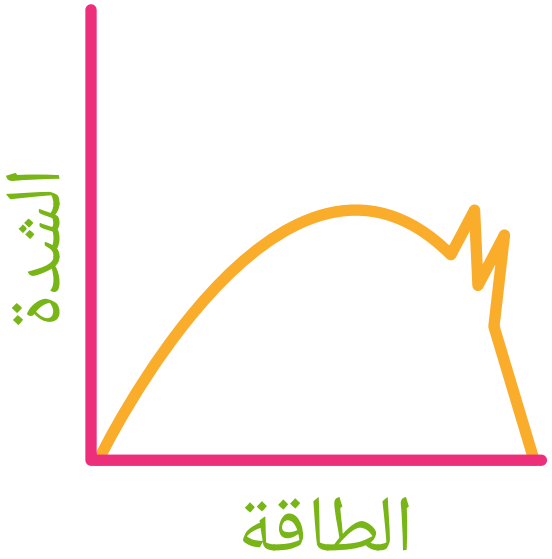
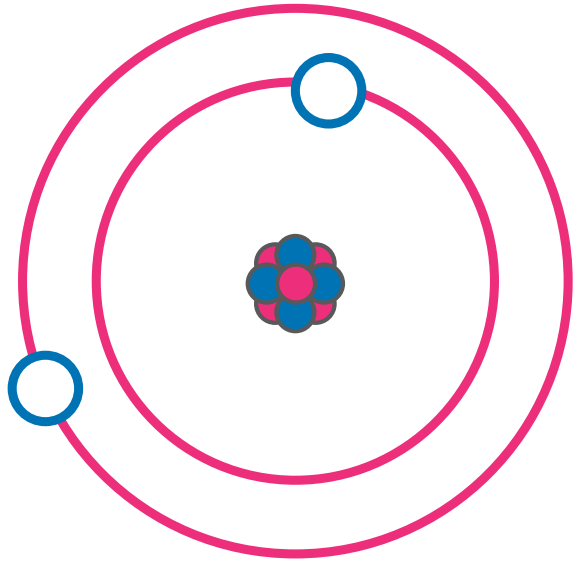
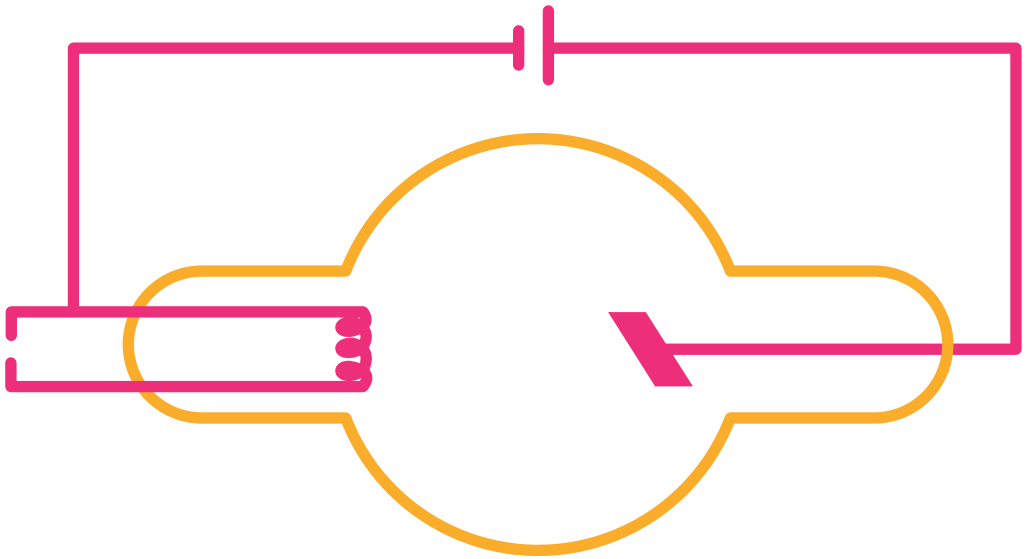






أنابيب الأشعة السينية

أهداف الدرس

ستتمكَّن من:

- وصف دور المكوِّنات/الخواص/العمليات الآتية المتعلقة بتولُّد الأشعة السينية باستخدام أنبوب كولدج: المهبط الساخن، الهدف، جهد الأنبوب، الانبعاث بالتأيُّن الحراري، تيار الحُزمة
- وصف انتقالات الإلكترونات بين مستويات الطاقة في ذرات مادة الهدف في أنبوب كولدج المسئولة عن توليد أشعة سينية ذات طاقات مُميِّزة
- شرح تناظُر السمات الناتجة في طيف الأشعة السينية المولدة بواسطة أنبوب كولدج مع خواص حُزمة الإلكترونات، وكذلك خواص مادة الهدف

مدى تردد الأشعة السينية

الأشعة السينية عبارة عن موجات كهرومغناطيسية.

للأشعة السينية ترددات محددة f، تُعطى بالمدى:

$$3 \times 10^{16}\ \text{Hz} < f < 3 \times 10^{19}\ \text{Hz}.$$

تولُّد الأشعة السينية

تتولَّد الأشعة السينية بانخفاض طاقة الجسيمات المشحونة.

إن أي جسيم له شحنة كهربية ويتحرَّك تكون له طاقة حركة مصاحبة.

عندما تنخفض طاقة هذا الجسيم، فإن إحدى الطرق التي يمكن أن تنتقل بها الطاقة من الجسيم هي بانبعاث الطاقة في صورة موجات كهرومغناطيسية من الجسيم.

تولُّد الأشعة السينية عن طريق الذرات

الإلكترونات الموجودة في الذرات لها طاقات محددة، تُسمى مستويات الطاقة.

وعندما ينتقل إلكترون من مستوى طاقة ما إلى مستوى طاقة أقل، تنبعث منه موجات كهرومغناطيسية لها طاقة تساوي الفرق بين طاقتَي المستوى الأعلى والمستوى الأقل.

ويمكن التعبير عن ذلك بالمعادلة:

$$E_\lambda = \Delta E,$$

حيث تمثِّل E_λ طاقة الموجات، ويمثِّل ΔE الفرق في الطاقة بين مستويَي الطاقة الأعلى والطاقة الأقل.

تولُّد فوتونات الأشعة السينية عن طريق الذرات

يمكن تمثيل طاقة الموجة على أنها طاقة فوتون، وفي هذه الحالة يُعبَّر عن العلاقة بين الانخفاض في طاقة الإلكترون والفوتون المُنبعث عند انخفاض طاقة الإلكترون بالصورة الآتية:

$$Hf = \Delta E,$$

حيث يمثل H ثابت بلانك، ويمثل f تردد الفوتون، ويمثل ΔE الفرق في الطاقة بين مستويَي الطاقة الأعلى والطاقة الأقل.

لتوليد فوتون أشعة سينية له تردد يساوي $3 \times 10^{16}\ \mathrm{Hz}$، يُعطى فرق مستوى الطاقة بالعلاقة:

$$\Delta E = 6.634 \times 10^{-34}\ \mathrm{J \cdot s} \times 3 \times 10^{16}\ \mathrm{Hz}$$

$$\Delta E = 6.634 \times 10^{-34}\ \mathrm{kg} \cdot \frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}^2} \cdot \mathrm{s} \times 3 \times 10^{16} \frac{1}{\mathrm{s}}$$

$$\Delta E = 6.634 \times 10^{-16}\ \mathrm{kg} \cdot \frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}^2} = 1.9902 \times 10^{-17}\ \mathrm{J}.$$

إذن الطاقة اللازمة لإزالة إلكترون من ذرة هيدروجين تساوي $2.18 \times 10^{-18}\ \mathrm{J}$ فقط.

تولُّد فوتونات الأشعة السينية عن طريق الذرات (متابعة)

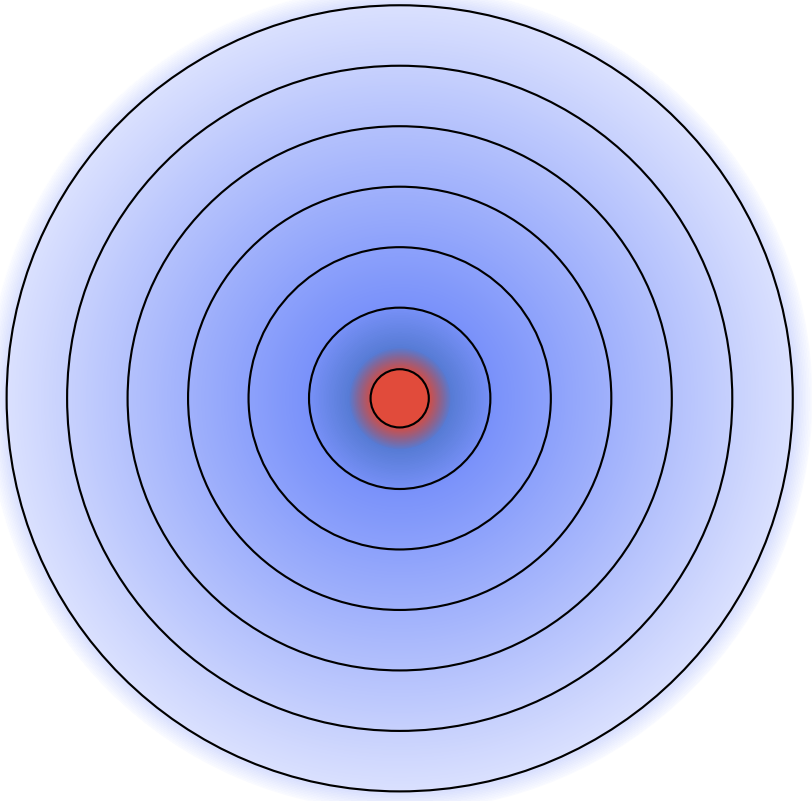
هذا يعني أنه لتوليد فوتون أشعة سينية له أقل طاقة مُمكنة، لا بد من حدوث تغيُّر في الطاقة أكبر من التغيُّر الذي يحدث في ذرة الهيدروجين.

يتطلب توليد فوتون أشعة سينية وجود ذرة عنصر يحتوي على إلكترونات عديدة حتى تصبح لدى بعض الإلكترونات الطاقة الكافية لتوليد فوتون أشعة سينية عند انتقالها إلى مستوى طاقة أقل.

تُستخدم عناصر مثل التنجستين والروديوم والموليبدينوم؛ لتوليد فوتونات الأشعة السينية.

مستويات الطاقة في ذرة التنجستين

يمثِّل الشكل الآتي الكثافة التقريبية للإلكترونات على مسافات مختلفة من نواة ذرة التنجستين. وحيث يكون اللون الأزرق أكثر كثافة، تكون كثافة الإلكترونات أكبر. يبسِّط هذا التمثيل مسألة عرض مواضع الإلكترونات المنفردة.



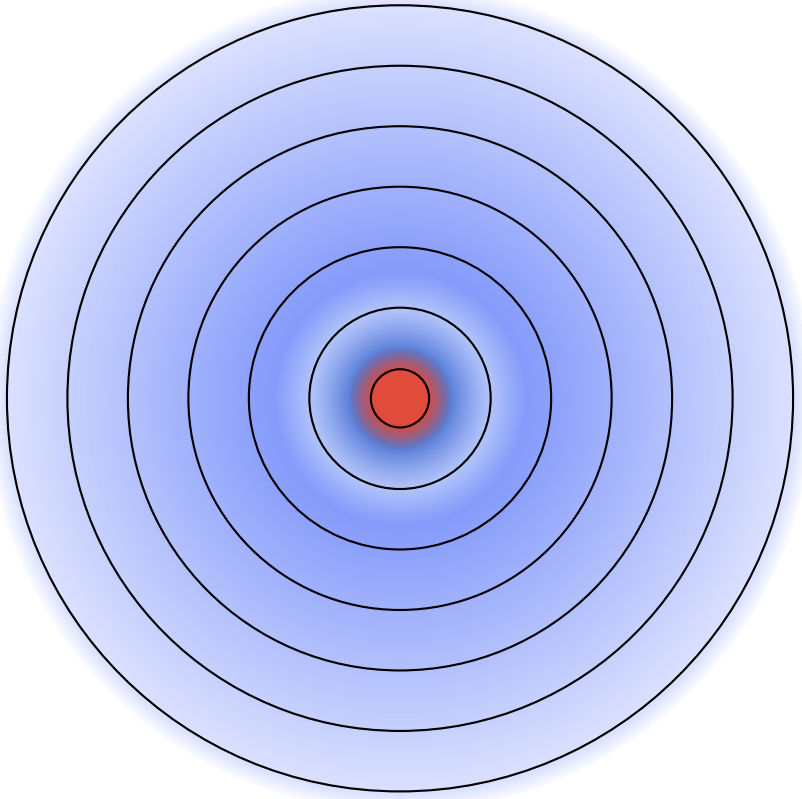
لا يمثِّل الشكل التعقيد الكامل للبِنْية الإلكترونية لذرة التنجستين.

في الواقع توجد 20 طاقة محتملة مختلفة يمكن أن تكون لدى الإلكترون في ذرة التنجستين. ولا يمكن تمثيل هذه الطاقات بسهولة في شكل بسيط، وليس من الضروري فهْم تفاصيل بنية مستويات طاقة الإلكترونات لفهم المبادئ الأساسية لتوليد الأشعة السينية.

الانتقالات بين مستويات الطاقة في ذرة التنجستين

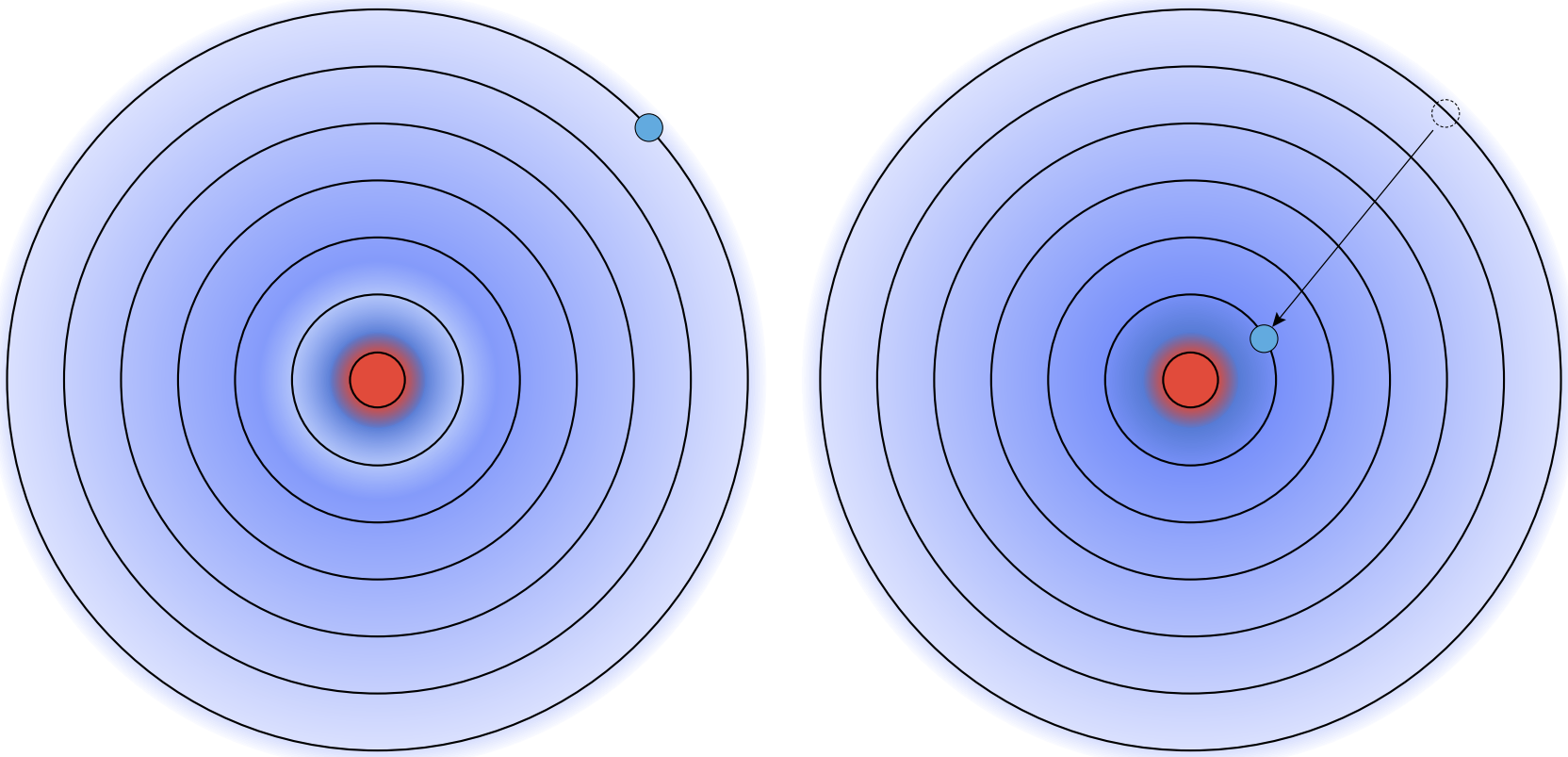
لنتناول كيف يمكن أن ينتقل إلكترون عالي الطاقة في ذرة التنجستين إلى مستوى طاقة منخفض.

لنفترض أن إلكترونًا قريبًا جدًّا من النواة تحرَّر من الذرة. ومن ثمَّ قلَّت كثافة الإلكترونات القريبة من النواة.



الانتقالات بين مستويات الطاقة في ذرة التنجستين (متابعة)

يمكن أن تنتقل الآن الإلكترونات التي لها طاقة أعلى من طاقة الإلكترون المتحرِّر؛ لتملأ مستوى طاقة الإلكترون المتحرر.



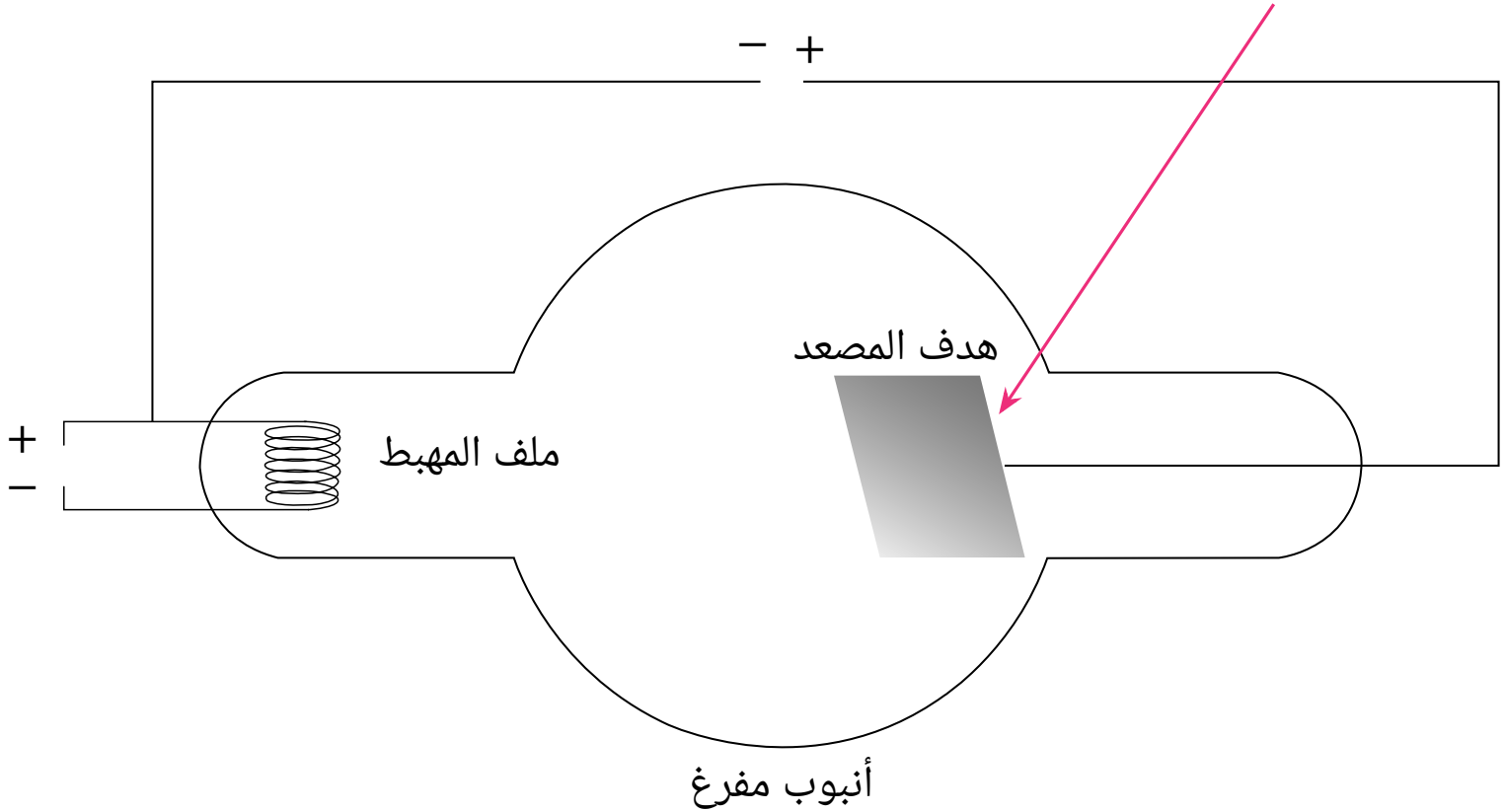
قبل الانتقال

بعد الانتقال

أنابيب كولِدج

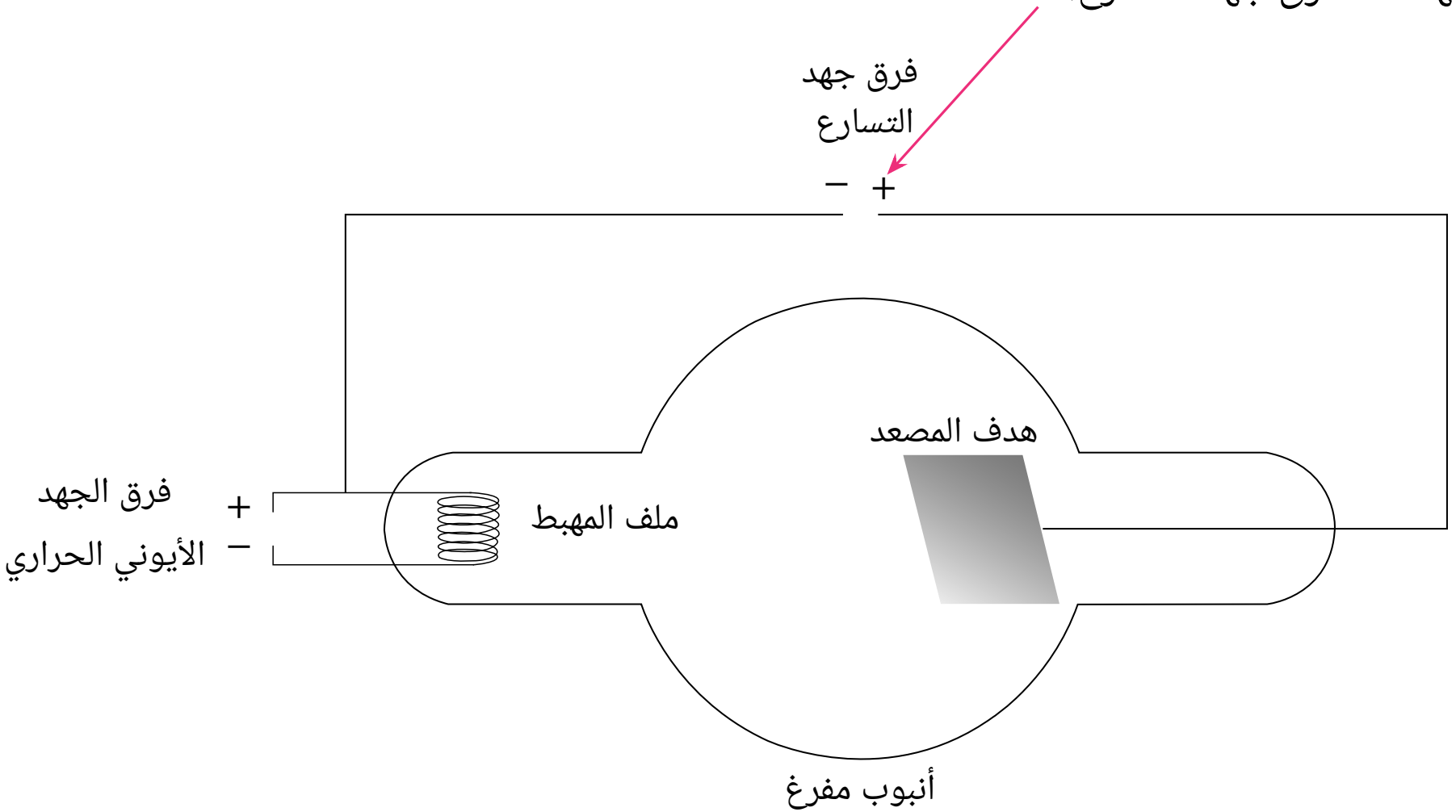
أنبوب كولِدج هو جهاز كهربي لتوليد الأشعة السينية عن طريق تحرير الإلكترونات الموجودة في مستويات طاقة منخفضة من ذرات مادة الهدف (مثل التنجستين).

تشكِّل مادة الهدف مصعد أنبوب كولِدج.



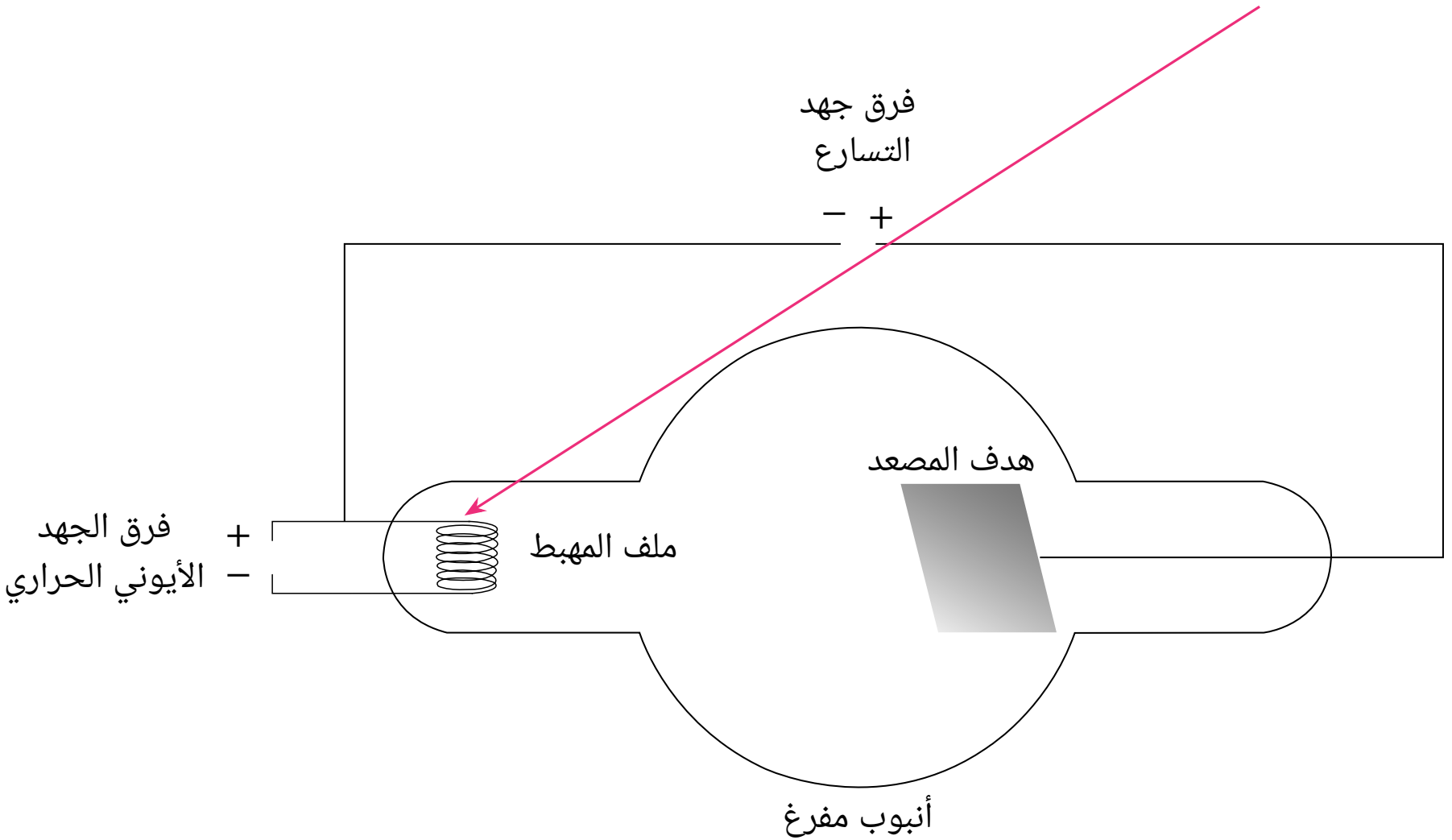
أنابيب كولِدج (متابعة)

المبدأ الأساسي لأنبوب كولِدج هو إنتاج فرق جهد عبر مهبطه ومصعده داخل فراغ.
ويُسمى فرق الجهد هذا فرق جهد التسارع.



أنابيب كولِدج (متابعة)

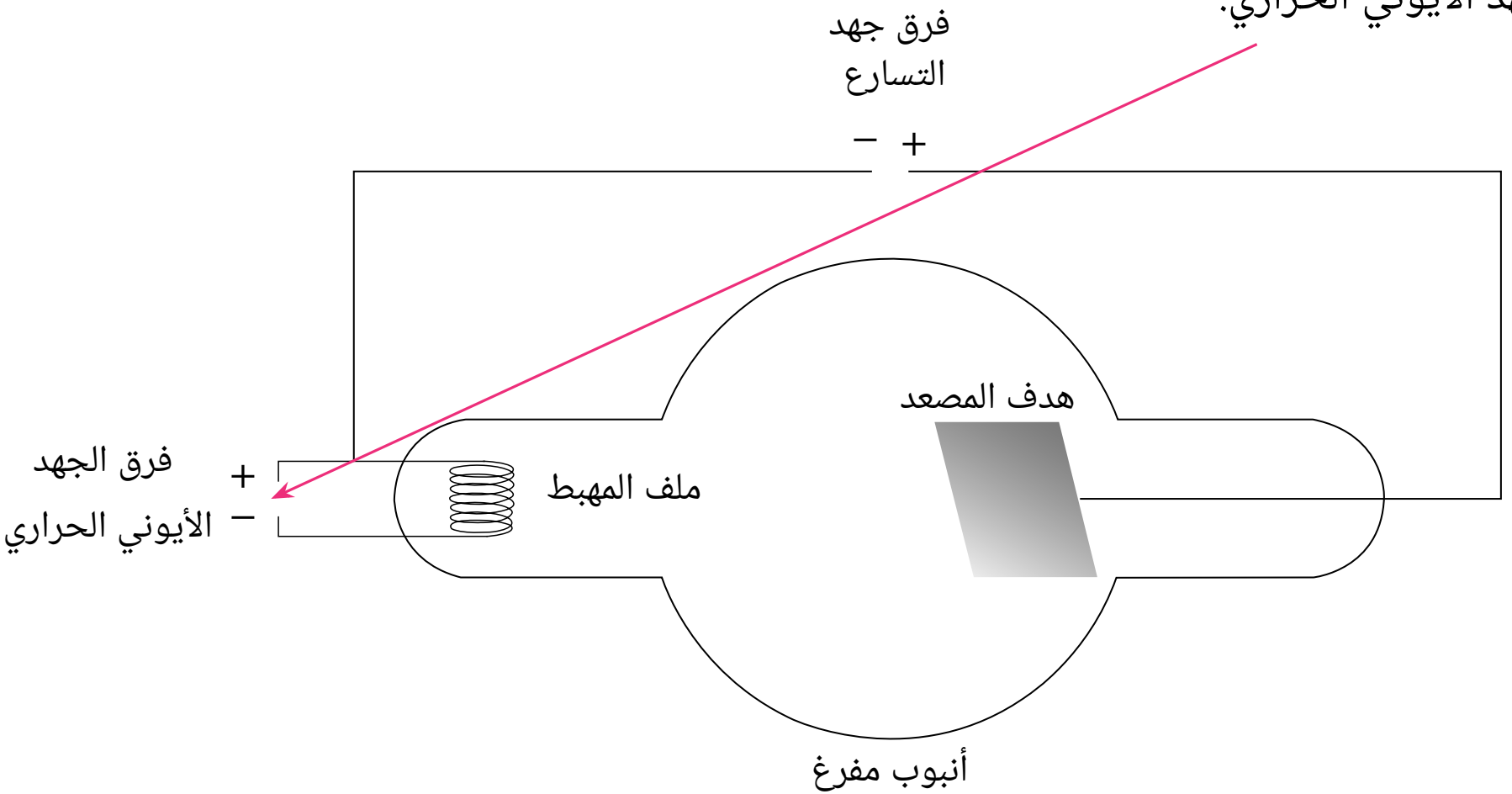
مهبط أنبوب كولِدج عبارة عن ملف.



أنابيب كولِدج (متابعة)

والملف موصَّل أيضًا بفرق جهد ثانٍ،

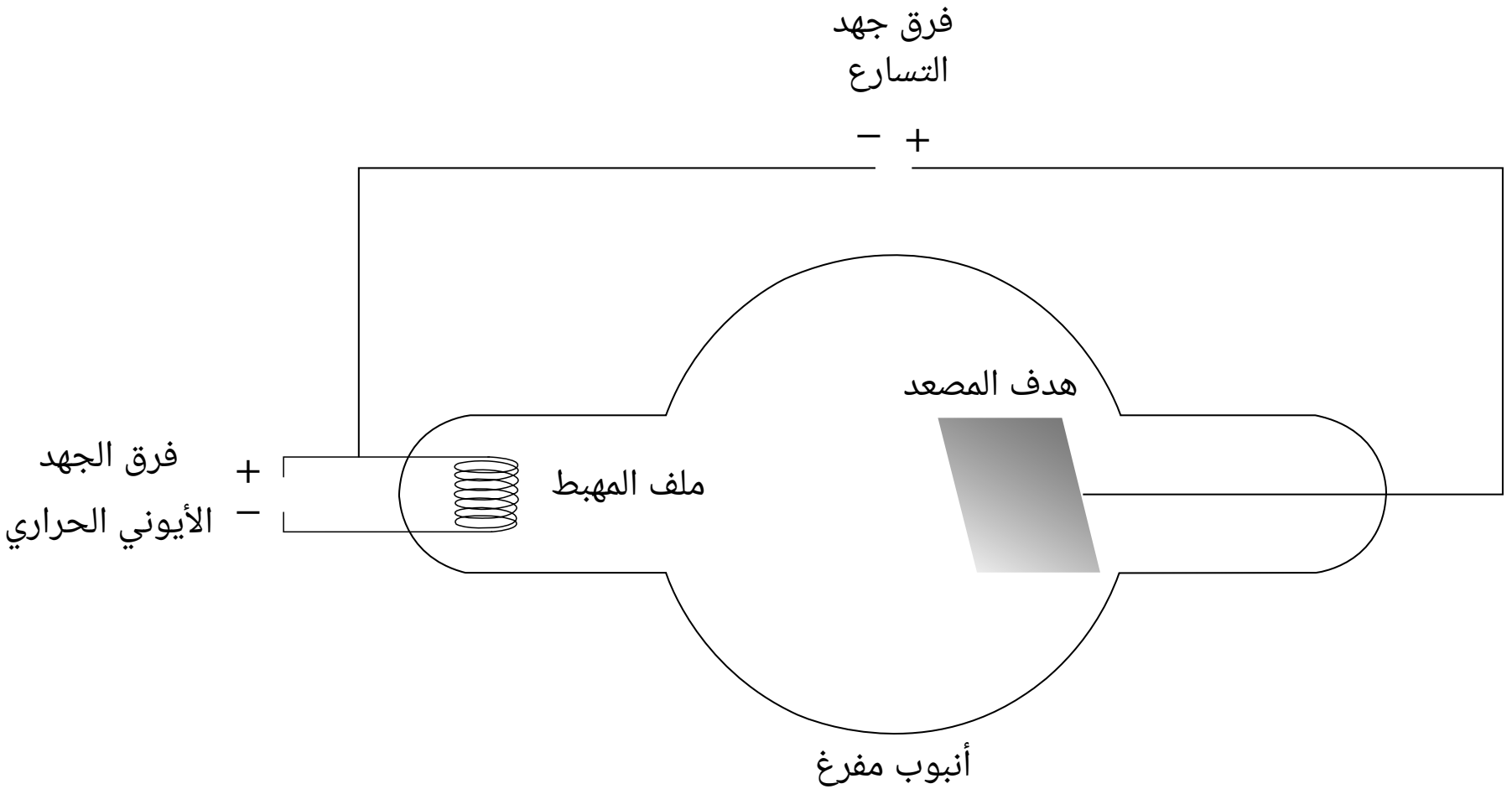
يُسمَّى فرق الجهد الأيوني الحراري.



أنابيب كولِدج (متابعة)

تنبعث الإلكترونات بالتأيُّن الحراري من ملف المهبط.

الانبعاث بالتأيُّن الحراري هو عملية انتقال الطاقة الحرارية إلى طاقة الإلكترونات الموجودة في ذرات مادة ما، مما يؤدي إلى تحرُّر الإلكترونات من هذه الذرات.



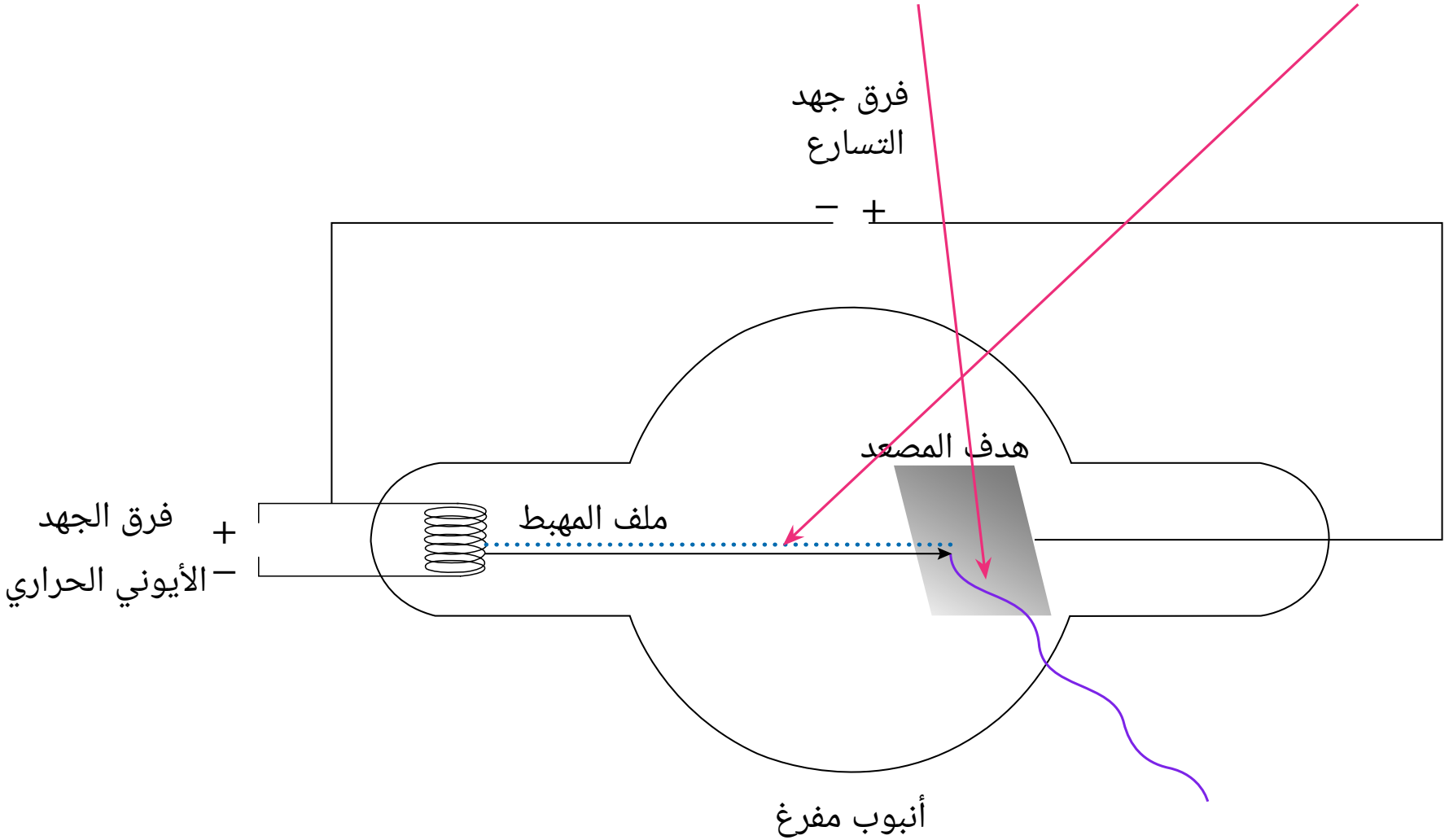
الانبعاث بالتأين الحراري في أنبوب كولِدج

من المهم أن نفهم أن تحرُّر الإلكترونات بالتأيُّن الحراري من ملف المهبط لا يولِّد الأشعة السينية. ويرجع السبب في ذلك إلى ما يأتي:

- يتطلب توليد الأشعة السينية الناتج عن تحرُّر الإلكترونات أن تتحرر الإلكترونات من مستويات طاقة منخفضة في الذرات. الإلكترونات المنبعثة بالتأيُّن الحراري تنبعث من مستويات طاقة عالية في الذرات.
- الإلكترونات المنبعثة بالتأيُّن الحراري لم تعد مرتبطة بالذرات بعد انبعاثها؛ لذا لا تنتقل إلى مستوى طاقة أي ذرة.
- لا تحتوي الذرات الموجودة في ملف المهبط على مستويات طاقة منخفضة فارغة لتنتقل إليها الإلكترونات المنبعثة.

حزمة الإلكترونات في أنبوب كولِدج

تُسرَّع الإلكترونات المنبعثة بالتأيُّن الحراري في اتجاه الهدف المصعد، وتُشكِّل حزمة.
وعندما تصطدم حزمة الإلكترونات بمادة الهدف، تتولَّد الأشعة السينية .



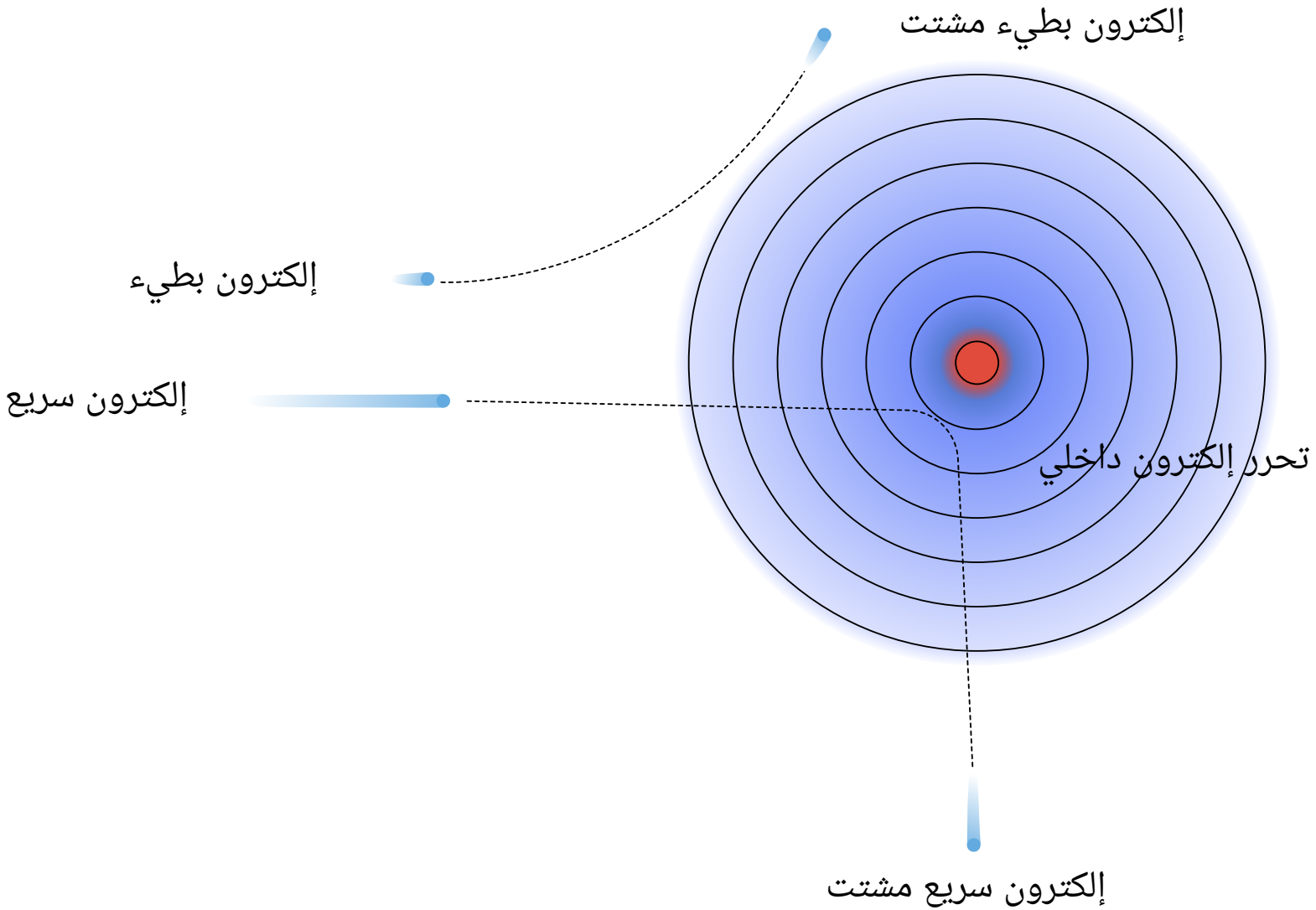
سرعات الإلكترونات في حزمة أنبوب كولِدج

تُبعِد إلكترونات مادة الهدف في أنبوب كولِدج الإلكترونات الناتجة من حزمة الإلكترونات في أنبوب كولِدج.

ولا تحرر إلكترونات الحزمة إلكترونات من مستويات الطاقة المنخفضة لذرات مادة الهدف، إلا إذا كانت للإلكترونات السرعة الكافية للوصول إلى مستويات الطاقة المنخفضة.

أما الإلكترونات الأبطأ، فتُشتَّت من ذرات مادة الهدف.

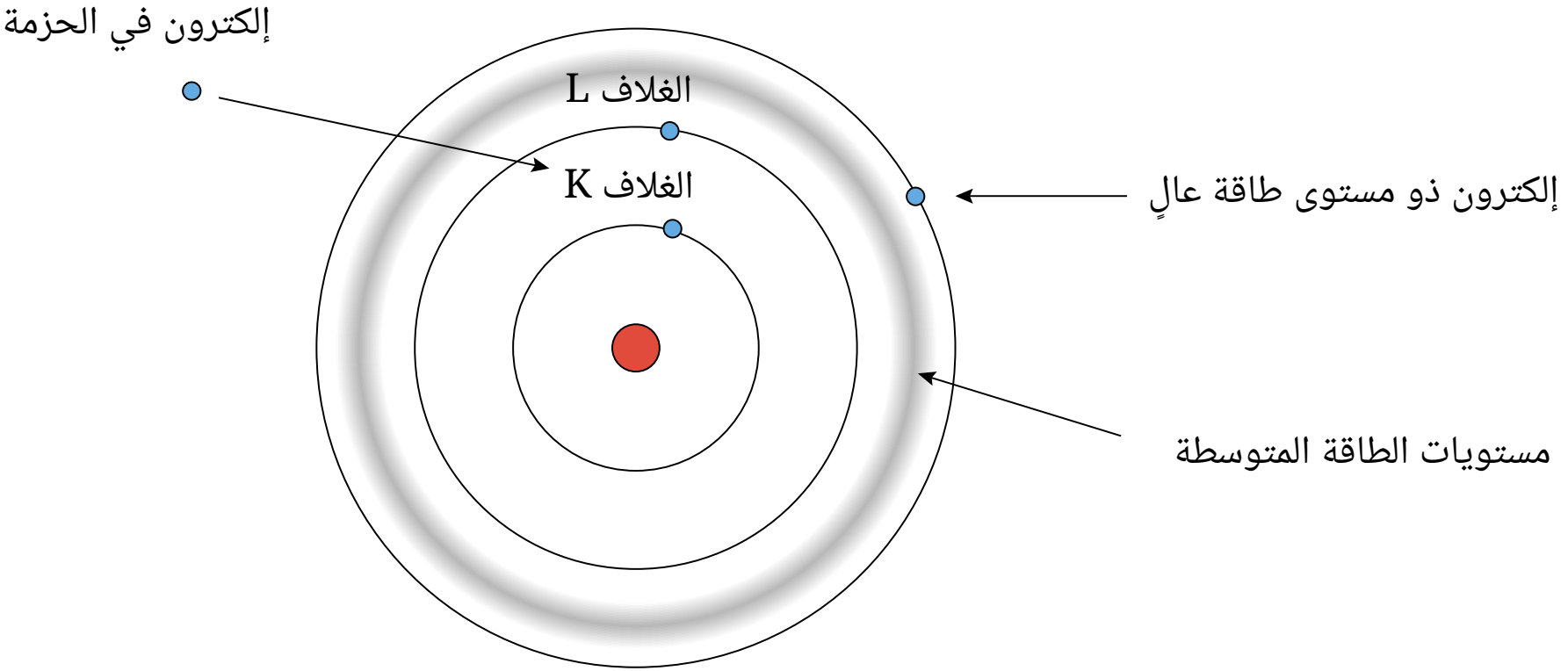
سرعات الإلكترونات في حزمة أنبوب كولِدج (متابعة)



لنتناول الآن مثالًا يتضمن تولُّد الأشعة السينية بتحرر الإلكترونات.

مثال ١: مقارنة طاقة فوتونات الأشعة السينية المتولدة نتيجة انتقالات الإلكترونات بين مستويات الطاقة

يوضِّح الشكل ذرة في مادة الهدف المستخدمة في أنبوب كولِدج الذي يولد الأشعة السينية. يمكن لإلكترون من حزمة الإلكترونات المستخدمة في الأنبوب أن يُحرِّر إلكترونًا من الغلاف K أو الغلاف L للذرة. أيٌّ مما يأتي يَنتج عنه انبعاث فوتون أشعة سينية من الذرة بطاقة أكبر؟



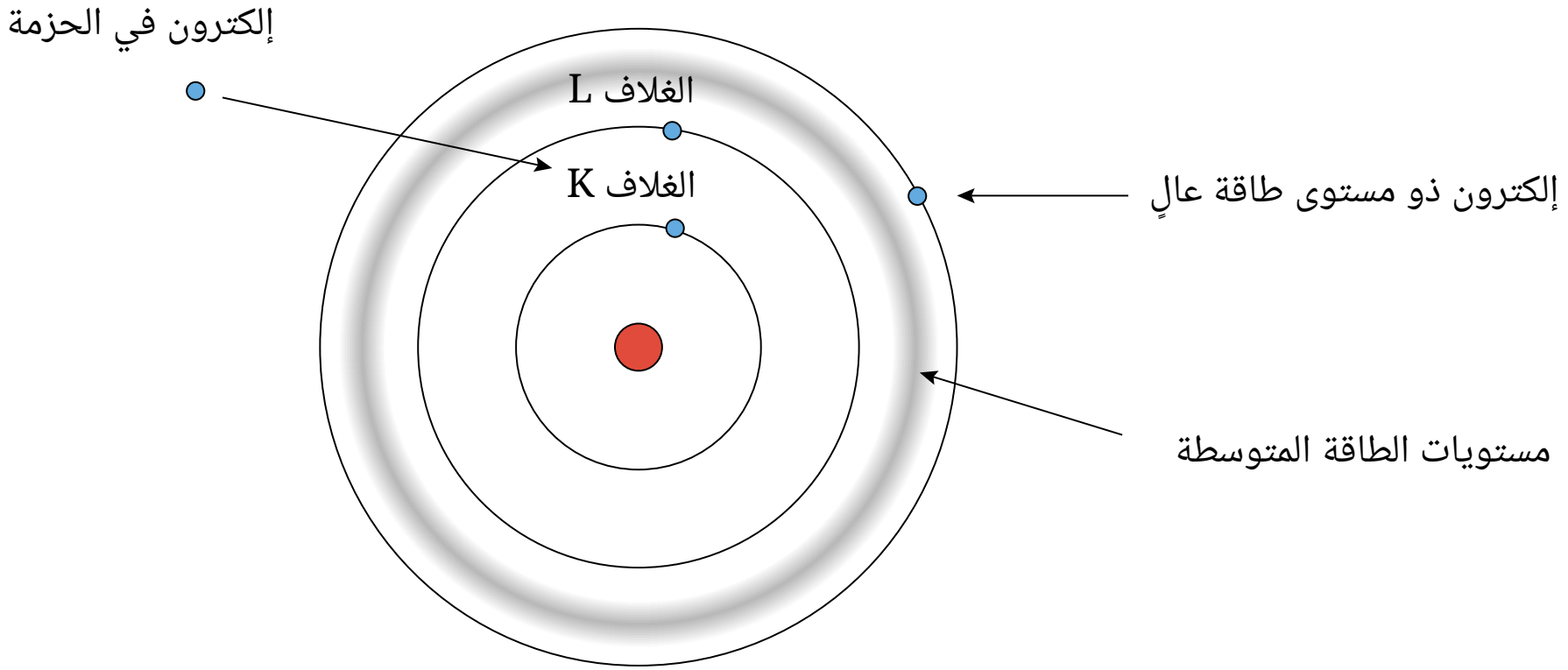
مثال ١ (متابعة)

أ. تحرُّر إلكترون من الغلاف K للذرة.

ب. تحرُّر إلكترون من الغلاف L للذرة.

ج. طاقة فوتون الأشعة السينية المنبعث من الذرة، ستكون لها قيمة ثابتة أيًّا كان الإلكترون المتحرِّر.

د. طاقة فوتون الأشعة السينية المنبعث من الذرة، ستعتمد على الطاقة الابتدائية لإلكترون الحزمة، وعلى أيِّ إلكترون أيضًا من إلكترونات الذرة سيتحرر.



مثال ١ (متابعة)

الحل

تُعطى طاقة فوتون الأشعة السينية المنبعث E، بالمعادلة:

$$E = E_{\text{الابتدائية}} - E_{\text{النهائية}},$$

حيث يمثِّل $E_{\text{الابتدائية}}$ و$E_{\text{النهائية}}$ مستويَي طاقة إلكترون الذرة الذي ينتقل من مستوى طاقة أعلى إلى مستوى طاقة أقل.

يتحرر إلكترون من الذرة بواسطة إلكترون من حزمة الإلكترونات التي تصطدم بهدف أنبوب كولِدج.

طاقة إلكترون الحزمة يجب أن تكون كافية لتحرير إلكترون من الذرة. وهذه هي السمة الضرورية الوحيدة لطاقة إلكترون الحزمة؛ حيث إن طاقة فوتون الأشعة السينية لا تأتي من طاقة إلكترون الحزمة.

مثال ١ (متابعة)

من المفيد ملاحظة أن المعادلة:

$$E = E_{\text{الابتدائية}} - E_{\text{النهائية}}$$

لا تحتوي على حد يتعلق بطاقة إلكترون الحزمة. ومن ثَمَّ يمكننا استبعاد الخيار القائل بأن طاقة فوتون الأشعة السينية المنبعث من الذرة ستعتمد على الطاقة الابتدائية لإلكترون الحزمة، وعلى أيِّ إلكترون أيضًا من إلكترونات الذرة سيتحرر.

توضِّح هذه المعادلة أن طاقة فوتون الأشعة السينية تعتمد على الفرق في الطاقة بين مستوى الطاقة الابتدائي ومستوى الطاقة النهائي لإلكترون الذرة الذي تنخفض طاقته.

أكبر انخفاض في الطاقة يمكن أن يحدث نتيجة تغيير إلكترون لمستوى طاقته، هو ذلك الذي يحدث أثناء انتقال إلكترون مستوى الطاقة العالي الموضَّح إلى مستوى طاقة الإلكترون المتحرر. ونلاحظ من السؤال أن الإلكترونين المتحررين المحتملين لهما مستويا طاقة مختلفان. فإلكترون الغلاف L له طاقة أكبر من إلكترون الغلاف K.

مثال ١ (متابعة)

ومن ثَمَّ نلاحظ أن المعادلة:

$$E = E_{\text{الابتدائية}} - E_{\text{النهائية}}$$

يمكن أن يكون لها القيمة:

$$E = E_{\text{الابتدائية}} - E_{\text{L}}$$

أو القيمة:

$$E = E_{\text{الابتدائية}} - E_{\text{K}}$$

حيث:

$$E_{\text{L}} > E_{\text{K}}$$

مثال ١ (متابعة)

نلاحظ من هذا أن:

$$E_{\text{الابتدائية}} - E_{\text{K}} > E_{\text{الابتدائية}} - E_{\text{L}}$$

وهذا يخبرنا بأن طاقة الفوتون تكون أكبر عند انتقال إلكترون مستوى الطاقة العالي إلى الغلاف K مقارنةً بانتقاله إلى الغلاف L.

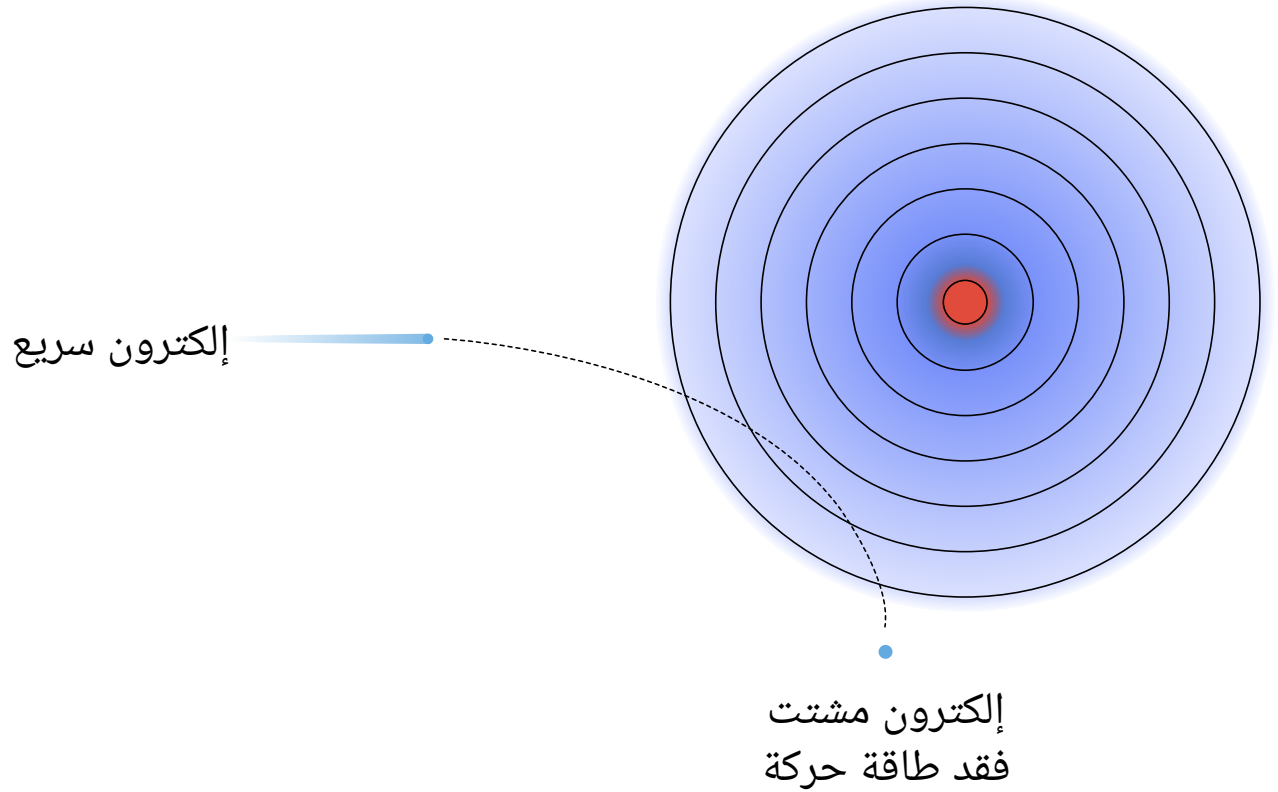
إذن الإجابة الصحيحة هي تحرر إلكترون من الغلاف K للذرة.

تولُّد الأشعة السينية عن طريق تشتُّت الإلكترونات

يمكن توليد الأشعة السينية حين تنخفض طاقة الإلكترونات الحرة.

من الممكن ألا يُحرِّر إلكترون سريع إلكترونًا من الذرة التي يتفاعل معها.

وفي هذه الحالة يظل الإلكترون السريع متأثرًا بقوى التنافر من الذرة، ومن ثَمَّ يمكن أن تنخفض طاقته أيضًا.



تولُّد الأشعة السينية عن طريق تشتُّت الإلكترونات (متابعة)

يمكن لمقدار طاقة الإلكترون الحر التي انخفضت أن تنبعث في صورة فوتون منفرد. وفي هذه الحالة تكون أقصى طاقة للفوتون المنبعث هي الطاقة الابتدائية للإلكترون الحر. وهذا يناظر تَساوي الانخفاض في طاقة الإلكترون الحر مع طاقته الابتدائية.

تُسمى الأشعة السينية المنبعثة غير الناتجة عن تحرُّر إلكترونات من ذرات أشعة الانكباح السينية. فكلمة «bremsstrahlung» هي كلمة ألمانية تعني «الانكباح».

وحدة الإلكترون فولت

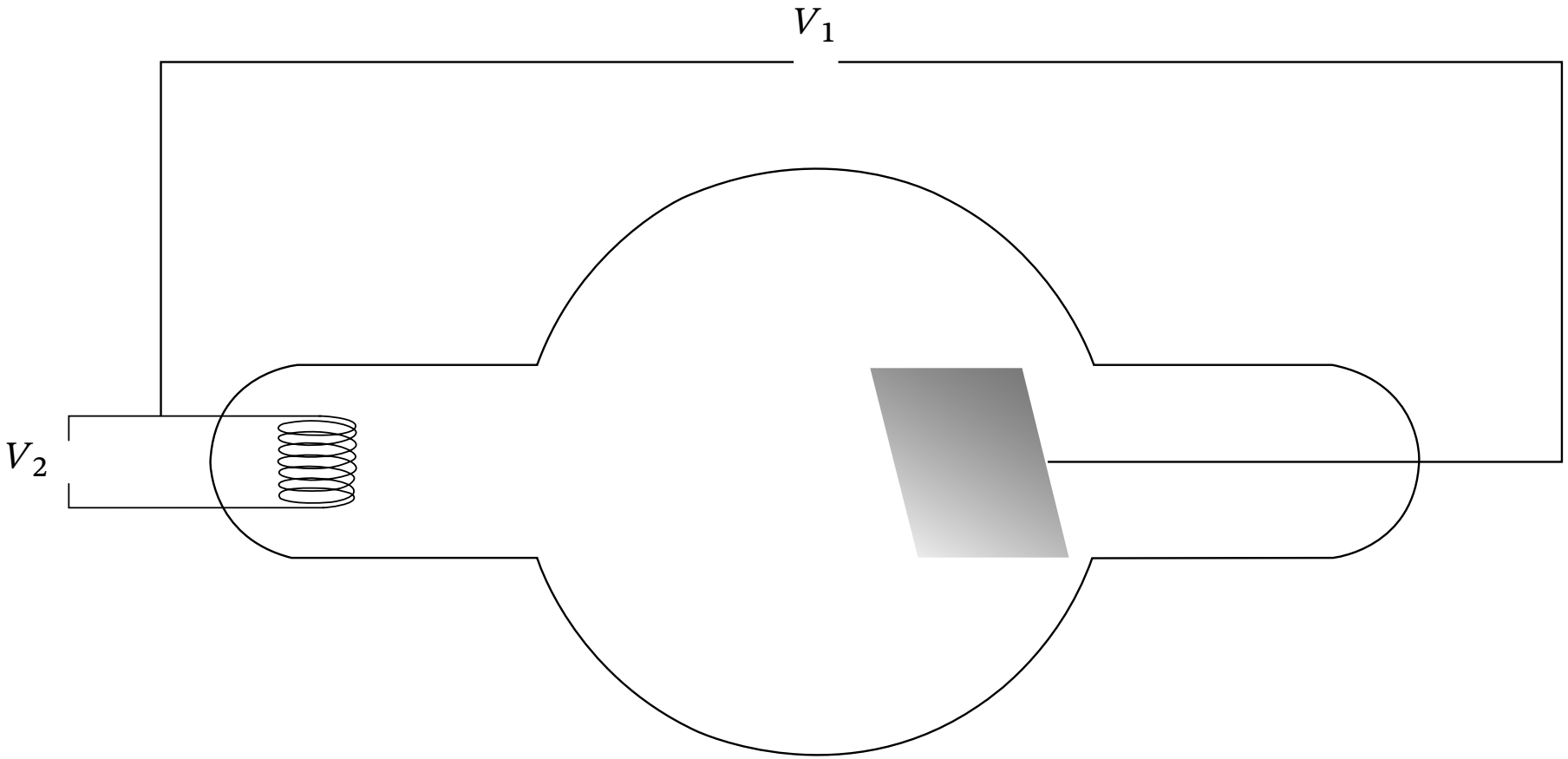
من المناسب استخدام وحدة الإلكترون فولت (eV) عند التعامل مع طاقة الإلكترونات المُسرَّعة.

$$1\,\mathrm{eV} \approx 1.6 \times 10^{-19}\,\mathrm{J}.$$

لنتناول الآن مثالًا يتضمن طاقة فوتونات الأشعة السينية المتولدة بواسطة أنبوب كولِدج.

مثال ٢: إيجاد الطاقة القصوى للأشعة السينية المتولِّدة من أنبوب كولِدج

يوضِّح الشكل أنبوب كولِدج المُستخدَم لتوليد الأشعة السينية. فرق الجهد $V_1 = 60\,\text{kV}$، وفرق الجهد $V_2 = 12\,\text{V}$. ما الطاقة القصوى للأشعة السينية التي يمكن أن يولدها الأنبوب؟



مثال ٢ (متابعة)

الحل

الطاقة القصوى للأشعة السينية التي يمكن أن يولدها أنبوب كولِدج تساوي طاقة الإلكترونات، التي يسرِّعها الأنبوب، عندما تصل إلى الهدف.

وعند وصولها إلى الهدف، تساوي طاقة الإلكترونات المُسرَّعة الطاقة المنتقلة إليها بواسطة فرق الجهد الذي يسرِّعها.

يوضِّح الشكل فرقَي الجهد $V_1 = 60\,\text{kV}$ و$V_2 = 12\,\text{V}$.

قيمة V_1 هي $60\,\text{kV}$. وهي تساوي 60 كيلو فولت، أو 60 000 فولت.

فرق الجهد المُطبَّق عبر مهبط أنبوب كولِدج ومصعده، ومن ثمَّ فرق الجهد الذي يسرِّع الإلكترونات، هو V_1.

حيث إن قيمة V_1 تساوي $60\,\text{kV}$، تُعطَى الطاقة القصوى للإلكترونات التي يُسرِّعها V_1 بالمعادلة:

$$W = \text{e كولوم} \times 60\,000\ \text{V} = 60\,000\text{e جول}$$

ويمكن التعبير عن هذا أيضًا بـ 60 000 إلكترون فولت (eV)، أو 60 كيلو إلكترون فولت (keV).

طيف أشعة الانكباح في أنبوب كولِدج

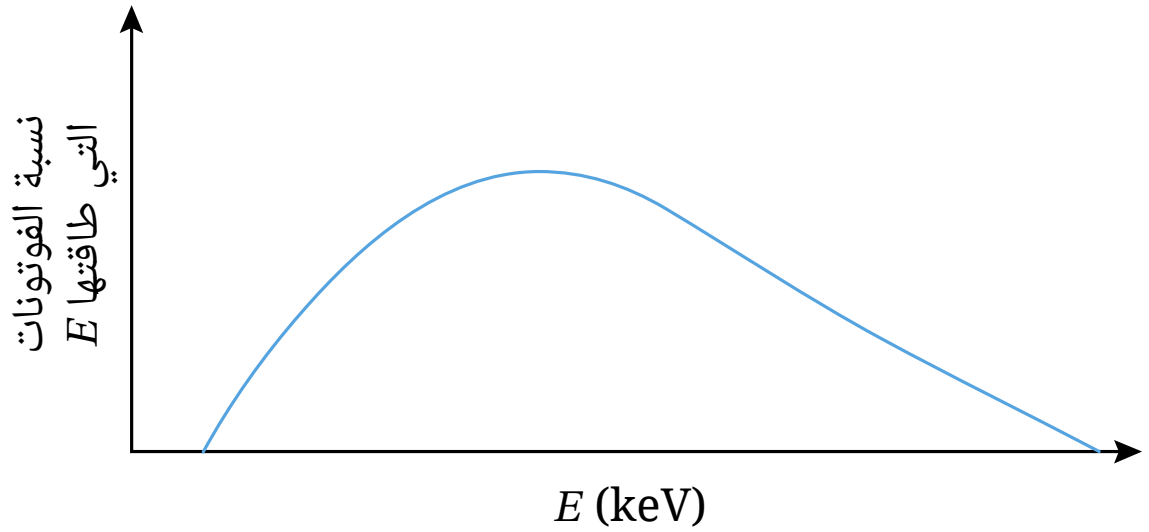
عرفنا أن فوتون الأشعة السينية يمكن أن يناظر إلكترونًا حرًّا تنخفض طاقته من طاقته الابتدائية إلى صفر. بالإضافة إلى ذلك هناك احتمالان آخران يجب أخذهما في الاعتبار:

- انخفاض طاقة الإلكترون الحر، لكن ليس إلى صفر.
- انبعاث أكثر من فوتون من الإلكترون الحر أثناء انخفاض طاقته.

تعني هذه الاحتمالات أن طاقات فوتونات أشعة الانكباح السينية المنبعثة من أنبوب كولِدج يمكن أن تتباين، بناءً على مقدار انخفاض طاقة الإلكترونات الحرة، وعدد الفوتونات المنبعثة من الإلكترونات الحرة أثناء انخفاض طاقتها.

طيف أشعة الانكباح في أنبوب كولِدج (متابعة)

يوضِّح الشكل الآتي طيف فوتونات أشعة الانكباح السينية المتولدة من أنبوب كولِدج.

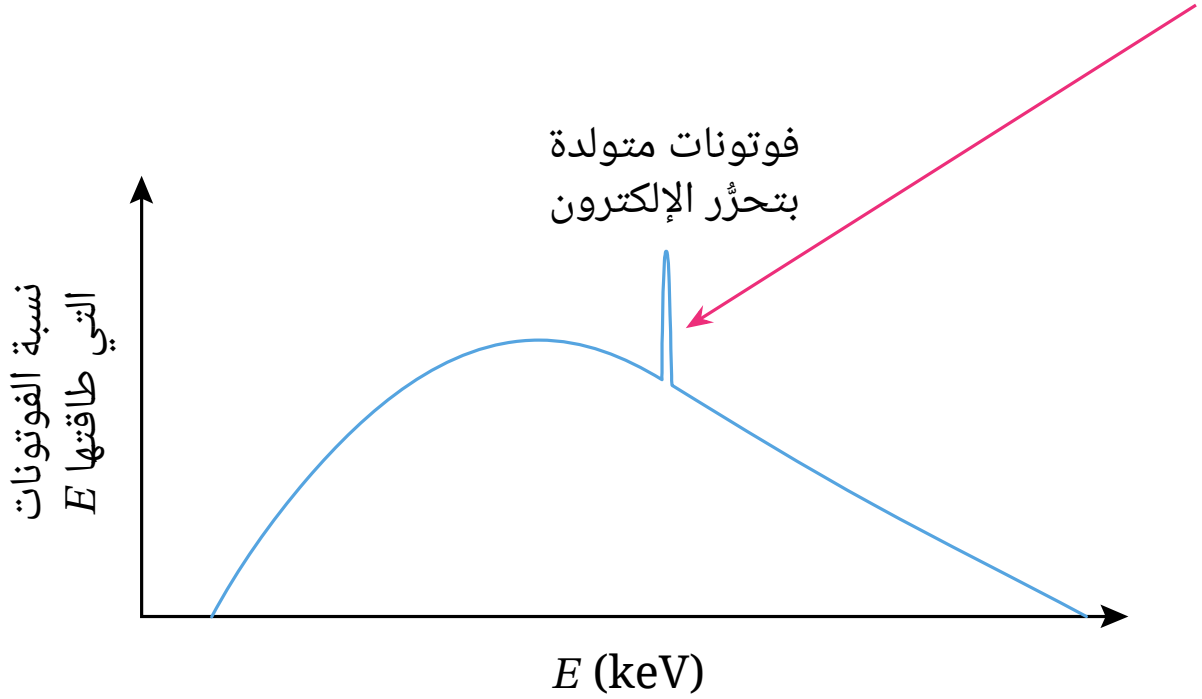


يمكننا أن نلاحظ من الطيف أن النهاية عالية الطاقة لِلطَّيف تمثِّل أقصى طاقة للفوتون يمكن أن يولِّدها الأنبوب، وهي تناظر طاقة الإلكترونات المُسرَّعة.

الخط المُميِّز لطيف أنبوب كولِدج

يوضِّح الشكل الآتي طيف أنبوب كولِدج آخر. يحتوي الطيف على «قفزة» توضِّح مدًى ضيقًا جدًّا من طاقات الفوتون التي تتولد ضمنها فوتونات أكثر من تلك المتولدة ضمن طاقات مماثلة خارج المدى الضيق.

تُسمى هذه القفزة بالخط المُميِّز للطَّيف.



الخط المُميِّز لطيف أنبوب كولِدج (متابعة)

يظهر الخط المُميِّز في طيف الأشعة السينية بسبب انتقالات طاقة الإلكترون الناتجة عن تحرر الإلكترونات.

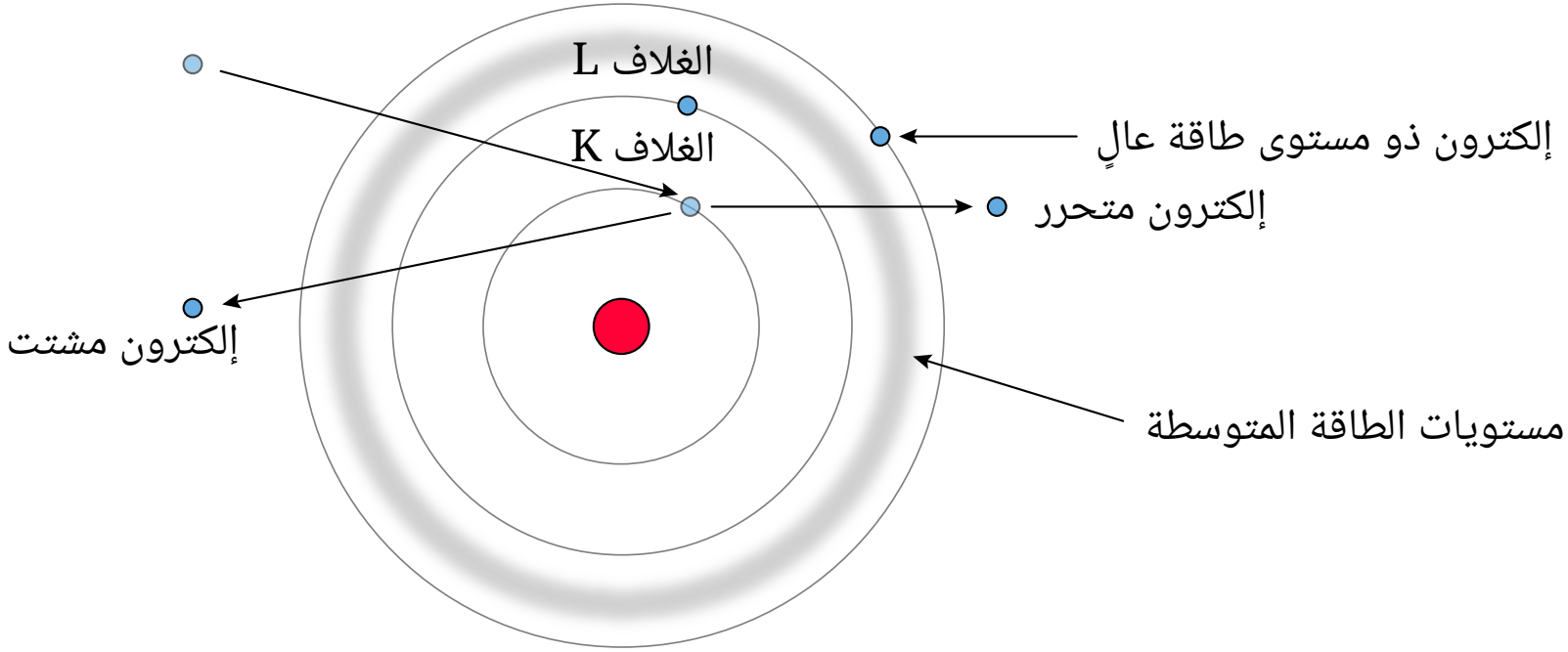
وتناظر طاقات القفزة الانتقالات بين مستويات طاقة الإلكترون في الذرة.

وتضاف نسبة الفوتونات المتولدة عن هذه الانتقالات إلى نسبة فوتونات أشعة الانكباح التي لها هذه الطاقة.

لنتناول الآن مثالًا يتضمن تولُّد الخطوط المُميِّزة.

مثال ٣: تحديد التغيُّر في طاقة إلكترون يولِّد خطًّا طيفيًّا سينيًّا مُميِّزًا

يوضِّح الشكل ذرة في مادة الهدف في أنبوب كولِدج الذي يولِّد الأشعة السينية. يُحرِّر إلكترون من حزمة الإلكترونات المستخدمة في الأنبوب إلكترونًا من الغلاف K للذرة، ثمَّ يتشتَّت. يمكن أن ينتقل إلكترون مستوى الطاقة العالي، أو إلكترون الغلاف L، إلى الغلاف K. أيُّ إلكترون سيولد فوتونًا يمثِّل جزءًا من خط الطيف المميز وبطاقة أقرب إلى القيمة القصوى لطاقة الطيف؟



أ. الإلكترون ذو مستوى الطاقة العالي.

ب. الإلكترون المتحرر.

ج. الإلكترون المشتت.

د. إلكترون الغلاف L.

هـ. جميع الإلكترونات.

مثال ٣ (متابعة)

الحل

الخط المُميِّز لِطَيف الأشعة السينية عبارة عن مدًى ضيق للغاية من طاقات الفوتون التي تتولد ضمنها فوتونات أكثر من تلك المتولدة ضمن طاقات مماثلة خارج هذا المدى الضيق.

يتولد مزيد من الفوتونات في المدى الضيق من الطاقات؛ لأن الفوتونات التي لها هذه الطاقات يمكن توليدها بواسطة إلكترونات أشعة الانكباح، وكذلك بواسطة تحرُّر الإلكترونات من الذرات.

الخط المُميِّز لِلطَّيف مهم لأنه يولِّد فوتونات تقع في مدى تردد محدود يتجاوز تولُّد أشعة الانكباح لتلك الترددات. ومن ثَمَّ لا تُعد عملية تولُّد أشعة الانكباح جزءًا من الخط المُميِّز.

وهذا يعني أن هذه الحالة ليست الحالة التي يُسهِم فيها الإلكترون المشتت في الخط المُميِّز، ومن ثَمَّ لا يمكن أن تكون أيضًا هي الحالة التي تكون فيها الإلكترونات الموجودة في الشكل كافة ضمن الخط المُميِّز.

مثال ٣ (متابعة)

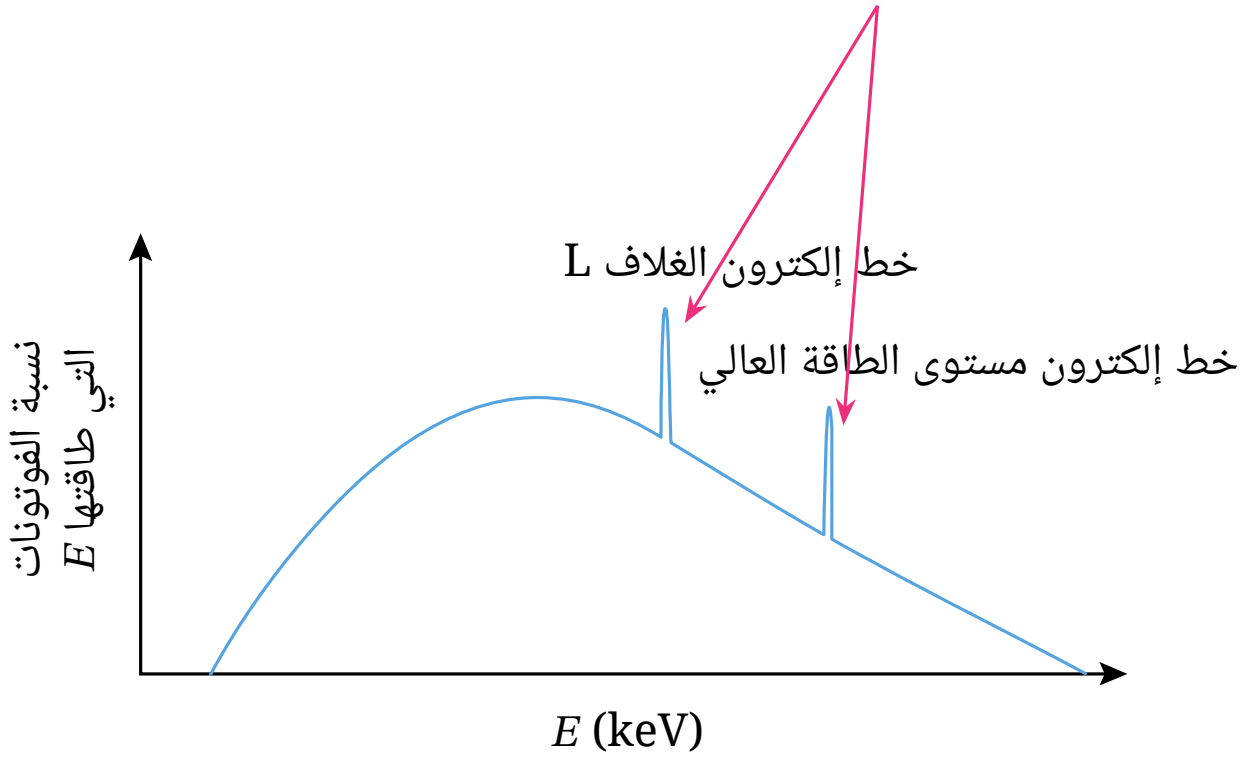
يمكن أن يولد الإلكترون المتحرر أشعة الانكباح السينية، لأن طاقته قد تنخفض بعد تحرره. ومثل هذه الأشعة السينية ليس جزءًا من الخط المُميِّز.

وهذا يترك خيار الإلكترون ذي مستوى الطاقة العالي أو خيار إلكترون الغلاف L.

يتمثَّل الفرق بين هذين الإلكترونين فيما يخص الانتقال إلى الغلاف K، في أن طاقة إلكترون مستوى الطاقة العالي تنخفض أكثر من طاقة إلكترون الغلاف L. ومن ثَمَّ يكون لفوتون الأشعة السينية المتولد بانتقال إلكترون مستوى الطاقة العالي طاقةٌ أكبر.

مثال ٣ (متابعة)

يوضِّح الشكل الآتي الموضعين المحتملين للخطوط المُميِّزة.



لا يمكن أن يكون للخط المُميِّز لِطَيف الأشعة السينية قيمة طاقة أكبر من القيمة القصوى لطاقة الطيف. وهذا يعني أن خط إلكترون مستوى الطاقة العالي يجب أن يكون أقرب إلى القيمة القصوى لطاقة الطيف.

إذن الإجابة الصحيحة هي أن إلكترون مستوى الطاقة العالي سيولد فوتونًا يمثِّل جزءًا من الخط المُميِّز الذي له طاقة أقرب إلى القيمة القصوى لطاقة الطيف.

تأثير فرق جهد التسارع على طيف أنبوب كولِدج

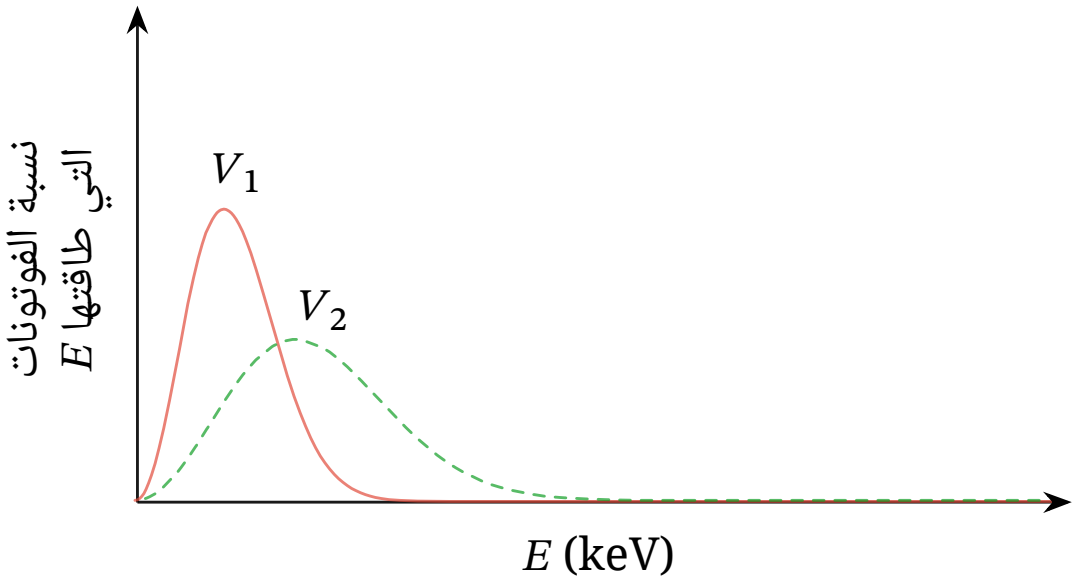
مادة الهدف المستخدمة تُحدِّد الخطوط المُميِّزة التي يمكن أن تكون موجودة في طيف أنبوب كولِدج.

فرق جهد التسارع يحدِّد القيمة القصوى لطاقة الطيف.

يحدِّد فرق جهد التسارع أيضًا الطاقة التي يتولد عندها أكبر نسبة من الفوتونات.

تأثير فرق جهد التسارع على طيف أنبوب كولِدج (متابعة)

يوضِّح الشكل الآتي طيفين لفوتونات أشعة الانكباح لاثنين من أنابيب كولِدج باستخدام فرقَي جهد تسارع V_1 وV_2، حيث $V_2 > V_1$.

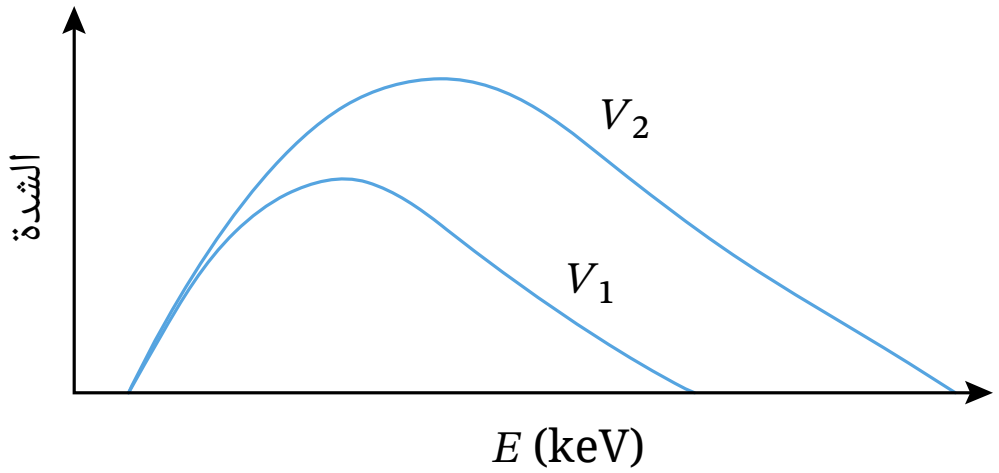


نلاحظ أن هذين الطيفين يتخذان شكل التلِّ بعض الشيء.

قمة تلِّ الطيف الذي له قيمة طاقة قصوى أكبر تناظر قيمة طاقة أكبر من قمة تلِّ الطيف الذي له قيمة طاقة قصوى أقل.

تأثير فرق جهد التسارع على طيف أنبوب كولِدج (متابعة)

يوضح الشكل الآتي طيفي شدة الإشعاع لاثنين من أنابيب كولِدج باستخدام فرقي جهد تسارع V_1 وV_2، حيث $V_2 > V_1$.



تأثير فرق جهد التسارع على طيف أنبوب كولِدج (متابعة)

يمكننا أن نفهم الفرق بين شكلَي الطيفين هُنا بالنظر إلى طاقة الإلكترونات التي تولدهما. تنبعث أشعة الانكباح السينية من الإلكترونات عندما تنخفض طاقة هذه الإلكترونات. وتعني زيادة الطاقة الابتدائية لهذه الإلكترونات أن هذه الإلكترونات يمكن أن تغيِّر الطريقة التي تبعث بها الفوتونات بطريقتين مختلفتين:

- يمكن أن يبعث الإلكترون فوتونًا ذا طاقة أكبر.
- يمكن أن ينبعث عدد أكبر من فوتونات لها طاقة معينة.

تعتمد شدة إشعاع الأشعة السينية المنبعثة بطاقة معينة من أنبوب كولِدج على كلٍّ من عدد الفوتونات المتولدة بطاقة معينة وطاقة الفوتونات.

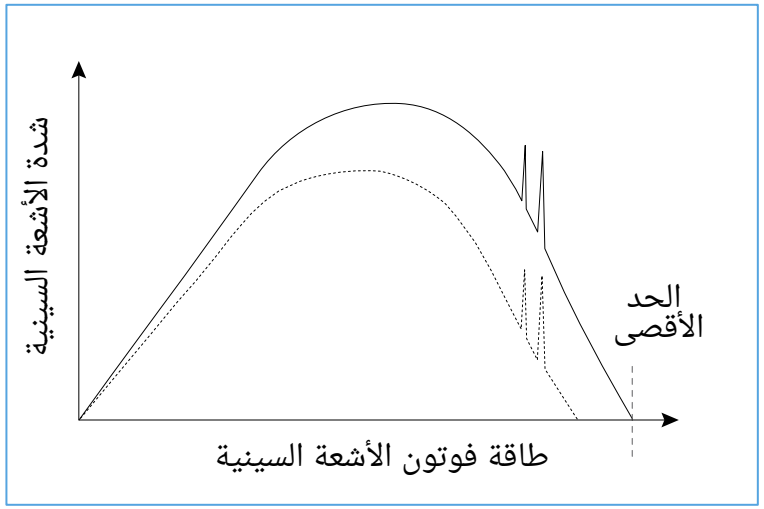
من المهم أيضًا ملاحظة أن أي إلكترون له طاقة ابتدائية أكبر يمكن أن يقترب بسهولة أكثر وبدرجة كافية من نواة الذرة؛ لتحرير إلكترون من مستوى طاقة أقل، مقارنةً بإلكترون له طاقة ابتدائية أقل.

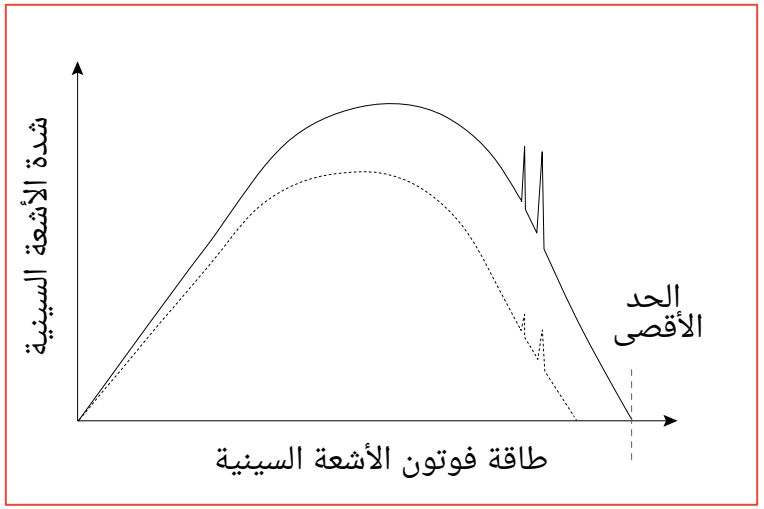
لنتناول الآن مثالًا يقارن بين جهد التسارع لأنبوب كولِدج وطيف الأشعة السينية للأنبوب.

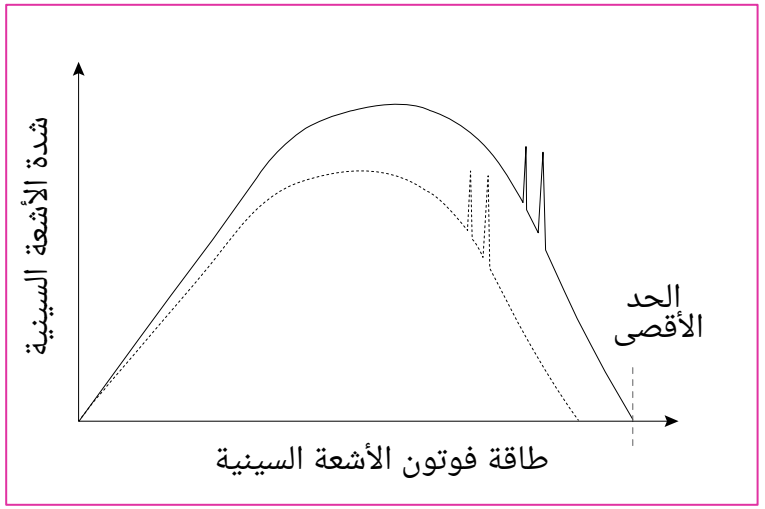
مثال ٤: مقارنة فرق جهد التسارع لأنبوب كولِدج بالخطوط الطيفية المُميِّزة المتولدة منه

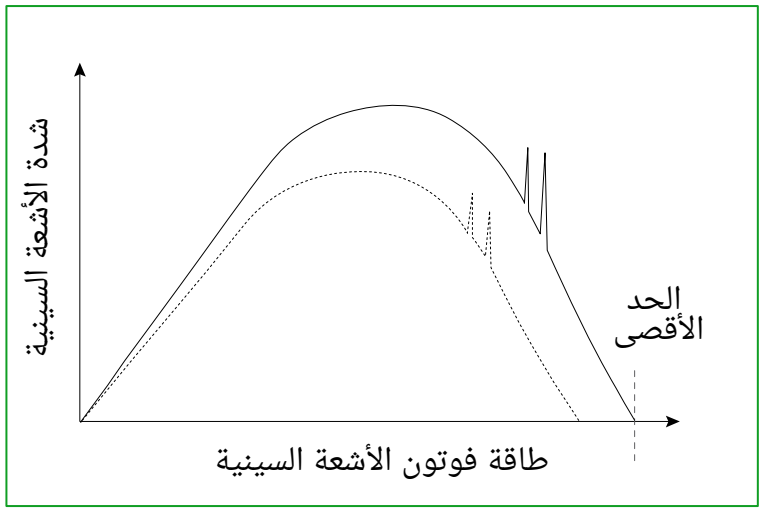
يوضِّح الخط المتصل على التمثيل البياني الشدة النسبية للأشعة السينية في طيف الأشعة السينية لمختلف طاقات فوتون الأشعة السينية الناتجة عن اصطدام حزمة من الإلكترونات بالهدف. يوضِّح الخط المُنقَّط على التمثيل البياني أشعة الانكباح التي ستَنتج عن اصطدام حزمة إلكترونات بالهدف نفسه، لكن عند تسارعها عبر فرق جهد أقل. أيٌّ مما يأتي يوضِّح توضيحًا صحيحًا الخطوط المُميِّزة التي ستُرصَد عند استخدام حزمة الإلكترونات ذات الجهد الأقل؟

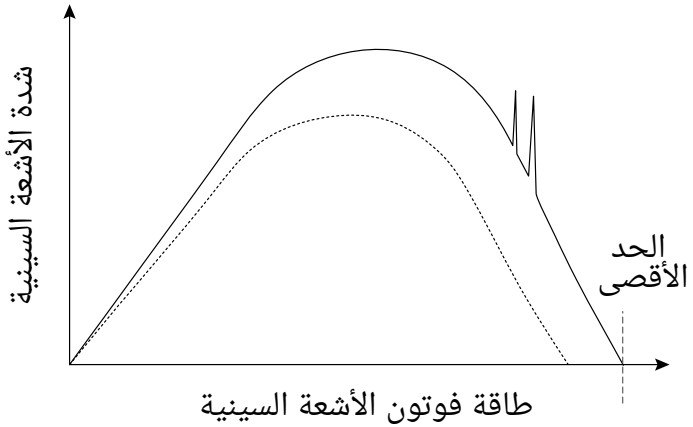
مثال ٤ (متابعة)

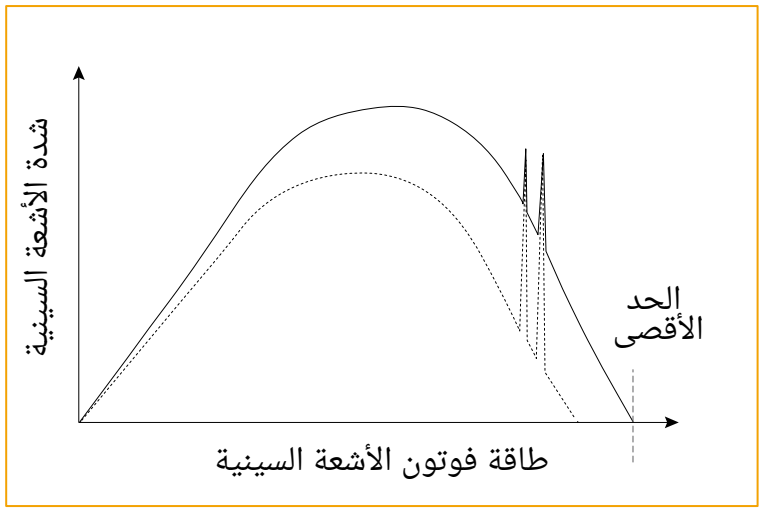










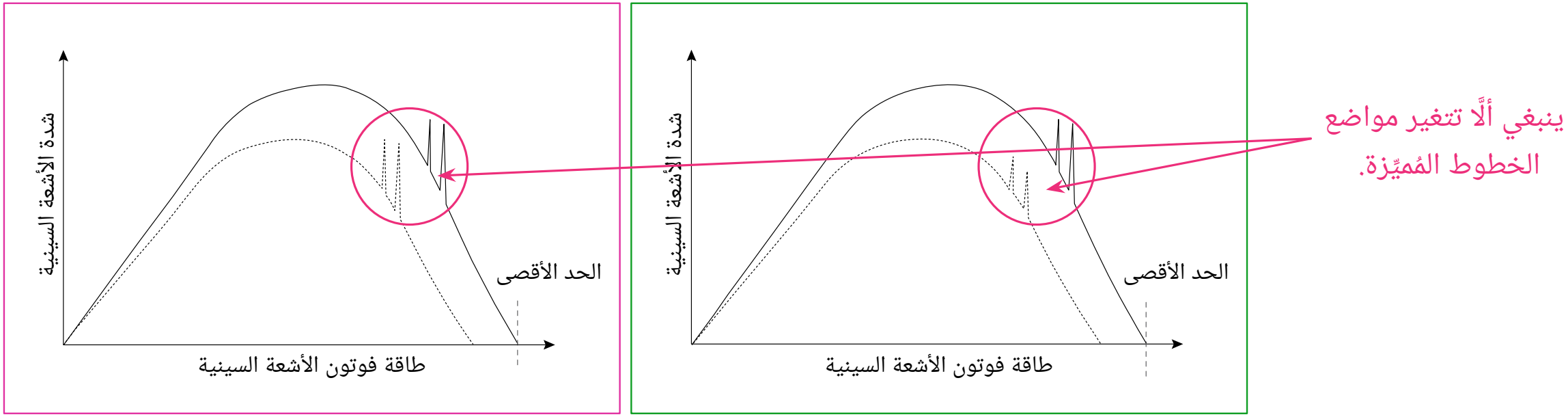


مثال ٤ (متابعة)

الحل

الخطوط المُميِّزة لِطَيف الأشعة السينية لها قيم طاقة ثابتة بفعل مادة الهدف المستخدمة في أنبوب كولِدج. ولا يمكن أن يؤدي تغيير فرق الجهد الذي يُسرِّع الإلكترونات إلى تغيير هذه الطاقة.

هذا يعني أن موضع الخطوط المُميِّزة على محور الطاقة في الرسم البياني لا يمكن أن يتغير. ومن ثَمَّ يمكن استبعاد التمثيلين البيانيَّين الموضَّحين بالإطارين الوردي والأخضر.



مثال ٤ (متابعة)

توضِّح جميع التمثيلات البيانية المتبقية خطوطًا مُميِّزة ذات طاقات صحيحة. لكن شدة الخطوط مختلفة في كل تمثيل بياني.

يمكننا ملاحظة ما يأتي:

- في التمثيل البياني ذي الإطار الأزرق، انخفضت شدة القيمة القصوى للخطوط المُميِّزة بنفس المقدار تقريبًا الذي انخفضت به شدة أشعة الانكباح لهذه الطاقات.
- في التمثيل البياني ذي الإطار الأصفر، لم تنخفض شدة القيمة القصوى للخطوط المُميِّزة.
- في التمثيل البياني ذي الإطار الأحمر، انخفضت شدة القيمة القصوى للخطوط المُميِّزة بمقدار أكبر بكثير من انخفاض شدة أشعة الانكباح لهذه الطاقات.

لكي نحدِّد أيٌّ من هذه التمثيلات البيانية الثلاثة صحيح، علينا التفكير في النقاط الآتية.

الخطوط المُميِّزة لها قيم طاقة أقل من طاقة الفوتون القصوى التي تولِّدها الإلكترونات بعد انخفاض فرق جهد التسارع. وهذا يعني أنه بعد انخفاض فرق الجهد، تظل لدى الإلكترونات طاقة كافية لتحرير الإلكترونات من الذرات، وتوليد خطوط طيفية مُميِّزة.

مثال ٤ (متابعة)

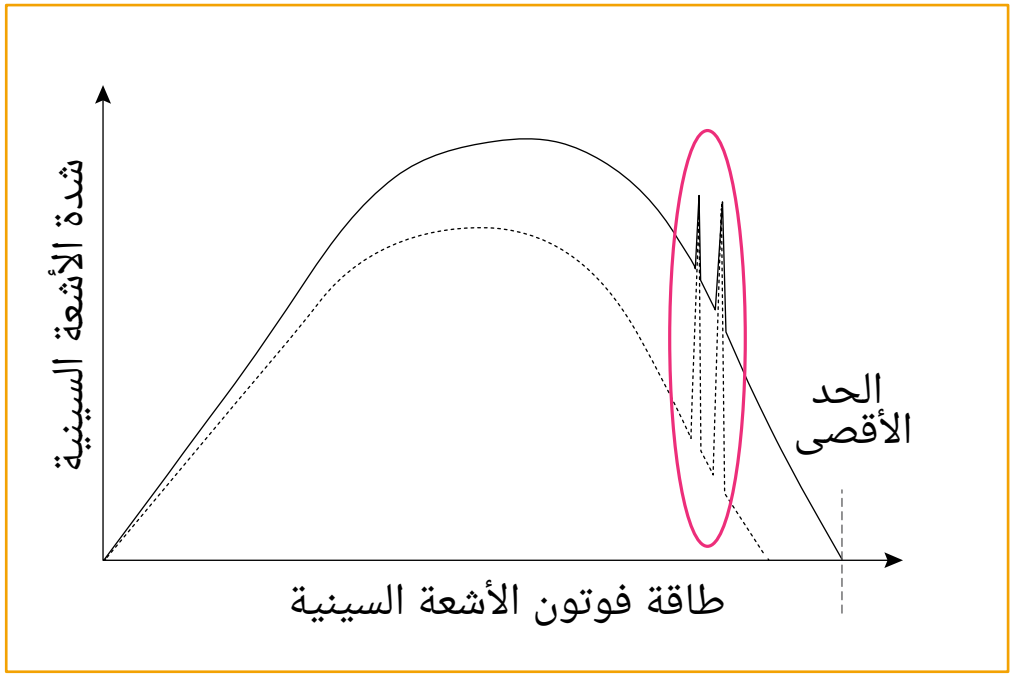
ومن ثَمَّ نلاحظ أن إلكترونات الحزمة التي ستحرر الإلكترونات من ذرات الهدف ستظل تفعل ذلك بعد انخفاض فرق جهد التسارع. نفترض هنا أن إلكترونات الحزمة كلها متساوية في الطاقة.

خفض فرق الجهد الذي يُسرِّع الإلكترونات لا يقلل عدد الإلكترونات في حزمة الإلكترونات، وإنما يقلل فقط طاقة الإلكترونات. لا يقل عدد إلكترونات الحزمة التي حَرَّرَت الإلكترونات من الذرات ابتداءً بانخفاض طاقة الإلكترونات، وذلك شريطة أن تظل لدى إلكترونات الحزمة طاقة كافية لتحرير الإلكترونات. ونحن نفترض أن الإلكترونات المتحررة من الذرات تحررت من مستويات الطاقة نفسها قبل انخفاض فرق الجهد وبعده.

بوضع هذه النقاط في الاعتبار، نتوقع أن تنخفض شدة الطيف عند طاقات الخطوط المُميِّزة؛ فقط بسبب الانخفاض في شدة أشعة الانكباح الناتج عن انخفاض فرق جهد التسارع لقيم الطاقة نفسها التي للخطوط المُميِّزة.

مثال ٤ (متابعة)

يوضِّح التمثيل البياني ذو الإطار الأصفر أنه لا يوجد انخفاض في شدة الخطوط المُميِّزة، ومن ثَمَّ يمكننا استبعاده.

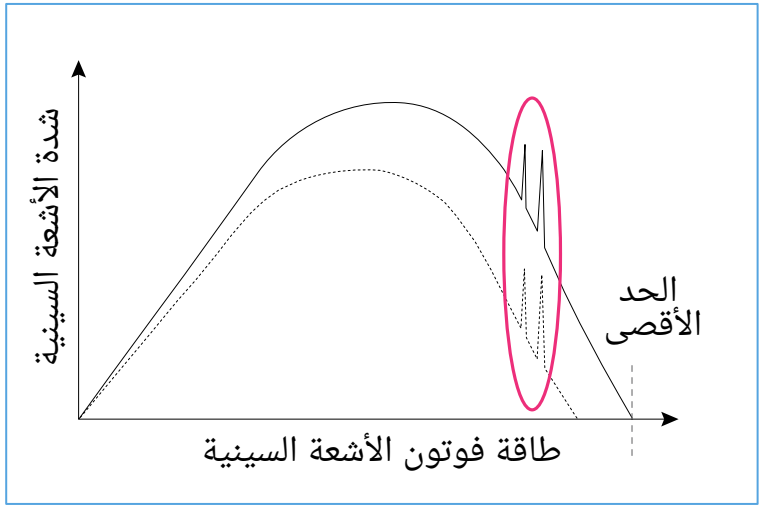


ينبغي أن تنخفض شدة القيمة القصوى للخطوط المُميِّزة.

مثال ٤ (متابعة)

يوضِّح التمثيل البياني ذو الإطار الأزرق انخفاضًا في الشدة يساوي تقريبًا الانخفاض في شدة أشعة الانكباح. وقد يبدو أن هذا هو التمثيل البياني الصحيح، حيث لاحظنا أنه من المنطقي استنتاج أن الانخفاض في شدة أشعة الانكباح فقط يسبب انخفاضًا في شدة قيم طاقة الخطوط المُميِّزة.

لكن يجب أن نفكر كذلك في أن ذرات الهدف تُبعِد الإلكترونات التي تقترب منها. ويجب أن يقترب الإلكترون من نواة الذرة لتحرير إلكترون بدلًا من أن تشتته الذرة. وهذا يعني أن يقل احتمال أن تُحرِّر الإلكترونات ذات الطاقة الأقل إلكترونًا من الذرة، على الرغم من أن لديها طاقة كافية للقيام بذلك. ومن ثَمَّ تولِّد الإلكترونات ذات الطاقة الأقل عددًا أقل من فوتونات الأشعة السينية التي لها قيمة طاقة الخط المُميِّز.

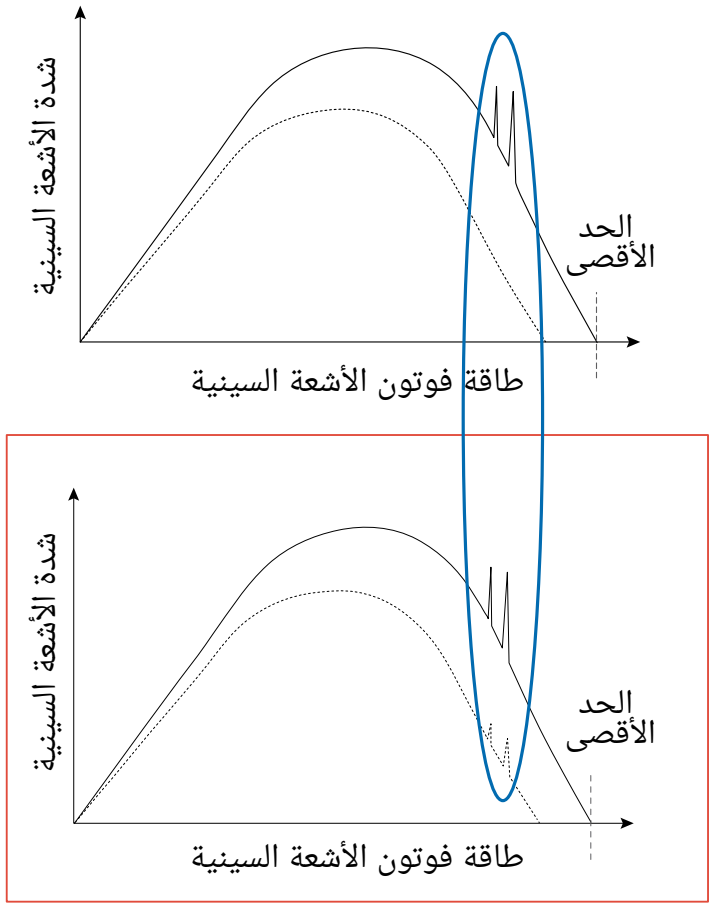


ينبغي أن تنخفض شدة القيمة القصوى للخطوط المُميِّزة.

مثال ٤ (متابعة)

يوضِّح التمثيل البياني ذو الإطار الأحمر انخفاضًا في الشدة عند طاقات الخطوط المميِّزة أكبر بكثير من الانخفاض في شدة أشعة الانكباح.

ومن ثمَّ يمثِّل التمثيل البياني ذو الإطار الأحمر التغيُّر في طيف الأشعة السينية تمثيلًا صحيحًا.



الخطوط المميِّزة لا يتغير موضعها، وتنخفض شدة قيمتها القصوى.

تأثير فرق الجهد الأيوني الحراري على طيف أنبوب كولِدج

عرفنا أن شدة إشعاع الأشعة السينية المتولدة لطاقة معينة بواسطة أنبوب كولِدج تعتمد على عدد فوتونات الأشعة السينية المتولدة عند هذه الطاقة. ويتولَّد كلُّ فوتونٍ أشعةً سينيةً بسبب انخفاض طاقة الإلكترون. ومن ثَمَّ يتأثَّر عدد فوتونات الأشعة السينية المتولدة لطاقة معينة بعدد الإلكترونات المنبعثة من مهبط أنبوب كولِدج.

معدل انبعاث الإلكترونات من مهبط أنبوب كولِدج هو مقدار تيار حزمة الإلكترونات الناتجة من المهبط. ويُسمى هذا تيار الحزمة.

يمكن تغيير تيار الحزمة بتغيير فرق الجهد الأيوني الحراري. وكلما زاد فرق الجهد الأيوني الحراري، زادت الإلكترونات المنبعثة بالتأيُّن الحراري، وزاد تيار الحزمة.

إن أقصى فرق جهد أيوني حراري يكون صغيرًا جدًّا مقارنةً بفرق جهد التسارع؛ لذا يكون لزيادة فرق الجهد الأيوني الحراري تأثير لا يُذكَر على طاقات الإلكترونات المُسرَّعة التي تصطدم بالهدف.

لنتناول الآن مثالًا يتضمن تغيُّر تيار حزمة الإلكترونات في أنبوب كولِدج.

مثال ٥: تحديد تأثير تغيُّر تيار حزمة الإلكترونات على أنبوب كولِدج

أيٌّ من الآتي يجب أن يتغيَّر عند تغيُّر تيار حزمة الإلكترونات في أنبوب كولِدج؟

أ. معدل تولُّد فوتونات الأشعة السينية.

ب. الطاقة القصوى لفوتونات الأشعة السينية المتولدة.

ج. وجود الخطوط المميزة في طيف الأشعة السينية المتولدة.

د. سرعة فوتونات الأشعة السينية المتولدة.

هـ. الطاقة المتوسطة لفوتونات الأشعة السينية المتولدة.

مثال ٥ (متابعة)

الحل

التيار هو معدل تدفق الشحنة. والإلكترونات الموجودة في حزمة الإلكترونات لأنبوب كولِدج مشحونة، ومن ثَمَّ يكون تيار الحزمة هو معدل تدفق هذه الإلكترونات.

تتمثل إحدى الطرق التي يمكن بها زيادة التيار في أن تتحرك الجسيمات المشحونة المتدفقة بسرعة أكبر. لكن لتتحرك الإلكترونات الموجودة في حزمة الإلكترونات بأنبوب كولِدج بسرعة أكبر، لا بد أن تزداد طاقتها. بوصف أدق تكون زيادة طاقة الإلكترونات نتيجة لزيادة فرق جهد التسارع في أنبوب كولِدج، أكثر من كونها نتيجة لزيادة تيار الحزمة. حيث إن زيادة تيار حزمة الأنبوب فقط يجب ألا تتضمن تغيير طاقة إلكترونات الحزمة.

إذا لم تتغير طاقة إلكترونات الحزمة المستخدمة، فلا يمكن أن تتغير الطاقة القصوى والطاقة المتوسطة لهذه الإلكترونات. تنبعث الفوتونات من إلكترونات الحزمة عندما تنخفض طاقتها. ومن ثَمَّ نلاحظ أن الطاقة القصوى والطاقة المتوسطة للفوتونات المنبعثة من هذه الإلكترونات لن تتغير.

مثال ٥ (متابعة)

يعتمد توليد خطوط مُميِّزة لِطَيف الأشعة السينية على بنية مستوى طاقة ذرات مادة الهدف، وعلى إذا ما كانت إلكترونات حزمة الأنبوب لديها طاقة كافية لتوليد خط مُميِّز. ولا يتأثر أيٌّ من هذين العاملين بتغير تيار الحزمة.

تُناظر الزيادة في تيار الحزمة زيادة في المعدل الذي تتحرر به إلكترونات الحزمة من مهبط الأنبوب. فكلما زاد معدل تحرر هذه الإلكترونات، زاد معدَّل اصطدام الإلكترونات بالهدف. وكلما زاد معدَّل اصطدام الإلكترونات بالهدف، زاد معدل فوتونات الأشعة السينية المتولدة.

ومن ثَمَّ نرى أن الإجابة الصحيحة هي أنَّ تغيُّر تيار حزمة الإلكترونات يُغيِّر معدل تولُّد فوتونات الأشعة السينية، كما هو مذكور في الخيار أ.

النقاط الرئيسية

- تَبعث الإلكتروناتُ التي تنخفض طاقتها انخفاضًا كافيًا فوتوناتِ الأشعة السينية.
- يمكن للإلكترونات الحرة والإلكترونات الموجودة داخل ذرات أن تبعث فوتونات الأشعة السينية عندما تنخفض طاقتها.
- يستخدم أنبوب كولِدج الانبعاث بالتأيُّن الحراري للحصول على إلكترونات حرة تكوِّن حزمة إلكترونات.
- يستخدم أنبوب كولِدج فرق جهد لتسريع حزمة الإلكترونات تجاه هدفٍ ما.
- يولِّد أنبوب كولِدج الأشعة السينية عندما تصطدم إلكترونات الحزمة بالهدف وتنخفض طاقتها.
- تولِّد الإلكترونات التي تتشتت من ذرات الهدف مدى طاقة متصلًا من فوتونات الأشعة السينية. ويُسمى ذلك بأشعة الانكباح.
- بعض الإلكترونات التي تصطدم بالهدف تُحرِّر إلكترونات من مستويات طاقة منخفضة في الذرات. ويتسبَّب ذلك في انتقال الإلكترونات من مستويات طاقة عالية إلى مستويات طاقة منخفضة، وهو ما ينتج عنه انبعاث فوتونات أشعة سينية ذات طاقات معينة. وتُسمَّى هذه الطاقات الخطوط المُميِّزة.
- زيادة فرق الجهد الذي يُسرِّع حزمة الإلكترونات تزيد الطاقة القصوى والطاقة المتوسطة لفوتونات الأشعة السينية. كما أنها تزيد أيضًا شدة الخطوط المُميِّزة.
- زيادة معدل الانبعاث بالتأيُّن الحراري تزيد تيار الحزمة. وهذا يزيد شدة جميع أجزاء طيف الأشعة السينية.