سلطنة عُمان
وزارة التربية والتعليم

فيزياء

الثاني عشر

2023-2024

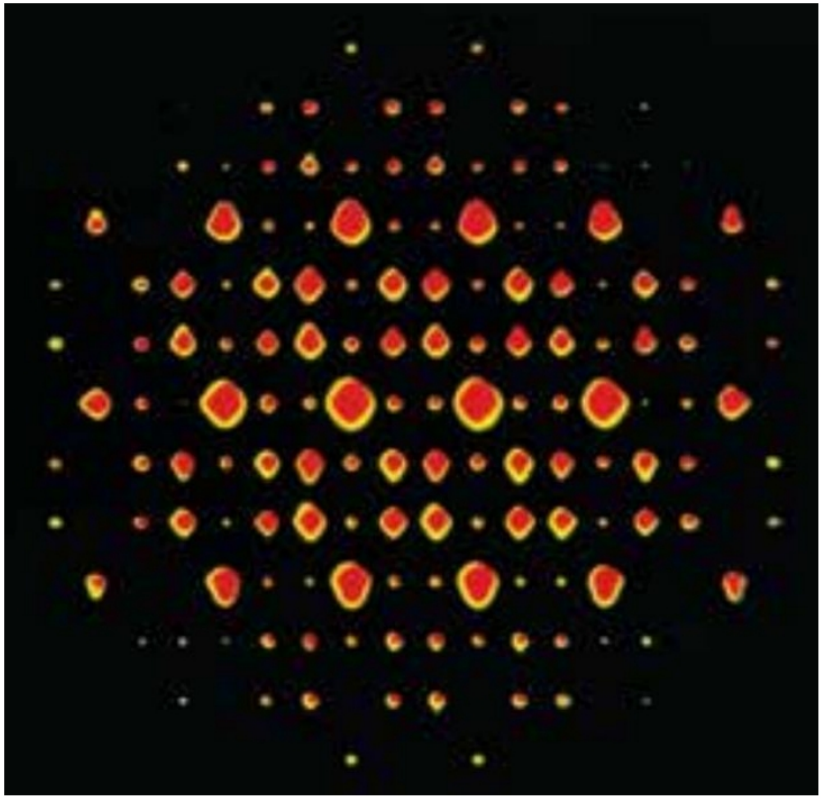
الوحدة الثامنة:

فيزياء الكم

عروض تفاعلية
للصف الثاني عشر
إعداد الأستاذة فاطمة الراشدية

الدرس ٨-٥

ثنائية الموجة والجسيم



الأهداف

8-I4	يصف كيف أن الانبعاث الكهروضوئي دليل على الطبيعة الجسيمية للإشعاع الكهرومغناطيسي وأن التداخل والحيود دليل على الطبيعة الموجية له.	• يصف الدليل على الطبيعة الجسيمية للإشعاع الكهرومغناطيسي. • يصف الدليل على الطبيعة الموجية للإشعاع الكهرومغناطيسي. • يذكر بإيجاز سبب وصف الإشعاع الكهرومغناطيسي بدلالة ثنائية الموجة والجسيم.
8-I6	يعرّف طول موجة دي بروي على أنه الطول الموجي المصاحب للجسيم المتحرك.	• يُعرّف مصطلح طول موجة دي بروي.
8-I7	يستخدم المعادلة $\lambda = h / p$	• يستخدم المعادلة التي تربط طول موجة دي بروي لجسيم متحرك بكمية تحرّكه في عمليات حسابية، ويعيد ترتيب المعادلة حسب الحاجة.
8-I5	يصف الأدلة التي يقدمها حيود الإلكترونات للطبيعة الموجية للجسيمات ويفسرها نوعيًا.	• يصف الدليل على حيود الإلكترونات في أنابيب حيود الإلكترونات. • يشرح سبب اعتبار حيود الإلكترونات دليلًا على طبيعتها الموجية.
8-I7	يستخدم المعادلة $\lambda = \frac{h}{p}$	• يصف كيف يمكن استخدام المعادلة $\lambda = \frac{h}{p}$ في ثنائية الموجة والجسيم للإشعاع الكهرومغناطيسي والجسيمات.

التمهيد

هل الضوء موجة أم جسيم ؟

* يتفاعل الضوء كجسيم (الفوتون) مع المادة (مثل الإلكترونات) ومن الأدلة على ذلك ظاهرة التأثير الكهروضوئي والأطياف الخطية.

* ينتشر الضوء عبر الفضاء كموجة والدليل حيود الضوء وتداخله عبر الشقوق.

اتفق العلماء على الطبيعة الثنائية (ازدواجية) الموجة والجسيم للضوء.

هل يمكن أن تكون للجسيمات (مثل الإلكترونات) طبيعة ثنائية أيضا؟

فرضية دي بروي

- افترض دي بروي فكرة الطبيعة الثنائية للجسيمات (كالإلكترونات)
- افترض أن الإلكترونات تنتقل عبر الفضاء كموجة تعرف (موجات المادة)
- افترض أن الطول الموجي للجسيمات المادية يرتبط بكمية تحركها وفق المعادلة التالية

$$P = mv = \frac{h}{\lambda}$$

طول موجة دي بروي للجسيمات

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

الخصائص الموجية مهمله للأجسام الكبيرة

كتلتها كبيرة جدا وبالتالي طولها الموجي صغير جدا لا يمكن ملاحظة آثار الحيود عبر الفجوات التي يمر بها

الخصائص الموجية يمكن دراستها للجسيمات الذرية

كتلتها صغيرة جدا وبالتالي طولها الموجي كبيرا يمكن أن تحيد عبر مسافات بين الطبقات الذرية

سؤال

احسب الطول الموجي المصاحب لكرة كتلتها (10 g) تتحرك بسرعة ($5\ m/s$). دون ملاحظاتك.

$$\lambda = \frac{h}{mv} = 1,326 \times 10^{-32} m$$

الملاحظات

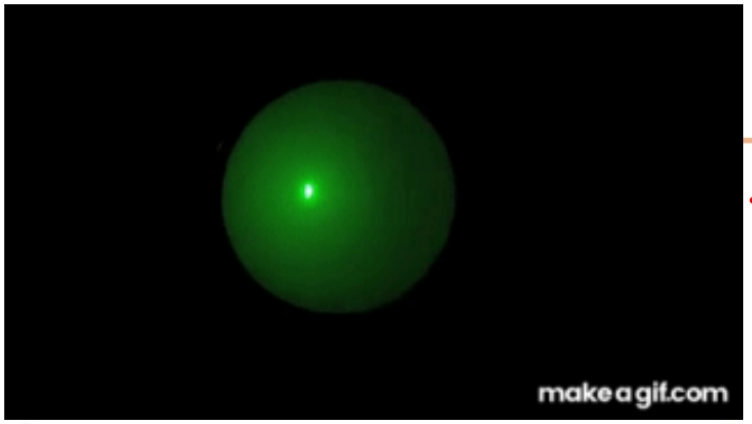
- الطول الموجي المصاحب قصير جدا ولا يمكن قياسه

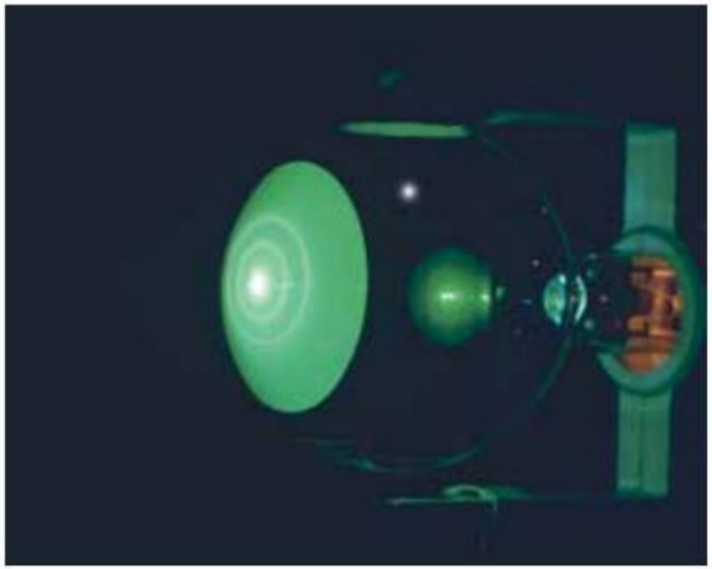
- لذلك لا تظهر الطبيعة الموجية في الأجسام الكبيرة بوضوح مثل البشر

إثبات صحة فرضية دي بروي عمليا

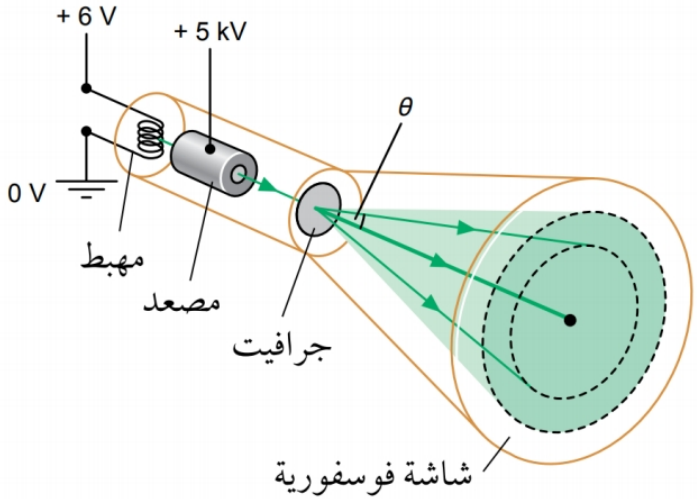
* تجربة دافيسون وجيرمر: اثبتا تجريبيا أن الإلكترونات تحيد بواسطة بلورات النيكل.

* تجربة تومسون : قذف إلكترونات على صفائح رقيقة من فلز في أنبوب مفرغ (مما يدلل على حيود الإلكترونات عن ذرات الفلز أيضا).





الصورة ٨-٩ عندما تمر حزمة من الإلكترونات عبر شريحة رقيقة من الجرافيت، كما هي الحال في الأنبوب المفرغ هذا، فإن نمط حيود ينتج على شاشة الفوسفور.

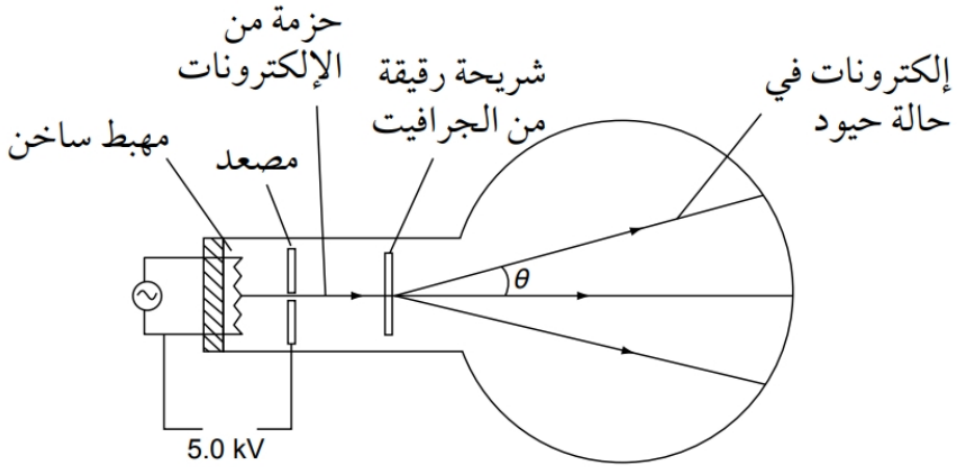


الشكل ٨-١٤ تُسرّع الإلكترونات من المهبط إلى المصعد، فتشكّل حزمةً تحيد في أثناء مرورها عبر شريحة رقيقة من الجرافيت.

* حيود حزمة الإلكترونات دليل على أن الإلكترونات تملك خصائص موجية ويحسب طولها الموجي باستخدام قانون دي بروي.

* كما أظهرت التجارب في وقت لاحق أن البروتونات والنيوترونات تمتلك الخصائص الموجية أيضا.

أنبوب حيود الإلكترونات



تسرع الإلكترونات في الفتيل المسخن في أنبوب حيود الإلكترونات إلى سرعات عالية من خلال تطبيق فرق جهد عالي بين المهبط (الكاثود) والمصعد (الآنود).

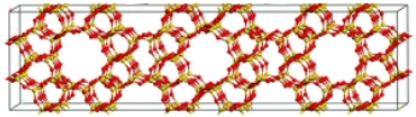
تحسب سرعة الإلكترونات من خلال حساب فرق الجهد المطبق

$$K.E = \frac{1}{2}mv^2 = eV$$

تحسب كمية التحرك للإلكترونات

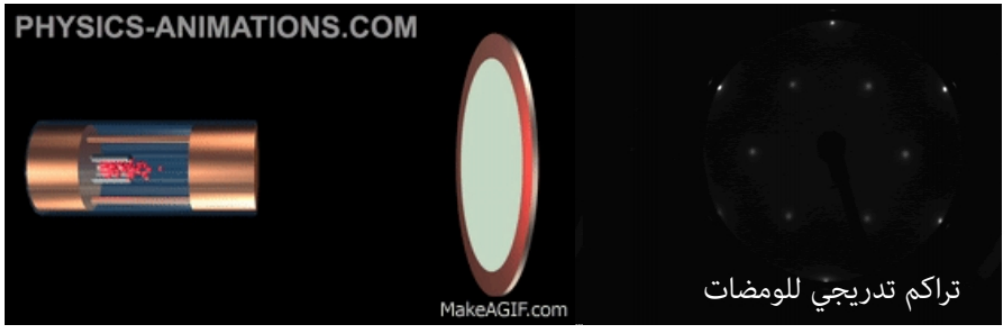
$$P = mv = \sqrt{2\,K.E.m_e}$$

تمر حزمة الإلكترونات عبر عينة رقيقة من فلز متعدد البلورات ذو طبقات ذرية منتظمة(بنية شبكية) بينها مسافات d.



تنتج حلقات حيود على شاشة الفسفور (سلوك موجي).

الشاشة الفسفورية تعطي وميضا من الضوء لكل إلكترون يصطدم بها (سلوك جسيمي) تتراكم هذه الومضات لتعطي نمط الحيود الدائري (حلقات).



تظهر الإلكترونات تأثيرات الحيود عندما يكون طول موجة دي بروي λ يساوي المسافات بين الطبقات الذرية d.

يحسب الطول الموجي المصاحب للإلكترون كالتالي:

$$\lambda = \frac{h}{P} = \frac{h}{\sqrt{2\,K.E.m_e}}$$

بزيادة تسريع الإلكترون يقل الطول الموجي للإلكترون فيظهر نمط منكمش للحلقات

العلاقة بين الطول الموجي والزاوية التي تحيد عندها الإلكترونات θ

$\lambda = 2d \sin\theta$

$\uparrow V \quad \uparrow v \quad \downarrow \lambda \quad \downarrow \theta$

نمط حيود دائري (حلقات) $\lambda = d$

انكماش نمط الحيود إذا كان λ صغير جدا بمقارنة ب d

سؤال

تم تسريع إلكترونات من السكون داخل أنبوب التفريغ الغازي تحت تأثير فرق الجهد بين المهبط والمصعد حتى أصبحت سرعتها ($1.5 \times 10^7 m/s$)، فتم الحصول على نمط الحيود للإلكترونات على شاشة فسفورية كما هو موضح في الشكل الآتي:

شكل (1)

أ. احسب طول موجة دي برولي المصاحبة للإلكترون. $\therefore \lambda = = 4.86 \times 10^{-11} m = 0.0486\ nm$

ب. أوجد قيمة فرق الجهد المستخدم بين المهبط والمصعد بوحدة (V). $V = 6.4 \times 10^2 V$.

ج. عند زيادة سرعة الإلكترونات ماذا تتوقع أن يصبح نمط الحيود للإلكترونات من الأنماط الآتية: (A) أم (B) أم (C)؟

(C)

(B) مطابق للشكل (1)

(A)

استقصاء بنية المادة:

* جميع الجسيمات المتحركة لها طول موجة دي بروي .
* يمكن استقصاء بنية المادة باستخدام حيود الجسيمات.

- تظهر الجسيمات (إلكترونات أو نيوترونات) تأثيرات الحيود عندما يكون طول موجة دي بروي λ لها يساوي المسافات بين الطبقات الذرية d.

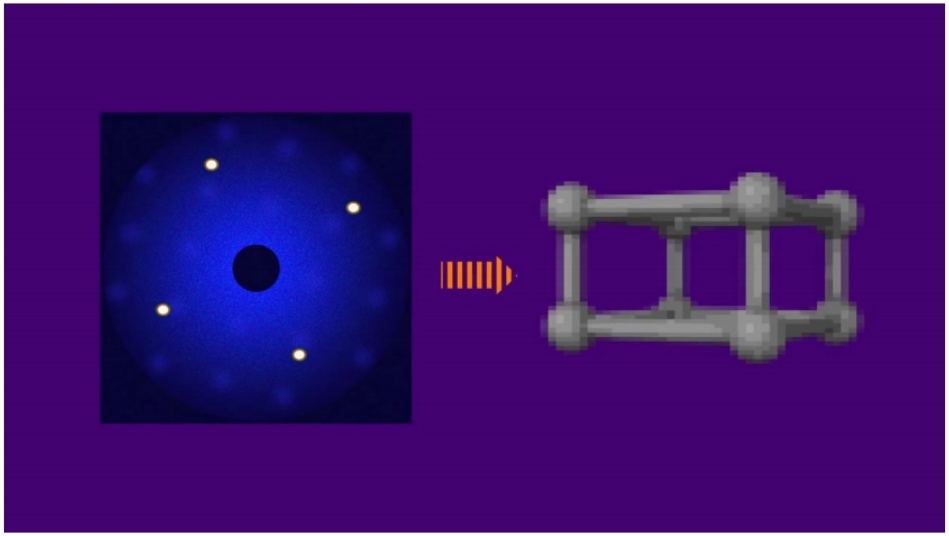
تسريع الجسيمات $\uparrow V \quad \uparrow v \quad \downarrow \lambda$

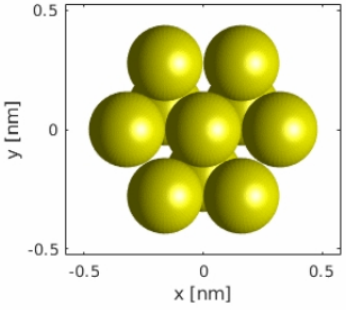
- كل فلز لدية طبقات ذرية مختلفة (بنية شبكية) لذلك سوف ينتج كل منها نمط حيود مختلفا

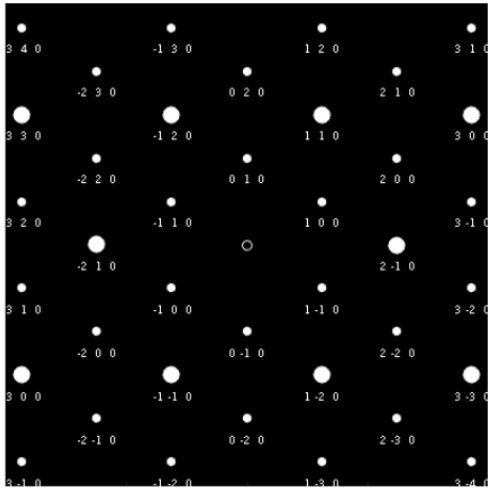
(تقل الزاوية التي تحيد عندها θ كلما زادت المسافة بين طبقات الذرية d وفق المعادلة التالية: $\lambda=2d\sin\theta$)

مثال

- استخدام حيود النيوترونات بطيئة الحركة من المفاعلات النووية في دراسة كيف تترتب الذرات في الفلزات والمواد الأخرى ($\lambda = d = 10^{-10}m$).
- استخدام حيود الإلكترونات بطيئة الحركة للكشف عن ترتيب الذرات في الفلزات وبنية الجزيئات المعقدة مثل DNA ($\lambda = d = 10^{-10}m$).
- تستخدم الإلكترونات عالية السرعة في مسرعات الجسيمات لتحديد قطر الأنوية الذرية واستقصاء بنية النواة من الداخل ($\lambda = d = 10^{-15}m$).







الخلاصة

طبيعة الإلكترون: موجية أم جسيمية؟

للإلكترون طبيعة ثنائية (مزدوجة) تمامًا مثل الموجات الكهرومغناطيسية، ويشار إلى هذه الثنائية باسم **الثنائية الموجية الجسيمية** للإلكترون، ويمكن التعبير عنها بعبارات بسيطة:

- يتفاعل الإلكترون مع المادة كجسيم، والدليل على ذلك ما قدمته ميكانيكا نيوتن.
- ينتقل الإلكترون عبر الفضاء كموجة، إذ يأتي الدليل على ذلك من حيود الإلكترونات.

نظرة أخرى على الفوتونات

من المفيد إنهاء هذا الموضوع في فيزياء الكم بالنظر إلى الفوتون الذي له كمية تحرّك (p) وطاقة (E).

المعادلتان الرئيسيتان للفوتون هما:

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad \text{و} \quad p = \frac{E}{c}$$

لذلك:

$$p = \frac{E}{c}$$
$$= \frac{hc}{\lambda c}$$
$$p = \frac{h}{\lambda}$$

هذه المعادلة مطابقة لمعادلة دي بروي لكمية تحرّك الجسيم وطول موجته، لذلك يبدو أنه يمكن استخدام المعادلة في السلوك الجسيمي (الفوتونات) للإشعاع الكهرومغناطيسي والسلوك الموجي للجسيمات.

سؤال

(١٧) تُستخدم أشعة-X (الأشعة السينية) لمعرفة المسافة بين الذرات في المواد البلورية.

أ. صِف كيف يمكن استخدام حزم من الإلكترونات للغرض نفسه.

ب. كيف يمكن استخدام حيود الإلكترونات للتعرّف إلى عيّنة من فلز ما؟

سؤال

(١٨) تُسرّع حزمة إلكترونات من السكون بواسطة فرق جهد (1.0 kV).

أ. احسب الطاقة (بوحدة eV) لإلكترون في الحزمة.

ب. احسب السرعة ومن ثم كمية التحرك (p) للإلكترون.

ج. احسب طول موجة دي بروي للإلكترون.

د. هل تتوقع أن تحيد الحزمة بشكل كبير بواسطة شريحة فلزية المسافة الفاصلة بين ذراتها (0.25×10^{-9} m)؟ أعطِ سببًا لإجابتك.

وتم بحمد الله