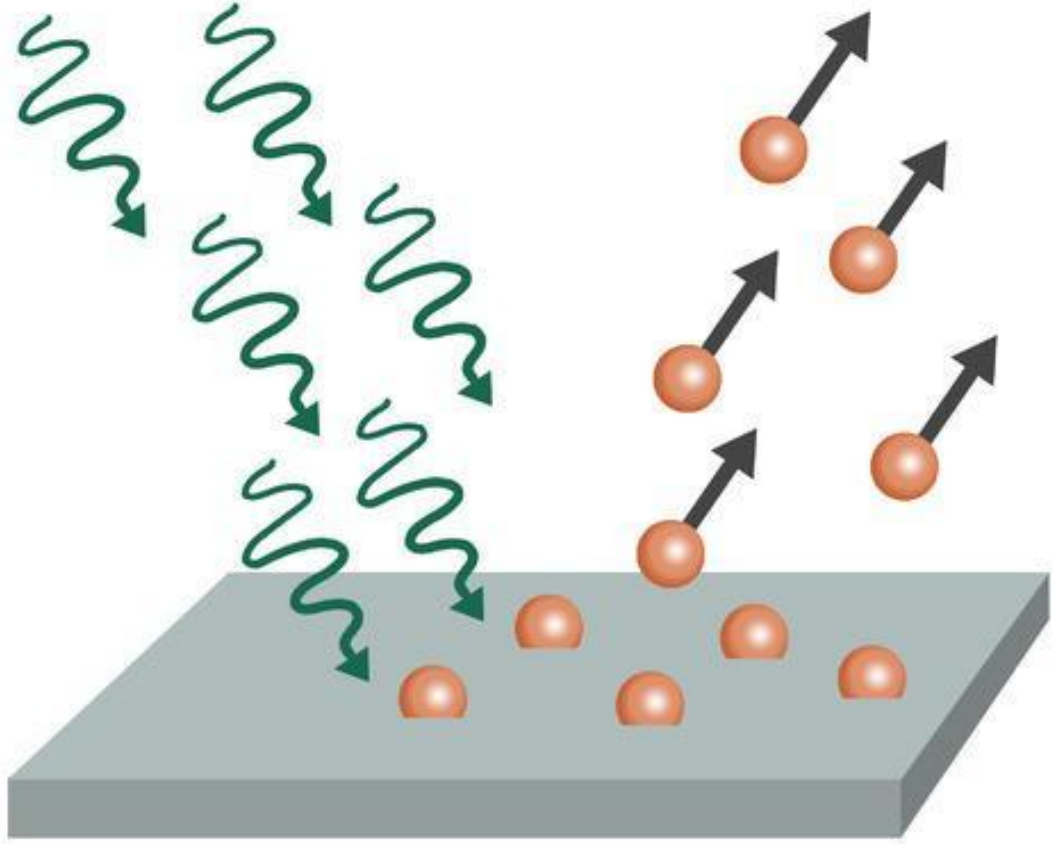
الدرس 8-2

التأثير الكهروضوئي



سلطنة عمان
وزارة التربية والتعليم

فيزيا ٤

الوحدة الثامنة:

الثاني عشر

الأهداف

8-5	يذكر أن إلكترونات ضوئية تنبعث من سطح فلزي عندما يُسلّط عليه إشعاع كهرومغناطيسي مناسب.	• يصف التأثير الكهروضوئي.
8-6	يعرّف المصطلحَين تردد العتبة وطول موجة العتبة ويستخدمهما.	• يُعرّف مصطلحَي تردد العتبة وطول موجة العتبة. • يستخدم مصطلحَي تردد العتبة وطول موجة العتبة عند شرح التأثير الكهروضوئي وانبعاث الإلكترونات الضوئية.
8-7	يشرح الانبعاث الكهروضوئي باستخدام طاقة الفوتون ودالة الشغل.	• يُعرّف مصطلح دالة الشغل. • يشرح انبعاث الإلكترونات الضوئية بدلالة طاقة الفوتون ودالة الشغل.
8-8	يستخدم المعادلة: $hf = \Phi + \frac{1}{2} mv_{max}^2$	• يستخدم المعادلة التي تربط طاقة الفوتون بدالة الشغل وطاقة الحركة القصوى للإلكترونات الضوئية في عمليات حسابية، ويعيد ترتيب المعادلة حسب الحاجة.
8-9	يشرح أن طاقة الحركة القصوى للإلكترونات الضوئية تعتمد على تردد الضوء الساقط ولا تعتمد على شدته، في حين أن شدة التيار الكهروضوئي تتناسب طرديًا مع شدة الضوء.	• يستخدم المعادلة $hf = \Phi + \frac{1}{2} mv_{max}^2$ لشرح سبب تأثُّر طاقة الحركة للإلكترونات الضوئية بتردد الضوء وليس بشدة الضوء. • يشرح العلاقة بين شدة التيار الكهروضوئي وشدة الضوء، عندما يكون تردد الفوتون أكبر من تردد العتبة للفلز.

التمهيد

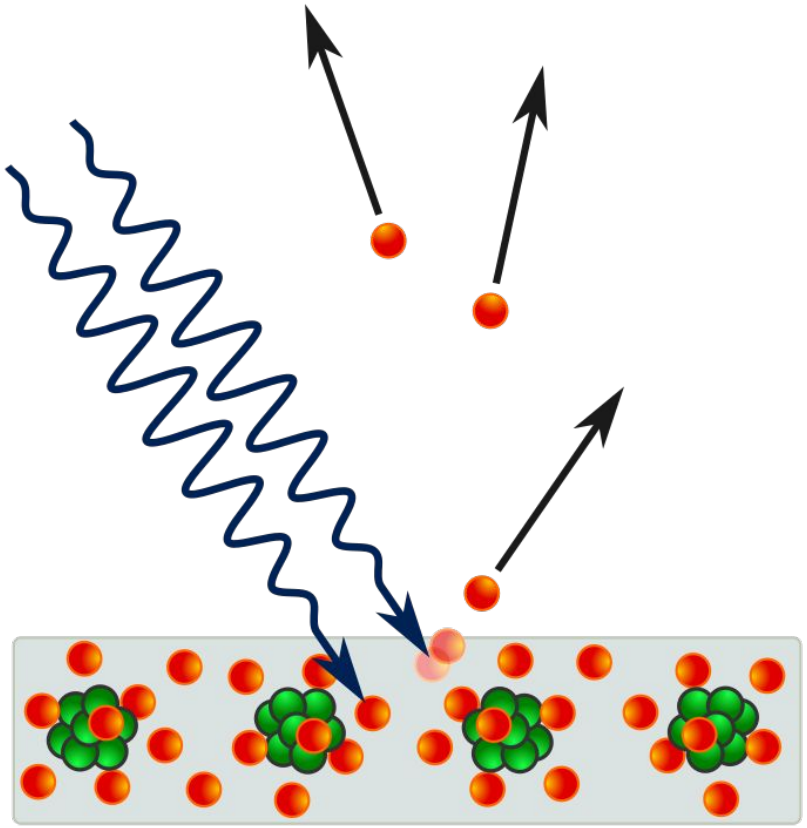
- ما مبدأ عمل الخلية الشمسية؟
- اذكر تحولات الطاقة في الخلايا الشمسية؟
- اذكر أسماء أخرى لها؟

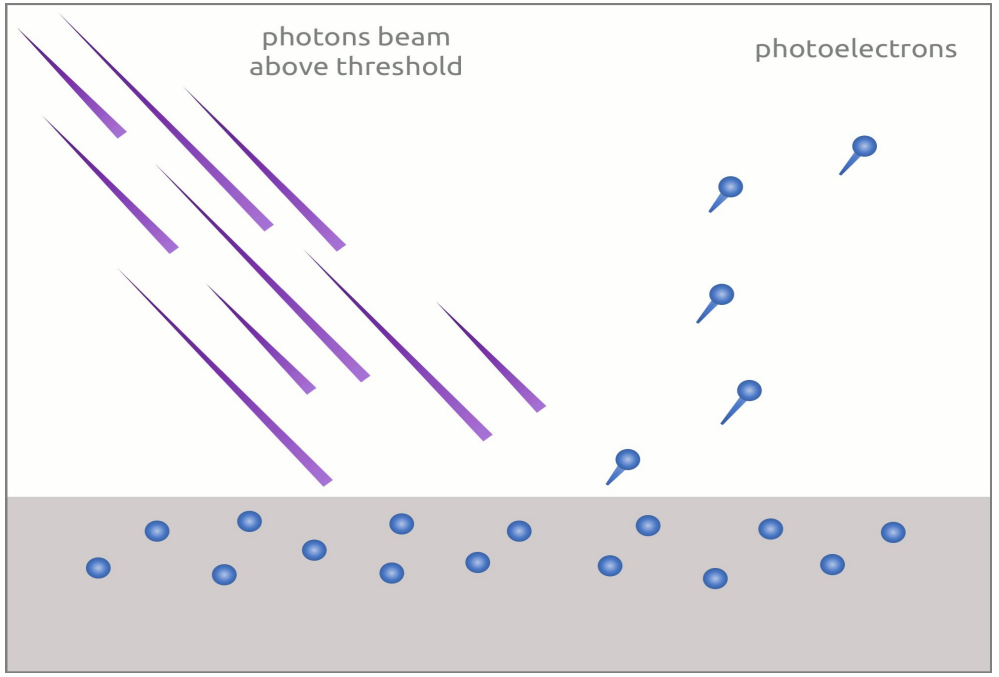
العالم هرتز هو أول من اكتشف التأثير الكهروضوئي وكان العالم آينشتاين أول من فسر ظاهرة التأثير الكهروضوئي

التأثير الكهروضوئي

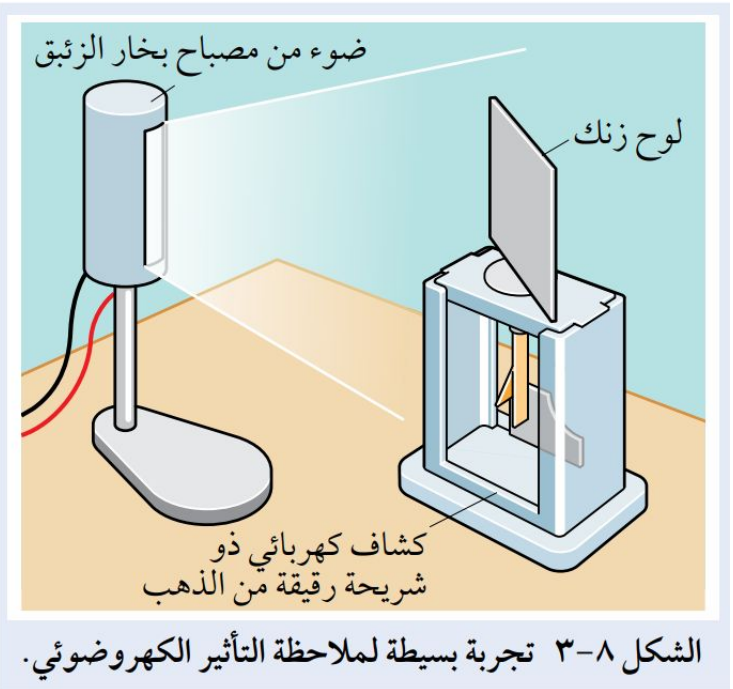
التأثير الكهروضوئي: تفاعل بين فوتون وإلكترون في فلز ما , حيث يتحرر الإلكترون من سطح هذا الفلز.

الإلكترونات الضوئية: هي الإلكترونات التي تتحرر بسبب تعرضها لموجات كهرومغناطيسية.



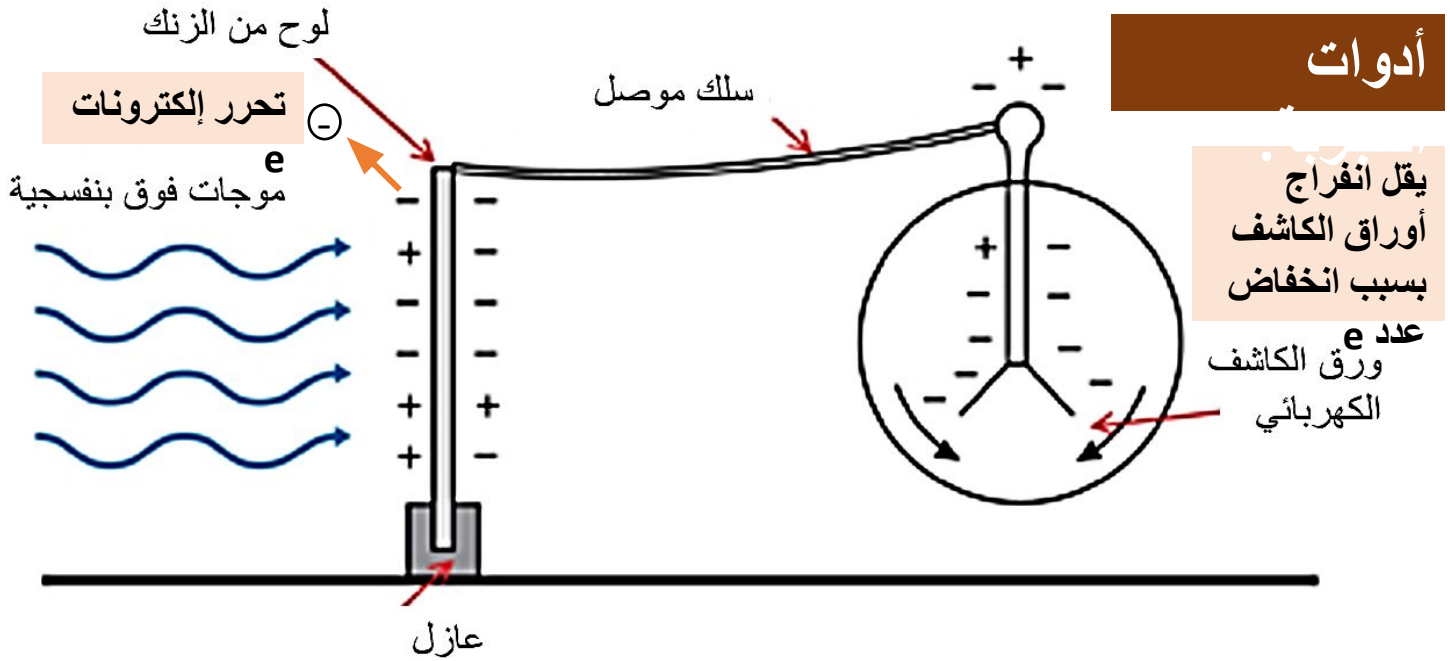


ملاحظات التأثير الكهروضوئي



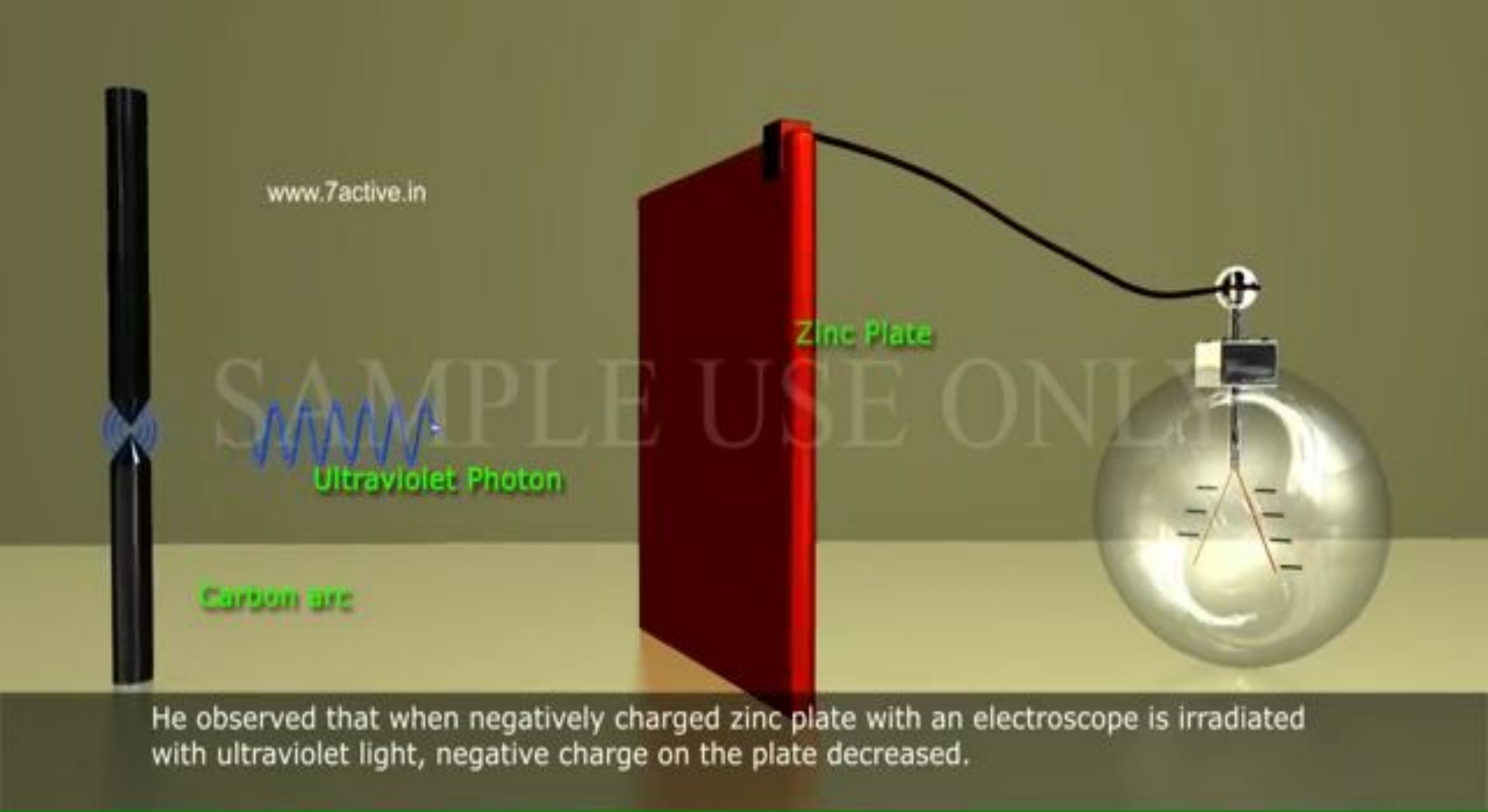
الشكل ٨-٣ تجربة بسيطة لملاحظة التأثير الكهروضوئي.

أدوات



ملاحظات

- عند تسليط ضوء من مصباح بخار الزئبق على لوح زنك يقل انفراج ورقتي الكشاف ← دليل على ← تحرر الإلكترونات من اللوح
- عند وضع حاجز زجاج بين المصدر واللوح لا يظهر أي تأثير ← دليل على ← الموجات الفوق البنفسجية الجزء الفعال من الإشعاع الصادر من المصباح تم امتصاصها
- عند تقريب المصدر من اللوح يقل انفراج ورقتي الكاشف بسرعة ← دليل على ← زيادة معدل الإلكترونات المتحررة



SAMPLE USE ONLY

He observed that when negatively charged zinc plate with an electroscope is irradiated with ultraviolet light, negative charge on the plate decreased.

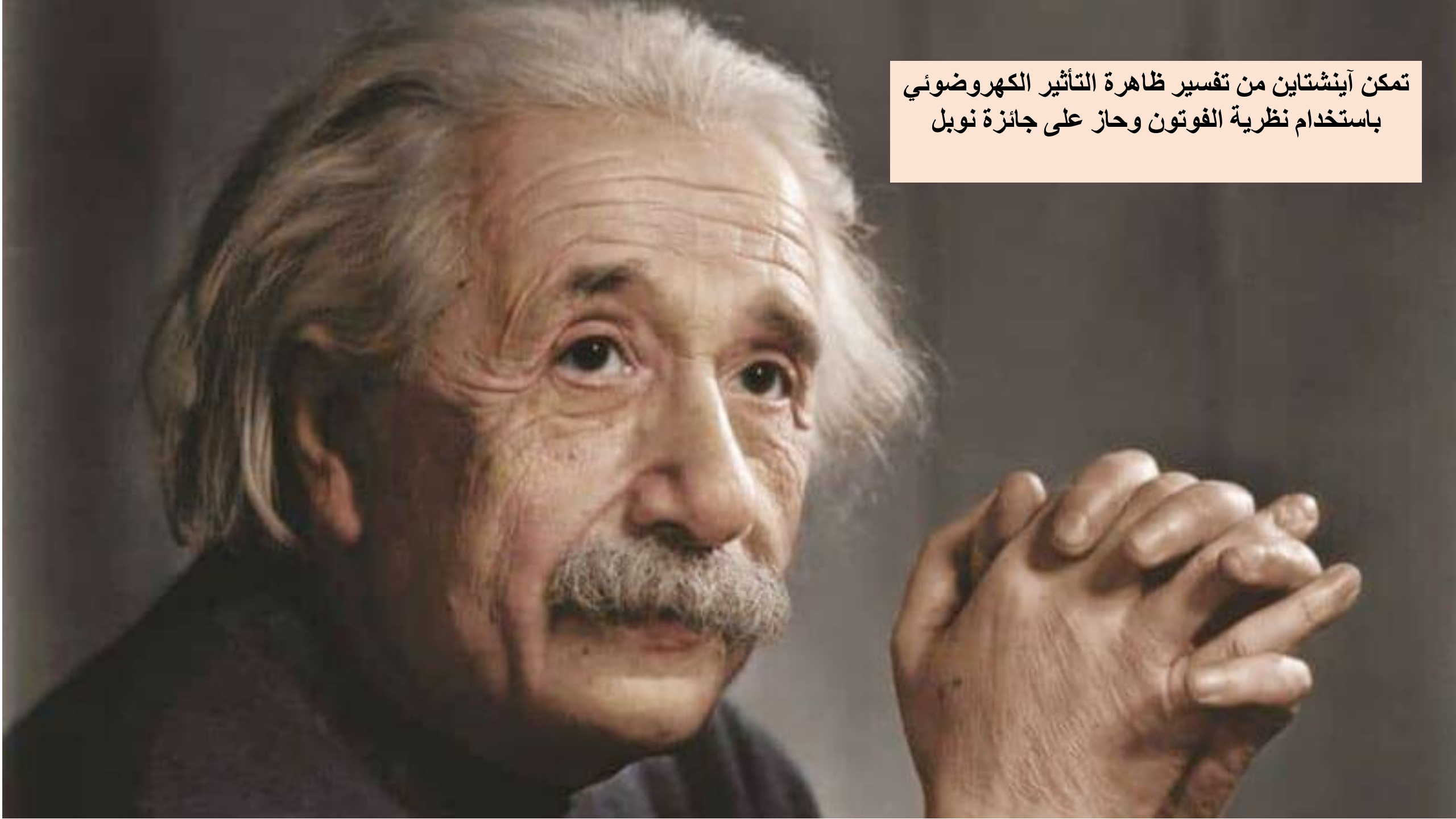
الكهروضوئي

الرابط :
https://javalab.org/en/photoelectric_effect_2_en/

ملاحظات التأثير الكهروضوئي التي لم تتمكن النظرية الموجية الضوء من تفسيرها

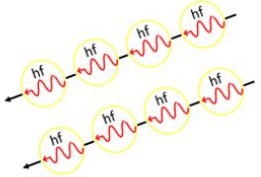
يحدث انبعاث الإلكترونات بمجرد سقوط الإشعاع الكهرومغناطيسي المناسب على الفلز.	زيادة الشدة ليس لها تأثير على طاقة الحركة للإلكترونات.
يعدّ الإشعاع الكهرومغناطيسي الضعيف (منخفض الشدة) فعّالًا.	هناك حاجة إلى أدنى تردد لانبعاث الإلكترونات.
تؤدي زيادة شدة الإشعاع الكهرومغناطيسي المناسب إلى زيادة معدل انبعاث الإلكترونات من الفلز.	زيادة تردد الإشعاع الكهرومغناطيسي يزيد من طاقة الحركة القصوى للإلكترونات.

ما تفسير هذه الملاحظات

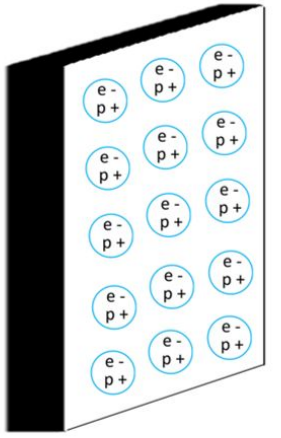


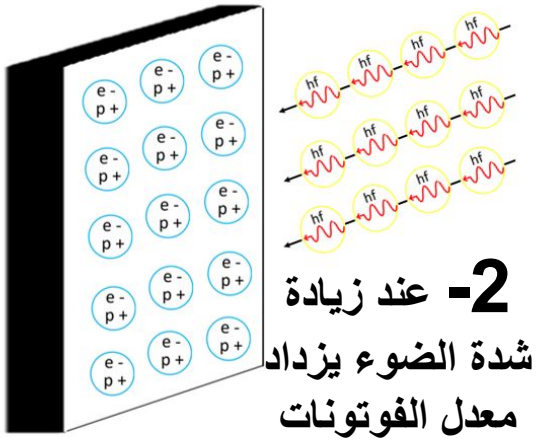
تمكن آينشتاين من تفسير ظاهرة التأثير الكهروضوئي
باستخدام نظرية الفوتون وحاز على جائزة نوبل

فروض نظرية الفوتون لآينشتين

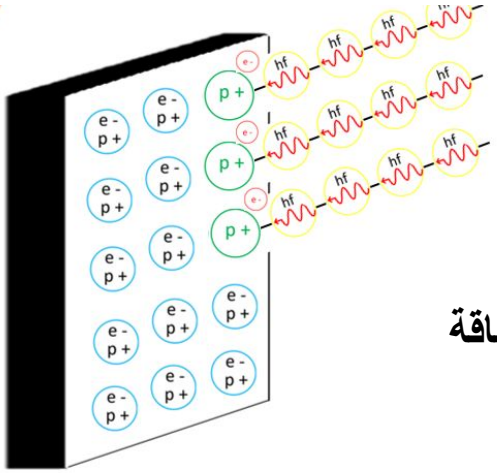


1- ضوء أحادي اللون مكون من فوتونات جميعها لها نفس الطاقة والتردد





2- عند زيادة شدة الضوء يزداد معدل الفوتونات

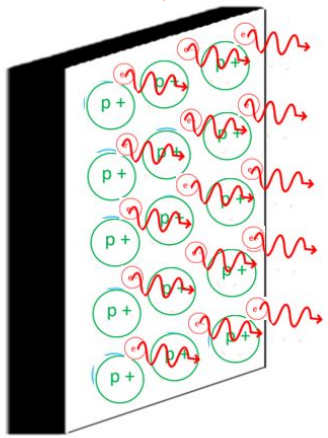


3- كل فوتون يعطي طاقته لإلكترون واحد فقط (e) ويجب أن تكون الطاقة محفوظة.

4- يتحرر الإلكترون السطحي لحظيا (مباشرة) من سطح الفلز عندما تكون طاقة الفوتون (تردد مناسب) كافية لتحرر الإلكترون. أي يكون هناك 3 احتمالات واردة:

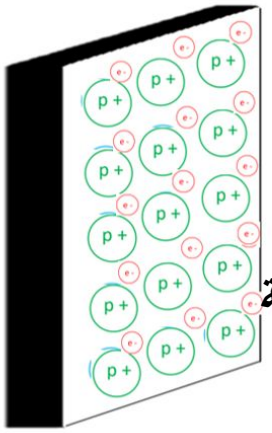
3 تتحرر e من سطح الفلز وتتحرك إلى موقع آخر, لأن e يستخدم جزء من طاقته في التحرر من الذرة والجزء المتبقي يكسبه طاقة حركة.

حتى وإن كانت شدة الضوء ضعيفة.



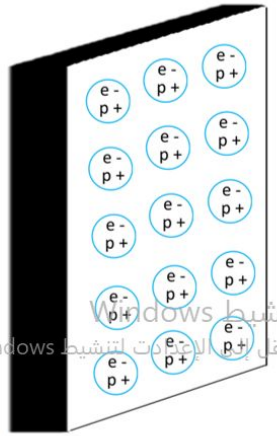
2 تتحرر e من ذراتها (الفلزات) ولكنها لا تتحرك من مواقعها, لأن e يستخدم كل الطاقة للتحرر من الذرة ولا يبقى لدية طاقة حركة.

حتى وإن كانت شدة الضوء ضعيفة.



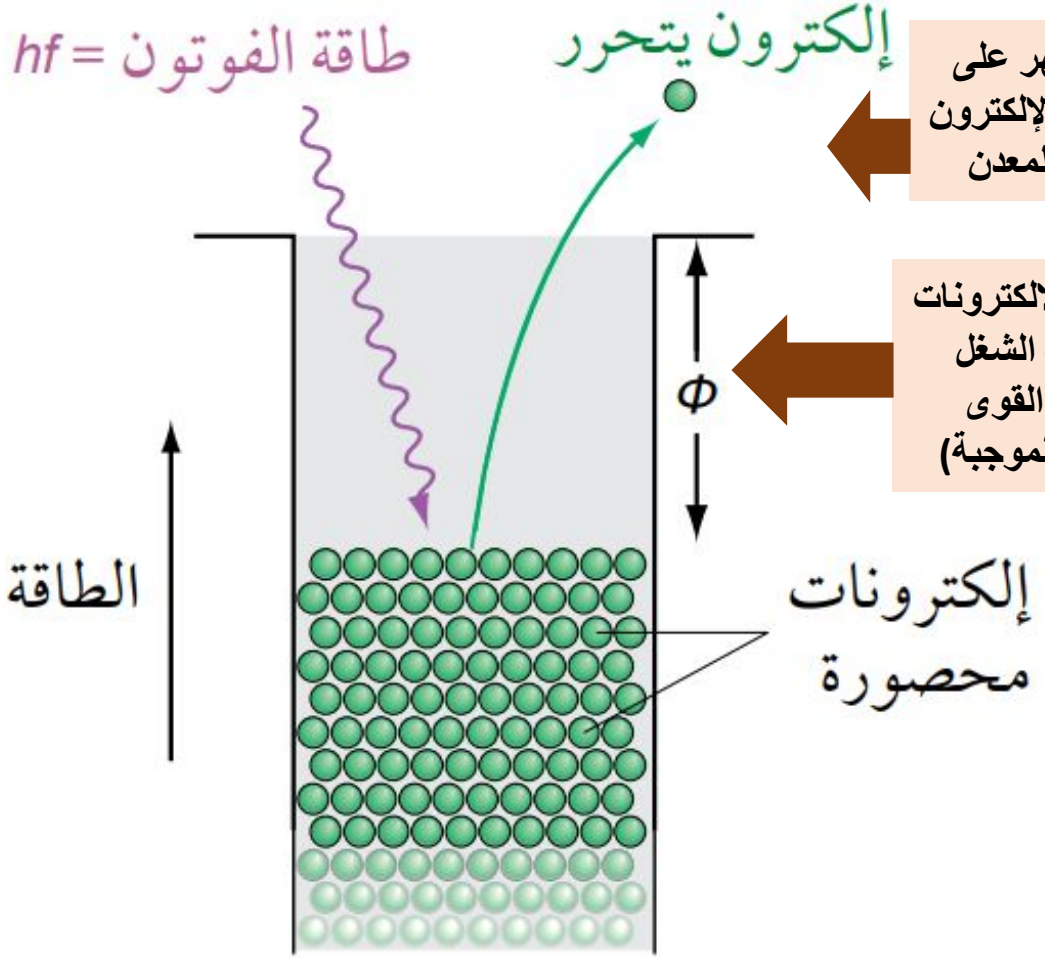
1 لا تتحرر e من ارتباطها بذراتها (الفلزات) , لان طاقة الفوتون لا تكفي للتخلص من طاقة الربط بالذرة.

مهما زادت شدة الضوء الساقط.



تنشيط Windows
انتقل إلى الإعدادات لتنشيط Windows

طاقة الفوتون (eV) hf محفوظ



الشكل ٨-٥ قد يتفاعل فوتون واحد مع إلكترون واحد لتحريره وانطلاقه بطاقة حركة عظمى.

ثانيا : الجزء الباقي يظهر على شكل طاقة حركة يكتسبها الإلكترون عند خروجه من سطح المعدن

أولا : جزء من هذه الطاقة يستنفذ لتحرير الإلكترونات من سطح المعدن وتسمى هذه الطاقة دالة الشغل (فالإلكترونات منجذبة إلى الفلز بواسطة القوى الكهروستاتيكية الناتجة عن أيونات الفلز الموجبة)

معادلة آينشتاين للكهروضوئية

$$hf = \varphi + \frac{1}{2}mv_{max}^2$$

طاقة الحركة العظمى للإلكترونات المنبعثة — دالة الشغل — طاقة الفوتون

$$h\frac{C}{\lambda} = \varphi + \frac{1}{2}mv_{max}^2$$

إذا كانت طاقة الفوتون تساوي دالة الشغل؟

يتحرر الإلكترون ولكن يبقى على سطح الفلز(لا يتحرك)

$$hf = \varphi + KE_{max}$$

$$\varphi = h f_\circ = \frac{hc}{\lambda_\circ}$$

طول موجة العتبة
أقصى طول موجي للإشعاع الكهرومغناطيسي الساقط الذي يحرر إلكترونات من سطح فلز ما.

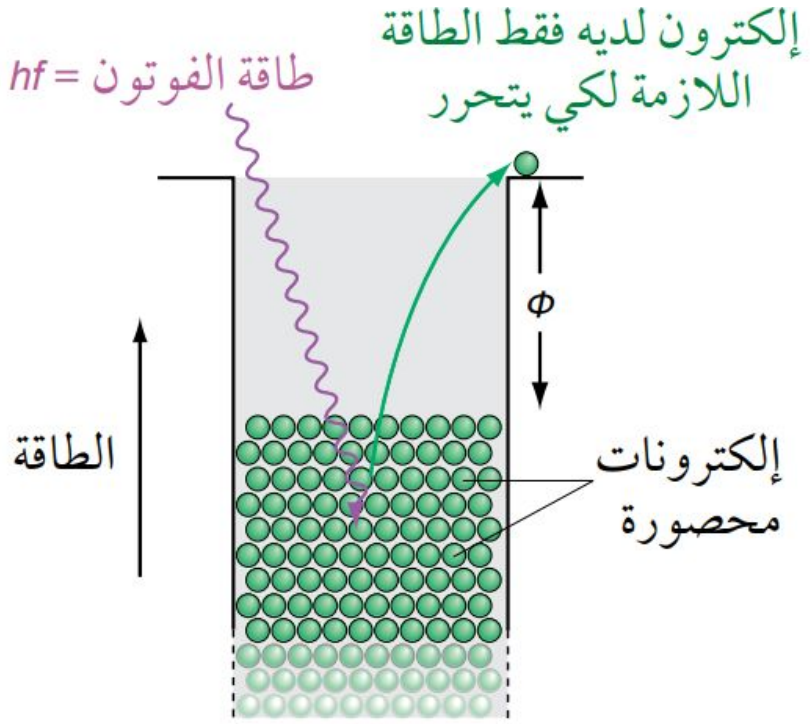
تردد العتبة
أدنى تردد للإشعاع الكهرومغناطيسي الساقط الذي يحرر إلكترونات من سطح فلز ما.

دالة الشغل (eV)
أدنى طاقة يحتاج إليها إلكترون للتحرر من سطح فلز ما.

الفلز	دالة الشغل Φ (J)	دالة الشغل Φ (eV)
السيزيوم	3.4×10^{-19}	2.1
الكالسيوم	4.6×10^{-19}	2.9
الذهب	8.2×10^{-19}	5.1
البوتاسيوم	3.7×10^{-19}	2.3
الزنك	6.9×10^{-19}	4.3

φ \ $\lambda_\circ$ \ $f_\circ$

قيم خاصة للمعدن وتختلف من معدن الى آخر ولكنها ثابتة للمعدن الواحد.

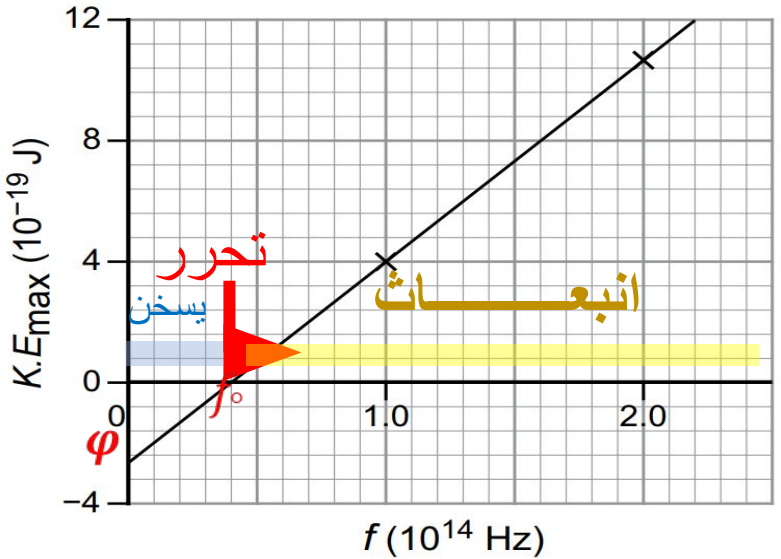


الشكل ٨-٦ يحتاج الإلكترون المرتبط بشدة في أسفل سطح الفلز إلى مزيد من الطاقة لتحريره من الفلز.

الاحتمالات الواردة عند سقوط ضوء على سطح فلز ما

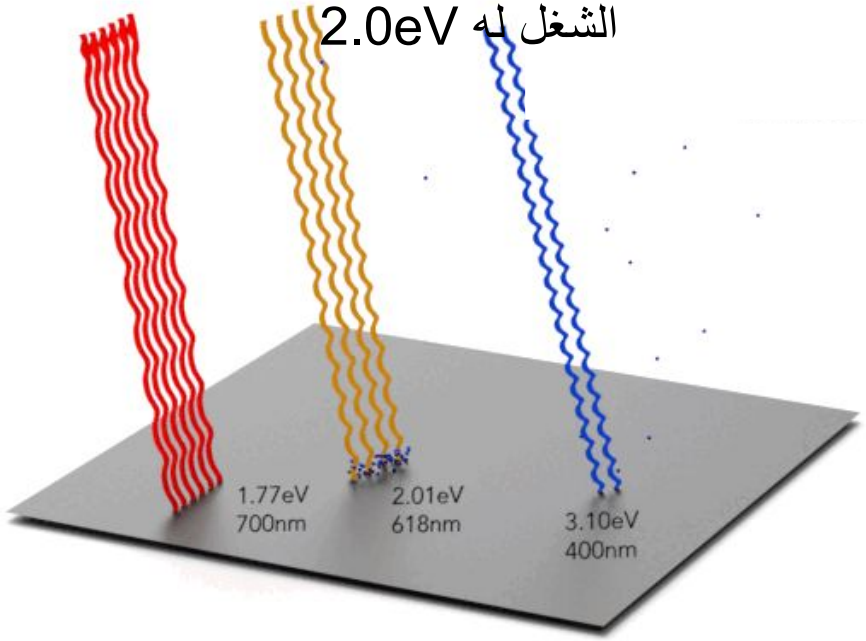
	طاقة الفوتون	تردد الفوتون	الطول الموجي للفوتون	التغيرات في الفلز
1				- لا يحدث انبعاث كهروضوئي - يسخن الفلز
2				تتحرر الإلكترونات من سطح المعدن فقط دون أن تكتسب طاقة حركية
3				

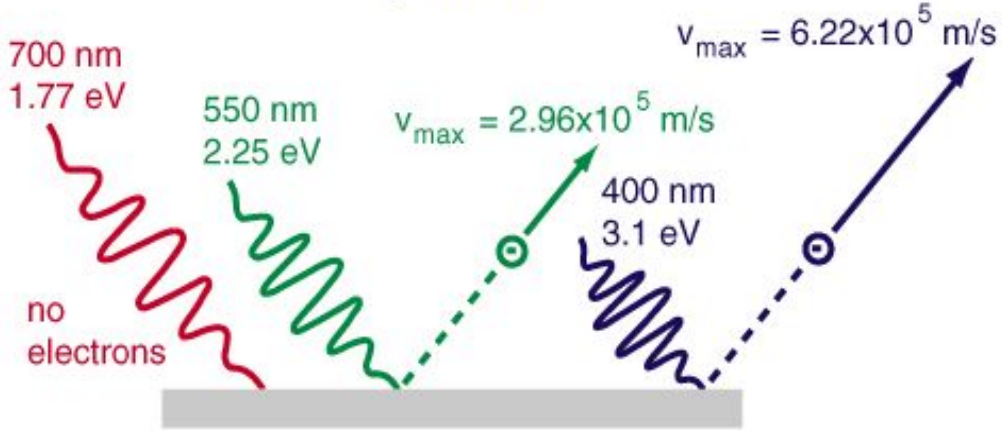
تمثيل بياني يوضح تغير طاقة الحركة القصوى للإلكترونات المنبعثة من سطح فلز ما



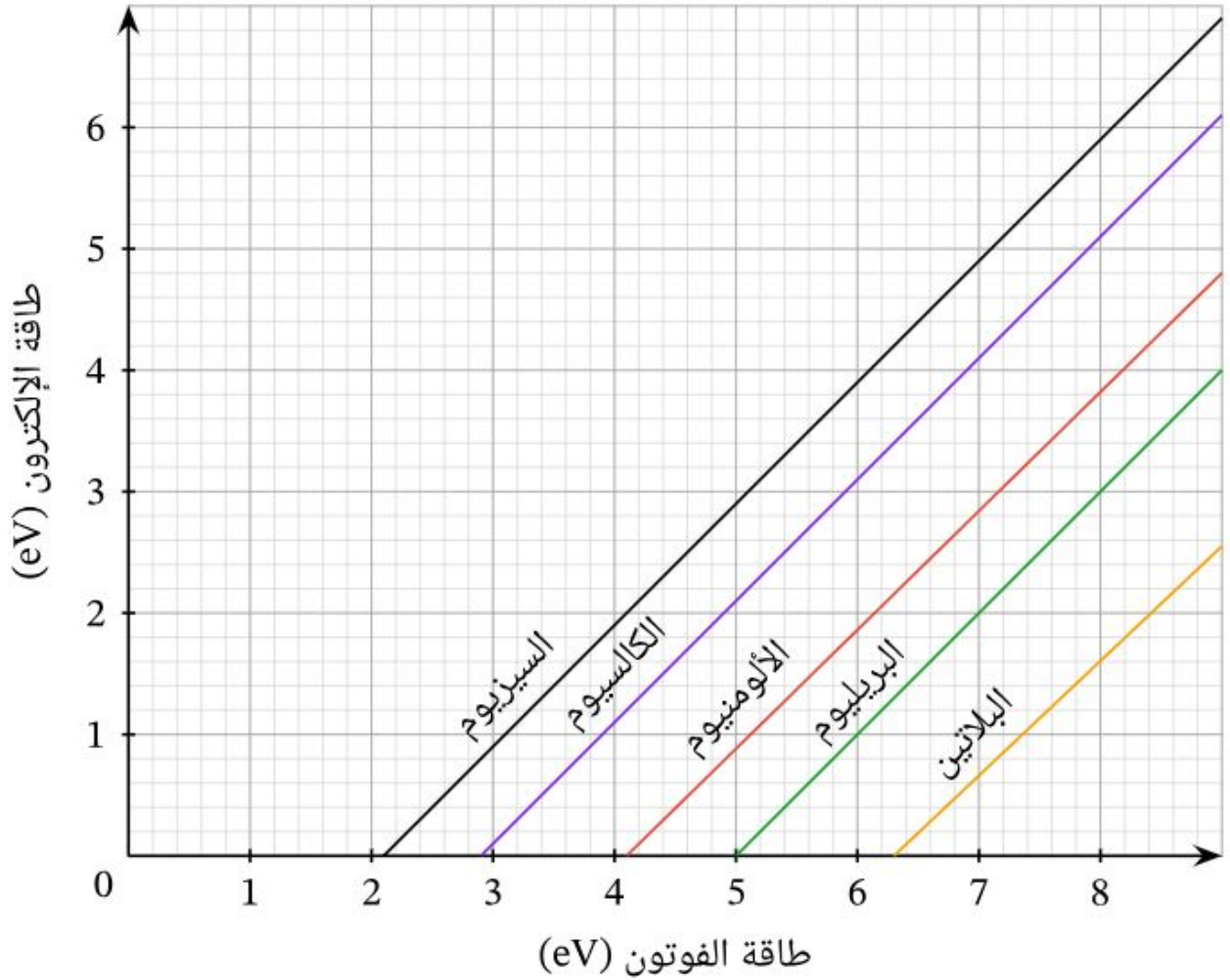
فكر!!! ماذا يمثل ميل المنحنى b؟؟

مثال : سقوط أكثر من ضوء على لوح من البوتاسيوم دالة الشغل له 2.0eV





يوضح التمثيل البياني طاقة الحركة القصوى للإلكترونات المنبعثة من اسطح فلزات مختلفة عند تعريضها لضوء له ترددات مختلفة



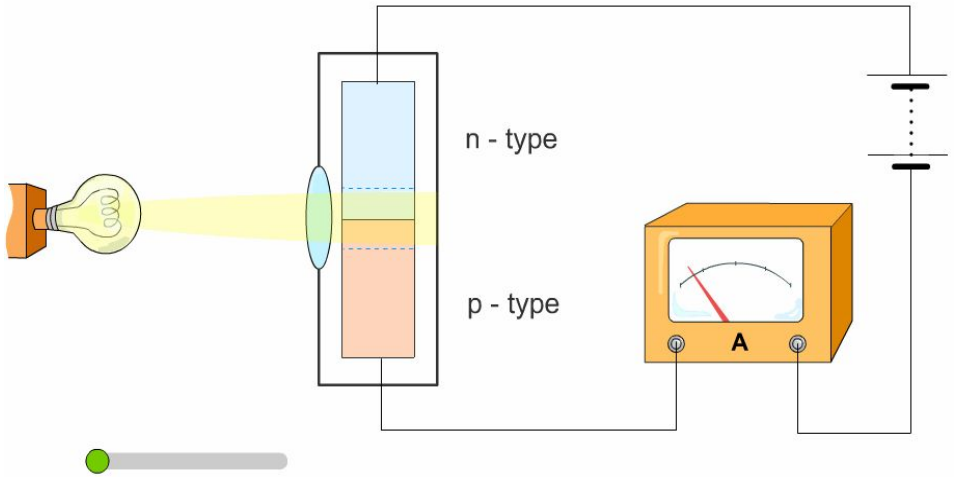
- أي الفلزات له أقل دالة شغل؟
- أي الفلزات له أعلى دالة شغل؟
- علل ثبات الميل لجميع المنحنيات ؟
- أي الفلزات يحدث فيها انبعاث كهروضوئي إذا كانت طاقة الفوتون الساقط على الفلزات 4eV .
- رتب تصاعديا الفلزات حسب طاقة الحركة القصوى للإلكترونات المنبعثة منها إذا كانت طاقة الفوتون الساقط على الفلزات 8eV .

تغير شدة الضوء الساقط على سطح الفلز

كلما زادت شدة الضوء الساقط (أي معدل الفوتونات أكبر بينما ترددها وطاقتها ثابته) وكان تردده أكبر من تردد العتبة للفلز:

- زاد معدل الإلكترونات الضوئية المنبعثة وبالتالي زادت شدة التيار الكهروضوئي

طاقة حركة الإلكترونات ثابته طالما لم يتغير تردد الفوتون (طاقة الفوتون ثابته)



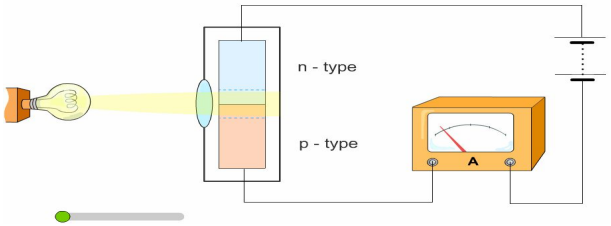
الخلاصة: تفسير أينشتاين لتأثير الكهروضوئي

عند تسليط ضوء أحادي اللون على سطح فلز

يمتص الإلكترون طاقة الفوتون فيتحرر إذا تجاوز تردد الفوتون تردد العتبة للفلز

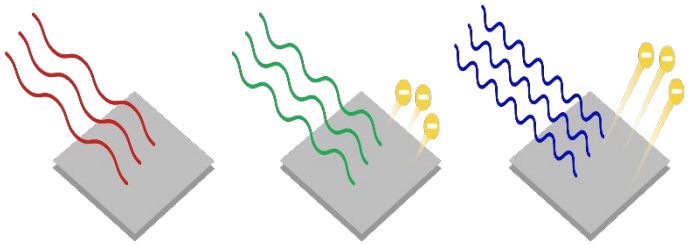
$$\varphi = hf_{\circ}$$

بتغير شدة الضوء الساقط



كلما زادت شدة الضوء الساقط (زادت عدد الفوتونات بينما ترددها وطاقتها ثابته) زادت عدد الإلكترونات الضوئية المنبعثة وبالتالي زادت شدة التيار الكهروضوئي

بتغير تردد الضوء الساقط



كلما زاد تردد الضوء الساقط زادت طاقة حركة الإلكترونات الضوئية المنبعثة وفق المعادلة التالية

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

نجاح نموذج الفوتون في تفسير ملاحظات التأثير الكهروضوئي

الملاحظة	التفسير
يحدث انبعاث الإلكترونات بمجرد سقوط الإشعاع الكهرومغناطيسي المناسب على الفلز.	يتفاعل فوتون واحد مع إلكترون واحد، فإذا كانت طاقة الفوتون الساقط مساوية أو أكبر من دالة الشغل للفلز، فستتحرّر الإلكترونات لحظيًا.
يعدّ الإشعاع الكهرومغناطيسي الضعيف (منخفض الشدة) فعّالًا.	تعني الشدة المنخفضة معدّلًا أقل لسقوط الفوتونات على سطح الفلز، إذ تعتمد طاقة كل فوتون على التردد أو طول الموجة وليس على الشدة. ما دام لكل فوتون طاقة مساوية أو أكبر من دالة الشغل للفلز، فستتحرّر إلكترونات. قد تعني الشدة المنخفضة معدّل انبعاث أقل للإلكترونات.
تؤدي زيادة شدة الإشعاع الكهرومغناطيسي المناسب إلى زيادة معدل انبعاث الإلكترونات من الفلز.	الشدة الأكبر تعني زيادة معدّل سقوط الفوتونات على سطح الفلز. فإذا جُمعت الإلكترونات المنبعثة كجزء من دائرة خارجية، عندها ستتناسب شدة التيار الكهروضوئي تناسبًا طرديًا مع شدة الإشعاع الساقط، **شريطة أن يتجاوز تردد الفوتونات تردد العتبة للفلز.**
زيادة الشدة ليس لها تأثير على طاقة الحركة للإلكترونات.	الشدة الأكبر لا تعني أن الفوتونات لها طاقة أعلى، لذلك لا يمكن للإلكترونات أن تمتلك طاقة حركة أكبر، فطاقة الحركة القصوى للإلكترونات تُعطى بالعلاقة: $K.E_{max} = hf - \Phi$؛ ولذلك فهي لا تعتمد عن الشدة.
هناك حاجة إلى أدنى تردد لانبعاث الإلكترونات.	تنبعث الإلكترونات من سطح الفلز عندما يكون للإشعاع الساقط تردد مساوٍ أو أكبر من تردد العتبة.
زيادة تردد الإشعاع الكهرومغناطيسي يزيد من طاقة الحركة القصوى للإلكترونات.	التردد الأعلى يعني فوتونات أعلى طاقة؛ لذلك تكتسب الإلكترونات مزيدًا من طاقة الحركة ويمكن أن تتحرك بشكل أسرع، ومرة أخرى يمكنك استخدام العلاقة: $K.E_{max} = hf - \Phi$ لشرح الملاحظة.

أسئلة

للإجابة عن الأسئلة من ١٠ إلى ١٣، ستحتاج إلى هذه القيم:

سرعة الضوء في الفراغ: $c = 3.00 \times 10^{8}\ \text{m s}^{-1}$

ثابت بلانك: $h = 6.63 \times 10^{-34}\ \text{J s}$

كتلة الإلكترون: $m_e = 9.11 \times 10^{-31}\ \text{kg}$

شحنة الإلكترون: $e = 1.60 \times 10^{-19}\ \text{C}$

(١٠) فوتونات طاقتها (1.0 eV) و (2.0 eV) و (3.0 eV) تسقط على سطح فلزي دالة الشغل له (1.8 eV).

أ. أيّ من هذه الفوتونات يمكن أن تسبب تحرر إلكترون من الفلز؟

ب. احسب طاقات الحركة القصوى للإلكترونات المتحرّرة في كل حالة بوحدة (eV) و (J).

(١١) يبيّن الجدول ٨–٥ دوال الشغل لعدة فلزات مختلفة.

الفلز	دالة الشغل Φ (J)	دالة الشغل Φ (eV)
السيزيوم	3.4×10^{-19}	2.1
الكالسيوم	4.6×10^{-19}	2.9
الذهب	8.2×10^{-19}	5.1
البوتاسيوم	3.7×10^{-19}	2.3
الزنك	6.9×10^{-19}	4.3

الجدول ٨–٥ دوال الشغل لبعض الفلزات المختلفة.

أ. ما الفلز الذي يتطلب أعلى تردد من الموجات الكهرومغناطيسية لتحرير إلكترونات منه؟

ب. ما الفلز الذي سيحرّر إلكترونات عندما يسقط عليه أدنى تردد للموجات الكهرومغناطيسية؟

ج. احسب تردد العتبة للزنك.

د. احسب طول موجة العتبة للبوتاسيوم.

(١٢) سقطت موجات كهرومغناطيسية طولها الموجي ($2.4\times10^{-7}\ \text{m}$) على سطح فلز دالة الشغل له ($2.8\times10^{-19}\ \text{J}$). احسب:

أ. طاقة فوتون واحد.

ب. طاقة الحركة القصوى للإلكترونات المتحرّرة من الفلز.

ج. السرعة القصوى للإلكترونات الضوئية المنبعثة.

(١٣) عند سقوط إشعاع كهرومغناطيسي طول موجته (2000 nm) على سطح فلزي، وُجد أن طاقة الحركة القصوى للإلكترونات المنبعثة تساوي ($4.0\times10^{-20}\ \text{J}$). احسب دالة الشغل للفلز بالجول (J).

٨ سُلّط ضوء فوق بنفسجي طاقة فوتوناته (2.5×10^{-18} J) على لوح زنك، ودالة الشغل للزنك تساوي (4.3 eV). احسب طاقة الحركة القصوى التي يمكن أن ينبعث بها إلكترون من لوح الزنك بوحدة:

أ. eV

ب. J

٩ احسب أدنى تردد للإشعاع الكهرومغناطيسي الذي يتسبب بانبعاث إلكترونات ضوئية من سطح فلز الذهب (دالة الشغل للذهب = 5.1 eV).

٨. أ. طاقة الفوتون بوحدة eV:

$$E = \frac{2.5 \times 10^{-18}}{1.6 \times 10^{-19}} = 15.625 \text{ eV}$$

طاقة الحركة القصوى:

$$\text{K.E}_{max} = E - \Phi = 15.625 - 4.3 = 11.3 \text{ eV}$$

ب. بتحويل هذه إلى وحدة الجول:

طاقة الحركة القصوى:

$$\text{K.E}_{max} = 11.3 \times 1.6 \times 10^{-19} = 1.8 \times 10^{-18} \text{ J}$$

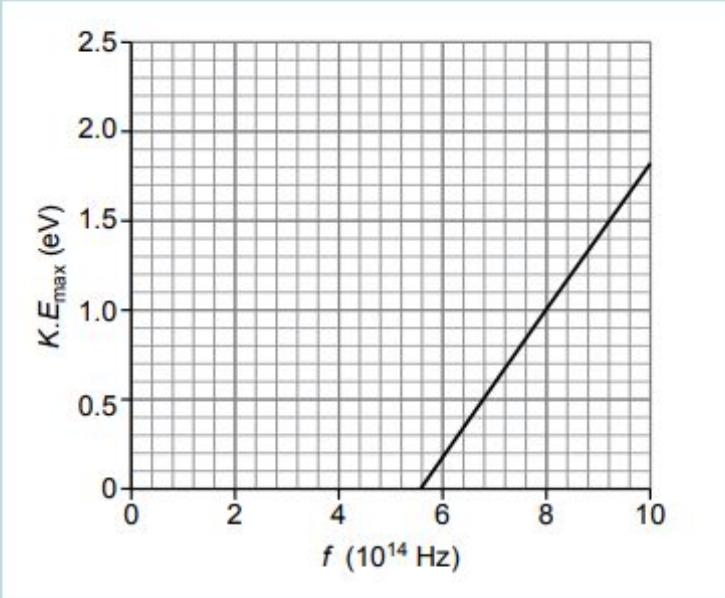
٩. أدنى تردد $= \frac{\text{دالة الشغل}}{\text{ثابت بلانك}}$

$$f_0 = \frac{\Phi}{h} = \frac{5.1 \times 1.6 \times 10^{-19}}{6.63 \times 10^{-34}} = 1.2 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

١٣ **أ.** ١. اشرح المقصود بثنائية الموجة والجسيم للإشعاع الكهرومغناطيسي.

٢. اشرح كيف يعطي التأثير الكهروضوئي دليلًا على هذه الظاهرة.

ب. يبيّن التمثيل البياني في الشكل ٨-١٨ طاقة الحركة القصوى ($K.E_{max}$) للإلكترونات الضوئية المنبعثة عندما يتغيّر التردد (f) للإشعاع الساقط على لوح من الصوديوم.



الشكل ٨-١٨

١. اشرح سبب عدم انبعاث إلكترونات ضوئية عندما يكون تردد الضوء الساقط أقل من (5.6×10^{14} Hz).

٢. حدّد دالة الشغل للصوديوم، واشرح إجابتك.

٣. استخدم التمثيل البياني لتحديد قيمة ثابت بلانك، واشرح إجابتك.

١٣. أ. ١. يُظهر الإشعاع الكهرومغناطيسي خصائص ترتبط بكل من الجسيمات والموجات.

٢. الإشعاع الذي تردده أدنى من مقدار معيّن لا ينتج تأثيرًا كهروضوئيًا، وطاقة الإلكترونات الضوئية القصوى تتناسب طرديًا مع التردد.

تعتمد طاقة الحزمة (جسيمات) على ترددها (موجات).

ب. ١. طاقة الفوتون أقل من دالة الشغل، وهي أدنى طاقة تلزم لتحرير إلكترونات من سطح الفلز، بالتالي عدم انبعاث إلكترونات ضوئية.

٢. $K.E_{max} = hf - \Phi$، لذلك التقاطع مع المحور السيني (x) = تردد العتبة = 5.6×10^{14} Hz

$$\Phi = hf_0 = 6.63 \times 10^{-34} \times 5.6 \times 10^{14}$$

$$= 3.7 \times 10^{-19} \text{ J}$$

٣. $K.E_{max} = hf - \Phi$، لذلك الميل = h

$$h = \frac{(1.8 - 0) \times 1.6 \times 10^{-19}}{(10 - 5.6) \times 10^{14}} = 6.55 \times 10^{-34} \text{ J s}$$

$$\approx 6.6 \times 10^{-34} \text{ J s}$$

١. في التأثير الكهروضوئي، عندما يسقط الإشعاع الكهرومغناطيسي على سطح فلز ما، تترك إلكترونات سطح الفلز، إلّا أنه عندما يسقط إشعاع ذو تردد أقل من تردد معيّن على السطح، يُلاحَظ عدم حدوث انبعاث للإلكترونات.

أ. لماذا لا يحدث انبعاث للإلكترونات إذا كان التردد منخفضًا جدًا؟

ب. اذكر اثنين من الأدلة الأخرى التي يقدمها التأثير الكهروضوئي يشيران إلى أن الإشعاع الكهرومغناطيسي له خصائص جسيمية.

ج. إذا علمت أنّ دالة الشغل لفلز ما تساوي (3.8 eV)؛ فاحسب الحد الأدنى لتردد الإشعاع الكهرومغناطيسي الذي يسبب انبعاثًا كهروضوئيًا.

د. ينبعث إلكترون من سطح فلز ما بطاقة حركة قصوى تبلغ (4.5×10^{-19} J). احسب طاقة الفوتون الساقط بوحدة الـ (eV).

١. أ. تكون طاقة الفوتون أقل من دالة الشغل للفلز.

ب. – يحدث الانبعاث فور سقوط ضوء مناسب على السطح.

– لا تعتمد طاقة الحركة القصوى للإلكترونات الضوئية على شدة الضوء، بل على تردد الضوء فقط.

ج. الحد الأدنى للتردد:

$$f_0 = \frac{\Phi}{h} = \frac{3.8 \times 1.6 \times 10^{-19}}{6.63 \times 10^{-34}}$$

$$= 9.2 \times 10^{14}\ \text{Hz}$$

د. طاقة الفوتون الساقط:

$$hf = \Phi + \text{K.E}_{max}$$

$$= (3.8 \times 1.6 \times 10^{-19}) + 4.5 \times 10^{-19}$$

$$= 1.1 \times 10^{-18}\ \text{J} = 6.6\ \text{eV}$$

تم بحمد الله