البراء في الفيزياء

σ

الفيزياء الحديثة

λ

Φ

π

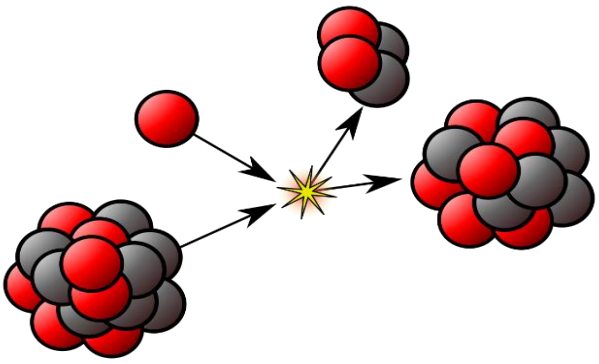
∞

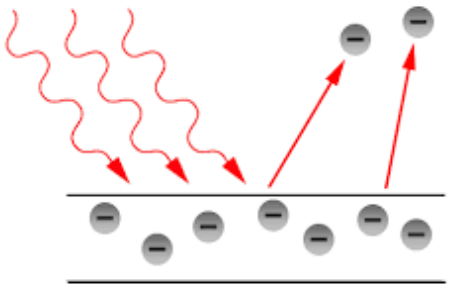
مقدمة إلى فيزياء الكم

φ

λ

Ω





إعداد الأستاذ :

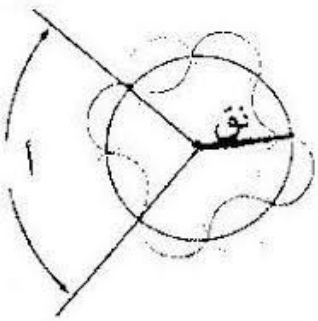
براء جابر

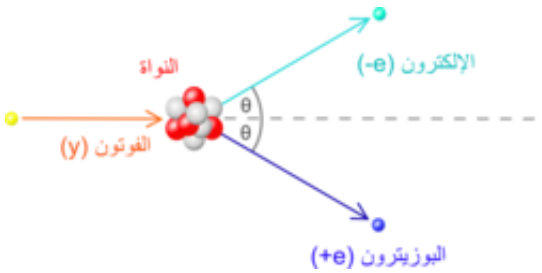
٠٧٨١٤٣١٠٤١

Bra Jaber

Braajaber1

Braa_jaber1





◄لا تتوقف عن السؤال أبدًا .

براء جابر ٠٧٨١٤٣١٠٤١

الفيزياء الكلاسيكية

يصدر عن الأجسام إشعاعات كهرومغناطيسية عندما تكون درجة حرارتها فوق درجة الصفر المطلق ، حيث يعتمد هذا الإشعاع على درجة حرارة الجسم ، وطبيعة سطحه ويتألف من موجات كهرومغناطيسية على هيئة سيل متصل (مستمر) من الطاقة نتيجة اهتزازات جسيمات مشحونة داخلها ، ويمكن للجسم المهتز عند تردد معين أن يبعث مقدارًا غير محدد من الطاقة أو يمتصه ، عندما يتغير اتساع اهتزازاته وفقًا للنظرية الكلاسيكية ، غير أن النظرية الكلاسيكية واجهت صعوبات في تفسيربعض الظواهر المتعلقة في الإشعاع وهي :

أ) الظاهرة الكهروضوئية. ب) ظاهرة كومتون.

* اقترح العلماء نموذجًا للضوء يفترض أن الضوء يمتلك طبيعة مزدوجة (موجية وجسيمية) ولا يسلك السلوكين معًا حيث :

* يتصرف الضوء **كموجة** : وهذا ما يسمى بالنموذج الموجي للضوء والذي استطاع تفسير ظواهر ضوئية مثل :

أ) الانعكاس. ب) الحيود. ج) الانكسار.

* يتصرف الضوء **كجسيم** : وهذا ما يسمى بالنموذج الجسيمي للضوء والذي استطاع تفسير ظواهر جسيمية مثل :

أ) الظاهرة الكهروضوئية. ب) ظاهرة كومتون. ج) استثارة الذرة.

الفيزياء الحديثة

ينص مبدأ تكمية (تكميم) الطاقة للعالم ماكس بلانك على :

" الطاقة الإشعاعية المنبعثة أو الممتصة تساوي عددًا صحيحًا من مضاعفات الكمية (هـ تـد) " وتحتسب الوحدة الأساسية للطاقة من العلاقة :

$$ط = هـ \, تـد$$

ط : طاقة الكمّة الواحدة.

هـ : ثابت بلانك (٦,٦٣ × ١٠ $^{-٣٤}$ جول.ث).

تـد : تردد الإشعاع.

ملاحظات هامة :

١) تمثل فرضية بلانك مبدأ تكميم الطاقة حيث أن الطاقة تكون مكمّمة مثلها مثل الشحنة ومن مضاعفات (هـ تـد) استفاد العالم أينشتاين من مبدأ تكميم الطاقة وصاغ فرضيته التي تنص على أن **" الضوء ينبعث على شكل كمّات محددة منفصلة من الطاقة اسماها " (فوتونات) "** حيث :

(ط فوتون = هـ تـد)

٢) تقاس الطاقة بالجول : (وهناك وحدة أصغر للطاقة هي الإلكترون فولت حيث للتحويل من جول إلى الإلكترون فولت نقسم على شحنة الإلكترون)

٣) هناك علاقة عكسية بين التردد والطول الموجي حيث :

$$ت_د = \frac{س}{\lambda}$$

سؤال : سخن جسم حتى توهج باللون الأحمر، إذا كان تردد الإشعاع الصادر منه يساوي (٤ × ١٠^{١٤} هيرتز)

فاحسب طاقة الكمّة الواحدة لهذا الإشعاع.

الحل :

ط = هـ تـد

= ٦,٦٣ × ١٠ $^{-٣٤}$ × ٤ × ١٠^{١٤}

= ٢,٦٥ × ١٠ $^{-١٩}$ جول

نلاحظ أن هذا المقدار من الطاقة صغير جدًا مقارنةً بوحدة قياس الطاقة في النظام العالمي للوحدات (جول) لذلك استخدمت وحدة أخرى لقياس الطاقة تسمى **إلكترون فولت.**

* إلكترون فولت : هي الطاقة الحركية التي يكسبها إلكترون عندما يتسارع عبر فرق جهد كهربائي مقداره (١) فولت.

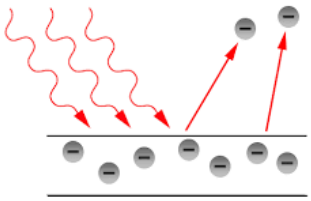
إذا أردنا التحويل من جول إلى إلكترون فولت نقسم على مقدار شحنة الإلكترون ، إذا أردنا التحويل من إلكترون فولت إلى جول نضرب بشحنة الإلكترون.

الظاهرة الكهروضوئية

هي ظاهرة إنطلاق إلكترونات من سطح فلز عند سقوط ضوء له تردد معين على سطح الفلز.

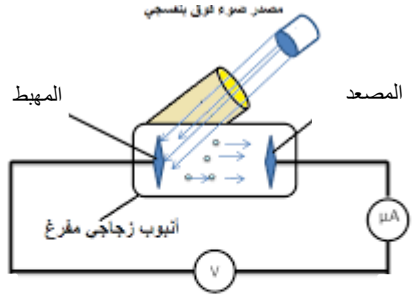
وتسمى الإلكترونات المنبعثة من سطح الفلز بـ **(الإلكترونات الضوئية).**

فشلت الفيزياء الكلاسيكية في تفسير هذه الظاهرة ، وقدّم أينشتاين تفسيره الذي أدى لحصوله على جائزة نوبل.



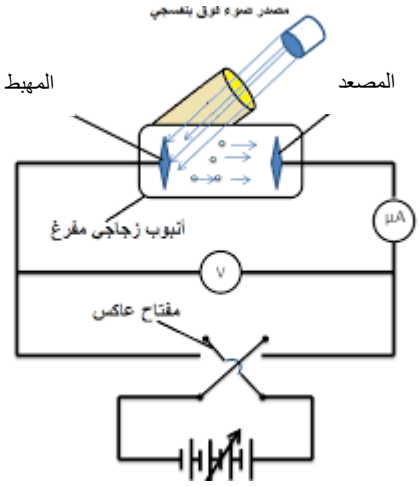
درس العالم لينارد الظاهرة الكهروضوئية تجريبيًّا (وهو أول دارسيها) ، واستخدم دارة تحتوي على خلية كهروضوئية تتكون من انتفاخ داخلي زجاجي مفرغ من الهواء ؛ لكي لا تعيق جزيئات الهواء حركة الإلكترونات المنبعثة ، ويوجد داخل الانتفاخ صفيحتان فلزيتان الأولى تنبعث منها الالكترونات عند سقوط الضوء عليها تسمى **المهبط** ، والثانية تجمع الإلكترونات المنبعثة تسمى **المصعد**.

وهذه الدراسة تمّت على ثلاثة مراحل :



١) وصل لينارد الخلية الكهروضوئية مع ميكروأميتر بغياب مصدر فرق جهد كهربائي ، لاحظ لينارد عند سقوط ضوء بتردد مناسب على مهبط الخلية الكهروضوئية أن الميكروأميتر يكشف عن مرور تيار كهربائي بغياب مصدر فرق الجهد ، فاستنتج أن مصدر هذا التيار هو إلكترونات ضوئية تحررت من المهبط ووصلت إلى المصعد ، وهذا يدل على أن الإلكترونات الضوئية تمتلك قدرًا كافيًا من الطاقة الحركية مكّنتها من الوصول إلى مصعد وهذا التيار الناتج يسمى التيار الكهروضوئي.

التيار الكهروضوئي : التيار الناتج من حركة الإلكترونات المنبعثة من المهبط والمتجهة نحو المصعد.



٢) أضاف لينارد مصدر جهد متغير، حيث كان جهد المصعد موجب وجهد المهبط سالب فلاحظ زيادة في التيار الكهروضوئي فاستنتج أن الفرق في الجهد بين المصعد والمهبط يبذل شغلًا موجبًا على الإلكترونات ناقلًا إليها طاقة حركية ويجذب المزيد منها نحو المصعد ، يعني هذا مع زيادة فرق الجهد الموجب يزداد التيار الكهروضوئي إلى أن يصل إلى قيمة معينة يثبت عندها ، وبعدها **يثبت التيار عند قيمة معينة بالرغم من الاستمرار في زيادة فرق الجهد بين المصعد والمهبط؛ وهذا يعني أن الإلكترونات المتحررة من المهبط جميعها قد وصلت إلى المصعد** وتسمى القيمة العظمى للتيار الكهروضوئي تيار الإشباع.

٣) أعاد لينارد وصل مهبط الخلية الكهروضوئية بالقطب الموجب والمصعد بالقطب السالب ، فأصبح فرق الجهد عكسيًا وهذا الفرق في الجهد يبذل شغلًا سالبًا ويسحب طاقة حركية من الإلكترونات ، ويعيق وصول بعض الإلكترونات المنبعثة إلى المصعد ؛ مما يسبب في تناقص عدد الإلكترونات التي تمتلك قدرًا كافيًا من الطاقة الحركية يمكنها من التغلب على قوة التنافر مع المصعد السالب ؛ لذا التيار الكهروضوئي يتناقص تدريجيًّا مع الاستمرار في زيادة فرق الجهد العكسي ؛ وهذا يدل على أن **الإلكترونات تنبعث ممتلكةً طاقات حركية مختلفة ؛ إذ كلما زادت الطاقة الحركية للإلكترونات المنبعثة احتاجت إلى فرق جهد عكسي أكبر لإيقافها ؛ لذا ينعدم التيار الكهروضوئي عندما يكون فرق الجهد العكسي كافيًا لإيقاف الإلكترونات الضوئية التي تمتلك أكبر طاقة حركية (ط ح عظمى).**

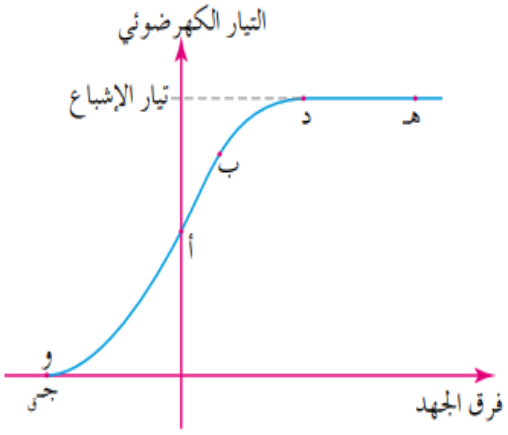
وهنا سنتعرف على مصطلح **جهد القطع : هو أقل فرق جهد كهربائي عكسي لجعل التيار الكهروضوئي يساوي صفرًا.**

ويرمز له بالرمز (جـ ق) ويرتبط جهد القطع مع الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات الضوئية بالعلاقة الرياضية :

$$ط_{ح} = ev_{-} \, جـ_{ق}$$

$$(ط_{ح} = \frac{١}{٢} ك ع^{٢})$$

**** العلاقة البيانية بين فرق الجهد بين المصعد و المهبط والتيار الكهروضوئي في الخلية الكهروضوئية :***



النقطة (د) ، عندما يزداد فرق الجهد الموجب يزداد التيار الكهروضوئي إلى أن يصل إلى قيمة معينة يثبت عندها التيار ، وهي القيمة العظمى للتيار الكهروضوئي ، **والنقطة (أ)** التيار الكهروضوئي بغياب مصدر الجهد.

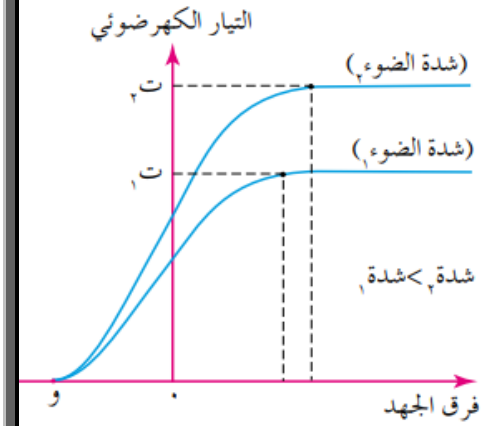
النقطتين (د ، هـ) ، ثبات التيار الكهروضوئي بالرغم من الاستمرار في زيادة فرق الجهد بين المصعد والمهبط وهذا يعزى إلى أن جميع الإلكترونات المتحررة من المهبط قد وصلت إلى المصعد.

النقطة (ب) ، يدل على أن المصعد يجذب المزيد من الإلكترونات الضوئية في حالة فرق الجهد الموجب.

النقطتين (أ ، و) ، التيار الكهروضوئي يتناقص تدريجيًّا مع الاستمرار في زيادة فرق الجهد العكسي ، وهذا لأن الجهد العكسي يبذل شغلًا سالبًا ويسحب الطاقة الحركية من الإلكترونات ويعيق وصولها إلى المصعد مما يسبب في تناقص عدد الإلكترونات التي تمتلك قدرًا كافيًا من الطاقة الحركية التي يمكنها من التغلب على قوة التنافر مع المصعد السالب.

النقطة (و) ، تمثل جهد القطع وهو أقل جهد عكسي يلزم لجعل التيار الكهروضوئي يساوي صفرًا.

هناك عوامل أخرى تتحكم في قيمة التيار الكهروضوئي و جهد القطع و أيضًا الطاقة الحركية ، فكرّر لينارد التجربة :



١) زيادة شدة الضوء الساقط على المهبط عن طريق إضافة مصباح آخر (مع ثبات تردد الضوء الساقط).

عند زيادة شدة الضوء تم الحصول على منحنى آخر وبيّنت التجارب أن جهد القطع لم يتغير ، هذا يعني أن الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات الضوئية لم تتغير وفق العلاقة **($ط_{ح} = ev_{-} \, جـ_{ق}$)** ..

وهذا يعني أن **الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات الضوئية لا تعتمد على شدة الضوء الساقط .**

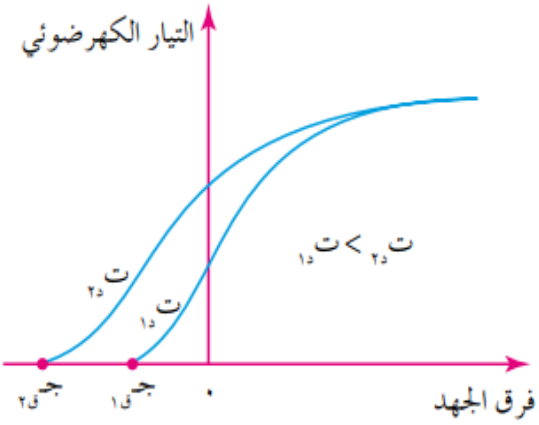
ومن خلال المنحنيان نلاحظ بأن التيار الكهروضوئي الناتج من شدة الضوء الثاني أكبر من التيار الكهروضوئي الناتج من شدة الضوء الأول ، بما في ذلك تيار الإشباع عند ثبات فرق الجهد عند المصعد والمهبط ؛ هذا يعني زيادة العدد الكلي للإلكترونات الضوئية الواصلة إلى المصعد مما يعني أن **التيار الكهروضوئي يزداد بزيادة شدة الضوء الساقط عند ثبات فرق الجهد بين المهبط والمصعد.**

عند زيادة شدة الضوء :

١) يزداد التيار الكهروضوئي (يزداد عدد الفوتونات الساقطة).
٢) الطاقة الحركية العظمى ثابتة لا تتغير.
٣) جهد القطع لا يتغير ويبقى ثابت.

ملاحظة :
حزم الضوء تسمى الفوتونات.

٢) زيادة تردد الضوء الساقط (مع ثبات شدة الضوء).



عند زيادة التردد وبقاء شدة الضوء نفسها وُجِد تجريبيًّا أن جهد القطع تزداد قيمته المطلقة بزيادة تردد الضوء الساقط ، هذا يعني أن الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات الضوئية ستزداد حسب العلاقة :

(ط = ــ ev جـ ق) ونستنتج من ذلك أن **الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات الضوئية تزداد بزيادة تردد الضوء الساقط.**

ونلاحظ أن تيار الإشباع لم يتغير بتغير التردد ، وهذا يدل على أن العدد الكلي للإلكترونات الضوئية المنبعثة لا يعتمد على تردد الضوء الساقط.

#ملاحظة مهمة : الإلكترونات تنبعث فور سقوط الضوء على المهبط ، و أن هذه الإلكترونات لا تنبعث من المهبط إذا كان تردد الضوء الساقط أقل من قيمة معينة مهما بلغت شدة الضوء.

*** إذًا متى تتحرر الإلكترونات ؟!**
يجب أن يكون تردد الضوء الساقط على الفلز أكبر من تردد العَتَبة للفلز أو يساويه.
تردد العَتَبة : أقل تردد للضوء يلزم لتحرير إلكترونات من سطح الفلز.

لكل فلز تردد عتبة خاص به ، أي أنه خاصية للفلز ، وإذا كان تردد الضوء أقل من ترر العتبة لن يحرر إلكترونات.

عند زيادة تردد الضوء :

١) التيار الكهروضوئي يبقى ثابتًا. ٢) الطاقة الحركية العظمى تزداد.

٣) يزداد جهد القطع.

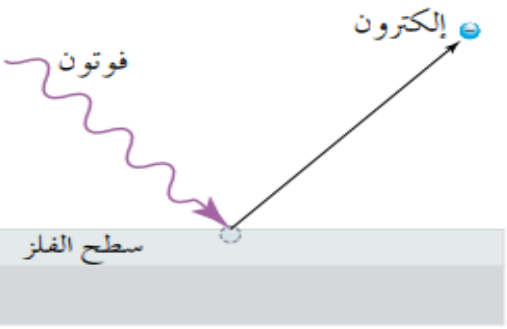
تفسير فيزياء الكم

قدم أينشتاين تفسيرًا للظاهرة الكهروضوئية ، مؤكدًا مفهوم تكمية الطاقة الذي افترضه بلانك ووسع المفهوم ليشمل جميع الموجات الكهرومغناطيسية جميعها.
افترض أينشتاين أن الضوء تتركز في حزم منفصلة ، أي كمّات ، سميت فيما بعد فوتونات ، كل فوتون يحمل طاقة مقدارها (هـ ت د).

عند سقوط الضوء على سطح فلز ، فإن الفوتون الواحد يعطي طاقته كاملة إلى إلكترون واحد فقط ، فيتحرر من ارتباطه بذرات الفلز بجزء من هذه الطاقة ، وينطلق بما تبقى على صورة طاقة حركية عظمى ، أي أن :

$$هـ ت_د = \Phi + ط_{ح\ عظمى}$$

(هـ ت د) : طاقة الفوتون الواحد.
Φ : اقتران الشغل.



اقتران الشغل : أقل طاقة يمتلكها فوتون الضوء تلزم لتحرير إلكترون من سطح الفلز من غير إكسابه طاقة حركية.

والفوتون الذي تكون طاقته مساوية إقتران الشغل للفلز يحرر إلكترونًا من السطح دون أن يكسبه طاقة حركية ، فيكون تردده مستويًا تردد العتبة ، أي أن :

$$\Phi = هـ ت_{د_o}$$

$هـ ت_د = \Phi + ط_{ح\ عظمى}$ تسمى هذه العلاقة **(معادلة أينشتاين الكهروضوئية)** والتي عن طريقها فسر هذه الظاهرة.

****تفسير الظاهرة الكهروضوئية :**

لقد تعرفنا على الظاهرة الكهروضوئية وعلى العوامل التي تُغير من قيمة التيار الكهروضوئي وجهد القطع والطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المنبعثة من الفلز عند سقوط ضوء عليه بتردد معين.
وقلنا مسبقًا بأن الفيزياء الكلاسيكية قد فشلت في تفسير هذه الظاهرة ، وهذا يعني أن تفسيرها خاطئ ، حيث تفترض أن الموجات الكهرومغناطيسية تحمل طاقة ، وهذه الطاقة تزداد بزيادة شدة الضوء ولا علاقة لتردد الضوء.
وهذا الجدول يبيّن المقارنة ما بين تفسير الفيزياء الكلاسيكية والفيزياء الحديثة لهذه الظاهرة :

الفيزياء الكلاسيكية	الفيزياء الحديثة
١) تمتص الإلكترونات الطاقة من الموجات الكهرومغناطيسية على نحو مستمر، وزيادة شدة الضوء الساقط تعني زيادة معدل امتصاص الإلكترونات للطاقة مما يكسبها طاقة حركية أكبر ولا علاقة بين تردد الضوء الساقط والطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحررة.	١) زيادة شدة الضوء الساقط على سطح الفلز (مع بقاء تردده ثابتًا) ، هذا يعني أن عدد الفوتونات الساقطة في الثانية على وحدة المساحة يزداد ، وحيث كل إلكترون يمتص فوتونًا واحدًا فقط ، وهذا يؤدي لزيادة عدد الإلكترونات الضوئية المتحررة في الثانية وهذا يزيد من التيار الكهروضوئي ويزداد تيار الإشباع . إلا أن الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات الضوئية لا تتغير ؛ بسبب عدم تغير جهد القطع.
٢) يحتاج الإلكترون لبعض الوقت لإمتصاص الطاقة الكافية وتجميعها ليتحرر من الفلز، خاصة عند سقوط ضوء خافت (شدته قليلة).	٢) إذا كانت طاقة الفوتون أكبر من اقتران الشغل للفلز فإن الإلكترون يتحرر وينبعث ممتلكًا طاقة حركية فور سقوط الفوتون. (سبب الإنبعاث الفوري للإلكترونات)
٣) عند سقوط ضوء ذي شدة عالية على الفلز أن يتحرر منه إلكترونات بغض النظر عن تردد الضوء الساقط عليه.	٣) أقل طاقة يمتلكها فوتون تلزم لتحرير إلكترون من سطح فلز ، يجب أن تساوي اقتران الشغل للفلز ، فإذا كان تردد الضوء الساقط أقل من تردد العتبة لن تتحرر إلكترونات من سطح الفلز حسب (Φ = هـ ت$_{د_{\circ}}$)

كيف فسّر أينشتاين انبعاث الإلكترونات الضوئية بسرعة مختلفة من سطح الفلز ؟

أنه عند سقوط الضوء على سطح الفلز فإن بعض الفوتونات تصطدم بذرات السطح الخارجية ، وبعضها الآخر يصل إلى الذرات الأعمق داخل السطح حيث أن الإلكترونات تمتلك الطاقة نفسها عند تردد معين للضوء (هـ ت$_{د}$) ، وافتران الشغل متساوي للذرات جميعها ، فإن الإلكترونات المتحررة من سطح الفلز تتحرر ممتلكة الطاقة الحركية العظمى نفسها
أما بالنسبة للإلكترونات التي تتحرر من داخل السطح ، فإنها ترتطم بالذرات التي تكون في طريق خروجها فتقل طاقتها الحركية ، ويعتمد الجزء المفقود من الطاقة الحركية على العمق الذي تتحرر منه الإلكترونات ، ولهذا السبب **تتفاوت الإلكترونات الضوئية في سرعة انبعاثها من سطح الفلز.**

سؤال : كيف فسرت الفيزياء الكلاسيكية (النموذج الموجي) الظاهرة الكهروضوئية ؟ **الإجابة في الجدول (١)**

سؤال : احسب تردد العَتَبة للفضة ومن ثم طول موجة العتبة ، إذا علمت أن اقتران الشغل للفضة بوحدة الإلكترون فولت يساوي (٤,٣).

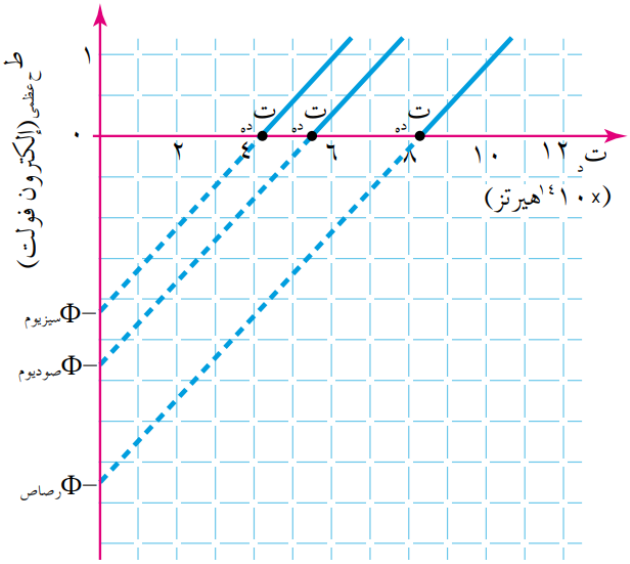
الحل :

$\Phi = هـ \, ت_{د_o}$ ← $٤,٣ \times ١,٦ \times ١٠^{-١٩} = ٦,٦٣ \times ١٠^{-٣٤} \, ت_{د_o}$ (نحول اقتران الشغل لوحدة الجول)

$ت_{د_o} = ١ \times ١٠^{١٥-}$ هيرتز

$ت_{د_o} = \frac{س}{\lambda}$ ← $\lambda = \frac{س}{ت_{د_o}}$ ← $\lambda = \frac{٣ \times ١٠^{٨}}{١ \times ١٠^{١٥-}}$ $\lambda = ٣ \times ١٠^{٧-}$ م

درس أينشتاين العلاقة بين تردد الضوء الساقط والطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المنبعثة ، وأجرى ميليكان تجربة للتحقق من فرض أينشتاين واستطاع إثبات صحته مستخدمًا فلزات مختلفة فحصل على المنحنيات في الشكل المجاور وهنا تم قياس ثابت بلانك تجريبيًا.



نلاحظ أن الخطوط المستقيمة المرسومة متوازية وهذا يعني أن ميلها متساوٍ وهذا الميل هو ثابت بلانك (هـ) ، ومن معادلة أينشتاين الكهروضوئية ($هـ \, ت_د = \Phi + ط_{ح \, عظمى}$) ، يمكن التوصل إلى أن نقطة التقاطع أي من هذه الخطوط مع المحور السيني تمثل تردد العتبة للفلز ، وأن أي نقطة تقاطع الخط مع المحور الصادي تمثل اقتران الشغل للفلز إذا كتبت العلاقة على الشكل التالية (تمثل علاقة خطية *ص = أس + ب* حيث أ الميل و **ب** المقطع الصادي) :

$ط_{ح \, عظمى} = هـ \, ت_د - \Phi$

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

الإجابة : وفقًا لنموذج أينشتاين تعتمد ($ط_{ح \, عظمى}$)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 وبالتالي زيادة عدد الإلكترونات المتحررة أي زيادة التيار الكهربائي ولكن طاقة الفوتون الواحد لا تتغير لأن طاقة الفوتون تعتمد على تردد الضوء فقط.

سؤال : **ما هو الذي لم تستطيع الفيزياء الكلاسيكية تفسيره في الظاهرة الكهروضوئية ؟**

الإجابة : لوحظ من النتائج التجريبية " لتجربة الظاهرة الكهروضوئية " تناقضًا مع ما تنبأت به الفيزياء الكلاسيكية ، فالتجربة أثبتت أن الطاقة الحركية للإلكترونات المنبعثة تعتمد فقط على تردد الضوء وهذا لم تستطع الفيزياء الكلاسيكية تفسيره.

ملاحظات هامة : ١) في الرسم البياني لميليكان نلقي نظرة على محور الصادات (الطاقة) فإذا كان يمثل :

أ) طـ (جول) نعتمد ، ويكون ميل الخط ثابت بلانك (هـ) ووحدته (جول . ث).

ب) طـ (إلكترون فولت) أو (جـ ق = فولت) نضرب المحور بشحنة الإلكترون ليتحول إلى (طـ (جول)).

٢) الطول الموجي الذي يخص الفلز (المصاحب لتردد العتبة) هو أكبر طول موجي لازم لتحرير الإلكترونات من سطح الفلز أو الطول الموجي اللازم حتى يمر تيار في الخلية الكهروضوئية (يقابله أقل تردد).

سؤال : كيف تفسر كل مما يلي :

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

الإجابة : ١) لأن الضوء لا يمتلك طاقة كافية للتغلب على طاقة ربط الإلكترون بنواته.
٢) 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.
٣) فرق جهد القطع يعتمد على الطاقة الحركية والتي تعتمد على اقتران الشغل للفلز وعلى تردد الضوء الساقط وليس على شدة الضوء.

سؤال : ماذا يحدث لفرق جهد القطع عند زيادة تردد الضوء الساقط مع بقاء شدة الضوء ثابتة ؟
جواب : عند زيادة تردد الضوء تزداد الطاقة الحركية للإلكترونات وبالتالي يزداد فرق جهد القطع اللازم لإيقاف الإلكترونات.

سؤال : 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 : سقط فوتون طاقته (١٢ × ١٠$^{-١٩}$ جول) على سطح فلز اقتران الشغل له (٦ × ١٠$^{-١٩}$ جول) **احسب** :

١) تردد الضوء الساقط (الفوتون).

٢) طول موجة الضوء الساقط.

٣) تردد العتبة للفلز.

٤) أكبر طول موجة يستطيع تحرير إلكترونات من سطح الفلز. (المصاحب لتردد العتبة)

٥) الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المنبعثة.

٦) جهد القطع.

٧) السرعة القصوى للإلكترونات المنبعثة. (ك = ٩ × ١٠ $^{-٣١}$ كغ) (ط $_{ح}$ = $\frac{١}{٢}$ ك ع^{٢})

احسب : احسب طاقة فوتون طول موجته (٣ × ١٠ $^{-٧}$ م) بوحدة إلكترون فولت.

الحل :

ت$_{د}$ = $\frac{س}{\lambda}$ ⟵ ت$_{د}$ = $\frac{٣ \times ١٠^{٨}}{٣ \times ١٠^{-٧}}$

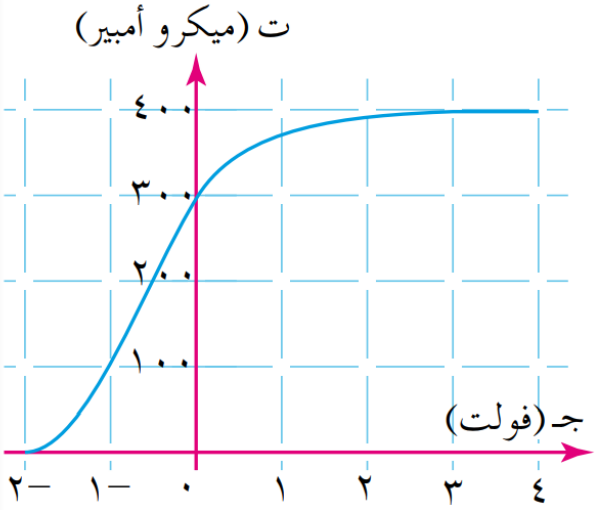
ت$_{د}$ = ١ × ١٠^{١٥} هيرتز

ط = هـ ت$_{د}$ ⟵ ط = ٦,٦٣ × ١٠$^{-٣٤}$ × ١ × ١٠^{١٥}

ط = ٦,٦٣ × ١٠$^{-١٩}$ جول ط = $\frac{٦,٦٣ \times ١٠^{-١٩}}{١,٦ \times ١٠^{-١٩}}$

ط = ٤,١٤ إلكترون فولت

سؤال : يمثل الشكل المجاور العلاقة ما بين فرق جهد قطبي خلية كهروضوئية والتيار الكهروضوئي معتمدًا على الشكل **أجب عما يلي** :



١) ما مقدار تيار الإشباع ؟ (٤٠٠ ميكرو أمبير)

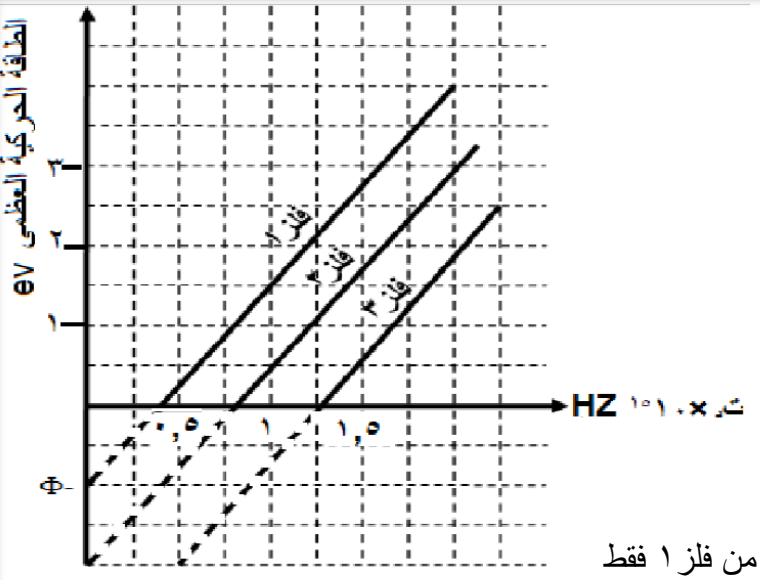
٢) بقاء التيار ثابت بين نقطتين (د ، هـ) على الرغم من زيادة فرق الجهد ، فسّر ذلك.

٣) ما مقدار التيار الكهروضوئي الناتج عن سقوط الضوء على مهبط الخلية عند غياب مصدر فرق الجهد ؟ (٣٠٠ ميكرو أمبير)

٤) ما مقدار الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات الضوئية بوحدة الجول و بوحدة الإلكترون فولت ؟ (٣,٢ × ١٠$^{-١٩}$ جول ، ٢eV)

٥) احسب السرعة العظمى للإلكترونات الضوئية.

سؤال : في الشكل المجاور العلاقة بين تردد الضوء الساقط والطاقة الحركية للإلكترونات **أجب عما يلي** :



١) أي الفلزات سيتحرر منها إلكترونات عند سقوط فوتون على سطحها طوله الموجي (٣ × ١٠$^{-٧}$ م).

٢) احسب اقتران الشغل للفلز (٣).

الحل :

ت$_د$ = س / λ ← ت$_د$ = ٣ × ١٠^{٨} / ٤ × ١٠$^{-٧}$

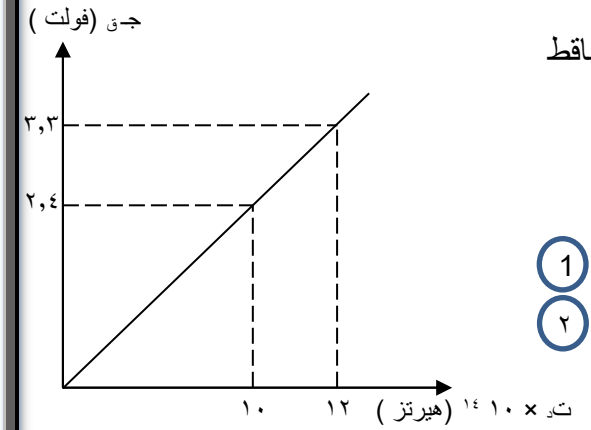
ت$_د$ = ٠,٧٥ × ١٠^{١٥} هيرتز ستتحرر إلكترونات من فلز ١ فقط

Φ = هـ ت$_{د_٥}$ = ٦,٦٣ × ١٠$^{-٣٤}$ × ١,٥ × ١٠^{١٥}

= ٩٩ × ١٠$^{-٢٠}$ جول

سؤال : في الشكل المجاور العلاقة ما بين جهد القطع والتردد للضوء الساقط

احسب ثابت بلانك.



الحل :

هـ ت د = Φ + ط ح عظمى

(1) هـ ت د١ = Φ + ـــ ev جـ

(٢) هـ ت د٢ = Φ + ـــ ev جـ

نطرح المعادلة (١) من (٢)

$$هـ = ـــ ev \frac{\Delta \text{ جـ ق}}{\Delta \text{ ت}}$$

$$هـ = ١,٦ \times ١٠^{-١٩} \frac{(٢,٤ - ٣,٣)}{(١٠ - ١٢)}$$

هـ = ٦,٥٦ × ١٠^-٣٤ جول . ث

سؤال : إذا كان أكبر طول موجي لازم لتحرير إلكترونات هو (٢ × ١٠^-٧ م) **احسب** اقتران الشغل.

$$Φ = هـ ت_{د_o} \longleftarrow Φ = \frac{هـ س}{\lambda_o}$$

$$= \frac{٦,٦٣ \times ١٠^{-٣٤} \times ٣ \times ١٠^{٨}}{٢ \times ١٠^{-٧}}$$

= ٩,٩ × ١٠^-١٩ جول

سؤال : سقط ضوء طاقته (٦,٦ × ١٠^-١٩ جول) على باعث خلية كهروضوئية اقتران الشغل له (٢,٥ eV) **احسب** :

١) جهد القطع. ٢) تردد العتبة.

الحل :

١) ط ح عظمى = هـ ت_د - Φ

ط ح عظمى = ٦,٦ × ١٠^-١٩ ــ ٢,٥ × ١,٦ × ١٠^-١٩

ط ح عظمى = ٢,٦ × ١٠^-١٩ جول

٢) ط = ـــ ev جـ ق ⟵ ٢,٦ × ١٠^-١٩ = ١,٦ × ١٠^-١٩ جـ ق ⟵ جـ ق = ١,٦ فولت

Φ = هـ ت_{د_o} ⟵ ٢,٥ × ١,٦ × ١٠^-١٩ = ٦,٦٣ × ١٠^-٣٤ ت_{د_o} ⟵ ت_{د_o} = ٠,٦ × ١٠^١٥ هيرتز

سؤال : أسقط ضوء على سطح فلز اقتران الشغل له (٣,٩ × ١٠$^{-١٩}$ جول) ، فانطلقت منه إلكترونات ضوئية تمتلك طاقة حركية مقدارها (٤ × ١٠$^{-١٩}$ جول) **أجب عما يأتي :**

١) احسب تردد الضوء الساقط.
٢) ما الشرط اللازم توافره لتحرير إلكترونات من سطح الفلز دون إكسابها طاقة حركية.

الحل :

١) ط ح عظمى = هـ ت$_{د}$ - Φ ⟵ ٤ × ١٠$^{-١٩}$ = هـ ت$_{د}$ ـ ٣,٩ × ١٠$^{-١٩}$

$\frac{ت_{د}}{هـ} = \frac{٧,٩ \times ١٠^{-١٩}}{٦,٦ \times ١٠^{-٣٤}}$ ⟵ ت$_{د}$ = ١,١ × ١٠^{١٥} هيرتز

٢) يجب أن تكون طاقة الضوء الساقط تساوي اقتران الشغل.

سؤال : سقط ضوء طول موجته (٣٣٠ نم) على مهبط خلية كهروضوئية ، فانبعثت إلكترونات من سطحه ، إذا علمت أن جهد القطع للفلز يساوي (٠,٦ فولت) **فاحسب** : ١) تردد الضوء. ٢) تردد العتبة.

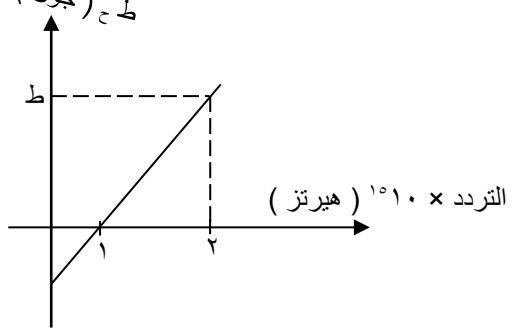
الحل :

١) $ت_{د} = \frac{س}{\lambda}$ ⟵ $ت_{د} = \frac{٣ \times ١٠^{٨}}{٣٣ \times ١٠^{-٨}}$ ⟵ ت$_{د}$ = ٠,٩ × ١٠^{١٥} هيرتز

٢)

ط$_{ح}$ = ـــ$_{ev}$ جـ ق ط$_{ح}$ = ١,٦ × ١٠$^{-١٩}$ × ٠,٦

ط ح عظمى = ٦,٦ × ١٠$^{-٣٤}$ × ٠,٩ × ١٠^{١٥} - Φ ⟵ Φ = هـ ت$_{د_{٥}}$ ⟵ ومنها ت$_{د_{٥}}$= ٠,٧٥ × ١٠^{١٥} هيرتز



سؤال : اعتمادًا على الشكل ، **احسب** :
١) اقتران الشغل للفلز.
٢) أكبر طول موجي يلزم لتحرير الإلكترونات.
٣) الطاقة الحركية العظمى بالجول للإلكترونات المنبعثة.

Φ = ٦,٦ × ١٠$^{-١٩}$ جول
$\lambda_{٥}$ = ٣ نم
ط ح = ٦,٦ × ١٠$^{-١٩}$ جول

الأطياف الذرية للغازات

تصدر عن الأجسام إشعاعات كهرومغناطيسية ، فإذا كانت هذه الأجسام ساخنة ستبعث إشعاعًا حراريًا ، عند تحليل هذا الإشعاع بواسطة منشور فإننا نحصل على طيف متصل يضم الأطوال الموجية التي يقع بعضها في منطقة الطيف المرئي.

تقسم الأطياف الذرية (الإشعاع الصادر من الذرات المُهتزّة) إلى قسمين رئيسيين هما :

١) **طيف الإنبعاث** : وهو حالتين إما انبعاث متصل وإما انبعاث منفصل.

*** طيف الإنبعاث المتصل :** إشعاع تمثله ألوان قوس المطر متصل تمامًا بدون انقطاع.

ومن الأمثلة عليه : الإشعاع المنبعث من الشمس، أو قطعة حديد عندما تسخن لدرجة التوهج الأبيض.

*** طيف الإنبعاث المنفصل (الخطي) :** إشعاع (تمثله ألوان قوس المطر) تظهر على شكل خطوط منفصلة فوق خلفية سوداء لها أطوال موجية محددة.

ومن الأمثلة عليه : الإشعاع المنبعث من الغازات ذات الضغط المنخفض في أنابيب التفريغ الكهربائي (النيون).

سؤال : يعتبر طيف الانبعاث الخطي صفة مميزة للعنصر ؟ فسر ذلك.

الإجابة : لأنه تبين أن لكل عنصر طيف انبعاث خاص به فلا يمكن أن نجد لعنصرين الطيف نفسه لذلك يعتبر طيف الإنبعاث الخطي صفة مميزة للعنصر.

٢) **طيف الإمتصاص الخطي** : طيف إنبعاث متصل لكن تتخلله خطوط سوداء معتمة.

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

سؤال : يعتبر طيف الامتصاص الخطي صفة مميزة للعنصر ؟ فسر ذلك.

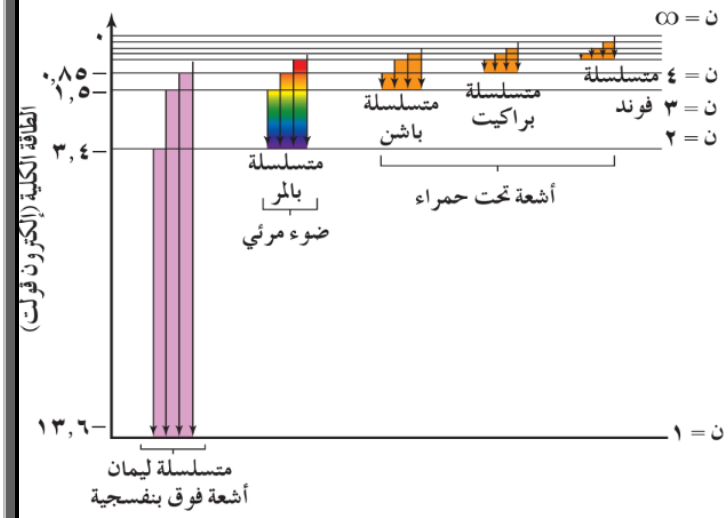
الإجابة : لأنه تبين أن لكل عنصر طيف خاص يمتصه (يظهر مكانه خط أسود) فلا يمكن أن نجد لعنصرين الطيف نفسه لذلك يعتبر أيضاً صفة مميزة.

براء جابر ٠٧٨١٤٣١٠٤١

لكن ما توصل إليه بالمر مجرد معادلة تتفق مع البيانات التجريبية ، لكنها لم تفسر سبب إنبعاث خطوط الطيف من ذرة الهيدروجين ، أي أن هذه المشاهدات التجريبية بقيت بدون تفسير نظري (لماذا تبعث الذرة بهذه الخطوط) ؟
إلى أن جاء العالم بور عام ١٩١٣ م ، وطرح نموذجاً للذرة استطاع من خلاله أن يقدم حلولًا للصعوبات التي واجهت نموذج رذرفورد من قبله.

اعتمد بور على فرضيته الثالثة والتي تشير إلى أن الإشعاع المنبعث أو الممتص يكون منفصلًا وذا تردد محدد ويساوي فرق الطاقة بين المستويين اللذين ينتقل بينهما الإلكترون ، وهذا يتفق مع ما توصل إليه تجريبيًا عن الطيف الخطي (متسلسلة بالمر و ريدبيرغ) وتمكن من حساب الأطوال الموجية الأربعة فيزيائيًا.

بدأ العلماء بعد بالمر (مثل ليمان ، باشن ، براكيت وفوند) بدراسة العلاقات التجريبية التي تعطي أطول موجات طيف ذرة الهيدروجين تجريبيًا في منطقة الطيف غير المرئي (تحت الحمراء وفوق البنفسجية) مستخدمين المطياف في ذلك.
حيث توافقت نتائجهم مع معادلة بور للأطوال الموجية وسميت نتائجهم باسم (متسلسلة) وسميت حسب مكتشفيها علميًا على النحو التالي :



متسلسلة ليمان ، تقع خطوطها الطيفية في منطقة الضوء فوق البنفسجي :

$$\frac{١}{\lambda} = R_H \left(\frac{١}{٢١} - \frac{١}{٢ن} \right) \quad ن = ٢ ، ٣ ، ٤ ، ... $$

متسلسلة بالمر ، تقع خطوطها الطيفية في منطقة الضوء المرئي :

$$\frac{١}{\lambda} = R_H \left(\frac{١}{٢٢} - \frac{١}{٢ن} \right) \quad ن = ٣ ، ٤ ، ٥ ، ... $$

متسلسلة باشن ، تقع خطوطها الطيفية في منطقة الأشعة تحت الحمراء :

$$\frac{١}{\lambda} = R_H \left(\frac{١}{٢٣} - \frac{١}{٢ن} \right) \quad ن = ٤ ، ٥ ، ٦ ، ... $$

متسلسلة براكت ، تقع خطوطها الطيفية في منطقة الأشعة تحت الحمراء :

$$\frac{١}{\lambda} = R_H \left(\frac{١}{٢٤} - \frac{١}{٢ن} \right) \quad ن = ٥ ، ٦ ، ٧ ، ... $$

متسلسلة فوند ، تقع خطوطها الطيفية في منطقة الأشعة تحت الحمراء :

$$\frac{١}{\lambda} = R_H \left(\frac{١}{٢٥} - \frac{١}{٢ن} \right) \quad ن = ٦ ، ٧ ، ٨ ، ... $$

حيث (λ) : طول موجة الخط الطيفي.

(R_H) : ثابت ريدبيرغ وقيمته تساوي (١,٠٩٧ × ١٠^{٧} م$^{-١}$).

(ن) : عدد صحيح موجب.

متسلسلة ذرة الهيدروجين : هي مجموعة خطوط الطيف الناتجة من انتقال الإلكترون من مدار خارجي إلى مدار داخلي.

براء جابر ٠٧٨١٤٣١٠٤١

ملاحظة مهمة : لحساب أقصر طول موجي وأطول طول موجي فهو كالتالي :

كقاعدة عامة تذكر أن **أطول طول موجي يقابل أقل طاقة** ، والعكس صحيح أي **أقصر طول موجي يقابل أكبر طاقة** ودائمًا أكبر طاقة هي الانتقال من المالانهاية إلى المدار الخاص بالمتسلسلة.

إذًا في متسلسلة ليمان أقصر طول موجي (أكبر طاقة وأكبر تردد) عندما يحدث انتقال من مالانهاية إلى المستوى الأول وفي بالمر أقصر طول موجي من مالانهاية إلى الثاني وفي باشن أقصر طول موجي من مالانهاية إلى الثالث.

وأقل طاقة تنتج عندما يحدث انتقال من المستوى الأعلى مباشرة.

إذًا في متسلسلة ليمان يكون أكبر طول موجي (أقل طاقة وأقل تردد) عندما يحدث انتقال من المستوى الثاني إلى المستوى الأول وفي متسلسلة بالمر يكون أكبر طول موجي عندما يحدث انتقال من المستوى الثالث إلى المستوى الثاني وفي متسلسلة باشن أكبر طول موجي عندما يحدث انتقال من المستوى الرابع إلى الثالث.

سؤال : احسب أقصر طول موجي في متسلسلة فوند.

الحل :

$\frac{١}{\infty}$ = صفر

$$\left(\frac{١}{٢\infty} - \frac{١}{٢٥}\right) R_H = \frac{١}{\lambda} \qquad \left(\frac{١}{٢ن} - \frac{١}{٢٥}\right) R_H = \frac{١}{\lambda}$$

$$\lambda = ٢٢,٧ \times ١٠^{-٦} \text{ م} \qquad \frac{١}{\lambda} = ١,٠٩٧ \times ١٠^{٧} \left(\frac{١}{٢٥}\right)$$

نقلب الجواب

نموذج بور لذرة الهيدروجين

حفظ

استفاد العالم بور من نموذج العالم رذرفورد لذرة الهيدروجين في مفهوم الزخم الزاوي (خ زاوي = ك ع نق ن) ، واستفاد من مفاهيم العالمين بلانك وأينشتاين في تكمية الطاقة لصياغة فرضياته.

وبهذا ربط بور بين فيزياء الكم و الفيزياء الكلاسيكية ، ووضع نموذجًا لذرة الهيدروجين ويتركز على أربعة فروض أساسية.

*** نموذج بور الذري :**

سؤال : اذكر فرضيات نموذج بور الذري ؟

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

٢) هناك مجموعة محددة من المدارات يمكن للإلكترون أن يتواجد فيها وتكون طاقته في أي من هذه المدارات ثابتة. ويمكن في هذه الحالة وصف هذه المدارات بأنها : مستويات طاقة ولا يمكن للإلكترون أن يشع طاقة طالما بقي في مستوى طاقة معين.

وتكون $ط_{ن} = \frac{-١٣,٦}{ن^{٢}}$ eV

$ط_{ن}$: طاقة المدار (المستوى).

ن : رقم المدار (المستوى).

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

$ط_{فوتون} = هـ ت_{د} = |ط - ط_{ـ}|$

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

ط : طاقة المدار النهائي.
$ط_{ـ}$: طاقة المدار الإبتدائي.

٤) المدارات المسموح للإلكترون أن يتواجد (يتحرك) فيها هي التي يكون فيها الزخم الزاوي للإلكترون من مضاعفات $\left(\frac{هـ}{\pi ٢}\right)$ أي أن : (ك ع $نق_{ن} = \frac{ن\ هـ}{\pi ٢}$) حيث ن = ١ ، ٢ ، ... وتمثل رقم المدار الموجود فيه الإلكترون.

أي أن : $خ_{زاوي} = \frac{ن\ هـ}{\pi ٢}$

ك : كتلة الإلكترون.

ع : سرعة الإلكترون.

نق : نصف قطر المدار الذي يوجد فيه الإلكترون.

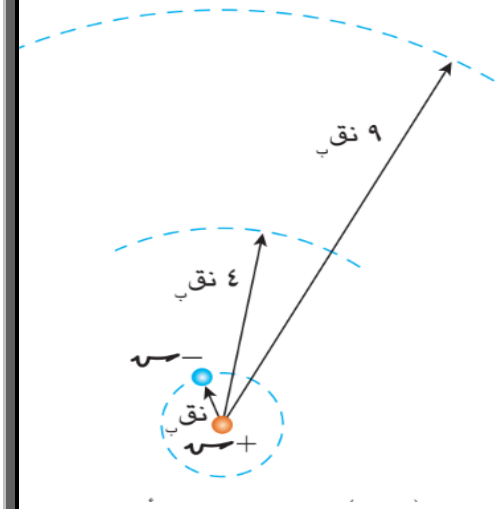
ن : رقم المدار.

نستنتج أن زخم الإلكترون الزاوي له كمّات محددة.

وبناءً على هذه الفروض تمكّن بور من حساب أنصاف أقطار مدارات ذرة الهيدروجين وطاقتها.

* حساب أنصاف أقطار المدارات المسموح للإلكترون الوجود فيها :

يكون نصف قطر المدار الأول للإلكترون عندما (ن = ١) : نق١ = ٥,٢٩ × ١٠^-١١ م وهذا يسمى نصف قطر بور يرمز له بالرمز (نق ب) ، ويمكن حساب نصف قطر المدار ذو الرقم (ن) وفق العلاقة الآتية :



$$نق_{ن} = نق_{ب} ن^{٢}$$

* حساب طاقة المستويات المسموح بها في ذرة الهيدروجين :

يمكن حساب الطاقة الكلية لأي مستوى في ذرة الهيدروجين بوحدة الإلكترون فولت حسب العلاقة الآتية :

$$ط_{ن} = \frac{-\ ١٣,٦}{ن^{٢}}\ eV$$

ماذا تعني الإشارة السالبة ؟؟

تعني أنه يجب تزويد الإلكترون بكمية من الطاقة تساوي طاقة المدار الذي يوجد فيه ليتحرر من الذرة من غير إكسابه طاقة حركية.

طاقة التحرر تسمى **طاقة التأين**

عندما (ن = ١) يكون الإلكترون في المستوى الأول (ط = - ١٣,٦) إلكترون فولت ، وهو أدنى مستوى طاقة لذرة الهيدروجين ويسمى **مستوى الإستقرار.**

والمستويات التي تعلو مستوى الإستقرار **تسمى مستويات الإثارة وهي المستويات التي ينتقل إليها الإلكترون إذا امتص مقدارًا محددًا من الطاقة.**

تكون الذرة غير مستقرة إذا كانت في حالة الإثارة ، ولكي تصل إلى حالة الإستقرار يجب أن يعود الإلكترون من مستوى الإثارة إلى مستوى الإستقرار ، يمكن أن تكون عودة الإلكترون مرة واحد أو على عدة مراحل ، وفي كل مرة ينتقل فيها الإلكترون من مستوى طاقة أعلى إلى مستوى طاقة أدنى فإنه **يبعث فوتونًا** طاقته تساوي *فرق الطاقة بين المستويين* ، **وتظهر الفوتونات المنبعثة من الإنتقالات المختلفة بعد تحليلها بالمطياف على هيئة خطوط تقع ضمن طيف الإنبعاث الخطي للهيدروجين.**

سؤال : احسب طاقة الإلكترون عندما يتواجد في المستويات (١ ، ٢ ، ٣ ، ∞).

الحل :

$ط_{ن} = \frac{-١٣,٦}{ن^{٢}}$

$ط_{١} = \frac{-١٣,٦}{١^{٢}}$ ⟵ $ط_{١} = -١٣,٦ \ eV$

$ط_{٢} = \frac{-١٣,٦}{٢^{٢}}$ ⟵ $ط_{٢} = -٣,٤ \ eV$

$ط_{٣} = \frac{-١٣,٦}{٣^{٢}}$ ⟵ $ط_{٣} = -١,٥ \ eV$

$ط_{\infty} = \frac{-١٣,٦}{\infty^{٢}}$ ⟵ $ط_{\infty} =$ صفر

سؤال : إلكترون موجود في المستوى الثاني لذرة بور ، احسب :

١) نصف قطر المستوى الموجود فيه. ٢) الزخم الزاوي للإلكترون في هذا المستوى.

٣) سرعة الإلكترون في هذا المستوى. ٤) الطاقة الكلية لهذا الإلكترون في مستواه.

٥) الطاقة اللازمة لتحرير الإلكترون. ٦) طاقة الفوتون المنبعث عند انتقال الإلكترون إلى المدار الأول.

الحل :

١) $نق_{ن} = نق_{ب} ن^{٢}$ ⟵ $نق_{٢} = ٥,٢٩ \times ١٠^{-١١} \times ٢^{٢}$ ⟵ $نق_{٢} = ٢١,١٦ \times ١٠^{-١١}$ م

٢) $خ_{زاوي} = \frac{ن هـ}{\pi ٢}$ ⟵ $خ_{زاوي} = ٢ \times ١,٠٥ \times ١٠^{-٣٤}$ ⟵ $خ_{زاوي} = ٢,١ \times ١٠^{-٣٤}$ جول . ث

٣) $خ_{زاوي} = ك ع نق_{ن}$ ⟵ $٢,١ \times ١٠^{-٣٤} = ٩,١ \times ١٠^{-٣١} \times ع \times ٢١,١٦ \times ١٠^{-١١}$ ⟵ $ع = ١١ \times ١٠^{٥}$ م/ث

٤) $ط_{٢} = \frac{-١٣,٦}{٢^{٢}}$ ⟵ $ط_{٢} = -٣,٤ \ eV$

٥) $ط_{تحرير} = +٣,٤ \ eV$

٦) $ط_{١} = \frac{-١٣,٦}{١^{٢}}$ ⟵ $ط_{١} = -١٣,٦ \ eV$

$ط = |ط - ط_{٥}|$ ⟵ $ط_{١} = |-١٣,٦ - ٣,٤|$ ⟵ $ط_{١} = ١٠,٢ \ eV$ هذا الطيف ينتمي لسلسلة ليمان

سؤال : احسب نصف قطر المستوى الرابع للإلكترون فى ذرة الهيدروجين بناء على نموذج بور.

الحل : $نق_{ن} = نق_{ب} ن^{٢}$ $نق_{٤} = ٥,٢٩ \times ١٠^{-١١} \times ٤^{٢}$ $نق_{٤} = ٨٤,٦٤ \times ١٠^{-١١}$ م

سؤال : إذا كان الزخم الزاوي لإلكترون ذرة الهيدروجين في مدار ما (٥,٢٥ × ١٠$^{-٣٤}$ جول . ث) جد رقم المدار الذي يدور فيه الإلكترون.

الحل :

$خ_{زاوي} = \frac{ن هـ}{\pi ٢}$ ⟵ ٥,٢٥ × ١٠$^{-٣٤}$ = ن × ١,٠٥ × ١٠$^{-٣٤}$ ن = ٥

* نموذج بور ومتسلسلات طيف ذرة الهيدروجين :

علمنا أن طاقة الفوتون الممتص أو المنبعث تعطى بالعلاقة التالية من الفرض الثالث لعالم بور :

$ط_{فوتون} = هـ ت_د = |ط - ط_ن|$ ومن العلاقة لحساب الطاقة الكلية للمستوى بتحويلها إلى وحدة الجول ، وتعويض ($ت_د = \frac{س}{\lambda}$) نجد أن :

$\frac{س هـ}{\lambda} = ١٣,٦ \times ١,٦ \times ١٠^{-١٩} \left| \frac{١}{ن^٢} - \frac{١}{ن_٥^٢} \right|$ وبتعويض قيم (س ، هـ) والقسمة عليها نجد :

$\frac{١}{\lambda} = ١,٠٩٧ \times ١٠^{٧} \left| \frac{١}{ن^٢} - \frac{١}{ن_٥^٢} \right|$ نستنتج أنه يمكن حساب الأطوال الموجية للخطوط الطيفية لطيف ذرة الهيدروجين من العلاقة الآتية :

$$\left\{ \left| \frac{١}{ن_٥^٢} - \frac{١}{ن^٢} \right| R_H = \frac{١}{\lambda} \right\}$$

بتعويض قيم ن = ١ ، ٢، ... ، ٥ في هذه العلاقة سنحصل على متسلسلات الطيف لذرة الهيدروجين ، ابتداءً من متسلسلة ليمان (ن = ١) وانتهاءً بمتسلسلة فوند (ن = ٥).

سؤال : انتقل إلكترون ذرة الهيدروجين من مستوى الطاقة الثاني إلى المستوى الطاقة الأول ، احسب :

١) طاقة الفوتون المنبعث. ٢) تردد الفوتون المنبعث. ٣) طول موجة الفوتون المنبعث.

الحل : ١) $ط_{فوتون} = هـ ت_د = |ط - ط_ن|$

$ط_{فوتون} = |ط_١ - ط_٢|$ $ط_١ = \frac{-١٣,٦}{١^٢}$ $ط_١ = -١٣,٦$ eV

$ط_٢ = \frac{-١٣,٦}{٢^٢}$ $ط_٢ = -٣,٤$ eV

$ط_{فوتون} = |-١٣,٦ - -٣,٤|$

$ط_{فوتون} = ١٠,٢$ eV لحساب التردد نحتاج إلى طاقة الفوتون بوحدة الجول فتصبح ط = ١,٦ × ١٠$^{-١٨}$ جول

٢) ط فوتون = هـ تـ$_{د}$ ⟵ ١,٦٣ × ١٠$^{-١٨}$ = ٦,٦٣ × ١٠$^{-٣٤}$ × تـ$_{د}$

تـ$_{د}$ = ٢,٤٦ × ١٠^{١٥} هيرتز

٣) $\left|\frac{١}{ن_{٢}^{٢}} - \frac{١}{ن_{٠}^{٢}}\right| R_H = \frac{١}{\lambda}$ $\left|\frac{١}{٢^{٢}} - \frac{١}{١^{٢}}\right| ١٠^{٧} \times ١,٠٩٧ = \frac{١}{\lambda}$ $\lambda = ١,٢٢ \times ١٠^{-٧}$ م

الطبيعة المزدوجة للمادة (فرضية دي بروي)

وجد كما ذكرنا سابقًا في الظاهرة الكهروضوئية أن للموجات طبيعة جسيمية ولكن السؤال الذي كان يطرح في الأذهان **هل للجسيمات طبيعة موجية ؟**

- الضوء موجة له طبيعة جسيمية وموجية.

- المادة ، هل لها طبيعة مزدوجة ؟!

في عام ١٩٢٣ م ، قدم العالم دي بروي فرضية تقول **" بما أن للفوتونات خواص موجية و جسيمية ، فمن المحتمل أن يكون لأشكال المادة جميعها خواص موجية كما لها خواص جسيمية ".**

تدلنا هذه الفرضية إلى أن الأجسام جميعها يصاحبها موجات أثناء حركتها وتسمى هذه الموجات **موجات المادة** أو **موجات دي بروي** ، وهي ليست موجات كهرومغناطيسية كالضوء ولا موجات ميكانيكية كالصوت ، إنما لها خواص ترتبط بخواص الجسم الذي تلازمه في الحركة وحسب فرضية دي بروي هذا يعني **أن الإجسام المادية لها طبيعة مزدوجة (جسيمية – موجية).**

توصل أينشتاين لعلاقة زخم الفوتون (خ = $\frac{هـ}{\lambda}$) ، فافترض دي بروي أن طول الموجة المصاحبة لحركة الجسم تتناسب عكسيًا مع زخمه ، **والزخم هو (الكتلة × السرعة)** فإن :

$\lambda = \frac{هـ}{ك\ ع}$ $\lambda_{فوتون} = \frac{هـ}{خ}$

**** من معادلة دي بروي نلاحظ :***

١) تربط المعادلة بين الصفات الجسمية (ك ع) والصفات الموجية (λ) وأن العلاقة بينهما تعتمد على ثابت بلانك(هـ).

٢) تعتمد الطبيعة الموجية للأجسام في ظهورها على سرعة الجسم (ع ≠ صفر) وكتلته (ك) حيث :

كلما زادت الكتلة قل طول موجة دي بروي ويصعب ملاحظتها وإذا قلت الكتلة يزداد طول موجة دي بروي وتُلاحظ.

علل : يمكن ملاحظة الطبيعة الموجية للجسيمات الذرية ودون الذرية بينما لا يمكن ملاحظتها للأجسام الكبيرة ؟

الإجابة : لأن الطول الموجي المصاحب للجسيمات الذرية ودون الذرية يساوي مقدارًا كبيرًا يمكن قياسه وملاحظته والطول الموجي المصاحب للجسيمات الجاهرية (الكبيرة) فهو صغير جدًا فيصعب قياسه وملاحظته.

سؤال : إذا قذف جسيم كتلته (٦ × $١٠^{-٦}$ كغ) بسرعة ($١٠^{٤}$ م/ث) احسب طول موجة دي بروي وزخمها.

الحل :

$\lambda = \frac{هـ}{ك\ ع}$ $\quad \lambda = \frac{٦,٦٣ \times ١٠^{-٣٤}}{٦ \times ١٠^{-٢}}$

$\lambda = ١١ \times ١٠^{-٢٩}$ م

خ = ك × ع ⟵ خ = ٦ × $١٠^{-٦}$ × $١٠^{٤}$ ⟵ خ = ٢ × $١٠^{-٢}$ كغ.م/ث

سؤال : جسيم كتلته (٣,٣ × $١٠^{-٦}$ كغ) وطول الموجة المصاحبة له (٢ × $١٠^{-٣٠}$ م) ما مقدار السرعة الخطية للجسيم ؟

الحل :

$\lambda = \frac{هـ}{ك\ ع}$ $\quad \frac{٢ \times ١٠^{-٣٠}}{٣,٣ \times ١٠^{-٦}\ ع} = \frac{٦,٦ \times ١٠^{-٣٤}}{ع}$

ع = $١٠^{٢}$ م/ث

سؤال : سقط فوتون طاقته (١٢ × $١٠^{-١٩}$ جول) جد زخم الفوتون الساقط.

الحل :

$\lambda_{فوتون} = \frac{هـ}{خ}$

$خ = \frac{هـ}{\lambda_{فوتون}}$

$خ = \frac{ط}{س}$

$خ = \frac{١٢ \times ١٠^{-١٩}}{٣ \times ١٠^{٨}}$ $\quad$ خ = ٤ × $١٠^{-٢٧}$ كغ.م/ث

$ط_{فوتون} = هـ\ ت_د = \frac{هـ\ س}{\lambda}$

$\lambda_{فوتون} = \frac{هـ\ س}{ط_{فوتون}}$

براء جابر ٠٧٨١٤٣١٠٤١

ورقة عمل

سؤال (١) : علل :

أ) تنبعث الإلكترونات بسرعات مختلفة وبطاقة حركية مختلفة لكل إلكترون مع أن تردد الضوء ثابت.

ب) يعتمد جهد القطع على تردد الضوء الساقط ولا يعتمد على شدة الضوء.

ج) كيف تفسر إنبعاث إلكترونات من سطح الباعث.

د) ما العوامل التي تعتمد عليها الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المنبعثة.

سؤال (٢) : يمتلك إلكترون ذرّة الهيدروجين في أحد المدارات طاقة كليّة تساوي (-٣,٤ إلكترون فولت) ، **أجب :**

١) ما رقم المدار المتواجد فيه الإلكترون.

٢) احسب نصف قطر المدار المتواجد فيه الإلكترون.

٣) احسب تردد الفوتون المنبعث عندما يعود إلى مستوى الإستقرار.

٤) احسب الزخم الزاوي للإلكترون في مستوى الإستقرار.

سؤال (٣) : إذا علمت أن اقتران الشغل لفلز ما يساوي (٤ إلكترون فولت) ، **احسب :**

١) تردد العتبة. ٢) جهد القطع عندما يسقط ضوء تردده (١٥ × $١٠^{١٥}$ هيرتز)

سؤال (٤) : سقط ضوء طول موجته (٢٢٠ نم) على مهبط خلية كهروضوئية ، فتحررت باتجاه المصعد ، إذا علمت أن جهد القطع العكسي (٦ فولت) **احسب :**

١) طاقة فوتون الضوء الساقط.

٢) الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات الضوئية.

٣) اقتران الشغل للمهبط.

٤) السرعة العظمى للإلكترونات المتحررة.

س = ٣ × $١٠^{٨}$ م/ث
نق$_{ب}$ = ٥,٢٩ × $١٠^{-١١}$ م
هـ = ٦,٦ × $١٠^{-٣٤}$ جول.ث
$\hbar_{ev}$ = ١,٦ × $١٠^{-١٩}$ كولوم
R_H = ١,٠٩٧ × $١٠^{٧}$ $م^{-١}$
ك$_{e}$ = ٩,١ × $١٠^{-٣١}$ كغ

سؤال (٥) : إلكترون في المستوى الطاقة الخامس **جد :**

١) الزخم الزاوي للمستوى المتواجد فيه الإلكترون.

٢) أقصر طول موجي في متسلسلة باشن.

٣) أقل تردد في متسلسلة بالمر.

سؤال (٦) : امتصت ذرة هيدروجين مثارة فوتونًا من الضوء ، إذا كان الإلكترون أصلًا في المستوى الثاني وارتفع للمستوى الخامس ، **أجب عما يأتي :**

١) ما تردد الفوتون الممتص.

٢) ما الطاقة الكلية للإلكترون حينما يصبح في المستوى الخامس.

٣) احسب نصف قطر المدار الخامس.

٤) إذا عاد الإلكترون إلى المستوى الأول ، احسب طول موجة الفوتون المنبعث ، وحدد إلى أي متسلسلة ينتمي.

٥) احسب الزخم الزاوي للإلكترون في المستوى الثاني.