الوحـــــدة السادســة
الإشعـاع والمـادة
Matter And Radiation

عند سقوط شعاع ضوئي تثار الذرة ويحدث طيف لها أي أن هناك علاقة وثيقة بينهم ينتج عنها تفاعل المادة مع الإشعاع الساقط عليها فتحدث ظواهر طبيعية مثل الظاهرة الكهروضوئية والأشعة السينية وأشعة الليزر.

الظاهـــــــرة الكهروضـــــــوئيـــــــة

هي ظاهرة انبعاث الإلكترونات من سطح الفلز عند سقوط ضوء ذو تردد معين عليه.
وتسمى الإلكترونات المنبعثة بالإلكترونات الضوئية أو الفوتو إلكترونات.

الإلكترونات الضوئية:

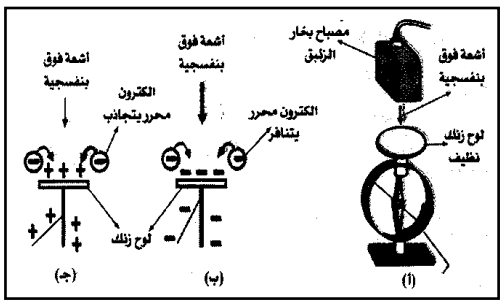
هي الإلكترونات المنبعثة من سطح الفلز عند سقوط ضوء عليه.

نبذه تاريخية عن اكتشاف الظاهرة:

١) يعتبر (هرتز) أول من اكتشفها عندما لاحظ أنه عند سقوط ضوء طوله الموجي قصير أي تردده عالي مثل الأشعة فوق بنفسجية على لوح خارصين فإنه تنبعث منه إلكترونات.
٢) حاول العلماء هالوواش وطومسون تفسير الظاهرة بتطبيق النظرية الموجية التقليدية للضوء ولكنهم عجزوا عن تفسيرها.
٣) اثبت اينشتين أنه يمكن أن تنبعث الإلكترونات من سطح الفلز بسقوط ضوء مرئي عليه مستعيناً بنظرية الكم لبلانك واستطاع تفسيرها على أساس أن الضوء عبارة عن فوتونات أي أمواج كهرومغناطيسية لها طبيعة جسيمية.

تجربة لإثبات الظاهرة الكهروضوئية:

١) ثبت لوح زنك (خارصين) بعد تنظيفه على قرص كشاف كهربي كما في الرسم.
٢) أدلك قضيب ابونيت بالصوف فيكتسب شحنة سالبة ويكتسب الصوف شحنة موجبة.
٣) أجعل القضيب يلامس اللوح نلاحظ انفراج ورقتي الكشاف لأن اللوح أصبح سالب الشحنة وكذلك الورقتان فيحدث تنافر بينهما.
٤) أسقط أشعة فوق بنفسجية من مصباح بخار الزئبق على اللوح نلاحظ أن الورقتان يقل انفراجهم تدريجياً ثم تنطبقان.
٥) ضع لوح زجاجي على اللوح وأسقط الأشعة تلاحظ عدم انفراج الورقتين.
٦) أشحن اللوح بشحنة موجبة بواسطة الصوف وكرر ما سبق نلاحظ زيادة انفراج الورقتين.



الاستنتـــاج:

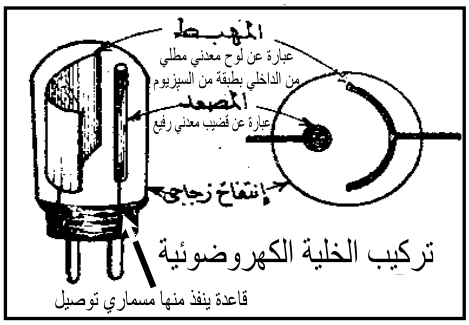
١) عند سقوط الضوء على لوح الزنك السالب تنطلق منه إلكترونات فيصبح سطحه مشحون بشحنة موجبة تتعادل مع الشحنات السالبة على ورقتي الكشاف فتنطبق الورقتان.
٢) عند وضع لوح زجاجي عليه فإن الزجاج يمتص الأشعة فوق البنفسجية الساقطة فيمنع وصولها إلى لوح الزنك فيمنع حدوث الظاهرة الكهروضوئية.
٣) عند شحن لوح الزنك بشحنة موجبة وسقوط الضوء عليه تنبعث منه إلكترونات وتزداد شحنته الموجبة فيزداد انفراج ورقتي الكشاف.

الخليـــــــة الكهروضوئيـــــــة

التطبيق العملي للظاهرة:

الغرض منها (تعريفها):

جهاز يمكن بواسطته تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كهربية بطريقة غير مباشرة.



تركيب الخلية الكهروضوئية

تركيبهـا:

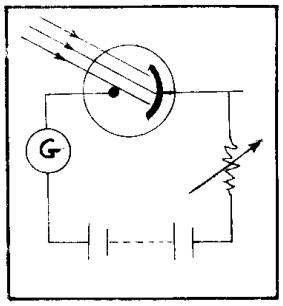
١) **انتفاخ (أنبوب):** من الكوارتز مفرغ من الهواء.
٢) **كاثود (مهبط):** يوجد بداخل الانتفاخ ويتكون من صفيحة معدنية مقعرة (C) مطلية من الداخل بطبقة رقيقة من السيزيوم (لأنه حساس لجميع موجات الضوء) تنبعث منها الإلكترونات عند سقوط الضوء عليها.
٣) **آنود (مصعد):** يوجد بداخل الانتفاخ وهو عبارة عن قضيب معدني رفيع (A) يوضع في مركز تكور الصفيحة
٤) **مسماران معدنيان:** مثبتان في قاعدة الخلية يتصل أحدهما بالكاثود والآخر بالآنود.

الشروط الواجب توافرها في تركيب الخلية:

١) الانتفاخ الزجاجي يكون مفرغ من الهواء (**علـــل**) وذلك لسببين:
أ) منع تأكسد الفلز القلوي (السيزيوم) فيصبح غير حساس للضوء.
ب) حتى لا تعيق حركة الإلكترونات المتجهة للمصعد.
٢) الانتفاخ الزجاجي يفضل أن يكون من مادة الكوارتز (**علـــل**).
وذلك لأن الزجاج العادي يسمح بنفاذ الضوء المرئي ولكنه يمتص الأشعة فوق البنفسجية منها أما الكوارتز فيسمح بنفاذها.
٣) الكاثود يكون مقعر الشكل (**علـــل**).
حتى تكون الإلكترونات المنبعثة عمودية على سطح الكاثود وبالتالي تتجمع عند مركز تكور الكاثود حيث يوجد عنده الآنود.
٤) الآنود قضيب معدني رفيع (**علـــل**).
حتى لا يحجب الضوء عن الكاثود.

دائرة الخلية وشرح عملها:

١) نكون الدائرة الكهربية كما بالرسم.
٢) نسقط حزمة ضوئية من مصباح كهربي بتردد معين على كاثود الخلية نلاحظ انحراف مؤشر الجلفانومتر مما يدل على أن الدائرة مغلقة ولذلك يمر تيار كهربي بسبب تحرر بعض الإلكترونات من الكاثود وانجذابها للآنود تحت تأثير فرق الجهد بينهما.



٣) نحجب الضوء عن الخلية نلاحظ عدم انحراف مؤشر الجلفانومتر أي لا يمر تيار كهربي بسبب توقف تحرر الإلكترونات من سطح الكاثود.

الاستنتـاج:

عند سقوط ضوء ذو تردد معين على كاثود الخلية فإنه يسبب مرور تيار كهربي في دائرة الخلية.

استخدامات الخلية الكهروضوئية:

تستخدم على نطاق واسع في الهندسة والصناعة إذ تعتبر مفتاح كهربي لدائرة كهربية أخرى تتحكم في غلق وفتح الدائرة.

ولذلك فإن الخلية لها تطبيقات هامة في مجالات متعددة مثل:

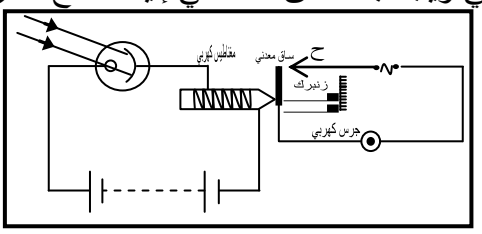
(١) **آلات التصوير:** كمقياس لشدة الضوء لتحديد سعة الفتحة المعرضة للضوء.
(٢) آلة التصوير التليفزيوني لتحويل الأضواء المنعكسة إلى تيار كهربي.
(٣) أجهزة عد النقود – الجرائد – المنتجات الصناعية.
(٤) غلق وفتح الأبواب تلقائياً في الفنادق – المستشفيات وغيرها.
(٥) إضاءة أنوار الشوارع بطريقة آلية عند الغروب وإطفاءها عند شروق الشمس.
(٦) جرس إنذار ضد اللصوص في البنوك والشركات وغيرها.

تطبيق عملي على استخداماتها:

دائرة جرس الإنذار ضد اللصوص:

شرح العمـل:

١)تضاء الخلية بحزمة ضوئية غير مرئية من الأشعة فوق البنفسجية فتنبعث الإلكترونات ويمر تيار في دائرة الخلية فيتمغنط المغناطيس الكهربي ويجذب الساق المعدني إليه فتفتح دائرة الجرس ولا يعمل.



٢)عندما يعترض شخص طريقة الأشعة ينعدم تيار الخلية فيفقد المغناطيس مغنطته ويرتد الساق المعدني وتصبح دائرة الجرس مغلقة فيمر تيار كهربي ويصدر صوت الجرس.

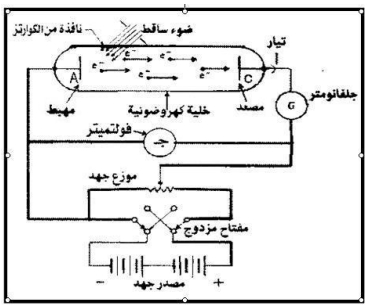
ملاحظة: **تستخدم نفس الدائرة في إضاءة الشوارع بطريقة آلية.**

حيث: أ) عند شروق الشمس يمر تيار في دائرة الخلية وتفتح دائرة المصابيح فتنطفئ.
ب) عند غرب الشمس لا يمر تيار في دائرة الخلية وتغلق دائرة المصابيح فتضاء.

تجربة مليكان لدراسة الظاهرة الكهروضوئية:

قام (مليكان) عام ١٩١٦م بدراسة الظاهرة الكهروضوئية بتجربة عملية وتحقق من تفسير اينشتين لها وفي الشكل مخطط الجهاز الذي استخدمه وقد توصل إلى النتائج التالية:

(١) العلاقة بين شدة تيار الخلية وشدة الضوء الساقط:

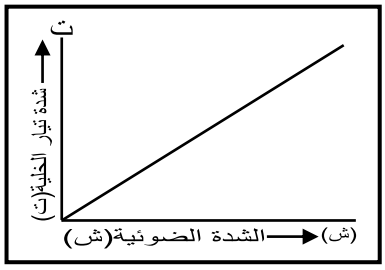


خطوات التجربة:

١) نكون الدائرة كما بالشكل مع ثبوت فرق الجهد (بعدم تحريك الزالق) وكذلك التردد (باستخدام مرشح ضوئي معين).
٢) نسقط ضوء أحادي اللون على مهبط الخلية.
٣) نغير شدة الضوء الساقط بتحريك المصباح الضوئي بعداً أو قرباً عن المهبط ونسجل قراءة شدة التيار في كل حالة.

المشاهدة:

تزداد شدة تيار الخلية كلما اقترب مصدر الضوء من مهبط الخلية.



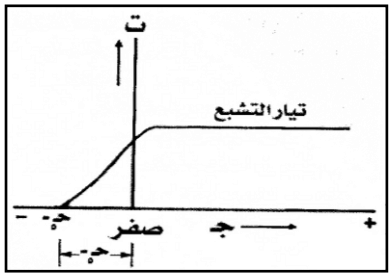
الاستنتاج:

شدة تيار الخلية الكهروضوئية تتناسب طردياً مع شدة الضوء الساقط على الخلية.

(٢) العلاقة بين شدة تيار الخلية وفرق الجهد بين المصعد والمهبط (رسم المنحنى المميز للخلية الكهروضوئية)

خطوات التجربة:

١) نكون الدائرة كما بالشكل مع ثبوت التردد وشدة الضوء الساقط (يوضع المصدر الضوئي على بعد ثابت من الخلية).
٢) نسقط ضوء أحادي اللون على المهبط ونسجل شدة التيار.
٣) نزيد فرق الجهد تدريجياً (بمقدار ١ فولت) ونسجل شدة التيار في كل حالة.
٤) نقلل فرق الجهد تدريجياً (بمقدار ١ فولت) حتى يصل إلى الصفر ونسجل شدة التيار في كل حالة.
٥) نعكس توصيل موزع الجهد بواسطة المفتاح المزدوج بحيث يتصل المهبط بالقطب الموجب والمصعد بالقطب السالب لموزع الجهد ونكرر التجربة كما سبق.
٦) نرسم علاقة بيانية بين تغيرات فرق الجهد وتغيرات شدة التيار المناظرة لها.



الاستنتاج:

١) العلاقة البيانية ليست خط مستقيم وإنما يمثلها منحنى.
٢) عندما يكون فرق الجهد بين المصعد والمهبط = صفر: يمر تيار في دائرة الخلية.
وتفسير ذلك: أن الضوء الساقط على المهبط ينتزع الإلكترونات من سطح المهبط ثم يكسبها طاقة حركية تمكنها من الوصول إلى المصعد فيمر تيار كهربي.
٣) عندما يكون جهد المصعد موجباً بالنسبة لجهد المهبط:
أ) تنجذب الإلكترونات المنبعثة نحو المصعد الموجب فيمر تيار كهربي وبزيادة فرق الجهد تزداد قدرة المصعد على جذب الإلكترونات فتزداد شدة تيار الخلية.
ب) عند فرق جهد معين تثبت شدة تيار المصعد مهما زاد جهد المصعد.
تفسير ذلك: أن جهد المصعد الموجب يكون قادر على جذب جميع الإلكترونات المنبعثة كل ثانية فيصل إليه عدد ثابت من الإلكترونات وتثبت شدة التيار ويسمى بتيار التشبع.

تيار التشبع:

هو شدة التيار الثابت الذي نحصل عليه عند جهد معين للمصعد يكون قادر عنده على جذب جميع الإلكترونات المنبعثة.

٤) عندما يكون جهد المصعد سالباً وجهد المهبط موجب:
تقل شدة تيار الخلية بزيادة سالبية المصعد حتى جهد معين تنعدم عنده شدة التيار.
تفسير ذلك: سالبيه المصعد تعمل على رد الكثير من الإلكترونات المنبعثة من المهبط لحدوث التنافر ولا تصل إليه إلا الإلكترونات التي لها أكبر طاقة حركة (طاع= $\frac{1}{2}$ك$_e$ ع$_e^2$) وعند جهد سالب معين للمصعد فإنه يوقف أسرع الإلكترونات فلا تصل إليه وينعدم مرور التيار ويسمى جهد المصعد في هذه الحالة بجهد الإيقاف (جـ٥).

حيث:

$$\text{ش}_e \times \text{حـ}_{\text{٥}} = \frac{1}{2} \text{ك}_e \text{ع}_e^2 (\text{طاع})$$

جهد الإيقاف (حـ ٥):

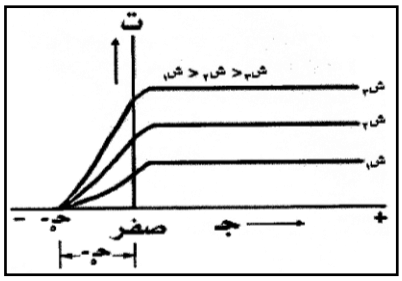
هو الجهد السالب للمصعد اللازم لإيقاف أسرع الإلكترونات وأكبرها طاقة وعنده ينعدم مرور التيار في دائرة الخلية.

ملاحظات:

١) فرق الجهد السالب لا يمنع انبعاث الإلكترونات من المهبط بتأثير الضوء.
٢) تنبعث الإلكترونات من سطح المهبط بسرعات مختلفة حسب مكان الإلكترون المنبعث من المهبط فإذا كان في سطح الفلز فإن الضوء ينتزعه بطاقة أقل ثم يكسبه طاقة حركية كبيرة أما إذا كان بعيداً عن سطح الفلز (في المستوى الأقل مثلاً) فإن الضوء ينتزعه في خطوتين الأولى إثارته إلى السطح ثم الثانية انتزاعه ولذلك فهو يكتسب طاقة حركة أقل.

(٣) العلاقة بين جهد الإيقاف وشدة الضوء الساقط:

خطـوات التجربـة:



١) نكون الدائرة كما بالشكل مع ثبوت التردد.
٢) نسقط ضوء أحادي اللون على المهبط ونغير فرق الجهد حتى نحصل على جهد الإيقاف (ينعدم انحراف مؤشر الجلفانومتر).
٣) نغير شدة الضوء الساقط بتحريك المصدر الضوئي قريباً من الخلية ونوجد جهد الإيقاف في كل مرة.

المشاهـدة:

١) لا يتغير جهد الإيقاف عند زيادة شدة الضوء.
٢) نحصل على تيارات تشبع مختلفة في كل حالة .

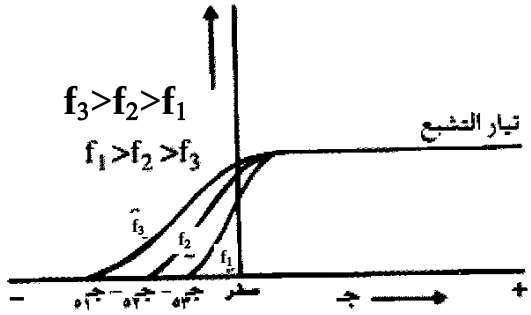
الاستنتاج:

جهد الإيقاف وبالتالي طاقة حركة الإلكترونات المنبعثة لا تتعلق بشدة الضوء الساقط.
تيار التشبع يتوقف على شدة الضوء الساقط ولذلك يتغير حسب تغير شدة الضوء.

(٤) العلاقة بين جهد الإيقاف وتردد الضوء الساقط:

خطوات التجربة:

١)نكون الدائرة كما بالشكل مع ثبوت شدة الضوء الساقط.
٢)نسقط ضوء أحادي اللون على المهبط ونغير فرق الجهد حتى نحصل على جهد الإيقاف.
٣)نغير تردد الضوء الساقط وفي كل مرة نوجد جهد الإيقاف.



المشاهدة:

١) يتغير جهد الإيقاف باختلاف تردد الضوء الساقط.
٢) نحصل على تيار تشبع واحد في كل الحالات.

الإستنتاج:

جهد الإيقاف وبالتالي طاقة حركة الإلكترونات المنبعثة تزداد بزيادة تردد الضوء الساقط.
تيار التشبع لا يتوقف على التردد ولكن على شدة الضوء.

(٥) التردد الحرج:

وجـــد أن:

أ) انبعاث الإلكترونات من سطح المهبط لا يحدث إلا إذا كان تردد الضوء الساقط (f) على السطح يصل إلى حد معين يسمى بالتردد الحرج (f_o) ويستمر انبعاثها بزيادة التردد.
ب)لكل فلز تردد حرج ينبغي ألا يقل عنه تردد الضوء الساقط عليه حتى يمكن أن يبعث بالإلكترونات مهما كانت شدة الضوء الساقط.

التردد الحرج (fo):

هو أقل تردد للضوء الساقط يلزم لتحرير الإلكترون من سطح الفلز دون إعطائه طاقة حركة.

الطول الموجي الحرج(λ_o):

هو أكبر طول موجي للضوء الساقط يلزم لتحرير الإلكترون من سطح الفلز دون إعطائه طاقة حركة ($\frac{1}{f_o} \alpha \lambda_o$)

(٦) الانبعاث اللحظي للإلكترونات:

وجد أن الإلكترونات تنبعث من سطح الفلز بعد سقوط الضوء عليه خلال زمن $١٠^{-٩}$ ثانية وهو فاصل زمني صغير جداً يمكن إهماله ولذلك تنبعث الإلكترونات لحظياً عند سقوط الضوء.

(٧) العلاقة بين طاقة حركة الإلكترونات وتردد الضوء الساقط:

وجد أن هناك علاقة خطية بين طاقة الحركة العظمى للإلكترون المنبعث (طاع) وتردد الضوء الساقط حيث تزداد بزيادة التردد.
وفي الشكل منحنيات مستقيمة لسطوح معدنية مختلفة.
هي السيزيوم (CS) والبوتاسيوم (K) والتنجستن (W)
ويعبر رياضياً عن المنحنيات بالعلاقة:

$$W_o - hf = (\text{طاع}) = \frac{1}{2} ك_e ع_e^2$$

حيث w_o مقدار ثابت للفلز يقطع الجزء السالب لمحور الطاقة ويسمى دالة الشغل
hثابت بلانك ويساوي ميل الخط المستقيم وهو ثابت للسطوح الثلاثة.

دالة الشغل (Wo):

هي أقل طاقة تلزم لتحرير الإلكترون من سطح الفلز دون إعطائه طاقة حركة.

تفسير اينشتين لطبيعة الضوء:

تبنى اينشتين مبدأ التكميم (الكم) لبلانك ونظرية جسيمات الموجات وطبقها على الإشعاع الكهرومغناطيسي حيث افترض أن:

١) الضوء عبارة عن كمات صغيرة متتابعة من الطاقة تعرف بالفوتونات.

طاقة الفوتون = hf ، كتلة الفوتون = $\frac{hf}{ع^2}$

حيث ع سرعة الفوتون = سرعة الضوء = ٣ × ١٠^{٨} م/ث

٢) تتحرك الفوتونات بسرعة ثابتة دائماً وعند اصطدامها بجسم يفنى الفوتون كجسم وتتحول كتلته لطاقة يمتصها الجسم الذي أوقف حركته.

شدة الضوء لحزمة ضوئية (ش):

هي عدد الفوتونات الساقطة عمودياً على وحدة المساحات من سطح ما في الثانية.

∴ **ش = عدد الفوتونات (ن) × طاقة الفوتون (hf)**

ومن العلاقة يتضح أن عدد الإلكترونات المنبعثة تتوقف على شدة الضوء الساقط وليس على تردده.

علـــل: تزداد شدة تيار الخلية بزيادة شدة الضوء الساقط.

ج/ لأن زيادة شدة الضوء تعني زيادة عدد الفوتونات الساقطة وكل فوتون يصطدم بالإلكترون. وبالتالي يزداد عدد الإلكترونات المنبعثة وتزداد شدة تيار الخلية.

تفسير اينشتين للظاهرة الكهروضوئية (النظرية الكمية):

١) الإلكترونات الموجودة بذرات الفلز تكون مرتبطة بالذرة وعليه تحتاج إلى طاقة معينة حتى تتحرر من السطح وتعرف بدالة الشغل أو طاقة النزع ($hf_o = W_o$).

٢) عند سقوط ضوء على سطح فلز فإن الفوتونات تصطدم بالإلكترونات فتمتص طاقة الفوتون (hf) ويحدث ما يلي:

أ) إذا كان تردد الضوء الساقط (f) < التردد الحرج (f_o):

لا تنبعث إلكترونات من سطح المعدن لأن طاقة الفوتون أقل من طاقة نزع الإلكترونات من السطح.

ب) إذا كان تردد الضوء الساقط (f) = التردد الحرج (f_o):

تنبعث إلكترونات من سطح المعدن ولا تكتسب طاقة حركة لأن طاقة الفوتون تساوي طاقة النزع.

ج) إذا كان تردد الضوء الساقط (f) > التردد الحرج (f_o):

تنبعث إلكترونات من سطح المعدن وتكتسب طاقة حركة لأن طاقة الفوتون أكبر من طاقة النزع.

∴ $hf_o - hf = \frac{1}{2}$ ك$_e$ ع$_e^2$

أو $hf_o - hf =$ طاع (W_o)

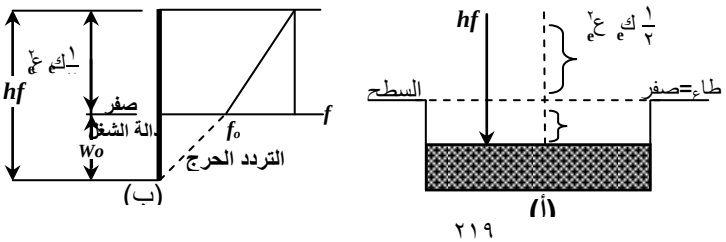
وتعرف هذه المعادلة بمعادلة اينشتين.

***والجدول يمثل دالة الشغل لعدد من العناصر الفلزية:**

العنصـــر	دالة الشغل $W_o = hf_o$ (بالإلكترون فولت)
البوتاسيوم	٢.٠
الصوديوم	٢.٤٦
الألمنيوم	٤.٠٨
النحاس	٤.٧
الزنك	٤.٣١
الرصاص	٤.١٤
الحديد	٤.٥

*** والشكل الموضح يمثل العلاقة بين الكميات الثلاثة:**

طاع، W_o، hf



العوامل التي تتوقف عليها طاقة حركة الإلكترونات المنبعثة:

١) تردد الضوء الساقط: حيث تزداد سرعة وطاقة حركة الإلكترونات بزيادة التردد الساقط.

علل: يفضل استخدام الأشعة فوق البنفسجية عادة في الخلايا الكهروضوئية.

ج/ لكبر ترددها وطاقتها فتزداد سرعة الإلكترونات المنبعثة.

٢) دالة الشغل للمعدن (للفلز) حيث تزداد سرعة وطاقة حركة الإلكترونات كلما قلت دالة الشغل للمعدن.

علل: يفضل استخدام السيزيوم (أو البوتاسيوم/الصوديوم) كمهبط للخلايا الكهروضوئية

ج/ لصغر تردده الحرج ودالة شغله فتزداد سرعة الإلكترونات المنبعثة.

مقارنة بين رأي الفيزياء التقليدية (الكلاسيكية) الفيزياء الحديثة (اينشتين) في تفسير الظاهرة الكهروضوئية (نتائج تجربة ميلكان)

وجـه المقارنـة	التفسير التقليدي	تفسير اينشتين
١) علاقة شدة تيار الخلية بشدة الضوء الساقط.	تتناسب شدة التيار طردياً مع شدة الضوء.	تتناسب شدة التيار طردياً مع شدة الضوء
٢) علاقة جهد الإيقاف بشدة الضوء الساقط	يزداد جهد الإيقاف بزيادة شدة الضوء.	لا يتوقف جهد الإيقاف على شدة الضوء الساقط.
٣) علاقة جهد الإيقاف بتردد الضوء الساقط.	لا يتوقف جهد الإيقاف على التردد.	يزداد جهد الإيقاف بزيادة التردد.
٤) وجود التردد الحرج.	لا تعترف به وإنما تنبعث الإلكترونات عند أي تردد.	لكل فلز تردد حرج يجب أن لا يقل تردد الضوء الساقط عنه حتى تنبعث الإلكترونات.
٥) الانبعاث اللحظي للإلكترونات.	لا تعترف به حتى لو كانت شدة الضوء ضعيفة فبعد فترة زمنية تمتص الإلكترونات طاقة كافية وتنبعث.	تنبعث الإلكترونات لحظيا في حالة إذا كانت طاقة الفوتون كافية لنزع الإلكترون فقط ولا يوجد فاصل زمني بين امتصاص الإلكترون طاقة وانبعاثه.
٦) علاقة طاقة الحركة للإلكترون بتردد الضوء الساقط.	لا تعترف بوجود علاقة بينهما.	طاقة حركة الإلكترونات تزداد بزيادة التردد.

ملاحظات هامة لحل مسائل الظاهرة الكهروضوئية:

(١) تستخدم العلاقة: طاع٢ ($\frac{1}{2}$ ك$_e$ ع$_e^2$) = $hf - hf_o$ (W_o):

لإيجاد الطاقة الحركية العظمى أو طاقة الفوتون أو دالة الشغل وعند التعويض يلزم أن تكون جميعها إما بالجول أو بالإلكترون فولت.

حيث: ١ إلكترون فولت = ١.٦ × ١٠ $^{-19}$ جول والعكس ١ جول = $\frac{1}{1.6\times10^{-19}}$ أ. ف

(٢) تستخدم العلاقة: ش$_e$ × حـ$_o$ = $\frac{1}{2}$ ك$_e$ ع^2 (طاع):

لإيجاد جهد الإيقاف أو الطاقة الحركية العظمى.

(٣) تستخدم العلاقة: $f = \frac{ع_{ض}}{\lambda}$ لحساب تردد الضوء الساقط – الطول الموجي.

$f_o = \frac{ع_{ض}}{\lambda_o}$ لحساب التردد الحرج – الطول الموجي الحرج.

مع مراعاة أن تكون λ بالمتر حيث انجستروم = ١٠$^{-10}$م

ملاحظة: يمكن حساب طاقة الفوتون من العلاقة: $\text{طا} = \frac{10^{3} \times 12{,}4}{\lambda \text{ انجستروم}}$ أ . ف

مثال(١):

إذا علمت أن أقل تردد يلزم لتحرير الإلكترون من سطح فلز هو ٣×١٠^١٤هرتز فاحسب طاقة الحركة لإلكترون ينبعث من سطح الفلز بسقوط ضوء طول موجته ٦٠٠٠ انجستروم علماً بأن:

h = ٦.٦ × ١٠^-٣٤ جول. ث ع ض = ٣ × ١٠^٨ م/ث

الإجابة النموذجية :

f_o = ٣ × ١٠^١٤ هرتز λ = ٦٠٠٠ انجستروم (A^o) = ٦٠٠٠ × ١٠^-١٠ = ٦ × ١٠^-٧ م طاع = ؟

$$f = \frac{\text{ع ض}}{\lambda} = \frac{3 \times 10^{8}}{6 \times 10^{-7}} = \frac{3 \times 10^{15}}{6} = ٠.٥ \times ١٠^{١٥} = ٥ \times ١٠^{١٤} \text{ هرتز}$$

∴ طاع = $h f_o - h f = h (f_o - f)$

∴ طاع = ٦.٦ × ١٠^-٣٤ (٥ × ١٠^١٤ − ٣ × ١٠^١٤) = ٦.٦ × ١٠^-٣٤ × ٢ × ١٠^١٤

∴ طاع = ١٣.٢ × ١٠^-٢٠ جول.

ملاحظة: إذا طلب الطاقة بالإلكترون فولت (أ . ف)

$$\text{∴ طاع} = \frac{13{,}2 \times 10^{-20}}{1{,}6 \times 10^{-19}} = ٨.٢٥ \times ١٠^{-١} = ٠.٨٢٥ \text{ أ. ف}$$

مثال(٢):

إذا علمت أن الطاقة اللازمة لنزع الإلكترون من سطح معدن هي ٢.٤٨ إلكترون فولت فهل تنبعث إلكترونات من سطح المعدن عند إضاءته بواسطة ضوء أحادي اللون وبأحد الأطوال الموجية الآتية ٦٢٠٠ انجستروم أ ، ٣١٠٠ انجستروم أم لا؟

وفي حالة انبعاثها احسب طاقة حركة الإلكترون المنبعث – سرعته – جهد إيقافه؟

الإجابة النموذجية :

($\text{ك}_e = 9.1 \times 10^{-31}$ كجم ، ش_e = ١.٦ × ١٠^-١٩ جول)

W_o = ٢.٤٨ أ.ف = ٢.٤٨ × ١.٦ × ١٠^-١٩ = ٣.٩٧ × ١٠^-١٩ جول

λ_1 = ٦٢٠٠ انجستروم = ٦٢٠٠ × ١٠^-١٠ = ٦٢ × ١٠^-٨ م

λ_2 = ٣١٠٠ انجستروم = ٣١٠٠ × ١٠^-١٠ = ٣١ × ١٠^-٨ م

أولاً: **نحسب طاقة الفوتون الأول – الثاني ونقارنها بدالة الشغل:**

$$\text{طا}_1 = hf = h \frac{\text{ع ض}}{\lambda_1} = \frac{6{,}625 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^{8}}{\lambda_1} = ٠.٣٢ \times ١٠^{-١٨} = ٣.٢ \times ١٠^{-١٩} \text{ جول.}$$

∴ طا١ أصغر من دالة الشغل (W_o). ∴ لا تنبعث إلكترونات.

$$\text{طا}_2 = hf = h \frac{\text{ع ض}}{\lambda_2} = \frac{6{,}625 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^{8}}{31 \times 10^{-8}} = ٠.٦٤١ \times ١٠^{-١٨} = ٦.٤١ \times ١٠^{-١٩} \text{ جول}$$

∴ طا٢ أكبر من دالة الشغل. ∴ تنبعث إلكترونات.

ثانياً: ∴ طا ع = $hf_o - hf$

∴ طا ع = ٦.٤١ × ١٠^-١٩ − ٣.٩٧ × ١٠^-١٩ = ٢.٤٤ × ١٠^-١٩ جول.

ثالثاً: ∴ طا ع = $\frac{1}{2}$ ك $_e$ ع^2

∴ ٢.٤٤ × ١٠^-١٩ = $\frac{1}{2}$ × ٩.١ × ١٠^-٣١ × ع$_e^2$

∴ $ع_e^2 = \frac{2 \times 2{,}44 \times 10^{-19}}{9{,}1 \times 10^{-31}}$ = ٠.٥٤ × ١٠^١٢

∴ ع = $\sqrt{٠.٥٤ \times ١٠^{١٢}}$ = ٠.٧٣٥ × ١٠^٦ م/ث

رابعاً: ∵ ش$_e$ × حـ$_ه$ = طاع

∴ ١.٦ × ١٠^-١٩ × حـ$_ه$ = ٢.٤٤ × ١٠^-١٩

∴ حـ$_ه$ = $\frac{2{,}44 \times 10^{-19}}{1{,}6 \times 10^{-19}}$ = ١.٥٢ فولت.

حل ثانٍ: طا١ = $\frac{12400}{\text{طا}_1} = \frac{12{,}4 \times 10^{3}}{\lambda_1} = \frac{12{,}4 \times 10^{3}}{6200}$ = ٢ أ . ف

∴ لا تنبعث إلكترونات لأن طا١ أصغر من W_o = ٢.٤٨ أ . ف

طا٢ = $\frac{12400}{\text{طا}_2} = \frac{12{,}4 \times 10^{3}}{\lambda_2} = \frac{12{,}4 \times 10^{3}}{3100}$ = ٤ أ . ف

∴ تنبعث إلكترونات.

∵ طاع = $W_o - hf$

∴ طاع = ٤ – ٢.٤٨ = ١.٥٢ أ . ف

∴ طاع = ١.٥٢ × ١.٦ × ١٠^-١٩ = ٢.٤ × ١٠^-١٩ جول

ثم نكمل بقية الحل كما سبق.

مثال(٣):

أسقط ضوء طول موجة ٥٨٩٣ انجستروم على مهبط خلية كهروضوئية فإذا كان جهد الإيقاف للإلكترونات المنبعثة ٠.٣٦ فولت احسب:

١) طاقة حركة الإلكترونات العظمى؟ ٢) أقل طاقة تلزم لنزع الإلكترونات؟

٢) التردد الحرج؟ ٣) الطول الموجي الحرج؟

الإجابة النموذجية :

$\lambda = ٥٨٩٣\ A^o = ٥٨٩٣ \times ١٠^{-١٠}$ م حـ$_ه$ = ٠.٣٦

طاع = ؟ W_o = ؟ f_o = ؟ λ_o = ؟

(١) ∵ ش$_e$ × حـ$_ه$ = طاع

∴ ١.٦ × ١٠^-١٩ × ٠.٣٦ = طاع

∴ طاع = ٠.٥٧٦ × ١٠^-١٩ جول

(٢) ∵ طاع = $W_o - hf$

∴ $W_o = hf$ – طاع = $h - \frac{ع_{ص}}{\lambda}$ طاع

∴ $W_o = \frac{3 \times 10^{8} \times 6{,}625 \times 10^{-34}}{5893 \times 10^{-10}}$ – ٠.٥٧٦ × ١٠^-١٩

W_o = ٣.٣٧٣ × ١٠^-١٩ – ٠.٥٧٦ × ١٠^-١٩

∴ W_o = ٢.٧٩٧ × ١٠^-١٩ جول.

(٣) ∵ $W_o = hf_o$

∴ $f_o = \frac{2{,}797 \times 10^{-19}}{6{,}625 \times 10^{-34}}$ = ٠.٤٢ × ١٠^١٥ = ٤.٢ × ١٠^١٤ هرتز.

(٤) ∵ $\lambda_o = \frac{ع_{ص}}{f_o}$ ∴ ⇐ $\lambda_o = \frac{3 \times 10^{8}}{4{,}2 \times 10^{14}}$ = ٠.٧١٤ × ١٠^-٦ م = ٧.١٤ × ١٠^-١٠ × ١٠^١٠ = ٧١٤٠ انجستروم

مثال(٤):

إذا كانت طاقة الحركة لإلكترون منبعث من سطح تنجستن هو ١.٦×١٠$^{-١٩}$جول وكان أكبر طول موجي يمكنه أن يحرر الإلكترون من سطحه ٤٠٠٠ انجستروم فاحسب: الطول الموجي للضوء الساقط الذي يسبب انبعاث الإلكترونات من سطح الفلز؟

الإجابة النموذجية :

$\because h\frac{ع_{ض}}{\lambda_o} = hfo = W_o$

$\therefore W_o = \frac{10\times3\times10^{8}\times6{,}625\times10^{-34}}{10\times4^{-7}}$ = ٤.٩٧ × ١٠$^{-١٩}$ جول

$\because$ طاع = $W_o - hf$

$\therefore hf = W_o +$ طاع

$\therefore hf$ = ١.٦ × ١٠$^{-١٩}$ + ٤.٩٧ × ١٠$^{-١٩}$

= ٦.٥٧ × ١٠$^{-١٩}$ جول

$\because$ طا $= hf = \frac{h_{ع_{ض}}}{\lambda}$

$\therefore \lambda = \frac{h_{ع_{ض}}}{\lambda} = \frac{10\times3\times10^{8}\times6{,}625\times10^{-34}}{10\times6{,}57^{-19}}$

λ = ٣.٠٢٥ × ١٠$^{-٧}$م = ٣٠٢٥ انجستروم.

حل ثانٍ: طاع = ١.٦ × ١٠$^{-١٩}$جول = $\frac{10\times1{,}6^{-19}}{10\times1{,}6^{-19}}$ = ١ أ . ف

$Wo = \frac{10\times12{,}4^{3}}{\lambda_o}$ $\Leftarrow$ $Wo = \frac{10\times12{,}4^{3}}{4000}$ = ٣.١ أ . ف

$\because$ طاع = $Wo - hf$

$\therefore$ ١ = طا – ٣.١

$\therefore$ طا = ١ + ٣.١ = ٤.١ أ ف $\quad\quad \therefore$ طا= $\frac{10\times12{,}4^{3}}{\lambda}$

$\therefore \lambda = \frac{10\times12{,}4^{3}}{41}$ = $\frac{12400}{41}$ = ٣٠٢٤.٤ انجستروم

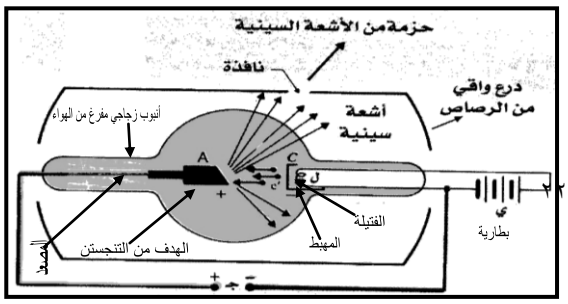
الأشعـــــــة السينيـــــــة.

(أشعـــة رونتجـــــن- X)

اكتشفها العالم الألماني (رونتجن) ونظراً لعدم معرفته بطريقة تولدها أو طبيعتها أطلق عليها أشعة X أي المجهولة (أو السينية كما نطلق عليها).

ظاهرة توليد الأشعة السينية:

وجد عملياً أن الإلكترونات السريعة عند اصطدامها بمادة فلزية صلبه فإنه ينطلق منها إشعاعات كهرومغناطيسية مكونة من فوتونات لها تردد كبير وتسمى بالأشعة السينية:



لاحظ: هذه الظاهرة عكس الظاهرة الكهروضوئية حيث فيها يسقط فوتون على

سطح فلز بشرط يكون له تردد مناسب (تردد حرج) فينطلق من السطح إلكترون يسمى فوتو إلكترون.

ظاهرة توليد الأشعة السينية تسمى بالظاهرة الكهروضوئية العكسية.

طريقة توليد (الحصول على) الأشعة السينية:

تستخدم أنبوبة كولدج المبينة بالرسم وقد صممها العالم الأمريكي كولدج.

شرح العمل:

(١) عند تسخين الفتيلة يسخن المهبط بطريقة غير مباشرة، وتنطلق إلكترونات منه متجهة نحو الهدف بتأثير فرق الجهد بينه وبين المهبط فتكتسب طاقة حركة كبيرة - حيث $\boxed{\text{ش}_e \times}$

$$\boxed{\text{حـ} = \frac{1}{2} \text{ك}_e \text{ع}_e^2}$$

(٢) عند اصطدام الإلكترونات السريعة بالهدف تنطلق منه فوتونات الأشعة السينية لها تردد عالي على شكل موجات كهرومغناطيسية توجه على شكل حزمة من نافذة صغيرة على درع الرصاص.

(١) يستخدم مصدر جهد عالي موحد الاتجاه (١٠^٦ فولت) مثل ملف رومكورف **(علـل)**.

ج/ وذلك حتى ينشأ فرق جهد كبير بين المصعد والمهبط وعند انبعاث الإلكترونات تكتسب طاقة حركة كبيرة فتتسارع نحو الهدف وتصطدم به بسرعة عالية وتنطلق الأشعة السينية.

(٢) وجد عملياً أن ٩٩% من طاقة حركة الإلكترونات تتحول إلى حرارة شديدة في الهدف أما ١% الباقية فإنها تتحول إلى أشعة سينية ولذلك يفضل أن يكون الهدف من فلز ثقيل درجة انصهاره عالية مثل الموليبدتيوم أو التنجستن.

(٣) يتم تبديد (التخلص من) الحرارة الشديدة المتولدة عن طريق التوصيل حيث أن النحاس الذي يصنع منه الآنود جيد التوصيل للحرارة ثم عن طريق الإشعاع بواسطة العوارض المعدنية المتصلة بالأسطوانة النحاسية.

(٤) الأنبوبة مفرغة من الهواء **(علـل)**.

ج/ (أ) حتى لا تتأكسد مادة المهبط.

(ب) حتى لا تعيق حركة الإلكترونات المتجهة نحو المصعد.

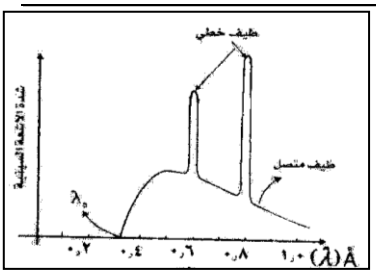
(٥) تحاط أنبوبة توليد الأشعة السينية بدرع من الرصاص **(علـل)**.

ج/ لأن الرصاص يمتص الأشعة فيمنع نفاذها وبذلك يحمي العاملين من خطرها لطاقتها العالية.

أسباب (تفسير) توليد الأشعة السينية:

عند اصطدام إلكترون سريع بالهدف يحدث واحد من الاحتمالين الآتيين أو يحدثان كلاهما معاً.

الاحتمال الأول: **يفسر الحصول على طيف خطي مميز لمادة الهدف (الأشعة السينية المميزة).**



عند نفاذ الإلكترون داخل إحدى ذرات الهدف فإنه يخترق المدرات الخارجية لها ثم يصطدم مباشرة بأحد الإلكترونات المتحركة في أحد المدارات الداخلية القريبة من النواة (ليكن المستوى ن = ١) فيؤدي ذلك إلى:

(١) انفصال وتحرر الإلكترون من الذرة نهائياً فتتأين الذرة.

(٢) يترك الإلكترون فراغ في مستوى الطاقة (المدار) عند انفصاله فيقفز إلكترون من إحدى المستويات الأعلى (المستوى = ٣) ليملأ الفراغ.

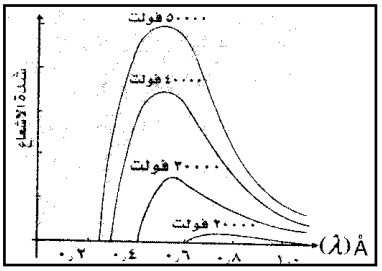
(٣) يصاحب الانتقال نقص في طاقة الإلكترون يظهر على شكل إشعاع تردد (f) وطاقته hf = الفرق في الطاقة بين المستويين ثم يقفز إلكترون من مستوى أعلى ليملأ الفراغ وهكذا.

(٤)ونظراً لأن الفرق في الطاقة يختلف من مستوى لآخر في الذرة فإن فوتونات الأشعة السينية الناتجة تكون طاقاتها مختلفة وبالتالي ترددتها مختلفة أي لها أطوال موجية مختلفة تتوقف على نوع مادة الهدف ولهذا فالأشعة تكون مميزة لمادة الهدف ولا تتوقف على فرق الجهد المستخدم.

علـل: مادة الهدف من فلز ثقيل مثل التنجستن؟

ج/ لأن الفلز الثقيل تكون طاقة مستوياته عالية مقدره بالآلاف إلكترون فولت ولذلك يكون ترددات الأشعة السينية المنبعثة كبيرة.

الاحتمال الثاني: **يفسر الحصول على الطيف المستمر (المتصل) للأشعة السينية.**



عند نفاذ الإلكترون داخل إحدى ذرات الهدف فإنه لا يحدث تصادم وإنما يتأثر الإلكترون بالمجال الكهربي للذرة فيؤدي ذلك إلى:

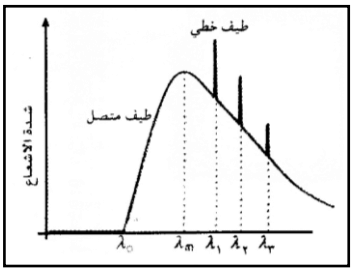
(١) تتناقص (تباطؤ) سرعته فتقل طاقة حركته.

(٢) يظهر النقص في الطاقة على شكل إشعاع تردده (***f***) وطاقة الكم له (***hf***).

(٣) حيث أن النقص في الطاقة يحدث تدريجياً بسبب اقترابه من النواة ولذلك يسمى بأشعة الفرملة.

(٤) لذلك نستنتج أن فوتونات الأشعة السينية المنبعثة من الهدف تزيد طاقتها وترددها كلما مر الإلكترون قريباً من النواة ولهذا يكون لها مدى واسع من الترددات غير المنفصلة والمتدرجة ويسمى ذلك بالطيف المستمر للأشعة وهي ظاهرة عامة لكل الفلزات ويتوقف ذلك على فرق الجهد المستخدم في الأنبوبة وليس على نوع مادة الهدف.

طاقة فوتون الأشعة السينية المنبعث بهذه الطريقة لا يمكن أن يكون أكبر من طاقة الإلكترون المقذوف لأنه ينتج عن تباطؤ (تناقص) سرعة الإلكترون ولذلك لا يبدأ انبعاث الأشعة السينية إلا من طول موجي معين (λ_o) وتردد معين طاقته أصغر من أو تساوي طاقة الإلكترون المقذوف.



س/ قارن بين الطيف الخطي (المميز) والطيف المستمر (المتصل) للأشعة السينية؟

ج/

الطيف الخطي (المميز)	الطيف المستمر (المتصل)
١) يتولد نتيجة اصطدام إلكترون منبعث من كاثود الأنبوبة بإلكترون موجود في أحد مستويات الطاقة القريبة من النواة.	يتولد نتيجة تأثر الإلكترون المنبعث من كاثود الأنبوبة بالمجال الكهربي لذرة مادة الهدف أثناء اختراقه لهما.
٢) يقل الطول الموجي أي يزيد التردد بزيادة العدد الذري لمادة الهدف ولذلك فهو مميز لمادة الهدف	لا يتأثر طوله الموجي بتغيير نوع مادة الهدف ولذلك فهو غير مميز لمادة الهدف.
٣) خطي متراكب على الطيف المستمر في مواضع مختلفة حسب مادة الهدف.	مستمر (متصل) يتميز بانتهائه الفجائي عند طول موجي معين.
٤) لا يتوقف الطول الموجي على فرق الجهد بين قطبي الأنبوبة.	يقل الطول الموجي بزيادة فرق الجهد بين قطبي الأنبوبة.

حساب أقصر طول موجي (أكبر تردد) للأشعة السينية:

إذا فقد الإلكترون عند نفاذه داخل الهدف طاقته الحركية دفعة واحدة فإنه ينبعث من الهدف عندها فوتون أشعة سينية له أكبر طاقة وتردد وأقل طول موجي.

حيث: طاقة الفوتون = الطاقة الحركية = الطاقة الكهربية

$$hf = \frac{1}{2} ك_e ع_e^2 = ش_e \times حـ$$

$$\therefore hf = ش_e \times حـ$$

$$\because \frac{ع_{ض}}{\lambda_o} = f_o$$

$$\therefore h \frac{ع_{ض}}{\lambda_o} = ش_e \times حـ$$

$$\therefore \boxed{\lambda_o = \frac{h\, ع_{ض}}{ش_e \times حـ}} \text{ م}$$

يلاحظ أن الكميات: h ، $ع_{ض}$، $ش_e$ مقادير ثابتة ولذلك عند التعويض بها يمكن الحصول على

$\lambda_o = \frac{12{,}4 \times 10^{-3}}{حـ}$ انجستروم.

(١) **يمكن تعيين f من العلاقة :** $f = \frac{ش_e \times حـ}{h}$ هرتز.

(٢) **تستخدم العلاقة:** $\lambda_o = \frac{h\, ع_{ض}}{ش_e \times حـ}$ لتعيين الطول الموجي للأشعة أو فرق الجهد المستخدم.

(٣) $\therefore hf = \frac{1}{2} ك_e ع_e^2 \Leftarrow \frac{h\, ع_{ض}}{\lambda_o} = \frac{1}{2} ك_e ع_e^2$

$\therefore \boxed{\lambda_o = \frac{h\, ع_{ض}}{\frac{1}{2} ك_e ع_e^2}}$ وتستخدم لإيجاد الطول الموجي في حالة عدم وجود فرق جهد.

مثال(٥):

احسب أقصر طول موجي للأشعة السينية التي تصدر من أنبوبة طبق عليها فرق جهد مقداره ١٠٠كيلوفولت واحسب كذلك تردد الأشعة – طاقة الأشعة بالإلكترون فولت.

$$\left[\begin{array}{l} ع_{ض} = 3 \times 10^{8} \text{ م/ث} \\ h = 6.625 \times 10^{-34} \text{ جول . ث} \\ ش_e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ كولوم.} \end{array}\right.$$

الإجابة النموذجية :

جـ = ١٠٠كيلوفولت = ١٠٠ × 10^3 = 10^5 فولت λ_o = ؟ f = ؟ طا = ؟

(١) $\because \lambda_o = \frac{h\, ع_{ض}}{ش_e \times حـ} \Leftarrow \therefore \lambda_o = \frac{3 \times 10^8 \times 6{,}625 \times 10^{-34}}{1{,}6 \times 10^{-19} \times 10^5} = 12.4 \times 10^{-12}$ م

حل ثانٍ: $\because \lambda_o = \frac{12{,}4 \times 10^{-3}}{حـ}$

$\therefore \lambda_o = \frac{12{,}4 \times 10^{-3}}{10^5}$

$\lambda_o = 12.4 \times 10^{-2}$ انجستروم

$\lambda_o = 12.4 \times 10^{-2} \times 10^{-10} = 12.4 \times 10^{-12}$ م

(٢) ∵ $f = \frac{ع_{ض}}{\lambda}$ ⇐ $f = \frac{10\times3^{8}}{10\times12{,}4^{-12}}$ = ٠.٢٤٢ × ١٠^٢٠ = ٢٤.٢ × ١٠^١٨ هرتز

حل ثانٍ: ∵ $f_o = \frac{ش_e \times حـ}{h}$

∴ $f = \frac{10\times1{,}6^{-19}\times10^{5}}{10\times6{,}625^{-34}}$

f = ٠.٢٤٢ × ١٠^٢٠

= ٢٤.٢ × ١٠^١٨ هرتز

(٣) ∵ طا = ش_e × حـ ⇐ ∴ طا = ١.٦ × ١٠^-١٩ × ١٠^٥ = ١.٦ × ١٠^-١٤ جول.

أو طا = $\frac{10\times1{,}6^{-14}}{10\times1{,}6^{-19}}$ = ١٠^٥ أ. ف.

مثال(٦):

احسب فرق الجهد المستخدم في أنبوبة أشعة سينية بحيث يكون أقصر الأطوال الموجية في طيف الأشعة السينية (١) انجستروم؟

الإجابة النموذجية :

λ_o = ١ انجستروم = ١ × ١٠^-١٠ م حـ = ؟

∵ $\lambda_o = \frac{ع_{ض}\, h}{ش_e \times حـ}$

∴ حـ = $\frac{ع_{ض}\, h}{\lambda_o \times ش_e} = \frac{10\times3^{8}\times10\times6{,}625^{-34}}{10\times1{,}6^{-19}\times10^{-10}}$ = ١٢.٤ × ١٠^٣ فولت.

حل ثانٍ: $\lambda_o = \frac{10\times12{,}4^{3}}{حـ}$ ⇐ حـ = $\frac{10\times12{,}4^{3}}{\lambda_o} = \frac{10\times12{,}4^{3}}{1}$ = ١٢.٤ × ١٠^٣ فولت

مثال(٧):

أنبوبة أشعة سينية يطبق عليها فرق جهد مقداره ٩٠٠٠ فولت تنتج أشعة طولها الموجي ١.٣٧٧ انجستروم احسب:

(١) النسبة $\frac{h}{ش_e}$ ؟ (٢) قيمة ثابت بلانك؟

الإجابة النموذجية :

حـ= ٩٠٠٠ = ٩ × ١٠^٣فولت λ_o = ١,٣٧٧ انجستروم = ١.٣٧٧ × ١٠^-١٠ م

$\frac{h}{ش_e}$ =؟ h = ؟

(١) ∵ $\lambda_o = \frac{ع_{ض}\, h}{ش_e \times حـ}$

∴ $\frac{h}{ش_e} = \frac{\lambda_o \times حـ}{ع_{ض}}$

$$\frac{h}{ش_e} = \frac{10\times 9\times 10^{-10}\ 10\times 1{,}377}{10\times 3^{8}} = ٤.١٣١\times ١٠^{-١٥}$$ جول . ث / كولوم.

(٢) ∴ $\frac{h}{ش_e} = ٤.١٣١\times ١٠^{-١٥}$

∴ h = ش$_e$ × ٤.١٣١ × ١٠$^{-١٥}$ = ١.٦ × ١٠$^{-١٩}$ × ٤.١٣١ × ١٠$^{-١٥}$ = ٦.٦ × ١٠$^{-٣٤}$ جول.ث

مثال(٨):

اصطدم إلكترون كمية تحركه ٩.١ × ١٠$^{-٢٤}$ كجم. م/ث بهدف من التنجستن احسب الطول الموجي للأشعة السينية المنبعثة؟ وكذلك طاقة الأشعة: (ك$_e$ = ٩.١ × ١٠$^{-٣١}$ كجم)؟

الإجابة النموذجية :

كت = ٩.١ × ١٠$^{-٢٤}$ λ_o = ؟ طا = ؟

(١) ∴ كت = ك$_e$ × ع$_e$ ⇐ ∴ ع$_e$ = $\frac{كت}{ك_e}$ = $\frac{10\times 9{,}1^{-24}}{10\times 9{,}1^{-31}}$ = ١٠^{٧} م/ث

∴ λ_o = $\frac{h}{ع_{ض}\ ك_e\ \frac{1}{2}\ ع_e^{2}}$ ⇐ ∴ $\lambda_o = \frac{10\times 6{,}625^{-34}\ 10\times 3\times 2^{8}}{10\times 9{,}1^{-31}\ 10\times 7^{7}}$ = ٤.٣٦ × ١٠$^{-٩}$ م

(٢) طا = $\frac{1}{2}$ ك$_e$ ع$_e^{2}$ = $\frac{1}{2}$ × ٩.١ × ١٠$^{-٣٤}$ × ١٠^{٧} × ١٠^{٧} = ٤.٥٥ × ١٠$^{-٢٠}$ جول

الأشعة السينية:

هي موجات كهرومغناطيسية (ضوئية) طاقتها عالية وترددها عالي وطولها الموجي قصير جداً.

خواصهـا:

١) طاقتها عالية لذلك تقع في منطقة الطيف الغير مرئي من طيف الأمواج الكهرومغناطيسية.
٢) لها قدرة عالية على النفاذ في المواد المختلفة بسبب طاقتها العالية والمواد ذات الكثافة العالية جيدة الامتصاص لهذه الأشعة.
٣) لا تتأثر بالمجالات الكهربية والمغناطيسية.

استخداماتهـا:

١) **في الطـــب:** في الكشف عن كسور العظام وجود الحصوات في الكلى والمرارة.
٢) **في الصناعة:** في دراسة البناء البلوري للعناصر/ الكشف عن الشقوق في الفلزات كهياكل الطائرات والأنابيب المعدنية.
٣) **في المطـارات: في الكشف عن وجود الأجسام الصلبة:** في أمتعة المسافرين دون فتحها.

الليـــــزر Laser

معنى كلمة ليزر (Laser):

تمثل الحروف الأولى من كلمات الجملة الآتية:

(Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)

ومعناهـا:

"تضخيم أو تكبير شدة الضوء بواسطة الانبعاث المستحث للإشعاع"

تاريخ اكتشاف أشعة الليزر:

١) اقترح (اينشتين) عام ١٩١٧م إمكانية تضخيم الضوء مثلما يضخم الصوت.
٢) تمكن العالم الأمريكي (ميمان) عام ١٩٦٠م من صناعة أول جهاز لتوليد أشعة الليزر بواسطة بلورة من الياقوت فانبعث نبضات من أشعة حمراء تحتفظ بشدتها لمسافات بعيدة.
٣) أمكن بعد ذلك الحصول على أشعة الليزر في منطقة الطيف المرئي أو في منطقة الأشعة تحت الحمراء أو في منطقة الأشعة فوق البنفسجية.
٤) أمكن بعد ذلك تطوير جهاز لتضخيم الأمواج القصيرة غير المرئية (الميكروية) سمي بالميزر وتسمى بأشعة الميزر، وهي مشتقه من الكلمات الآتية:
(Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation)
٥) في عام ١٩٨٦م أمكن تصنيع ليزر الأشعة السينية وهو ليزر بالغ الخطورة.

أنـواع أشعـة الليـزر:

يمكن تقسيمها إلى ثلاثة أنواع:

أولاً: من حيث التكوين (المصدر)

١) الليزر الغازي (ليزر الهيليوم / النيون).
٢) الليزر البلوري (ليزر الياقوت)
٣) ليزر السوائل (الليزر الناتج من تحلل ثلاثي فلوروبوديد الميثيل)
٤) ليزر أشباه الموصلات.

ثانياً: من حيث طبيعة الانبعاث:

١) شعاع مستمر. ٢) ومضات (عدة نبضات)

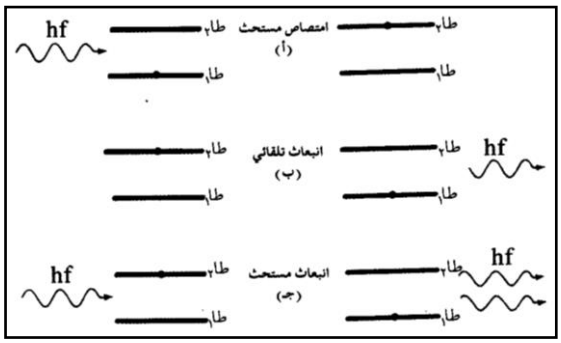
ثالثاً: من حيث الطول الموجي:

١) ليزر يقع في منطقة الضوء المرئي.
٢) ليزر يقع في منطقة الضوء الغير مرئي.
٣) ليزر يقع في منطقة الموجات الميكرومترية (أشعة الميزر)
٤) ليزر الأشعة السينية.

مبدأ توليد الأشعة الليزرية (انتقالات الكم):

١) عرفنا أن الذرات لها مستويات طاقة:

أ) مستوى الطاقة الأرض (ط١) وهو أصغرها طاقة وتوجد فيه الذرة في حالتها العادية أي عندما تكون مستقرة ويسمى الاستيطان الطبيعي.



ب) مستويات إثارة الذرة وهي التي تلي المستوى الأرضي أي ط٢، ط٣ ، ط٤ وفيها تبقى الذرة مثارة لفترة محددة من الزمن تسمى العمر الزمني أي أن لكل مستوى إثارة عمر زمني معين ولذلك توجد مستويات شبه مستقرة عمرها الزمني طويل ومستويات غير مستقرة عمرها الزمني صغير جداً.

٢) عند قذف ذرة في حالتها العادية بفوتون طاقته *hf* = ط٢ – ط١

فإن الذرة تمتص طاقته وتنتقل من المستوى الأرضي (ط١) إلى المستوى الأعلى (ط٢) المثار وتسمى العملية بالامتصاص المستحث.

ولكن سرعان ما تتخلص الذرة من طاقة الإثارة بإشعاعها على شكل شعاع ضوئي أي فوتون لهُ نفس التردد أما طوره واتجاهه فغير محددين وتسمى العملية بالانبعاث التلقائي.

الامتصاص المستحث:

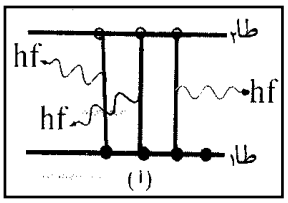
هو إثارة الذرة من المستوى الأرضي إلى المستوى الأعلى بسقوط فوتون عليها طاقته تساوي الفرق بين طاقة المستويين.

مثال للانبعاث التلقائي:

المصادر الضوئية المعروفة مثل مصباح بخار الصوديوم أو بخار الزئبق أو النيون ينبعث منها ضوء فوتوناته غير مترابطة عبارة عن خليط عشوائي من الفوتونات مختلفة الطور والاتجاه.

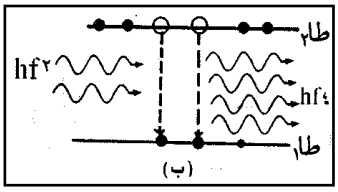
الانبعاث التلقائي:

هو الانبعاث المتكون نتيجة رجوع الذرة من مستوى طاقة أعلى إلى مستواها العادي بدون مؤثر خارجي وهو إشعاع مكون من فوتونات مختلفة الطور والاتجاه فيكون غير مترابط.



٣) بين اينشتين أن الانبعاث الصادر من الذرة يتم بإحدى طريقتين:

أ) انبعاث تلقائي: كما سبق شرحه.



ب) انبعاث مستحث: يحدث ذلك بالحث أي بالقوة وذلك عند إسقاط فوتون على ذرة مثارة أصلاً في المستوى الثاني مثلاً (طـ٢) ولم ينتهي العمر الزمني لإثارتها فإن الذرة لا تمتص طاقة الفوتون بل يحرضها على الرجوع بسرعة إلى المستوى الأرضي (طـ١) فاقدة طاقة إثارتها على شكل فوتون لهُ نفس تردد واتجاه وطور الفوتون الساقط أي مترابطين ويسمى ذلك بالانبعاث المستحث. وهو أساس توليد أشعة الليزر.

الانبعاث المستحث:

هو الانبعاث المتكون نتيجة رجوع الذرة من مستوى طاقة أعلى إلى مستواها العادي نتيجة تأثير فوتون خارجي على ذرة مثارة أصلاً وهو إشعاع مكون من فوتونات لها نفس التردد والطور والاتجاه فيكون مترابط.

مميزات الانبعاث المستحث:

١) انبعاث فوتون جديد مع الفوتون الأصلي الساقط.
٢) طاقة الفوتون الناتج هي نفس طاقة الفوتون الأصلي أي لهُ نفس التردد والطول الموجي.
٣) الأمواج المصاحبة للفوتونين الأصلي والناتج لهما نفس الطور لذلك يقال أن الفوتونين مترابطان.

"مقارنة بين الانبعاث التلقائي والانبعاث المستحث"

الانبعاث التلقائي	الانبعاث المستحث
١) تكون الذرة في حالتها العادية قبل سقوط الفوتون عليها فتثار وتعود إلى حالتها العادية وتشع فوتون واحد.	تكون الذرة مثارة قبل سقوط الفوتون عليها فتعود إلى حالتها العادية وتشع فوتونين.
٢)الفوتون المنبعث لهُ نفس تردد الفوتون الأصلي أما الاتجاه والطور	الفوتونات المنطلقان متساويان في التردد ومتفقان في الاتجاه

الانبعاث التلقائي	الانبعاث المستحث
غير محددين	والطور.
٣) إشعاع غير مترابط	إشعاع مترابط.
٤) تقل طاقة الأشعة بزيادة المسافة.	الأشعة لها طاقة هائلة وتحتفظ بشدتها وتركيزها لمسافات بعيدة.
٥) مثال لهُ: مصابيح الإضاءة.	مثال لهُ: أشعة الليزر.

شروط الحصول على أشعة مترابطة من الإشعاع المستحث:

تعتمد فكرة الليزر على الانبعاث المستحث ولكن يكون الإشعاع المستحث هو السائد يجب:

١) إثارة عدد كبير من الذرات كي تتواجد في مستوى الطاقة الأعلى (طـ٢) بحيث يكون عددها أكبر من عدد الذرات الغير مثارة في المستوى الأرضي (طـ١) ويسمى ذلك بالاستيطان العكسي.

٢) إجراء الترتيبات اللازمة التي تضمن خروج معظم الفوتونات المنبعثة في اتجاه واحد.

ملاحظات:

١) الاستيطان الطبيعي: هو وجود الذرات في المستوى الأرضي المستقر.

الاستيطان العكسي: هو وجود الذرات في المستوى الأعلى من الطاقة ويحدث ذلك عند إثارتها.

٢) لكي يحدث الاستيطان العكسي يجب أن توجد مستويات إثارة في الذرة لها عمر زمني أطول وتسمى مستويات شبه مستقرة.

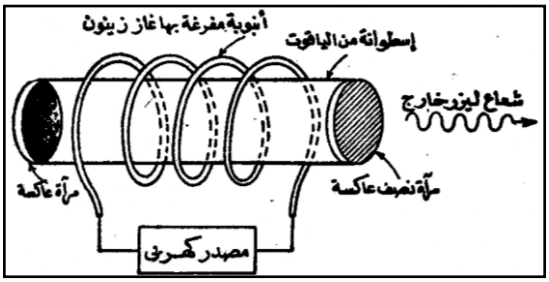
جهـــــاز ليـزر الياقـوت

أحد ليزرات الحالة الصلبة (ليزر بلوري).

الياقوت:

عبارة عن بلورة أكسيد الألومنيوم (AL_2O_3) عديم اللون يحتوي على كمية صغيرة (٠.٠٥%) من الكروم (Cr) كمادة شائبة وهو يكسب البلورة اللون الأحمر الوردي المميز للياقوت.

تركيب ليزر الياقوت:



١) قضيب اسطواني من الياقوت طوله ٥سم قطره ٠.٥سم قاعدتاه متوازيتان ومصقولتان.

٢) تطلى أحدى القاعدتين بالفضة لتعمل كمرآه عاكسه (١٠٠%) بينما تغطى الثانية بطبقة شفافة من الفضة لتعمل كمرآه نصف عاكسه (٩٥%).

وظيفة المرايا:

إرجاع أو عكس فوتونات أشعة الليزر لإحداث الإشعاع المستحث وأيضاً توحيد اتجاه الأشعة.

٣) يحاط بالاسطوانة أنبوبة تفريغ حلزونية بها غاز الزينون تتصل بمصدر كهربي نابض.

وظيفة أنبوبة التفريغ:

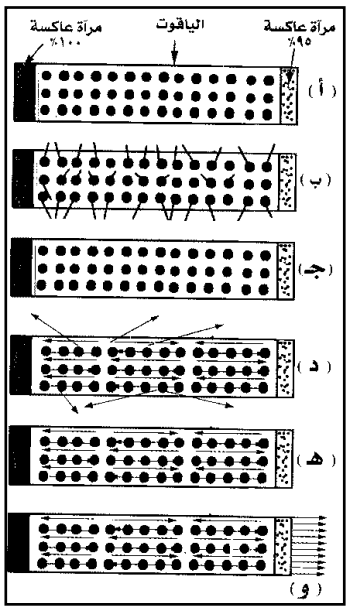
ضخ (إثارة) ذرات الياقوت (الكروم) إلى مستويات الطاقة الأعلى، وهي حلزونية للحصول على أكبر كمية من الضوء.

شرح عمل ليزر الياقوت:

١) تثار ذرات الكروم بواسطة الضوء الصادر من مصباح الزينون إلى المستويين (طـ٣ ، طـ٣') غير المستقرين (العمر الزمني لهم $١٠^{-٨}$ ثانية).

٢) تعود الذرات تلقائياً إلى المستوى (طـ٢) شبه المستقر (العمر الزمني له ٠.٠٣ ثانية) فاقدة طاقة في صورة حرارة.

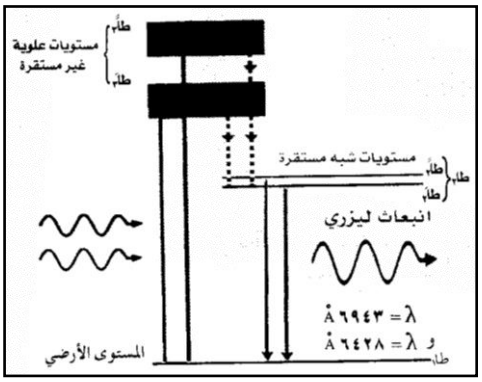
٣)يتزايد عدد الذرات المثارة في المستوى (طـ٢)حتى يصبح عددها أكبر من الذرات غير المثارة في المستوى(طـ١) [وهذا شرط الانبعاث المستحث ويسمى بالاستيطان العكسي].



٤)تعود بعض الذرات تلقائياً من المستوى (طـ٢) إلى المستوى (طـ١) فتنبعث فوتونات مختلفة الاتجاهات فتمتص بعضها أما الموازية لمحور الاسطوانة فتقوم المرايا العاكسة والنصف عاكسه بتوحيد اتجاه الفوتونات الساقطة عمودياً عليها.

٥)تعمل هذه الفوتونات على حث عدد أكبر من ذرات الكروم للانتقال إلى المستوى (طـ١) وبذلك يتضخم عدد الفوتونات بالانبعاث المستحث حتى حد معين ينفذ جزء منه إلى خارج الجهاز من خلال المرآة نصف العاكسة (الشرط الثاني) على شكل نبضة قوية من اللون الأحمر ثم تكرر هذه النبضات (عدة نبضات كل دقيقة) مكونة أشعة الليزر.

١) **ليزر الياقوت:** ليزر نبضي أي تنبعث منه أشعة الليزر على شكل ومضات أو نبضات.



٢) في ليزر الياقوت يكون لكل ذرة كروم ٣ مستويات هامة (المستوى الأرضي المستقر / مستوى المستوى شبه المستقر) لذلك يسمى هذا النظام **(نظام ثلاثي مستويات الطاقة)** لتوليد أشعة الليزر.

٣) في ليزر الياقوت مستوى الطاقة (طـ٢) شبه المستقر عبارة عن مستويين هما: (طـ٢َ، طـ٢ً)، ولذلك فإن شعاع الليزر الناتج يعطي طولين موجيين كما يلي:

طـ٢َ ← λ = A° 6943 ← طـ١ ، طـ٢ً ← λ = A° 6428 ← طـ١

٤) الليزر سواءً كان المرئي أو الغير مرئي تكون طاقته أقل من طاقة الأشعة السينية.

أشعة الليزر:

هي حزمة رفيعة من الأشعة بالغة الشدة وتحتفظ بشدتها مركزه لمسافات بعيدة وتكون فوتوناتها مترابطة ومتفقه في الطور ولها اتجاه واحد.

خواص أشعة الليزر:

١) **وحيدة اللون:** لأن فوتوناتها تملك نفس الطاقة والتردد والطول الموجي ولذلك لا يمكن تحليلها.

٢) **مترابطـــــة:** لأن فوتوناتها متفقه في الطور فتقوي بعضها البعض.

٣) **شدتها عالية:** لأن موجاتها تنبعث من المصدر في حزمة ضيقة مترابطة طاقتها عالية لذلك يحتفظ الشعاع بشدته وتركيزه لمسافات بعيدة دون تشتت.

٤) قدرتها عالية على النفاذ.

استخداماتهـا:

١) مجال الطب:

تستخدم في جراحات الكبد/ سرطان الجلد/العيون/ إزالة الوشم من الجلد والبقع السوداء من جلد المسنين.

ويرجع ذلك لأن طاقتها عالية فتلتحم الأوعية الدموية بعد نفاذها مما يؤدي إلى منع نزيف الدم.

٢) مجـال الأبحـاث:

تستخدم لدراسة التركيب الداخلي للمواد.

٣) مجـال الصناعة:

تستخدم في عمليات قص وثقب المعادن وصـهرها – حفر الأنفـاق والمنـاجم لقدرتها على تليين الصخور الصلبة وتفتيتها (ليزر ثاني أكسيد الكربون).

٤) مجال الملاحة الجوية:

تستخدم الطائرات أجهزة لاستقبال إشارات الليزر من الأرض لتحديد أهدافها.

٥) مجال الاتصـــالات:

تستخدم في نقل برامج التلفزيون والاتصالات بين الكواكب ويرجع ذلك لاحتفاظها بشدتها وتركيزها لمسافات بعيدة دون فقد طاقة.

٦) الأغراض العسكرية والصناعة الحربية:

تستخدم في صنع قنابل وصواريخ موجهة بالليزر فتصيب أهدافها إصابات دقيقة.

تعاريق

١)**الظاهرة الكهروضوئية:** هي ظاهرة انبعاث الإلكترونات من سطح الفلز عند سقوط ضوء ذو تردد معين عليه.

٢)**الإلكترونات الضوئية:** هي الإلكترونات المنبعثة من سطح الفلز عند سقوط ضوء عليه.

٣)**الخلية الكهروضوئية:** جهاز يمكن بواسطته تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كهربية بطريقة غير مباشرة.

٤)**الشروط الواجب توافرها في الخلية الكهروضوئية:**

(١) الانتفاخ مع الكوارتز. (٢) الانتفاخ مفرغ من الهواء.
(٣) الكاثود مقعر الشكل. (٤) الآنود قضيب معدني رفيع.

٥)**استخدامات الخلية الكهروضوئية:**

(١) في آلات التصوير العادية. (٢) في آلة التصوير التلفزيونية.
(٣) في إضاءة الشوارع بطريقة آلية. (٤) غلق وفتح الأبواب آلياً.
(٥) كجرس إنذار ضد اللصوص.

٦)**تيار التشبع:** هو شدة التيار الثابت الذي نحصل عليه عند جهد معين للمصعد يكون قادر عنده على جذب جميع الإلكترونات المنبعثة.

٧)**جهد الإيقاف:** هو الجهد السالب للمصعد اللازم لإيقاف أسرع الإلكترونات وأكبرها طاقة وعنده ينعدم مرور التيار في دائرة الخلية.

٨)**التردد الحرج(f_o):** هو أقل تردد للضوء الساقط يلزم لتحرير الإلكترون من سطح الفلز دون إعطائه طاقة حركة.

٩)**الطول الموجي الحرج:** هو أكبر طول موجي للضوء الساقط يلزم لتحرير الإلكترون من سطح الفلز دون إعطائه طاقة حركة ($\frac{1}{f_o} \alpha \lambda_o$)

١٠)**دالة الشغل:** هي أقل طاقة تلزم لتحرير الإلكترون من سطح الفلز دون إعطائه طاقة حركة.

١١) **شدة الضوء لحزمة ضوئية:** هو عدد الفوتونات الساقطة عمودياً على وحدة المساحات من سطح ما في الثانية.

١٢) **تفسير اينشتين للظاهرة الكهروضوئية:**

(أ) إذا كان $f_o > f$ لا تنبعث إلكترونات.
(ب) إذا كان $f_o = f$ تنبعث إلكترونات ولا تكتسب طاقة حركة.
(ج) إذا كان $f_o < f$ تنبعث إلكترونات وتكتسب طاقة حركـــــة.

١٣) **العوامل التي تتوقف عليها طاقة حركة الإلكترونات المنبعثة:**

(١) تردد الضوء الساقط. (٢) دالة الشغل للفلز.

١٤) **الأشعة السينية:** هي موجات كهرومغناطيسية (ضوئية) طاقتها عالية وترددها عالي وطولها الموجي قصير جداً. وتسمى ظاهرة توليدها بالظاهرة الكهروضوئية العكسية.

١٥) **احتمالات الحصول على الأشعة السينية:**

(١) **الاحتمال الأول:** يفسر الحصول على طيف خطي مميز لمادة الهدف وهو يتوقف على نوع مادة الهدف وليس على فرق الجهد المستخدم.

(٢) **الاحتمال الثاني:** يفسر الحصول على طيف مستمر (متصل) للأشعة وهو يتوقف على فرق الجهد المستخدم وليس على نوع مادة الهدف.

١٦) **خواص الأشعة السينية:**

(١) طاقتها عالية. (٢) لها قدرة عالية على النفاذ. (٣)لا تتأثر بالمجالات.

١٧) **استخدامات الأشعة السينية:**

(١) في الطـــــب: في الكشف عن كسور العظام/ وجود الحصوات في الكلى.

(٢) في الصناعة: الكشف عن الشقوق في الفلزات كهياكل الطائرات والأنابيب المعدنية.

(٣) في الكشف عن وجود الأجسام الصلبة: في أمتعة المسافرين دون فتحها.

١٨) **معنى كلمة ليزر:** تضخيم أو تكبير شدة الضوء بواسطة الانبعاث المستحث للإشعاع.

١٩) **معنى كلمة ميزر:** تضخيم أو تكبير شدة الأمواج القصيرة غير المرئية بواسطة الانبعاث المستحق للإشعاع.

٢٠) **أشعة الليزر:** هي حزمة رفيعة من الأشعة بالغة الشدة وتحتفظ بشدتها مركزه لمسافات بعيدة وتكون فوتوناتها مترابطة ومتفقه في الطور ولها اتجاه واحد.

٢١) **الامتصاص المستحث:** هو إثارة الذرة من المستوى الأرضي إلى المستوى الأعلى بسقوط فوتون عليها طاقته تساوي الفرق بين طاقة المستويين.

٢٢) **الانبعاث التلقائي:** هو الانبعاث المتكون نتيجة رجوع الذرة من مستوى طاقة أعلى إلى مستواها العادي بدون مؤثر خارجي وهو إشعاع مكون من فوتونات مختلفة الطور والاتجاه فيكون غير مترابط.

٢٣) **الانبعاث المستحث:** هو الانبعاث المتكون نتيجة رجوع الذرة من مستوى طاقة أعلى إلى مستواها العادي نتيجة تأثير فوتون خارجي على ذرة مثارة أصلاً وهو إشعاع مكون من فوتونات لها نفس التردد والطور والاتجاه فيكون مترابط.

٢٤) **شروط الحصول على الإشعاع المستحث:**

(١) إثارة عدد كبير من الذرات كي توجد في مستوى الطاقة الأعلى.

(٢) ضمان خروج الفوتونات في اتجاه واحد.

٢٥) **الاستيطان الطبيعي:** هو وجود الذرات في المستوى الأرضي المستقر.

٢٦) **الاستيطان العكسي:** هو وجود الذرات في المستوى الأعلى من الطاقة ويحدث ذلك عند إثارتها.

٢٧) **ليزر الياقوت:** عبارة عن ليزر بلوري يعطي نبضات لونها أحمر.

٢٨) **الياقوت:** بلورة أكسيد الومنيوم بها شوائب صغيرة من الكروم وهو يكسب البلورة اللون الأحمر الوردي.

٢٩) **خواص أشعة الليزر:** (١) وحيدة اللون. (٢) مترابطة. (٣) شدتها عالية.

٣٠) استخدامات أشعة الليزر:

(١) في الطـــــب: في جراحة الكبد/ السرطان/ العيون.

(٢) في الصناعة: ثقب المعادن وصهرها/ حفر الأنفاق والمناجم.

(٣) في مجال الملاحة الجوية: توجيه الطائرات لتحديد أهدافها.

(٤) في الأغراض العسكرية: صنع قنابل وصواريخ موجهة بالليزر.

(٥) في الأبحاث. (٦) في مجال الاتصالات.

القوانين :

أولاً: الظاهرة الكهروضوئية

(١) حساب طاقة الحركة العظمى للإلكترون/ طاقة الفوتون/ دالة الشغل.

معادلة اينشتين طاع $\boxed{(\frac{1}{2} ك_e ع_e^2) = hf - hfo (W_o)}$ جول مثال (١)، (٢)

(٢) حساب طاقة الفوتون/ تردد الضوء الساقط/ الطول الموجي للضوء الساقط.

$$\text{طا} = hf = h\frac{\text{ع ض}}{\lambda}$$ جول مثال (٢) ، (٤)

أو $$\text{طا} = \frac{10^{3}\times 12{,}4}{\lambda \text{ انجستروم}}$$ أ.ف

(٣) حساب دالة الشغل (طاقة النزع) / التردد الحرج/ الطول الموجي:

$$h\frac{\text{ع ض}}{\lambda_o} = hf_o = Wo$$ جول مثال (٣)

أو $$Wo = \frac{10^{3}\times 12{,}4}{\lambda \text{ انجستروم}}$$ أ.ف

(٤) حساب جهد الإيقاف / الطاقة الحركية العظمى للإلكترون:

$$\text{ش}_e \text{ حـ}_o = \frac{1}{2}\text{ ك}_e \text{ ع}_e^2$$ (طاع) جول مثال (٢) ، (٣)

(٥) حساب سرعة الإلكترون:

$$\text{طاع} = \frac{1}{2}\text{ ك}_e \text{ ع}_e^2$$ جول مثال (٢)

ثانياً: الأشعة السينية:

(٦) حساب أقصر طول موجي للأشعة/ فرق الجهد:

$$\lambda_o = \frac{h\text{ ع ض}}{\text{ش}_e \times \text{حـ}}$$ م مثال(٥)،(٦)،(٧)

أو $$\lambda_o = \frac{10^{3}\times 12{,}4}{\text{حـ}}$$ انجستروم

(٧) حساب أقصر طول موجي للأشعة في حالة عدم وجود فرق جهد ووجود سرعة الإلكترون:

$$\lambda_o = \frac{h\text{ ع ض}}{\frac{1}{2}\text{ ك}_e \text{ ع}_e^2}$$ م مثال (٨)

(٨) حساب طاقة الأشعة (الفوتون):

$$\text{طا} = hf = \text{ش}_e \times \text{حـ} = \frac{1}{2}\text{ ك}_e \text{ ع}_e^2$$ جول مثال(٥) ، (٨)

(٩) حساب تردد الأشعة:

$$f_o = \frac{\text{ع ض}}{\lambda_o}$$ هرتز مثال (٥)

أو $$f_o = \frac{\text{ش}_e \times \text{حـ}}{h}$$ هرتز

التعليلات:

	الحقيقة العلمية	التعليل (التفسير)
١	عند سقوط أشعة فوق بنفسجية على لوح زنك (خارصين) سالب موضوع فوق قرص كشاف كهربي تنطبق ورقتي الكشاف.	لأنه تنطبق منه إلكترونات فيصبح سطحه مشحون بشحنة موجبة تتعادل مع شحنتي ورقتي الكشاف السالبة فتنطبق الورقتان.

	الحقيقـة العلميـة	التعليـل (التفسيـر)
٢	عند سقوط أشعة فوق بنفسجية (ضوء) على لوح زجاجي موضوع فوق لوح زنك لا تنفرج ورقتي الكشاف.	لأن الزجـاج يمـتص الأشـعة فـلا تنفـذ إلـى اللوح فيمنع حدوث الظاهرة الكهروضوئية.
٣	عنـد سـقوط الضـوء علـى لـوح زنـك موجـب يـزداد انفـراج ورقتـي الكشـاف الكهربي.	لأنـه تنطلـق منـه إلكترونـات فتـزداد شـحنته الموجبة ويزداد انفراج ورقتي الكشاف.
٤	أنبوب الخلية الكهروضوئية مفرغ من الهواء.	أ) حتى لا تتأكسد مادة المهبط. ب) حتـى لا تعيـق حركـة الإلكترونـات مـن الوصول للمصعد.
٥	أنبـوب الخليـة الكهروضـوئية مـن الكوارتز وليس من الزجاج.	لأن الكـوارتز يسـمح بنفـاذ الأشـعة فـوق البنفسجية التـي طاقتهـا عاليـة بينمـا الزجـاج يمتصها.
٦	كـاثود الخليـة الكهروضـوئية مقعـر الشكل.	حتى تتجمع الإلكترونات المنبعثة منه عموديا سطحة عند مركز التكور حيث يوجد الآنود.
٧	آنـود الخليـة الكهروضـوئية قضـيب معـدني رفيع.	حتى لا يحجب الضوء عن الكاثود.
٨	تسـتخدم دائـرة الخليـة الكهروضـوئية على نطاق واسع في الحياة العملية.	لأنهـا تعتبـر مفتـاح كهربـي لـدائرة أخـرى تتحكم في غلق وفتح هذه الدائرة آلياً.
٩	تـزداد شـدة تيـار الخليـة الكهروضـوئية بزيادة شدة الضوء الساقط عليها.	لأنه بزيادة شدة الضوء تزداد عدد الفوتونـات السـاقطة علـى سـطح الفلـز وحيـث أن كـل فوتـون يصـطدم بـإلكترون لـذلك تـزداد عـدد الإلكترونات المنبعثة وتزداد شدة التيار.
١٠	قـد يمـر تيـار فـي دائـرة الخليـة الكهروضوئية على الرغم من أن فرق الجهد بين المصعد والمهبط = صفر.	لأن طاقـة الضـوء السـاقط علـى المهـبط تكفـي لانتـزاع الإلكترونـات مـن السـطح ثـم تكسـبها طاقة حركة تمكنها من الوصول إلى المصعد فيمر تيار كهربي في الدائرة.
١١	تثبـت شـدة تيـار الخليـة الكهروضـوئية عنـد جهـد معـين للمصـعد مهمـا زاد الجهد.	لأن جهد المصعد الموجب يكون قادر على جذب جميع الإلكترونـات المنبعثـة كـل ثانيـة فيصل إليه عدد ثابت من الإلكترونات وتثبت شدة التيار.
١٢	تقـل شـدة تيـار الخليـة الكهروضـوئية بزيادة سالبية المصعد حتى جهد معين تنعدم عنده شدة التيار.	لأن سـالبية المصـعد تعمـل علـى رد الإلكترونـات المنبعثـة مـن المهـبط لحـدوث التنافر فلا يصل إليه إلا أسرع الإلكترونات وعند جهد سالب معين فإن المصعد يوقف أسـرع الإلكترونـات فـلا تصـل إليـه وينعـدم مرور التيار.
١٣	تنبعث الإلكترونات من سطح المهبط بسرعات مختلفة.	يرجع ذلك حسب مكان الإلكترون المنبعث مـن المهـبط فـإذا كـان فـي سـطح الفلـز فإنـه ينبعث بطاقة حركية كبيرة أما إذا كان بعيداً عن السطح أي في المستوى الأقل فإنه يثار أولاً إلى السطح ثم يتم انتزاعه ولذلك يكتسب طاقة حركية أقل.
١٤	يختلـف انبعـاث الإلكترونـات وكـذلك طاقة حركتها حسب نوع الفلز.	لأن لكل فلز تردد حرج يجب أن لا يقل عنه تـردد الضـوء السـاقط حتـى يمكـن أن يبعـث

	الحقيقــة العلميــة	التعليــل (التفسيــر)
		بالإلكترونات.
١٥	انبعـاث الإلكترونـات مـن سـطح الفلـز عند سقوط الضوء عليه يكون لحظياً.	لأن الفتــرة الزمنيــة بــين ســقوط الضــوء وانبعـاث الإلكترونـات مـن السـطح صـغيرة جداً (١٠-٩ثانية) لذلك تهمل.
١٦	عدم انبعاث الإلكترونات من سطح الفلز إذا كـان تـردد الضـوء السـاقط أصـغر من التردد الحرج.	لأن طاقة الفوتون تكون أقل من طاقة نزع الإلكترونات من سطح الفلز.
١٧	عدم اكتساب الإلكترونـات المنبعثـة من سطح الفلز طاقة حركيـة إذا كـان تـردد الضوء الساقط يساوي التردد الحرج.	لأن طاقة الفوتون تساوي طاقة النزع فينبعث الإلكترون دون اكتسابه طاقة حركة.
١٨	يفضل استخدام الأشعة فوق البنفسجية في الخلايا الكهروضوئية.	لكبــر ترددهــا وطاقتهــا فتــزداد ســرعة الإلكترونات المنبعثة.
١٩	يفضل استخدام السيزيوم كمهبط للخلايا الكهروضوئية.	لصـغر تـرددة الحـرج ودالـة شـغله فتـزداد سرعة الإلكترونات المنبعثة.
٢٠	تسـمى ظـاهرة توليـد الأشـعة السـينية بالظاهرة الكهروضوئية العكسية.	لأنهـا تحـدث عنـد سـقوط إلكترونـات سـريعة علـى سـطح فلـز فتنطلـق فوتونـات الأشـعة السينية وهذا عكس ما يحدث في الظاهرة الكهروضوئية إذ تسقط فوتونات الضوء على سطح الفلز فتنبعث منه الإلكترونات.
٢١	يسـتخدم فـرق جهـد عـالي فـي أنبوبـة توليد الأشعة السينية.	لزيادة طاقة حركة الإلكترونـات المنبعثـة من الكـاثود فتتجـه للهـدم وتصـطدم بـه بسـرعة عالية وتنطلق الأشعة.
٢٢	يفضل أن يكون الهدف في أنبوبة توليد الأشعة السينية من فلز ثقيل.	١) لأن درجــة انصــهاره عاليــة فيتحمــل الحرارة الناتجة من التصادم. ٢) لأن طاقـة مسـتوياته عاليـة فتنطلـق منـه فوتونات الأشعة السينية بطاقة عالية.
٢٣	أنـود أنبوبـة كولـدج مـن النحـاس تتصـل به عوارض معدنية.	لأن النحـاس جيـد التوصـيل للحـرارة فيمتص الحــرارة الناتجــة مــن الهــدف ثــم تقــوم العــوارض بإشــعاعها للهــواء وبــذلك يــتم الـتخلص مـن الحـرارة الشـديدة المتولـدة فـي الأنبوبة.
٢٤	أنبوبة كولدج مفرغة من الهواء.	أ) حتى لا تتأكسد مادة المهبط. ب) حتى لا تعيق حركة الإلكترونات المتجهة نحو المصعد.
٢٥	تحاط أنبوبة توليد الأشعة السينية بـدرع من الرصاص.	لأن الرصـاص يمـتص الأشـعة فيمنـع نفاذهـا وبذلك يحمي العاملين من خطر التعرف لها لطاقتها العالية.
٢٦	طاقة الأشعة السينية لا يمكن أن تكون أكبر من طاقة الإلكترون المقذوف.	لأنها تنتج من تناقص سرعة الإلكترون الـذي اصطدم بالهدف ولذلك لا يبدأ انبعـاث الأشـعة

	الحقيقــة العلميــة	التعليــل (التفسيــر)
		إلا مـن تـردد معـين طاقتـه أصـغر مـن أو تساوي طاقة الإلكترون المقذوف.
٢٧	تستخدم الأشعة السينية في الكشف عن كسور العظام/ وجود الأجسام الصلبة في أمتعة المسافرين.	لأن طاقتها عالية فتكون قدرتها عالية على النفـاذ والمـواد التـي كثافتهـا عاليـة جيـدة الامتصـاص للأشـعة مثـل العظـام والأجسـام الصلبة.
٢٨	أشـعة المصـادر الضـوئية المعروفـة يعتبر غير مترابط بينما أشعة الليزر مترابطة.	لأن فوتونـات أشـعة المصـادر مختلفـة الطـور والاتجـاه فيكـون غيـر متـرابط بينمـا أشـعة الليزر عبارة عن فوتونات لهما نفس التردد والاتجاه والطور فتعتبر مترابطة.
٢٩	لون الياقوت أحمر وردي.	لوجـود كميـة صـغيرة مـن الكـروم الأحمـر كشوائب فيه فتكسبه اللون الأحمر.
٣٠	وجود كمية صغيرة من الكروم كمادة شـائبة فـي اليـاقوت ضـروري لتوليـد أشعة الليزر.	لأن الياقوت يتكون من أكسيد الومنيوم وهو مادة خاملة وأيونات الكروم وهي مادة فعالة تثار فتتولد أشعة الليزر.
٣١	لابـد مـن وجـود المـرآتين العاكسـة ونصـف العاكسـة فـي أسـطوانة توليـد أشعة الليزر.	لإرجاع أو عكس فوتونات أشعة الليزر حتى تتوحـد اتجـاه الأشـعة ويحـدث الإشـعاع المستحث الذي هو أساس توليد أشعة الليزر.
٣٢	تحـاط أسـطوانة اليـاقوت بأنبوبـة تفريـغ حلزونة.	وذلك لسببين: ١) إثارة ذرات الكروم إلى مستويات الطاقة الأعلى. ٢) للحصـول علـى أكبـر كميـة مـن الضـوء (حلزونية).
٣٣	شـعاع الليـزر الأحمـر النـاتج يعطـي طوليين موجيين.	لأنـه ينـتج مـن عـودة الـذرات مـن مستوى الطاقة الثاني الذي يوجد به مستويين فرعيين لكـل مـنهم طاقتـه المختلفـة فينـتج طـوليين موجيين.
٣٤	لا يمكـن تحليـل أشـعة الليـزر بواسـطة منشور ثلاثي.	لأن أشعة الليزر وحيدة اللون لأن فوتوناتها لها نفس الطاقة/ التردد/ الطول الموجي.
٣٥	أشعة الليزر لا تخضع لقانون التربيع العكسي في الضوء.	لأن أشعة الليزر عبارة عن حزمة رفيعة جداً موحـدة الاتجـاه فتحـتفظ بشـدتها لمسـافات بعيدة.
٣٦	تستخدم أشعة الليزر في الجراحة.	لأن طاقتها عالية فتلتحم الأوعية الدموية بعد نفاذها مما يمنع نزيف الدم.
٣٧	تستخدم أشعة الليزر في ثقب المعادن وصهرها وحفر الأنفاق والمناجم.	لأن طاقتها عالية فتقدر على تليين الصخور الصلبة وتفتتها.
٣٨	تستخدم أشعة الليزر في الاتصالات ونقل برامج التلفزيون.	لأنها تنتشر في حزمة طبقية فتحتفظ بشدتها وتركيزها لمسافات بعيدة دون فقد طاقة.

مقارنة بين

الطيف الخطي (المميز)	الطيف المستمر (المتصل)
١) يتولد نتيجة اصطدام إلكترون منبعث من كاثود الأنبوبة بإلكترون موجود في أحد مستويات الطاقة القريبة من النواة.	يتولد نتيجة تأثر الإلكترون المنبعث من كاثود الأنبوبة بالمجال الكهربي لذرة مادة الهدف أثناء اختراقه لهما.
٢) يقل الطول الموجي أي يزيد التردد بزيادة العدد الذري لمادة الهدف ولذلك فهو مميز لمادة الهدف	لا يتأثر طوله الموجي بتغيير نوع مادة الهدف ولذلك فهو غير مميز لمادة الهدف.
٣) خطي متراكب على الطيف المستمر في مواضع مختلفة حسب مادة الهدف.	مستمر (متصل) يتميز بانتهائه الفجائي عند طول موجي معين.
٤) لا يتوقف الطول الموجي على فرق الجهد بين قطبي الأنبوبة.	يقل الطول الموجي بزيادة فرق الجهد بين قطبي الأنبوبة.

مقارنة بين

الانبعاث التلقائي	الانبعاث المستحث
١) تكون الذرة في حالتها العادية قبل سقوط الفوتون عليها فتثار وتعود إلى حالتها العادية وتشع فوتون واحد.	تكون الذرة مثارة قبل سقوط الفوتون عليها فتعود إلى حالتها العادية وتشع فوتونين.
٢)الفوتون المنبعث لهُ نفس تردد الفوتون الأصلي أما الاتجاه والطور غير محددين	الفوتونات المنطلقان متساويان في التردد ومتفقان في الاتجاه والطور.
٣) إشعاع غير مترابط	إشعاع مترابط.
٤) تقل طاقة الأشعة بزيادة المسافة.	الأشعة لها طاقة هائلة وتحتفظ بشدتها وتركيزها لمسافات بعيدة.
٥) مثال لهُ: مصابيح الإضاءة.	مثال لهُ: أشعة الليزر.

مقارنة بين

ضوء المصباح العادي	شعاع الليزر
١) يتكون من فوتونات مختلفة الطاقة والتردد وغير متحدة الطور.	يتكون من فوتونات لها نفس الطاقة والتردد ومتحدة في الطور.
٢)موجاته غير متجانسة وغير مترابطة.	موجاته متجانسة وشديدة الترابط.
٣) طاقته محدودة.	طاقته وشدته عالية جداً.
٤) يفقد طاقته كلما زادت المسافة التي يقطعها	يحتفظ بطاقته وتركيزه لمسافات بعيدة

الإجابات النموذجية لتقويم الوحدة من الكتاب المدرسي

اختر الإجابة الصحيحة:

١) عندما تسقط أشعة ضوئية على لوح معدني ما فإنه تنطلق من سطح المعدن.

أ) فوتونات ضوئية. **ب) إلكترونات ضوئية.**

جـ(نترونات. د) أشعة سينية.

٢) إن أقصر طول موجي في الطيف المتصل للأشعة السينية يعتمد على:

أ) مادة سطح مصعد أنبوب الأشعة السينية.

ب) فرق الجهد المطبق بين طرفي الأنبوب.

جـ(تردد الضوء الساقط على مادة سطح مصعد الأنبوب.
د) شدة الضوء الساقط على مادة سطح مصعد الأنبوب.

٣) تعتمد شدة تيار الخلية الكهروضوئية على:

أ) تردد الضوء الساقط عليها. ب) نوع مادة سطح مهبط الخلية.
جـ(شدة الضوء الساقط عليها. د) دالة شغل المادة.

٤) ضع العلامة (✓) أمام العبارة الصحيحة والعلامة (×) أمام العبارة الخطأ:

- طاقة أشعة ليزر الياقوت أكبر من طاقة الأشعة السينية. (×)
- سرعة أشعة الليزر أكبر من سرعة الأشعة السينية في الهواء. (×)
- في ليزر الياقوت عنصر الكروم هو المسؤول عن الانبعاث الليزري. (✓)
- عنصر الكروم يشكل ٩٥% من بلورة الياقوت. (×)
- التردد الحرج يتعلق بنوع مادة سطح مهبط الخلية الكهروضوئية. (✓)
- تيار الإشباع للخلية الكهروضوئية يعتمد على شدة الإشعاع الساقط عليها. (✓)
- عملية الامتصاص هي عملية انتقال تلقائية من مستوى طاقة إلى مستوى طاقة أعلى. (×)
- جهد الإيقاف يتوقف على تردد الضوء الساقط على الخلية الكهروضوئية. (✓)
- الانبعاث الليزري هو انبعاث حثي. (✓)

٥) عند سقوط أشعة فوق البنفسجية على لوح من الزنك موجب الشحنة، ماذا يحدث للشحنات؟ (إعط تفسيراً لجوابك).

جـ(٥): تزداد شحنته الموجبة أي تزداد إيجابيته ويرجع ذلك لإنه عند سقوط الأشعة عليه تنبعث منه إلكترونات سالبة.

٦) ماذا يحدث للفوتونات عندما تصطدم بالإلكترونات داخل الذرة.

جـ(٦): يفنى الفوتون كجسم أي تتلاشى كتلته ويتحول لطاقة يمتصها الإلكترون.

٧) ما هي الظاهرة الكهروضوئية؟ وما هي الإلكترونات الضوئية؟

جـ(٧): أنظر

٨) أرسم مخطط الجهاز الذي استخدمه مليكان لدراسة الظاهرة الكهروضوئية.

جـ(٨): أنظر **٩)** أشرح معادلة اينشتين في تفسيرها لظاهرة الكهروضوئية.

جـ(٩): أنظر

١٠) أعط تفسيراً للطيف الخطي والطيف المتصل للأشعة السينية.

جـ(١٠): أنظر

١١) أرسم مستويات الطاقة لعنصر الكروم في بلورة الياقوت وبين عليها الانتقالات التلقائية والحثية بين مستويات الطاقة في عملية توليد الليزر.

جـ(١١): أنظر

١٢) اشرح عملية توليد ليزر الياقوت بالاستعانة بمخطط مستويات الطاقة لعنصر الكروم.

جـ(١٢): أنظر

١٣) أذكر استخداماً واحداً لكل من:

أ– الخلية الكهروضوئية. ب – الأشعة السينية. جـ– أشعة ليزر الياقوت.

جـ(١٣): أ)الخلية الكهروضوئية: تستخدم كجرس إنذار ضد اللصوص في البنوك وغيره.
ب) الأشعة السينية: تستخدم في الطب للكشف عن كسور العظام – وجود الحصوات في الكلية والمرارة.
جـ(أشعة ليزر الياقوت: في الطب في جراحة الكبد / السرطان / العيون.

١٤) إذا علمت أن الطاقة اللازمة لنزع إلكترون من سطح معدن هي (٣٥.٤) إلكترون فولت، وأُسقط على هذا السطح ضوء وحيد اللون طول موجته ٤٠٠ أنجستروم، هل تنبعث إلكترونات من سطح المعدن؟

جـ(١٤): W_o = ٣٥.٤ أ.ف = ٣٥.٤ × ١.٦ × ١٠$^{-١٩}$ = ٥٦.٦٤ × ١٠$^{-١٩}$ جول.

λ = ٤٠٠ A^o = ٤٠٠ × ١٠$^{-١٠}$ = ٤ × ١٠$^{-٨}$م

∵طf=ط ⇐ ط = $\frac{ع_{ص}}{\lambda} = \frac{h}{\frac{3\times10^{8}}{4\times10^{-8}}} = \frac{6,625\times10^{-34}}{3\times10^{8}}$ = ٤.٩٧ × ١٠$^{-١٨}$=٤٩.٧ × ١٠$^{-١٩}$جول

∴ لا تنبعث إلكترونات لأن طاقة الفوتون أصغر من طاقة النزع.

(١٥) أضيء سطح الصوديوم بضوء طول موجته ٣٠٠٠ أنجستروم فإذا علمت أن دالة الشغل لمعدن الصوديوم = ٢.٤٦ (أ .ف)

احسب ما يلي:

أ- الطاقة الحركية للإلكترونات المتحررة. ب- سرعتها.

جـ- الطول الموجي الحرج. د- جهد الإيقاف.

جـ(١٥): W_o = ٢.٤٦أ.ف = ٢.٤٦ × ١.٦ × ١٠$^{-١٩}$ = ٣.٩٣٦×١٠$^{-١٩}$جول

λ = ٣٠٠٠ A^o = ٣٠٠٠ × ١٠$^{-١٠}$ = ٣ × ١٠$^{-٧}$م

أ) ∵ طا$_ع$ = $W_O - hf$

∴ طا$_ع$ = $W_O - \frac{h\,ع_ص}{\lambda}$ = ٣.٩٣٦×١٠$^{-١٩}$ - $\frac{10\times6{,}625\times^{8}10\times3}{10\times3^{-7}}$

∴ طاع = ٦.٦٢٥×١٠$^{-١٩}$ – ٣.٩٣٦ × ١٠$^{-١٩}$ = ٢.٦٨٩ × ١٠$^{-١٩}$ جول.

ب) ∵ طا$_ع$ = $\frac{1}{2}$ ك$_e$ $ع_e^2$

∴ $ع_e^2$ = $\frac{2\,طا_ع}{ك_e}$ = $\frac{2\times2{,}689\times10^{-19}}{9{,}1\times10^{-31}}$ = ٠.٥٩ × ١٠^{١٢}

∴ ع$_e$ = $\sqrt{٠.٥٩ \times ١٠^{١٢}}$ = ٠.٧٧ × ١٠^{٦} م/ث.

جـ) ∵ $hf_o = W_o$ ∴ $h\frac{ع_ص}{\lambda_o} = W_o$ ∴ $\frac{h\,ع_ص}{W_o} = \lambda_o$

∴ λ_o = $\frac{10\times6{,}625\times^{8}10\times3}{10\times3{,}936^{-19}}$ = ٥.٠٥ × ١٠$^{-٧}$م

λ_o = ٥.٠٥ × ١٠$^{-٧}$ × ١٠^{١٠} = ٥٠٥٠ انجستروم

د) ∵ ش$_e$ × حـ$_ه$ = طاع

∴ حـ$_ه$ = $\frac{طا_ع}{ش_e}$ = $\frac{10\times2{,}689^{-19}}{10\times1{,}6^{-19}}$ = ١.٦٨ فولت.

١٦) احسب فرق الجهد الذي يجب أن يعجل به إلكترون بحيث يكون أقصر الأطوال الموجية في طيف الأشعة السينية يساوي واحد انجستروم.

جـ(١٦): $\lambda_o = 1\ A^o = 10^{-10}$ م حـ = ؟

$$\because \lambda_o = \frac{h\ ع_{ص}}{ش_e \times حـ}$$

$$\therefore حـ = \frac{h\ ع_{ص}}{\lambda_o \times ش_e} = \frac{10\times 3\times 10^{8}\times 6{,}625\times 10^{-34}}{10\times 1{,}6\times 10^{-19}\times 10^{-10}} = ١٢.٤ \times ١٠^{٣}$$ فولت.

١٧) إذا كان فرق الجهد بين طرفي أنبوب الأشعة السينية هو ٢٥ × ١٠ ^{٣} فولت.

احسب: أعلى تردد للأشعة السينيةالمنبعثة.

جـ(١٧): حـ = ٢٥ × ١٠ ^{٣} f = ؟

$$\because \lambda_o = \frac{h\ ع_{ض}}{ش_e \times حـ} = \frac{10\times 3\times 10^{8}\times 6{,}625\times 10^{-34}}{10\times 1{,}6\times 10^{-19}\times 25\times 10^{3}} = ٠.٥ \times ١٠ \times ١٠^{-١٠}$$ م.

$$f = \frac{ع_{ض}}{\lambda_o} = \frac{10\times 3^{8}}{10\times 0{,}5^{-10}} = ٦ \times ١٠^{١٨}$$ هرتز

حل ثاني: $f = \frac{ش_e \times حـ}{h} = \frac{10\times 1{,}6\times 10^{-19}\times 25\times 10^{3}}{10\times 6{,}625^{-34}} = ٦ \times ١٠^{١٨}$ هرتز.

١٨) احسب أقصر الأطوال الموجية للأشعة السينية المنبعثة إذا كانت كمية حركة الإلكترون عند اصطدامه بالهدف تساوي ٦٣.٧ × ١٠ $^{-٢٥}$ كجم. م/ث.

علماً بأن كتلة الإلكترون ($ك_e$) = ٩.١ × ١٠ $^{-٣١}$ كجم.

جـ(١٨): كت = ٦٣.٧ × ١٠ $^{-٢٥}$ λ_o = ؟

$$\because كت = ك_e \times ع_e \quad \therefore ع_e = \frac{كت}{ك_e} = \frac{10\times 63{,}7^{-25}}{10\times 9{,}1^{-31}} = ٧ \times ١٠^{٦}$$ م/ث

$$\because \lambda_o = \frac{h\ ع_{ص}}{\frac{1}{2} ك_e\ ع_e^{2}} \quad \therefore \lambda_o = \frac{10\times 3\times 2\times 6{,}625\times 10^{-34}}{10\times 9{,}1^{-31}\times (10\times 7)^{6}}$$

$$\therefore \lambda_o = ٠.٠٨٩ \times ١٠^{-٧}$$ م $\lambda_o = ٠.٠٨٩ \times ١٠^{-٧} \times ١٠^{١٠} = ٨٩$

انجستروم.

تم التحميل من مدونة ملخصات الثانوية العامة

للمزيد قم بزيارة المدونة على الرابط التالي

https://ye-thirdsecondr.blogspot.com

ومدونة اقرا معي وتعلم على الانترنت على الرابط

https://aimn2013.blogspot.com