الدرس الأول / الطبيعة الجسيمية للضوء

تعد النظرية الكهرمغناطيسية من مجالات الفيزياء الكلاسيكية التي تصف الضوء بأنه موجات كهرمغناطيسية ، واستطاعت النظرية أن تفسر الكثير من الظواهر المتعلقة بالضوء مثل : الحيود ، التداخل ، الإنعكاس ، الإنكسار .

* غير أن النظرية الكلاسيكية واجهت صعوبات في تفسير بعض الظواهر المتعلقة في الإشعاع وهي :
1) ظاهرة اشعاع الجسم الأسود . 2) الظاهرة الكهرضوئية . 3) تأثير كومبتون . 4) تركيب الذرات .
5) الأطياف الخطية المنبعثة .

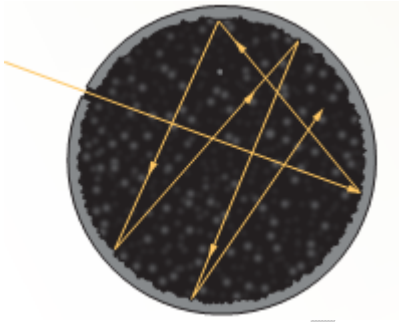
* وهذا ما أدى إلى ظهور الفيزياء الحديثة التي يندرج تحتها علم فيزياء الكم الذي يعنى بدراسة أنظمة الجسيمات الذرية ودون الذرية (دون الجاهرية) .

إشعاع الجسم الأسود

يصدر الإشعاع (الضوء) عن (اهتزاز الجسيمات داخل المادة التي درجة حرارتها فوق درجة الصفر المطلق) حيث يكون انبعاثها على شكل أشعة كهرمغناطيسية ويعتمد هذا الإشعاع على درجة حرارة الجسم ، طبيعة سطحه .

سؤال : وضح المقصود بـِ الجسم الأسود ؟
جواب : جسم مثالي يمتص الأشعة الكهرمغناطيسية الساقطة عليه كلها بغض النظر عن ترددتها ، ويشعها بالكفاءة نفسها .

سؤال : كيف يمكن تصور الجسم الأسود ؟
جواب : ثقب صغير في جسم أجوف جدرانه سوداء ، والأشعة التي تدخل الجسم من خلال الثقب تمتص امتصاصاً كاملاً . كما في الشكل المجاور



سؤال : على ماذا يعتمد انبعاث الأشعة من الجسم الأسود ؟
جواب : على درجة حرارته فقط .

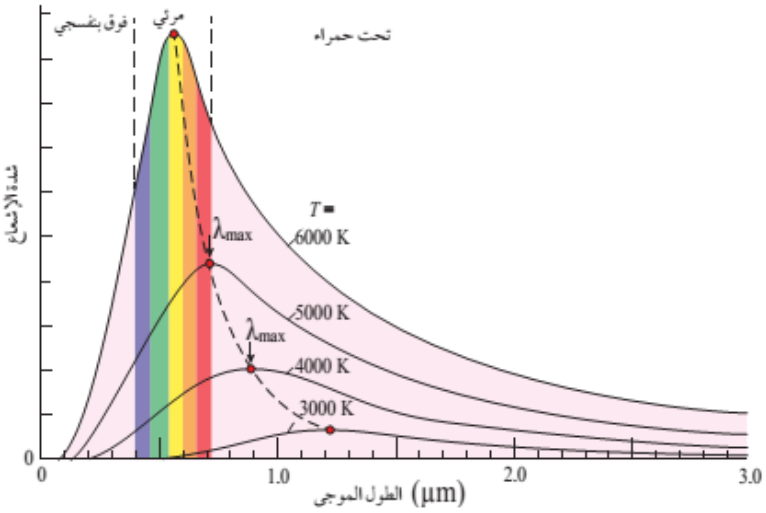
سؤال : لماذا سمي الجسم الأسود بهذا الإسم ؟
جواب : لأن الجسم الذي يمتص جميع الأشعة الساقطة عليه يكون أسود اللون .

* عند تسخين سلك فلزي فإنه يتوهج (يبعث أشعة كهرمغناطيسية) بدءاً من اللون الأحمر ثم الأصفر حتى الأبيض مع زيادة درجة حرارته .

* طور العلماء مفهوم الجسم الأسود لفهم الإشعاع الحراري المنبعث من الجسم .

* تعتبر الفيزياء الكلاسيكية أن الأجسام تشع الطاقة وتمتصها بأي مقدار وعند أي تردد ، أي أن امتصاص وانبعاث الطاقة يكون بشكل متصل . (أ] أن الجسم لن يشع أشعة تحت حمراء فقط ، بل يرافقها أشعة مرئية وأشعة فوق بنفسجية وبشدة كبيرة) .

T.Saed Assaf



* يبين الشكل المجاور علاقة شدة الإشعاع المنبعث من الجسم الأسود بالطول الموجي للأشعة المنبعثة منه عند درجات حرارة مختلفة .
* **لوحظ** أن قمة منحنى شدة الإشعاع تنزاح نحو الترددات العالية بارتفاع درجة حرارة الجسم الأسود .

سؤال : ماذا تمثل المساحة تحت المنحنى ؟
جواب : معدل الطاقة الكلية المشعة لكل وحدة مساحة .

سؤال : وضح المقصود بـ شدة الإشعاع (اتساع الموجة) ؟
جواب : كمية الإشعاع (الضوء) الساقطة عمودياً على وحدة المساحة في الثانية الواحدة .

سؤال : كيف استخدم العالمان رايلي وجينز الفيزياء الكلاسيكية لتفسير سلوك شدة الإشعاع المنبعث من الجسم الأسود ؟
جواب : 1) الأجسام تشع الطاقة وتمتصها بأي مقدار وعند أي تردد .
2) امتصاص الطاقة يكون متصلاً .
3) الطاقة التي تحملها الموجة تعتمد على سعتها (شدة الإشعاع) وليس على ترددها .

سؤال : ما المشاكل التي واجهت نظرية رايلي وجينز في نظريتهما لتفسير سلوك اشعاع الجسم الأسود ؟
جواب : أظهرت النظرية توافقاً مع النتائج التجريبية في منطقة الأطوال الموجية الكبيرة (الأشعة تحت الحمراء) ، وعدم توافق في منطقة الأطوال الموجية القصيرة (الأشعة فوق البنفسجية) .

سؤال : وضح المقصود بـِ كارثة الأشعة فوق البنفسجية ؟
جواب : حسب نموذج رايلي وجينز تؤول شدة الإشعاع إلى اللانهاية عندما يؤول الطول الموجي إلى الصفر ، في حين تشير النتائج التجريبية بأن شدة الإشعاع تؤول إلى الصفر عندما يؤول الطول الموجي إلى الصفر .

* لو كان تفسير (رايلي وجينز) صحيحاً فإن الأجسام ستشع ضوءاً مرئياً حتى عند درجة حرارة الغرفة (تذكر أن السلك لا يتوهج باللون الأحمر إلا بعد تسخينه وليس عند درجة حرارة الغرفة) .

* الأجسام في الغرفة تبعث أشعة كهرومغناطيسية لكن لا تستطيع مشاهدتها في غرفة معتمة لأنه عند درجة حرارة الغرفة تشع الأجسام أشعة كهرومغناطيسية ذات أطوال موجية كبيرة (ترددات صغيرة) لا يمكن مشاهدتها لأنها خارج منطقة الضوء المرئي ، ولا يمكن للأجسام أن تبعث أشعة كهرومغناطيسية ذات أطوال موجية صغيرة (ترددات كبيرة) إلا عند تسخينها وهذا لا يكون في درجة حرارة الغرفة المعتمة .

T.Saed Assaf

تفسير ماكس بلانك لإشعاع الجسم الأسود : تكمية الطاقة

سؤال : كيف فسر بلانك نتائج إشعاع الجسم الأسود ؟
جواب : 1) إشعاع الجسم الأسود ينتج عن متذبذبات (مثل الإلكترونات في الذرة) .
2) تشع المتذبذبات الطاقة وتمتصها بكميات محددة وغير متصلة (منفصلة) تسمى كمّات (فوتونات) .

سؤال : أذكر نص فرضية بلانك تكمية الطاقة ، وعبر عنها رياضياً ؟
جواب : " الطاقة التي تشعها الأجسام أو تمتصها عند تردد معين تكون عدداً صحيحاً من مضاعفات طاقة الحزمة (الكمة) الواحدة " ويعبر عن طاقة الكمة الواحدة بالعلاقة :

$$E = hf$$

حيث (h) ثابت بلانك وقيمته (6.63×10^{-34} J.s) ، (f) تردد الموجة بالهيرتز (Hz) .

* وعليه تكون " طاقة الأشعة الكهرمغناطيسية التي يشعها جسم أو يمتصها تساوي عدداً صحيحاً من مضاعفات الكمية (hf) "

$$E = nhf$$

حيث (n) عدد صحيح موجب (..... , 3 , 2 , 1) يمثل عدد كميات الطاقة التي يشعها جسم أو يمتصها .

* **هناك علاقة عكسية بين التردد والطول الموجي (λ) حيث :**

$$f = \frac{C}{\lambda}$$

حيث (C) سرعة الضوء في الفرغ وهي مقدار ثابت (3×10^8 m/s)

* **تقاس الطاقة بوحدة (J)** : (وهناك وحدة أصغر للطاقة هي الإلكترون فولت (eV) تستخدم في الفيزياء الذرية حيث للتحويل من (J) إلى (eV) نقسم على شحنة الإلكترون) .

سؤال : وضح المقصود بـِ الإلكترون فولت (eV) ؟
جواب : الطاقة الحركية التي يكتسبها إلكترون عند تسريعه بفرق جهد مقداره (1 V) .

سؤال : ما الفرق بين تفسير بلانك للإشعاع الصادر عن الأجسام ، وتفسير الفيزياء الكلاسيكية ؟
جواب : تفترض الفيزياء الكلاسيكية أن الجسيمات المهتزة يمكن أن تمتلك أي مقدار من الطاقة ، ويمكن أن تشع أو تمتص أي مقدار من الطاقة وعند أي تردد ، ويكون متصلاً ويأخذ أي قيمة وهذا يتعارض مع فرض بلانك .

T.SaedAssaf

مثال (1) : جسم ساخن بدرجة حرارة معينة ، ومعظم الأشعة الصادرة عنه ترددها يساوي ($f = 1 \times 10^{15}$ Hz) ، أجد طاقة الكمة الواحدة من الإشعاع عند هذا التردد بوحدتي (J ، eV) .

الحل :

$$E = hf = 6.63 \times 10^{-34} \times 1 \times 10^{15} = 6.63 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$E_{eV} = \frac{E_J}{e} = \frac{6.63 \times 10^{-19}}{1.6 \times 10^{-19}} = 4.1 \text{ eV}$$

مثال (2) : أجد طاقة كمة أشعة سينية ترددها (4.2×10^{18} Hz) .

الحل :

$$E = hf = 6.63 \times 10^{-34} \times 4.2 \times 10^{18} = 2.78 \times 10^{-15} \text{ J}$$

$$E_{eV} = \frac{E_J}{e} = \frac{2.78 \times 10^{-15}}{1.6 \times 10^{-19}} = 17.4 \text{ KeV}$$

مثال (3) : سخن جسم حتى توهج باللون الأحمر ، إذا كان أحد الترددات الإشعاعية الصادرة (4×10^{14} Hz) ، فاحسب :

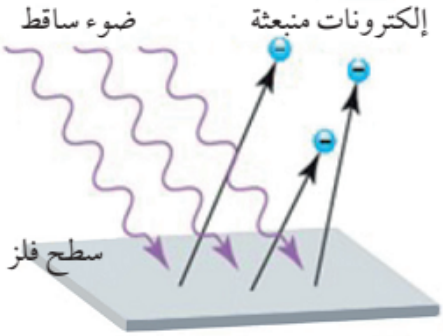
1) طاقة الكمة الواحدة لهذا الإشعاع بوحدة (J) .
2) طاقة الكمة الواحدة لهذا الإشعاع بوحدة (eV) .
3) الطول الموجي لهذه الكمة .

الحل :

T.Saed Assaf

1) $E = 26.52 \times 10^{-20}$ J . 2) $E_{eV} = 1.66$ eV . 3) $\lambda = 7.5 \times 10^{-7}$ m

الظاهرة الكهرضوئية



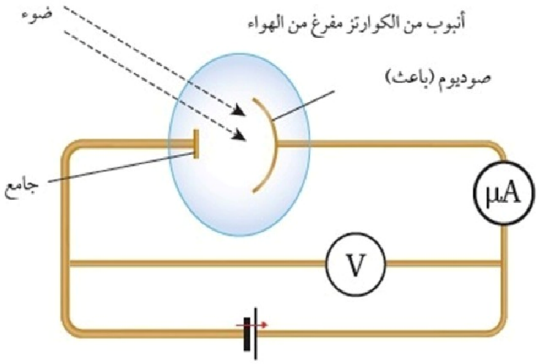
سؤال : وضح المقصود بـِ الظاهرة الكهرضوئية ؟

جواب : وهي ظاهرة انبعاث إلكترونات من سطح فلز عند سقوط ضوء مناسب ذي تردد معين على سطح الفلز .

سؤال : ماذا تسمى الإلكترونات المنبعثة في الظاهرة الكهرضوئية ؟

جواب : تسمى الإلكترونات المنبعثة بـِ (الإلكترونات الضوئية) .

تجربة لينارد :



* لقد كان أول من درس هذه الظاهرة تجريبيا العالم "لينارد" مستخدماً دارة الخلية الكهروضوئية والتي تتكون من :
أنبوب زجاجي من الكوارتز مفرغ من الهواء ، قطبن فلزيان أحدهما مصنوع من فلز الصوديوم يسمى الباعث موصول بالقطب الموجب لمصدر فرق الجهد ، والآخر يسمى الجامع يتصل بالقطب السالب لمصدر فرق الجهد .

* **لاحظ لينارد أنه :**

1) عند سقوط أشعة كهرمغناطيسية بتردد مناسب على الباعث تتحرر الإلكترونات من سطحه ، وتنطلق نحو الجامع . مما يدل على سريان تيار كهربائي يقرؤه الميكرو أميتر (μA) الذي يسمى التيار الكهرضوئي .

2) كلما ازدادت سالبية جهد الجامع ، ازدادت قوة تنافر الإلكترونات الكهربائية مع الجامع ، فيقل التيار الكهرضوئي حيث لا يصل الجامع إلا الألكترونات التي تمتلك طاقة حركية كافية للتغلب على قوة التنافر الكهربائية مع الجامع .

سؤال : وضح المقصود بـِ جهد الإيقاف (V_s) ؟

جواب : فرق الجهد الذي يستطيع إيقاف الإلكترونات ذات الطاقة الحركية العظمى (KE_{max}) قبل وصولها إلى الجامع ويكون التيار الكهرضوئي عنده صفراً . وترتبط الطاقة الحركية العظمى مع فرق جهد الإيقاف حسب العلاقة :

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

حيث (e) القيمة المطلقة لشحنة الإلكترون

سؤال : كيف فسرت النظرية الكهرمغناطيسية (النموذج الموجي) الظاهرة الكهروضوئية ؟

1) تنبعث الإلكترونات عند أي تردد للأشعة الساقطة على سطح الفلز وعلى نحو مستمر ، وسقوط الأشعة على سطح الفلز مدة زمنية مناسبة سيمكن الإلكترونات من امتصاص الطاقة اللازمة لتحريرها من سطح الفلز .

2) من المتوقع أن يحتاج الإلكترون لبعض الوقت لامتصاص الطاقة الكافية وتجميعها ليتحرر من الفلز ، خاصة عند سقوط ضوء خافت (شدته قليلة) والتجربة أثبتت أن الإلكترونات تنبعث فور سقوط الضوء عليها .

3) زيادة شدة الأشعة الساقطة (اتساع الموجة) تزداد الطاقة الحركية للإلكترونات المتحررة .

T.Saed Assaf

سؤال : ماذا استنتج لينارد من المشاهدات التجريبية لتجربة الظاهرة الكهرضوئية ؟

جواب : 1) تتحرر الإلكترونات من سطح الفلز فقط عندما يكون تردد الأشعة الساقطة على سطحه أكبر من تردد معين يسمى تردد العتبة .

2) تنبعث الإلكترونات بطاقات حركية متفاوتة تتراوح قيمها من صفر إلى قيمة عظمى (KE_{max}) .

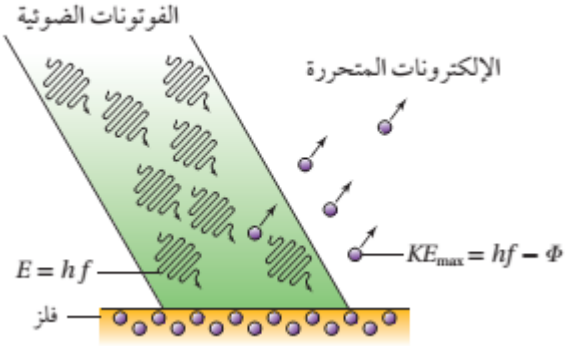
3) القيمة العظمى للطاقة الحركية للإلكترونات (KE_{max}) المنبعثة من سطح الفلز تتناسب طردياً مع تردد الأشعة الساقطة عليه . ولا تعتمد على شدة الأشعة .

4) تنبعث الإلكترونات انبعاثاً فورياً بمجرد سقوط الأشعة على سطح الفلز .

سؤال : لماذا استخدم لينارد أنبوب زجاجي مفرغ من الهواء ؟

جواب : تجنباً لفقد الإلكترونات طاقة حركية نتيجة تصادمها بجسيمات الهواء .

* **تفسير آينشتين :**



1) عمم أينشتين مبدأ تكمية الطاقة لبلانك وافترض أن طاقة الأشعة الكهرمغناطيسية مركزة في جسيمات اسماها **فوتونات** .
طاقة الفوتون الواحد ($E = hf$) ، أي أن للأشعة الكهرمغناطيسية طبيعة جسيمية إضافة لطبيعتها الموجية .

2) عند سقوط الفوتون على إلكترونات الفلز فإن الإلكترون الواحد منها ، إما أن يمتص طاقة الفوتون كاملة أو لا يمتصها نهائياً (أي عملية امتصاص الطاقة ليست مستمرة) .

3) حتى يتحرر الإلكترون من سطح الفلز يجب أن يمتلك طاقة كافية للتغلب على قوة التجاذب الكهربائي مع النوى الموجبة للفلز ، وأقل طاقة كافية لتحرير إلكترون من سطح الفلز تسمى اقتران الشغل (Φ) ***وتعتمد على نوع الفلز*** ، وعندما تكون طاقة الفوتون الذي يمتصه الإلكترون أكبر من اقتران الشغل فإن الإلكترون يستغل جزءاً من الطاقة للتحرر من سطح الفلز ويحتفظ بالباقي على شكل طاقة حركية (KE_{max}) حيث يمكن التعبير عن ذلك رياضياً بالمعادلة :

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

ويمكن كتابة المعادلة السابقة على الصورة :

$$hf = \Phi + \frac{1}{2} mv^2_{max}$$

حيث : m كتلة الإلكترون ، v_{max} السرعة العظمى للإلكترونات

حتى يفلت الإلكترون من سطح الفلز لابد من تزويد الإلكترون بقدر من الطاقة يكافئ طاقة ربطه مع النواة والتي تسمى اقتران (دالة) الشغل ويرمز لها (Φ) وهي تختلف من فلز لآخر وتعطى بالعلاقة ($\Phi = hf_o$) حيث :

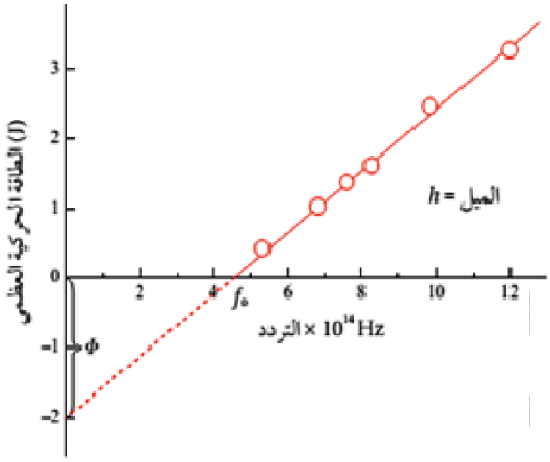
f_o : تردد العتبة للفلز وهو أقل تردد لازم لتحرير إلكترونات من سطح الفلز ويختلف من فلز لآخر .

$$f_o = \frac{\Phi}{h}$$

توضيح : إذا سقط فوتون بتردد (f) على سطح فلز وكان :

1) $f_o > f$ لا يتحرر إلكترونات من سطح الفلز . وتكون ($\Phi > hf$)
2) $f_o = f$ يتحرر إلكترونات من سطح الفلز بطاقة حركية صفراً . وتكون ($\Phi = hf$)
3) $f_o < f$ يتحرر إلكترونات من سطح الفلز بطاقة حركية . وتكون ($\Phi < hf$)

لقد كان العالم مليكان أول من أجرى تجربة للتحقق من صحة ما تنبأ به آينشتين ، من خلال تمثيل العلاقة بين "الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المنبعثة " وبين " تردد الضوء الساقط " فوجد :



1) علاقة خطية : وميل هذا الخط يساوي ثابت بلانك (h) ، ومهما تغير تردد الضوء الساقط يبقى ميل الخط المستقيم ثابت .
2) نقطة تقاطع الخط المستقيم مع محور التردد تمثل تردد العتبة للفلز .
3) نقطة تقاطع امتداد الخط المستقيم مع محور الطاقة تمثل اقتران الشغل للفلز ($-\Phi$) .
4) أثبت مليكان أيضاً أن التيار الكهرضوئي يزداد بزيادة شدة الإشعاع الساقط على الباعث .

* **سؤال** : على ماذا تعتمد الطاقة الحركية للإلكترونات المنبعثة من سطح الفلز في الظاهرة الكهروضوئية ؟

جواب : 1) وفقا لنموذج آينشتاين (الفيزياء الحديثة) : تعتمد (KE_{max}) على تردد الضوء الساقط فقط وإذا كان تردد الضوء أكبر من تردد العتبة للفلز عندها فإن زيادة شدة الضوء تعني زيادة عدد الفوتونات الساقطة على وحدة المساحة في الثانية الواحدة وبالتالي زيادة عدد الإلكترونات المتحررة أي زيادة التيار الكهربائي ولكن طاقة الفوتون الواحد لاتتغير لأن طاقة الفوتون تعتمد على تردد الضوء فقط .

2) وفقا للنموذج الموجي (الفيزياء الكلاسيكية) : تعتمد (KE_{max}) على شدة الضوء الساقط فقط وإذا كانت شدة الضوء مناسبة تنبعث إلكترونات من سطح الفلز مهما كان تردد الضوء الساقط ، أي لاتعتمد على تردد الضوء لكن أثبتت التجارب العملية أن (KE_{max}) تعتمد على تردد الضوء فقط وهذه المشكلة التي لم تستطيع الفيزياء الكلاسيكية تفسيرها .

لاحظ أن : هناك علاقة طردية بين الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المنبعثة وبين تردد الضوء الساقط أي أن (KE_{max}) تعتمد على تردد الضوء ، وهكذا أثبت مليكان صحة ما تنبأ به آينشتاين بأن الضوء يتكون من كميات منفصلة من الطاقة اسماها الفوتونات مما يعني أن للضوء طبيعة جسيمية ، وبذلك يمكننا القول أن النموذج الجسيمي للضوء نجح في تفسير الظاهرة الكهروضوئية بينما فشل النموذج الموجي في تفسيرها .

ملاحظات هامة : في الرسم البياني لميلكان يجب أن نلقي نظرة على محور (y) (الطاقة) فإذا كان يمثل :

أ) (KE : Jol) نعتمد . ويكون ميل الخط المستقيم يمثل ثابت بلانك (h) ووحدته (J.s) .

ب) (KE : eV) أو (V_S : volt) : نضرب المحور بـ شحنة الإلكترون (e) ليتحول إلى (KE : Jol) .

سؤال : وضح المقصود بكل من (اقتران الشغل ، تردد العتبة ، الإلكترون فولت ، التيار الكهروضوئي) .

جواب :

* اقتران (دالة) الشغل (ϕ) : أقل طاقة لازمة لتحرير الإلكترون من سطح الفلز دون اكسابه طاقة حركية .
* تردد العتبة (f_o) : أقل تردد للضوء يلزم لتحرير إلكترونات من سطح الفلز .
* الإلكترون فولت (e.v) : الطاقة الحركية التي يكتسبها الإلكترون عندما يتسارع عبر فرق جهد مقداره (1 V) .
* التيار الكهروضوئي : هو التيار الناتج من حركة الإلكترونات المنبعثة من الباعث والمتجهة إلى الجامع .

سؤال : كيف تفسر كل مما يلي :

1) لا يمارس الفلز الظاهرة الكهروضوئية عندما يسقط عليه ضوء تردده أقل من تردد العتبة .
2) يزداد مقدار التيار الكهربائي في الخلية الكهروضوئية بزيادة شدة الضوء .
3) يبقى فرق جهد الإيقاف (القطع) ثابتاً في الخلية الكهروضوئية بالرغم من زيادة شدة الضوء .

جواب :

1) لأن الضوء لا يملك طاقة كافية للتغلب على طاقة ربط الإلكترون بنواته حيث $\Phi > hf$.
2) لأن زيادة شدة الضوء يعني زيادة عدد الفوتونات الساقطة على وحدة المساحة وبالتالي زيادة عدد الإلكترونات المتحررة أي زيادة التيار الكهربائي ولكن هذا لا يتحقق إلا إذا كان تردد الفوتون أكبر من تردد العتبة للفلز .
3) فرق جهد الإيقاف يعتمد على الطاقة الحركية والتي تعتمد على اقتران الشغل للفلز وعلى تردد الضوء الساقط وليس على شدة الضوء .

سؤال : ماذا يحدث لفرق جهد الإيقاف عند زيادة تردد الضوء الساقط مع بقاء شدة الضوء ثابتة .

جواب : عند زيادة تردد الضوء تزداد الطاقة الحركية للإلكترونات وبالتالي يزداد فرق جهد الإيقاف اللازم لإيقاف الإلكترونات .

سؤال : على ماذا تعتمد طاقة الفوتون ؟

جواب : تعتمد طاقة الفوتون الواحد على تردده فقط .

سؤال (فسر) : عند سقوط ضوء ازرق على فلز السيزيوم تنبعث منه إلكترونات ضوئية ، في حين لا تنبعث أي إلكترونات إذا سقط الضوء نفسه على سطح فلز الخارصين .

جواب : لأن تردد الضوء الأزرق أكبر من تردد العتبة للسيزيوم وأصغر من تردد العتبة للخارصين .

سؤال : ماهو الذي لم تستطيع الفيزياء الكلاسيكية تفسيره في الظاهرة الكهروضوئية ؟
جواب : لوحظ من النتائج التجريبية "لتجربة الظاهرة الكهروضوئية" تناقضاً مع ما تنبأت به الفيزياء الكلاسيكية ، فالتجربة أثبتت أن الطاقة الحركية للإلكترونات المنبعثة تعتمد فقط على تردد الضوء وهذا لم تستطع الفيزياء الكلاسيكية تفسيره .

سؤال : من خلال دراستك لتجربة الخلية الكهروضوئية ، أجب عما يلي :
أولاً : على ماذا يعتمد كل من : التيار الكهربائي في الخلية ، الطاقة الحركية للإلكترونات المنبعثة من الباعث .
ثانياً : كيف استنتج لينارد أن الإلكترونات المتحررة متفاوتة في طاقاتها الحركية . وكيف فسر أينشتين هذه النتيجة ؟
ثالثاً : الطاقة اللازمة لتحرير إلكترون من سطح فلز أقل من الطاقة اللازمة لانتزاع الإلكترون من داخل فلز ؟ علل ؟

جواب :
أولاً : يعتمد التيار الكهربائي على
1) تردد الضوء الساقط . (فقط أن يكون $f > f_o$) .
2) شدة الضوء الساقط .
3) فرق الجهد الموجب .
*** تعتمد الطاقة الحركية فقط على "تردد الضوء الساقط" .**

ثانياً : عند جعل الجامع سالباً فإن الإلكترونات تتعرض إلى مجال كهربائي يعمل على إبطاء سرعتها وحينئذ لن تصل إلا الإلكترونات التي تمتلك قدراً كافياً من الطاقة الحركية يمكنها من التغلب على قوة التنافر وبزيادة فرق الجهد السالب تدريجياً يتناقص عدد الإلكترونات الواصلة إلى الجامع فتتناقص قراءة الميكروأميتر تدريجياً وبهذا التناقص استنتج تفاوتها في الطاقة الحركية .
*** فسر أينشتين هذا التفاوت في الطاقة الحركية على النحو التالي :**
معظم حجم الذرة فراغ ، وأن سطح الفلز ينتهي على عمق مئات من الذرات ، لذا تتفاوت ذرات السطح في العمق داخل السطح ، وعليه فإن الإلكترونات القريبة من السطح لا تصطدم بذرات الفلز ولذلك تمتلك أكبر قدر ممكن من الطاقة الحركية والإلكترونات المتحررة من داخل الفلز (عمق أكبر) تعاني تصادمات مع ذرات الفلز مما يقلل من طاقتها الحركية فلا تكون طاقتها الحركية عظمى .
ثالثاً : الإلكترونات على سطح الفلز لا تصطدم بذرات الفلز قبل تحررها بينما الإلكترونات داخل الفلز تصطدم بذرات الفلز فتخسر من طاقتها الحركية .

ملاحظة : الطول الموجي الذي يخص الفلز (المصاحب لتردد العتبة) هو طول موجي العتبة وهو : أكبر طول موجي لازم لتحرير الإلكترونات من سطح الفلز أو الطول الموجي اللازم حتى يمر تيار في الخلية الكهروضوئية
ورمزه (λ_o) والذي يقابل أقل تردد لازم لتحرير إلكترونات من سطح الفلز (f_o) حيث :

$$f_o = \frac{C}{\lambda_o}$$

مثال (1) : إذا كانت الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحررة من سطح النحاس تساوي (22.6 eV) عند سقوط أشعة فوق بنفسجية ترددها (6.60×10^{15} Hz) على سطحه . أجد اقتران الشغل للنحاس بوحدة (eV) .

الحل : أجد hf بوحدة (eV)

$$hf = 6.63 \times 10^{-34} \times 6.60 \times 10^{15} = 4.38 \times 10^{-18}\ \text{J}$$

$$= 4.38 \times 10^{-18}\ \text{J} \times \frac{1\ \text{eV}}{1.60 \times 10^{-19}\ \text{J}} = 27.3\ \text{eV}$$

ثمّ أعوّض في العلاقة

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

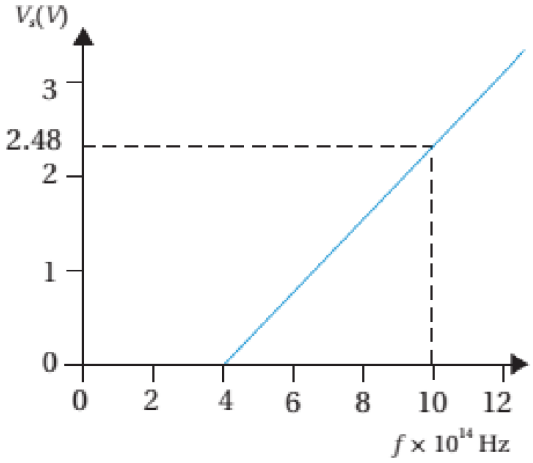
$$22.6 = 27.3 - \Phi \Rightarrow \Phi = 4.7\ \text{eV}$$

مثال (2) : يمثل الرسم العلاقة بين جهد الإيقاف وتردد الفوتونات الساقطة على مهبط خلية كهرضوئية ، مستعيناً بالبيانات المبينة على الرسم ، أحسب ما يأتي :

أ) مقدار ثابت بلانك .

ب) اقتران الشغل لمهبط الخلية .

جـ) الطاقة الحركية العظمى (بالجول) للإلكترونات المنبعثة عند إسقاط أشعة ترددها (12×10^{14} Hz) على مهبط الخلية .



الحل :

أ. أجد ميل المنحنى حيث يمثّل ثابت بلانك، مع الانتباه لوحدات القياس:

$$slope = \frac{\Delta V_s}{\Delta f} = \frac{2.48 - 0}{(10 - 4) \times 10^{14}} = 4.1 \times 10^{-15}\ \text{V.s}$$

إنّ ميل الخط المستقيم يساوي $slope = \frac{h}{e}$، ومنه

$$h = slope \times e = 4.1 \times 10^{-15} \times 1.6 \times 10^{-19} = 6.6 \times 10^{-34}\ \text{J.s}$$

ب. أُلاحظ أنّ تقاطع الخط المستقيم مع محور التردّد هو تردّد العتبة $f_0 = 4 \times 10^{14}$ Hz

$$\Phi = hf_0 = 6.6 \times 10^{-34} \times 4 \times 10^{14} = 2.6 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

جـ $$KE_{max} = hf - \Phi = 6.6 \times 10^{-34} \times 12 \times 10^{14} - 2.6 \times 10^{-19} = 5.3 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

مثال (3) : معدن اقتران الشغل له يساوى (3.3×10^{-19} J) احسب تردد العتبة لهذا المعدن .

الحل :

$$\Phi = hf_o \longrightarrow f_o = \frac{\Phi}{h} = \frac{3.3 \times 10^{-19}}{6.6 \times 10^{-34}} = 0.5 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

مثال (4) : إذا كان اكبر طول موجي لازم لتحرير إلكترونات هو (2×10^{-7} m) احسب اقتران الشغل .

الحل :

$$\Phi = hf_o \longrightarrow \Phi = \frac{h\,C}{\lambda_o} = \frac{6.6 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^{8}}{2 \times 10^{-7}} = 9.9 \times 10^{-19} \text{ J}$$

مثال (5) : سقط فوتون طاقته (16.4×10^{-19} J) على سطح فلز اقتران (دالة) الشغل له (13.2×10^{-19} J) احسب :
1) الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المنبعثة بوحدة الجول . 2) فرق جهد الإيقاف للفلز .

الحل :

1) $KE_{max} = hf - \Phi = 16.4 \times 10^{-19} - 13.2 \times 10^{-19} = 3.2 \times 10^{-19}$ J

2) $V_S = \frac{KE_{max}}{e} = \frac{3.2 \times 10^{-19}}{1.6 \times 10^{-19}} = 2$ V

مثال (6) : اسقط ضوء على سطح فلز اقتران الشغل له (3.9×10^{-19} J) ، فانطلقت منه إلكترونات ضوئية بطاقة حركية عظمى مقدارها (2.7×10^{-19} J) . أجب عما يلي :
1) احسب تردد الضوء الساقط .
2) ما الشرط اللازم لتحرير إلكترونات ضوئية من سطح الفلز دون اكسابها طاقة حركية ؟

الحل :

1) $f = \frac{\Phi + KE_{max}}{h} = \frac{3.9 \times 10^{-19} + 2.7 \times 10^{-19}}{6.6 \times 10^{-34}} = 1 \times 10^{15}$ Hz

2) $hf = \Phi$ or $f = f_o$

أن تكون طاقة الضوء الساقط تساوي اقتران الشغل . أو أن يكون تردد الضوء الساقط يساوي تردد العتبة .

مثال (7) : سقط ضوء طول موجته (330×10^{-9} m) على فلز مهبط خلية كهروضوئية ، فانطلقت إلكترونات من سطحه فإذا كان جهد الإيقاف للفلز حينئذ (0.625 V) ، احسب :
1) تردد الضوء 2) تردد العتبة

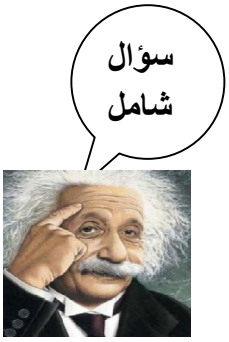
الحل :

1) $f \approx 0.9 \times 10^{15}$ Hz . 2) $f_o \approx 0.75 \times 10^{15}$ Hz

T.Saed Assaf

مثال (8) : سقط ضوء (فوتون) طاقته (13.2×10^{-19} J) ، على سطح فلز اقتران الشغل له (6.6×10^{-19} J) احسب :

1) تردد الضوء الساقط "(تردد الفوتون)"
2) طول موجة الضوء الساقط .
3) تردد العتبة لمادة الفلز .
4) أكبر طول موجه يستطيع تحرير إلكترونات من سطح الفلز .
5) الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المنبعثة .
6) فرق جهد الإيقاف "جهد القطع" .
7) السرعة القصوى للإلكترونات المنبعثة . (اعتبر $m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ kg)



الحل :

T.Saed Assaf

مثال (9) : سقط ضوء طاقته (6.6×10^{-19} J) على باعث خلية كهروضوئية اقتران الشغل له (2.5 eV) . احسب :

1) فرق جهد الإيقاف . 2) تردد العتبة .

الحل :

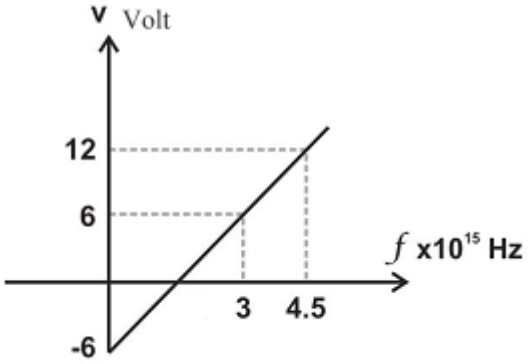
$$\Phi = 2.5 \times 1.6 \times 10^{-19} = 4 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1)\ KE_{max} = hf - \Phi = 6.6 \times 10^{-19} - 4 \times 10^{-19} = 2.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$V_S = \frac{KE_{max}}{e} = \frac{2.6 \times 10^{-19}}{1.6 \times 10^{-19}} = 1.625 \text{ V}$$

$$2)\ f_o = \frac{\Phi}{h} = \frac{4 \times 10^{-19}}{6.6 \times 10^{-34}} = 0.6 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

مثال (10) : في الشكل المجاور العلاقة البيانية بين تردد الضوء الساقط وفرق جهد الإيقاف في خلية كهرضوئية ، اعتماداً على الشكل أجب عما يلي :



1) جد قيمة ثابت بلانك .
2) جد قيمة إقتران الشغل للفلز .
3) جد قيمة تردد العتبة للفلز .
4) ماذا يحدث لميل الخط المستقيم لو زدنا تردد الضوء الساقط على باعث الخلية ؟

الحل :

T.Saed Assaf

1) $h = 6.4 \times 10^{-34}$ J.s . 2) $\Phi = 9.6 \times 10^{-19}$ J . 3) $f_o = 1.5 \times 10^{15}$ Hz . 4) لا يحدث شيء

مثال (11) : إذا كان اقتران الشغل لفلز يساوي (2.3 eV) وسقط عليه ضوء تردده (1.5×10^{15} Hz) ، احسب :

1) أكبر طول موجي يستطيع تحرير إلكترونات .

2) الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المنبعثة بوحدة الجول .

الحل :

1) $\lambda_o = 5.4 \times 10^{-7}$ m . 2) $KE_{max} = 6.22 \times 10^{-19}$ J

مثال (12) : يبين الجدول المجاور اقتران الشغل لثلاثة فلزات (X , Y , Z) أجب عما يأتي :

الفلز	اقتران الشغل (J)
X	3.6×10^{-19}
Y	4.6×10^{-19}
Z	7×10^{-19}

1) بين أي الفلزات ينبعث منها إلكترونات عند سقوط ضوء طول موجته (4×10^{-7} m) ، على سطحها . مفسراً إجابتك ؟

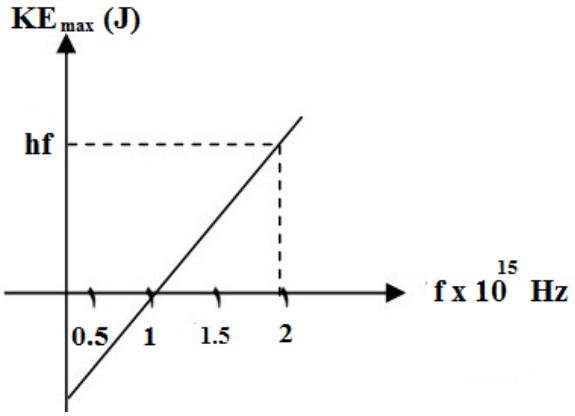
2) احسب فرق جهد الإيقاف للفلز (Z) عند سقوط ضوء تردده (3×10^{15} Hz) .

الحل :

1) X , Y لأن طاقة الضوء الساقط أكبر من اقتران الشغل لهما ، فقط 2) $V_S = 8$ V

T.Saed Assaf

مثال (13) : بالإعتماد على الرسم البياني ، احسب كل من :



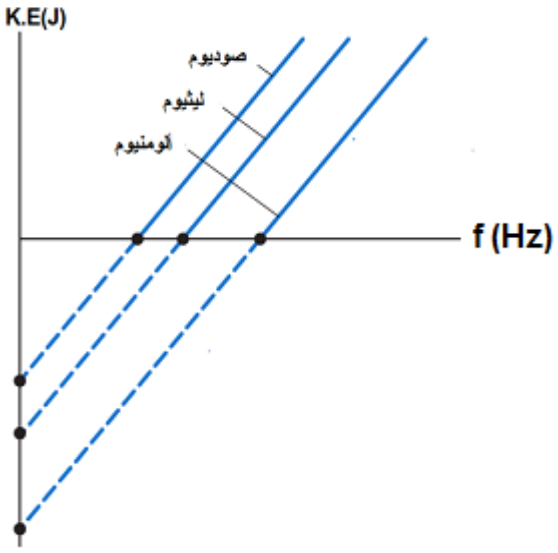
1) اقتران (دالة) الشغل (ϕ) .
2) أكبر طول موجي يلزم لتحرير الإلكترونات .
3) الطاقة الحركية العظمى بالجول للإلكترونات المنبعثة عند سقوط أشعة (2×10^{15} Hz) .

الحل :

Saed Assaf

1) $\Phi = 6.6 \times 10^{-19}$ J . 2) $\lambda_o = 3 \times 10^{-7}$ m . 3) $KE_{max} = 6.6 \times 10^{-19}$ J

مثال (14) : يوضح الشكل العلاقة بين تردد الضوء الساقط على ثلاث فلزات مختلفة والطاقة الحركية للإلكترونات المنبعثة .



أجب عما يأتي :

1) أي الفلزات طول موجة العتبة له أكبر ؟ فسر إجابتك .
2) إذا سقط ضوء له التردد نفسه على الفلزات ، وانبعث إلكترونات من كل منهما ، فأي الفلزات تنبعث منه إلكترونات ممتلكة طاقة حركية أكبر ؟ فسر إجابتك .

الحل :

ظاهرة كومبتون

كان الهدف من التجربة التأكد من أن للضوء طبيعة جسيمية .

حيث ما يريده كومبتون هو : اثبات أن التصادم بين الفوتون "ضوء" والإلكترون يخضع للقوانين ذاتها التي تنطبق على التصادم التام المرونة بين الأجسام المادية أي "قوانين حفظ الطاقة وحفظ الزخم" .

*** قام العالم كومبتون بإسقاط أشعة سينية على هدف من مادة الغرافيت حيث :**

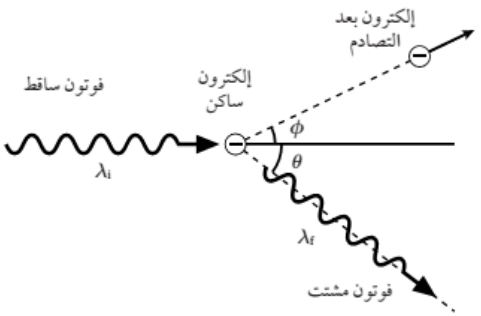
1) لاحظ : تشتت الأشعة السينية عند سقوطها على هدف من الغرافيت .

2) لاحظ : أن تردد الأشعة المتشتتة أقل من تردد الأشعة الساقطة .

فسر كومبتون في تجربته أن تردد الأشعة المتشتتة (f_f) أقل من تردد الأشعة الساقطة (f) على النحو :

1) تتألف الأشعة السينية من فوتونات (حيث طاقة الفوتون الساقط (E_i)) ، وعندما يصطدم الفوتون الساقط بإلكترون حر ساكن فإن جزء من طاقة الفوتون تنتقل إلى الإلكترون وتبقى سرعة الفوتون ثابتة .

2) يكتسب الإلكترون طاقة حركية ($KE \neq 0$) متحركاً باتجاه يصنع زاوية (Ø) مع امتداد اتجاه حركة الفوتون الساقط حيث تقل طاقة الفوتون الساقط (يقل تردده ويزداد طوله الموجي ($\lambda_i < \lambda_f$) وتكون طاقته (E_f) .



3) ينحرف الفوتون الساقط بسبب التصادم عن مساره بزواية (θ) . ويبقى بنفس السرعة التي سقط فيها .

4) أثبت كومبتون أن التصادم يخضع لقانون حفظ الطاقة ويكتسب الإلكترون طاقة بعد التصادم تعطى بالعلاقة :

$$E_e = E_i - E_f$$

حيث (E_i) طاقة الفوتون الساقط ، (E_f) طاقة الفوتون المتشتت .

5) أثبت كومبتون من علاقة آينشتاين أن الأشعة تتفاعل مع الإلكترون بوصفها جسيمات طاقة كل منها (hf) ومقدار زخمه الخطي بعد أن واجه مشكلة في حساب الزخم الخطي للفوتون بكونه ليس له كتلة :

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

أي أن التصادم يخضع إلى قانون حفظ الزخم .

مثال (1) : فوتون أشعة سينية تردده (4.2×10^{18} Hz) . أجد طاقته ومقدار زخمه الخطي .

الحل :

$$E = hf = 6.63 \times 10^{-34} \times 4.20 \times 10^{18}$$

$$= 2.78 \times 10^{-15}\,\text{J} = 2.78 \times 10^{-15}\,\text{J} \times \frac{1\ \text{eV}}{1.6 \times 10^{-19}\,\text{J}} = 17.4\ \text{keV}$$

$$p = \frac{h}{\lambda} = \frac{hf}{c} = \frac{E}{c} = \frac{2.78 \times 10^{-15}}{3 \times 10^{8}} = 9.28 \times 10^{-24}\ \text{kg m/s}$$

مثال (2) : أجد طاقة وتردد فوتون مقدار زخمه الخطي (8.85×10^{-26} kg.m/s) .

الحل :

$$E = pc = 8.85 \times 10^{-26} \times 3 \times 10^{8} = 2.7 \times 10^{-17}\,\text{J}$$

$$= 2.7 \times 10^{-17}\,\text{J} \times \frac{1\ \text{eV}}{1.6 \times 10^{-19}\,\text{J}} = 1.7 \times 10^{2}\ \text{eV}$$

$$f = \frac{E}{h} = \frac{2.7 \times 10^{-17}}{6.63 \times 10^{-34}} = 4.1 \times 10^{16}\,\text{Hz}$$

مثال (3) : سقط فوتون أشعة غاما طاقته (662 keV) على إلكترون ساكن ، فاكتسب الإلكترون طاقة مقدارها (49 keV)

أجد ما يأتي :

أ) طول موجة الفوتون الساقط .

ب) طاقة الفوتون المتشتت .

جـ) مقدار التغير في الطول الموجي للفوتون .

الحل :

أ . نحوّل طاقة الفوتون الساقط إلى وحدة جول، ثمّ نحسب الطول الموجيّ

$$E_i = 662\ \text{keV} = 662 \times 10^{3}\,\text{eV} \times \frac{1.6 \times 10^{-19}\,\text{J}}{1\ \text{eV}} = 1.1 \times 10^{-13}\,\text{J}$$

$$\lambda_i = \frac{c}{f} = \frac{hc}{E_i} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.0 \times 10^{8}}{1.1 \times 10^{-13}} = 1.9 \times 10^{-12}\,\text{m}$$

ب .
$$E_f = E_i - E_e = 662 - 49 = 613\ \text{keV} = 613 \times 10^{3}\,\text{eV} \times \frac{1.6 \times 10^{-19}\,\text{J}}{1\ \text{eV}} = 9.8 \times 10^{-14}\,\text{J}$$

جـ. أجد طول موجة الفوتون المشتّت (بعد التصادم)

$$\lambda_f = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.0 \times 10^{8}}{9.8 \times 10^{-14}} = 2.0 \times 10^{-12}\,\text{m}$$

$$\Delta\lambda = 2.0 \times 10^{-12} - 1.9 \times 10^{-12} = 0.1 \times 10^{-12}\,\text{m}$$

مثال (4) : سقط فوتون ضوئي تردده (2×10^{15} Hz) على إلكترون ساكن فتشتت الفوتون وتحرك الإلكترون بطاقة حركية مقدارها (6.6×10^{-19} J) ، أجب عما يأتي :

1) ما اسم الظاهرة الناتجة عن تفاعل الفوتون الضوئي مع الإلكترون الساكن .

2) احسب الطول الموجي للفوتون المتشتت .

1) ظاهرة كومبتون . 2) $\lambda_f = 3 \times 10^{-7}$ m

مثال (5) : أجد مقدار الزخم الخطي لكل مما يأتي :

1) فوتون أشعة مرئية طاقته (3.00×10^{-19} J) .

2) فوتون أشعة فوق بنفسجية تردده (5.4×10^{15} Hz) .

3) فوتون أشعة سينية طول موجته (2.00 nm) .

الحل :

$$1)\ p = \frac{E}{c} = \frac{3.0 \times 10^{-19}}{3 \times 10^{8}} = 1.0 \times 10^{-27}\ \text{kg m/s}$$

$$2)\ p = \frac{E}{c} = \frac{hf}{c} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 5.4 \times 10^{15}}{3 \times 10^{8}} = \frac{3.5 \times 10^{-18}}{3 \times 10^{8}}$$

$$= 1.2 \times 10^{-26}\ \text{kg m/s}$$

$$3)\ p = \frac{h}{\lambda} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{2.00 \times 10^{-9}} = 33.2 \times 10^{-26}\ \text{kg m/s}$$

مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسة:** أوضّح المقصود بكلٍّ من: الجسم الأسود، الظاهرة الكهرضوئيّة، اقتران الشغل للفلزّ، تردّد العتبة.

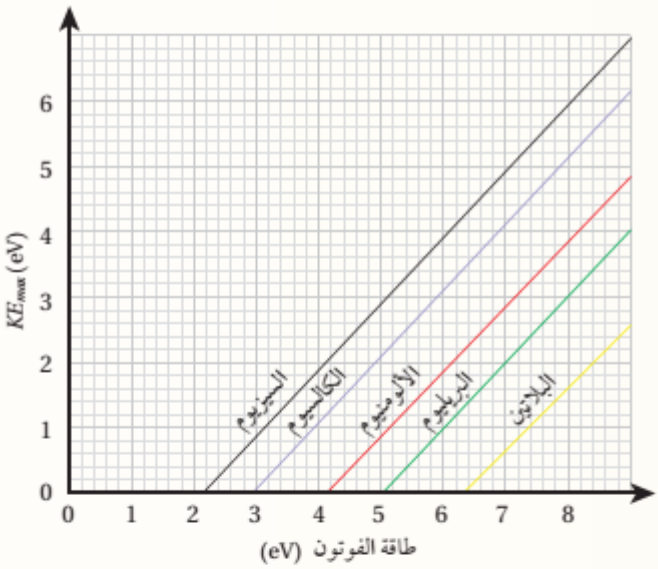
2. **أحسب:** سقط فوتون أشعّة سينيّة مقدار زخمه الخطي (4.3×10^{-23} kg m/s) على إلكترون حرّ، فكان مقدار الزخم الخطي للفوتون بعد تشتّته (3.2×10^{-23} kg m/s)، أجد الطاقة التي اكتسبها الإلكترون بوحدة (eV).

3. **أستخدم المتغيّرات:** سقط ضوء طول موجته (300 nm) على سطح فلزّ تردّد العتبة له (5.0×10^{14} Hz)، أجد:

أ . اقتران الشغل للفلز.

ب. الطاقة الحركيّة العظمى للإلكترونات المتحرّرة.

4. **أحلّل رسمًا بيانيًّا:** يمثّل الرسم البيانيّ المجاور العلاقة بين الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحرّرة من سطح الفلزّ وطاقة فوتون الإشعاع الكهرمغناطيسي الساقط على سطح الفلزّ، وذلك لفلزات عدّة.



أ . جميع الخطوط مستقيمة ومتوازية، أفسّر ذلك.

ب. أرتّب تردّد العتبة للفلزّات من الأصغر إلى الأكبر.

جـ. إذا سقط ضوء طاقته (10 eV) على البيريليوم، أجد الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحرّرة منه.

د . إذا سقط ضوء طول موجته (350 nm)، فمن أيّ الفلزّات يستطيع تحرير إلكترونات؟ ومن أيّها لا يستطيع؟ أيّ الفلزات تتحرّر منه إلكترونات بطاقةٍ حركيّة عظمى أكبر؟

5. **أستخدم المتغيّرات:** سقط إشعاع كهرمغناطيسي طول موجته (80 nm) على سطح فلزّ اقتران الشغل له (5.1 eV)، أجد أصغر (وأكبر) طاقة حركية للإلكترونات المتحرّرة من سطح الفلزّ.

6. **أناقش:** 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.

1. **الفكرة الرئيسية:**

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

الظاهرة الكهرضوئية: انبعاث إلكترونات من سطح فلز عند سقوط إشعاع كهرمغناطيسي بتردد مناسب عليه.

اقتران الشغل للفلز: أقل طاقة للأشعة الكهرمغناطيسية 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.

2. **أحسب:**

$$E_e = E_i - E_f = p_i\,c - p_f\,c = (p_i - p_f)c$$

$$E_e = (4.3 \times 10^{-23} - 3.2 \times 10^{-23}) \times 3 \times 10^8$$

$$= 3.3 \times 10^{-15}\text{J} = 3.3 \times 10^{-15}\text{J}\frac{1\text{ eV}}{1.6 \times 10^{-19}\text{ J}} = 20.6\text{ keV}$$

3. **أستخدم المتغيّرات:**

أ. اقتران الشغل للفلز:

$$\phi = h\,f_0 = 6.63 \times 10^{-34} \times 5.0 \times 10^{14} = 3.3 \times 10^{-19}\text{ J}$$

ب. الطاقة الحركيّة العظمى للإلكترونات المتحرّرة:

$$KE_{\max} = h\,f - \phi = h\frac{c}{\lambda} - \phi$$

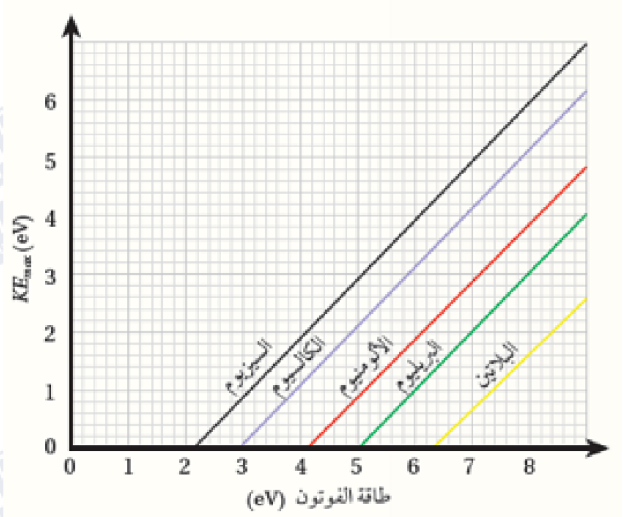
$$= 6.63 \times 10^{-34}\,\frac{3 \times 10^8}{300 \times 10^{-9}} - 3.3 \times 10^{-19} = 3.3 \times 10^{-19}\text{ J}$$

4. **أحلل رسماً بيانياً:**

أ. حسب العلاقة:

$$KE_{\max} = h\,f - \phi$$

حيث $(h\,f)$ طاقة الفوتون، فإن ميل الخط يجب أن يساوي (1) لجميع الخطوط.



ب. تردد الضوء يساوي تردد العتبة عندما تكون طاقة الفوتون مساوية لاقتران الشغل أي عندما: $(KE_{\max} = 0)$.

ومن الشكل نجد:

$$f_{0(\text{السيزيوم})} < f_{0(\text{الكالسيوم})} < f_{0(\text{الألمنيوم})} < f_{0(\text{البريليوم})} < f_{0(\text{البلاتين})}$$

جـ. $KE_{\max} = hf - \phi = 10.0 - 5 = 5\ \text{eV}$

د. نجد أولاً طاقة الفوتون:

$$hf = h\frac{c}{\lambda} = 6.63 \times 10^{-34}\ \frac{3 \times 10^{8}}{350 \times 10^{-9}} = 5.7 \times 10^{-19}\text{J}$$

$$= 5.7 \times 10^{-19}\text{J}\frac{1\ \text{eV}}{1.6 \times 10^{-19}\ \text{J}} = 3.6\ \text{eV}$$

وفوتونات تمتلك هذه الطاقة تستطيع تحرير إلكترونات من سطحي الكالسيوم والسيزيوم، لكنها لا تستطيع تحرير إلكترونات من سطوح الألمنيوم والبريليوم والبلاتين. والطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحررة من السيزيوم تكون أكبر منها للكالسيوم؛ لأن اقتران الشغل للسيزيوم أقل.

5. أستخدم المتغيرات:

$$KE_{\min} = 0$$

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

$$= 6.63 \times 10^{-34}\ \frac{3\times10^{8}}{80\times10^{-9}} - 5.1 \times 1.6 \times 10^{-19}$$

$$= 24.9 \times 10^{-19} - 8.2 \times 10^{-19} = 1.7 \times 10^{-18}\ \text{J} = 10.5\ \text{eV}$$

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

الدرس الثاني/ التركيب الذري

* **نموذج طومسون :** افترض طومسون أن الذرة :

1) عبارة عن كرة مصمتة موجبة الشحنة تتوزع فيها الإلكترونات سالبة الشحنة .

2) متعادلة كهربائياً ، لأن مجموع الشحنات السالبة يساوي مجموع الشحنات الموجبة .

* **نموذج رذرفورد :** افترض رذرفورد في نموذجه أن :

1) الذرة تتكون من نواة موجبة الشحنة ، تتركز فيها كتلة الذرة .

2) الإلكترون جيسم مشحون يدور حول نواة الذرة ، ويغير من اتجاه حركته بشكل مستمر .

* **عيوب نموذج رذرفورد :**

إن الالكترون الذي يدور حول النواة يمتلك تسارعاً مركزياً ، وحسب النظرية الكهرومغناطيسية فإن الشحنات المتسارعة تشع موجات كهرومغناطيسية على نحو مستمر وعليه :

1) من المتوقع (وفق هذا النموذج) أن يكون الطيف المنبعث من الذرة طيفاً متصلاً ، لكنه في الواقع طيف خطي .

2) اشعاع الالكترون للموجات الكهرومغناطيسية ، يعني أنه يفقد طاقة على نحو مستمر (متصل) ، وهذا بدوره يجعل نصف قطر مدار الإلكترون حول النواة يتناقص تدريجياً حتى يصطدم الإلكترون بالنواة ، فتنهار النواة ولا تستقر الذرة .

* **نموذج بور الذري :**

سؤال : اذكر فرضيات نموذج بور الذري الأربعة .

جواب :

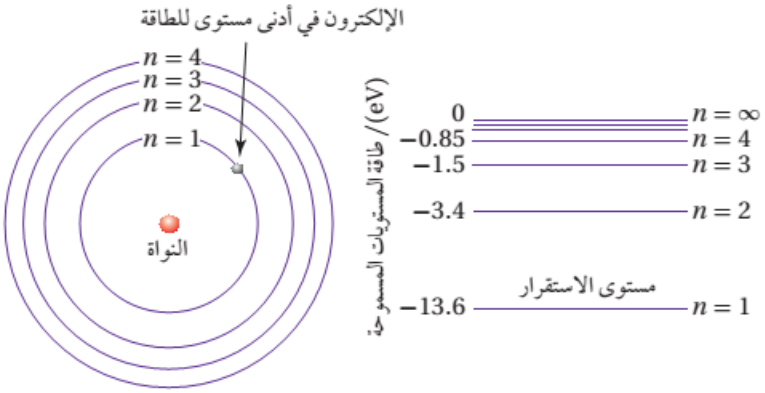
1) يدور الإلكترون حول النواة في مدارات دائرية بتأثير قوة الجذب الكهربائية بين الإلكترون ذو الشحنة السالبة والنواة موجبة الشحنة .

2) توجد مدارات محددة (مستويات طاقة) مسموح للإلكترون بأن يحتلها (يتواجد فيها) ولا يمكن للإلكترون أن يشع طاقة طالما بقي في مستوى طاقة معين . وهكذا عالج بور مشكلة استقرار الذرة في نموذج رذرفورد .

* ويعبر عن طاقة الإلكترون في مستوى الطاقة (n) في ذرة الهيدروجين بالعلاقة :

$$E_n = \frac{-13.6}{n^2} \ eV$$

حيث (..... , 4 , 3 , 2 , 1 = n) هو رقم المدار (مستوى الطاقة) ويسمى الرقم الكمي .



3) يشع الإلكترون إذا انتقل من مستوى طاقة عالي إلى مستوى طاقة منخفض (تفسير الطيف الخطي لذرة الهيدروجين) وتكون الطاقة المنبعثة مكممة على شكل فوتون ، كما يمكن للإلكترون أن ينتقل من مستوى طاقة منخفض إلى مستوى طاقة عالي إذا امتص فوتوناً طاقته تساوي فرق الطاقة بين المستويين . ويمكن حساب طاقة الفوتون المنبعث أو الممتص من العلا قة :

لا تنسى تحويل فرق الطاقة إلى وحدة جول لحساب التردد أو الطول الموجي

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

حيث : E_f : طاقة المستوى النهائي ، E_i : طاقة المستوى الإبتدائي

4) المدارات المسموح للإلكترون أن يحتلها هي التي يكون فيها الزخم الزاوي للإلكترون ($L = m_e v r$) يساوي عدداً صحيحاً من مضاعفات ($\hbar$) ، حيث ($\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1.05 \times 10^{-34}$ J.s)

$$L = n\hbar = m_e v r$$

سؤال : إذا كانت الطاقة الكلية لإلكترون ذرة الهيدروجين في مداره تعطي بالعلاقة $(E_n = \frac{-13.6}{n^2})$

أ) ما الأهمية الفيزيائية للإشارة السالبة في العلاقة ؟

ب) ماهو أدنى مستوى للطاقة يمكن أن يكون فيه الإلكترون . ثم احسب طاقة هذا المستوى بالجول ؟

جواب :

أ) يجب تزويد الإلكترون بطاقة قدرها ($\frac{+13.6}{n^2}$) الكترون فولت لتحريره من الذرة ، دون اعطائه طاقة حركية .

وتسمى طاقة التحرر بـ **طاقة التأين** .

ب) أدنى قيمة ممكنه عندما $(n = 1)$ ويسمى (مستوى الإستقرار ، المستوى الأول) حيث

$$E_n = \frac{-13.6}{n^2} = \frac{-13.6}{(1)^2} = -13.6\ eV = -13.6 \times 1.6 \times 10^{-19} = -21.76 \times 10^{-19}\ J$$

سؤال : هل يمكن لذرة الهيدروجين أن تبعث فوتوناً طاقته (15) الكترون فولت ؟ فسر إجابتك .

جواب : لا ، فطاقة أدنى مستوى لذرة الهيدروجين تساوي (13.6 eV -) وهي طاقة مستوى الاستقرار .

سؤال : أي المدارات الممكنة لذرة الهيدروجين تكون فيه سرعة الإلكترون أكبر ؟ فسر إجابتك .

جواب : المستوى الأول ، من العلاقة ($mvr = n\hbar$) أي أن السرعة تزداد بنقصان رقم مستوى الطاقة (n) .

سؤال : بماذا يتفق نموذج بور مع مبدأ بلانك في تكمية الطاقة ؟

جواب : إن الطاقة التي تنبعث أو تمتص من جسم تكون بمقادير محددة ، وكذلك الطاقة التي تنبعث أو تمتص من ذرة الهيدروجين تكون بمقادير محددة .

سؤال : ما المقصود بكل من : طاقة التأين ، طاقة الإثارة ، مستويات الإثارة .

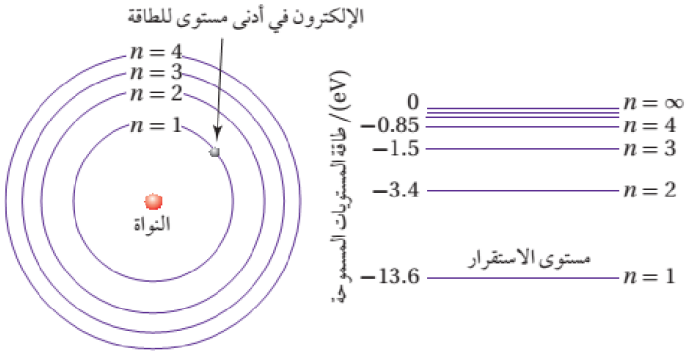
جواب : طاقة التأين : هي أقل طاقة لازمة لتحرر الإلكترون من الذرة دون اعطائه طاقة حركية .

طاقة الإثارة : هي أقل طاقة لازمة لنقل الإلكترون من مستوى طاقة إلى مستوى طاقة أعلى بحيث يبقى مرتبطاً بالذرة .

مستويات الإثارة : هي المستويات التي تعلو مستوى الإستقرار .

سؤال : ماذا يحدث للإلكترون إذا زادت طاقة الفوتون الذي يمتصه على طاقة التأين ؟

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



مثال (1) : من الشكل ، أجد طاقة الفوتون المنبعث عند انتقال الإلكترون في ذرة الهيدروجين من مستوى الطاقة الثالث إلى مستوى الطاقة الثاني بوحدة (eV) ثم أحوله إلى وحدة (J) .

الحل :

$$E = |\Delta E| = |E_2 - E_3| = |-3.40-(-1.50)|$$
$$= 1.9 \text{ eV}$$
$$= 1.90 \text{ eV} \times \frac{1.6 \times 10^{-19} \text{J}}{1 \text{ eV}} = 3.04 \times 10^{-19} \text{ J}$$

مثال (2) : احسب طاقة الإلكترون عندما يتواجد في المستويات (1 ، 2 ، 3 ، 4 ، ∞) .

الحل :

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

$E_1 = \frac{-13.6}{(1)^2} = -13.6$ eV

$E_2 = \frac{-13.6}{(2)^2} = -3.4$ eV

$E_3 = \frac{-13.6}{(3)^2} = -1.5$ eV

$E_4 = \frac{-13.6}{(4)^2} = -0.85$ eV

$E_\infty = \frac{-13.6}{(\infty)^2} = 0$ eV

مثال (3) : لإلكترون في مستوى الطاقة الثاني لذرة الهيدروجين ، أجد ما يأتي :

أ) الزخم الزاوي للإلكترون .

ب) طاقة الإلكترون .

الحل :

أ.
$$L = n\hbar = 2\hbar = 2 \times 1.05 \times 10^{-34} = 2.1 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

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

مثال (4) : أجد تردد الفوتون اللازم لنقل إلكترون في ذرة الهيدروجين من مستوى الطاقة الثاني إلى مستوى الطاقة الثالث .

الحل :

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

$$E = \left|\frac{-13.6}{3^2} - \frac{-13.6}{2^2}\right| = |-1.5-(-3.4)| = 1.9\ \text{eV} = 1.9 \times 1.6 \times 10^{-19} = 3.0 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

$$f = \frac{E}{h} = \frac{3.0 \times 10^{-19}}{6.63 \times 10^{-34}} = 4.5 \times 10^{14}\ \text{Hz}$$

مثال (5) : انتقل إلكترون ذرة الهيدروجين من مستوى الطاقة (n_i) إلى مستوى الطاقة الثاني ، باعثاً فوتون بطاقة قدرها (4.08×10^{-19} J) . أجد قيمة رقم مستوى الطاقة (n_i) .

الحل :

$$|\Delta E| = hf = \frac{4.08 \times 10^{-19}}{1.6 \times 10^{-19}} = 2.55\ \text{eV}$$

ولأن الإلكترون فقد طاقة فإن:

$$\Delta E = -2.55\ \text{eV}$$

$$-2.55 = E_f - E_i = \frac{-13.6}{2^2} - \frac{-13.6}{n_i^2} = -3.4 + \frac{13.6}{n_i^2}$$

$$\frac{13.6}{n_i^2} = 0.85\ \text{eV} \quad \Rightarrow \quad n_i = 4$$

مثال (6) : الكترون ذرة الهيدروجين في مستوى الطاقة الثالث . احسب :

1) الطاقة الكلية للإلكترون .

2) إذا انتقل الإلكترون إلى مستوى آخر يكون عنده الزخم الزاوي للإلكترون يساوي ($L = \frac{2h}{\pi}$ J.s) احسب رقم ذلك المستوى .

الحل :

1) E_3 = - 1.5 eV . 2) n = 4

مثال (7) : إذا انتقل إلكترون ذرة هيدروجين مثارة من مستوى الإثاة الثالث إلى مستوى الإثارة الأول فأجب عما يأتي :

1) الزخم الزاوي للإلكترون في مستوى الطاقة الرابع .
2) طاقة الفوتون المنبعث بوحدة الالكترون فولت .
3) تردد الفوتون المنبعث .

الحل :

1) $L = 4.2 \times 10^{-34}$ J.s . 2) $\Delta E = 2.55$ eV . 3) $f = 6.15 \times 10^{14}$ Hz

مثال (8) : أنتقل إلكترون ذرة الهيدروجين من مستوى طاقته (- 1.5 eV) إلى مستوى طاقته (- 3.4 eV) حسب نموذج بور الذري أحسب :

1) تردد الإشعاع المنبعث .
2) الزخم الزاوي للإلكترون في المستوى الذي أنتقل إليه .

الحل :

1) $f = 0.46 \times 10^{15}$ Hz . 2) $L = 2.1 \times 10^{-34}$ J.s

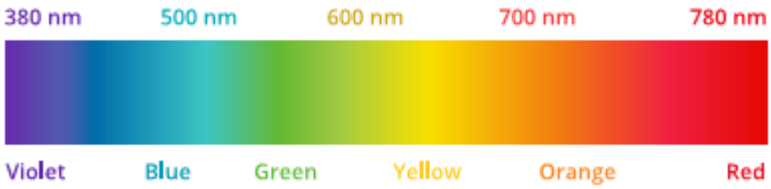
T.Saed Assaf

الأطياف الذرية

تقسم الأطياف الذرية (الإشعاع الصادر عن الذرات المهتزة) إلى نوعين رئيسيين هما :

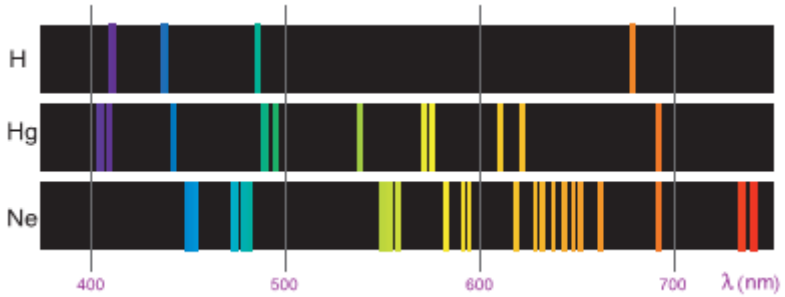
1) **طيف الانبعاث** : وهو حالتان (إما انبعاث متصل أو انبعاث منفصل)

* الحالة الأولى : **طيف الانبعاث المتصل (المستمر)** : اشعاع تمثله ألوان متصل تماماً دون انقطاع .



ومن الأمثلة عليه :
الإشعاع المنبعث من الأجسام الساخنة (مثل الشمس) . أو قطعة حديد عندما تسخن لدرجة التوهج الأبيض .

* الحالة الثانية : **طيف الانبعاث المنفصل (الخطي)** : اشعاع تمثله ألوان تظهر على شكل خطوط منفصلة فوق خلفية سوداء لها أطوال موجية محددة .



سؤال : يعتبر طيف الانبعاث الخطي صفة مميزة للعنصر ؟ فسر ذلك .
جواب : لأنه تبين أن لكل عنصر طيف انبعاث خاص به فلا يمكن أن نجد لعنصرين الطيف نفسه لذلك يعتبر طيف الانبعاث الخطي صفة مميزة للعنصر .

2) **طيف الامتصاص الخطي** : طيف انبعاث متصل لكن تتخلله خطوط سوداء معتمة ، ناتجة عن فقدان بعض الأطوال الموجية امتصتها ذرات الغاز .

ومن الأمثلة عليه : تحليل الضوء الأبيض (ضوء الشمس) بعد مروره عبر غاز عنصر الهيدروجين (H_2) .

سؤال : يعتبر طيف الامتصاص الخطي صفة مميزة للعنصر ؟ فسر ذلك .
جواب : لأنه تبين أن لكل عنصر طيف خاص يمتصه (يظهر مكانه خط أسود) فلا يمكن أن نجد لعنصرين الطيف نفسه لذلك يعتبر أيضاً صفة مميزة .

اعتمد بور على فرضيتة الثالثه (لتفسير الطيف المنفصل) والتي تشير إلى أن الإشعاع المنبعث أو الممتص يكون منفصلاً وذا تردد محدد ويساوي فرق الطاقة بين المستويين اللذين ينتقل بينهما الإلكترون ، وهذا يتفق مع ما توصل اليه تجريبياً عن الطيف الخطي ونجح في التنبؤ وحساب الأطوال الموجية فيزيائياً ؟

سؤال : معتمداً على نموذج بور احسب الطول الموجي للخطوط المنبعثة من ذرة الهيدروجين .

الحل :

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

مثال (1) : أجد طول موجة الفوتون المنبعث عند انتقال إلكترون ذرة الهيدروجين من مستوى الطاقة الثاني إلى مستوى الطاقة الأول .

الحل :

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

$$\frac{1}{\lambda} = 1.097 \times 10^7 \times \frac{3}{4} = 8.23 \times 10^6\ m^{-1}$$

$$\lambda = 1.215 \times 10^{-7}\ m = 121.5\ nm$$

مثال (2) : أجد الأطوال الموجية للفوتونات المنبعثة عند انتقال إلكترون ذرة الهيدروجين من مستويات الطاقة : الثالث ، الرابع ، الخامس ، السادس إلى مستوى الطاقة الثاني . وأقارن الأطوال الموجية التي حصلت عليها بتلك الموجودة في الشكل .

الحل :

أحسب طول موجة الفوتون المنبعث عند انتقال الإلكترون من مستوى الطاقة الثالث إلى مستوى الطاقة الثاني من العلاقة:

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left| \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right| = 1.097 \times 10^7 \left| \frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right|$$

$$\frac{1}{\lambda} = 1.523 \times 10^6 \ \text{m}^{-1}$$

$$\lambda = 6.563 \times 10^{-7}\ \text{m} = 656.3\ \text{nm}$$

نكرّر العملية عندما $n_i = 4, 5, 6$

n_i	3	4	5	6
λ القيم المحسوبة	656.3 nm	486.2 nm	434.1 nm	410.2 nm
λ القيم التجريبيّة	656.2 nm	486.1 nm	434.0 nm	410.1 nm

نلاحظ أنّ الأطوال الموجيّة تقع كلّها ضمن الأطوال الموجيّة للطيف المرئي، وأنّ القيم المحسوبة من علاقة بور قريبة جدًّا من القيم التجريبية، ما يدلّ على صحة نموذج بور لذرة الهيدروجين.

مثال (3) : إذا انتقل إلكترون ذرة هيدروجين مثارة من مستوى الإثارة الرابع إلى مستوى الإثارة الأول ، احسب :
1) الزخم الزاوي للإلكترون في مستوى الطاقة الثالث . 2) الطول الموجي للفوتون المنبعث .

الحل :

1) $L = 3.15 \times 10^{-34}$ J.s . 2) $\lambda \approx 4.34 \times 10^{-7}$ m

مثال (4) : إذا انتقل إلكترون ذرة هيدروجين مثارة من مستوى الإثارة الثالث إلى مستوى الطاقة الأول ، حسب نموذج بور أحسب طول موجة الفوتون المنبعث وتردده وطاقته وزخمه الخطي .

الحل :

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left|\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right| = 1.097 \times 10^7 \left|\frac{1}{1^2} - \frac{1}{4^2}\right|$$

$$\frac{1}{\lambda} = 10.28 \times 10^6 \ \mathrm{m^{-1}}$$

$$\lambda = 9.723 \times 10^{-8}\mathrm{m} = 97.23 \ \mathrm{nm}$$

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3\times10^8}{9.723\times10^{-8}} = 3.085 \times 10^{15} \ \mathrm{Hz}$$

$$E = h\,f \ = 6.63 \times 10^{-34} \times 3.085 \times 10^{15} = 2.05 \times 10^{-18}\mathrm{J} = 12.8 \ \mathrm{eV}$$

$$p = \frac{E}{c} = \frac{2.05 \times 10^{-18}}{3 \times 10^8} = 6.82 \times 10^{-27} \ \mathrm{kg\,m/s}$$

T.Saed Assaf

الطبيعة الموجية ـ الجسيمية

* هناك ظواهر لا تحدث إلا للموجات مثل التداخل والحيود يمكن تفسيرها بافتراض أن الضوء موجات كهرمغناطيسية .
لكن توجد ظواهر أخرى مثل ، اشعاع الجسم الأسود ، والظاهرة الكهرضوئية ، وظاهرة كومبتون ، والأطياف الذرية لا يمكن تفسيرها إلا على افتراض أن الضوء يتكون من جسيمات (فوتونات) تمتلك زخماً خطياً يحسب مقداره من العلاقة :

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

ولكن السؤال الذي كان يطرح في الأذهان :

هل للجسيمات طبيعة موجية ؟

* الضوء موجة : له طبيعة مزدوجة (موجية وجسيمية)
* المادة (جسيم) : هل لها طبيعة مزدوجة (جسيمية وموجية) ؟

* طرحت هذه الفكرة من قبل العالم دي بروي ، ووضع فرضية على النحو التالي :
* اقترح أن للأجسام المادية خصائص موجية تسمى (*موجات المادة*) تماماً كما للموجات خصائص جسيمية حيث :

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

حيث : (h) ثابت بلانك ، (p) الزخم الخطي ، (m) كتلة الجسيم ، (v) سرعة الجسيم

من معادلة دي بروي نلاحظ أنها :

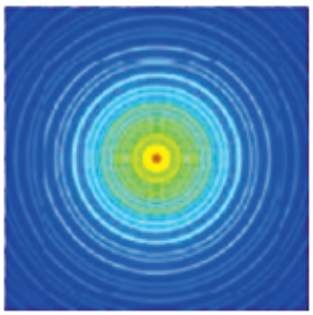
أ) تربط المعادلة بين الصفات الجسمية (mv) والصفات الموجية (λ) وأن العلاقة بينهما تعتمد على ثابت بلانك (h) .
ب) تعتمد الطبيعة الموجية للأجسام في ظهورها على سرعة الجسم ($v \neq 0$) وكتلتة (m) حيث :
كلما زادت الكتلة (m) قل طول موجة دي بروي (λ) ويصعب ملاحظتها وكلما قلت الكتلة (m) يزداد طول موجة دي بروي (λ) ويمكن ملاحظتها مخبرياً فقط .
جـ) موجات المادة ليست موجات كهرومغناطيسية كموجات الضوء ، ولا موجات ميكانيكية كموجات الصوت وإنما لها خواص ترتبط بخواص الجسم الذي تلازمه .

سؤال (علل) : يمكن ملاحظة الطبيعة الموجية للجسيمات الذرية ودون الذرية بينما لا يمكن ملاحظتها للأجسام الجاهرية (الكبيرة) ؟
جواب : لأن الطول الموجي المصاحب للجسيمات الذرية ودون الذرية يساوي مقداراً كبيراً يمكن قياسه وملاحظته والطول الموجي المصاحب للجسيمات الجاهرية (الكبيرة) فهو صغير جداً فيصعب قياسه وملاحظته .

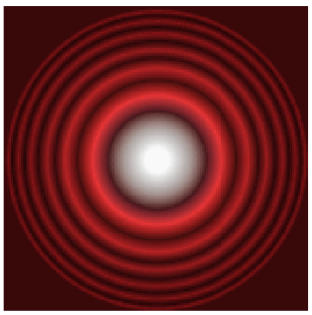
T.Saed Assaf

سؤال : أعط مثالاً على الطبيعة الموجية للإلكترونات .

جواب : وجود نمط حيود عند اسقاط حزمة من الإلكترونات على بلورة النيكل (الشكل أ) ، يشبه نمط حيود حزمة ضوئية عند اسقاطها على فتحة دائرية .



(أ)



(ب)

سؤال : اذكر نص فرضية دي بروي بالكلمات .

جواب : للجسيمات المادية طبيعة مزدوجة جسيمية ـ موجية .

سؤال : أعط تطبيقاً عملياً على الطبيعة المزدوجة للجسيمات .

جواب : ميكروسكوب خاص يستخدم الإلكترونات بدلاً من الضوء يسمى (ميكروسكوباً إلكترونياً) . يمكنه إظهار تفاصيل أدق للأجسام من الميكروسكوبات الضوئية ، ما مكن العلماء من رؤية الفيروسات والتفاصيل الدقيقة للخلية .

مثال (1) : أجد طول موجة دي بروي المصاحبة لـِ :

أ) إلكترون سرعته (1.00×10^6 m/s) .

ب) رصاصة كتلتها ($m_b = 50.0$ g) تتحرك بسرعة ($v_b = 400$ m/s) .

الحل :

أ. $$\lambda_e = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{9.11 \times 10^{-31} \times 1.00 \times 10^{6}} = 7.27 \times 10^{-10}\,\text{m} = 0.727\,\text{nm}$$

نُلاحظ أنّ طول موجة دي بروي المصاحِبة للإلكترون تقارِب المسافة الفاصلة بين الذرات في البلورات، لذلك يمكن ملاحظة نمط الحيود للإلكترونات على نحو ما جاء في تجربة دافسون وجيرمر.

ب. $$\lambda_b = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{50.0 \times 10^{-3} \times 400} = 3.32 \times 10^{-35}\,\text{m} = 3.32 \times 10^{-26}\,\text{nm}$$

من الواضح أنّ طول موجة دي بروي المصاحبة للرصاصة صغير جدًّا حتى مع المقارنة بالمسافات الفاصلة بين الذرات في البلورات، لذلك لا يمكن مشاهدة نمط حيود للأجسام الجاهريّة.

مثال (2) : تسارع إلكترون من السكون بفرق جهد مقداره (2.7 V) ، أجد طول موجة دي بروي المصاحبة له عند نهاية مدة تسارعه .

الحل :

نجد أولاً مقدار السرعة النهائيّة للإلكترون من العلاقة:

$$KE = \frac{1}{2} m_e v^2 = e\,\Delta V$$

$$\frac{1}{2} \times 9.11 \times 10^{-31} \times v^2 = 1.6 \times 10^{-19} \times 2.7$$

$$v = 0.97 \times 10^6 \text{ m/s}$$

ثمّ نجد طول موجة دي بروي المصاحِبة له:

$$\lambda_e = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{9.11 \times 10^{-31} \times 0.97 \times 10^6} = 7.5 \times 10^{-10} \text{ m} = 0.75 \text{ nm}$$

مثال (3) : إذا علمت أن جسيم كتلته (6.6×10^{-6} kg) ، قذف بسرعة (1×10^4 m/s) أحسب طول موجة دي بروي المصاحبة لهذا الجسيم .

الحل :

$\lambda = 1 \times 10^{-32}$ m

مثال (4) : جسيم كتلته (3.3×10^{-6} kg) ، وطول الموجة المصاحبة له (2×10^{-30} m) ، ما مقدار السرعة الخطية لهذا للجسيم .

الحل :

v = 100 m/s

مثال (5) : ما زخم فوتون طول موجته (3.3×10^{-6} m) .

الحل :

$p = 2 \times 10^{-28}$ kg.m/s

مثال (6) : سقط فوتون طاقته (12×10^{-19} J) على سطح فلز جد زخم الفوتون الساقط .

الحل :

$p = 4 \times 10^{-27}$ kg.m/s

مثال (7) : قاس سعيد طول موجة دي بروي لحزمة من الإلكترونات فوجدها (2.24×10^{-10} m) . أجد فرق الجهد المستخدم في تسريع الإلكترون .

الحل :

$$p = \frac{h}{\lambda} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{2.24 \times 10^{-10}} = 2.96 \times 10^{-24} \text{ kg m/s}$$

$$v = \frac{p}{m} = \frac{2.96 \times 10^{-24}}{9.11 \times 10^{-31}} = 3.25 \times 10^{6} \text{ m/s}$$

$$KE = \frac{1}{2} m_e v^2 = e\,\Delta V$$

$$\frac{1}{2} \times 9.11 \times 10^{-31} \times (3.25 \times 10^{6})^2 = 1.6 \times 10^{-19} \times \Delta V$$

$$\Delta V = 30.1 \text{ V}$$

مثال (8) : ضربت مريم كرة تنس كتلتها (60 g) وقطرها (6.5 cm) ، فتحركت بسرعة (25 m/s) .

أ) أجد طول موجة دي بروي المصاحبة لها .

ب) أقارن طول موجة دي بروي وقطر كرة التنس .

الحل :

أ.

$$\lambda = \frac{h}{m\,v} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{60 \times 10^{-3} \times 25} = 4.42 \times 10^{-34} \text{m}$$

ب. إن طول موجة دي بروي (λ) المصاحبة للكرة أصغر بكثير من قطر كرة التنس، وهذا يفسر صعوبة تصميم تجربة للكشف عن الأطوال الموجية المصاحبة للأجسام الجاهرية.

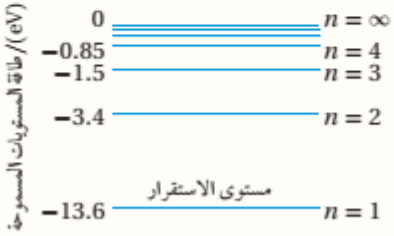
مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسة:** أوضّح المقصود بكلٍّ من: طيف الامتصاص الخطّي، طيف الانبعاث الخطّي.

2. **أذكر** حدود نموذج بور.

3. **أستخدمُ الأرقام:** أجدُ الزخم الزاويّ وطاقة الإلكترون في المدار الرابع لذرة الهيدروجين.

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

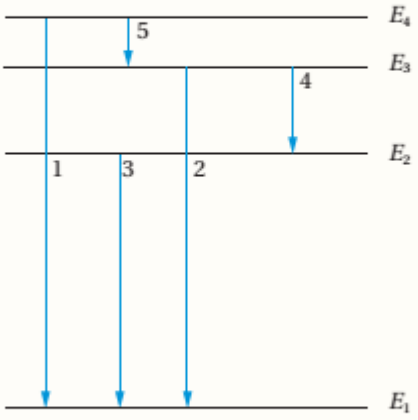


5. **أصنّف** الكميّات الفيزيائيّة الآتية (الطول الموجيّ، التردّد، الطاقة، الزخم الخطّي) من حيث ارتباطها بالطبيعة الموجيّة أو الجُسيميّة للمادّة.

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

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

8. **أحلّل الشكل:** 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؟

جـ. أيّ الانتقالات ينتج عنه انبعاث فوتون بأقلّ تردّد؟

9. **أستخدم الأرقام:** بروتون طاقته (10 MeV)، أجد طول موجة دي بروي المصاحِبة له حيث كتلة البروتون $(1.67 \times 10^{-27}\ \text{kg})$.

1. **الفكرة الرئيسية:**

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.

2. **أذكر:** حدود نموذج بور: لم يستطع تفسير الأطياف الذرية للذرات عديدة الإلكترونات.

3. **أستخدمُ الأرقام:**

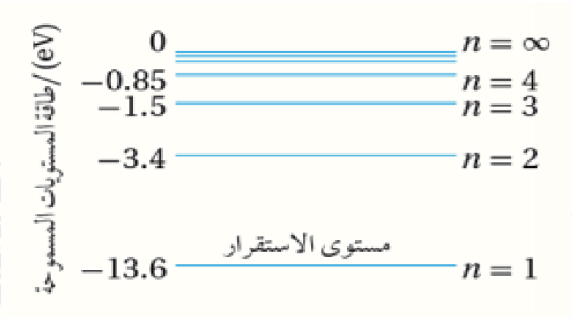
$$L = n\hbar = 4 \times 1.05 \times 10^{-34} = 4.2 \times 10^{-34}\ \text{J s}$$

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

4. **أحلل الشكل:**

يمكن أن يمتص فوتون لنقله إلى لمستوى الطاقة الثاني:

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



أو لنقله إلى مستوى الطاقة الثالث

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

أو لنقله إلى مستوى الطاقة الرابع

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

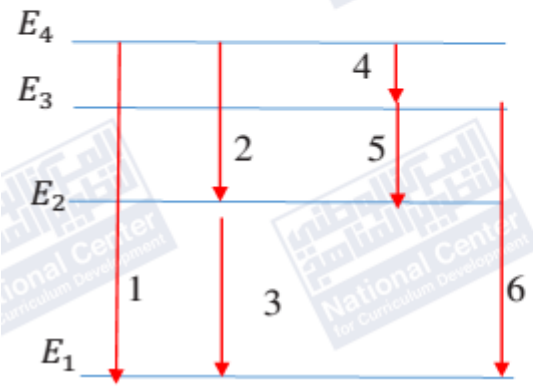
5. **أصنف:**

الكميات المرتبطة بالطبيعة الموجية: الطول الموجي، التردد.

الكميات المرتبطة بالطبيعة الجسيمية: الزخم الخطي.

بينما فيما يخص الطاقة، فالجسيمات والموجات تحمل طاقة.

6. **استنتج:** الإجابة كما هي موضحة في الشكل المجاور.



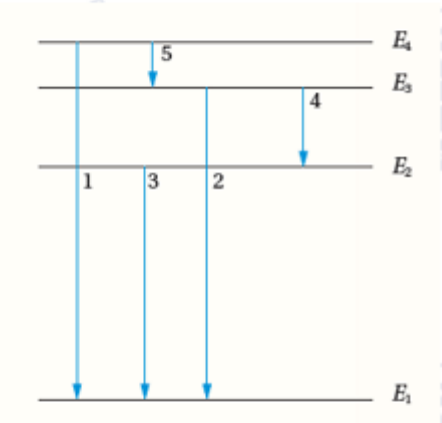
7. أحسب:

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

$$\frac{1}{\lambda} = 1.097 \times 10^7 \left|\frac{1}{3^2} - \frac{1}{1^2}\right| = 1.097 \times 10^7 \left|\frac{-8}{9}\right| = 9.751 \times 10^6 \ \text{m}^{-1}$$

$$\lambda = 103 \ \text{nm}$$

8. أحلل الشكل:



أ. انتقال الإلكترون من مستوى الطاقة الرابع إلى مستوى الطاقة الثالث ينتج عنه انبعاث فوتون بأكبر طول موجي (الانتقال 5)

ب. انتقال الإلكترون من مستوى الطاقة الرابع إلى مستوى الطاقة الأول ينتج عنه انبعاث فوتون بأكبر طاقة (الانتقال 1).

ج. أقل تردد يكافئ أكبر طول موجي، الانتقال (5).

9. أستخدم الأرقام:

$$KE = 10 \ \text{MeV} = 10 \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19} = 1.6 \times 10^{-12} \text{J}$$

$$v = \sqrt{\frac{2}{m} KE} = \sqrt{\frac{2}{1.67 \times 10^{-27}} 1.6 \times 10^{-12}} = 4.4 \times 10^7 \ \text{m/s}$$

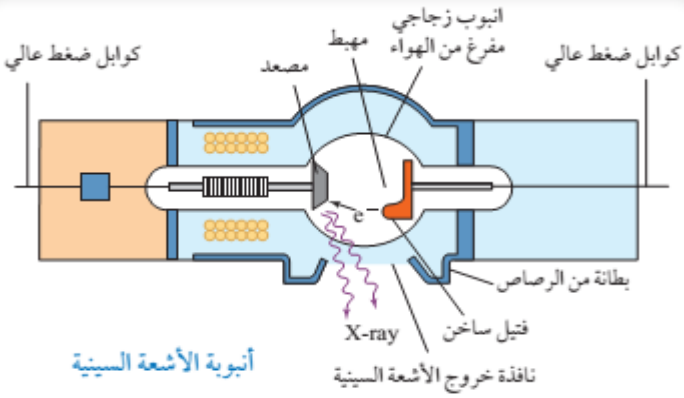
$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{1.67 \times 10^{-27} \times 4.4 \times 10^7} = 9.0 \times 10^{-15} \ \text{m}$$

الإثراء والتوسّع

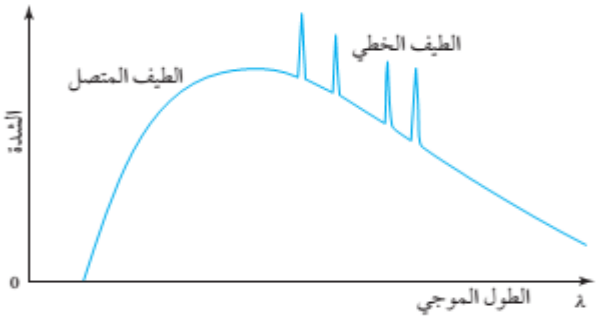
الفيزياء والطبّ: الأشعة السينيّة
Physics in Medicine: X-Ray

لاحظ العالم رونتغن أنّ أشعة ذات طاقة كبيرة (أطوال موجيّة قصيرة $\lambda = 10^{-11} - 10^{-8}\ m$)تنبعث من سطح فلزّ عند اصطدام إلكترونات ذات طاقة عالية به، أطلق عليها اسم الأشعة السينيّة X–ray.

ويتكوّن أنبوب الأشعة السينيّة المبيَّن في الشكل المجاور من أنبوب مفرَّغ من الهواء يحتوي على فتيل فلزيّ تنبعث منه إلكترونات عند تسخينه. تُسرَّع الإلكترونات المنبعِثة من الفتيل باستخدام فرق جهد كهربائي كبير لتصطدم بعدها بالمِصعد، وهو عبارة عن مادّة فلزيّة فتنبعث منه الأشعة السينيّة. وقد وجد أنّ طيف الأشعة السينية يتكوّن من طيف متّصل وطيف خطّي على نحو ما هو مبيَّن في الشكل المجاور. عند اقتراب الإلكترونات المُسرَّعة من ذرات المِصعد تتباطأ بفعل القوّة الكهربائية، وتفقد جزءًا من طاقتها الحركية التي تظهر على شكل أشعة كهرمغناطيسية ذات طاقة متّصلة. وقد يصطدم 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.

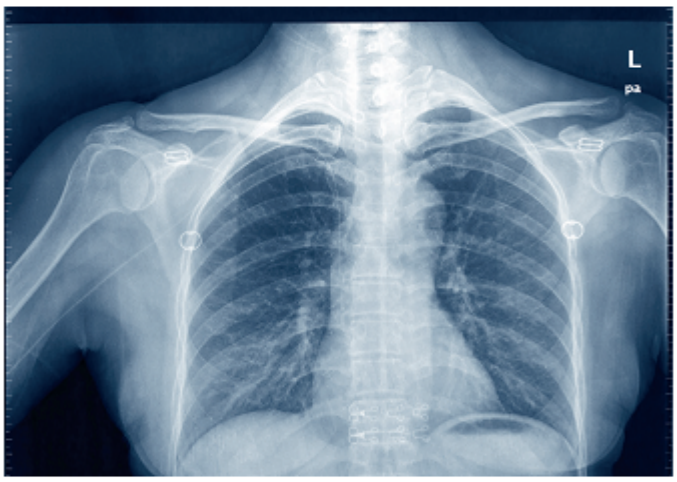


أنبوبة الأشعة السينية



الطيف الخطّي والمتصل للأشعة السينية.

تمتاز الأشعة السينيّة بقدرتها على النفاذ في الأوساط المادّية، ويعتمد ذلك على الوسط؛ فمثلًا قدرتها على النفاذ خلال الكتلة العضلية تكون أكبر من قدرتها على النفاذ خلال العظام. ولهذا السبب، استُخدمت الأشعة السينيّة في الطبّ لتصوير العظام داخل جسم الإنسان، على نحو ما هو مبيَّن في الشكل المجاور، والتحقّق من وجود كسور فيها.



صورة مأخوذة عن طريق الأشعة السينيّة للقفص الصدري.

ورقة عمل (1)

1) يشع الجسم الأسود طيف :

أ) امتصاص خطي ب) انبعاث خطي جـ) امتصاص متصل (مستمر) د) انبعاث متصل (مستمر)

2) يرتبط تردد العتبة مع التأثير الكهرضوئي بـِ :
أ) أنه أقل تردد للإشعاع الساقط اللازم لتحرير الذرات من مصعد الخلية الضوئية .
ب) أنه أكبر تردد للإشعاع الساقط اللازم لتحرير الذرات من مصعد الخلية الضوئية .
جـ) أنه تردد الإشعاع الساقط ، والذي يحرر إلكترونات من الذرة عند ترددات أقل منه .
د) أنه أقل تردد للإشعاع الساقط اللازم لتحرير إلكترونات من الذرة .

3) طاقة فوتون تردده ($1.14x10^{15}$ Hz) يساوي :

أ) $5.82x10^{-49}$ J ب) $7.55x10^{-19}$ J جـ) $8.77x10^{-16}$ J د) $1.09x10^{-12}$ J

4) يسقط إشعاع طاقته (5.17 eV) على خلية ضوئية ، إذا كان اقتران الشغل لمادة الباعث (2.31 eV) فإن مقدار الطاقة الحركية العظمى للإلكترون المتحرر تساوي :

أ) 0.00 eV ب) 2.23 eV جـ) 2.86 eV د) 7.48 eV

5) يتغير مستوى الطاقة لذرة عندما تمتص وتبعث طاقة . أي الخيارات الآتية لا يمكن أن يمثل مستوى طاقة لذرة :

أ) 3/4 hf ب) hf جـ) 3 hf د) 4 hf

6) تزداد الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات الضوئية المتحررة في الخلية الكهرضوئية بزيادة :

أ) شدة الضوء الساقط ب) تردد الضوء الساقط جـ) اقتران الشغل للفلز د) تردد العتبة للفلز

7) تعتمد الطاقة وفق الفيزياء الكلاسيكية على :

أ) طولها الموجي ب) ترددها جـ) زمنها الدوري د) اتساعها (شدتها)

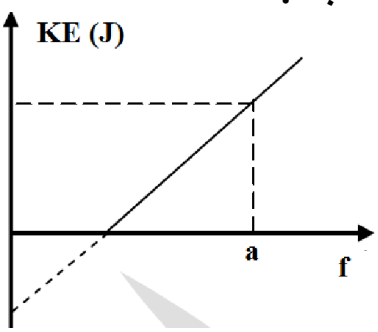
8) إذا انتقل إلكترون من مستوى الطاقة الثاني إلى مستوى الطاقة الثالث ، فإن تردد الإشعاع الممتص بالهيرتز يساوي :

أ) 4.6×10^{14} ب) 5.5×10^{14} جـ) 2.9×10^{14} د) 3.4×10^{14}

9) عندما تتفاعل الفوتونات مع الإلكترونات كما في ظاهرة كومبتون فإن الفوتون :

أ) يفقد جزء من طاقته وتزداد سرعته . ب) يفقد جزء من طاقته وتقل سرعته .
جـ) يختفي وتنتقل طاقته للإلكترون . د) يفقد جزء من طاقته وتبقى سرعته ثابتة .

10) إن الكمية الفيزيائية التي يمثلها الرمز (a) في الشكل المجاور هي :



أ) تردد العتبة للفلز ب) تردد الضوء الساقط
جـ) الطاقة الحركية العظمى للإلكترون د) سالب اقتران الشغل للفلز

11) تثبت ظاهرة كومبتون أن :

أ) الضوء عبارة عن موجات ب) الجسمات لها كتلة وشحنة
جـ) الضوء له طبيعة جسيمية د) الجسيمات لها طبيعة موجية

12) سقط فوتون طاقته (8 eV) على سطح فلز ، فانطلقت إلكترونات بطاقة حركية (5 eV) ، فإذا تضاعفت طاقة الفوتون ثلاث أضعاف ما كانت عليه فإن الطاقة الحركية للإلكترونات تكون :

أ) 21 eV ب) 15 eV جـ) 19 eV د) 24 eV

13) يتسارع إلكترون خلال فرق جهد (95.0 V) ، فإن مقدار طول موجة دي بروي المصاحبة للإلكترون تساوي :

أ) 5.02×10^{-22} m ب) 1.26×10^{-10} m جـ) 2.52×10^{-10} m د) 5.10×10^{6} m

14) مقدار طول موجة دي بروي المصاحبة لإلكترون يتحرك بسرعة (391 km) (كتلة الإلكترون $9.11x10^{-31}$ kg) :

أ) 3.5×10^{-25} m ب) 4.79×10^{-15} m جـ) 4.8×10^{-15} m د) 1.86×10^{-9} m

15) استخدم بور في وضع نموذجه المستقل مبدأ :

أ) حفظ الزخم ب) اللاتحديد جـ) تكمية الطاقة د) حفظ (الكتلة ـ الزخم)

16) تكون سرعة الإلكترون أكبر ما يمكن عندما يكون في المستوى :

أ) الأول ب) الثاني جـ) الثالث د) الرابع

17) طاقة ضوء طول موجته (3×10^{-7} m) بوحدة جول تساوي :

أ) 6.6×10^{-19} ب) 19.2×10^{-19} جـ) 6.6×10^{-7} د) 19.2×10^{15}

18) في الخلية الكهروضوئية الذي يحدث لكل من التيار الكهروضوئي وفرق الجهد العكسي عند زيادة شدة الضوء هو :

أ) يزداد ، يقل ب) يقل ، ثابت جـ) يقل ، يقل د) يزداد ، ثابت

19) حتى يتحرر إلكترونات في الخلية الكهروضوئية دون اكتساب طاقة حركية يجب أن يكون :

أ) $f_o > f$ ب) $\varphi = hf$ جـ) $f_o < f$ د) $\varphi > hf$

20) مقدار الطاقة التي يجب أن يزود بها إلكترون ليتحرر من المستوى الثالث لذرة الهيدروجين دون اكسابه طاقة حركية بوحد الإلكترون فولت تساوي :

أ) 13.6 ب) 3.4 جـ) 1.5 د) 0.85

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
د	د	ب	جـ	أ	ب	د	أ	د	ب
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
جـ	أ	ب	د	جـ	أ	أ	د	ب	جـ

ورقة عمل (2)

ضع (√) في المربع المقابل لأنسب إجابة لتكمل بها كل من العبارات التالية :

1- انبعث فوتون نتيجة انتقال الإلكترون من مستوى طاقة $E_1 = (-1.51)$ ev إلى مستوى طاقة $E_2 = (-3.4)$ ev

فإن تردد الفوتون المنبعث بوحدة الهرتز تساوي :

☐ 1.119×10^{15} ☐ 2.29×10^{14} ☑ 4.6×10^{14} ☐ 1.244×10^{15}

2- عند زيادة تردد الضوء الساقط على لوح معدني حساس للضوء الى مثل قيمته فان تردد العتبة لهذا اللوح المعدني :

☐ يزداد الى مثلي قيمته ☑ لا يتغير

☐ يقل الى نصف قيمته ☐ يزداد الى اربعة امثال قيمته

3- اذا كان نصف قطر بور لإلكترون ذرة الهيدروجين (r_B) فان نصف قطره في المدار الثاني يساوي :

☐ $\frac{1}{4} r_B$ ☐ $\frac{1}{2} r_B$ ☐ $2 r_B$ ☑ $4 r_B$

4- اذا علمت أن أكبر فرق جهد يمنع انتقال الالكترونات من السطح الباعث للإلكترونات الى المجمع يساوي v (5)

فان الطاقة الحركية للإلكترونات المنبعثة بوحدة (ev) تساوي :

☐ 1.6×10^{-19} ☐ 8×10^{-19} ☐ 32×10^{-19} ☑ 5

5- طاقة الفوتون تتناسب عكسياً مع :

☐ تردده ☑ طوله الموجي ☐ سرعة الضوء ☐ دالة الشغل

6- طاقة الفوتون تتناسب طردياً مع :

☑ تردده ☐ طوله الموجي ☐ سرعة الضوء ☐ دالة الشغل

7- تردد الفوتون يتناسب عكسياً مع :

☐ طاقة الفوتون ☑ طوله الموجي ☐ سرعة الضوء ☐ دالة الشغل

8- اذا كان نصف قطر المستوى الاول في ذرة الهيدروجين (r_1) ، فإن نصف قطر المستوى الثالث بدلالة (r_1) يساوي :

❒ $3\,r_1$ ❒ $6\,r_1$ ☑ $9\,r_1$ ❒ $9\,r_1^2$

9- اذا كان نصف قطر المستوى الاول في ذرة الهيدروجين (r_1) ، فإن نصف قطر المستوى الثاني بدلالة (r_1) يساوي :

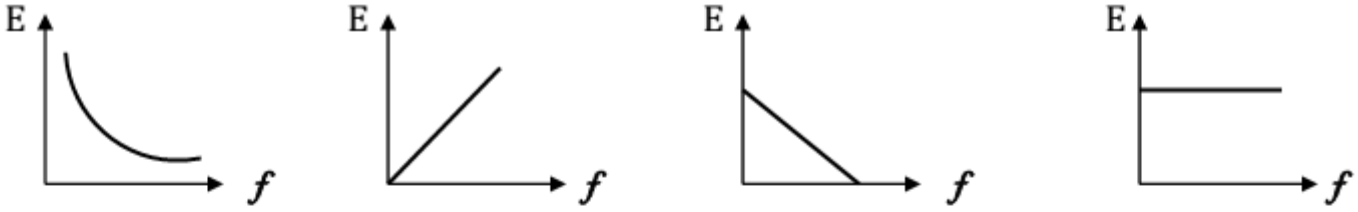
❒ $2\,r_1$ ❒ $6\,r_1$ ☑ $4\,r_1$ ❒ $4\,r_1^2$

10- (...)

لم يرد في المنهاج الجديد

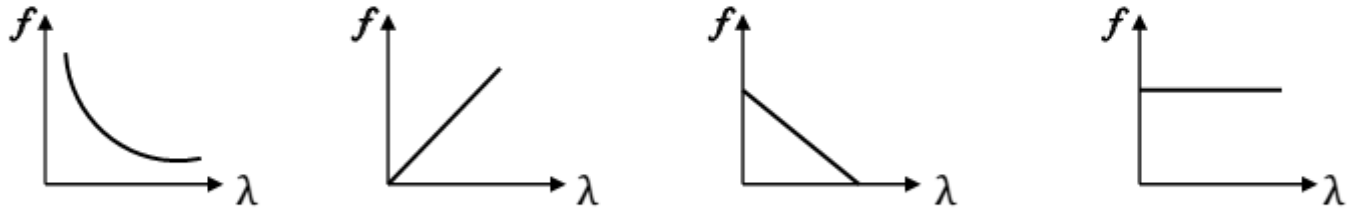
❒ r_1

11– أفضل خط بياني يمثل العلاقة بين طاقة الفوتون الساقط وتردده هو :



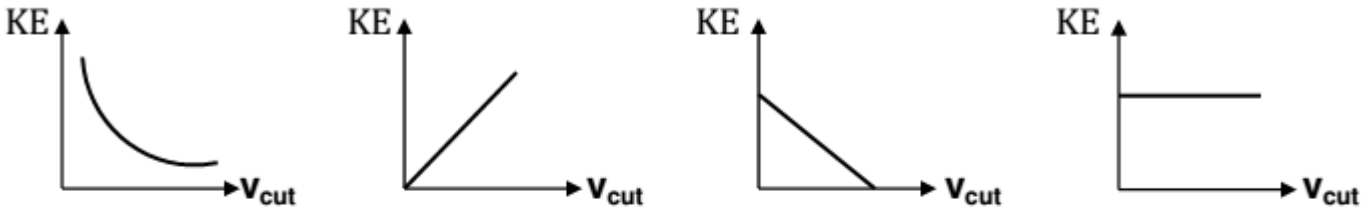
❒ ☑ ❒ ❒

12 – أفضل خط بياني يمثل العلاقة بين تردد الفوتون الساقط وطوله الموجي هو :



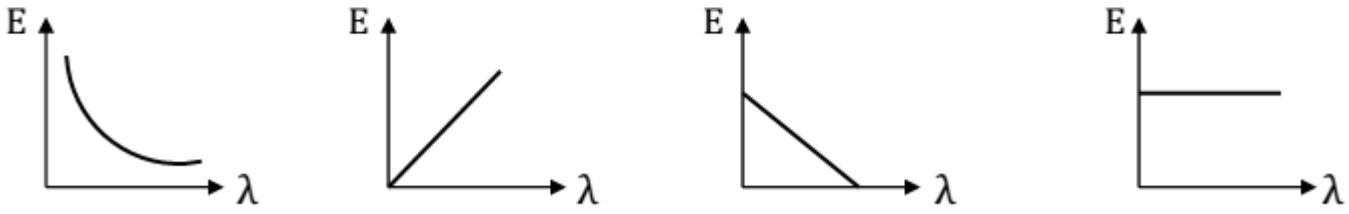
☑ ❒ ❒ ❒

13 – أفضل علاقة بيانية بين الطاقة الحركية للإلكترون المنبعث من سطح فلز ومقدار جهد القطع هي :



❒ ☑ ❒ ❒

14- أفضل خط بياني يمثل العلاقة بين طاقة الفوتون الساقط وطوله الموجي هو :



☑ ❒ ❒ ❒

15 – تردد الفوتون يتناسب طردياً مع :

❒ طوله الموجي ☑ طاقة الفوتون ❒ سرعة الضوء ❒ دالة الشغل

16- إذا زاد تردد الفوتون، فإن المقدار الذي لا يتغير من المقادير التالية هو :

❒ طاقة الفوتون ☑ سرعة الفوتون

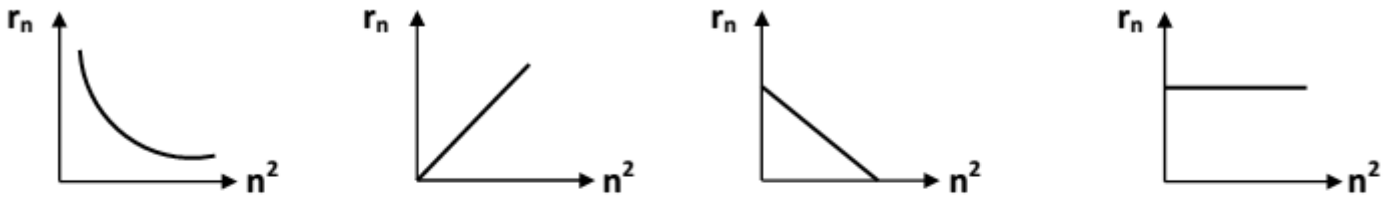
❒ الطول الموجي للفوتون ❒ طاقة الفوتون وطوله الموجي

17- انبعث فوتون نتيجة انتقال الإلكترون من مستوى طاقة $E_1 = (-1.51)$ ev إلى مستوى طاقة $E_2 = (-3.4)$ ev

فإن طول موجة الفوتون المنبعث بوحدة m تساوي :

☑ 6.52×10^{-7} ❒ 2.29×10^{14} ❒ 4.6×10^{14} ❒ 1.244×10^{-15}

18- أفضل خط بياني يمثل العلاقة بين نصف قطر مدار الالكترون في ذرة الهيدروجين (r_n) ومربع رتبة المدار (n^2) :



❒ ☑ ❒ ❒

19- طول موجة الفوتون المنبعث من نواة ($^{24}_{12}Mg$) عندما تنتقل من مستوى اثارة J ($E_3 = 8.352 \times 10^{-13}$) الى مستوى J ($E_4 = 6.592 \times 10^{-13}$) يكون مساوياً :

❒ 1.32×10^{-13} ☑ 1.125×10^{-12} ❒ 1.32×10^{13} ❒ 1.125×10^{12}

20- زيادة تردد الضوء الساقط على سطح لوح معدني حساس للضوء (الباعث) عن تردد العتبة يؤدي الى :

❒ زيادة معدل امتصاص الالكترونات للطاقة . ❒ نقص معدل امتصاص الالكترونات للطاقة .

❒ نقص الطاقة الحركية للإلكترونات المنبعثة. ☑ زيادة الطاقة الحركية للإلكترونات المنبعثة.

21- عندما ينتقل الكترون ذرة الهيدروجين من مداره الاول الى المدار الثالث فان نصف قطر مداره :

❒ يقل الى الثلث ☑ يزداد الى تسعة أمثال قيمته

❒ يقل الى التسع ❒ يزداد الى ثلاثة أمثال قيمته

22- عندما ينتقل الكترون ذرة الهيدروجين من مستوى طاقته (-3.4) e V إلى مستوى طاقته (-13.6) e V ينبعث فوتون طاقته بوحده e V تساوي :

❒ -17 ❒ 1.63×10^{-18} ❒ -10.2 ☑ 10.2

23- أسقط ضوء طاقة فوتوناته (10) ev على سطح فلز داله الشغل له (3) ev فإن الطاقة الحركية للإلكترون المنبعث بوحدة الجول (J) تساوي :

❒ 1.63×10^{-18} ❒ 7 ☑ 1.12×10^{-18} ❒ 13

24- سقط ضوء احادي اللون شدته (T) على سطح فلز فلم تنبعث منه الكترونات ضوئية ولكي تنبعث من هذا السطح الكترونات ضوئية يجب زيادة :

☐ شده نفس الضوء الساقط بشكل كاف ☑ تردد الضوء الساقط بقدر كاف

☐ طول موجة الضوء الساقط بقدر كاف ☐ مدة سقوط الضوء الساقط لمده كافيه

25-

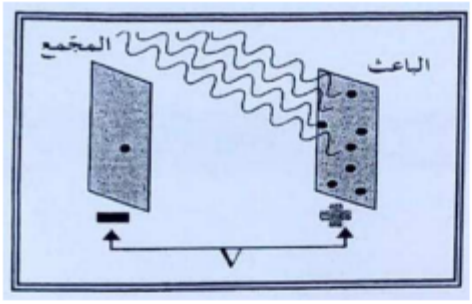
☐ لم يرد في المنهج الجديد

☑

26- إذا كان تردد العتبة للألمنيوم Hz (9.846×10^{14}) فتكون أقل مقدار للطاقة تلزم لتحرير الكترون من سطحه دون اكسابه طاقه حركيه مساويه بوحدة (J) :

☐ 1.63×10^{-19} ☑ 6.49×10^{-19} ☐ 1.12×10^{-18} ☐ 32×10^{-19}

27- اذا علمت ان اكبر فرق جهد يمنع انتقال الالكترونات من السطح الباعث للإلكترونات الى المجمع يساوي v (5) فان الطاقة الحركية الالكترونات المنبعثة بوحده (ev) تساوي:



☐ 1.63×10^{-19} ☐ 32×10^{-19}

☐ 8×10^{-19} ☑ 5

28- كمية الحركة الزاوية لإلكترون ذرة الهيدروجين في المدار الثاني (n = 2) بدلالة ثابت بلانك (h) تساوي :

☐ $\frac{2h}{\pi}$ ☑ $\frac{h}{\pi}$ ☐ $2h$ ☐ $\frac{h}{2\pi}$

29- كمية الحركة الزاوية لإلكترون ذرة الهيدروجين في المدار الأول (n = 1) بدلالة ثابت بلانك (h) تساوي :

☐ $\frac{2h}{\pi}$ ☐ $\frac{h}{\pi}$ ☐ $2h$ ☑ $\frac{h}{2\pi}$

29- كمية الحركة الزاوية لإلكترون ذرة الهيدروجين في المدار الثالث (n = 3) بدلالة ثابت بلانك (h) تساوي :

☑ $\frac{3h}{\pi}$ ☐ $\frac{h}{\pi}$ ☐ $2h$ ☐ $\frac{h}{2\pi}$

مراجعة الوحدة

1. أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة لكل جملة ممّا 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
جـ. زيادة تردّد الضوء الساقط على الفلزّ
د. تقليل تردّد الضوء الساقط على الفلزّ

2. وفقاً لتصوّر الفيزياء الكلاسيكية للظاهرة الكهرضوئية:

أ. تتحرّر الإلكترونات تحرّرًا فوريًّا.
ب. تزداد الطاقة الحركيّة العظمى للإلكترونات المتحرّرة بزيادة تردّد الضوء الساقط.
جـ. يستغرق تحرّر الإلكترونات بعض الوقت حتى تتمكّن من اكتساب الطاقة اللازمة للتحرّر.
د . لا تتحرّر الإلكترونات من سطح الفلزّ عند التردّدات العالية للضوء.

3. طبقًا لظاهرة كومبتون، فإنّ:

أ. سرعة الفوتونات الساقطة وتردّدها أكبر من سرعة وتردّد الفوتونات المشتَّتة.
ب. تردّد الفوتونات المشتَّتة أكبر من تردّد الفوتونات الساقطة.
جـ. طول موجة الفوتونات المشتَّتة أكبر من طول موجة الفوتونات الساقطة.
د . طاقة الفوتونات المشتَّتة أكبر من طاقة الفوتونات الساقطة.

4. إذا تضاعف الطول الموجيّ للفوتون مرتين فإنّ:

أ . طاقته تقلّ إلى النصف، وكذلك زخمه الخطي.
ب. طاقته تبقى ثابتة ويقلّ زخمه الخطي إلى النصف.
جـ. طاقته تتضاعف مرتين ويبقى زخمه ثابتاً الخطي.
د. طاقته تبقى ثابتة ويبقى زخمه الخطي كذلك.

5. يُحسب الزخم الخطي للفوتون من العلاقة:

أ. mv
ب. Ec
جـ. $\frac{E}{c}$
د. $\frac{h}{f}$

6. 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.
جـ. أكبر ما يمكن في منطقة الأطوال الموجيّة للضوء المرئي.
د . متساوية عند جميع الأطوال الموجيّة للإشعاع.

7. لم يتطابق نموذج رايلي–جينز مع النتائج التجريبية لإشعاع الجسم الأسود في منطقة:

أ. الأطوال الموجيّة الكبيرة .
ب. الأطوال الموجيّة القصيرة.
جـ. الترددات الصغيرة.
د . الأطوال الموجيّة جميعها للإشعاع.

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

أ. $2\hbar$ ب. $3\hbar$ جـ. $\hbar$ د. $4\hbar$

9. يزداد طول موجة دي بروي المُصاحِبة لجُسيم إذا :

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

10. يزداد عدد الإلكترونات المتحررة من سطح فلز عند سقوط ضوء عليه بزيادة:

أ. شدّة الضوء ب. تردّد الضوء جـ. طول موجة الضوء د. طاقة الضوء

11. عندما تتفاعل الفوتونات مع الإلكترونات على نحو ما هو في الظاهرة الكهرضوئية، فأيّ العبارات الآتية صحيحة؟

أ . يفقد الفوتون جزءًا من طاقته، ويزداد تردده.

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

جـ. يمتصّ الإلكترون طاقة الفوتون كلّها.

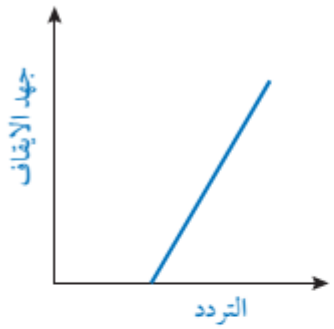
د. يفقد الفوتون جزءًا من طاقته، ويبقى تردّده ثابتًا.

12. 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.

جـ. اختلاف طاقة الفوتونين. د. اختلاف شدّة الضوء.

13. يمثّل الرسم البياني المجاور العلاقة بين جهد الإيقاف وتردّد الضوء الساقط في الخلية الكهرضوئية، ميل هذه العلاقة هو:



أ. h ب. $\frac{e}{h}$

جـ. $\frac{h}{e}$ د. $\frac{\Phi}{h}$

2. **أستخدم المتغيّرات:** إلكترون ذرة الهيدروجين زخمه الزاويّ $3\hbar$، أجد طاقته.

3. **أستخدم المتغيّرات:** 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.

4. **أُصدر حكماً:** سقط ضوء على سطح فلزّ فتحرّرت منه إلكترونات، أُبيّن ما يحدث لعدد الإلكترونات المتحرّرة وطاقتها إذا:

أ . زادت شدّة الضوء مع بقاء تردّده ثابتاً.

ب. زاد تردّد الضوء مع بقاء شدّته ثابتة.

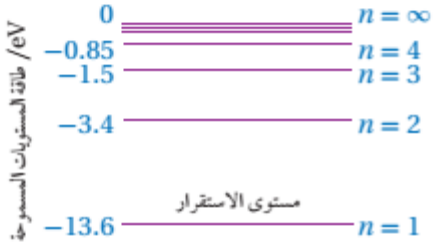
5. **أناقش:** إلكترون في مستوى الاستقرار لذرة الهيدروجين، أناقش ما يحدث للإلكترون إذا سقط عليه فوتون طاقتُه:
   أ. 7.0 eV
   ب. 12.1 eV
   جـ. 20.0 eV

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

7. **أحلّل الشكل:** يبيّن الشكل المجاور بعض مستويات الطاقة لإلكترون في ذرة الزئبق:

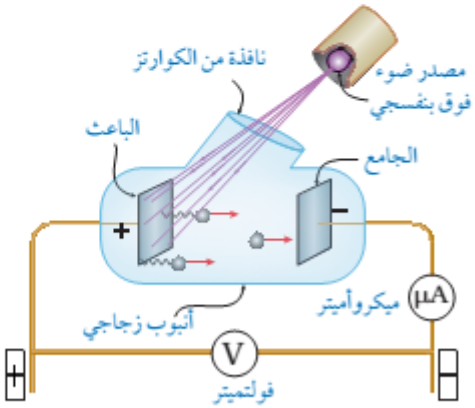
   أ. أجد أعلى طاقة فوتون يمكن أن ينبعث من الانتقالات بين هذه المستويات.
   ب. أجد أقلّ طاقة فوتون يمكن أن ينبعث من الانتقالات بين هذه المستويات.

8. **حلّ المشكلات:** ظهر خط مُعتم في طيف الامتصاص لذرة الهيدروجين عند التردّد (6.15×10^{14} Hz)، بالاعتماد على مستويات الطاقة لذرة الهيدروجين في الشكل، أُبيّن بالحسابات بينَ أيّ مستويي طاقة انتقل الإلكترون ليظهر هذه الخط المعتم.



9. **أستخدم المتغيّرات:** سُرِّعَ إلكترون بفرق جهد (ΔV)، أثبتُ أنّ طول موجة دي بروي المصاحِبة له يساوي $\frac{h}{\sqrt{2\,m\,e\,\Delta V}}$.

10. **التفكير الناقد** يمثّل الشكل المجاور تجربة لدراسة الظاهرة الكهرضوئية قام بها العالم لينارد، وكان تردّد الضوء الساقط (8×10^{14} Hz). اعتمادًا على ذلك، أُجيب عمّا يأتي:
   أ. أبيّن ماذا يحدث لقراءة الأميتر عند زيادة فرق الجهد، وأناقشُ أفراد مجموعتي في سبب ذلك.



   ب. عند فرق جهد (2 V) أصبحت قراءة الأميتر(صفرًا). فماذا يُسمّى فرق الجهد في هذه الحالة؟
   جـ. أناقش أفراد مجموعتي في تأثير زيادة شدة الضوء في قراءة الأميتر عندما تكون قراءته صفرًا.
   د. أناقش أفراد مجموعتي في تأثير زيادة تردّد الضوء في قراءة الأميتر عندما تكون قراءته صفرًا.
   هـ. كيف تعارضت النتائج في (جـ) و (د) مع الفيزياء الكلاسيكية؟
   و. أحسب تردّد العتبة لفلزّ الباعث.

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

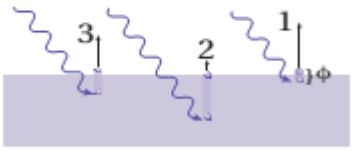
أ . **أفسّر** سبب ظهور هذه الخطوط.

ب. **أحسب:** أحدُ الخطوط يقابل الطول الموجيّ (686.7 nm)، أحسُب الطاقة التي امتصها الإلكترون لينتج هذا الخط بوحدة (eV).

12. أحسُب: سقط ضوء على سطح فلزٍّ، فكانت الطاقة الحركيّة العظمى للإلكترونات المنبعثة (2 eV)، 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)

13. أفسّر: يبيّن الشكل المجاور توضيحاً بسيطاً للتصوّر الذي وضعه أينشتين للظاهرة الكهرضوئية.



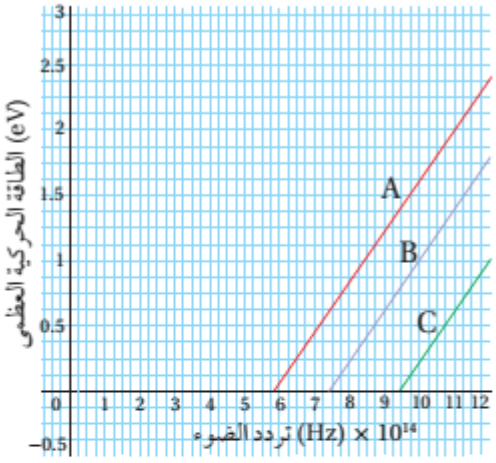
أ . ما فرضيته فيما يتعلق بالضوء؟

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

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

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

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



أ . أفسّر توازي المنحنيات الثلاثة.

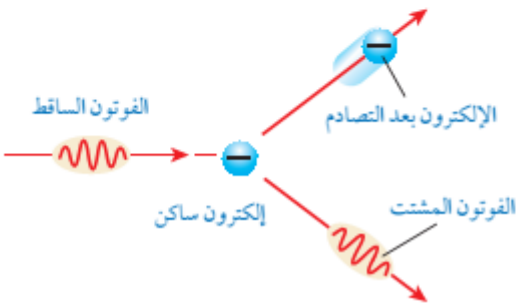
ب. أجد مقدار ثابت بلانك بوحدة (eV.s) وبوحدة (J.s) (أستخدم الخط A).

جـ. أجد اقتران الشغل للفلزِ (A).

د . إذا سقط ضوء تردّده (8×10^{14} Hz)، أُحدّد أيّ الفلزات الثلاثة تنطلق منه إلكترونات ضوئية. وأيّها تنطلق منه الإلكترونات بطاقة حركيّة عظمى أكبر.

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

15. أحلل: أسقط كومبتون أشعة سينيّة على هدف من الغرافيت على نحو ما هو مبيّن في الشكل المجاور:



أ . أقارن بين الأشعّة المشتّتة والأشعّة الساقطة من حيث التردّد والطول الموجيّ والسرعة.

ب. ماذا تساوي طاقة الإلكترون بعد التصادم؟

16. **أستخدم المتغيّرات:** أجد النسبة بين الزخم الخطّي لفوتون طاقته (E)، والزخم الخطّي لإلكترون حرّ يملك الطاقة نفسها.

17. **أذكر:** للضوء طبيعة مزدوجة موجيّة–جُسيميّة، أذكر ظواهر فيزيائية تدلّ على أنّ للضوء طبيعة موجيّة، وظواهرَ أخرى تدلّ على أنّ له طبيعة جُسيميّة.

18. **أستنتج:** الأجسام كلّها في الغرفة تبعث أشعّة كهرمغناطيسيّة، فلماذا لا نستطيع رؤية هذه الأجسام في غرفة مُعتمة؟

19. **أستخدم المتغيّرات:** إذا كان الطول الموجيّ لفوتون قبل الاصطدام بإلكترون حرّ ساكن ($60 \times 10^{-9}\ \text{m}$)، وبعد الاصطدام به صار ($80 \times 10^{-9}\ \text{m}$)، أحسب مقدار ما يأتي:

أ. الزخم الخطيّ للفوتون قبل التصادم.

ب. الطاقة التي اكتسبها الإلكترون في أثناء عملية التصادم.

20. **أفسّر** اعتمادًا على النموذج الجُسيميّ للضوء:

أ. زيادة شدّة الضوء الساقط تؤدّي إلى زيادة التيار الكهرضوئيّ دون زيادة الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحرّرة.

ب. الانبعاث الفوري للإلكترونات من سطح الفلزّ عند سقوط إشعاع كهرمغناطيسيّ بتردّد مناسب على سطحه.

21. **أفسر:** سقطت حزمتان ضوئيتان بتردّدين مختلفين (f_1, f_2) 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.

22. **أستخدم المتغيرات:** في الخلية الكهرضوئيّة، إذا كانت الطاقة الحركيّة العظمى للإلكترونات الضوئيّة المُنطلِقة من سطح فلزّ الباعث ($1.6 \times 10^{-19}\ \text{J}$) جول عند سقوط ضوء طول موجته (380 nm)، أحسبُ ما يأتي :

أ. اقتران الشغل لفلزّ الباعث. ب. تردّد العتبة للفلزّ جـ. جهد الإيقاف.

مراجعة الوحدة السادسة

1. الاختيار من متعدّد:

الفقرة	الإجابة
1	جـ
2	جـ
3	جـ
4	أ
5	جـ
6	جـ
7	ب
8	أ
9	د
10	أ
11	جـ
12	أ
13	جـ

2. أستخدم المتغيرات:

$$L = n\hbar = 3\,\hbar \quad \Rightarrow n = 3$$

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

3. أستخدم المتغيرات:

أ.
$$f_0 = \frac{\phi}{h} = \frac{2.2\times1.6\times10^{-19}}{6.63\times10^{-34}} = 5.3\times10^{14}\text{Hz}$$

ب.
$$KE_{\max} = hf - \phi = h\frac{c}{\lambda} - \phi$$

$$KE_{\max} = 6.63\times10^{-34}\frac{3\times10^{8}}{300\times10^{-9}} - 2.2\times1.6\times10^{-19} = 3.1\times10^{-19}\,\text{J}$$

4. **أصدر حكماً:**

		عدد الإلكترونات المتحررة	الطاقة الحركية العظمى
أ.	زادت شدة الضوء مع بقاء تردده ثابتاً.	يزداد	لا تتأثر
ب.	زاد تردد الضوء مع بقاء شدته ثابتة.	لا يتأثر	تزداد

5. **أناقش:**

أ. الإلكترون لا يمتص طاقة لأن طاقة الفوتون الساقط غير كافية لنقل الإلكترون إلى أيّ من مستويات الطاقة. فأقل طاقة يمكن أن يمتصها إلكترون تساوي (10.2 eV) لنقله من مستوى الاستقرار إلى مستوى الطاقة الثاني.

ب. الإلكترون يمتص الفوتون وينتقل الى مستوى الطاقة الثالث.

ج. الإلكترون يمتص الفوتون، ويُستهلك (13.6 eV) من الطاقة ليتحرر من الذرة، وما يزيد عن ذلك (6.4 eV) يظهر على شكل طاقة حركية للإلكترون.

6. **أتوقع:**

يمكن أن ينتقل إلى مستوى الطاقة الأول فيكون فرق الطاقة

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

أو يمكن أن ينتقل إلى مستوى الطاقة الثاني

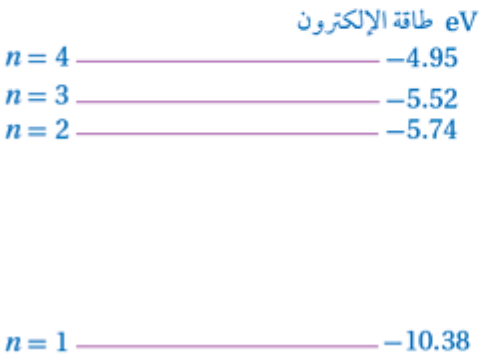
$$\Delta E = E_2 - E_3 = -3.4 - (-1.5) = -1.9 \text{ eV}$$

ثم من مستوى الطاقة الثاني إلى مستوى الطاقة الأول

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

والإشارة السالبة تعني أن الإلكترون فقد طاقة.

7. **أحلل الشكل:**



أ. أعلى طاقة فوتون يمكن أن ينبعث عندما ينتقل الإلكترون من مستوى الطاقة $(n = 4)$ إلى مستوى الاستقرار $(n = 1)$ حيث تساوي:

$$\Delta E = |-10.38 - (-4.95)| = 5.43 \text{ eV}$$

ب. أقل طاقة فوتون يمكن أن ينبعث عندما ينتقل الإلكترون من مستوى الطاقة $(n = 3)$ إلى مستوى الطاقة $(n = 2)$. حيث تساوي:

$$\Delta E = |-5.74 - (5.52)| = 0.22\ \text{eV}$$

8. حل مشكلات:

أحسب طاقة الفوتون:

$$E = h f = 6.63 \times 10^{-34} \times 6.15 \times 10^{14}$$
$$= 4.08 \times 10^{-19}\text{J}$$

أحولها إلى وحدة (eV):

$$E = \frac{4.08 \times 10^{-19}}{1.6 \times 10^{-19}} = 2.55\ \text{eV}$$

وهذه الطاقة تساوي فرق الطاقة بين مستويي الطاقة الرابع والثاني، وهذا يعني أن الإلكترون انتقل من مستوى الطاقة الثاني إلى مستوى الطاقة الرابع.

9. أستخدم المتغيرات:

أحسب طول موجة دي بوري من:

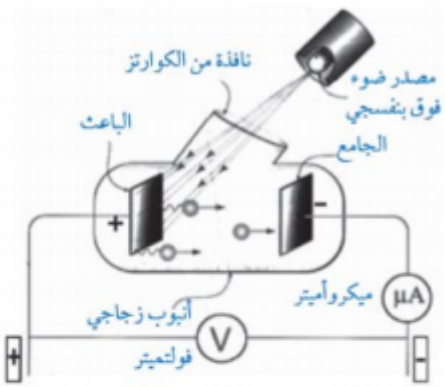
$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m\,v}$$

وأجد السرعة من الطاقة الحركية

$$KE = \frac{1}{2} m\ v^2 = e\,\Delta V$$
$$v = \sqrt{\frac{2\ e\Delta V}{m}}$$

أعوض في طول موجة دي بروي:

$$\lambda = \frac{h}{m\sqrt{\frac{2\ e\Delta V}{m}}} = \frac{h}{\sqrt{2\,m\,e\,\Delta V}}$$



10. 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.

ت. يُسمّى فرق جهد الإيقاف.

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

د. لا تبقى قراءة الأميتر صفراً، أي أن تياراً قد نشأ؛ ما يعني أن الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات قد زادت وتغلبت 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 صفراً عند زيادة شدة الضوء في الفرع (ج). كما تتنبأ الفيزياء الكلاسيكية بأن تبقى قراءة الأميتر تساوي صفرًا في الفرع (د).

و. أحسب تردد العتبة لمادة الباعث:

$$\phi = h f - KE_{\max}$$

$$h f_0 = h f - e V_s$$

$$f_0 = \frac{h f - eV_s}{h}$$

$$f_0 = f - \frac{e V_s}{h} = 8.0 \times 10^{14} - \frac{2 \times 1.6 \times 10^{-19}}{6.63 \times 10^{-34}} = 3.2 \times 10^{14}\ \text{Hz}$$

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

ب. **أحسب:** الطاقة:

$$E = h\,f = h\frac{c}{\lambda} = 6.63\times10^{-34}\frac{3\times10^{8}}{686.7\times10^{-9}} = 2.89\times10^{-19}\ \text{J}$$

$$E = \frac{2.89\times10^{-19}}{1.6\times10^{-19}} = 1.81\ \text{eV}$$

12. **أحسب:**

أ: اقتران الشغل للفلز:

$$\phi = h\,f_o = h\frac{c}{\lambda_0} = 6.63\times10^{-34}\frac{3\times10^{8}}{682\times10^{-9}} = 2.9\times10^{-19}\ \text{J}$$

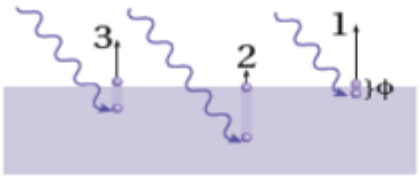
ب. فرق جهد القطع (الإيقاف):

$$KE_{\max} = e\,V_s \quad \Rightarrow \quad V_s = \frac{2\ \text{eV}}{e} = 2\ \text{V}$$

13. **أفسر:**

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. $KE_1 > KE_3 > KE_2$ (بافتراض ان الفوتونات جميعها تمتلك مقدار الطاقة نفسه)

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.

14. **أحلل رسماً بيانياً:**

أ. توازي الخطوط الثلاثة يعني رياضياً أنّ ميلها متساوٍ. وباستخدام العلاقة $KE_{\max} = h\,f - \phi$ فإن ميل كل من الخطوط الثلاث يساوي ثابت بلانك (h).

ب.

$$h = \frac{\Delta KE_{\max}}{\Delta f} = \frac{2-0}{11\times10^{14}-5.8\times10^{14}} = 3.85\times10^{-15}\ \text{eV.s}$$

$$= 3.85\times10^{-15}\times1.6\times10^{-19} = 6.16\times10^{-34}\ \text{J.s}$$

القيمة المحسوبة لثابت بلانك (h) تختلف قليلا عن القيمة المقبولة نظرا لأخطاء تجريبية.

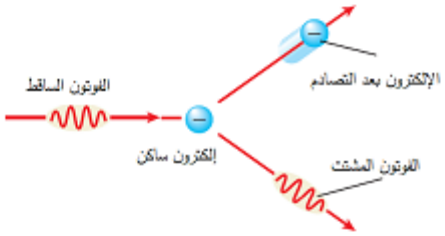
ج.

$$\phi = h f_0 = 6.16\times10^{-34}\times5.8\times10^{14} = 3.6\times10^{-19}\ \text{J}$$

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

هـ. $\phi(\text{A}) < \phi(\text{B}) < \phi(\text{C})$

15. أ: تردد الأشعة المشتتّة وطاقتها أقل مقارنة مع الكميات المقابلة للأشعة الساقطة، ولكنها ذات طولٍ موجيّ أكبر. الأشعة المشتتّة والأشعة الساقطة يمتلكان مقدار السرعة نفسه وهو مقدار سرعة الضوء.



ب. $E_e = E_{\text{i}} - E_{\text{f}}$، حيث E_{i} طاقة الضوء الساقط و E_{f} طاقة الضوء المشتت.

16. **أستخدم المتغيرات:**

للفوتون $p_{photon} = \frac{E}{c}$

للإلكترون نجد سرعته أولاً من الطاقة الحركية:

$$E = KE = \frac{1}{2}m v^2 \quad \Rightarrow \quad v = \sqrt{\frac{2E}{m}}$$

ومنه $p_{electron} = m v = \sqrt{2\,m\,E}$

$$\frac{p_{photon}}{p_{electron}} = \frac{\frac{E}{c}}{\sqrt{2\,m\,E}} = \frac{1}{c}\sqrt{\frac{E}{2m}}$$

17. **أذكر:**

طبيعة موجية: الحيود والتداخل.

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

18. **أستنتج:**

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

19. **أستخدم المتـغـيّرات:**

أ. الزخم الخطيّ للفوتون قبل التصادم.

$$p = \frac{h}{\lambda} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{60 \times 10^{-9}} = 1.11 \times 10^{-26} \text{ kg m/s}$$

ب. الطاقة التي اكتسبها الإلكترون في أثناء عملية التصادم.

$$E_e = E_\text{i} - E_\text{f} = p_\text{i}\, c - p_\text{f} c = \left(\frac{h}{\lambda_\text{i}} - \frac{h}{\lambda_\text{f}}\right) c = \left(\frac{1}{\lambda_\text{i}} - \frac{1}{\lambda_\text{f}}\right) h\, c$$

$$= \left(\frac{1}{60 \times 10^{-9}} - \frac{1}{80 \times 10^{-9}}\right) 6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^{8}$$

$$= 8.3 \times 10^{-19} \text{ J} = 5.2 \text{ eV}$$

20. **أفسّر:**

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 الكهرضوئي.

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

21. أفسر:

$$\Phi_X > \Phi_Y$$

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

بطرح $(KE_{\max})$ من الطرفين لأنها متساوية

$$hf_1 > hf_2$$

وبالقسمة على (h)

$$f_1 > f_2$$

بما أن الطاقة الحركية العظمى متساوية في كلا الحالتين، فإن الفلز الذي له اقتران شغل أكبر سقط عليه ضوء بتردد أكبر.

22. أستخدم المتـــغـــيّرات:

أ. اقتران الشغل لفلزّ الباعث.

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

$$= h\frac{c}{\lambda} - KE_{\max} = 6.63 \times 10^{-34} \frac{3 \times 10^8}{380 \times 10^{-9}} - 1.6 \times 10^{-19}$$

$$= 5.2 \times 10^{-19} - 1.6 \times 10^{-19} = 3.6 \times 10^{-19} \text{J}$$

ب. تردّد العتبة للفلزّ

$$f_0 = \frac{\phi}{h} = \frac{3.6 \times 10^{-19}}{6.63 \times 10^{-34}} = 5.4 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

ج. جهد الإيقاف.

$$V_s = \frac{KE_{\max}}{e} = \frac{1.6 \times 10^{-19}}{1.6 \times 10^{-19}} = 1 \text{ V}$$