الدرس الأول

الطبيعة الجسيمية للضوء

☑ مقدمة

تطور علم الفيزياء الكلاسيكية على يد كثير من العلماء منهم نيوتن ، غاليليو وماكسويل الذي اهتم بدراسة **النظرية الكهرومغناطيسية** والتي تنظر إلى الإشعاع الكهرومغناطيسي والضوء على انه **موجات** كهرومغناطيسية.

وقد نجحت هذه النظرية في تفسير كثير من الظواهر المتعلقة بالضوء مثل:

1 الحيود 2 التداخل 3 الانعكاس 4 الانكسار

☑ الحاجة إلى الفيزياء الحديثة

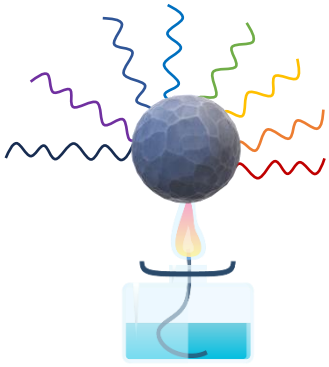
في بدايات القرن العشرين اكُتشفت ظواهر فيزيائية جديدة مرتبطة بالإشعاع الكهرومغناطيسي لم تنجح الفيزياء الكلاسيكية في تفسيرها منها:

1 إشعاع الجسم الأسود 2 الظاهرة الكهروضوئية 3 تأثير كومبتون

4 تركيب الذرات 5 الاطياف الخطية للذرات

إنّ الحاجة إلى تفسير هذه الظواهر أدّت إلى نشوء علم الفيزياء الحديثة، ويندرج تحتها علم فيزياء الكمّ **الذي يُعنى بدراسة أنظمة الجُسيمات الذريّة ودون الذريّة (دون الجاهريّة)** ضمن مجالات منها الفيزياء الذرية والفيزياء النووية وفيزياء أشباه الموصلات.

1 الاشعة الكهرومغناطيسية

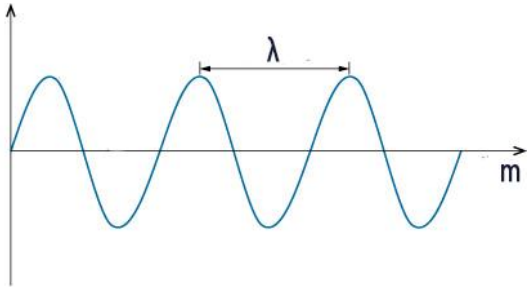


عند درجات حرارة أكبر من الصفر المطلق تُشعّ الأجسام **طاقة** على شكل **أشعة كهرومغناطيسية** حيث يعتمد إشعاع جسم للطاقة على كلا من

1 درجة حرارته 2 طبيعة سطحه

ملاحظات هامة...

(1) يمكن تمثل الاشعة الكهرومغناطيسية على انها موجات حيث إن لكل موجة



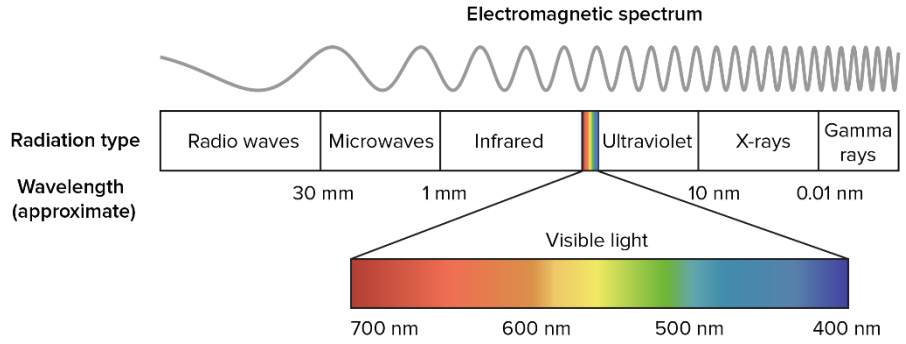
طول موجي (λ): وهو المسافة بين قمتين أو قاعين متتاليتين وتقاس بوحدة المتر (m)

تردد (f) هو عدد مرات تكرار الموجة خلال ثانية واحدة ويقاس بوحدة الهيرتز (Hz) والتي تكافئ (S^{-1})

(2) تنتقل هذه الموجات في الفراغ بسرعة الضوء $(c = 3\times10^{8} m/s)$

(3) يمكن الربط بين التردد والطول الموجي والسرعة من خلال القانون التالي $f = \frac{C}{\lambda}$

(4) تختلف طبيعة الاشعة الكهرومغناطيسية باختلاف الطول الموجي (والتردد) للإشعاع كما في الشكل التالي



مثال (1)

إشعاع كهرومغناطيسي طوله الموجي $(600\,\text{nm})$ يتحرك في الهواء ، اجب عن الأسئلة الاتية:

1) ما مقدر سرعة هذا الاشعاع

2) ما مقدار تردد هذا الاشعاع

الحل

1) كل الاشعة الكهرومغناطيسية لها السرعة نفسها في الهواء (والفراغ) وتساوي سرعة الضوء

$c = 3\times10^{8}\,m/s$

2) بالاعتماد على المعادلة التالية نجد التردد

$$f = \frac{C}{\lambda} = \frac{3\times10^{8}}{6\times10^{-9}} = 0.5\times10^{17} = 5\times10^{16}\,\text{Hz}$$

مثال (2)

بالاعتماد على ما سبق وضح ما المقصود بالضوء وما الفرق بين الألوان المختلفة للضوء

الحل

الضوء هو عبارة عن إشعاع كهرومغناطيسي حيث إن لكل لون من ألوان الضوء طول موجي (وتردد) مختلفة عن الألوان الأخرى (انظر إلى الشكل السابق)

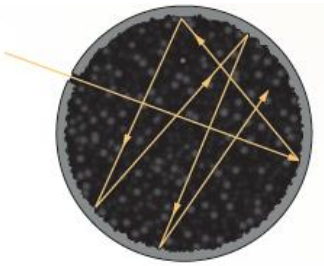
2 إشعاع الجسم الأسود

كما تعلمنا سابقا فإن الاجسام الساخنة يصدر عنها اشعة كهرومغناطيسية ولفهم الإشعاع الحراريّ المُنبعث من الجسم، طوّر العلماء مفهوم **الجسم الأسود**

التعريف

الجسم الأسود : وهو جسم مثاليّ يمتصّ الأشعة الكهرومغناطيسية الساقطة عليه بغضّ النظر عن تردّداتها، ويُشّعها بالكفاءة نفسها، ويعتمد انبعاث الأشعة منه على درجة حرارته فقط

ملاحظات هامة...

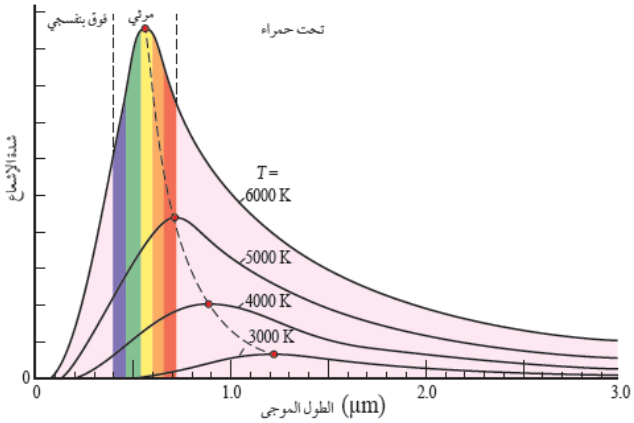


1. يعتمد انبعاث الأشعة من الجسم الاسود على **درجة حرارته فقط**
2. أُطلق عليه اسم الجسم الأسود؛ لأنّ الجسم الذي يمتص الأشعة الساقطة عليه جميعها يكون لونه أسود
3. يوضّح الشكل المجاور تصوّرًا للجسم الأسود بأنّه ثقب صغير في جسم أجوف، والأشعة التي تدخل الجسم من خلال الثقب تُمتصّ امتصاصًا كاملًا.

☑ العلاقة بين شدة الاشعاع والطول الموجي

بعد تسخين الجسم الأسود يبدا مجددا ببعث الاشعة الكهرومغناطيسية منه والشكل التالي يبين العلاقة بين شدة الاشعاع المنبعث والطول الموجي للأشعة المنبعثة عند درجات حرارة مختلفة

ملاحظات هامة...



1. يبعث الجسم الأسود تقريبا جميع الاطوال الموجية عند تسخينه إلا ان هنالك اطوال موجية محددة تكون هي الأكثر شدة
2. كلما ارتفعت درجة حرارة الجسم تنزاح **قمة المنحنى** نحو الأطوال الموجية الأقصر (الترددات الأعلى)
3. درجة حرارة الشمس تقريبا 6000 كلفن، لذلك فهي تشع اغلب طاقته في منطقة الضوء المرئي، ولكنها أيضا تصدر اشعة كهرومغناطيسية أخرى مثل الاشعة تحت الحمراء والاشعة فوق البنفسجية

4. المساحة تحت المنحنى السابق تمثل معدل الطاقة الكلية المشعة لكل وحدة مساحة من الجسم الساخن
5. الاجسام التي تكون حرارتها 3000 كلفن تشع اغلب طاقته في منطقة الاشعة تحت الحمراء لذلك لا نشاهد ضوء صادر عنها

☑ تفسير الفيزياء الكلاسيكية للظاهرة

استخدم العالِمان رايلي وجينز الفيزياء الكلاسيكية لتفسير منحنى اشعاع الجسم الاسود، التي ترتكز على أنّ:

(1) الأجسام تُشعّ الطاقة، وتمتصّها بأيّ مقدار وعند أيّ تردّد
(2) امتصاص الطاقة وإشعاعها يكون **مُتصِلً**
(3) تعتمد الطاقة على **شدة الاشعاع**

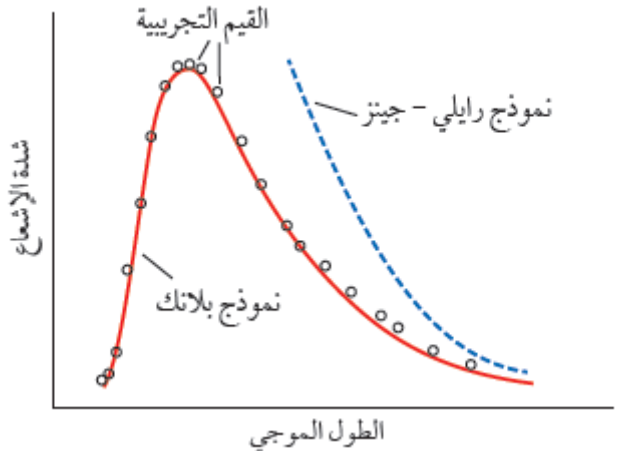
النتيجة

عند مقارنة النتائج التجريبية مع نموذج رايلي-جينز نجد ان النموذج يتوافق مع التجربة في بعض المناطق، ولكن لا يتوافق معها في مناطق أخرى كما في الجدول التالي

	المنطقة
التوافق	الاطوال الموجية الكبيرة الترددات الصغيرة الاشعة تحت الحمراء
عدم التوافق	الاطوال الموجية القصيرة الترددات الكبيرة الاشعة فوق البنفسجية

بحسب نموذج رايلي-جينز نجد ان شدة الإشعاع تؤول إلى اللانهاية عندما يؤول طولها الموجي إلى الصفر، في حين تشير النتائج التجريبية بأنها (شدة الإشعاع) تؤول إلى الصفر وهذا ما عُرف في تاريخ الفيزياء باسم **كارثة الأشعة فوق البنفسجية**

والشكل التالي يبين الفرق بين نتائج نموذج رايلي-جينز والنتائج التجريبية للظاهرة.



عند تسخين موصل لفترة من الزمن نجد ان لون الموصل يصبح احمر واستمرار التسخين يصبح اصفر إلى ان يصبح لونه ابيض ولو كان نموذج رايلي جينز صحيحاً لأصبح لون الموصل ازرق بدلا من الأبيض

☑ تفسير الفيزياء الحديثة للظاهرة (تكمية الطاقة)

عام 1900 تمكن العالم ماكس بلانك من وضع صيغة رياضية تصف شدة الاشعاع المنبعث من الجسم الأسود وتطابقت حسابته مع التجربة تماما، وهنا كانت بداية علم الفيزياء الحديثة الذي يرتكز على ان

(1) الأشعة الصادرة عن الأجسام ناتجة من مُتذبذِبات (الإلكترونات في الذرات مثلا)
(2) إنّ هذه المتذبذِبات تشعّ الطاقة أو تمتصّها **بكميات محدّدة وغير متصلة**
(3) تعتمد طاقة الاشعاع على تردده

التعريف

فرضية بلانك : (تكمية الطاقة) **الطاقة التي تشعّها الأجسام أو تمتصّها عند تردّد معيّن تكون عددًا صحيحًا من مضاعفات طاقة الحزمة (الكمة) الواحدة؛ وطاقة الكمة الواحدة يُعبَّر عنها بالعلاقة الآتية:**

$$E = hf$$

(h) ثابت بلانك ويساوي $(6.63\times10^{-34}\,J.s)$ (f) تردد الاشعاع

وبذلك فإن الطاقة التي يشعها الجسم عند أي تردد تعطى بالعلاقة التالية

$$E = n\times hf$$

حيث (n) عدد صحيح موجب

وبذلك فإن طاقة الاشعة الصادرة عن جسم عند تردد (f) يمكن ان تأخذ واحدة من القيم التالية

$$hf\ ,\ 2hf\ ,\ 3hf\ ,\ 4hf\ ,\ 5hf\ ,.....$$

ملاحظات هامة...

1. يمكن إيجاد طاقة الكمة الواحدة للإشعاع الكهرومغناطيسي باستخدام الطول الموجي $E = h\times\frac{c}{\lambda}$
2. في الفيزياء الذرية نستخدم وحدة تسمى الإلكترون فولت لقياس الطاقة بدلا من الجول
3. **الإلكترون فولت (eV)** : هو مقدار الطاقة التي يكتسبها إلكترون عند تسريعه بفرق جهد مقداره (1V)

جول **(J)** $\xrightarrow{\times(1.6\times10^{-19})}$ إلكترون فولت **(eV)**

إلكترون فولت **(eV)** $\xrightarrow{\div(1.6\times10^{-19})}$ جول **(J)**

مثال (1)

جسم ساخن بدرجة حرارة معينة، ومعظم الأشعة الصادرة عنه تردّدها يساوي $\left(f=1\times10^{15}\,Hz\right)$، أجد طاقة الكمة الواحدة من الإشعاع عند هذا التردّد (بوحدة الجول ووحدة الإلكترون فولت)

الحل:

المعطيات: $f=1\times10^{15}\,Hz\ ,\ h=6.63\times10^{-34}\,J.s$

$$E=h\times f$$
$$=\left(6.63\times10^{-34}\right)\left(1\times10^{15}\right)$$
$$=\left(6.63\times10^{-19}\,J\right)$$
$$E_{(ev)}=\frac{\left(6.63\times10^{-19}\right)}{\left(1.6\times10^{-19}\right)}=4.1eV$$

مثال (2)

أجد طاقة كمة أشعّة سينيّة تردّدها $\left(4.2\times10^{18}\,Hz\right)$ (بوحدة الجول ووحدة الإلكترون فولت)

الحل:

المعطيات: $f=4.2\times10^{18}\,Hz\ ,\ h=6.63\times10^{-34}\,J.s$

$$E=h\times f$$
$$=\left(6.63\times10^{-34}\right)\left(4.2\times10^{18}\right)$$
$$=\left(27.846\times10^{-16}\,J\right)$$
$$E_{(ev)}=\frac{27.846\times10^{-16}}{\left(1.6\times10^{-19}\right)}=17.4\,\mathrm{K}eV$$

مثال (3)

هل يمكن لموجة كهرومغناطيسية تردّدها $\left(1\times10^{15}\,\mathrm{Hz}\right)$ ان تحمل طاقة مقدارها $\left(5\times10^{-19}\,J\right)$

الحل:

حسب مبدأ تكمية الطاقة لبلانك فإن مقدار طاقة الموجة يكون من مضاعفات طاقة الكمة الواحدة

$$E=n\times hf$$
$$\left(5\times10^{-19}\right)=n\times\left(6.63\times10^{-34}\right)\left(1\times10^{15}\right)$$
$$\Rightarrow n=0.754$$

لا يمكن ذلك لإن مقدار هذه الطاقة ليس من المضاعفات الصحيحة لطاقة الكمة الواحدة.

مثال (4)

الأجسام كلّها في الغرفة تبعث أشعّة كهرومغناطيسية، فلماذا لا نستطيع رؤية هذه الأجسام في غرفة مُعتمة؟

الحل:

لأن الأجسام في درجة حرارة الغرفة تشع أشعة كهرومغناطيسية ذات أطوال موجية كبيرة في منطقة الطول الموجي للأشعة تحت الحمراء التي لا تستطيع العين البشرية رؤيتها.

☑ نماذج الضوء (الاشعة الكهرومغناطيسية)

بعد صدور فرضية بلانك لتكمية الطاقة أصبح هنالك نموذجان لتفسير الضوء

النموذج الموجي (نموذج الفيزياء الكلاسيكية)

- الضوء عبارة عن **موجات** كهرومغناطيسية
- يحمل أي مقدار من الطاقة
- اشعاع الطاقة يكون **متصلاً**

وقد استطاع هذه النموذج تفسير العديد من الظواهر المرتبطة بالضوء منها

1. الحيود
2. التداخل
3. الانعكاس
4. الانكسار

النموذج الجسيمي (نموذج الفيزياء الحديثة)

- الضوء عبارة عن **جسيمات** تسمى فوتونات
- يحمل مقادير محددة من الطاقة
- اشعاع الطاقة يكون **منفصلاً**

وقد استطاع هذه النموذج تفسير العديد من الظواهر المرتبطة بالضوء منها

1. إشعاع الجسم الأسود
2. الظاهرة الكهروضوئية
3. تأثير كومبتون
4. تركيب الذرات
5. الاطياف الخطية للذرات

☑ خصائص الفوتونات

الجدول التالي يحتوي على جميع القوانين المرتبطة بالفوتونات

السرعة $\left(3\times10^{8} m/s\right)$	
الطاقة	$E=hf$ $E=h\frac{c}{\lambda}$
الكتلة	$m=\frac{E}{c^2}$ $m=\frac{h}{c\lambda}$
الزخم الخطي	$p=\frac{E}{c}$ $p=\frac{h}{\lambda}$

مثال (5)

فوتون اشعة كهرومغناطيسية تردده $\left(1\times10^{15}\,Hz\right)$ باعتبار ان ثابت بلانك قيمته $\left(h=6.6\times10^{-34}\,J.s\right)$ جد كلاً مما يأتي:

(1) سرعة الفوتون في الفراغ
(2) طوله الموجي
(3) طاقة الفوتون
(4) كتلة الفوتون
(5) الزخم الخطي للفوتون

الحل:

(1) سرعة الفوتون ثابتة وتساوي سرعة الضوء $\left(3\times10^{8}\,m/s\right)$

(2) $\lambda=\dfrac{c}{f}=\dfrac{3\times10^{8}}{1\times10^{15}}=3\times10^{-7}\,m\ =300nm$

(3) $E=hf=\left(6.6\times10^{-34}\right)\left(1\times10^{15}\right)=6.6\times10^{-19}\,J\ =4.125\,eV$

(4) $m=\dfrac{E}{c^{2}}=\dfrac{6.6\times10^{-19}}{\left(3\times10^{8}\right)^{2}}=7.334\times10^{-36}\,kg$

(5) $p=\dfrac{E}{c}=\dfrac{6.6\times10^{-19}}{3\times10^{8}}=2.2\times10^{-27}\,kg.m/s$

مثال (6)

أجد طاقة وتردّد فوتون مقدار زخمه الخطي $\left(8.85\times10^{-26}\,kg.m/s\right)$

الحل:

الطاقة تعطى بالصورة التالية

$$p=\frac{E}{c}\quad\Longrightarrow\quad E=p\times c=8.85\times10^{-26}\times3\times10^{8}=2.655\times10^{-17}\,J$$

$$E_{ev}=\frac{E}{e}=\frac{2.655\times10^{-17}}{1.6\times10^{-19}}=165.93eV$$

الان بمعرفة الطاقة يمكن إيجاد مقدار التردد كما يلي

$$f=\frac{E}{h}=\frac{2.655\times10^{-17}}{6.63\times10^{-34}}=4\times10^{16}\,Hz$$

مثال (7)

أجد النسبة بين الزخم الخطّي لفوتون طاقته (E)، والزخم الخطّي لإلكترون حرّ يملك الطاقة الحركية نفسها.

الحل:

$$\frac{P_{photon}}{P_{electron}}=\frac{\frac{E}{C}}{mv}$$

ولكن يمكن التعبير عن زخم الإلكترون بدلة الطاقة الحركية (كما تعلمنا في الوحدة الأولى) كما يلي

$$\frac{P_{photon}}{P_{electron}}=\frac{\frac{E}{C}}{\sqrt{2Em}}=\frac{1}{c}\sqrt{\frac{E}{2m}}$$

مثال (8)

موجة كهرومغناطيسية ترددها $\left(5\times10^{15}Hz\right)$ إذا علمت أن طاقتها تساوي $\left(6.63J\right)$ جد عدد فوتونات هذه الموجة

الحل:

$$E=n\times h\times f$$
$$6.63=n\times\left(6.63\times10^{-34}\right)\left(5\times10^{15}\right)$$
$$\Rightarrow n=2\times10^{18}$$

◈ أسئلة نظرية

في أيّ مناطق الطيف نجح نموذج رايلي-جينز في تفسير إشعاع الجسم الأسود؟

الحل:

نجح نموذج رايلي -جينز في تفسير إشعاع الجسم الأسود في منطقة الأطوال الموجية الكبيرة.

أذكر فرضيّة ماكس بلانك في تكمية الطاقة.

الحل:

افترض بلانك أن الأشعة الصادرة عن الأجسام ناتجة عن متذبذبات وأن هذه المتذبذبات تشع الطاقة او تمتصها بكميات محددة وغير متصلة.

وضح المقصود بالجسم الأسود

الحل:

الجسم الأسود: جسم مثالي يمتص جميع الأطوال الموجية للأشعة الكهرومغناطيسية ويشعها، ويعتمد انبعاث الأشعة منه على درجة حرارته فقط.

ما الفرق بين تفسير بلانك للإشعاع الصادر عن الأجسام، وتفسير الفيزياء الكلاسيكية ؟

الحل:

تفسير بلانك: يرى بلانك أن المتذبذبات تشع الطاقة وتمتصها بكميات محددة وغير متصلة على شكل كمات منفصلة لكل منها طاقة محددة تتناسب مع تردد الإشعاع .

تفسير الفيزياء الكلاسيكية : ترى الفيزياء الكلاسيكية أن المتذبذبات تشع الطاقة وتمتصها بأي مقدار وعند أي تردد بشكل متصل وأن هذه الطاقة تكون على شكل موجات كهرومغناطيسية تتناسب مع شدة الإشعاع

أذكر الظواهر التي فشل في تفسيرها النموذج الموجي للضوء ؟

الحل:

1) اشعاع الجسم الأسود
2) الظاهرة الكهروضوئية
3) الاطياف الذرية للغازات
4) تأثير كومبتون
5) تركيب الذرة

عند تسخين سلك فلزي فإنه يتوهج باعث ا أشعة كهرومغناطيسية، بدءا من اللون الأحمر مرور ا بالأصفر وانتهاء باللون الأبيض بارتفاع درجة حرارته. لماذا تغير لون التوهج إلى الأبيض؟

الحل:

امتصاص الجسم للطاقة يرفع درجة حرارته ونتيجة لذلك يزداد تردد المتذبذبات، فتبعث أشعة كهرومغناطيسية بترددات أكبر وبشدة أعلى. وباستمرار ارتفاع درجة حرارة الجسم تستمر الزيادة في ترددات الأشعة المنبعثة وشدتها فتبدأ ألوان الطيف المرئي في الظهور تباعا بدءا من أقل تردد والذي يقابل الضوء الأحمر، ثم البرتقالي ثم الأصفر وهكذا حتى يشع الجسم كافة ألوان الطيف المرئي وعندها يظهر الإشعاع الصادر عن الجسم باللون الأبيض الذي هو مزيج من ألوان الطيف المرئي

للضوء طبيعة مزدوجة موجيّة-جُسيميّة، أذكر ظواهر فيزيائية تدلّ على أنّ للضوء طبيعة موجيّة، وظواهرَ أخرى تدلّ على أنّ له طبيعة جُسيميّة

الحل:

طبيعة موجية: الحيود والتداخل.

طبيعة جسيمية: الظاهرة الكهروضوئية، تأثير كومبتون، إشعاع الجسم ألأسود، الأطياف الذرية.

صنّف الكميّات الفيزيائيّة الآتية: (الطول الموجيّ، التردّد، الطاقة، الزخم الخطّي) من حيث ارتباطها بالطبيعة الموجيّة أو الجُسيميّة للمادّة.

الحل:

الكميات المرتبطة بالطبيعة الموجية: الطول الموجي، التردد.

الكميات المرتبطة بالطبيعة الجسيمية: الزخم الخطي.

بينما فيما يخص الطاقة، فالجسيمات والموجات تحمل طاقة.

اختر الإجابة الصحيحة لكل مما يأتي

1- شدّة الطاقة المنبَعثة من جسم أسود درجة حرارته مقارِبة لدرجة حرارة الشمس تكون:

أ) أكبر ما يمكن عند الأطوال الموجيّة الكبيرة جدًّا للإشعاع.

ب) أكبر ما يمكن عند الأطوال الموجيّة القصيرة جدًّا للإشعاع

ج) أكبر ما يمكن في منطقة الأطوال الموجيّة للضوء المرئي.

د) متساوية عند جميع الأطوال الموجيّة للإشعاع.

2- لم يتطابق نموذج رايلي-جينز مع نتائج التجربة لإشعاع الجسم الأسود في منطقة:

أ) الأطوال الموجيّة الكبيرة .

ب) الأطوال الموجيّة القصيرة.

ج) الترددات الصغيرة.

د) الأطوال الموجيّة جميعها للإشعاع

واجبات (اختبر نفسك)

السؤال الأول

فوتون أشعة سينيّة تردّده $\left(4.2\times10^{18}\,Hz\right)$. أجد طاقته ومقدار زخمه الخطّي.

الحل:

الطاقة تعطى بالعلاقة التالية

$$E=hf=\left(6.63\times10^{-34}\times4.2\times10^{18}\right)=2.7846\times10^{-15}\,J$$

$$E_{(ev)}=\frac{2.7846\times10^{-15}}{1.6\times10^{-19}}=17.4KeV$$

الزخم الخطي يعطى بالعلاقة

$$p=\frac{h}{\lambda}=\frac{hf}{c}=\frac{E}{c}=\frac{2.7846\times10^{-15}}{3\times10^{8}}=9.282\times10^{-24}\,kg.m/s$$

السؤال الثاني

أجد مقدار الزخم الخطّي لكلّ ممّا يأتي:

أ) فوتون أشعّة مرئيّة طاقته $\left(3\times10^{-19}\,J\right)$

ب) فوتون أشعّة فوق بنفسجيّة تردّده $\left(5.4\times10^{15}\,Hz\right)$

ج) فوتون أشعّة سينيّة طول موجته $\left(2\,\text{nm}\right)$

الحل:

أ)

$$p=\frac{E}{c}=\frac{3\times10^{-19}}{3\times10^{8}}=1\times10^{-27}\,kg.m/s$$

ب)

$$p=\frac{hf}{c}=\frac{\left(6.63\times10^{-34}\times5.4\times10^{15}\right)}{3\times10^{8}}=1.19\times10^{-26}\,kg.m/s$$

ج)

$$p=\frac{h}{\lambda}=\frac{6.63\times10^{-34}}{2\times10^{-9}}=3.315\times10^{-25}\,kg.m/s$$

السؤال الثالث

إذا كان تردد موجة الضوء الأحمر يساوي $\left(4.6\times10^{14}\,Hz\right)$، أجد طاقة الكمة الواحدة له.
(بوحدة الجول ووحدة الإلكترون فولت)

الحل:

$$E = h\times f$$
$$= \left(6.63\times10^{-34}\right)\left(4.6\times10^{14}\right)$$
$$= \left(30.5\times10^{-20}\,J\right)$$
$$E_{(ev)} = \frac{\left(30.5\times10^{-20}\right)}{\left(1.6\times10^{-19}\right)} \cong 1.9\,e\,\mathrm{V}$$

السؤال الرابع

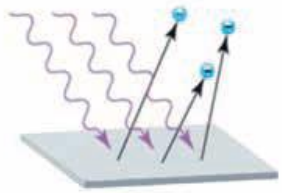
جهاز إرسال راديو FM ينتج في كل ثانية طاقة مقدارها $\left(130KW\right)$ ليبث موجات كهرومغناطيسية ترددها $\left(99.7\,\mathrm{MHz}\right)$ أجد عدد الفوتونات التي يبثها جهاز الإرسال في الثانية الواحدة.

الحل:

$$E = n\times h\times f$$
$$130\times10^{3} = n\times\left(6.63\times10^{-34}\right)\times\left(99.7\times10^{6}\right)$$
$$n = 1.97\times10^{30}$$

3 الظاهرة الكهروضوئية

☑ مقدمة

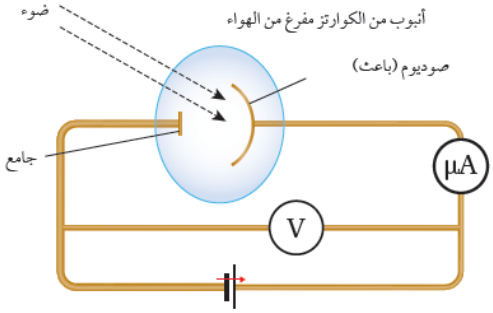


لاحظ العالم هيرتز خلال تجاربه، عام 1887 أنّ الشرارة الكهربائية تحدث على نحوٍ أسرع في جهاز الإرسال الخاص به عند تعريضه لأشعة فوق بنفسجية. وفيما بعد تبيّن أنّ سبب ذلك هو ما أصبح يعرف بالظاهرة الكهروضوئية.

التعريف

الظاهرة الكهروضوئية : هي ظاهرة انبعاث إلكترونات من سطح فلزّ عند سقوط إشعاع كهرومغناطيسي بتردّد مناسب عليه، كما في الشكل المجاور، وتُسمّى الإلكترونات المنبعِثة الإلكترونات الضوئيّة

☑ النتائج التجريبية للظاهرة



اول من درس الظاهرة الكهروضوئية بشكل تجريبي كان العالم لينارد مستخدماً الدارة الكهربائية في الشكل المجاور والتي تتكون من

1. أنبوب من زجاج الكوارتز مُفرَّغ من الهواء
2. مصدر فرق جهد كهربائي (بطارية)
3. قطبين فلزّيّين، أحدهما يُسمّى الباعث، والأخر يسمى الجامع
4. أجهزة قياس (الميكرو أميتر، وفولتميتر)
5. مصدر اشعة كهرومغناطيسية (ضوء)

آلية عمل تجربة لينارد

(1) عند سقوط أشعة كهرومغناطيسية بتردّد مناسب على الباعث تتحرّر الإلكترونات من سطحه، وتنطلق نحو الجامع

(2) يمر تيار كهربائي في الدارة نتيجة لتحرر الإلكترونات يسمى **تيار كهروضوئي**

(3) كلما زادت سالبيّة جهد الجامع، ازدادت قوّة تنافر الإلكترونات الكهربائيّة مع الجامع، فيقلّ التيار الكهروضوئي حيث لا يصل الجامع إلاّ الإلكترونات التي تمتلك طاقة حركية كافية للتغلّب على قوة التنافر الكهربائية مع الجامع

(4) فرق الجهد القادر على إيقاف الإلكترونات التي تمتلك الطاقة الحركية العظمى يسمى **جهد الإيقاف** ويمكن من خلاله معرفة الطاقة العظمى التي تمتلكها الإلكترونات باستخدام القانون التالي

$$KE_{max} = e \times V_s$$

ملاحظات هامة...

(1) الانبوب الزجاجي في تجربة لينارد مفرغ من الهواء تجنّبًا لفقد الإلكتروناتِ طاقةً حركيّةً نتيجة تصادمها بجُسيمات الهواء.

(2) صفيحة الباعث مصنوعة من مادة الصوديوم

(3) الباعث يكون موصول بالقطب الموجب لمصدر فرق الجهد والجامع موصول بالقطب السالب

نتائج تجربة لينارد

لاحظ لينارد المشاهدات التجريبية الآتية للظاهرة الكهروضوئية

1) تتحرّر إلكترونات من سطح الفلزّ فقط عندما يكون تردّد الأشعة الساقطة على سطحه أكبر من تردّد معيَّن أو يساويه، يُسمّى **تردّد العتبة**.
2) تنبعث الإلكترونات الضوئية بطاقات حركية متفاوتة، والقيمة العظمى للطاقة الحركية للإلكترونات المنبعثة من سطح الفلزّ تتناسب طرديًّا مع تردّد الأشعة الساقطة عليه، ولا تعتمد على شدّة الأشعة.
3) يزداد عدد الإلكترونات المنبعثة بزيادة شدّة الأشعة دون زيادة في الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات الضوئية.
4) تنبعث الإلكترونات انبعاثًا فوريًّا بمجرد سقوط الأشعة على سطح الفلزّ

☑ فشل الفيزياء الكلاسيكية في تفسير الظاهرة الكهروضوئية

بناءا على النموذج الموجي للأشعة الكهرومغناطيسية فإن الفيزياء الكلاسيكية تتنبأ بكل مما يلي:

1) تنبعث الإلكترونات عند أيّ تردّد للأشعة الساقطة على سطح الفلزّ، لأنّها تمتص الطاقة بأيّ مقدار وعند أيّ تردّد وبشكلٍ مستمر، وسقوط الأشعة على سطح الفلزّ مدّة زمنيّة مناسبة سيُمكّن الإلكترونات من امتصاص الطاقة اللازمة لتحريرها من سطح الفلزّ.
2) لا تنبعث الإلكترونات الضوئية انبعاثًا فوريًّا؛ لأنّها تحتاج إلى وقت كافٍ لامتصاص الطاقة اللازمة من الأشعة الساقطة على الفلزّ لتتحرّر من سطحه.
3) زيادة شدّة الأشعة تزيد من الطاقة الحركيّة العظمى للإلكترونات الضوئية المتحرّرة.

من الواضح أنّ التنبّؤاتِ جميعَها تخالف النتائج التجريبية، وبذلك شكّلت الظاهرة الكهروضوئية دليلاً آخرَ على عجز الفيزياء الكلاسيكيّة بنموذجها الموجيّ للضوء عن تفسير سلوك الجُسيمات دون الجاهريّة.

☑ تفسير أينشتين

لتفسير الظاهرة الكهروضوئية استخدم اينشتين فرضية تكمية الطاقة لبلانك، وفيما يلي كيفية تصور اينشتاين لكل من الاشعة الكهرومغناطيسية (الضوء) الساقطة على الفلز وإلكترونات الفلز وكيفية تفاعلهما معاً

أولا: الاشعة الكهرومغناطيسية (الضوء)

(1) تمتلك الاشعة الكهرومغناطيسية طبيعة جسيمية إضافة إلى طبيعتها الموجية
(2) تتركز طاقة الاشعة الكهرومغناطيسية في جسيمات، سماها فوتونات
(3) كل فوتون له طاقة تتناسب مع تردد الاشعاع تعطى بالقانون $E = hf$
(4) عند زيادة **تردد** الضوء تزداد **طاقة** هذه الفوتونات
(5) عند زيادة **شدة** الضوء يزداد **عدد** هذه الفوتونات

ثانياً: إلكترونات الفلز

(1) يتكون الفلز من ذرات تحتوي بداخلها على إلكترونات
(2) ترتبط هذه الإلكترونات بالذرات بفعل قوة التجاذب مع النواة
(3) اقل طاقة تلزم لتحرير الإلكترون من الذرة تسمى اقتران الشغل (Φ) وتعتمد قيمتها على نوع الفلز كما في الجدول المجاور

الفلز	$\Phi\ (eV)$
سيزيوم	2.14
صوديوم	2.28
بوتاسيوم	2.30
نحاس	4.7
تنغستون	4.55
ذهب	5.10

ثالثا: تفاعل الفوتونات مع الإلكترونات

(1) الفوتون يعطي طاقته لإلكترون **واحد فقط** ولا يمكن للإلكترون ان يأخذ طاقته من أكثر من فوتون
(2) إذا كانت طاقة الفوتون اقل من اقتران الشغل $(E < \Phi)$ فلا يمتص الالكترون طاقة الفوتون
(3) عندما يمتص الإلكترون الفوتون يستخدم جزاء من هذه الطاقة ليتحرر من الذرة (اقتران الشغل) والطاقة المتبقية يستخدمها كطاقة حركية والمعادلة التالية توضح ذلك.

$$E_{photon} = \Phi + KE_{\max}$$

(4) كلما زادت طاقة الفوتون زادت الطاقة الحركية للإلكترون اما اقتران الشغل فلا يتغير إلا بتغير الفلز

ملاحظات هامة...

1. **تردد العتبة:** هو اقل تردد للفوتون يتطلبه تحرير إلكترون من سطح الفلز دون اكسابه طاقة حركية ويمكن حساب من مقدار اقتران الشغل كما يلي $f_\circ = \frac{\Phi}{h}$
2. **طول موجة العتبة** : هو أكبر طول موجي للفوتون يتطلبه تحرير إلكترون من سطح فلز دون اكسابه طاقة حركية ويمكن حساب مقداره باستخدام القانون التالي: $\lambda_o = \frac{c}{f_o}$

3 المخطط التالي يبين أثر تفاعل الإلكترون مع الفوتون

$E_{photon} < \Phi$ ⇐ الإلكترون لا يمتص طاقة الفوتون وبتالي لا يتحرر

$E_{photon} = \Phi$ ⇐ الإلكترون يمتص طاقة الفوتون، ولكن لا يتحرك

$E_{photon} > \Phi$ ⇐ الإلكترون يمتص طاقة الفوتون ويتحرك

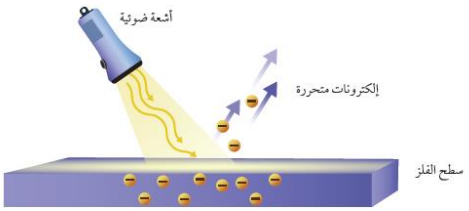
بالاعتماد على ما سبق تمكن اينشتاين تفسير مشاهدات لينارد في تجربة الظاهرة الكهروضوئية كما يلي:

1 زيادة شدة الضوء تعني زيادة عدد الفوتونات الصادر عند وبتالي زيادة عدد الإلكترونات المحررة لذلك كان يزداد التيار الكهروضوئي

2 زيادة تردد الضوء تعني زيادة طاقة الفوتونات وليس عددها لذلك كانت الطاقة المعطى لكل إلكترون تزداد وبتالي تزداد الطاقة الحركية لها

3 التفاوت في الطاقة الحركية للإلكترونات المنبعثة، يعتمد على طاقة ربط الإلكترون بذرات الفلزّ، إضافة إلى عمق موقع الإلكترون تحت سطح الفلزّ، فالإلكترونات ذات طاقة الربط الأصغر والأقرب لسطح الفلزّ تتحرّر بطاقة حركيّة أكبر

4 تفسير الانبعاث الفوري للإلكترونات من سطح الفلزّ؛ وذلك لإن الطاقة مركّزة في الفوتون، وبمجرد امتصاص الإلكترون للفوتون، فإنّه يكتسب طاقة تُحرّره من الفلزّ مهما كانت شدّة الإشعاع، على أنْ يكون تردّد الفوتون أكبر من تردّد العتبة للفلزّ أو يساويه.



مخطط حل مسائل الظاهرة الكهروضوئية

جول أو إلكترون فولت

$E_{photon} = \Phi + KE_{max}$

جول

hf	hf_0	eV_s
$h\frac{c}{\lambda}$	$h\frac{c}{\lambda_0}$	$\frac{1}{2}m_e v_{max}^2$

مثال (1)

إذا كان اقتران الشغل لفلزّ $(2eV)$ ، وسقط على سطحه إشعاع كهرومغناطيسي طاقة الفوتون الواحد منه $(6eV)$. أجد ما يأتي:

أ . تردّد العتبة للفلزّ.

ب. الطاقة الحركيّة العظمى للإلكترونات المنطلِقة من سطح الفلزّ.

الحل:

المعطيات: $\Phi_{(ev)}=2eV \ , \ E_{(ev)}=6eV$

أ)

أولاً نحول قيمة اقتران الشغل إلى الجول:

$$\Phi_{(J)}=\Phi_{(ev)}\times e=(2)\times(1.6\times10^{-19})=3.2\times10^{-19}\,J$$

$$\Phi_{(J)}=h\times f_0$$

$$3.2\times10^{-19}=(6.63\times10^{-34})\times f_0 \ \Rightarrow \ f_0=4.8\times10^{14}\,Hz$$

ب)

$$E_{foton}=\Phi+KE_{max}$$

$$6=2+KE_{max} \ \Rightarrow KE_{max}=4eV$$

$$\Rightarrow KE_{max}=6.4\times10^{-19}\,J$$

مثال (2)

سقط إشعاع كهرومغناطيسي طول موجته $(460nm)$ على فلزٍّ اقترانُ الشغل له $(2.2eV)$ ، أجد الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحرّرة من سطح الفلزّ بوحدة الجول

الحل:

المعطيات: $\lambda=460\times10^{-9}m \ , \ \Phi_{(ev)}=2.2eV \ , \ h=6.63\times10^{-34}J.s \ , C=3\times10^{8}m/s$

طاقة الاشعاع

$$E=h\frac{C}{\lambda}=(6.63\times10^{-34})\frac{(3\times10^{8})}{460\times10^{-9}}=4.3\times10^{-19}\,J$$

مقدار اقتران الشغل بالجول

$$\Phi_{(J)}=2.2\times1.6\times10^{-19}=3.52\times10^{-19}\,J$$

حسب معادلة اينشتين

$$E_{foton}=\Phi+KE_{max}$$

$$4.3\times10^{-19}=3.52\times10^{-19}+KE_{max} \ \Rightarrow KE_{max}=0.78\times10^{-19}\,J$$

مثال (3)

إذا كانت الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحرّرة من سطح النحاس تساوي $(22.6eV)$ عند سقوط أشعة فوق بنفسجيّة تردُّدها $(6.6\times10^{15}Hz)$ على سطحه. أجد اقتران الشغل للنحاس بوحدة (eV)

الحل:

المعطيات: $f = 6.6\times10^{15}\,Hz$ ، $KE_{max} = 22.6eV$ ، $h = 6.63\times10^{-34}\,J.s$

اجد طاقة الفوتون بوحدة الإلكترون فولت

$$E = h\times f = \left(6.63\times10^{-34}\right)\left(6.6\times10^{15}\right) = 4.38\times10^{-18}\,J$$

$$E_{ev} = \frac{E}{e} = \frac{4.38\times10^{-18}}{1.6\times10^{-19}} = 27.3eV$$

$$E_{foton} = \Phi + KE_{max}$$

$$27.3 = \Phi + 22.6 \quad \Rightarrow \Phi = 4.7eV$$

مثال (4)

أرادت سارة قياس تردّد العتبة لفلزّ في تجربة الظاهرة الكهروضوئية، فاستخدمت أشعة كهرومغناطيسية طول موجتها $(300nm)$ ، ووجدت أنّ التيار الكهروضوئي يصبح صفرًا عند فرق جهد $(2.1V)$ أجد تردّد العتبة للفلزّ.

الحل:

المعطيات من السؤال : $V_s = 2.1V$ ، $\lambda = 300\times10^{-9}\,m$

طاقة كمية الضوء تعطى بالعلاقة

$$E = h\frac{c}{\lambda} = \left(6.63\times10^{-34}\times\frac{3\times10^{8}}{300\times10^{-9}}\right) = 6.63\times10^{-19}\,J$$

الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات تعطي بالعلاقة التالية

$$KE_{max} = e\times V_s = \left(1.6\times10^{-19}\times2.1\right) = 3.36\times10^{-19}\,J$$

الان بالاعتماد على معادلة اينشتين نجد مقدار اقتران الشغل

$$\Phi = E - KE_{max} = 6.63\times10^{-19} - 3.63\times10^{-19} = 3.27\times10^{-19}\,J$$

الان يمكن إيجاد تردد العتبة من القانون التالي

$$f_0 = \frac{\Phi}{h} = \frac{3.27\times10^{-19}}{6.63\times10^{-34}} = 4.93\times10^{14}\,Hz$$

مثال (5)

سقط ضوء طول موجته $(300\,nm)$ على سطح فلزّ تردّد العتبة له $(5\times10^{14}\,Hz)$ ، جد:

أ . اقتران الشغل للفلز.

ب. الطاقة الحركيّة العظمى للإلكترونات المتحرّرة

الحل:

أ)

$$\Phi = f_0 h = \left(5\times10^{14}\right)\left(6.63\times10^{-34}\right) = 3.315\times10^{-19}\,J$$

ب)

$$KE_{max} = \left(h\frac{c}{\lambda}\right) - \Phi$$

$$KE_{max} = \left(6.63\times10^{-34}\times\frac{3\times10^{8}}{300\times10^{-9}}\right) - 3.315\times10^{-19}$$

$$KE_{max} = 3.315\times10^{-19}\,J$$

مثال (6)

سقط ضوء طول موجته $(300\,nm)$ على سطح فلزّ اقتران الشغل له $(2.2\,eV)$ أجد ما يأتي:

أ. تردّد العتبة للفلزّ.

ب. الطاقة الحركيّة العظمى للإلكترونات المتحرّرة.

الحل:

أ)

$$f_0 = \frac{\Phi}{h} = \frac{2.2\times1.610^{-19}}{6.63\times10^{-34}} = 5.3\times10^{14}\,Hz$$

ب)

أولا نجد طاقة الفوتون بوحدة الإلكترون فولت

$$E = \frac{h\frac{c}{\lambda}}{e} = \frac{6.63\times10^{-34}\times\frac{3\times10^{8}}{300\times10^{-9}}}{1.6\times10^{-19}} = 4.14\,eV$$

الان يمكن إيجاد مقدار الطاقة الحركية

$$KE_{max} = E - \Phi$$

$$KE_{max} = 4.14 - 2.2 = 1.94\,eV$$

مثال (7)

سقط ضوء على سطح فلزٍّ، فكانت الطاقة الحركيّة العظمى للإلكترونات المنبعثة $(2eV)$ وكان أكبر طول موجيّ يتطلّبه تحرير إلكترونات من سطح الفلزّ يساوي $(682\,nm)$ أحسب ما يأتي:

أ . اقتران الشغل للفلز

ب. فرق جهد القطع (الإيقاف)

الحل:

أ)

$$\Phi = h\frac{c}{\lambda} = \left(6.63\times10^{-34}\right)\left(\frac{3\times10^{8}}{682\times10^{-9}}\right) = 2.92\times10^{-19}\,J$$

ب) مقدار جهد الإيقاف بالفولت يساوي مقدار الطاقة الحركية العظمى بالإلكترون فولت

$$V_s = KE_{max(ev)} = 2\,V$$

مثال (8)

سقط ضوء على سطح فلزّ فتحرّرت منه إلكترونات، أبيّن ما يحدث لعدد الإلكترونات المتحرّرة وطاقتها إذا:

أ . زادت شدّة الضوء مع بقاء تردّده ثابتًا.

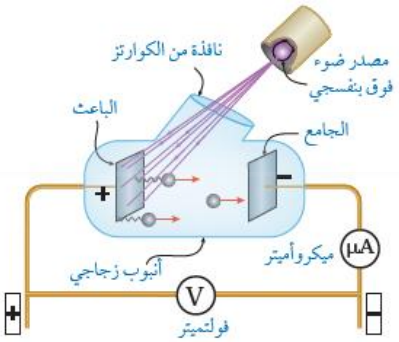
ب. زاد تردّد الضوء مع بقاء شدّته ثابتة.

الحل:

أ) زيادة شدة الضوء تزيد من عدد الإلكترونات ام الطاقة فتبقى ثابتة

ب) زيادة تردد الضوء تزيد من الطاقة اما عدد الإلكترونات يقبى ثابتا

مثال (9)



يمثّل الشكل المجاور تجربة لدراسة الظاهرة الكهروضوئية أجراها العالم لينارد، وكان تردّد الضوء الساقط $\left(8\times10^{14}\,Hz\right)$ اعتمادًا على ذلك، أُجيب عمّا يأتي:

أ . أبيّن ماذا يحدث لقراءة الميكروميتر عند زيادة فرق الجهد

ب. عند فرق جهد $\left(2V\right)$ أصبحت قراءة الأميتر(صفرًا). فماذا يُسمّى فرق الجهد في هذه الحالة؟

ج. ناقش تأثير زيادة شدة الضوء في قراءة الميكروميتر عندما تكون قراءته صفرًا.(**مهم**)

د . ناقش تأثير زيادة تردّد الضوء في قراءة الميكروميتر عندما تكون قراءته صفرًا.

هـ. كيف تعارضت النتائج في (ج) و (د) مع الفيزياء الكلاسيكية؟

و . أحسب تردّد العتبة لفلزّ الباعث.

الحل:

أ) تقلّ قراءة الأميتر مع زيادة فرق الجهد، إن الجهد السالب للجامع يؤثر بقوة تنافر في الإلكترونات ويعيق وصولها للجامع، ولا يصل الجامع إلاّ الإلكترونات التي تمتلك طاقة حركية تكفي للتغلب على قوة التنافر الكهربائي. وبزيادة فرق الجهد تزداد سالبيّة الجامع ما يزيد من قوة تنافر الإلكترونات مع الجامع فيقل عددها الذي يستطيع الوصول للجامع فيقل التيار وتقل بذلك قراءة الأميتر.

ب) يُسمّى فرق جهد الإيقاف

ج) تبقى قراءة الأميتر صفر، حيث أن زيادة شدة الضوء لا تؤدي لزيادة الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المنبعثة.

د) لا تبقى قراءة الأميتر صفر، أي أن تياراً قد نشأ؛ ما يعني أن الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات قد ازدادت وتغلب على قوة التنافر الكهربائي مع الجامع، وعليه فإن طاقة الضوء تعتمد على تردّده.

هـ) تتنبأ الفيزياء الكلاسيكية بزيادة طاقة الضوء عند ازدياد شدته وبذلك لا تبقى قراءة الأميتر صفر عند زيادة شدة الضوء في الفرع (ج) كما تتنبأ الفيزياء الكلاسيكية بأن تبقى قراءة الأميتر تساوي صفرا في الفرع (د)

و)

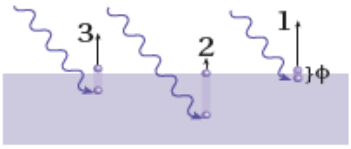
$$\Phi = hf - KE_{\max}$$

$$\Phi = hf - V_s e$$

$$\Phi = \left(6.63\times10^{-34}\times8\times10^{14}\right)-\left(2\times1.6\times10^{-19}\right)=2.104\times10^{-19}\,J$$

$$f_0=\frac{\Phi}{h}=\frac{2.104\times10^{-19}}{6.63\times10^{-34}}=3.17\times10^{14}\,Hz$$

مثال (10)



يبيّن الشكل المجاور توضيحًا بسيطًا للتصوّر الذي وضعه أينشتين للظاهرة الكهروضوئية.

أ . ما فرضيته فيما يتعلق بالضوء؟

ب. ما علاقة عدد الإلكترونات المتحرّرة بشدة الضوء الساقط على الفلزّ؟

ج. رتّب الطاقة الحركية للإلكترونات المتحرّرة (1،2،3) من الأصغر إلى الأكبر.

د . كيف فسّر أينشتين التفاوت في الطاقة الحركية للإلكترونات المتحرّرة؟

الحل:

أ) افترض أن الضوء يتكون من كمات منفصلة من الطاقة (فوتونات)، تتناسب طاقة الفوتون الواحد منها طردياً مع تردده.

ب) ترتبط شدّة الضوء بعدد الفوتونات الساقطة على الفلز في وحدة الزمن، وبما أن الفوتون الواحد يعطي طاقته جميعها لإلكترون واحد فقط فإن عدد الإلكترونات المتحررة في وحدة الزمن يزداد بزيادة شدة الضوء

ج) $KE_1 > KE_3 > KE_2$

د) تتفاوت الطاقة الحركية للإلكترونات المنبعثة من صفر إلى الطاقة الحركية العظمى، وذلك حسب طاقة ربط الإلكترون وعمق موقعه تحت سطح الفلز، فالإلكترونات ذات طاقة الربط الأصغر والأقرب لسطح الفلز تتحرر بطاقة حركية أكبر

مثال (11)

سقطت حزمتان ضوئيتان بتردّدين مختلفين (f1, f2) على سطحي فلزّين مختلفين على الترتيب (X, Y)، اقتران الشغل لهما $(\Phi_X > \Phi_Y)$ فتحرّرت إلكترونات لها الطاقةُ الحركية العظمى نفسُها من سطحي الفلزّين، فأيُّ الحزمتين تردّدها أكبر؟ أفسّر إجابتي.

الحل:

$$\Phi_X > \Phi_Y$$

$$hf_1 - KE_{max} > hf_2 - KE_{max}$$

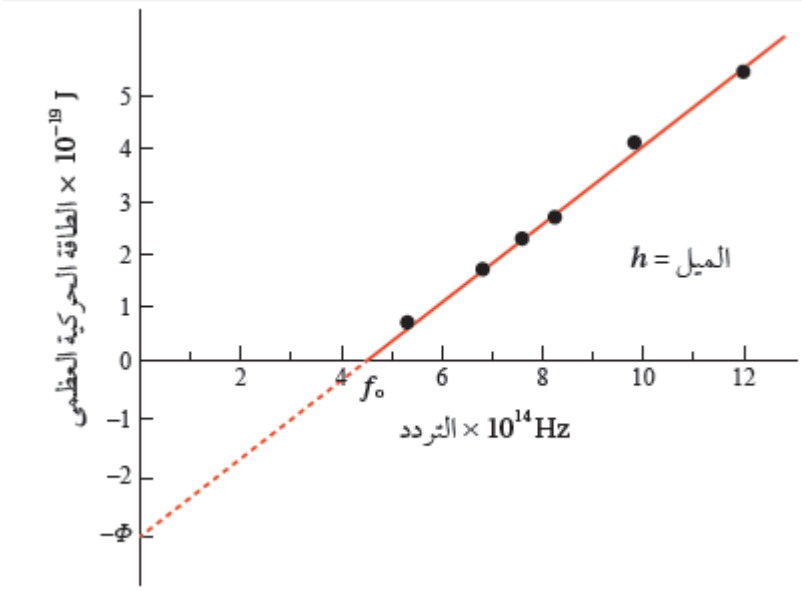
$$hf_1 > hf_2$$

$$f_1 > f_2$$

أي أن التردد الأول أكبر من التردد الثاني

تجربة ميليكان

عام 1916 أجرى العالم ميليكان قياسات تجريبيّة للتحقّق من علاقة أينشتين للظاهرة الكهروضوئية، حيث استخدم ميليكان أشعة كهرومغناطيسية بتردّدات مختلفة، وقاس جهد الإيقاف عند كل تردّد، ومثّل العلاقة البيانيّة بين الطاقة الحركيّة العظمى للإلكترونات المتحرّرة وبين تردّد الأشعة الساقطة على الباعث برسم بياني فكانت كما في الشكل التالي



نلاحظ من الشكل أن:

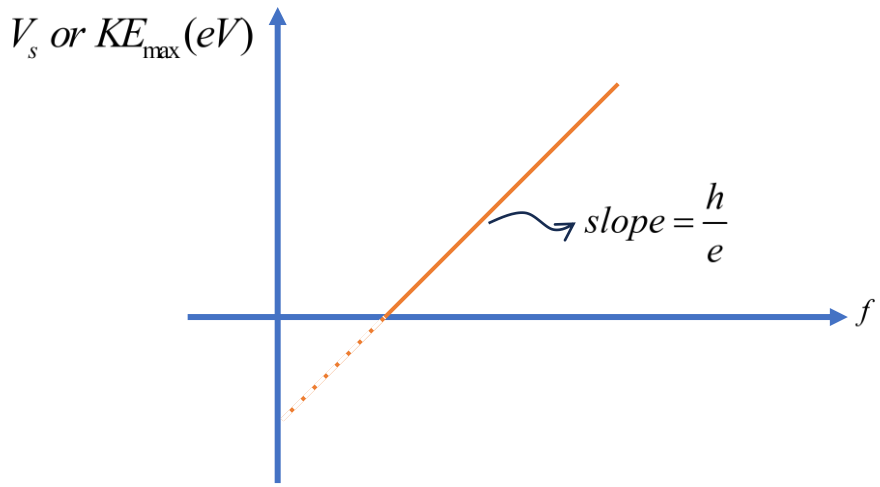
(1) الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحرّرة وتردّد الأشعة الساقطة على الباعث علاقة خطّيّة، وهذا يتفق مع تفسير أينشتين للظاهرة الكهروضوئية.

(2) ميل الخط في الرسم ثابت بلانك

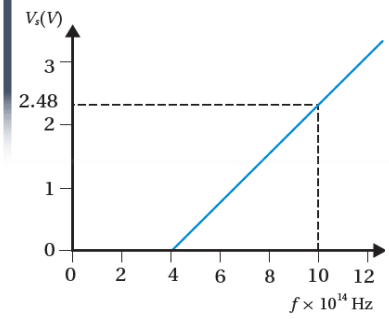
(3) يمثّل تقاطع امتداد الخط مع محور الطاقة (Φ-)

(4) تمثل نقطة تقاطع الخط مع محور التردّد، تردّدَ العتبة.

(5) إذا كان محور ال(Y) يمثل جهد الإيقاف أو الطاقة الحركية العظمى بوحدة الإلكترون فولت فإن ميل الخط المستقيم يمثل قيمة ثابت بلانك مقسوما على شحنة الإلكترون



مثال (12)



يمثّل الرسم البياني في الشكل المجاور العلاقة بين جهد الإيقاف وتردُّدِ الفوتونات الساقطة على مهبط خلية كهروضوئية، مستعينًا بالبيانات المبيّنة على الرسم، أحسب ما يأتي:

أ. مقدار ثابت بلانك.
ب. اقتران الشغل للباعث
ج. الطاقة الحركية العظمى(بالجول) للإلكترونات المنبعثة عند إسقاط أشعة ترددها $\left(12\times10^{14}\,Hz\right)$ على الباعث

الحل:

أ) اولاً نجد مقدار ميل الخط المستقيم

$$slope=\frac{\Delta y}{\Delta x}=\frac{2.48-0}{(10-4)\times10^{14}}=4.134\times10^{-15}V.s$$

الان يمكن إيجاد مقدار ثابت بلانك من العلاقة

$$h=slope\times e$$
$$h=4.134\times10^{-15}\times1.6\times10^{-19}$$
$$h=6.61\times10^{-34}\,J.s$$

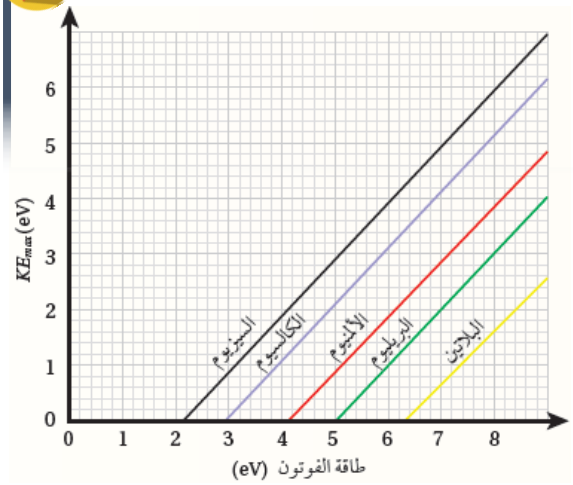
ب) من الشكل تردد العتبة يساوي $\left(4\times10^{14}\,Hz\right)$ وعليه فإن

$$\Phi=hf_0=\left(6.63\times10^{-34}\right)\left(4\times10^{14}\right)=2.652\times10^{-19}\,J$$

ج)

$$KE_{\max}=hf-\Phi$$
$$KE_{\max}=\left(12\times10^{14}\times6.63\times10^{-34}\right)-2.652\times10^{-19}$$
$$KE_{\max}=5.304\times10^{-19}\,J$$

مثال (13)



يمثّل الرسم البيانيّ المجاور العلاقة بين الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحرّرة من سطح الفلزّ وطاقة فوتون الإشعاع الكهرومغناطيسي الساقط على سطح الفلزّ، وذلك لفلزات عدّة. (مهم)

أ. جميع الخطوط مستقيمة ومتوازية، أفسّر ذلك.
ب. أرتّب تردّد العتبة للفلزّات من الأصغر إلى الأكبر.
ج. إذا سقط ضوء طاقته (10eV) على البيريليوم، أجد الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحرّرة منه.
د. إذا سقط ضوء طول موجته (350nm) ، فمن أيّ الفلزّات يستطيع تحرير إلكترونات؟ ومن أيّها لا يستطيع؟ أيّ الفلزات تتحرّر منه إلكترونات بطاقةٍ حركيّة عظمى أكبر؟

الحل:

أ) حسب العلاقة $KE_{max} = hf - \Phi$ حيث (hf) تمثل طاقة الفوتون فإن ميل الخط المستقيم يجب أن يساوي (ثابت بلانك مقسوما على شحنة الإلكترون) لجميع الخطوط

ب) من الشكل نستنتج أن

تردد(السيزيوم) > تردد (الكالسيوم) > تردد (الألمنيوم) > تردد (البريليوم) > تردد (البلاتين)

ج)

$$KE_{max} = hf - \Phi$$
$$KE_{max} = 10 - 5$$
$$KE_{max} = 5\text{eV}$$

د)

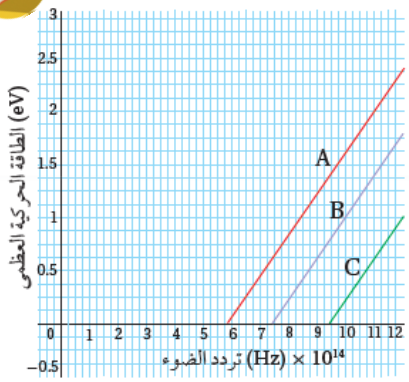
أولا نجد طاقة هذا الفوتون بوحد الإلكترون فولت

$$E = \frac{h \times \frac{c}{\lambda}}{e} = \frac{6.63\times10^{-34} \times \frac{3\times10^{8}}{350\times10^{-9}}}{1.6\times10^{-19}} = 3.55\text{eV}$$

الان بمقارنة طاقة الفوتون الساقط باقتران الشغل للمواد نجد أنه إلكترونات فقط من مادتي السيزيوم والكالسيوم ولا يحرر من بقية المواد وان الطاقة الحركية تكون أكبر من يمكن لإلكترونات عنصر السيزيوم

مثال (14)

يمثّل الشكل المجاور رسمًا بيانيًّا لتغيّر الطاقة الحركيّة العظمى مع تردّد الضوء الساقط لثلاثة فلزّات مختلفة، اعتمادًا على الشكل أجيب عمّا يأتي:



أ . فسّر توازي المنحنيات الثلاثة.

ب. أجد مقدار ثابت بلانك بوحدة (eV.s) وبوحدة (J.s)
(أستخدم الخط A)

ج. أجد اقتران الشغل للفلزِ (A)

د . إذا سقط ضوء تردّده $\left(8\times10^{14}\,Hz\right)$ حدّد أيّ الفلزات الثلاثة تنطلق منه إلكترونات ضوئية. وأيّها تنطلق منه الإلكترونات بطاقة حركيّة عظمى أكبر.

هـ. رتّب اقتران الشغل للفلزات تصاعديًّا من الأصغر إلى الأكبر.

الحل:

أ) توازي الخطوط الثلاثة يعني رياضياً أنّ ميلها متساوٍ. وباستخدام العلاقة $EK_{max} = hf - \Phi$ فإن ميل كل من الخطوط الثلاث يساوي ثابت بلانك

ب)

$$h = slope = \frac{2-0}{(11-5.8)\times10^{14}} = 3.85\times10^{-15}\,\text{eV.s}$$

$$h = slope = \frac{(2-0)\times1.6\times10^{-19}}{(11-5.8)\times10^{14}} = 6.16\times10^{-34}\,J.s$$

ج)

$$\Phi = f_0 h = \left(5.8\times10^{14}\right)\left(6.16\times10^{-34}\right) = 3.58\times10^{-19}\ J$$

د)

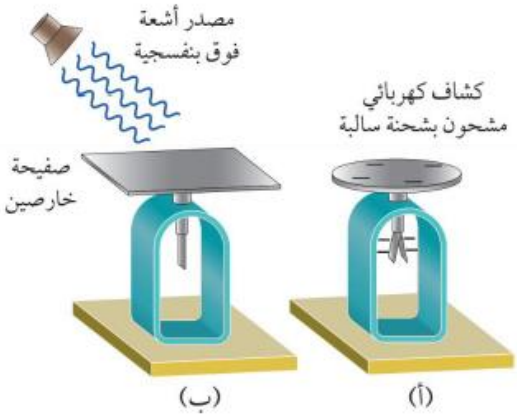
تتحرر إلكترونات من الفلز (A) والفلز(B) ، وتكون الطاقة الحركية العظمى أكبر للإلكترونات المتحررة من الفلز (A)

هـ)

$$\Phi(A) < \Phi(B) < \Phi(C)$$

مثال (15)

في الشكل المجاور كشاف كهربائي مشحون بشحنة سالبة وورقتاه منفرجتان كما في الشكل (أ) عن تسليط اشعة فوق بنفسجية عليه قل انفراج الورقتين كما في الشكل (ب) بالاعتماد على تفسير الظاهرة الكهروضوئية فسر السبب في ذلك



الحل:

عند تسليط الاشعة فوق البنفسجية على الكشاف ينبعث إلكترونات من سطح الكشاف وذلك لإن فوتونات الاشعة فوق البنفسجية تمتلك طاقة أكبر من اقتران الشغل لإلكترونات سطح الكشاف وبذلك تحرر إلكترونات سطح الكشاف وتبدأ الشحنة الكهربائية على الكشاف بتناقص تدريجياً إلى أن تصبح صفر وبذلك لا تحدث قوة تنافر بين ورقتي الكشاف.

ملاحظة: إذا استمر تسليط الاشعة على سطح الكشاف بعد انطباق ورقتيه فإنهما ينفرجان من جديد لإن شحنة الكشاف سوف تصبح موجبة.

مثال (16)

استخدمت حنين في تجربة كهروضوئية مصدر ضوئي ينبعث منه $\left(10^{10}\right)$ فوتون في الثانية الواحدة وطاقة كل فوتون $\left(7.2eV\right)$ على فلز اقتران الشغل له $\left(3.4eV\right)$ ، إن أكبر عدد ممكن من الإلكترونات المتحررة التي تصل الجامع في وحدة الزمن

أ) $\left(10^{10}\right)$ ب) $\left(10^{12}\right)$ ج) $\left(10^{2}\right)$ د) $\left(10^{13}\right)$

◈ أسئلة نظرية

فسر كل مما يأتي اعتمادًا على النموذج الجُسيميّ للضوء:
أ . زيادة شدّة الضوء الساقط تؤدّي إلى زيادة التيار الكهروضوئي دون زيادة الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحرّرة.
ب. الانبعاث الفوري للإلكترونات من سطح الفلزّ عند سقوط إشعاع كهرومغناطيسي بتردّد مناسب على سطحه

الحل:
أ) زيادة شدة الضوء تعني زيادة عدد الفوتونات الساقطة على الفلز في وحدة الزمن وبما أن كل فوتون يحرر إلكتروناً واحداً؛ سيزداد عدد الإلكترونات المتحررة في وحدة الزمن وبالتالي يزداد التّيار الكهروضوئي

ب) حسب تفسير أينشتين، فإن الإلكترون يمتص الفوتون فورياً ويتحرر مباشرة من سطح الفلز إذا كان تردد الإشعاع الكهرومغناطيسي أكبر من تردد العتبة أو يساويه.

وضّح المقصود بكلٍّ من: الظاهرة الكهروضوئية، اقتران الشغل للفلزّ، تردّد العتبة

الحل:
الظاهرة الكهروضوئية: انبعاث إلكترونات من سطح فلز عند سقوط إشعاع كهرومغناطيسي بتردد مناسب عليه.
اقتران الشغل للفلز: أقل طاقة للأشعة الكهرومغناطيسية تكفي لتحرير إلكترونات من سطح الفلز دون إكسابها طاقة حركية.
تردد العتبة: أقل تردد يتطلبه تحرير إلكترونات ضوئية من سطح فلز دون إكسابها طاقة حركية

بيّنت التجارب أنّ زيادة شدّة الضوء الساقط على سطح فلزّ لا تؤدي إلى زيادة الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحرّرة من سطحه. أناقش فشل الطبيعة الموجيّة للضوء في تفسير هذه المشاهدة.

الحل:
يفترض النموذج الموجي للضوء أن طاقة الضوء تعتمد على شدته وأن الأجسام تمتص الطاقة من الضوء بشكل متصل، فلو كان هذه الفرضية صحيحة لزادت الطاقة الحركية العظمى بزيادة شدة الضوء الساقط على الفلز وهو ما تعارض مع النتائج التجريبية للظاهرة الكهروضوئية.

أذكر أسباب فشل الفيزياء الكلاسيكيّة في تفسير نتائج الظاهرة الكهروضوئية.

الحل:
تعامل الفيزياء الكلاسيكية الموجات الكهرومغناطيسية على انها موجات ذات طاقة متصلة وهذا أدى إلى عدم توافق تنبأتها التالية مع نتائج التجربة الكهروضوئية
1) تنبعث الإلكترونات عند أيّ تردّد للأشعة الساقطة على سطح الفلزّ، لأنّها تمتص الطاقة بأيّ مقدار وعند أيّ تردّد وبشكلٍ مستمر، وسقوط الأشعة على سطح الفلزّ مدّة زمنيّة مناسبة سيُمكّن الإلكترونات من امتصاص الطاقة اللازمة لتحريرها من سطح الفلزّ.
2) لا تنبعث الإلكترونات الضوئية انبعاثًا فوريًّا؛ لأنّها تحتاج إلى وقت كافٍ لامتصاص الطاقة اللازمة من الأشعة الساقطة على الفلزّ لتتحرّر من سطحه.
3) زيادة شدّة الأشعة تزيد من الطاقة الحركيّة العظمى للإلكترونات الضوئية المتحرّرة.

هل يمكن أن تكون الطاقة الحركيّة لجسم سالبة

الحل:
لا يمكن ذلك لإن الطاقة الحركية تعتمد على الكتلة ومربع السرعة وكلاهما كميات فيزيائية موجبة

أذكر فرضيّة أينشتين التي استخدمها في تفسير نتائج الظاهرة الكهروضوئية.

الحل:

افترض أينشتين أن الضوء يتكون من جسيمات (فوتونات) وطاقة كل فوتون $E = h \times f$ وعندما يسقط الفوتون على إلكترونات الفلز فإن الإلكترون الواحد منها إما أن يمتص طاقة الفوتون كاملة أو لا يمتصها نهائيا. وحتى يتمكن الفوتون من تحرير إلكترون من سطح الفلز يجب أن تكون طاقته مساوية لاقتران الشغل للفلز أو أكبر منه.

اختر رمز الإجابة الصحيحة لكل مما يأتي:

1- أيٌّ ممّا يأتي يؤدي إلى زيادة الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحرّرة من سطح فلزّ؟

أ) زيادة شدة الضوء الساقط على الفلزّ ب) تقليل شدة الضوء الساقط على الفلزّ

ج) زيادة تردّد الضوء الساقط على الفلزّ د) تقليل تردّد الضوء الساقط على الفلزّ

2- وفقاً لتصوّر الفيزياء الكلاسيكية للظاهرة الكهروضوئية:

أ) تتحرّر الإلكترونات تحرّرًا فوريًّا.

ب) تزداد الطاقة الحركيّة العظمى للإلكترونات المتحرّرة بزيادة تردّد الضوء الساقط.

ج) يستغرق تحرّر الإلكترونات بعض الوقت حتى تتمكّن من اكتساب الطاقة اللازمة للتحرّر.

د) لا تتحرّر الإلكترونات من سطح الفلزّ عند التردّدات العالية للضوء.

3- يزداد عدد الإلكترونات المتحررة من سطح فلز عند سقوط ضوء عليه بزيادة:

أ) شدّة الضوء ب) تردّد الفوتون ج) طول موجة الضوء د) طاقة الفوتون

4- عندما تتفاعل الفوتونات مع الإلكترونات كما في الظاهرة الكهروضوئية، فأيّ العبارات الآتية صحيحة؟

أ) يفقد الفوتون جزءًا من طاقته، ويزداد تردده

ب) يفقد الفوتون جزءًا من طاقته، ويقلّ طول موجته.

ج) يمتصّ الإلكترون طاقة الفوتون كلّها.

د) يفقد الفوتون جزءًا من طاقته، ويبقى تردّده ثابتًا

5-أُسقط فوتونان مختلفان في التردّد على الفلزّ نفسه، فانطلق إلكترونان متساويان في الطاقة الحركيّة. فإنّ ذلك يعود إلى:

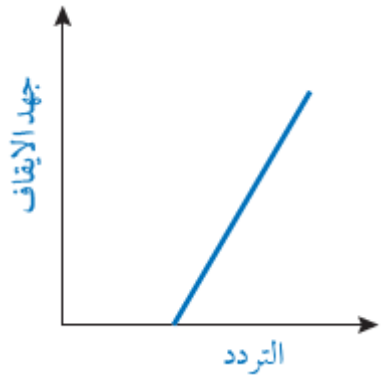
أ) أنّ الإلكترونين انطلقا من عمقين مختلفين من الفلزّ. ب) اختلاف اقتران الشغل

ج) اختلاف طاقة الفوتونين. د) اختلاف شدّة الضوء.

6- يمثّل الرسم البياني المجاور العلاقة بين جهد الإيقاف وتردّد الضوء الساقط في الخلية الكهروضوئية، ميل هذه العلاقة هو:

أ) h ب) $\frac{e}{h}$

ج) $\frac{h}{e}$ د) $\frac{\Phi}{h}$



السؤال الأول

سقط إشعاع كهرومغناطيسي طول موجته $(80\,\text{nm})$ على سطح فلزّ اقتران الشغل له (5.1eV) ، أجد الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحرّرة من سطح الفلزّ.

الحل:

اولاً نجد طاقة الفوتون بوحدة الإلكترون فولت

$$E=\frac{h\times\frac{c}{\lambda}}{e}=\frac{6.63\times10^{-34}\times\frac{3\times10^{8}}{80\times10^{-9}}}{1.6\times10^{-19}}=15.54\text{eV}$$

الان حسب معادلة اينشتاين فإن

$$KE_{\max}=E-\Phi=15.54-5.1=10.44\text{eV}$$

السؤال الثاني

في الخلية الكهروضوئية، إذا كانت الطاقة الحركيّة العظمى للإلكترونات الضوئيّة المُنطلِقة من سطح فلزّ الباعث $(1.6\times10^{-19}\,J)$ عند سقوط ضوء طول موجته $(380\,\text{nm})$ أحسبُ ما يأتي :

أ . اقتران الشغل لفلزّ الباعث.

ب. تردّد العتبة للفلزّ

ج. جهد الإيقاف.

الحل:

أ)

$$\Phi=h\frac{c}{\lambda}-KE_{\max}$$

$$\Phi=\left(6.63\times10^{-34}\right)\frac{3\times10^{8}}{380\times10^{-9}}-1.6\times10^{-19}$$

$$\Phi=3.63\times10^{-19}\,J$$

ب)

$$f_0=\frac{\Phi}{h}=\frac{3.63\times10^{-19}}{6.63\times10^{-34}}=5.5\times10^{14}\,\text{Hz}$$

ج)

$$V_s=\frac{KE_{\max}}{e}=\frac{1.6\times10^{-19}}{1.6\times10^{-19}}=1\text{V}$$

السؤال الثالث

سقط ضوء على سطح فلز فتحررت منه إلكترونات، بين ما يحدث لعدد الإلكترونات المتحررة وطاقتها إذا :

1)زادت شدة الضوء مع بقاء تردده ثابتا .

2) زاد تردد الضوء مع بقاء شدته ثابتة .

الحل:

1) عدد الإلكترونات المتحررة يزداد والطاقة الحركية العظمى للإلكترونات لا تتأثر .

2) عدد الإلكترونات المتحررة لا يتأثر والطاقة الحركية العظمى للإلكترونات تزداد

السؤال الرابع

استخدم احمد مصدرين للضوء في تجربة كهروضوئية لتحديد اقتران الشغل لفلز معين. وعند استخدام ضوء أخضر طول موجته $(546.1nm)$ حصل على جهد إيقاف $(0.376V)$ بناءً على هذا القياس جد جهد الإيقاف الذي يمكن قياسه عند استخدام ضوء أصفر طول موجته $(587.1nm)$

الحل:

اولاً نجد مقدار اقتران الشغل للفلز من خلال القياسات للضوء الأخضر

$$\Phi = h\frac{c}{\lambda} - eV_s$$

$$\Phi = \left(6.63\times10^{-34}\right)\frac{3\times10^{8}}{546.1\times10^{-9}} - \left(1.6\times10^{-19}\right)\left(0.376\right)$$

$$\Phi = 3.04\times10^{-19}\ J$$

الان تذكر أن مقدار اقتران الشغل لا يتغير بتغير الضوء وبذلك يمكن ان نستخدم هذه القيمة عند تطبيق الضوء الأصفر

$$eV_s = h\frac{c}{\lambda} - \Phi$$

$$\left(1.6\times10^{-19}\right)V_s = \left(6.63\times10^{-34}\right)\frac{3\times10^{8}}{587.1\times10^{-9}} - 3.04\times10^{-19}$$

$$V_s = 0.217\ \text{V}$$

السؤال الخامس

إذا كان تردد العتبة لفلز ما يساوي $\left(3\times10^{14}\,Hz\right)$ اجب عما يلي:

(1) ما أكبر طول موجي يلزم لتحرير إلكترونات من سطح هذا الفلز ؟

(2) هل تتحرر الإلكترونات من هذا الفلز إذا تعرضت لضوء:

(أ) تردد $\left(0.4\times10^{15}\,Hz\right)$

(ب) طول موجته $(2\mu m)$

(ج) طول موجته $(3nm)$

الحل:

(1) أكبر طول موجي لتحرير إلكترونات هو طول موجة العتبة ويساوي

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{(3\times10^{8})}{3\times10^{14}} = 1\times10^{-6}m$$

(2)

(أ) بما أن تردد الضوء أكبر من تردد العتبة إذا يتحرر إلكترونات

(ب) بما أن طول موجة الضوء أكبر من طول موجة العتبة لا يتحرر إلكترونات

(ج) بما أن طول موجة الضوء أقل من طول موجة العتبة يتحرر إلكترونات

السـؤال السادس

سقط ضوء تردده (f_1) على فلز اقتران الشغل له $(1.2eV)$ فكان فرق جهد الإيقاف يساوي $(3V)$ إذا غيرنا الضوء إلى ضوء جديد تردد $(3f_1)$ فجد مقدار الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المنبعثة

الحل:

$$hf = \Phi + eV_s$$

$$f_1h = (1.2\times e) + (3\times e) \quad .....(1)$$

$$3f_1h = (1.2\times e) + KE_{max} \quad .....(2)$$

بقسمة المعادلتين السابقتين على بعضهما

$$\frac{f_1h}{3f_1h} = \frac{(1.2\times e)+(3\times e)}{(1.2\times e)+KE_{max}}$$

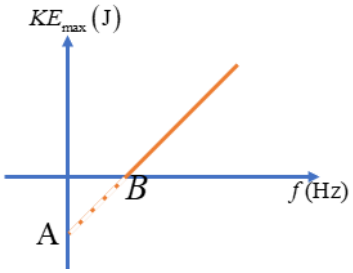
$$\frac{1}{3} = \frac{(1.2\times e)+(3\times e)}{(1.2\times e)+KE_{max}}$$

$$12.6\times e = (1.2\times e) + KE_{max}$$

$$KE_{max} = 1.824\times10^{-18}\,J$$

السـؤال السابع

الشكل المجاور يمثل العلاقة بين تردد الضوء الساقط والطاقة الحركية العظمى لإلكترونات الضوئية المتحررة في الخلية الكهروضوئية إعتمادا على الشكل :



1) ماذا تمثل كل من النقطتين (A , B)

2) إذا إستبدل الفلز بأخر اقتران الشغل له مختلف فهل يتغير ميل المنحنى

3) احسب فرق جهد الايقاف عند سقوط ضوء بتردد $(1\times10^{15}\,Hz)$ على فلز اقتران الشغل له = $(2eV)$

الحل

1)

A: اقتران الشغل B: تردد العتبة

2) لا يتغير، لإن الميل يمثل ثابت بلانك

3)

$$E_f = hf = 6.6\times10^{-34}\times1\times10^{15} = 6.6\times10^{-19}\ \text{J}$$

$$\Phi = 2\times1.6\times10^{-19} = 3.2\times10^{-19}\ \text{J}$$

$$E_f = \Phi + KE_{\max}$$

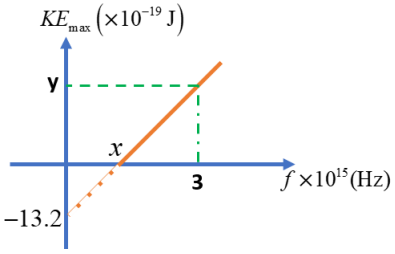
$$\left(6.6\times10^{-19}\right) = 3.2\times10^{-19} + KE_{\max} \Rightarrow KE_{\max} = 3.4\times10^{-19}\ \text{J}$$

$$KE_{\max} = eV_s$$

$$3.4\times10^{-19} = 1.6\times10^{-19}V_s \Rightarrow\Rightarrow V_s = 2.125\,\text{V}$$

السـؤال الثامن

يمثل الشكل المجاور العلاقة البيانية بين تردد الضوء الساقط على مهبط خلية كهروضوئية والطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحررة بالاعتماد على القيم المثبتة على الشكل اجب عما يأتي:



1) ما مقدار كل من (x , y)

2) كيف يمكن زيادة شدة التيار في الخلية الكهروضوئية؟

الحل

1)

$$f_o = \frac{\Phi}{h} = \frac{13.2\times10^{-19}}{6.6\times10^{-34}} = 2\times10^{15}\,Hz \qquad \Rightarrow\Rightarrow x = 2$$

$$E_f = hf = 6.6\times10^{-34}\times3\times10^{15} = 19.8\times10^{-19}\ \text{J}$$

$$E_f = \Phi + KE_{\max}$$

$$\left(19.8\times10^{-19}\right) = 13.2\times10^{-19} + KE_{\max} \Rightarrow KE_{\max} = 6.6\times10^{-19}\ \text{J}$$

$$y = 6.6$$

2) بزيادة شدة الضوء الساقط على الباعث

السؤال التاسع

سقط ضوء على سطح فلز فانبعثت منه إلكترونات تراوحت طاقتها الحركية بين (صفر) و $(3.2\times10^{-19}\ \text{J})$ أجب عما يلي :

1) فسر سبب اختلاف الطاقة الحركية للإلكترونات المنبعثة
2) احسب جهد الإيقاف

الحل

1) لإن هذه الإلكترونات يتم انتزاعها من مسافات مختلفة من سطح الفلز حيث إن بعضها يستهلك جزء من طاقتها في التصادمات مع ذرات الفلز بينما البعض الأخر يتنزع من سطح الفلز يستخدم كل طاقته كطاقة حركية

2)

$$KE_{\max} = eV_s$$

$$3.2\times10^{-19} = 1.6\times10^{-19}V_s \Rightarrow\Rightarrow V_s = 2\,\text{V}$$

السؤال العاشر

سقط ضوء طول موجته $(4.4\times10^{-7}m)$ على سطح فلز فانبعث منه إلكترونات سرعتها $(3\times10^{5}m/s)$ إذا سقط ضوء طول موجته $(5.5\times10^{-7}m)$ فهل ستنبعث إلكترونات من سطح الفلز، فسر إجابتك

الحل

$$E_{foton} = \frac{C}{\lambda}h = \frac{(3\times10^{8})}{4.4\times10^{-7}}\times(6.6\times10^{-34}) = 4.5\times10^{-19}\,J$$

$$KE_{\max} = \frac{1}{2}m_e v^2 = \frac{1}{2}(9\times10^{-31})(3\times10^{5})^2 = 0.405\times10^{-19}\,J$$

$$E_{foton} = \Phi + KE_{\max}$$

$$4.5\times10^{-19} = \Phi + 0.405\times10^{-19} \quad \Rightarrow \Phi = 4.095\times10^{-19}$$

كتلة الإلكترون من الثوابت

$$m_e = 9\times10^{-31}kg$$

$$E_{foton(new)} = \frac{C}{\lambda}h = \frac{(3\times10^{8})}{5.5\times10^{-7}}\times(6.6\times10^{-34}) = 3.6\times10^{-19}\,J$$

بما أن طاقة الفوتون المنبعث الذي له الطول الموجي الجديد أقل من مقدار اقتران الشغل إذا لن تتحرر إلكترونات من سطح الفلز.

السؤال الحادي عشر

اختر رمز الإجابة الصحيحة لكل مما يأتي:

1- عند تسليط ضوء أحمر على صفيحة خارصين لا تنبعث إلكترونات من سطحه، أما إذا زادت شدة الضوء الاحمر، فـ :

أ) تنبعث إلكترونات من سطح الخارصين بعدد قليل فوراً

ب) لا تنبعث إلكترونات من سطح الخارصين

ج) تنبعث إلكترونات من سطح الخارصين بعدد كبير فوراً

د) تنبعث إلكترونات من سطح الخارصين بعد مدة كافية من الزمن

2- عند تسليط أشعة فوق بنفسجية بشدة منخفضة على سطح الخارصين انبعثت إلكترونات من سطحه، ماذا يحدث عند زيادة شدة الضوء الساقط؟

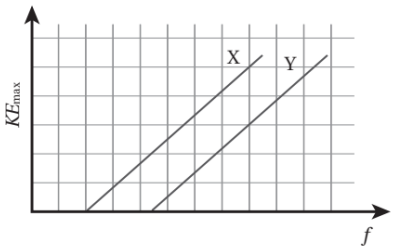
أ) يزداد مقدار جهد القطع.

ب) لا يتغير عدد الإلكترونات المنبعثة.

ج) تزداد طاقة الطاقة الحركية لإلكترونات المنبعثة

د) يزداد عدد الإلكترونات المنبعثة.

3- يوضح الشكل المجاور العالقة بين تردد الضوء الساقط على سطح فلزين مختلفين والطاقة الحركية العظمى لإلكترونات المتحررة من الفلزين. إذا سقط على الفلزين ضوء له التردد نفسه وأكبر من تردد العتبة لهما، فإن الطاقة الحركية العظمى لإلكترونات المتحررة من الفلز (X)



أ) أكبر منها للفلز (Y)؛ لإن اقتران الشغل للفلز (Y) أكبر

ب) أقل منها للفلز (Y)؛ لإن اقتران الشغل للفلز (Y) أكبر

ج) أكبر منها للفلز (Y)؛ لإن اقتران الشغل للفلز (Y) أصغر

د) أقل منها للفلز (Y)؛ لإن اقتران الشغل للفلز (Y) أصغر

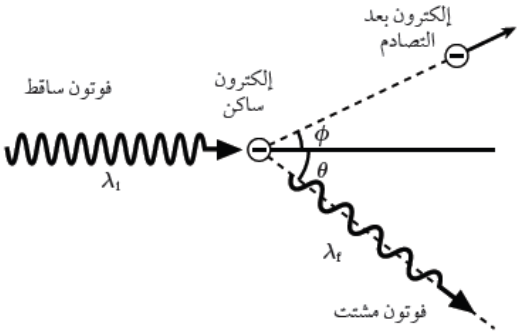
4 ظاهرة كومبتون

مقدمة...

بعد نجاح أينشتين في تفسير الظاهرة الكهروضوئية باستخدام النموذج الجُسيمي للإشعاع الكهرومغناطيسي، جاءت ظاهرة كومبتون اختبارًا اخرَ لهذا النموذج.

الظاهرة.....

أسقط كومبتون **أشعة سينيّة** على هدف من **الغرافيت**، ونظرًا إلى أنّ الطاقة الكليّة للإلكترونات في الغرافيت صغيرة جدًّا مقارنة بطاقة فوتونات الأشعة السينية، فإنّ طاقة تلك الإلكترونات تُهمَل وتُعدّ ساكنة.



لاحظ كومبتون أنّ طول موجة الأشعة السينيّة المشتَّتة (λ_f) أكبر من طول موجة الأشعة السينيّة الساقطة (λ_i)

تفسير الظاهرة ....

لم يستطع النموذج الموجيّ للضوء تفسير زيادة الطول الموجي للأشعة المشتتة في هذه الظاهرة، واستطاع كومبتون تفسير نتائج هذه الظاهرة بالاعتماد على كل من

(1) قانون حفظ الزخم وحفظ الطاقة
(2) وصف الاشعة الكهرومغناطيسية (السينية) على انها جسيمات فوتونات

وبما أن الاشعة السينية عبارة عن جسيمات (فوتونات) فإنها تصطدم مع الإلكترونات وبذلك تخسر جزءاً من طاقتها حيث إن الطاقة التي تخسرها الفوتونات تكسبها الإلكترونات

نتيجة التجربة

(1) الإلكترون يكتسب الطاقة التي خسرها الفوتون وتحسب بالقانون التالي:

$$E_e = E_i - E_f$$

(2) سرعة الإلكترون المشتت تساوي سرعة الإلكترون الساقط
(3) الطول الموجي للفوتون المشتت أكبر منه للفوتون الساقط
(4) طاقة وتردد الفوتون المشتت اقل منها للفوتون الساقط

لاحظ أن الفوتون هنا يتفاعل مع الإلكترون ويعطيه جزءاً من طاقته بعكس الظاهرة الكهروضوئية التي كان فيها الفوتون يعطي كل طاقته للإلكترون

مثال (1)

لماذا لم يستخدم كومبتون الضوء المرئي في تجربته؟

الحل:

لأن طاقة أي من ألوان طيف الضوء المرئي أقل من طاقة الأشعة السينية وقريبة من طاقة الإلكترونات في الغرافيت؛ وبالتالي لا يمكن إهمال طاقة الإلكترون (واعتباره ساكنا) مقارنة بطاقة الضوء المرئي.

مثال (2)

في تجربة كومبتون قارن بين الأشعة الساقطة والأشعة المشتّتة من حيث: الطول الموجيّ، والتردّد، والسرعة.

الحل:

وجه المقارنة	الطول الموجي	التردد	السرعة
الأشعة المشتتة	أكبر	أصغر	متساوية
الأشعة الساقطة	أصغر	أكبر	

مثال (3)

سقط فوتون أشعة غاما طاقته $(662\,\mathrm{KeV})$ على إلكترون ساكن، فاكتسب الإلكترون طاقة مقدارها $(49\,\mathrm{KeV})$ أجد ما يأتي:

أ . طول موجة الفوتون الساقط.

ب. طاقة الفوتون المشتَّت.

ج. الطول الموجي للفوتون المشتت.

الحل:

أ) أولا نحول طاقة الفوتون إلى الجول ثم نجد الطول الموجي

$$(E\times e)=h\frac{c}{\lambda}$$

$$\lambda=\frac{h\times c}{E\times e}=\frac{\left(6.63\times10^{-34}\times3\times10^{8}\right)}{\left(662\times10^{3}\right)\times\left(1.6\times10^{-19}\right)}=1.88\times10^{-12}\,m$$

ملاحظة: تم تحويل الطاقة في الفرع السابقة في نفس القانون بضرب الطاقة بشحنة الإلكترون

ب)

$$E_e=E_i-E_f$$

$$E_e=662\times10^{3}-49\times10^{3}=613\;K\,\mathrm{eV}$$

لإيجاد الطاقة بالجول نضرب بشحنة الإلكترون

$$E_{e(J)}=\left(613\times10^{3}\right)\times\left(1.6\times10^{-19}\right)$$

$$E_{e(J)}=9.808\times10^{-14}\,J$$

ج)

$$E=h\frac{C}{\lambda}\;\Longrightarrow\;\lambda=\frac{h\times c}{E}=\frac{\left(6.63\times10^{-34}\right)\left(3\times10^{8}\right)}{9.808\times10^{-14}}=2.028\times10^{-12}\,m$$

مثال (4)

سقط فوتون أشعّة سينيّة مقدار زخمه الخطي $\left(4.3\times10^{-23}kg.m/s\right)$ على إلكترون حرّ، فكان مقدار الزخم الخطي للفوتون المشتت $\left(3.2\times10^{-23}kg.m/s\right)$ ، أجد الطاقة التي اكتسبها الإلكترون بوحدة (eV)

الحل:

$$E_e = E_i - E_f$$
$$= p_i c - p_f c$$
$$= \left(p_i - p_f\right)c$$
$$= \left(4.3\times10^{-23} - 3.2\times10^{-23}\right)\left(3\times10^{8}\right)$$
$$= 3.3\times10^{-15}\,J$$
$$E_{ev} = \frac{3.3\times10^{-15}}{1.6\times10^{-19}} = 20.6\,\mathrm{KeV}$$

مثال (5)

إذا كان الطول الموجيّ لفوتون قبل الاصطدام بإلكترون حرّ ساكن $(60\,\mathrm{nm})$ ، وبعد الاصطدام به صار $(80\,\mathrm{nm})$ ، أحسب مقدار ما يأتي:

أ . الزخم الخطيّ للفوتون قبل التصادم.

ب. الطاقة التي اكتسبها الإلكترون في أثناء عملية التصادم.

الحل:

أ)

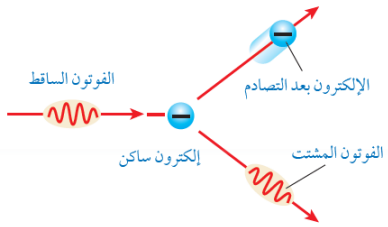
$$p = \frac{h}{\lambda} = \frac{6.63\times10^{-34}}{60\times10^{-9}} = 1.105\times10^{-26}kg.m/s$$

ب)

$$E_e = E_i - E_f$$
$$E_e = hc\left(\frac{1}{\lambda_i} - \frac{1}{\lambda_f}\right)$$
$$E_e = \left(6.63\times10^{-34}\right)\left(3\times10^{8}\right)\left(\frac{1}{60\times10^{-9}} - \frac{1}{80\times10^{-9}}\right)$$
$$E_e = 8.29\times10^{-19}\,J$$

مثال (6)

أسقط كومبتون أشعة سينيّة على هدف من الغرافيت كما في الشكل المجاور:



أ . أقارن بين الأشعّة المشتَّتة والأشعّة الساقطة من حيث التردّد والطول الموجي و السرعة

ب. ماذا تساوي طاقة الإلكترون بعد التصادم؟

الحل:

أ) الطول الموجي : يكون أكبر للفوتون المشتت

التردد : يكون أكبر للفوتون الساقط

السرعة: تكون متساوية لهما وتساوي سرعة الضوء

ب) طاقة الإلكترون تساوي الفرق في الطاقة بين الفوتون المشتت والساقط $E_e = E_i - E_f$

مثال (7)

اختر رمز الإجابة الصحيحة لكل مما يأتي:

1- طبقًا لظاهرة كومبتون، فإنّ:

أ) سرعة الفوتونات الساقطة وتردّدها أكبر من سرعة وتردّد الفوتونات المشتَّتة

ب) تردّد الفوتونات المشتَّتة أكبر من تردّد الفوتونات الساقطة.

ج) طول موجة الفوتونات المشتَّتة أكبر من طول موجة الفوتونات الساقطة.

د) طاقة الفوتونات المشتَّتة أكبر من طاقة الفوتونات الساقطة

2- إذا تضاعف الطول الموجيّ للفوتون مرتين فإنّ:

أ) طاقته تقلّ إلى النصف، وكذلك زخمه الخطي.

ب) طاقته تبقى ثابتة ويقلّ زخمه الخطي إلى النصف.

ج) طاقته تتضاعف مرتين ويبقى زخمه الخطي ثابتًا.

د) طاقته تبقى ثابتة ويبقى زخمه الخطي كذلك

3- يُحسب الزخم الخطي للفوتون من العلاقة الآتية:

أ) mv ب) Ec ج) $\frac{E}{c}$ د) $\frac{h}{f}$

مثال (8)

تتفاعل الفوتونات مع إلكترونات المادة بطرق مختلفة حسب طاقة الفوتون الساقط

1) اذكر ظاهرتين تمثل كل منهما طريقة للتفاعل 2) ماذا يحدث لطاقة الفوتون في كل ظاهرة

الحل

1) 1) الظاهرة الكهروضوئية 2) ظاهرة كومبتون

2) في الظاهرة الكهروضوئية : الفوتون يعطي كامل طاقته للإلكترون

في ظاهرة كومبتون : الفوتون يعطي جزء من طاقته للإلكترون

الدرس الثاني

التركيب الذري

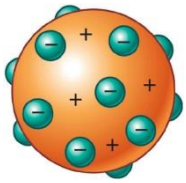
1 نموذج بور لذرة الهيدروجين

☑ مقدمة

ساد الاعتقاد أنّ الذرّة أصغر مكوّنات المادّة، لكن بيّنت التجارب لاحقًا أنّ الذرة تتكوّن من جُسيمات أصغر منها. إنّ تفسير بِنية الذرّة واستقرارها كان التحدي الأكبر للفيزياء الكلاسيكية.

☑ نماذج الذرة قبل بور

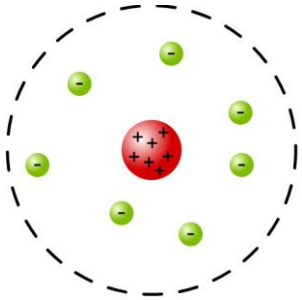
(1) نموذج طومسون



افترض طومسون أنّ الذرة كرة مصمتة موجبة الشحنة تتوزّع فيها الإلكترونات سالبة الشحنة، وأنّ الذرة متعادلة كهربائيًّا؛ لأنّ مجموع الشحنة السالبة يساوي مجموع الشحنة الموجبة.
إلا ان تجربة رذرفورد اثبتت عدم صحة هذا النموذج

(2) نموذج رذرفورد

في محاولة من العالم رذرفورد للكشف عن مكونات الذرة أسقط جُسيمات ألفا على صفيحة رقيقة من الذهب، وافترض، بناءً على مشاهداته التجريبية، أنّ الذرة تتكوّن من

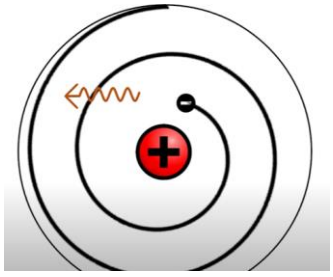


- نواة موجبة الشحنة تشغل حيزًا صغيرًا جدًّا، تتركّز فيه غالبية كتلة الذرة.
- إلكترونات سالبة الشحنة تدور حول النواة مثل دوران الكواكب حول الشمس.

لكن لم يستطع رذرفورد تفسير استقرار الذرة، باستخدام قوانين الفيزياء الكلاسيكية
لذلك لم ينجح نموذجه ايضاً

سؤال: وضح لماذا لا تكون الذرة مستقرة في نموذج رذرفورد ؟

الجواب:



بما ان الإلكترون جُسيم مشحون يدور حول النواة، ويغيّر اتجاه حركته بشكل مستمر، فإنه بذلك يكتسب تسارعًا مركزيًّا، وبحسب النظرية الكهرومغناطيسية فإنّه سيشعّ (يفقد) طاقة بشكل متصل، ونتيجة فقدانه الطاقة؛ فإنّه سينجذب نحو النواة ما يؤدّي إلى انهيار الذرة. وهذا يخالف النتائج التجريبية، حيث الذرة مستقرة والطاقة التي تشعّها منفصلة ذات قيم محدّدة.

☑ نماذج بور لذرة الهيدروجين

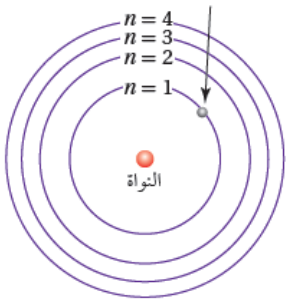
كان العالم بور مقتنعًا بصحّة نموذج رذرفورد، لكنّه اختلف معه في كيفيّة إشعاع الإلكترون للطاقة، ولبناءا نموذج جديدة للذرة استخدم بور كلا من مبدأ تكمية الطاقة، ونموذج رذرفورد إضافة إلى النموذج الجُسيمي للإشعاع.

تتلخص **فرضيات بور** لذرة الهيدروجين فيما يأتي:

الفرض الأول

يدور الإلكترون حول البروتون (النواة) في مسارات دائرية تحت تأثير قوة التجاذب الكهربائي.

الفرض الثاني



توجد مدارات محدّدة (مستويات طاقة) مسموح للإلكترون بأن يحتلّها، وإذا بقي في مستوى الطاقة نفسه فلا يشعّ طاقة ولا يمتصّها. ويمكن حساب طاقة الإلكترون في أي من هذه المستويات داخل ذرة الهيدروجين باستخدام القانون التالي:

$$E = \frac{-13.6}{n^2}$$

ملاحظات هامة...

(1) القانون السابق يجد طاقة الإلكترون بوحدة الإلكترون فولت (**eV**) وليس الجول

(2) يوجد الإلكترون في الوضع الطبيعي في المستوى الأول $(n=1)$ والذي يسمى **مستوى الاستقرار**

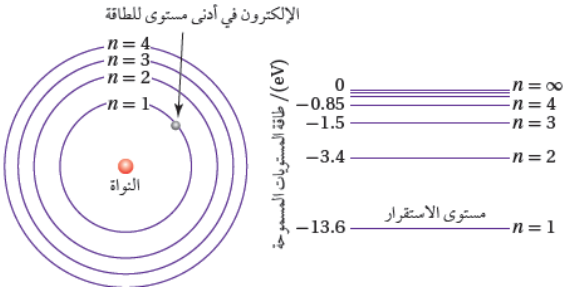
(3) المستويات التي تعلو المستوى الأول تسمى **مستويات الأثارة**

(4) وجود الإلكترون في المستوى $(n=\infty)$ يعني انه **خارج الذرة**

(5) اقل طاقة يمكن ان يمتلكها الإلكترون هي طاقته في المستوى الأول وتساوي $(-13.6\ eV)$

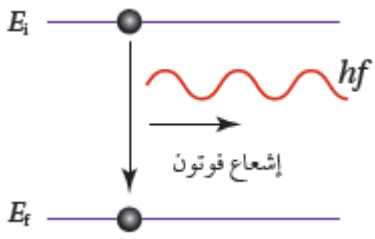
(6) الإشارة السالبة في القانون تعني ان الإلكترون بحاجة إلى طاقة لكي يتحرر من الذرة

(7) ترسم هذه المستويات على شكل خطوط مستقيمة كما في الشكل المجاور ونلاحظ منها أن مقدار الطاقة لها كميات محددة وليست متصلة



الفرض الثالث

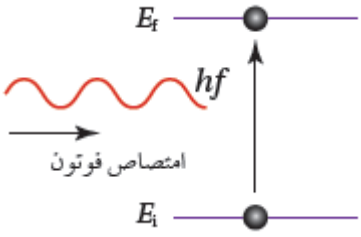
يشعّ الإلكترون طاقة أو يمتصّها فقط إذا انتقل من مستوى طاقة إلى مستوًى آخر.



إشعاع الطاقة

عند انتقال الإلكترون من مستوى طاقة أعلى إلى مستوى طاقة أقلّ، فإنّه يشعّ فوتونًا كما في الشكل المجاور طاقته تساوي الفرق بين طاقتي المستويين.

امتصاص الطاقة



يمكن أيضًا أن يمتص الإلكترون فوتونًا، وينتقل من مستوى طاقة اقل إلى مستوى طاقة أعلى عندما تكون طاقة الفوتون الممتَصّ مساوية لفرق الطاقة بين المستويين، كما في الشكل المجاور

في كلتا الحالتين فإنّ طاقة الفوتون (E) المنبعِث أو الممتَصّ يُعبَّر عنها بالعلاقة الآتية:

$$E = \left| E_f - E_i \right|$$

حيث

E_f طاقة المدار (مستوى الطاقة) النهائي الذي انتقل إليه الإلكترون.

E_i طاقة المدار (مستوى الطاقة) الابتدائي الذي انتقل منه الإلكترون.

ملاحظات هامة...

(1) تذكر ان طاقة الفوتون يمكن ان تحسب من القانون $E = hf$ او $E = h\frac{c}{\lambda}$

(2) إذا امتص الإلكترون فوتونا طاقته مساوية لطاقة الإلكترون فإن الإلكترون يتحرر من الذرة

(3) **طاقة التأين** : هي أقلّ طاقة لازمة لتحرير الإلكترون من الذرة دون إكسابه طاقة حركية

(4) لا ينتقل الإلكترون من مستوى إلى أخرى إلا إذا كانت **طاقة الفوتون الممتص مناسبة** فمثلا لنقل إلكترون من مستوى الطاقة الأول $(E_1 = -13.6eV)$ إلى مستوى الطاقة الثاني $(E_2 = -3.4eV)$ لا بد أن يمتص فوتون طاقته $10.2eV$ حيث إن

$$E = \left| E_f - E_i \right|$$
$$10.2 = \left| (-3.4) - (-13.6) \right|$$

(5) عندما يكون الإلكترون في أحد مستويات الاثارة (المستوى الثالث مثلاً) تكون الذرة مثارة ولا تستقر إلا إذا عاد إلى المستوى الأول ويكون ذلك إما مباشرة ببعث فوتون واحد أو ينتقل الإلكترون إلى المستوى الثاني ويبعث فوتون ثم إلى الأول ويبعث فوتون أخر

الفرض الرابع

المدارات المسموح للإلكترون أن يحتلها هي تلك التي يكون فيها مقدار زخمه الزاويّ يساوي عددًا صحيحًا من مضاعفات $\hbar$، حيث أيْ إنّ $\hbar = \frac{h}{2\pi} = (1.05\times10^{-34}\ J.s)$ أي ان

$$L = n\hbar$$

ملاحظات هامة...

(1) يمكن إيجاد مقدار الزخم الزاوي للإلكترون بقانون اخر هو $(L = m_e vr)$ حيث إن :

(m_e) كتلة الإلكترون وتساوي $(9.11\times10^{-31}kg)$ (r) نصف قطر مدار الإلكترون.

ويستفاد من هذا القانون لمعرفة سرعة ونصف قطر المدار الذي يتحرك به الإلكترون

(2) توضيح للفرض الرابع:

قيمة الزخم الزاوي للإلكترون تعتمد على رقم المدار الذي يوجد به كما يلي:

إذا كان الإلكترون في المدار

الأول $(n=1)$ فإن زخمه الزاوي يساوي $L = n\hbar = (1)\times(1.05\times10^{-34}) = 1.05\times10^{-34}\ J.s$ <==

الثاني $(n=2)$ فإن زخمه الزاوي يساوي $L = n\hbar = (2)\times(1.05\times10^{-34}) = 2.1\times10^{-34}\ J.s$ <==

الثالث $(n=3)$ فإن زخمه الزاوي يساوي $L = n\hbar = (3)\times(1.05\times10^{-34}) = 3.15\times10^{-34}\ J.s$ <==

سؤال : ما الفرق بين نموذج بور ونموذج رذرفورد للذرة

الجواب: الفرق في كيفية إشعاع الإلكترون للطاقة، حيث إن:

رذرفورد يفترض ان الإلكترون يشع طاقة بشكل متصل

بور يفترض ان الإلكترون يشع طاقة بشكل منفصل (كمات)

معرفة مستويات الطاقة في الذرات المنفصلة أو الموادّ الصلبة، مكّن العلماء من تطوير كثيرٍ من الأجهزة التي تسهّل حياة البشر مثل؛ أنابيب الفلورسنت، والميكروويف، وأجهزة الهاتف المحمول والحاسوب، وتطوير تكنولوجيا الليزر المستخدمة في الطب والصناعة وتشكيل الصور ثلاثية الأبعاد (هولوغرام)

مثال (1)

جد مقدار كلا من طاقة الإلكترون وزخمه الزاوي في ذرة الهيدروجين في أول خمس مستويات

الحل

$$E=\frac{-13.6}{n^2} \quad , \quad L=n\hbar$$

$$n=1 \Rightarrow E=\frac{-13.6}{1^2}=-13.6eV \quad , \quad L=(1)\left(1.05\times10^{-34}\right)=1.05\times10^{-34}\,J.s$$

$$n=2 \Rightarrow E=\frac{-13.6}{2^2}=-3.4eV \quad , \quad L=(2)\left(1.05\times10^{-34}\right)=2.1\times10^{-34}\,J.s$$

$$n=3 \Rightarrow E=\frac{-13.6}{3^2}=-1.51eV \quad , \quad L=(3)\left(1.05\times10^{-34}\right)=3.15\times10^{-34}\,J.s$$

$$n=4 \Rightarrow E=\frac{-13.6}{4^2}=-0.85eV \quad , \quad L=(4)\left(1.05\times10^{-34}\right)=4.2\times10^{-34}\,J.s$$

$$n=5 \Rightarrow E=\frac{-13.6}{5^2}=-0.54eV \quad , \quad L=(5)\left(1.05\times10^{-34}\right)=5.25\times10^{-34}\,J.s$$

مثال (2)

إلكترون ذرة الهيدروجين زخمه الزاويّ $3\hbar$ ، أجد طاقته.

الحل:

حسب قانون الزخم الخطي $L=n\hbar$ فإن الإلكترون في المدار الثالث

$$E=\frac{-13.6}{n^2}=\frac{-13.6}{3^2}=-1.5\text{eV}$$

مثال (3)

جد مقدار طاقة الفوتون المنبعث او الممتص في كل من الحالات التالية:

(1) انتقال إلكترون من المستوى الثاني إلى المستوى الأول

(2) انتقل إلكترون من مستوى الاستقرار إلى المستوى الرابع

الحل:

(1) سوف ينبعث إلكترون طاقته

$$E=\left|E_f-E_i\right|=\left|\frac{-13.6}{(1)^2}-\frac{-13.6}{(2)^2}\right|=\left|-13.6-(-3.4)\right|=10.2eV$$

(2) يمتص الإلكترون فوتون طاقته

$$E=\left|E_f-E_i\right|=\left|\frac{-13.6}{(4)^2}-\frac{-13.6}{(1)^2}\right|=\left|-0.85-(-13.6)\right|=12.75eV$$

مثال (4)

ذرة هيدروجين تحتوي على إلكترون في مستوى الاستقرار جد مقدار اقل طاقة للفوتون تلزم لتأين هذه الذرة

الحل

لتأين الذرة يجب ان ينتقل الإلكترون إلى المدار $(n=\infty)$ ولذلك يحتاج الإلكترون ان يمتص فوتونا طاقته

$$E=\left|E_f-E_i\right|=\left|\frac{-13.6}{(\infty)^2}-\frac{-13.6}{(1)^2}\right|=\left|0-(-13.6)\right|=13.6eV$$

مثال (5)

جد مقدار طاقة الفوتون اللازمة لنقل إلكترون من مستوى الإثارة الأول إلى مستوى الإثارة الثاني

الحل

انتبه.....

مستوى الاثارة الأول هو $(n=2)$

مستوى الاثارة الثاني هو $(n=3)$

$$E=\left|E_f-E_i\right|=\left|\frac{-13.6}{(2)^2}-\frac{-13.6}{(3)^2}\right|=\left|-3.4-(-1.5)\right|=1.9eV$$

مثال (6)

أجد تردّد الفوتون اللازم لنقل إلكترون في ذرة الهيدروجين من مستوى الطاقة الثاني إلى مستوى الطاقة الثالث.

الحل:

$$E=\left|E_3-E_2\right|=\left|\frac{-13.6}{3^2}-\frac{-13.6}{2^2}\right|=\left|-1.5-(-3.4)\right|=1.9\text{eV}$$

$$\mathrm{E}_{(\mathrm{J})}=1.9\times\left(1.6\times10^{-19}\right)=3.04\times10^{-19}\,J$$

$$f=\frac{E_{(\mathrm{J})}}{h}=\frac{3.04\times10^{-19}}{6.63\times10^{-34}}=4.6\times10^{14}\,Hz$$

مثال (7)

انتقل إلكترون ذرة الهيدروجين من مستوى الطاقة (n_i) إلى مستوى الطاقة الثاني، فانبعث فوتون بطاقة $\left(4.08\times10^{-19}\,J\right)$ جد رقم مستوى الطاقة (n_i)

الحل:

أولا نحول طاقة الفوتون إلى الإلكترون فولت

$$E_{(ev)}=\frac{\left(4.08\times10^{-19}\,J\right)}{\left(1.6\times10^{-19}\right)}=2.55\text{eV}$$

الان نجد طاقة المستوى الثاني

$$E_2 = \frac{-13.6}{n^2} = \frac{-13.6}{2^2} = -3.4\text{eV}$$

بما أن الفوتون انبعث فإن الإلكترون انتقل من مستوى أكبر من (2) إلى المستوى الثاني وعليه فإنه خسر طاقة لذلك نعوض طاقته بالسالب

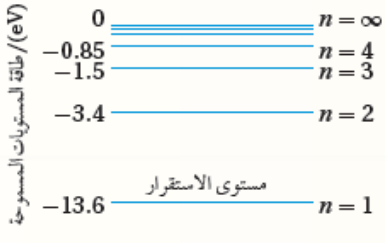
$$E = |E_2 - E_{ni}|$$

$$-2.55 = -3.4 - E_{ni}$$

$$E_{ni} = -0.85\text{eV} \quad ==> -0.85 = \frac{-13.6}{n^2} \quad ==> \quad n = 4$$

مثال (8)

إلكترون موجود في مستوى الاستقرار لذرة الهيدروجين. بالاعتماد على الشكل المجاور، أجدُ أصغر ثلاث قيم للطاقة يمكن لهذا الإلكترون أن يمتصّها



الحل:

أصغر قيم للطاقة يمكن أن يمتصها الإلكترون هي الطاقة التي تستطيع نقله إلى المستوى الثاني والثالث والرابع

$$E = |E_2 - E_1| = |-3.4 - (-13.6)| = 10.2\text{eV}$$

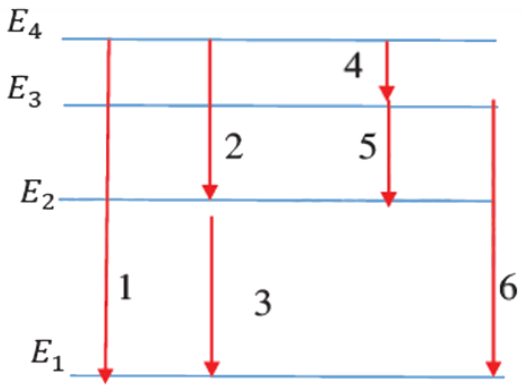
$$E = |E_3 - E_1| = |-1.5 - (-13.6)| = 12.1\text{eV}$$

$$E = |E_4 - E_1| = |-0.85 - (-13.6)| = 12.75\text{eV}$$

مثال (9)

إلكترون في مستوى الطاقة الرابع لذرة الهيدروجين، ما الانتقالات التي يمكن أن يفقد بها الإلكترون طاقته، أوضّح ذلك على رسم لمستويات الطاقة.

الحل:



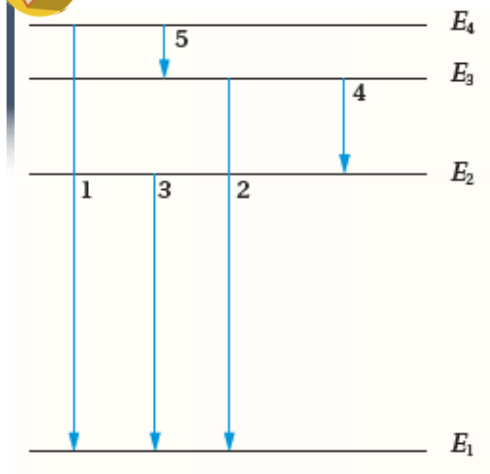
ممكن أن يفقد طاقته على مرحله واحده عند انتقاله مباشرة من المستوى الرابع إلى مستوى الاستقرار.

ممكن أن يفقد طاقته على مرحلتين عند انتقاله من المستوى الرابع إلى الثاني ثم من المستوى الثاني إلى مستوى الاستقرار.

أو من المستوى الرابع إلى الثالث ومن الثالث إلى الاول

ممكن أن يفقد طاقته على ثلاث مراحل عند انتقاله من المستو ى الرابع إلى الثالث ثم من الثالث إلى الثاني ثم من الثاني إلى الأول.

مثال (10)



يمثّل الشكل المجاور مستويات الطاقة المسموح بها لإلكترون في ذرة ما، والانتقالات بين مستويات الطاقة (الأرقام من 1 إلى 5).

أ . أيّ الانتقالات ينتج عنه انبعاث فوتون بأكبر طول موجيّ؟
ب. أيّ الانتقالات ينتج عنه انبعاث فوتون بأكبر طاقة؟
ج. أيّ الانتقالات ينتج عنه انبعاث فوتون بأقلّ تردّد؟

الحل:

أ) أكبر طول موجي يعني أقل طاقة وأقل تردد لذلك فالانتقال رقم (5) هو الانتقال ذو الطاقة الأقل والطول الموجي الأكبر

ب) من الشكل أكبر طاقة تحدث بين أبعد مدارين وهو الانتقال رقم (1)

ج) اقل تردد يعني اقل طاقة والانتقال رقم (5) هو الانتقال ذو الطاقة الأقل

مثال (11)

إلكترون في مستوى الاستقرار لذرة الهيدروجين، أناقش ما يحدث للإلكترون إذا سقط عليه فوتون طاقتُه:

أ) (7eV)

ب) (12.1eV)

ج) (20eV)

الحل:

أ) لن يتحرك الإلكترون من مداره لإن اقل طاقة يحتاجه حتى ينتقل إلى المستوى الأقرب له (المستوى الثاني) هي 10.2

ب) سوف يتحرر الإلكترون وينتقل إلى المدار الثالث حيث إن

$$E = |E_f - E_i|$$

$$12.1 = |E_f + 13.6| \quad ===> \quad E_f = 1.5 \quad ===> \quad n = 3$$

ج) بما أن طاقة الفوتون أكبر من طاقة التأين فإن الإلكترون سوف يتحرر من الذرة وينطلق بطاقة حركية مقدارها

$$E = 20 - 13.6 = 6.4\text{eV}$$

مثال (12)

إلكترون في مستوى الطاقة الثالث لذرة الهيدروجين، أتنبّأ بقيم الطاقة التي يمكن أن يخسرها الإلكترون.

الحل:

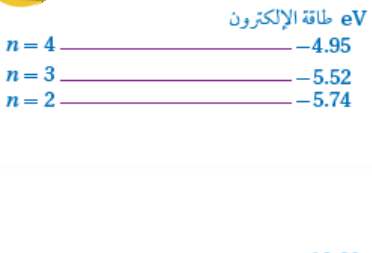
يخسر الإلكترون طاقة عند انتقاله إلى مستوى أقل (المستوى الثاني أو المستوى الأول) لذلك فإن قيم الطاقة التي يمكن أن يخسرها هي

$$E = E_1 - E_3 = -13.6 - (-1.5) = -12.1\text{eV}$$

$$E = E_2 - E_3 = -3.4 - (-1.5) = -1.9\text{eV}$$

مثال (13)

يبيّن الشكل المجاور بعض مستويات الطاقة لإلكترون في ذرة الزئبق:
أ . أجد أعلى طاقة فوتون يمكن أن ينبعث من الانتقالات بين هذه المستويات.
ب. أجد أقلّ طاقة فوتون يمكن أن ينبعث من الانتقالات بين هذه المستويات



الحل:

أ) اعلى طاقة ممكن أن تنبعث عند انتقال الإلكترون بين ابعد مستويين

$$E = |E_1 - E_4| = |-10.38 - (-4.95)| = 5.43\,\text{eV}$$

ب) اقل طاقة للفوتون عندما ينتقل الإلكترون بين أقرب مستويين في الطاقة (الثاني والثالث)

$$E = |E_2 - E_3| = |-5.57 - (-5.52)| = 0.22\,\text{eV}$$

مثال (14)

ماذا يحدث للإلكترون إذا زادت طاقة الفوتون الذي يمتصّه على طاقة التأين؟

الحل:

يمتص الإلكترون جميع طاقة الفوتون ويتحرر من الذرة. ويتحول ما يزيد من طاقة الفوتون عن طاقة التأيّن إلى طاقة حركية يمتلكها الإلكترون.

مثال (15)

إذا انتقل إلكترون من مستوى الطاقة الرابع إلى مستوى الطاقة الثاني في ذرة الهيدروجين، فإنّ الفرق في الزخم الزاويّ للإلكترون بحسب نموذج بور، هو:

أ) $2\hbar$ ب) $3\hbar$ ج) $\hbar$ د) $4\hbar$

◈ أسئلة نظرية

عدّد فرضيات بور لذرة الهيدروجين.

الحل:

فرضيات بور في ذرة الهيدروجين:

1. يدور الإلكترون حول البروتون في مسارات دائرية تحت تأثير قوة التجاذب الكهربائي.
2. توجد مدارات محددة (مستويات طاقة) مسموح للإلكترون أن يحتلّها، وإذا بقي في المدار نفسه فلا يشعّ طاقة ولا يمتصّها.
3. يشع الإلكترون طاقة أو يمتصها فقط إذا انتقل من مستوى طاقة إلى آخر.
4. المدارات المسموح للإلكترون أن يوجد فيها هي تلك التي يكون فيها مقدار زخمه الزاوي $(L = m_e vr)$ يساوي عددا صحيح من مضاعفات $(\hbar)$ حيث أن $\left(\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1.05 \times 10^{-34}\, J.s\right)$ أي أن $(L = n\hbar = m_e vr)$

وضح المقصود بطاقة التأين .

الحل:

طاقة التأين: هي أقل طاقة تلزم لتحرير الإلكترون من الذرة دون إكسابه طاقة حركية .

ماذا ينتج عند انتقال الإلكترون من مستوى إلى آخر في الذرة؟

الحل:

عند انتقال الإلكترون من مستوى طاقة أعلى إلى مستوى طاقة أقل، فإنه يشع فوتونا طاقته تساوي فرق الطاقة بين المستويين، أما عند انتقال الفوتون من مستوى طاقة أقل إلى مستوى طاقة أعلى، فإنه يكون قد امتص فوتونا طاقته تساوي فرق الطاقة بين المستويين.

ماذا تعني الإشارة السالبة في قانون إيجاد طاقة الإلكترون في المدارات

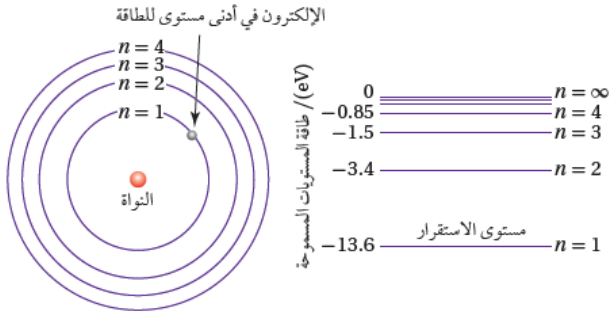
الحل:

الإشارة السالبة تعني أن الإلكترون مرتبط بالذرة ويحتاج إلى طاقة مساوية لطاقة المدار ليتحرر من الذرة دون ان يكتسب طاقة حركية

واجبات (اختبر نفسك)

السؤال الأول

اعتمادًا على الشكل المجاور ، أجد طاقة الفوتون المنبعث عند انتقال الإلكترون في ذرة الهيدروجين من مستوى الطاقة الثالث إلى مستوى الطاقة الثاني بوحدة eV ، ثمّ أحوّله إلى وحدة جول



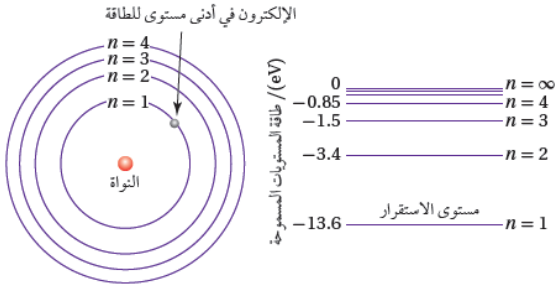
الحل:

$$E = |\Delta E| = |E_2 - E_3| = |-3.4-(-1.5)| = 1.9\,\text{eV}$$

$$E_{(J)} = 1.9\times(1.6\times10^{-19}) = 3.04\times10^{-19}\,J$$

السؤال الثاني

اعتمادًا على الشكل المجاور، جد طاقة الفوتون اللازمة لنقل الإلكترون في ذرة الهيدروجين من مستوى الاستقرار إلى مستوى الطاقة الثالث بوحدة الإلكترون فولت



الحل:

$$E = |\Delta E| = |E_3 - E_1| = |-1.5-(-13.6)| = 12.1\,\text{eV}$$

السؤال الثالث

إلكترون في مستوى الطاقة الثاني لذرة الهيدروجين، أجد ما يأتي:

أ . الزخم الزاويّ للإلكترون.

ب. طاقة الإلكترون.

الحل:

أ)

$$L = n\hbar = 2\times1.05\times10^{-34} = 2.1\times10^{-34}\,J.s$$

ب)

$$E = \frac{-13.6}{n^2} = \frac{-13.6}{2^2} = -3.4\,\text{eV}$$

السؤال الرابع

أجدُ الزخم الزاويّ وطاقة الإلكترون في المدار الرابع لذرة الهيدروجين

الحل:

$$L = n\hbar = 4\times(1.05\times10^{-34}) = 4.2\times10^{-34}\,J.s$$

$$E = \frac{-13.6}{n^2} = \frac{-13.6}{4^2} = -0.85\,\text{eV}$$

السـؤال الخامس

عند هبوط إلكترون ذرة الهيدروجين من المستوى الرابع ليصل إلى المستوى الأول :

1) ما أكبر عدد من الفوتونات الممكن انبعاثها .

2) ما أقل عدد من الفوتونات الممكن انبعاثها .

الحل:

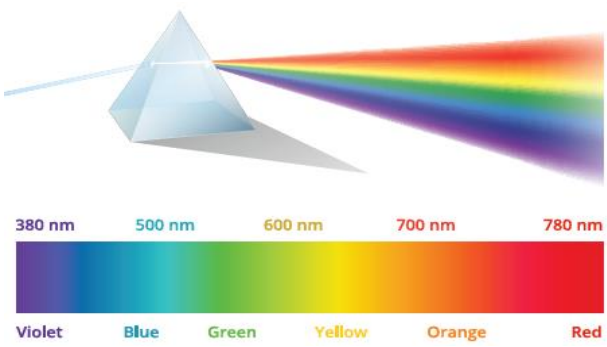
1) ثلاث فوتونات (عندما ينتقل إلى المستوى الثالث ثم الثاني ثم الأول)

2) فوتون واحد (عندما ينتقل إلى المستوى الأول مباشرة)

2 الاطياف الذرية

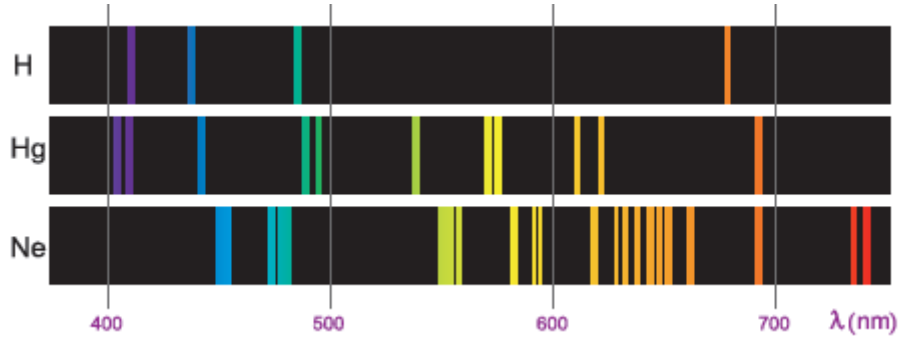
☑ مقدمة

عند تحليل ضوء الشمس الأبيض باستخدام منشور كما في الشكل التالي ينشأ طيف مرئي متصل (يحتوي على جميع الاطوال الموجية)



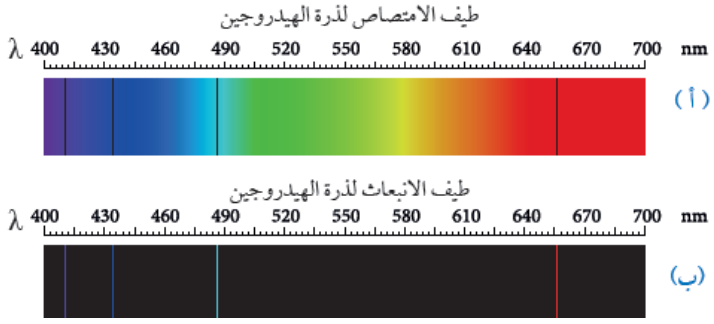
☑ طيف الانبعاث الخطي

بخلاف الطيف الشمسي فإنه عند تحليل الضوء الناشئ عن إثارة ذرات عنصر واحد فإن الطيف الصادر عنه يكون طيف منفصل بحيث تظهر بعض الاطوال الموجية فقط على هيئة خطوط ملونة على خلفية سوداء كما في الشكل التالي



☑ طيف الامتصاص الخطي

عند تحليل ضوء الشمس بعد مروره خلال غاز عنصر معين تظهر خطوط معتمة على خلفية مضيئة كما في الشكل التالي ويرجع السبب في ذلك إلى ان ذرات العنصر امتصت هذه الخطوط ونلاحظ ان الخطوط الممتصة هي نفسها التي تظهر في طيب الانبعاث الخطي



ملاحظات هامة...

(1) **طيف الانبعاث الخطي** : هو خطوط من الألوان المنفصلة على خلفية سوداء

(2) **طيف الامتصاص الخطي** : هو خطوط معتمة على خلفية مضيئة

(3) الطيف الخطي (الانبعاث والامتصاص) **صفة مميزة** للعنصر ولا يمكن ان تجد عنصرين لهما نفس الطيف الخطي

(4) سمي الطيف الصادر عن اشعة الشمس متّصلً لأنّه يحتوي الأطوال الموجيّة كلها بدءًا من اللون الأحمر وصولً إلى اللون البنفسجي

☑ تفسير الاطياف الخطية (المنفصلة)

عجزت الفيزياء الكلاسيكية عن تفسير الاطياف الخطية للعناصر وقد استطاع بور تفسير هذه الظاهرة بالاعتماد على نموذجه لذرة الهيدروجين على النحو التالي:

افترض وجود إلكترون ذرة الهيدروجين في مستوى الاستقرار

(1) عند إثارة هذه الذرة ينتقل الإلكترون إلى مستوى اعلى
(2) ثم يعود الإلكترون إلى مستوى الاستقرار ببعث فوتون طاقته تساوي فرق الطاقة بين المستويين
(3) هذا الفوتون طاقته ثابتة (طوله الموجي ثابت)
(4) إذا اختلفت المدارات التي ينتقل بينها الإلكترون يبعث (فوتونات) اطوال موجية مختلفة
(5) جميع الاطوال الموجي التي يمكن ان يبعثها الإلكترون محددة بناءا على طاقة المستويات التي ينتقل بينها

وقد استطاع بور باستخدام نموذجه اشتقاق قانون لحساب الطول الموجي للفوتون الناشئ عن انتقال إلكترون بين مستويين مختلفين

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left| \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right|$$

حيث (R_H) هو ثابت ريدبيرغ وقيمته $(1.097 \times 10^7\ m^{-1})$

ملاحظات هامة...

(1) القانون السابق خاص فقط بذرة الهيدروجين
(2) استطاع بور تفسير الاطياف الذرية للهيدروجين وجميع الذرات والايونات أحادية الإلكترون
(3) عجز بور عن تفسير الاطياف الذرية للذرات عديدة الإلكترونات

أذكر محدّدات نموذج بور.

الحل:

حدود نموذج بور: لم يستطع تفسير الأطياف الذرية للذرات عديدة الإلكترونات

مثال (1)

أجدُ طول موجة الفوتون المنبعِث عند انتقال إلكترون ذرة الهيدروجين من مستوى الطاقة الثاني إلى مستوى الطاقة الأول.

الحل:

$$\frac{1}{\lambda}=R_H\left|\frac{1}{n_f^2}-\frac{1}{n_i^2}\right|$$

$$\frac{1}{\lambda}=\left(1.097\times10^7\right)\left|\frac{1}{1^2}-\frac{1}{2^2}\right|$$

$$\frac{1}{\lambda}=8227500 \qquad ===> \quad \lambda=1.22\times10^{-7}m=122nm$$

مثال (2)

أجدُ الأطوال الموجيّة للفوتونات المنبعِثة عند انتقال إلكترون ذرة الهيدروجين من مستويات الطاقة: الثالث، والرابع، والخامس، والسادس إلى مستوى الطاقة الثاني.

الحل:

$$\frac{1}{\lambda}=R_H\left|\frac{1}{n_f^2}-\frac{1}{n_i^2}\right|=\left(1.097\times10^7\right)\left|\frac{1}{2^2}-\frac{1}{3^2}\right| \quad ===> \quad \boxed{\lambda=656.3nm}$$

$$\frac{1}{\lambda}=R_H\left|\frac{1}{n_f^2}-\frac{1}{n_i^2}\right|=\left(1.097\times10^7\right)\left|\frac{1}{2^2}-\frac{1}{4^2}\right| \quad ===> \quad \boxed{\lambda=486.2nm}$$

$$\frac{1}{\lambda}=R_H\left|\frac{1}{n_f^2}-\frac{1}{n_i^2}\right|=\left(1.097\times10^7\right)\left|\frac{1}{2^2}-\frac{1}{5^2}\right| \quad ===> \quad \boxed{\lambda=434.1nm}$$

$$\frac{1}{\lambda}=R_H\left|\frac{1}{n_f^2}-\frac{1}{n_i^2}\right|=\left(1.097\times10^7\right)\left|\frac{1}{2^2}-\frac{1}{6^2}\right| \quad ===> \quad \boxed{\lambda=410.2nm}$$

مثال (3)

انتقل إلكترون ذرة الهيدروجين من مستوى الطاقة الرابع إلى مستوى الطاقة الأول، بحسب نموذج بور. أحسبُ طول موجة الفوتون المنبعث وتردّده وطاقته وزخمه الخطيّ.

الحل:

$$\frac{1}{\lambda}=R_H\left|\frac{1}{n_f^2}-\frac{1}{n_i^2}\right|=\left(1.097\times10^7\right)\left|\frac{1}{1^2}-\frac{1}{4^2}\right| \quad ===> \quad \boxed{\lambda=98.2nm}$$

$$f=\frac{c}{\lambda}=\frac{3\times10^8}{98.2\times10^{-9}}=3.05\times10^{15}Hz$$

$$E=fh=\left(3.05\times10^{15}\right)\left(6.63\times10^{-34}\right)=2.03\times10^{-18}J$$

$$p=\frac{h}{\lambda}=\frac{6.63\times10^{-34}}{98.2\times10^{-9}}=6.75\times10^{-27}kg.m/s$$

مثال (4)

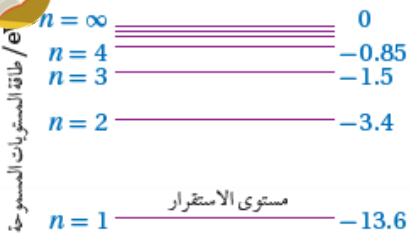
أحسب طول موجة الإشعاع اللازم لنقل إلكترون من مستوى الاستقرار لذرة الهيدروجين إلى مستوى الطاقة الثالث.

الحل:

$$\frac{1}{\lambda}=R_H\left|\frac{1}{n_f^2}-\frac{1}{n_i^2}\right|$$

$$\frac{1}{\lambda}=\left(1.097\times10^{7}\right)\left|\frac{1}{3^2}-\frac{1}{1^2}\right| \quad ===> \lambda=103nm$$

مثال (5)



ظهر خط مُعتم في طيف الامتصاص لذرة الهيدروجين عند التردّد $\left(6.15\times10^{14}\,Hz\right)$ ، بالاعتماد على مستويات الطاقة لذرة الهيدروجين في الشكل، أُبيّن بالحسابات بينَ أيّ مستويي طاقة انتقل الإلكترون ليظهر هذه الخط المعتم

الحل:

ظهور الخط المعتم يدل على ان الضوء ذو التردد $\left(6.15\times10^{14}\,Hz\right)$ قد امتص بواسطة ذرة الهيدروجين وعمل على انتقال إلكترونها من مدار منخفض إلى مدار مرتفع حيث أن الطاقة التي كسبها الإلكترون تساوي

$$E=hf=\left(6.63\times10^{-34}\right)\left(6.15\times10^{14}\right)=4.077\times10^{-19}\,J$$

$$E_{(ev)}=\frac{4.077\times10^{-19}}{1.6\times10^{-19}}=2.55eV$$

وهذه الطاقة تمثل الفرق بين مستويين من الطاقة وبالاعتماد على الشكل فإن الإلكترون انتقل من المستوى الثاني إلى الرابع

مثال (6)

يظهر في طيف امتصاص غاز الهيليوم (12) خطٌّ مُعتِم في منطقة الضوء المرئي:

أ . أفسّر سبب ظهور هذه الخطوط.

ب. أحسب: أحدُ الخطوط يقابل الطول الموجيّ $\left(686.7nm\right)$ أحسُب الطاقة التي امتصها الإلكترون لينتج هذا الخط بوحدة eV

الحل:

أ) سبب ظهور هذه الخطوط هو امتصاص الإلكترونات في ذرة الهيليوم فوتونات طاقتها تساوي فرق الطاقة بين مستويات طاقة في ذرة الهيليوم.

ب)

$$E=h\frac{c}{\lambda}=\left(6.63\times10^{-34}\right)\left(\frac{3\times10^{8}}{686.7\times10^{-9}}\right)=2.9\times10^{-19}\,J$$

$$E_{ev}=\frac{2.9\times10^{-19}}{1.6\times10^{-19}}=1.8eV$$

مثال (7)

بالاعتماد على نموذج بور لذرة الهيدروجين بين ان الطول الموجي للفوتون المنبعث من ذرات عنصر مثار يعطى بالقانون التالي

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left| \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right|$$

الحل:

حسب نموذج بور عند انتقال إلكترون من مستوى إلى اخر فإن طاقة الفوتون المنبعث بوحدة الإلكترون فولت تعطى بالقانون التالي:

$$E = \left| E_f - E_i \right|$$

وبتعويض قانون طاقة المدار في القانون السابق

$$E = \left| \frac{-13.6}{n_f^2} - \frac{-13.6}{n_i^2} \right|$$

بضرب طرف المعادلة بشحنة الإلكترون لتحويل الطاقة إلى الجول والتعويض بقانون الطاقة للفوتون نجد أن

$$\frac{hc}{\lambda} = \left(13.6 \times 1.6 \times 10^{-19}\right) \left| \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right|$$

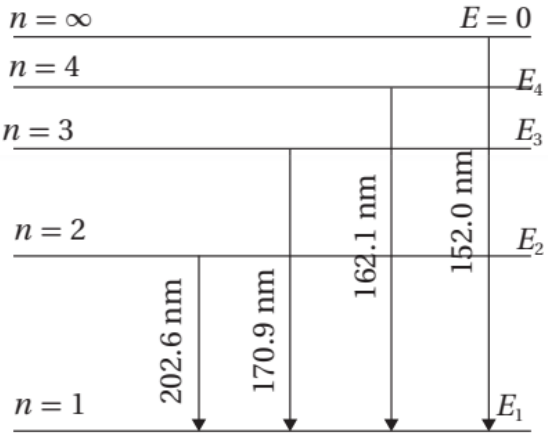
$$\frac{1}{\lambda} = \frac{\left(13.6 \times 1.6 \times 10^{-19}\right)}{hc} \left| \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right|$$

$$\frac{1}{\lambda} = \left(1.097 \times 10^{7}\right) \left| \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right|$$

$$\frac{1}{\lambda} = \left(R_H\right) \left| \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right|$$

مثال (8)

رصد علماء الفلك خطوط الطيف لضوء قادم من مجرة بعيدة لذرة جديدة أحادية الإلكترون فكانت على نحو ما هو موضح في الشكل المجاور، أجد طاقة المستوى الأول والثاني والثالث



الحل:

أولاً من خلال الطول الموجي للفوتون المنبعث نتيجة انتقال الإلكترون من خارج الذرة $(n=\infty)$ إلى المستوى الأول نجد طاقة الفوتون والتي تساوي فرق الطاقة بين المستويين

$$E=\left|E_f-E_i\right|$$

$$\frac{hc}{\lambda}=\left|E_1-E_\infty\right|$$

$$\frac{\left(6.63\times10^{-34}\right)\left(3\times10^{8}\right)}{\left(152\times10^{-9}\right)}=\left|E_1-0\right| \quad ==> E_1=-1.31\times10^{-18}\,J=-8.18eV$$

ملاحظة : وضعت إشارة السالب لإن طاقة المستويات دائما تكون بالسالب

الان يمكن إيجاد طاقة المستوى الثاني و الثالث من خلال طاقة الفوتون المنبعث نتيجة انتقال الإلكترون من كل مستوى إلى المستوى الأول

$$E=\left|E_1-E_2\right|$$

$$\frac{hc}{\lambda}=\left|-1.31\times10^{-18}-E_2\right|$$

$$\frac{\left(6.63\times10^{-34}\right)\left(3\times10^{8}\right)}{\left(202.6\times10^{-9}\right)}=\left|-1.31\times10^{-18}-E_2\right| \quad ==> E_2=-3.3\times10^{-19}\,J=-2.05eV$$

$$E=\left|E_1-E_3\right|$$

$$\frac{hc}{\lambda}=\left|-1.31\times10^{-18}-E_3\right|$$

$$\frac{\left(6.63\times10^{-34}\right)\left(3\times10^{8}\right)}{\left(202.6\times10^{-9}\right)}=\left|-1.31\times10^{-18}-E_3\right| \quad ==> E_3=-1.46\times10^{-19}\,J=-0.914eV$$

◈ الأسئلة النظرية

ما الفرق بين الطيف الناتج من أشعة الشمس المرئيّة (ضوء الشمس) والطيف الناتج من غاز عنصرٍ ما عند عبور ضوء الشمس خلاله؟

الحل:

طيف ضوء الشمس المرئي تظهر فيه جميع ألوان الطيف المرئي أي أنه طيف متصل. وعند عبور ضوء الشمس خلال غاز عنصر ما فإن هذا العنصر يمتص بعض الألوان من ضوء الشمس فيظهر ذلك على شكل خطوط معتمة في الطيف المرئي المتصل يسمى (طيف الامتصاص الخطي للعنصر).

هل يمكن تفسير الأطياف الذريّة باستخدام مفاهيم الفيزياء الكلاسيكية؟ أفسّر إجابتك

الحل:

لا يمكن تفسير الأطياف الذرية باستخدام مفاهيم الفيزياء الكلاسيكية، لأن هذه المفاهيم تفترض أن الذرة تستطيع أن تشع الضوء أو تمتصه بأي تردد، وبالتالي فالطيف المتوقع من الذرات حسب مفاهيم الفيزياء الكلاسيكية يجب أن يكون طيفاً متصلا ، وهذا يخالف النتائج التجريبية.

هل نجح نموذج بور في التنبّؤ بالأطوال الموجيّة لطيف انبعاث ذرّة الهيدروجين؟

الحل:

نجح نموذج بور في التنبؤ بالأطوال الموجية لطيف ذرة الهيدروجين. فقد تمكن بور باستخدام نموذجه لذرة الهيدروجين من حساب الأطوال الموجية للطيف المرئي لذرة الهيدروجين.

أوضّح المقصود بكلٍّ من: طيف الامتصاص الخطّي، طيف الانبعاث الخطّي

الحل:

طيف الامتصاص الخطي: الأطوال الموجية التي تمتصها غازات العناصر وتظهر على شكل خطوط معتمة منفصلة على خلفية مضيئة.

طيف الانبعاث الخطي: الأطوال الموجية التي تشعها ذرات العناصر المثارة وتظهر على شكل خطوط مضيئة منفصلة على خلفية سوداء.

3 الطبيعة الموجيّة-الجُسيميّة المزدوجة

☑ مقدمة

لقد تعلّمتُ أنّ بعض الظواهر المتعلقة بالضوء، مثل الحيود والتداخل يمكن تفسيرها بافتراض أنّ الضوءَ موجاتٌ كهرومغناطيسية. لكن توجد ظواهر أخرى، مثل: إشعاع الجسم الأسود، والظاهرة الكهروضوئية، وظاهرة كومبتون، والأطياف الذريّة لا يمكن تفسيرها إلا على افتراض أنّ الضوء يتكوّن من جُسيمات (فوتونات) لذلك افترض العلماء ان الاشعاع يمتلك طبيعة مزدوجة موجية-جسيمية

☑ فرضية دي-بروي

نص الفرضية

كما ان للإشعاع طبيعة جسيمية كذلك الاجسام المادية له طبيعة موجية ويمكن حساب طول موجتها باستخدام القانون التالي

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

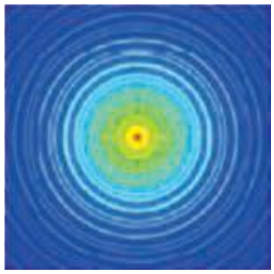
حيث

(h) ثابت بلانك (p) الزخم الخطي للجسم (m) كتلة الجسم (v) سرعة الجسم

ملاحظات هامة...

(1) تسمى هذه الموجات بالموجات المصاحبة للجسم (موجات دي بروي)
(2) هذه الموجات ليست موجات ميكانيكية او كهرومغناطيسية
(3) موجات دي بروي المصاحبة للأجسام الجاهرية صغيرة جدا لا يمكن قياسها حيث أنها اصغر بكثير من ابعاد الجسم
(4) موجات دير بروي المصاحبة للأجسام الذرية طولها قريب من طول المسافة بين الذرات في المواد الصلبة ويمكن قياسها

☑ تجربة دافسون وجيرمر



بعد ثلاث سنوات من وضع دي بروي لفرضيته تمكن العالمان دافسون وجيرمر من الكشف بالتجربة عن الطبيعة الموجيّة للإلكترونات عند إسقاط حزمة من الإلكترونات المسرّعة على بلورة من النيكل، حيث المسافة بين ذرات النيكل مُقارِبة لطول موجة دي بروي المصاحِبة للإلكترونات. وقد أظهرت نتائج التجربة وجود نمط حيود للإلكترونات كما في الشكل المجاور يشبه نمط حيود الضوء

مثال (1)

أجد طول موجة دي بروي المصاحِبة لِ:

أ) إلكترون سرعته $(1\times10^{6}\,m/s)$

ب) رصاصة كتلتها $(m=50g)$ تتحرك بسرعة $(v=400m/s)$

الحل:

أ) كتلة الإلكترون تساوي $9.11\times10^{-31}kg$

$$\lambda=\frac{h}{p}=\frac{h}{mv}=\frac{6.63\times10^{-34}}{(9.11\times10^{-31})(1\times10^{6})}=7.28\times10^{-10}m=\ 0.728nm$$

ب)

$$\lambda=\frac{h}{p}=\frac{h}{mv}=\frac{6.63\times10^{-34}}{(50\times10^{-3})(400)}=3.315\times10^{-35}m$$

مثال (2)

تسارع إلكترون من السكون بفرق جهد مقداره $(2.7\,V)$ ، أجد طول موجة دي بروي المصاحِبة له عند نهاية مدّة تسارُعه.

الحل:

أولا نجد مقدار السرعة النهائية للإلكترون من العلاقة التالية

$$KE=V\times e$$

$$\frac{1}{2}mv^{2}=\mathrm{V}\times\mathrm{e}$$

$$\frac{1}{2}(9.11\times10^{-31})v^{2}=2.7\times1.6\times10^{-19}\quad\Longrightarrow\ v=9.74\times10^{5}m/s$$

الان يمكن إيجاد الطول الموجي المصاحب له

$$\lambda=\frac{h}{p}=\frac{h}{mv}=\frac{6.63\times10^{-34}}{(9.11\times10^{-31})(9.74\times10^{5})}=7.47\times10^{-10}m=\ 0.747nm$$

مثال (3)

طول موجة دي بروي لحزمة من الإلكترونات يساوي $(2.24\times10^{-10}m)$ أجد فرق الجهد المستَخدم في تسريع الإلكترونات.

الحل:

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

$$2.24\times10^{-10}=\frac{6.63\times10^{-34}}{(9.11\times10^{-31})v}\quad\Longrightarrow\ v=3.25\times10^{6}m/s$$

الان بعد معرفة سرعة الإلكترون يمكن معرفة فرق الجهد من العلاقة التالية

$$KE = V \times e$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = \mathrm{V} \times \mathrm{e}$$

$$\frac{1}{2}\left(9.11\times10^{-31}\right)\left(3.25\times10^{6}\right)^2 = V \times 1.6\times10^{-19} \quad \Longrightarrow \quad V = 30.07V$$

مثال (4)

ضربت مريم كرة تنس كتلتها $(60g)$ وقطرها $(6.5cm)$ فتحرّكت بسرعة $(25m/s)$

أ . أجد طول موجة دي بروي المصاحِبة لها.

ب. أقارن بين طول موجة دي بروي وقطر كرة التنس.

الحل:

أ)

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} = \frac{6.63\times10^{-34}}{\left(60\times10^{-3}\right)(25)} = 4.42\times10^{-34}m$$

ب)

نلاحظ أن قطر كرة التنس أكبر بكثير من طول موجة دي بروي المصاحبة

مثال (5)

بروتون طاقته $(10\,\mathrm{MeV})$ ، أجد طول موجة دي بروي المصاحِبة له حيث كتلة البروتون $\left(1.67\times10^{-27}kg\right)$

الحل:

$$KE = 10\,\mathrm{MeV} = \left(10\times10^{6}\right)\times\left(1.6\times10^{-19}\right) = 1.6\times10^{-12}\,J$$

$$v = \sqrt{\frac{2KE}{m}} = \sqrt{\frac{2\times1.6\times10^{-12}}{1.67\times10^{-27}}} = 43.77\times10^{6}m/s$$

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} = \frac{6.63\times10^{-34}}{1.67\times10^{-27}\times43.77\times10^{6}} = 9.1\times10^{-15}m$$

مثال (6)

سُرِّعَ إلكترون بفرق جهد (ΔV)، أثبتُ أنّ طول موجة دي بروي المصاحِبة له يساوي $\frac{h}{\sqrt{2me\Delta V}}$

الحل:

يعطى طول موجة دي بروي بالقانون

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

وحسب قانون الطاقة والجهد فإن

$$KE = \Delta V \times e$$

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

$$v = \sqrt{\frac{2\Delta V \times e}{m}}$$

وبتعويض السرعة في قانون الطول الموجي

$$\lambda = \frac{h}{m\sqrt{\frac{2\Delta V \times e}{m}}} = \frac{h}{\sqrt{m^2 \times \frac{2\Delta V \times e}{m}}} = \frac{h}{\sqrt{2me\Delta V}}$$

مثال (7)

جسم كروي صغير قطره $(1\times10^{-6}m)$ وكتلته $(1\times10^{-12}kg)$ يتحرك بسرعة $(1\times10^{5}m/s)$ هل يمكن الكشف عن موجات دي بروي المصاحبة له ؟ فسر اجابتك

الحل:

أولا نجد طول موجات دي بروي المصاحبة للجسم

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.63\times10^{-34}}{(1\times10^{-12})(1\times10^{5})} = 6.63\times10^{-27}m$$

بمقارنة طول موجة دي بروي بقطر الجسم نجد انها أصغر منه بكثير لذلك لا يمكن الكشف عنها

مثال (8)

يزداد طول موجة دي بروي المُصاحِبة لجُسيم إذا :

أ) زادت طاقته الحركيّة. ب) زادت كتلته. ج) زادت سرعته. د) قلّ زخمه الخطّيّ

مثال (9)

أذكر فرضيّة دي بروي.

الحل:

للجسيمات المادية طبيعة موجية-جسيمية مزدوجة، وأن الطول الموجي لجسيمة يعطى بالعلاقة:

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

الاثراء والتوسع

الفيزياء والطب: الاشعة السينية

التعريف

الاشعة السينية : هو اشعة ذات طاقة كبيرة جداً تنبعث من سطح فلز عند اصطدام إلكترونات ذات طاقة عالية به (X-ray)

ملاحظات هامة...

(1) مكتشف هذه الاشعة هو العالم رونتغن

(2) الطول الموجي للأشعة السينية يتراوح بين ($\lambda = 10^{-11}\,\mathrm{m} - 10^{-8}\,\mathrm{m}$)

(3) تمتاز الأشعة السينيّة بقدرتها على النفاذ في الأوساط المادّية، ويعتمد ذلك على الوسط

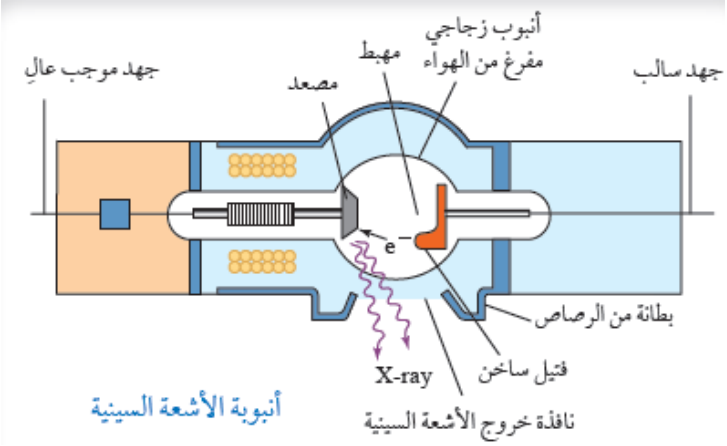
(4) قدرتها على النفاذ خلال الكتلة العضلية تكون أكبر من قدرتها على النفاذ خلال العظام.

(5) استُخدمت الأشعة السينيّة في تصوير العظام داخل جسم الإنسان

☑ تجربة رونتغن

استخدم رونتغن الدارة المجاورة لإنتاج الاشعة السينية والتي تتكون من أنبوب زجاجي مفرغ من الهواء يحتوي بداخله على

1) المهبط (فتيل فلزيّ تنبعث منه إلكترونات عند تسخينه)
2) مصعد (مادة فلزية تصدم بها الإلكترونات)
3) فرق جهد كهربائي كبير بحيث يكون الفتيل موصول بالقطب السالب والمصعد موصول بالقطب الموجب .



أنبوبة الأشعة السينية

☑ الية عمل الدارة ونتائجها

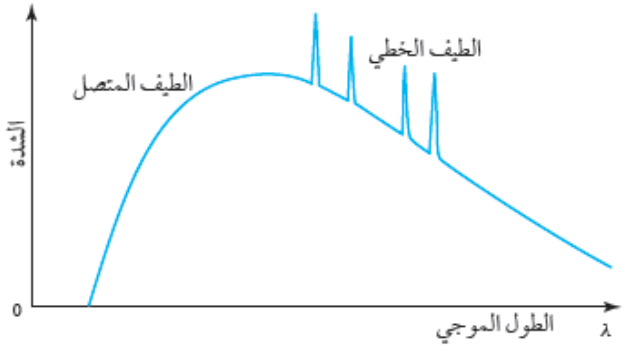
تُسرَّع الإلكترونات المنبعِثة من الفتيل باستخدام فرق جهد كهربائي كبير لتصطدم بعدها بالمِصعد، فتنبعث منه الأشعة السينيّة.

☑ طيف الاشعة السينية

عند تحليل الاشعة السنية وجد انها تتكون من:

1) طيف متصل

ينتج من تباطأ الإلكترونات عند اقترابها من ذرات المِصعد بفعل القوّة الكهربائية، حيث تفقد جزءًا من طاقتها الحركية التي تظهر على شكل أشعة كهرومغناطيسية ذات طاقة متّصلة.



الطيف الخطّي والمتصل للأشعة السينية.

2) طيف خطي

ينتج من اصطدم أحد الإلكترونات المُسرّعة بأحد الإلكترونات في مستويات الطاقة الداخلية لذرة المصعد فيحرّره، ونتيجة لذلك، ينتقل إلكترون من المستويات الخارجية للطاقة لملء الفراغ الداخلي، ويصاحِب ذلك انبعاث فوتون بطاقة محدّدة تساوي فرق الطاقة بين المستويين، ويظهر ذلك على شكل طيف خطّي في طيف الأشعة السينيّة.

الربط بالتكنولوجيا

يعتمد مبدأ عمل كثير من الأجهزة والأدوات في وقتنا الحاضر على الظاهرة الكهروضوئية، حيث تُحوَّل طاقة الفوتونات إلى طاقة كهربائية. وتُعدّ الخلايا الشمسية من المصادر البديلة النظيفة للطاقة، أتأمّل الشكل أدناه، حيث تحوّل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية. وقد تصل فاعليّة الخلايا الشمسية المستخدمة للأغراض التجارية إلى 20% تقريبًا.

الربط بعلوم الحياة

بعد اكتشاف الطبيعة الموجيّة للإلكترون، استُخدِمت في مجهر من نوع خاص الإلكترونات بدلً من الضوء، يُسمّى مجهرًا إلكترونيًّا. يمكنه إظهار تفاصيل أدقّ للأجسام من المجهر الضوئي ما مكّن العلماء من رؤية الفيروسات والتفاصيل الدقيقة للخلية. أتأمّل الشكل.