

## ☆ بسيطة

الفيزياء، البكالوريا، الفرع العلمي

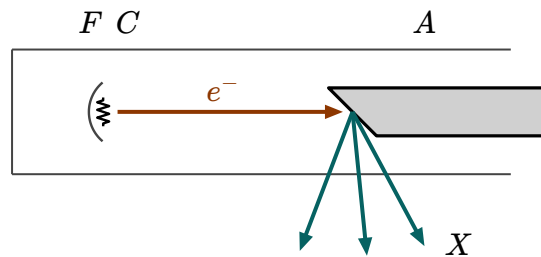
### الأشعة السينية

أنبوب كوليدج، وآلية توليد الأشعة السينية، وأقصر طول موجة، والخواص الثماني، والامتصاص والنفاذ الإلكترونيات والجسم الصلب . الوحدة 4 . الدرس 6

يعالج طبيب الأسنان أسنانك مستعيناً بصورة شعاعية للفكين تظهر فيها الأسنان والعظام بوضوح. يروي الكتاب، الصفحة 228، أن وليم رونتجن اكتشف هذه الأشعة عام 1895 مصادفةً في أثناء دراسته الأشعة المهبطية في أنبوب كروكس، ولاحظ قدرتها العالية على النفاذ من بعض المواد، فسماها الأشعة السينية، وأدرك أنها تتولد حين تسقط حزمة من الإلكترونات عالية الطاقة على هدفٍ من معدنٍ ثقيل. نتابع مع الكتاب في الصفحات 228 إلى 233.

### أنبوب كوليدج

تُولد الأشعة السينية بأنبوب كوليدج، الكتاب، الصفحة 229: أنبوب زجاجي مَخْلَى من الهواء تخليّةً شديدة، الضغط فيه نحو  $10^{-6} \text{ mmHg}$ . فيه سلكٌ من التنغستين يُسخَّن حتّى التوهّج بتيار كهربائي، ويحيط بالسلك مهبطٌ معدنيّ مقعر الشكل يجمع حزمة الإلكترونات المنبعثة من السلك على الهدف. والهدف، مقابل المهبط، موصولٌ بالمصعد، ويُصنع من معدنٍ ثقيل درجة حرارة انصهاره مرتفعةٌ جدّاً مثل الموليبدنيوم، ويميل بزاوية  $45^\circ$  على محور الأنبوب، ويُثَبَّت على أسطوانة نحاسية أكبر منه حجماً متّصلةً بمبرّد. ويُطبَّق بين المصعد والمهبط توترٌ عالٍ متواصل  $U_{AC}$  من رتبة  $10^4$  إلى  $10^5 \text{ V}$ .



أنبوب كوليدج في مقطع: سلك التنغستين  $F$ ، والمهبط المقعر  $C$ ، والهدف المائل على الأسطوانة النحاسية  $A$ ، والأشعة السينية  $X$ . الكتاب، الصفحة 229. الرسم من عندنا.

لماذا يُثَبَّت الهدف على أسطوانة نحاسية متّصلةً بمبرّد؟

**| كيف أبدأ؟ إلى أين تذهب معظم طاقة الإلكترونات المسرّعة؟**

(أ) لتسريع الإلكترونات نحو الهدف

(ب) لأنّ معظم طاقة الإلكترونات يتحوّل إلى حرارة في الهدف

(ج) لتجميع الإلكترونات على الهدف

ب. نعم: فترتفع حرارة الهدف، ممّا يستدعي تبريده، الكتاب، الصفحة 229.

## آلية توليد الأشعة السينية

نتائج نشاط الكتاب، الصفحة 229: تُنتزع الإلكترونات من سلك التنغستين نتيجة تسخينه إلى درجة حرارة مناسبة، أي بالفعل الكهرحراري، ثم يسرعها الحقل الكهربائي الشديد بين المصعد والمهبط. تصطدم الإلكترونات المسرعة بذرات الهدف، فيؤدي جزء منها إلى انتزاع إلكترون من إلكترونات الطبقة الداخلية في ذرات الهدف، ويخلف وراءه ثقباً. وينتقل أحد إلكترونات الطبقات العليا لذرات مادة الهدف بسرعة ليحل في الثقب، ويرافق ذلك إصدار فوتونات ذات طاقة عالية جداً هي الأشعة السينية. ويؤدي اصطدام الجزء الأكبر من الإلكترونات بذرات الهدف إلى تحويل كامل طاقتها الحركية إلى طاقة حرارية.

ممّ ينشأ فوتون الأشعة السينية في الهدف؟

**| كيف أبدأ؟ ماذا يحدث للثقب الذي يخلفه الإلكترون المنتزع؟**

(أ) من انتقال إلكترون من طبقة عليا ليحل في ثقب في طبقة داخلية

(ب) من انتزاع الإلكترونات من سلك التنغستين بالتسخين

(ج) من اصطدام الأيونات الموجبة بالمهبط

أ. نعم: الكتاب، الصفحة 229.

## أقصر طول موجة

طاقة الفوتونات تساوي بقيمتها العظمى الطاقة الحركية للإلكترونات المسرعة التي تسبب إصدارها، الكتاب، الصفحة 230،

والإلكترون يكتسب من الحقل  $E_k = e U_{AC}$  :

$$\begin{aligned} h f_{\max} &= e U_{AC} \\ h \frac{c}{\lambda_{\min}} &= e U_{AC} \\ \lambda_{\min} &= \frac{h c}{e U_{AC}} \end{aligned}$$

**تذكّر:** «أستنتج أنّ أقصر طول موجة لفوتون الأشعة السينية يتوقف على فرق الكمون الكهربائي المطبق بين طرفي أنبوب توليد الأشعة السينية.» الكتاب، الصفحة 230.

ويمكن تغيير فرق الكمون بين المصعد والمهبط بتغيير وضع زالق، فتتغير طاقة تسريع الإلكترونات، فتتغير الطبقة الذرية التي يُقتلع منها الإلكترون في ذرات الهدف، وتتغير بالتالي طاقة الأشعة السينية الصادرة. أمّا تغيير وضع زالق دارة التسخين فيغير حرارة السلك، ممّا يغير عدد الإلكترونات التي يُصدرها، فتتغير شدة الأشعة المهبطية وتتغير بالتالي شدة الأشعة السينية. الكتاب، الصفحة 230.

**انتبه:** التوتّر في المقام: كلما زاد  $U_{AC}$  قصر  $\lambda_{\min}$  وزادت طاقة الأشعة. والتسخين لا يغيّر  $\lambda_{\min}$  ، بل الشدّة.

نضاعف فرق الكمون  $U_{AC}$  بين المصعد والمهبط. أقصر طول موجة للأشعة السينية الصادرة:

$$\lambda_{\min} = \frac{hc}{e U_{AC}} \quad \text{كيف أبدأ؟}$$

(أ) يتضاعف

(ب) لا يتغيّر

(ج) ينقص إلى النصف

ج. نعم:  $\lambda_{\min}$  يتناسب عكساً مع  $U_{AC}$ .

نرفع درجة حرارة سلك التسخين ونُبقي التوتّر  $U_{AC}$  ثابتاً. يتغيّر:

كيف أبدأ؟ التسخين يغيّر عدد الإلكترونات، لا طاقتها.

(أ) أقصر طول موجة

(ب) قدرة الأشعة على النفاذ

(ج) شدة الأشعة السينية

ج. نعم: إلكترونات أكثر، فأشعة أشدّ، الكتاب، الصفحة 230.

## خواصّ الأشعة السينية

يعدّد الكتاب، الصفحة 230، ثماني خواصّ: 1. ذات طبيعة موجية، فهي أمواج كهرومغناطيسية أطوال موجاتها قصيرة جداً، تتراوح بين 13.6 nm و 0.001 nm ، لذلك تكون طاقتها عالية جداً. 2. ذات قدرة عالية على النفاذ بسبب قصر طول موجتها. 3. لا يمكن أن تصدر إلا من ذرات العناصر الثقيلة نسبياً بعد تهيجها بطريقة مناسبة، أو من الإلكترونات المسرّعة بعد كبحها ضمن وسطٍ ماديّ. 4. تشبه الضوء المرئيّ في الانتشار المستقيم والانعكاس والتداخل والانعراج، وسرعة انتشارها تساوي سرعة انتشار الضوء في الخلاء.

5. لا تملك شحنة كهربائية، فلا تتأثّر بالحقلين الكهربائي والمغناطيسيّ. 6. تسبّب تألق المواد التي تسقط عليها، وتؤثّر في أفلام التصوير. 7. تؤثّر في الأنسجة الحية: تخرب الخلايا الحية إذا استمرّ تعرّضها لها، لذا تُستعمل الألبسة التي يدخل في تركيبها الرصاص للوقاية منها. 8. تؤيّن الغازات: فوتوناتها ذات طاقة كبيرة تكفي لتأيين الغاز الذي تخترقه.

**انتبه:** الأشعة المهبطية إلكترونات مشحونة فتتحرف في الحقلين، كما مرّ في درس الأشعة المهبطية. أمّا الأشعة السينية فأموّاج كهرومغناطيسية بلا شحنة، فلا تنحرف.

لماذا لا تنحرف الأشعة السينية في الحقليين الكهربائي والمغناطيسي؟

**| كيف أبدأ؟ الحقلان يؤثران في الشحنات.**

(أ) لأنها لا تملك شحنة كهربائية

(ب) لأن سرعتها كبيرة جداً

(ج) لأن قدرتها على النفاذ عالية

أ. نعم: هي أمواج كهربائية، الكتاب، الصفحة 230.

## امتصاص الأشعة السينية ونفاذها

تتوقف قابلية امتصاص الأشعة السينية ونفاذها، الكتاب، الصفحة 231، على: 1. ثخن المادة: تزداد نسبة الأشعة الممتصة وتقل نسبة النفاذ كلما ازداد ثخن المادة. 2. كثافة المادة: تزداد نسبة الأشعة الممتصة بازدياد كثافة المادة، كالرصاص والذهب والعظام، وتزداد نسبة النفاذ بنقصان الكثافة، كالخشب والبلاستيك وجلد الإنسان، لذلك يُستخدم نوع منها في تشخيص الكسور. 3. طاقة الأشعة: تتعلق قدرة الأشعة السينية على النفاذ بطاقتها المرتبطة بقيمة فرق الكمون المطبق على أنبوب توليدها.

ونميز نوعين من حيث الطاقة: 1. الأشعة اللينة: أطوال موجاتها  $1 \text{ nm} < \lambda < 13.6 \text{ nm}$  ، طاقتها منخفضة نسبياً،

امتصاصها كبير ونفاذها قليل. 2. الأشعة القاسية: أطوال موجاتها  $0.001 \text{ nm} \leq \lambda \leq 1 \text{ nm}$  ، طاقتها عالية، امتصاصها قليل ونفاذها كبير.

ومن استخداماتها، في إثراء الكتاب، الصفحتان 231 و 232: تصوير الكسور والتشوهات ونخر الأسنان، ومعالجة الأورام السرطانية بجرعات صغيرة، وتعقيم معدّاتٍ طبيّة لا تُعقم بالحرارة، واختبار جودة الموادّ المصنّعة واللحامات المعدنية، ودراسة البلّورات، والكشف عن الموادّ الممنوعة في المنافذ الحدودية.

يزداد امتصاص المادة للأشعة السينية:

**| كيف أبدأ؟ ثلاثة عوامل، الكتاب، الصفحة 231.**

(أ) بازدياد طاقة الأشعة السينية

(ب) بازدياد كثافة المادة

(ج) بنقصان ثخن المادة

ب. نعم: لذلك يمتصها الرصاص والعظام أكثر من الجلد.

أشعة سينية طول موجتها  $0.1 \text{ nm}$  :

كيف أبدأ؟ الحد بين النوعين  $1 \text{ nm}$  .

(أ) قاسية، نفاذها كبير

(ب) ليّنة، نفاذها قليل

(ج) ليست أشعة سينية

أ. نعم:  $0.001 \text{ nm} \leq 0.1 \text{ nm} \leq 1 \text{ nm}$  .

## من الكتاب: مسألة

المسألة، الكتاب، الصفحة 233: يعمل أنبوب الأشعة السينية بتوتر  $8 \times 10^4 \text{ V}$  ، حيث يصدر عن المهبط إلكترونات سرعته معدومة عملياً. احسب الطاقة الحركية للإلكترون عند اصطدامه بالهدف، وسرعته لحظة الصدمة، وأقصر طول موجة للأشعة الصادرة، مع  $h = 6.64 \times 10^{-34} \text{ J.s}$  و  $m_e = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$  .

$$E_k, v, \lambda_{\min} = ?$$

1. الطاقة الحركية يكتسبها من الحقل بين المهبط والمصعد:

$$\begin{aligned} E_k &= e U_{AC} \\ E_k &= 1.6 \times 10^{-19} \times 8 \times 10^4 \\ E_k &= 1.28 \times 10^{-14} \text{ J} \end{aligned}$$

2. السرعة  $E_k = \frac{1}{2} m_e v^2$  :

$$\begin{aligned} v &= \sqrt{\frac{2 \times 1.28 \times 10^{-14}}{9.1 \times 10^{-31}}} \\ v &\approx 1.68 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1} \end{aligned}$$

3. أقصر طول موجة  $\lambda_{\min} = \frac{h c}{e U_{AC}}$  :

$$\begin{aligned} \lambda_{\min} &= \frac{6.64 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{1.28 \times 10^{-14}} \\ \lambda_{\min} &\approx 1.56 \times 10^{-11} \text{ m} \end{aligned}$$

السرعة الناتجة نحو 0.56 من سرعة الضوء. والكتاب، الصفحة 204، يقول إنَّ العلاقة الكلاسيكية لا تصلح إلاَّ للسرعات الصغيرة بالنسبة لسرعة الضوء، فالقيمة هنا تقريبية، والسرعة الحقيقية أقلَّ منها:

$$\frac{v}{c} \approx 0.56$$

في المسألة خرجت السرعة نحو  $1.68 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ . هل تصلح العلاقة الكلاسيكية  $E_k = \frac{1}{2} m_e v^2$  هنا بدقّة؟

**| كيف أبدأ؟ قارن السرعة بسرعة الضوء.**

- (أ) نعم، فهي تصلح لكلّ السرعات  
 (ب) لا، فالسرعة أكثر من نصف سرعة الضوء  
 (ج) نعم، لأنّ الإلكترون يبدأ من السكون  
**ب. نعم: تزداد كتلة الإلكترون بصورة ملموسة، فالقيمة تقريبية.**

المصدر: الفيزياء، الصفحات 228 إلى 233 من الطبعة الرسمية 2025 / 2026.