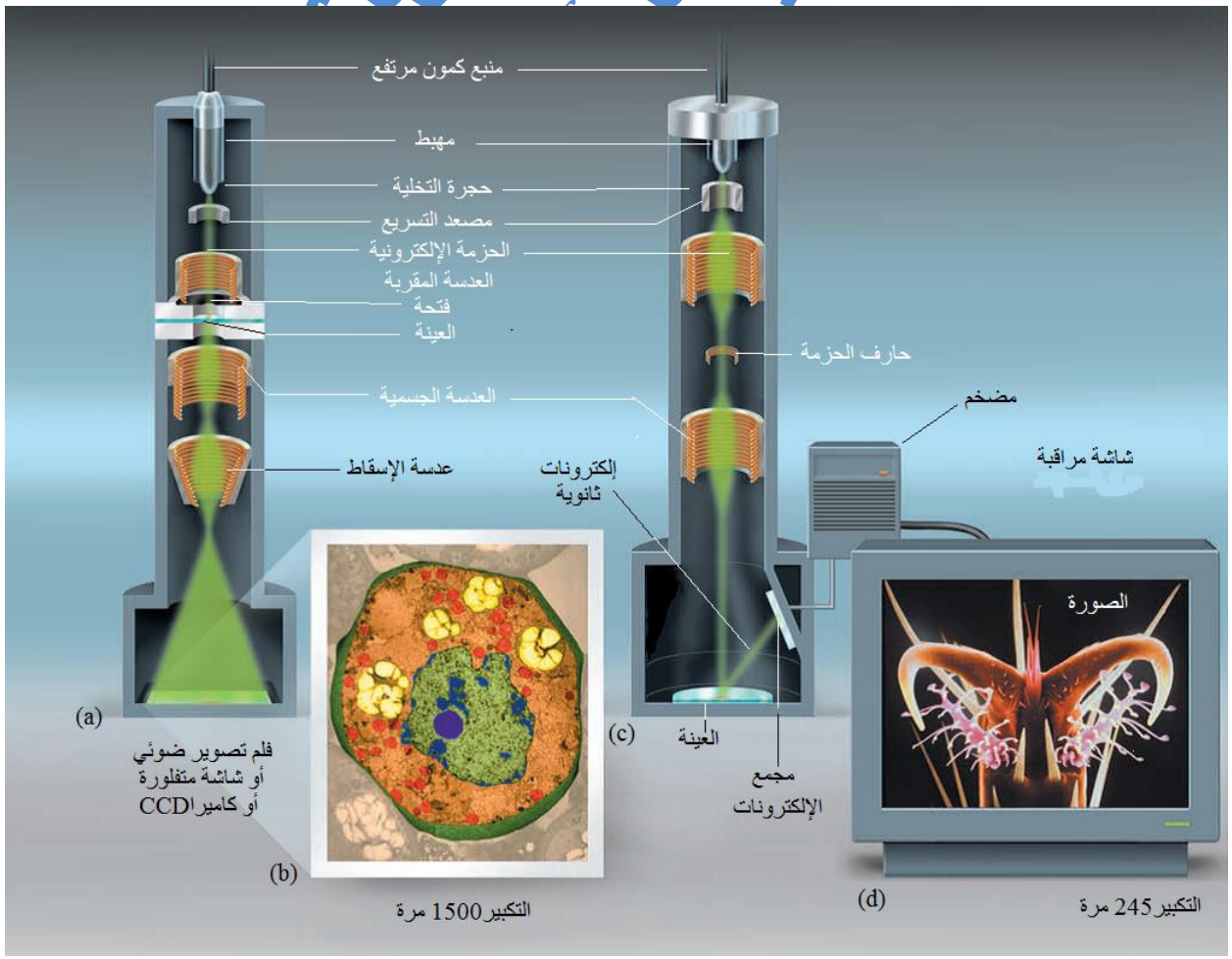
- يمكن أن تنعرج الإلكترونات المسرعة من خلال بلورة معينة (أو عينة نسيجية)
- تسري عليها قوانين الانعراج التي تسري على انعراج الاشعة السينية في بلورة معينة (الفصل الخامس)
- تسري عليها قوانين انعراج الضوء من خلال شبكة الانعراج (الفصل الثالث)
- المقدرة الفاصلة هي أصغر جزء يمكن تمييزه في الصورة ويتعلق بالطول الموجي.



الشكل الجهري للمثنوية الموجية الجسيمية

الشكل الجهري للمثنوية الموجية الجسيمية

المجاهر الإلكترونية



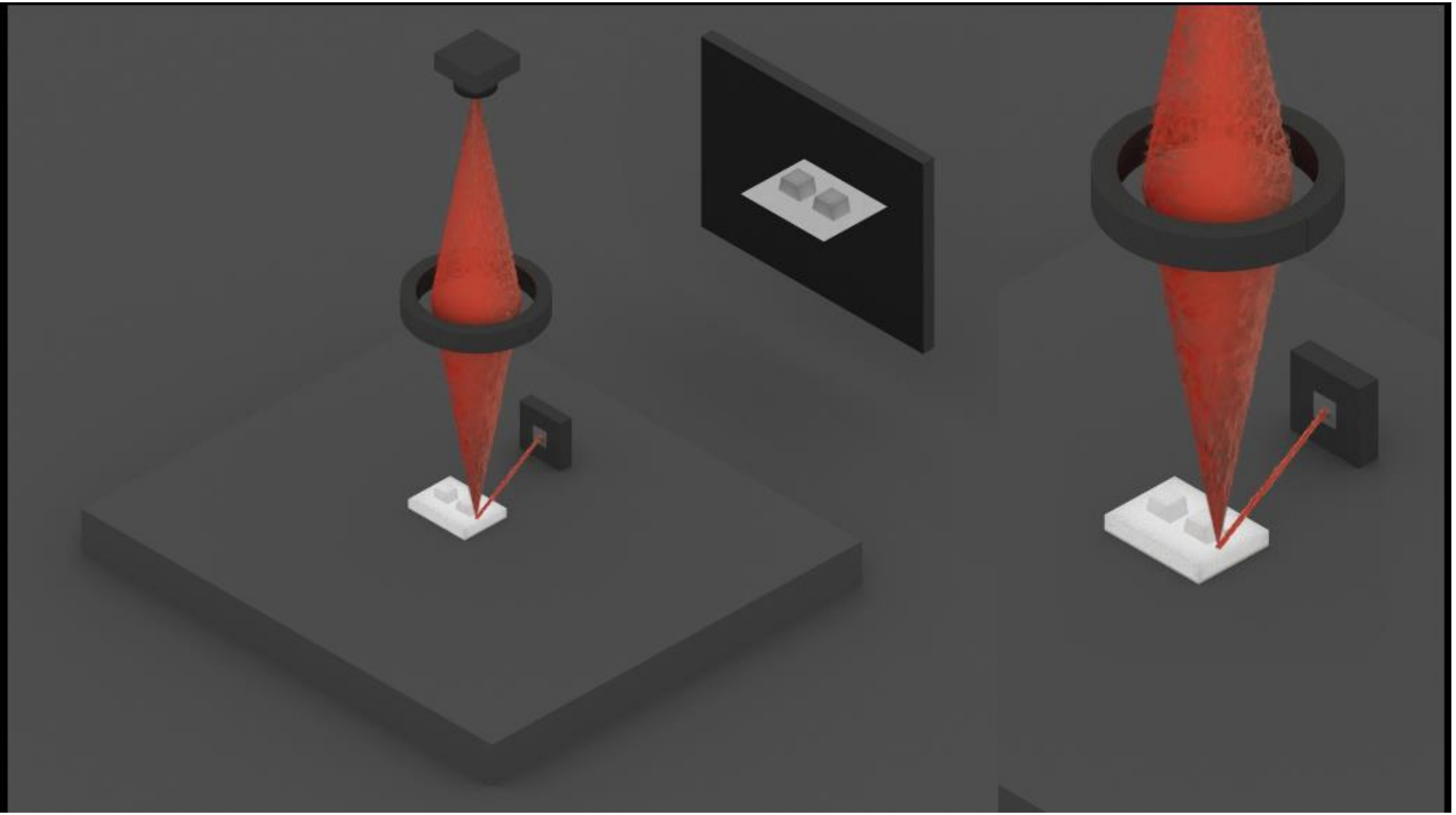
نوعا المجهر الإلكتروني.

إلى اليسار صورة تمثيل للمجهر الإلكتروني بالنفوذ TEM Transmission Electron Microscope،

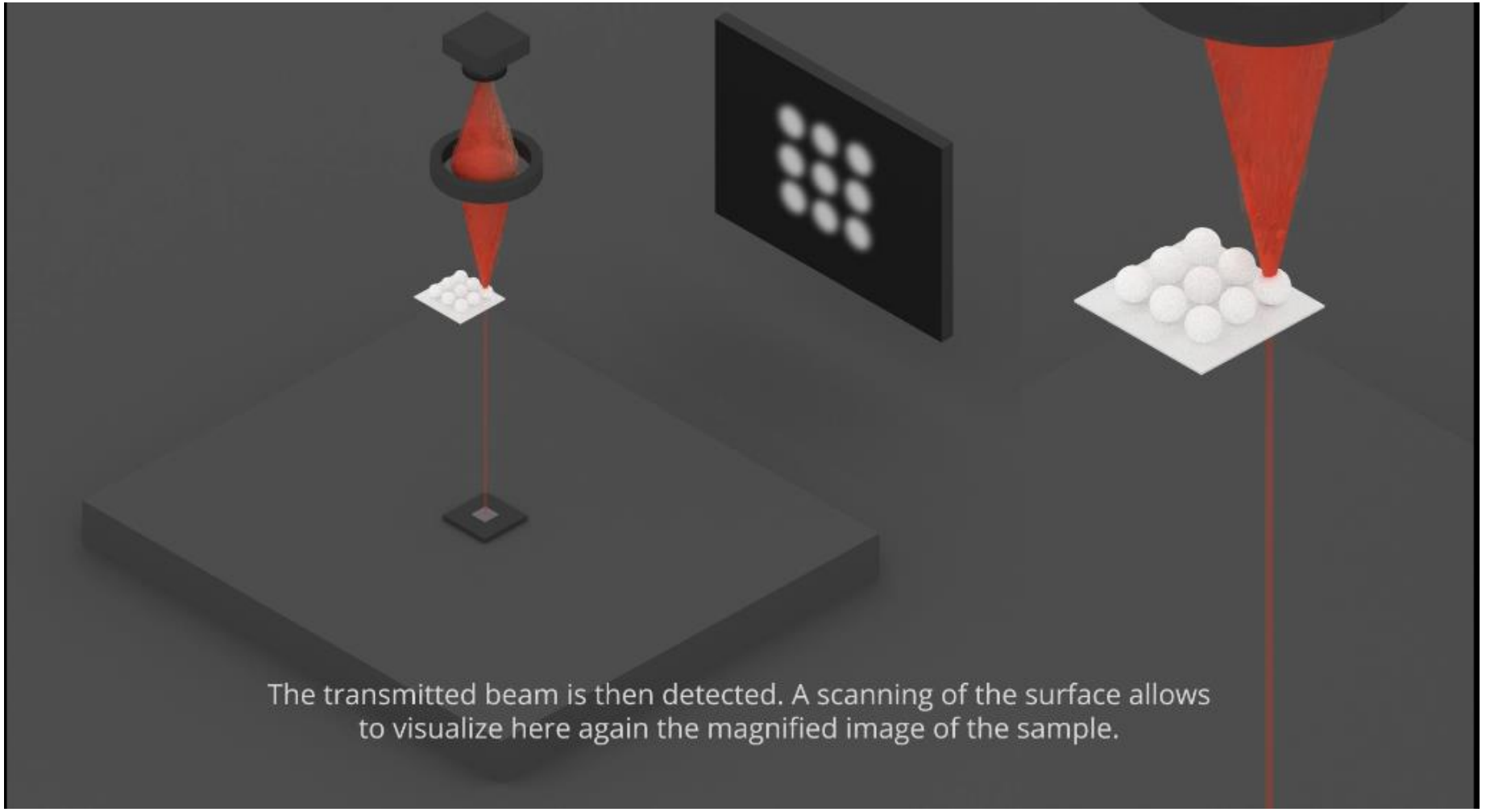
وإلى اليمين تمثيل للمجهر الماسح الإلكترونيSEM Scanning Electron Microscope

- نلفت انتباه طلابنا الأعزاء إلى الفرق بين نوعي المجهر : إلى اليسار المجهر الإلكتروني بالنفوذ TEM Transmission Electron Microscopeوإلى اليمين المجهر الماسح الإلكتروني SEM Scanning Electron Microscope، و إلى العناصر الرئيسية في المجهر مثل المهبط (منبع الإلكترونات) والمصعد وحزمة الإلكترونات والعدسات المغنطيسية (وهي ملفات كهربائية تصدر حقلاً مغنطيسياً يمكن التحكم باتجاهه لتقريب الإلكترونات وحرفها ...
- ثم عن موقع العينة في كل منهما والكاشف في كل منهما

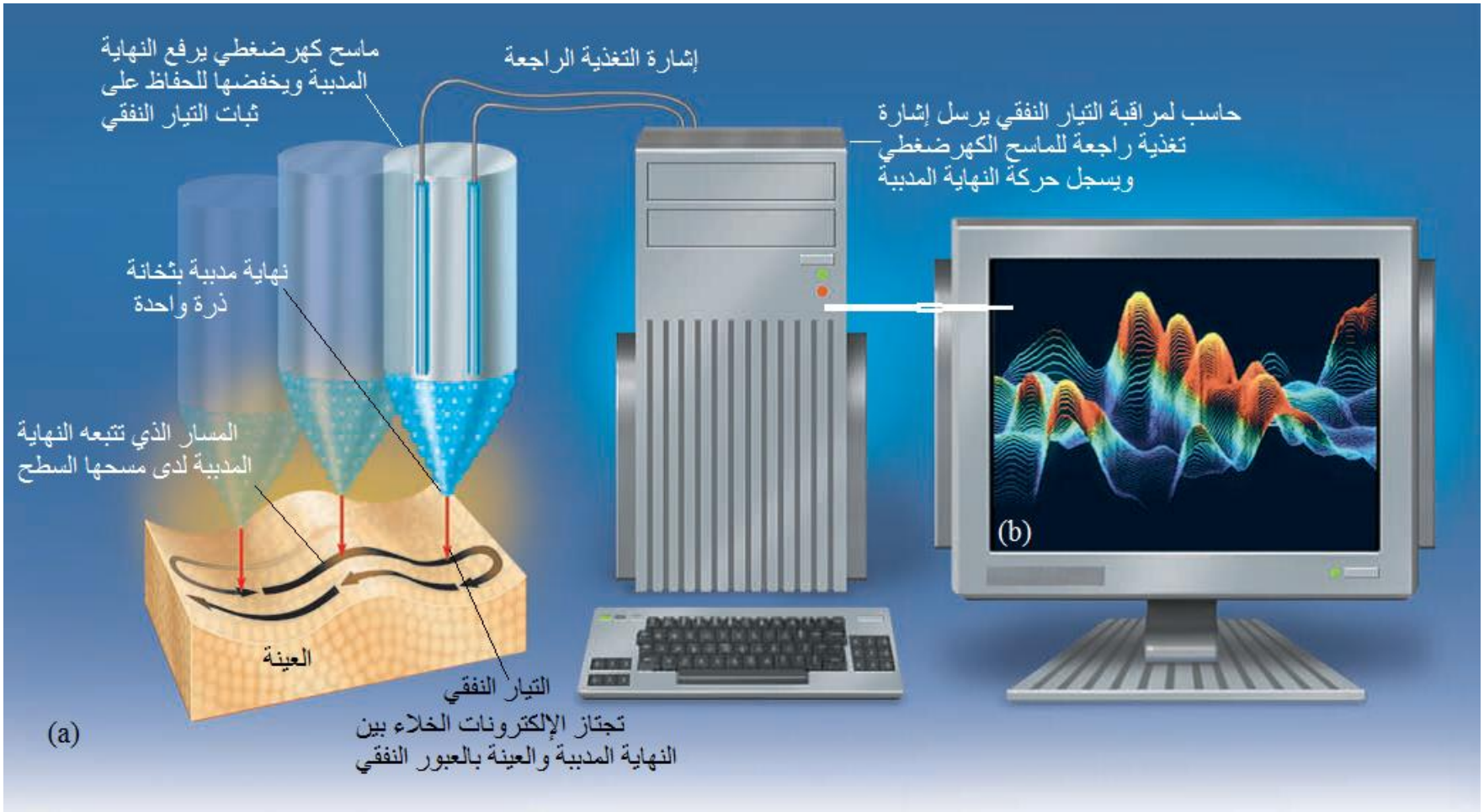
آلية عمل المجهر الماسح الإلكتروني



المجهر الإلكتروني الماسح بالنفوذ



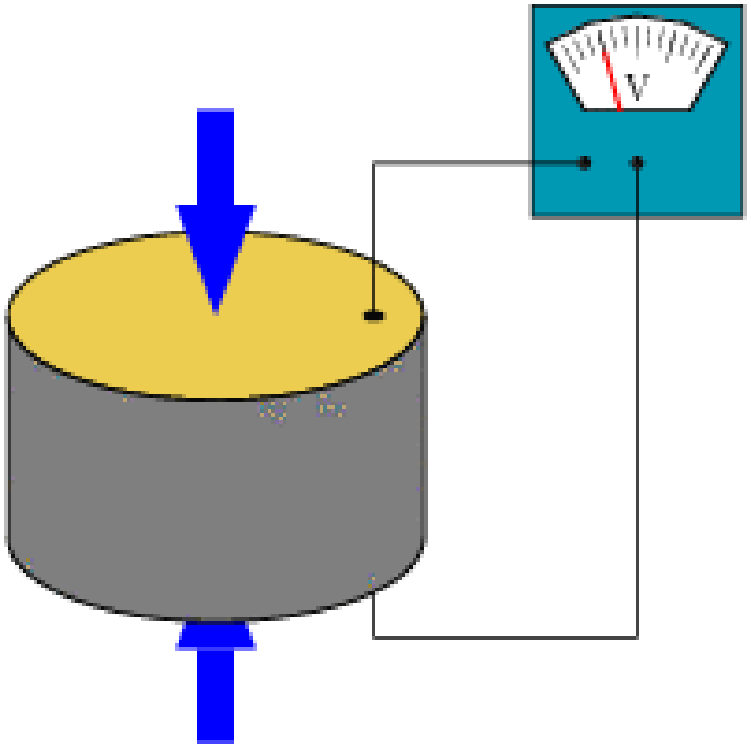
مجهر المفعول النفقي الماسح



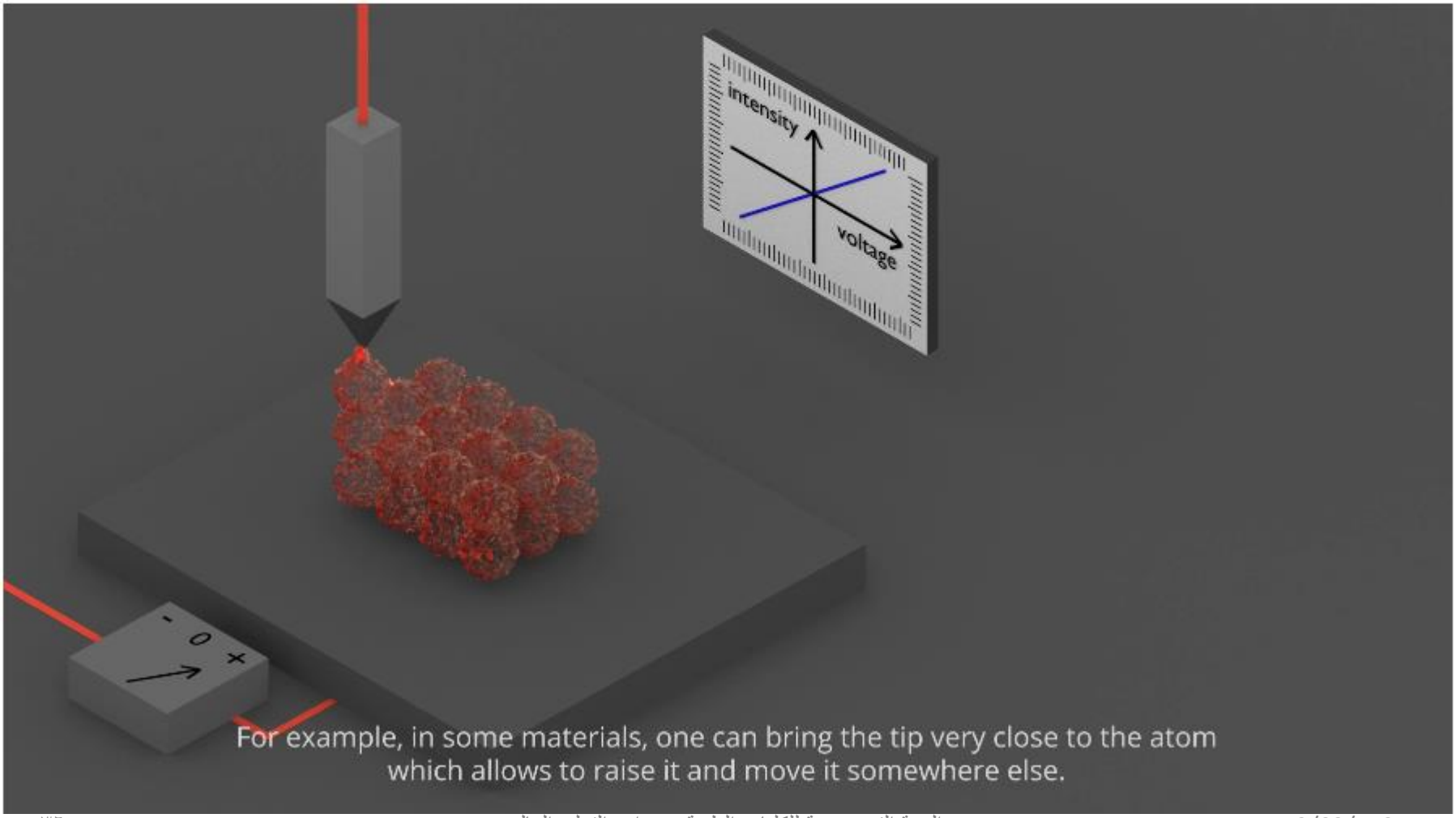
(a) شكل تخطيطي لمجهر المفعول النفقي الماسح STM.(b) صورة مكروية بالمفعول النفقي لمقطع في جزيء الـ DNA. يقدر البعد الوسطي بين ملفي اللولب، الذي يُرى على شكل قمم صفراء بنحو 3.5nm.

- نلفت انتباه طلابنا إلى ضرورة قراءة الشروحات الواردة على السلايد The scanning tunneling microscope (STM)
- ونذكرهم ببنية الماسح الكهرضغطي وآلية عمله فهو مكون من بلورة كهرضغطية تتصف بأنه إذا طبق عليها كمون كهربائي في اتجاه معين تتغير أبعادها زيادة أو نقصانا، وبهذا التغير يتم التحكم بالحركة الضئيلة جداً للنهاية المدببة أفقياً أو بالارتفاع والانخفاض. وأننا سنمر بتفصيل أكبر على خصائص البلورة الكهرضغطية في الفصل السابع عشر لدى دراسة الإيكوغرافي

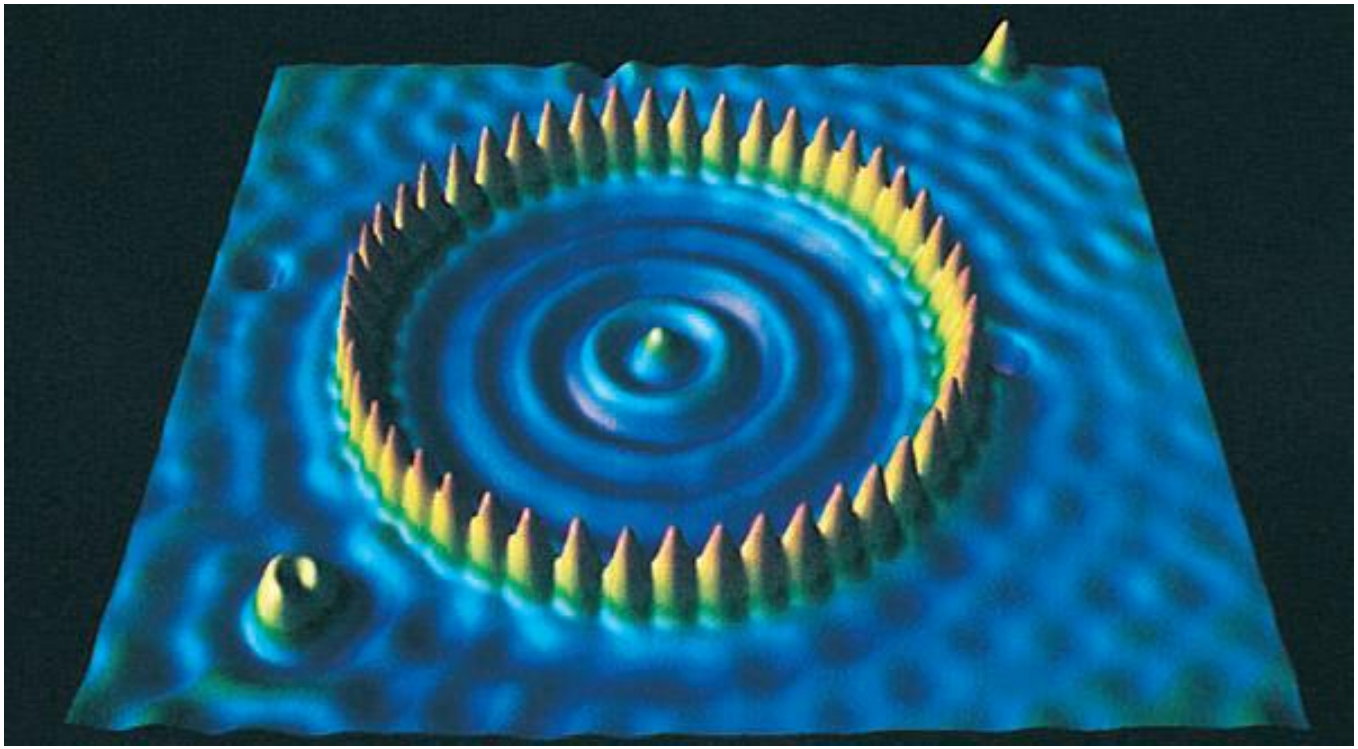
المفعول الكهرضغطي



مبدأ مجهر المفعول النفقي

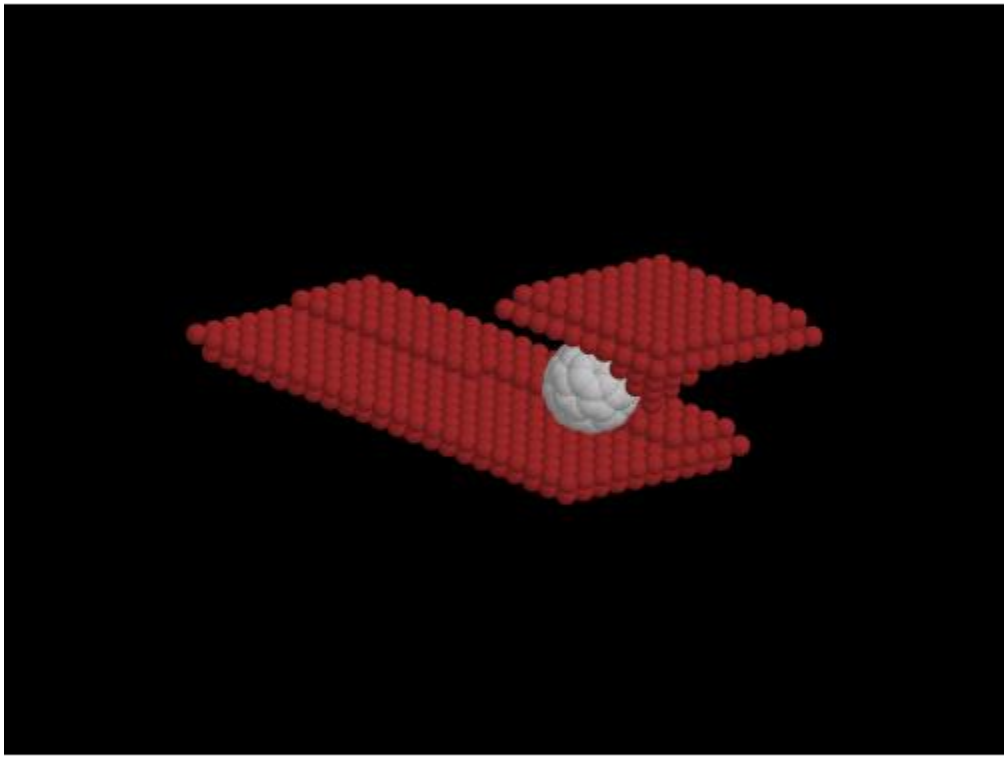


من تطبيقات مجهر المفعول النفقي الماسح الكشف عن الأمواج الإلكترونية المستقرة

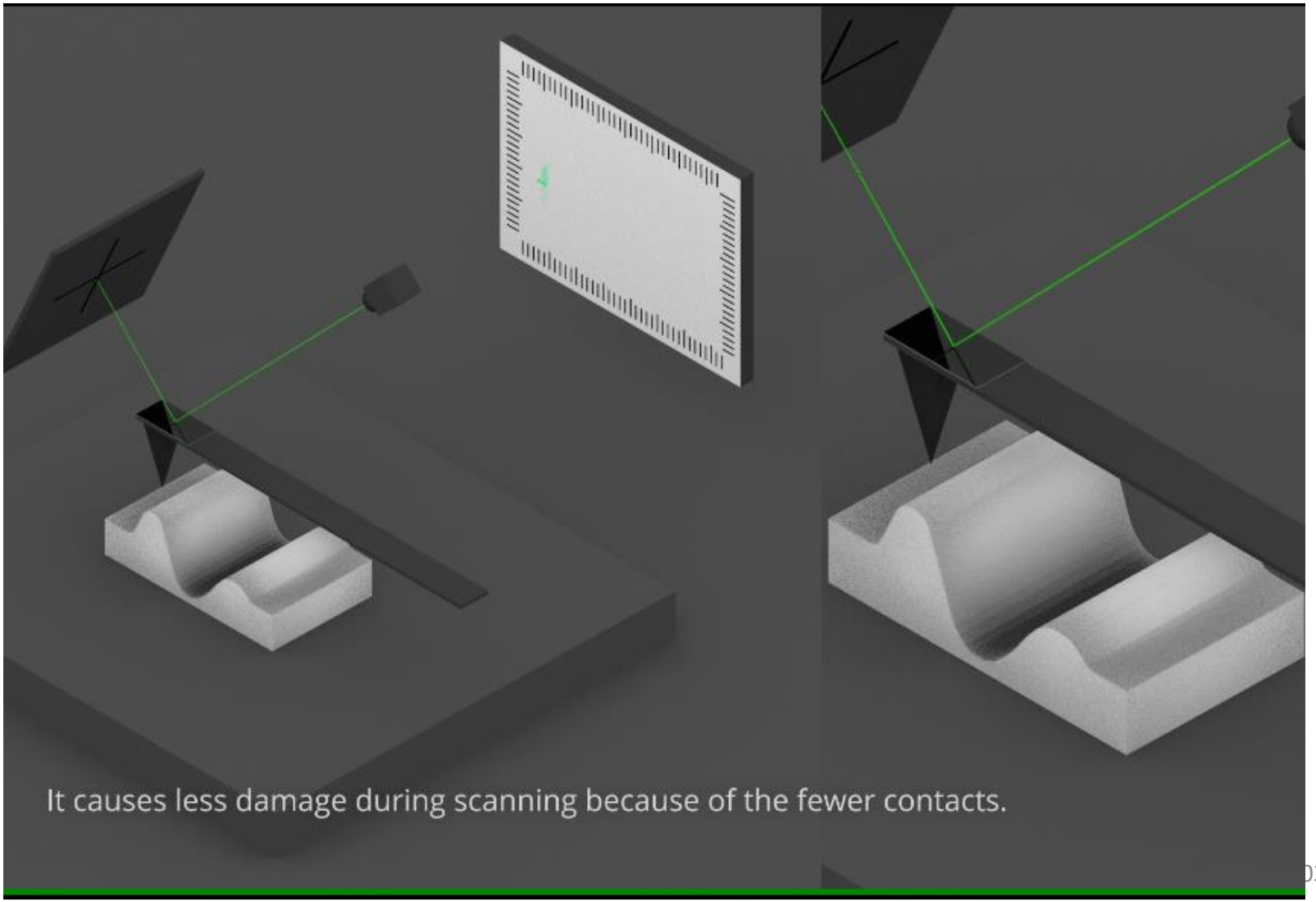


صورة بمجهر المفعول النفقي الماسح لسياج كمومي مكون من 48 ذرة من الحديد، قطره 7.13nm على سطح رقاقة من النحاس، يحتبس الإلكترونات داخله، فتظهر الموجة الإلكترونية المستقرة داخل السياج.

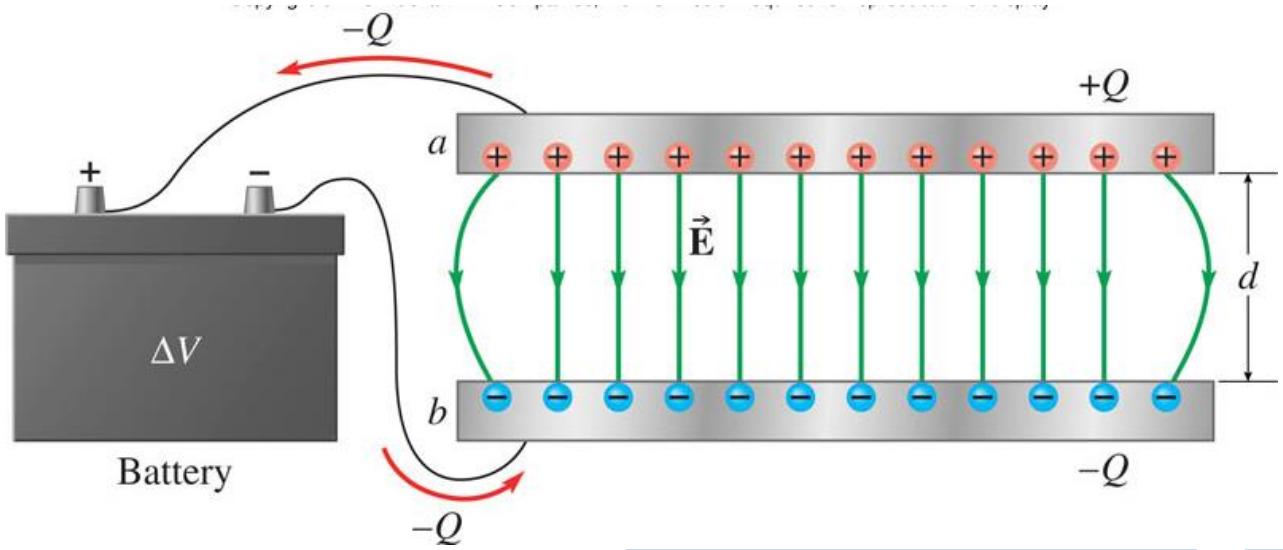
نقل الجزيئات بمجهر المفعول النفقي



مجهر القوة الذرية



واحدات قياس طاقة الإشعاعات الكهرطيسية



$$W = F \cdot d = e\frac{\Delta V}{d}d = e \cdot \Delta V = \frac{1}{2}mv^2$$

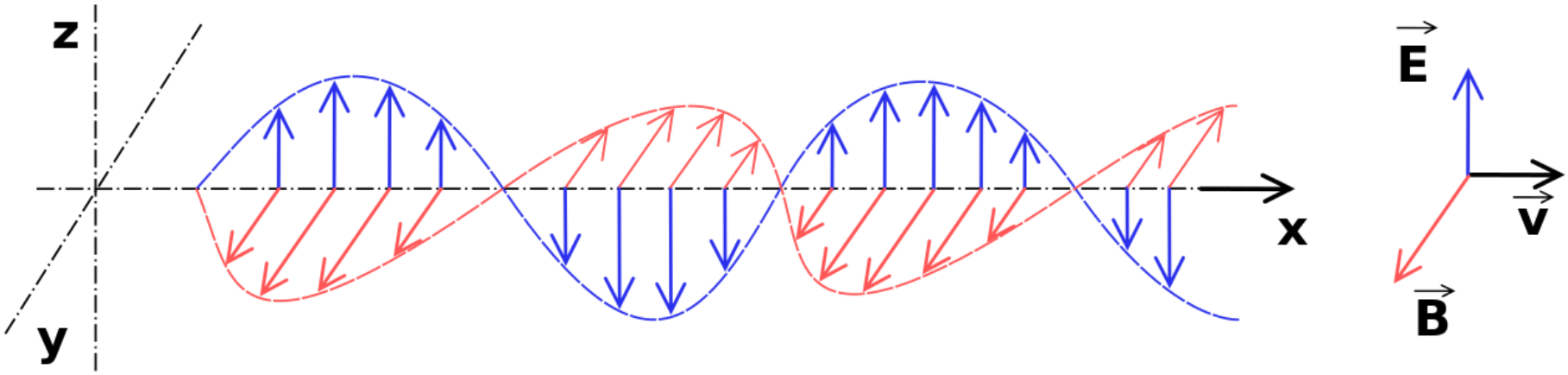
$$F = \left|\vec{F}\right| = e \cdot E = e\frac{\Delta V}{d}$$

$$E = \left|\vec{E}\right| = \frac{\Delta V}{d}$$

$$e \cdot \Delta V = \frac{1}{2}mv^2$$

- تعريف الإلكترون فولط

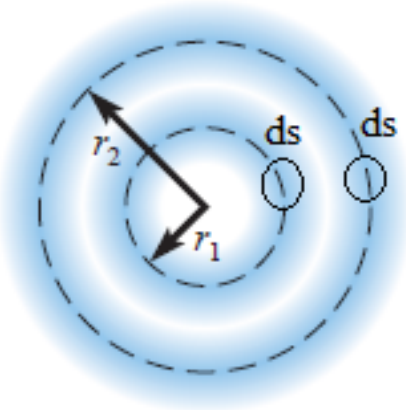
الخصائص العامة الإشعاعات الكهرطيسية



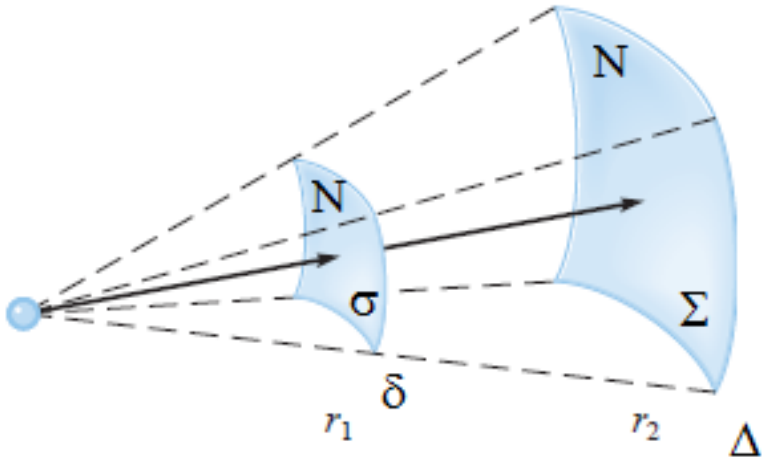
إيضاح مركبتي الحقل الكهربائي والحقل المغنطيسي للإشعاعات الكهرطيسية

تدفق الإشعاعات الكهرطيسية

$$\frac{\Delta}{\delta} = \frac{\sigma}{\Sigma}$$



(a)



(b)

$$A = 4\pi r^2$$

$$\frac{\sigma}{\Sigma} = \frac{r_1^2}{r_2^2}$$

- تخامد الموجة الكهرطيسية بدلالة البعد

$$\frac{\Delta}{\delta} = \frac{r_1^2}{r_2^2}$$

- إذا كان $r_1 = 1$ نحصل على $\Delta = \delta \cdot \frac{1}{r_2^2}$

- تجدر الإشارة إلى أننا ندرس فكرة مماثلة لدى دراسة الحركات الاهتزازية والموجية في الفصل الخامس عشر
- ينصح الطالب بالاطلاع على كيفية الحصول على العلاقات الواردة في السلايد على التسلسل لكي تثبت نتيجتها في ذاكرته.
- ثم التأكيد على تعريف النتيجة : تدفق الفوتونات في نقطة من الفراغ تقع على بعد معين من المنبع يتناسب عكساً مع مربع هذا البعد.
- تجدر الإشارة إلى أهمية معرفة تدفق الإشعاع على بعد معين من المنبع عندما يتعلق الأمر بالتصوير أو بالمعالجة.

التطورات التي طرأت على الفيزياء الجسيمية

- القوانين الأساسية

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

- الاندفاع النسبوي

$$\vec{p} = m\vec{v} = \frac{m_0\vec{v}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

- التكافؤ بين الكتلة والطاقة

$$E_0 = m_0c^2$$

- الطاقة الكلية

$$E = E_0 + T = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = mc^2$$

- يتم التأكيد هنا على علاقة التكافؤ بين الكتلة والطاقة لأننا سنلجأ إلى هذا المفهوم في التفاعلات التي سنتناولها في الطب النووي
- لا ضرورة للاهتمام بباقي التطورات.

- تقاس الكتلة في الفيزياء الجسيمية بواحدة الكتل الذرية *atomic mass unit* (*amu*)، وتساوي 1/12 من كتلة ذرة الكربون -12 أي 1/Navo من الغرام حيث Navo عدد أفوكادرو، وهو عدد الذرات الحقيقية الموجودة في الذرة الغرامية الواحدة من كل عنصر وقد تم اختياره لتكون الذرة الغرامية للكربون مساوية 12 غراماً تماماً،
- الذرة الغرامية للهدروجين $1.007825\,gm$
- الذرة الغرامية للأكسجين $15.99491\,gm$
- كتلة ذرة الكربون 12 $12\,amu$

$$1amu = 1/N_{avo} = 1/6.06\times10^{23}\,gm = 1.660240\times10^{-24}\,gm$$

- يمكن للطلاب أن يستكملوا معلوماتهم بمراجعة الفصل الثاني عشر الذي يتناول الموضوع نفسه في الفيزياء الجسيمية.
- نلفت انتباه طلابنا الأعزاء إلى أنه لم يعد مجدياً اتخاذ كتلة الهدروجين كواحدة للكتل.
- ففي التفاعلات النووية تتحول المقادير الصغيرة جداً في الكتلة إلى طاقات هائلة.

- ومن ثم تقدر كتلة كل من البروتون والنترون بواحدة amu

$$m_n = 1.00866\,amu \qquad m_p = 1.00727\,amu$$

- وبكل من واحدة الجول والإلكترون فولط

$$E(J) = m(kg)c^2(m^2\,\sec^{-2}) = 1.66\times10^{-27}\times9\times10^{16}$$

$$E = \frac{14.9\times10^{-11}}{1.6\times10^{-19}} = 931.478\,MeV \qquad E = 14.9\times10^{-11}\,J$$

$$1amu = 931.5\,MeV$$

$$1.294\,MeV \qquad m_nc^2 = 939.550\,MeV \qquad m_pc^2 = 938.256\,MeV$$

$$n \rightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu}$$

- ليس ضرورياً أن يعرف الطالب القيم الدقيقة لكل من كتلة أو طاقة النترون والبروتون ولكن من الضروري أن يعرف أن كتلة النترون وطاقته أكبر قليلاً منهما في حالة البروتون، وينصح الطلاب بالعودة إلى الكتاب لتثبيت معلوماتهم في الذاكرة

ظهور مفاهيم جديدة

- مبدأ باولي في الاستبعاد
- جسيمات ديراك المضادة

$$e^{+} + e^{-} \rightarrow \gamma(0.5\,MeV) + \gamma(0.5MeV)$$

- ميكانيك الكم والتابع الموجي

- تجدر الإشارة إلى أن الجسيمات المضادة تتفانى لدى التقائها بالجسيم المقابل لها من المادة.
- في المثال المطروح أعلاه الجسيم المضاد هو البوزترون (وهو إلكترون موجب) وعندما يلتقي مع الإلكترون السالب يفنيان ليتحولا إلى فوتوني غاما طاقة كل منهما نصف مليون إلكترون فولط.
- ولهذا التفاعل تطبيق في الطب النووي
- لن نتعامل مع ميكانيك الكم والتابع الموجي ولكن سنستعين بنتائجه في حال الضرورة.