مسائل تدريبية

1–8 النموذج الجسيمي للموجات (صفحة 48–37)

صفحة 44

1. ما طاقة إلكترون بوحدة الجول إذا كانت طاقته 2.3 eV؟

$$(2.3\ \text{eV})\left(\frac{1.60\times10^{-19}\ \text{J}}{1\ \text{eV}}\right)=3.7\times10^{-19}\ \text{J}$$

2. إذا كانت سرعة إلكترون $6.2\times10^{6}\ \text{m/s}$ فما طاقته بوحدة eV؟

$$KE=\frac{1}{2}mv^2$$
$$=\left(\frac{1}{2}\right)(9.11\times10^{-31}\ \text{kg})(6.2\times10^{6}\ \text{m/s})^2$$
$$=(1.75\times10^{-17}\ \text{J})\left(\frac{1\ \text{eV}}{1.60\times10^{-19}\ \text{J}}\right)$$
$$=1.1\times10^{2}\ \text{eV}$$

3. ما سرعة الإلكترون في المسألة 1؟

$$m=9.11\times10^{-31}\ \text{kg},\ KE=\frac{1}{2}mv^2$$
$$v=\sqrt{\frac{2KE}{m}}=\sqrt{\frac{(2)(3.7\times10^{-19}\ \text{J})}{9.11\times10^{-31}\ \text{kg}}}$$
$$=9.0\times10^{5}\ \text{m/s}$$

4. إذا كان جهد الإيقاف لخلية كهروضوئية 5.7 V فاحسب الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحررة بوحدة eV.

$$KE=-qV_0$$
$$=-(-1.60\times10^{-19}\ \text{C})(5.7\ \text{J/C})\left(\frac{1\ \text{eV}}{1.60\times10^{-19}\ \text{J}}\right)$$
$$=5.7\ \text{eV}$$

5. يلزم جهد إيقاف مقداره 3.2 V لمنع سريان التيار الكهربائي في خلية ضوئية. احسب الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات الضوئية المتحررة بوحدة الجول.

$$KE=-qV_0$$
$$=-(-1.60\times10^{-19}\ \text{C})(3.2\ \text{J/C})$$
$$=5.1\times10^{-19}\ \text{J}$$

صفحة 46

6. احسب تردد العتبة للزنك بوحدة Hz، واقتران الشغل بوحدة eV، إذا كان طول موجة العتبة للزنك 310 nm.

$$f_0=\frac{c}{\lambda_0}=\frac{3.00\times10^{8}\ \text{m/s}}{310\times10^{-9}\ \text{m}}=9.7\times10^{14}$$
$$W=hf_0$$
$$=(6.63\times10^{-34}\ \text{J/Hz})(9.7\times10^{14}\ \text{Hz})\left(\frac{1\ \text{eV}}{1.60\times10^{-19}\ \text{J}}\right)$$
$$=4.0\ \text{eV}$$

7. ما مقدار الطاقة الحركية بوحدة eV للإلكترونات المتحررة من السيزيوم عندما يسقط عليه ضوء بنفسجي طوله الموجي 425 nm إذا كان اقتران الشغل له 1.96 eV؟

$$KE_{max}=\frac{1240\ \text{eV.nm}}{\lambda}-hf_0$$
$$=\frac{1240\ \text{eV.nm}}{425\ \text{nm}}-1.96\ \text{eV}$$
$$=0.960\ \text{eV}$$

8. تتحرر من فلز إلكترونات بطاقات 3.5 eV عندما يضاء بإشعاع فوق بنفسجي طوله الموجي 193 nm. ما مقدار اقتران الشغل لهذا الفلز؟

$$KE=hf-hf_0$$
$$hf_0=hf-KE=\frac{hc}{\lambda}-KE$$
$$=\frac{1240\ \text{eV.nm}}{\lambda}-KE$$
$$=\frac{1240\ \text{eV.nm}}{193\ \text{nm}}-3.5\ \text{eV}$$
$$=2.9\ \text{eV}$$

9. إذا كان اقتران الشغل لفلز 4.50 eV فما مقدار أكبر طول موجي للإشعاع الساقط عليه بحيث يكون قادرًا على تحرير إلكترونات منه؟

$$hf_0=4.50\ \text{eV}$$

أي أن:

$$\frac{hc}{\lambda_0}=4.50\ \text{eV}$$
$$\lambda_0=\frac{1240\ \text{eV.nm}}{4.50\ \text{eV}}=276\ \text{nm}$$

مراجعة القسم

1–8 النموذج الجسيمي للموجات (صفحة 48–37)

صفحة 48

10. **التأثير الكهروضوئي** لماذا يكون الضوء ذو الشدة العالية والتردد المنخفض غير قادر على تحرير إلكترونات من فلز، في حين أن الضوء ذا الشدة المنخفضة والتردد العالي يستطيع ذلك؟ فسّر إجابتك.

الضوء شكل من أشكال الإشعاع الكهرومغناطيسي، وهو عديم الكتلة، ومع ذلك لديه طاقة حركية. وكل مرة يسقط فيها فوتون على سطح الفلز؛ فإنه يتفاعل فقط مع إلكترون واحد. والفوتون ذو التردد المنخفض لا يملك طاقة كافية لتحرير إلكترون من سطح الفلز، لأن الطاقة ترتبط مباشرة بالتردد وليس بالشدة، في حين الضوء ذو التردد العالي يستطيع تحقيق ذلك.

11. **تردد إشعاع الجسم الساخن وطاقته** كيف يتغير تردد الإشعاع المقابل لأعلى شدة عندما ترتفع درجة حرارة الجسم؟ وكيف تتغير الكمية الكلية للطاقة المنبعثة؟

إن كلًا من تردد قمة الشدة والطاقة الكلية المنبعثة يزدادان. إذ تزداد قمة الشدة بدلالة T، بينما تزداد الطاقة الكلية بدلالة T^4.

12. **التأثير الكهروضوئي وتأثير كومبتون** سلّط عالمٌ أشعةَ X على هدف، فانطلق إلكترون من الهدف دون أن ينبعث أي إشعاع آخر. وضّح ما إذا كان هذا الحدث ناتجًا عن التأثير الكهروضوئي أم تأثير كومبتون.

الحدث ناتج عن التأثير الكهروضوئي، وهو عبارة عن التقاط فوتون بواسطة إلكترون في المادة وانتقال طاقة الفوتون إلى الإلكترون.

13. **التأثير الكهروضوئي وتأثير كومبتون** ميّز بين التأثير الكهروضوئي وتأثير كومبتون.

تأثير كومبتون عبارة عن تشتت الفوتون بواسطة المادة، منتجًا فوتونًا له طاقة وزخم أقل، في حين التأثير الكهروضوئي عبارة عن انبعاث إلكترونات من الفلز عندما يسقط عليه إشعاع ذو طاقة كافية.

14. **التأثير الكهروضوئي** اصطدم ضوء أخضر $\lambda=532\ nm$ بفلز ما، فحرر إلكترونات منه. إذا تم إيقاف هذه الإلكترونات باستخدام فرق جهد 1.44 V، فما مقدار اقتران الشغل للفلز بوحدة eV؟

$$E_{\text{الضوء الأخضر}} = \frac{hc}{\lambda} = \frac{1240\ eV.nm}{532\ nm} = 2.33\ eV$$

$$KE_{\text{الإلكترون المتحرر}} = -qV$$

$$= -(-1.60\times10^{-19}\ C)(1.44\ J/C)\ \frac{1\ eV}{1.60\times10^{-19}\ J}$$

$$= 1.44\ eV$$

$$W = E_{\text{الضوء الأخضر}} - KE_{\text{الإلكترون المتحرر}}$$

$$= 2.33\ eV - 1.44\ eV$$

$$= 0.89\ eV$$

15. **طاقة فوتون** تنبعث فوتونات طولها الموجي 650 nm من مؤشر ليزر. ما مقدار طاقة هذه الفوتونات بوحدة eV؟

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{1240\ eV.nm}{650\ nm} = 1.9\ eV$$

16. **التأثير الكهروضوئي** امتُصّت أشعة X في عظم، وحررت إلكترونًا. إذا كان الطول الموجي لأشعة X 0.02 nm تقريبًا، فقدّر طاقة الإلكترون بوحدة eV.

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{1240\ eV.nm}{0.02\ nm} = 6\times10^{4}\ eV$$

17. **تأثير كومبتون** أُسقطت أشعة X على عظم، فاصطدمت بإلكترون فيه وتشتت. كيف تقارن بين الطول الموجي لأشعة X المشتتة والطول الموجي لأشعة X الساقطة؟

أشعة X المتشتتة لها طول موجي أكبر مقارنة بالأشعة الساقطة.

18. **التفكير الناقد** تخيل أن تصادم كرتَيْ بلياردو ينمذج التفاعل الذي يحدث بين فوتون وإلكترون خلال تأثير كومبتون. افترض أن بروتونًا– وكتلته أكبر كثيرًا من كتلة الإلكترون– وُضع بدلاً من الإلكترون، فهل تكون الطاقة التي يكتسبها البروتون نتيجة التصادم مساوية لتلك التي يكتسبها الإلكترون؟ وهل تكون الطاقة التي يفقدها الفوتون مساوية لتلك التي يفقدها عندما يتصادم بالإلكترون؟

إن الإجابة عن السؤالين هي لا، وكمثال على ذلك تستطيع كرة تنس نقل طاقة حركية أكثر لكرة لينة من الطاقة التي تنقلها لكرة بولينج.

مسائل تدريبية

8–2 موجات المادة (صفحة 51 –49)

صفحة 50

19. تتدحرج كرة بولنج كتلتها 7.0 kg بسرعة 8.5 m/s، أجب عما يلي:

a. ما مقدار طول موجة دي برولي المصاحبة للكرة؟

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.63\times10^{-34}\ \text{J.s}}{(7.0\ \text{kg})(8.5\ \text{m/s})}$$

$$= 1.1\times10^{-35}\ \text{m}$$

b. لماذا لا تُظهر كرة البولنج سلوك موجي ملاحظ؟

لأن طول موجة دي برولي المصاحبة لكرة البولنج قصير جدًا، ولا يكفي لإحداث تأثيرات يمكن مشاهدتها.

20. إذا تسارع إلكترون خلال فرق جهد 250 V، فاحسب مقدار سرعته وطول موجة دي برولي المصاحبة له.

$$\frac{1}{2}mv^2 = qv$$

$$v = \sqrt{\frac{2qV}{m}} = \sqrt{\frac{(2)(1.60\times10^{-19}\ \text{C})(250\ \text{J/C})}{9.11\times10^{-31}\ \text{kg}}}$$

$$= 9.4\times10^{6}\ \text{m/s}$$

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

$$= \frac{6.63\times10^{-34}\ \text{J.s}}{(9.11\times10^{-31}\ \text{kg})(9.4\times10^{6}\ \text{m/s})}$$

$$= 7.7\times10^{-11}\ \text{m}$$

21. ما مقدار فرق الجهد اللازم لمسارعة إلكترون بحيث يكون طول موجة دي برولي المصاحبة له 0.125 nm؟

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

أي أن:

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

$$KE = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{p^2}{2m} = \frac{\left(\frac{h}{\lambda}\right)^2}{2m}$$

$$= \frac{\left(\frac{6.63\times10^{-34}\ \text{J.s}}{0.125\times10^{-9}\ \text{m}}\right)}{(2)(9.11\times10^{-31}\ \text{kg})}$$

$$= (1.544\times10^{-17}\ \text{J})\left(\frac{1\ \text{eV}}{1.60\times10^{-19}\ \text{J}}\right)$$

$$= 96.5\ \text{eV}$$

أي انه يتسارع خلال فرق جهد مقدارة 96.5 V.

22. طول موجة دي برولي للإلكترون في المثال 3 يساوي 0.14 nm. ما مقدار الطاقة الحركية بوحدة eV لبروتون ($m = 1.67\times10^{-27}$ kg) إذا كان له الطول الموجي نفسه؟

طول موجة دي بولي المصاحبة يساوي: $\lambda = \frac{h}{mv}$

أي أن السرعة تساوي : $v = \frac{h}{m\lambda}$

عندئذ تكون الطاقة الحركية :

$$KE = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m\left(\frac{h}{m\lambda}\right)^2 = \frac{h^2}{2m\lambda^2}$$

$$= \frac{(6.63\times10^{-34}\ \text{J.s})^2}{(2)(1.67\times10^{-27}\ \text{kg})(0.14\times10^{-9}\ \text{m})^2}\left(\frac{1\ \text{eV}}{1.60\times10^{-19}\ \text{J}}\right)$$

$$= 4.2\times10^{-2}\ \text{eV}$$

مراجعة القسم

8–2 موجات المادة (صفحة 51 –49)

صفحة 51

23. **الخصائص الموجية** صف التجربة التي أثبتت أن للجسيمات خصائص موجية.

عندما تسقط حزمة من الإلكترونات على قطعة من الكريستال فإن الكريستال يعمل كمحزوز حيود؛ بحيث يجعل الإلكترونات تشكل نمط حيود. إن حيود الإلكترونات (الجسيمات) يشبه حيود الضوء (الموجات) خلال المحزوز.

24. **الطبيعة الموجية** فسّر لماذا لا تظهر الطبيعة الموجية للمادة؟

لأن الأطوال الموجية لمعظم الأجسام أصغر جدًا من أن يتم الكشف عنها.

25. **طول موجة دي برولي** ما مقدار طول موجي دي برولي المصاحبة لإلكترون يتسارع خلال فرق جهد 125 V؟

$$v = \sqrt{\frac{-2qV}{m}}$$

$$= \sqrt{\frac{-2(-1.60\times10^{-19}\ \text{C})(125\ \text{V})}{9.11\times10^{-31}\ \text{kg}}}$$

$$= 6.63\times10^{6}\ \text{m/s}$$

$$p = mv = (9.11\times10^{-31}\ \text{kg})(6.63\times10^{6}\ \text{m/s})$$

$$= 6.04\times10^{-24}\ \text{kg.m/s}$$

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{6.63\times10^{-34}\ \text{J.s}}{6.04\times10^{-24}\ \text{kg.m/s}}$$

$$= 1.10\times10^{-10}\ \text{m}$$

$$= 0.110\ \text{nm}$$

26. **الأطوال الموجية للمادة والإشعاع** عندما يصطدم إلكترون بجسيم ثقيل فإن سرعة الإلكترون وطول موجته يتناقصان. بناء على ذلك، كيف يمكن زيادة الطول الموجي لفوتون؟

إذا كان الفوتون يخضع لتشتت كومبتون مع هدف ثابت فإن الطول الموجي للفوتون سيزداد.

27. **مبدأ عدم التحديد لهيزنبرج** عندما يمر ضوء أو حزمة من ذرات خلال شق مزدوج فإنه يتكون نمط تداخل. وتحدث كلتا النتيجتين حتى عندما تمر الذرات أو الفوتونات خلال الشقين في الوقت نفسه. كيف يفسر مبدأ عدم التحديد لهيزنبرج ذلك؟

ينص مبدأ هيزنبرغ على أنه من غير الممكن قياس زخم جسيم وتحديد موقعه بدقة في الوقت نفسه، فإذا استطعت تحديد الموقع الدقيق لفوتون أو ذرة عندما تعبر خلال الشق فإنك لن تستطيع معرفة زخمه بدقة. لذلك فإنك لن تكون متأكدًا من أي الشقوق قد عبرت الحزمة الناتجة عن توزيع الفوتونات أو الذرات التي يمكن مشاهدتها في نمط التداخل.

28. **التفكير الناقد** ابتكر الفيزيائيون مؤخرًا محزوز حيود للموجات الضوئية الموقوفة (المستقرة). وتكوِّن الذرات التي تمر خلال المحزوز نمط تداخل. إذا كانت المسافة الفاصلة بين الشقوق $\frac{1}{2}\lambda$(250 nm تقريبًا) فما مقدار طول موجة دي برولي المصاحبة للذرات تقريبًا؟

لمحزوز الحيود يكون $\lambda = d\sin\theta$، حيث dالبعد بين الشقوق وθ زاوية الفصل بين القمم المتتالية. لذلك فإن طول موجة دي برولي تعطى بالعلاقة :

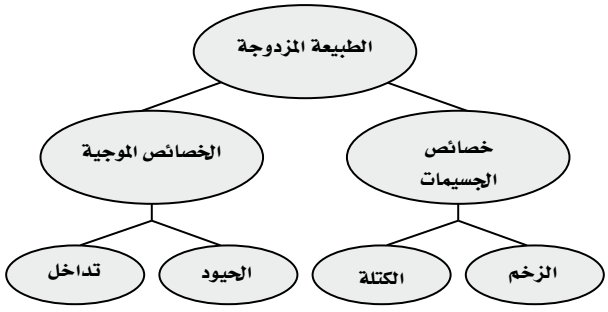
$\lambda = (250\ \text{nm})\sin\theta$ ، إذا اعتبرنا أن $\sin\theta = 0.1$ تقريبًا فإن طول موجة دي برولي تساوي بضع عشرات من النانومتر.

تقويم الفصل

خريطة المفاهيم

صفحة 56

29. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات التالية: الطبيعة المزدوجة، الكتلة، الخصائص الموجية، الزخم، الحيود.



إتقان المفاهيم

صفحة 56

30. **الضوء المتوهج** يضبط مصباح كهربائي متوهج باستخدام مفتاح تحكم. ماذا يحدث للون الضوء الصادر عن المصباح عند إدارة مفتاح التحكم إلى أقل قراءة؟

يصبح الضوء أكثر إحمرارًا

31. وضّح مفهوم تكميته الطاقة.

تكميم الطاقة يعني أن الطاقة توجد على شكل مضاعفات صحيحة لكمية ما.

32. ما الذي تم تكمية في تفسير ماكس بلانك لإشعاع الأجسام المتوهجة؟

إن الطاقة الاهتزازية للذرات المتوهجة مكمّمة.

33. ماذا تسمى كمّات الضوء؟

الفوتونات.

34. سُلِّط ضوء على مهبط خلية ضوئية، وكان تردد الضوء أكبر من تردد العتبة لفلز المهبط. كيف تفسر نظرية أينشتاين للتأثير الكهروضوئي حقيقة زيادة تيار الإلكترونات الضوئية كلما زادت شدة الضوء؟

كل فوتون يحرر إلكترونًا ضوئيًا، والضوء ذو الشدة العالية يحتوي على عدد فوتونات أكثر لكل ثانية؛ لذا يسبب تحرير عدد إلكترونات ضوئية أكثر لكل ثانية.

35. وضح كيف فسّرت نظرية أينشتاين حقيقة أن الضوء الذي تردده أقل من تردد العتبة لفلز لا يحرر إلكترونات ضوئية منه، بغض النظر عن شدة الضوء؟

الفوتونات ذات التردد الأقل من تردد العتبة ليس لها طاقة كافية لتحرير إلكترون. أما إذا ازدادت شدة الضوء فإن عدد الفوتونات يزداد ولكن طاقتها لا تزداد، وتبقى الفوتونات غير قادرة على تحرير إلكترون.

36. **الفيلم الفوتوجرافي** لأن أنواعًا معينة من أفلام الأبيض والأسود ليست حساسة للضوء الأحمر، فإنه يمكن تحميضها في غرفة مظلمة مضاءة بضوء أحمر. فسّر ذلك بناءً على نظرية الفوتون للضوء.

فوتونات الضوء الأحمر ليس لها طاقة كافية لإحداث تفاعل كيميائي مع الفيلم الذي يتعرض له.

37. كيف أظهر تأثير كومبتون أن للفوتونات زخمًا، كما أن لها طاقة.

تنقل التصادمات المرنة كلًّا من الزخم والطاقة للفوتونات فقط إذا كان لها زخم يمكنها من تحقيق المعادلات.

38. الزخم p لجسيم مادي يعطى بالمعادلة $p = mv$. هل تستطيع حساب زخم فوتون مستخدمًا المعادلة نفسها؟ وضح إجابتك.

لا. لأن استخدام هذه المعادلة تجعل زخم الفوتون صفرًا لأن الفوتونات مهملة الكتلة. وهذه النتيجة غير صحيحة لأن الفوتونات المهملة الكتلة زخمها ليس صفرًا.

39. وضح كيف يمكن قياس الخصائص التالية للإلكترون:

a. الشحنة

وازن بين قوة الجذب مع قوة المجال الكهربائي المؤثرتين في الشحنة.

b. الكتلة

وازن بين قوة المجال الكهربائي مع قوة المجال المغناطيسي لإيجاد $\frac{m}{q}$، ثم استخدم قيمة q المقيسة.

c. الطول الموجي

شتت الإلكترونات عن سطح الكريستال وقم بقياس زوايا الحيود.

40. وضح كيف يمكن قياس الخصائص التالية للفوتون:

a. الطاقة

قس الطاقة الحركية *KE* للإلكترونات المتحررة من الفلز بطولين موجيين مختلفين على الأقل. أو قس الطاقة الحركية للإلكترونات المتحررة من معدن معلوم عند طول موجي واحد فقط.

b. الزخم

قس التغير في الطول الموجي لأشعة X المشتتة بواسطة المادة.

c. الطول الموجي.

قس زاوية الحيود عندما ينفذ الضوء خلال شقين أو محزوز حيود، وقس عرض نمط الحيود للشق المفرد، أو قس الزاوية التي ينحرف الضوء عندها عند نفاذه خلال المنشور.

تطبيق المفاهيم

صفحة 57–56

41. استخدم طيف الانبعاث لجسم متوهج عند ثلاث درجات حرارة مختلفة كما في **الشكل 1–8** للإجابة عن الأسئلة الآتية:

a. عند أي تردد تكون شدة الانبعاث أكبر ما يكون لكل من درجات الحرارة الثلاث؟

4000 k: ~2.5×10^{14} Hz, 5800 k: ~3.5×10^{14} Hz, 8000 k: ~4.6×10^{14} Hz.

b. ماذا تستنتج عن العلاقة بين التردد الذي تكون عنده شدة الإشعاع المنبعث أكبر ما يمكن وبين درجة حرارة الجسم المتوهج؟

يزداد التردد الذي تكون عنده شدة الإشعاع المنبعث أكبر ما يمكن بزيادة درجة الحرارة.

c. بأي مُعامل تتغير شدة الضوء الأحمر المنبعث عندما تزداد درجة الحرارة من 4000 k إلى 8000 k؟

تزداد شدة الجزء الأحمر من الطيف من 0.5 إلى 9.2 تقريبًا، وتكون الزيادة بمعامل أكبر قليلا من 18.

42. وضع قضيبان من الحديد في النار، فتوهج أحدهما

باللون الأحمر الداكن، بينما توهج الآخر باللون البرتقالي الساطع. أي القضيبين:

a. أكثر سخونة؟

البرتقالي الساطع.

b. يشع طاقة أكبر؟

البرتقالي الساطع.

43. هل يحرر ضوء تردده كبير عددًا أكبر من الإلكترونات من سطح حساس للضوء مقارنة بضوء تردده أقل، مع افتراض أن كلا الترددين أكبر من تردد العتبة؟

ليس ضرُوريًا، إذ يتناسب عدد الإلكترونات المنبعثة طرديًا مع عدد الفوتونات الساقطة أو مع شدة الضوء وليس مع تردده.

44. تنبعث إلكترونات ضوئية من البوتاسيوم عندما يسقط عليه ضوء أزرق، في حين تنبعث إلكترونات ضوئية من التنجستن عندما يسقط عليه أشعة فوق بنفسجية. أي الفلزين:

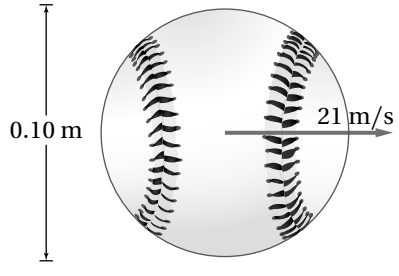
a. له تردد عتبة أكبر؟

الضوء الأزرق له تردد وطاقة أقل من الضوء فوق البنفسجي، لذلك فإن التنجستن له تردد عتبة أكبر.

b. له اقتران شغل أكبر؟

التنجستن.

45. قارن طول موجة دي برولي المصاحبة لكرة البيسبول الموضحة في **الشكل 10–8** بقطر الكرة.



■ **الشكل 10–8**

قطر كرة البيسبول 0.10 m تقريبًا بينما طول موجة دي برولي 10^{-34}m، وبذلك يكون قطر كرة البيسبول أكبر 10^{33} مرة من الطول الموجي لموجة دي برولي المصاحب لها.

إتقان حل المسائل

8–1 النموذج الجسيمي للموجات

صفحة 58–57

46. اعتمادًا على نظرية بلانك، كيف يتغير تردد اهتزاز ذرة إذا بعثت طاقة مقدارها 5.44×10^{-19} J عندما تغيّرت قيمة n بمقدار 1؟

$$E=nhf$$

لذا:

$$f=\frac{E}{nh}=\frac{5.44\times10^{-19}\,\text{J}}{(1)(6.63\times10^{-34}\,\text{J.s})}$$

$$=8.21\times10^{14}\,\text{Hz}$$

47. ما مقدار فرق الجهد اللازم لإيقاف إلكترونات طاقتها الحركية العظمى 4.8×10^{-19} J؟

$$KE=-qV_0$$

أي:

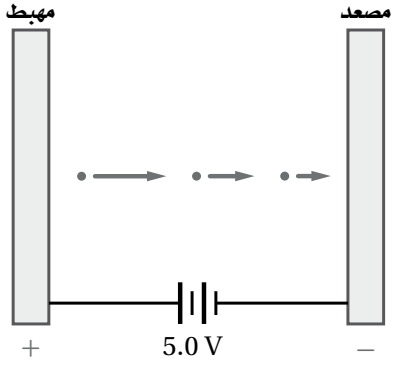
$$V_0=\frac{KE}{-q}=\frac{4.8\times10^{-19}\,\text{C}}{-(-1.60\times10^{-19}\,\text{C})}=3.0\,\text{V}$$

48. ما زخم فوتون الضوء البنفسجي الذي طوله الموجي 4.0×10^{2} nm؟

$$p=\frac{h}{\lambda}=\frac{6.63\times10^{-34}\,\text{J.s}}{4.0\times10^{-7}\,\text{m}}$$

$$=1.7\times10^{-27}\,\text{kg.m/s}$$

49. جهد الإيقاف لإلكترونات فلز معين موضح في **الشكل 11–8**. ما مقدار الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات الضوئية بدلالة الوحدات التالية؟



■ **الشكل 11–8**

a. الإلكترون فولت

$$KE=-qV_0$$

$$=-(-1\,\text{e})(5.0\,\text{V})$$

$$=5.0\,\text{eV}$$

b. الجول

$$\left(\frac{5.0\text{ eV}}{1}\right)\left(\frac{1.60\times10^{-19}\text{ J}}{1\text{ eV}}\right)$$
$$= 8.0\times10^{-19}\text{ J}$$

50. تردد العتبة لفلز معين 3.00×10^{14} Hz. ما مقدار الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحررة إذا أضيء الفلز بضوء طوله الموجي 6.50×10^{2} nm؟

$$KE = hf - hf_0$$
$$= h\left(\frac{c}{\lambda} - f_0\right)$$
$$= (6.63\times10^{-34}\text{ J.s})$$
$$\left(\frac{3.00\times10^{8}\text{ m/s}}{6.50\times10^{-7}\text{ m}} - 3.00\times10^{14}\text{ Hz}\right)$$
$$= 1.07\times10^{-19}\text{ J}$$

51. ما مقدار الشغل اللازم لتحرير إلكترون من سطح الصوديوم إذا كان تردد العتبة له 4.4×10^{14} Hz؟

$$\text{الشغل} = hf_0$$
$$= (6.63\times10^{-34}\text{ J/Hz})(4.4\times10^{14}\text{ Hz})$$
$$= 2.9\times10^{-19}\text{ J}$$

52. إذا سقط ضوء تردده 1.00×10^{15} Hz على الصوديوم في المسألة السابقة، فما مقدار الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات الضوئية؟

$$KE = hf - hf_0$$
$$= h(f - f_0)$$
$$= (6.63\times10^{-34}\text{ J/Hz})$$
$$(1.00\times10^{15}\text{ Hz} - 4.4\times10^{14}\text{ Hz})$$
$$= 3.7\times10^{-19}\text{ J}$$

53. **مقياس الضوء** يستعمل مقياس الضوء الفوتوجرافي خلية ضوئية لقياس الضوء الساقط على الجسم المراد تصويره. كم يجب أن يكون اقتران الشغل لمادة المهبط حتى تكون الخلية الضوئية حساسة للضوء الأحمر (λ= 680 nm) كحساسيتها للألوان الأخرى للضوء؟

$$W = \frac{1240\text{ eV.nm}}{\lambda_0} = \frac{1240\text{ eV.nm}}{680\text{ nm}}$$
$$= 1.8\text{ eV}$$

54. **الطاقة الشمسية** يُستهلك 4×10^{-11} J من الطاقة كل عام في الاستخدامات المنزلية في دولة ما. إذا كانت أشعة الشمس تسقط على بعض أجزاء هذه الدولة لمدة 3000 h كل عام، فأجب عما يلي:

a. ما مقدار الطاقة الشمسية التي تسقط على المتر المربع الواحد كل عام؟

تستقبل الأرض 1000 J/m^2 في كل ثانية، أي:

$$E = (1000\text{ J/m}^2\text{.s})\left(\frac{3600\text{ s}}{\text{h}}\right)\left(\frac{3000\text{ h}}{\text{y}}\right)$$
$$= 1\times10^{10}\text{ J/m}^2 \text{ كل عام}$$

b. إذا كان بالإمكان تحويل هذه الطاقة الشمسية إلى طاقة مفيدة بكفاءة 20%، فما مقدار المساحة التي يجب استخدامها لإنتاج طاقة مساوية لتلك التي تستهلك في المنازل.

$$\text{المساحة} = \frac{4\times10^{11}\text{ J}}{(0.2)(1\times10^{10}\text{ J/m}^2)}$$
$$= 2\times10^{2}\text{ m}^2$$

8–2 موجات المادة

صفحة 58

55. ما مقدار طول موجة برولي المصاحبة لإلكترون يتحرك بسرعة 3.0×10^{6} m/s؟

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$
$$= \frac{6.63\times10^{-34}\text{ J.s}}{(9.11\times10^{-31}\text{ kg})(3.0\times10^{6}\text{ m/s})}$$
$$= 2.4\times10^{-10}\text{ m}$$
$$= 0.24\text{ nm}$$

56. ما مقدار السرعة التي يجب أن يتحرك بها إلكترون لتكون طول موجة دي برولي المصاحبة له 3.0×10^{-10} m؟

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$
$$v = \frac{h}{m\lambda}$$
$$= \frac{6.63\times10^{-34}\text{ J/Hz}}{(9.11\times10^{-31}\text{ kg})(3.0\times10^{-10}\text{ m})}$$
$$= 2.4\times10^{6}\text{ m/s}$$

57. يتسارع إلكترون في أنبوب أشعة مهبطية من السكون خلال فرق جهد 5.0×10^3 V. ما مقدار:

a. سرعة الإلكترون؟

$$\frac{1}{2}mv^2 = qV$$

$$v = \sqrt{\frac{qV}{\frac{1}{2}m}}$$

$$v = \sqrt{\frac{(1.60\times10^{-19}\text{ C})(5.0\times10^{3}\text{ V})}{\left(\frac{1}{2}\right)(9.11\times10^{-31}\text{ kg})}}$$

$$= 4.2\times10^{7}\text{ m/s}$$

b. الطول الموجي المصاحب للإلكترون؟

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

$$= \frac{6.63\times10^{-34}\text{ J/Hz}}{(9.11\times10^{-31}\text{ kg})(4.2\times10^{7}\text{ m/s})}$$

$$= 1.7\times10^{-11}\text{ m} = 0.017\text{ nm}$$

58. احتُجز نيوترون طاقته الحركية 0.02 eV فقط.

a. ما سرعة النيوترون؟

$$KE = (0.02\text{ eV})(1.60\times10^{-19}\text{ J/eV})$$

$$= 3.2\times10^{-21}\text{ J}$$

$$= \frac{1}{2}mv^2$$

$$v = \sqrt{\frac{2KE}{m}} = \sqrt{\frac{(2)(3.2\times10^{-21}\text{ J})}{1.67\times10^{-27}\text{ kg}}}$$

$$= 1.96\times10^{3}\text{ m/s}$$

b. أوجد طول موجة دي برولي المصاحبة للنيوترون.

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

$$= \frac{6.63\times10^{-34}\text{ J.s}}{(1.67\times10^{-27}\text{ kg})(1.96\times10^{3}\text{ m/s})}$$

$$= 2.03\times10^{-10}\text{ m}$$

59. إذا كانت الطاقة الحركية لإلكترون ذرة الهيدروجين 13.65 eV فاحسب:

a. مقدار سرعة الإلكترون.

$$KE = \frac{1}{2}mv^2$$

$$v = \sqrt{\frac{2KE}{m}}$$

$$= \sqrt{\frac{(2)(13.65\text{ eV})(1.60\times10^{-19}\text{ J/eV})}{9.11\times10^{-31}\text{ kg}}}$$

$$= 2.19\times10^{6}\text{ m/s}$$

b. مقدار طول موجة دي برولي المصاحبة للإلكترون.

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

$$= \frac{6.63\times10^{-34}\text{ kg.m/s}}{(9.11\times10^{-31}\text{ kg})(2.19\times10^{6}\text{ m/s})}$$

$$= 0.332\text{ nm}$$

c. محيط ذرة الهيدروجين ثم قارنه بطول موجة دي برولي المصاحبة لإلكترون الذرة. علمًا بأن نصف قطر ذرة الهيدروجين 0.519 nm.

$$C = 2\pi r$$

$$= (2\pi)(0.519\text{ nm}) = 3.26\text{ nm}$$

أي أن المحيط يساوي 10 أطوال موجية مكتملة.

60. إذا كان طول موجة دي برولي المصاحبة لإلكترون 0.18 nm

a. فما مقدار فرق الجهد الذي تحرك خلاله إذا بدأ الحركة من السكون؟

طول موجة دي بولي:

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

ومنها فإن السرعة تعطى بالعلاقة :

$$v = \frac{h}{m\lambda}$$

الطاقة الحركية عندها تساوي:

$$KE = \frac{1}{2}mv^2$$

$$= \frac{1}{2}m\left(\frac{h}{m\lambda}\right)^2$$

$$= \frac{h^2}{2m\lambda^2}$$

وباستخدام مصطلح فرق الجهد فإن الطاقة الحركية تساوي: $KE = qV$

وباستخدام العلاقتين السابقتين للطاقة الحركية فإن فرق الجهد V يساوي:

$$V = \frac{h^2}{2mq\lambda^2}$$
$$= \frac{(6.63\times10^{-34}\ \text{J.s})^2}{(2)(9.11\times10^{-31}\ \text{kg})(1.60\times10^{-19}\ \text{C})(0.18\times10^{-9}\ \text{m})^2}$$
$$= 47\ \text{V}$$

b. إذا كان طـول موجـة دي برولـي المصاحبة لبروتون 0.18 nm فمـا مقدار فرق الجهد الذي تحرك خلاله إذا بدأ الحركة من السكون؟

باستخدام الإشتقاق السابق فإن فرق الجهد يساوي:

$$V = \frac{h^2}{2mq\lambda^2}$$
$$= \frac{(6.63\times10^{-34}\ \text{J.s})^2}{(2)(1.67\times10^{-27}\ \text{kg})(1.60\times10^{-19}\ \text{C})(0.18\times10^{-9}\ \text{m})^2}$$
$$= 0.025\ \text{V}$$

مراجعة عامة

صفحة 59–58

61. ما مقدار الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحررة من فلز إذا كان جهد إيقافها 3.8 V؟

$$KE = -qV_0 = -(-1\ \text{e})(3.8\ \text{V}) = 3.8\ \text{eV}$$

62. إذا كان تردد العتبة لفلز ما 8.0×10^{14} Hz، فما اقتران الشغل له؟

$$W = hf_0$$
$$= (6.63\times10^{-34}\ \text{J/Hz})(8.0\times10^{14}\ \text{Hz})$$
$$= 5.3\times10^{-19}\ \text{J}$$

63. إذا سقط ضوء تردده 1.6×10^{15} Hz على الفلز في المسألة السابقة، فما مقدار الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات الضوئية؟

$$KE = hf - hf_0$$
$$= (6.63\times10^{-34}\ \text{J/Hz})(1.6\times10^{15}\ \text{Hz}) - 5.3\times10^{-19}\ \text{J}$$
$$= 5.3\times10^{-19}\ \text{J}$$

64. احسب طول موجة دي برولي المصاحبة لديوترون (نواة نظير الهيدروجين ^{2}H) كتلته 3.3×10^{-27} kg ويتحرك بسرعة 2.5×10^4 m/s.

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$
$$= \frac{(6.63\times10^{-34}\ \text{J.s})}{(3.3\times10^{-27}\ \text{kg})(2.5\times10^4\ \text{m/s})}$$
$$= 8.0\times10^{-12}\ \text{m}$$

65. إذا كان اقتران الشغل للحديد 4.7 eV

a. فما مقدار طول موجة العتبة له؟

$$W = \frac{hc}{\lambda_0} = \frac{1240\ \text{eV.nm}}{\lambda_0}$$

$$\lambda_0 = \frac{1240\ \text{eV.nm}}{W} = \frac{1240\ \text{eV.nm}}{4.7\ \text{eV}}$$

$$= 2.6\times10^{2}\ \text{nm}$$

b. إذا أُسقط إشعاع طوله الموجي 150 nm على الحديد، فما مقدار الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحررة بوحدة eV؟

$$KE = \frac{hc}{\lambda} - \frac{hc}{\lambda_0} = \frac{1240\ \text{eV.nm}}{150\ \text{nm}} - 4.7\ \text{eV}$$

$$= 3.6\ \text{eV}$$

66. إذا كان اقتران الشغل للباريوم 2.48 eV، فما أكبر طول موجي للضوء يستطيع تحرير إلكترونات منه؟

$$\text{اقتران الشغل} = 2.48\ \text{eV} = hf_0 = \frac{hc}{\lambda_0}$$

أي:

$$\lambda_0 = \frac{hc}{2.48\ \text{eV}}$$

$$= \frac{(6.63\times10^{-34}\ \text{J.s})(3.00\times10^{8}\ \text{m/s})}{(2.48\ \text{eV})\left(\frac{1.60\times10^{-19}\ \text{J}}{1\ \text{eV}}\right)}$$

$$= 5.01\times10^{-7}\ \text{m}$$

$$= 501\ \text{nm}$$

67. طول موجة دي برولي المصاحبة لإلكترون 400.0 nm، وهي تساوي أقصر طول موجي للضوء المرئي. احسب مقدار:

a. سرعة الإلكترون.

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

أي:

$$v = \frac{h}{m\lambda}$$

$$= \frac{6.63\times10^{-34}\ \text{J/Hz}}{(9.11\times10^{-31}\ \text{kg})(400.0\times10^{-9}\ \text{m})}$$

$$= 1.82\times10^{3}\ \text{m/s}$$

b. طاقة الإلكترون بوحدة eV.

$$KE = \frac{1}{2}mv^2$$

$$= \left(\frac{1}{2}\right)(9.11\times10^{-31}\ \text{kg})(1.82\times10^{3}\ \text{m/s})^2$$

$$\left(\frac{\text{eV}}{1.60\times10^{-19}\ \text{J}}\right)$$

$$= 9.43\times10^{-6}\ \text{eV}$$

68. **المجهر الإلكتروني** يعدّ المجهر الإلكتروني مفيدًا لأنه يمكن جعل الأطوال الموجية لموجات دي برولي المصاحبة للإلكترونات أقصر من الطول الموجي للضوء المرئي. ما مقدار الطاقة (بوحدة eV) اللازم تزويدها لإلكترون حتى يكون طول موجة دي برولي المصاحبة له 20.0 nm؟

طول موجة دي بولي:

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

ومنها فإن السرعة تعطى بالعلاقة:

$$v = \frac{h}{m\lambda}$$

الطاقة الحركية عندها تساوي:

$$KE = \frac{1}{2}mv^2$$

$$= \frac{1}{2}m\left(\frac{h}{m\lambda}\right)^2$$

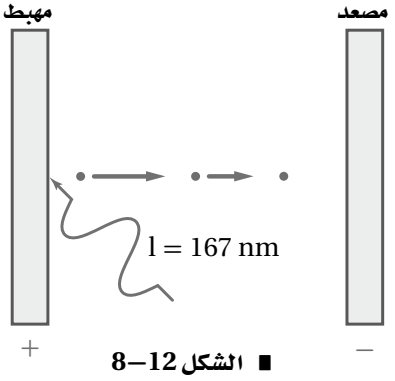
$$= \frac{h^2}{2m\lambda^2}$$

$$= \left(\frac{(6.63\times10^{-34}\ \text{J.s})^2}{(2)(9.11\times10^{-31}\ \text{kg})(20.0\times10^{-9}\ \text{m})^2}\right)$$

$$\left(\frac{1\ \text{eV}}{1.60\times10^{-19}\ \text{J}}\right)$$

$$= 3.77\times10^{-3}\ \text{eV}$$

69. يسقط إشعاع على قصدير، كما في **الشكل 12–8**. إذا كان تردد العتبة للقصدير 1.2×10^{15} Hz فما مقدار:



■ **الشكل 12–8**

a. طول موجة العتبة للقصدير؟

$$c = \lambda f$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3.00\times10^{8}\ \text{m/s}}{1.2\times10^{15}\ \text{Hz}} = 2.5\times10^{-7}\ \text{m}$$

b. اقتران الشغل للقصدير؟

$$W = hf_0$$

$$= (6.63\times10^{-34}\ \text{J/Hz})(1.2\times10^{15}\ \text{Hz})$$

$$= 8.0\times10^{-19}\ \text{J}$$

c. الطاقة الحركية للإلكترونات المتحررة بوحدة eV، إذا كان الطول الموجي للإشعاع الكهرومغناطيسي الساقط 167 nm؟

$$KE_{\text{عظمى}} = \frac{hc}{\lambda} - hf_0$$

$$= \frac{(6.63\times10^{-34}\ \text{J/Hz})(3.00\times10^{8}\ \text{m/s})}{167\times10^{-9}\ \text{m}} - 8.0\times10^{-19}\ \text{J} = 3.9\times10^{-19}\ \text{J}$$

$$KE_{\text{عظمى}}(\text{eV}) = (3.9\times10^{-19}\ \text{J})\left(\frac{1\ \text{eV}}{1.60\times10^{-19}\ \text{J}}\right) = 2.4\ \text{eV}$$

التفكير الناقد

صفحة 60–59

70. **تطبيق المفاهيم** يبعث مصدر ليزر هيليوم– نيون فوتونات طولها الموجي 632.8 nm.

a. احسب مقدار الطاقة بوحدة الجول لكل فوتون يُبعث من الليزر.

كل فوتون يمتلك طاقة تساوي: $E = \frac{hc}{\lambda}$

$$= \frac{(6.63\times10^{-34}\ \text{J.s})(3.00\times10^{8}\ \text{m/s})}{632.8\times10^{-9}\ \text{m}}$$

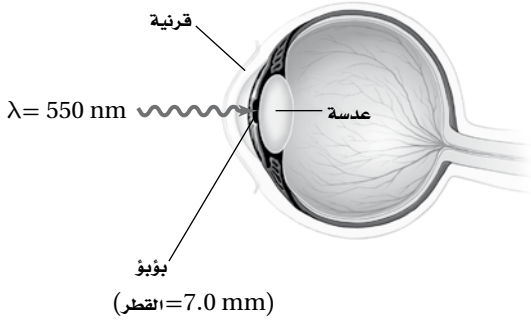
$$= 3.14\times10^{-19}\ \text{J}$$

b. إذا كانت قدرة مصدر ليزر صغير تقليدي 0.5 mW تكافئ(5×10^{-4} J/s)، فما عدد الفوتونات المنبعثة من مصدر الليزر في كل ثانية؟

$$n = \frac{P}{E} = \frac{5\times10^{-4}\ \text{J/s}}{3.14\times10^{-19}\ \text{J/فوتون}}$$

$$= 2\times10^{15}\ \text{فوتون/s}$$

71. تطبيق المفاهيم يدخل الضوء المرئي الذي شدته $1.5\times10^{-11}\ \text{W/m}^2$ بصعوبة إلى عين إنسان، كما في **الشكل 13–8**.



■ **الشكل 13–8**

a. إذا سلط هذا الضوء على عين الإنسان ومر خلال بؤبؤ عينه، فما مقدار القدرة التي تدخل عينه بوحدة الواط؟

القدرة = (شدة الضوء)(المساحة)

$$= (\text{شدة الضوء})(\pi r^2)$$

$$= (1.5\times10^{-11}\ \text{W/m}^2)(\pi(3.5\times10^{-3}\ \text{m})^2)$$

$$= 5.8\times10^{-16}\ \text{W}$$

b. استخدم الطول الموجي المُعطى للضوء المرئي والمعلومات المُعطاة في **الشكل 13–8** لكي تحسب عدد الفوتونات التي تدخل العين في كل ثانية.

طاقة كل فوتون: $E = \frac{hc}{\lambda}$

$$= \frac{(6.63\times10^{-34}\ \text{J.s})(3.00\times10^{8}\ \text{m/s})}{550\times10^{-9}\ \text{m}}$$

$$= 3.62\times10^{-19}\ \text{J}$$

$$n = \frac{P}{E} = \frac{5.8\times10^{-16}\ \text{J/s}}{3.62\times10^{-19}\ \text{J/فوتون}}$$

$$= 1600\ \text{فوتونات/s}$$

72. إنشاء الرسوم البيانية واستخدامها أكمل طالب تجربة التأثير الكهروضوئي، وسجّل جهد الإيقاف كدالة رياضية في الطول الموجي، كما في **الجدول 1–8**. وكان مهبط الخلية الضوئية مصنوع من الصوديوم. عيّن البيانات (جهد الإيقاف مقابل التردد) واستعمل الآلة الحاسبة لرسم أفضل خط مستقيم. استخدم الميل والمقطع وأوجد اقتران الشغل، وطول موجة العتبة، ومقدار $\frac{h}{q}$ في هذه التجربة. قارن قيمة $\frac{h}{q}$ مع القيمة المقبولة.

الجدول 1–8

جهد الإيقاف مقابل الطول الموجي

λ (nm)	V_0 (eV)
200	4.20
300	2.06
400	1.05
500	0.41
600	0.03

حوّل الطول الموجي إلى تردد ، ثم مثّل البيانات بعد ذلك بيانيًّا، ثم حدد أفضل ميل للخط المستقيم من الرسم البياني.

$$\text{الميل} = 4.18\times10^{-15}\ \text{V/Hz}$$
$$= 4.18\times10^{-15}\ \text{J/Hz.C}$$

القيمة المقبولة تساوي :

$$\frac{h}{e} = \frac{(6.63\times10^{-34}\ \text{J/Hz})}{(1.60\times10^{-19}\ \text{C})}$$
$$= 4.14\times10^{-15}\ \text{J/Hz.C}$$

من الرسم البياني يكون تردد العتبة :

$$f_0 = 4.99\times10^{14}\ \text{Hz},$$

والذي يعطي طول موجة العتبة من خلال:

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_0} = \frac{3.00\times10^{8}\ \text{m/s}}{4.99\times10^{14}\ \text{Hz}} = 601\ \text{nm}$$

ويكون الشغل يساوي :

$$W = hf_0$$
$$= (6.63\times10^{-34}\ \text{J/Hz})(4.99\times10^{14}\ \text{Hz})$$
$$= 3.31\times10^{-19}\ \text{J}$$

الكتابة في الفيزياء

صفحة 60

73. في ضوء ما درسته عن مبدأ عدم التحديد .إبحث عن الحتمية وعدم التحديد في الفيزياء لهيزنبرج وأكتب بحثًا عن ذلك.

ستختلف الإجابات ويجب أن تتضمن: أن مبدأ هيزنبرج يتضمن أنه لا يمكن قياس خاصيتين فيزيائيتين (كالموقع والزخم) لجسيم (كالإلكترون) بلحظة واحدة معينة دون وجود قدر من عدم التأكد من دقة القياس لإحدى الخاصيتين، فإذا عرفنا موقع الإلكترون بلحظة ما أصبح مستحيلًا معرفة زخمه بالدقة نفسها. وينتج عدم التحديد عن عملية القياس نفسها، والتي تؤثر فيها أجهزة القياس على الكميات المقيسة، بما فيها الضوء المستخدم نفسه. فعلى هذا المستوي فإنه عند التعامل مع ذرات أو جزيئات أو جسيمات أولية نقوم بتصويب فوتونات لقياس سرعة هذه الجسيمات بدقة معينة، ثم نصوب فوتونات أخرى لقياس موضع هذه الجسيمات. ونظرًا لأن الفوتونات لها طاقة تقوم بدفع الجسيم عند الاصطدام به فيتغير موقعه، وبالتالي فإننا لا نستطيع تحديد موقعه بدقة ولا تحديد زخمه بدقة.

مراجعة تراكمية

صفحة 60

74. يتحرك شعاع من الالكترونات بسرعة $2.8\times10^{8}\ \text{m/s}$ في مجال كهربائي مقداره $1.4\times10^{4}\ \text{N/C}$ ما مقدار المجال المغناطيسي الذي يجب أن تتحرك خلاله الالكترونات حتى تحافظ على حركتها فيه دون انحراف؟

$$v = \frac{E}{B}$$
$$B = \frac{E}{v} = \frac{1.4\times10^{4}\ \text{N/C}}{2.8\times10^{8}\ \text{m/s}}$$
$$= 5.0\times10^{-5}\ \text{T} = 5.0\times10^{1}\ \mu\text{T}$$

تابع الفصل 8

مسألة تحفيز

صفحة 45

افـترض أن قطعـة نقدية كتلتها 5.0 g معلقـة بنابض تهتز إلى أعلى وإلى أسفل، وكانت السرعة القصوى لهذه القطعة في أثناء اهتزازها 1.0 cm/s. اعتـبر أن قطعة النقـد المهتزة تمثِّل الاهتزازات الكمية للإلكترونـات في الذرة، حيث تعطى طاقة الاهتـزازات بالمعادلة $E = nhf$.

1. احسب الطاقة الحركية العظمى للجسم المهتز.

$$KE = \frac{1}{2}mv^2$$

$$= \left(\frac{1}{2}\right)(5.0\times10^{-3}\ \text{kg})(1.0\times10^{-2}\ \text{m/s})^2$$

$$= 2.5\times10^{-7}\ \text{J}$$

2. يبعـث الجسـم المهتـز طاقـة علـى شـكل ضـوء بتردد 5.0×10^{14} Hz إذا كانـت هـذه الطاقة تُبعث في مرحلة واحدة فاحسب الطاقة التي يفقدها الجسم.

$$E = hf$$

$$= (6.63\times10^{-34}\ \text{J/Hz})(5.0\times10^{14}\ \text{Hz})$$

$$= 3.3\times10^{-19}\ \text{J}$$

3. حدد عدد المراحل التي ستقل فيها طاقة الجسم بمقادير متساوية من أجل أن يفقد طاقته كلها.

$$\text{عدد المراحل} = \frac{2.5\times10^{-7}\ \text{J}}{3.3\times10^{-19}\ \text{J/مرحلة}}$$

$$= 7.6\times10^{11}\ \text{مراحل}$$