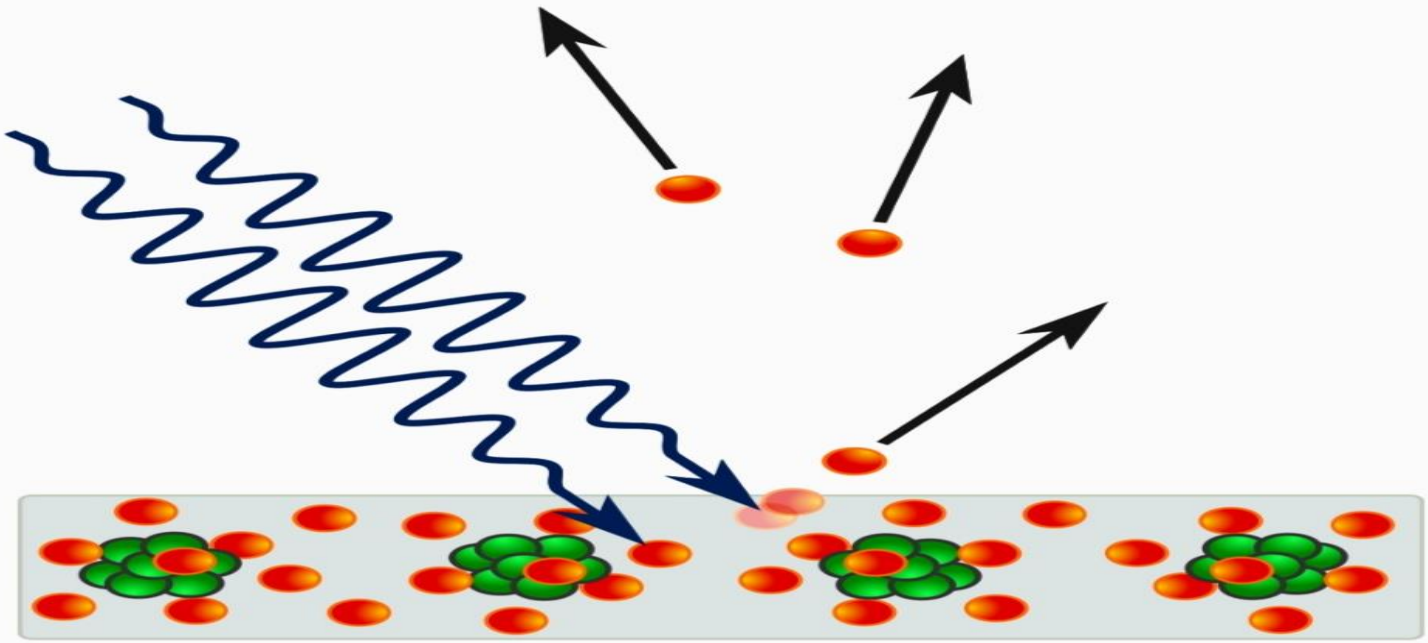
توجيهي جيل 2007

الفيزياء الحديثة



المميز في الفيزياء

الفصل الدراسي الثاني

المعلم: عبد الفتاح نبيل أبو الحاج

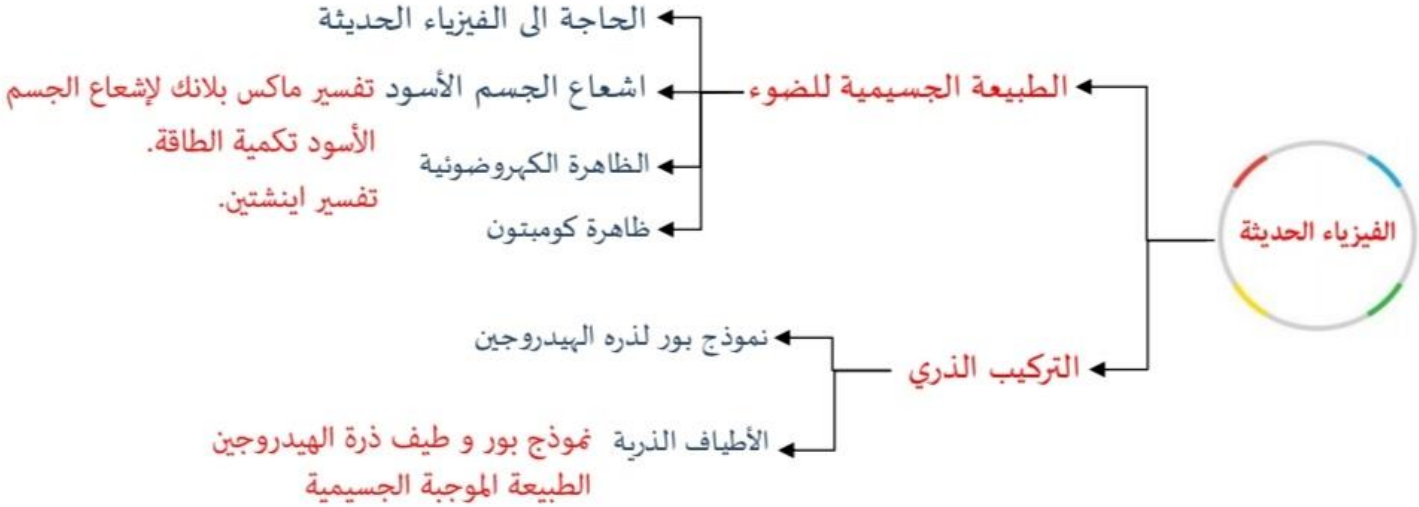
0780199072

فهرس المواضيع

موضوع الصفحة	رقم الصفحة
مقدمة عن الوحدة	2
معلومات أساسية عن الإشعاع الكهربائي	3-7
إشعاع الجسم الأسود	8-9
الظاهرة الكهروضوئية	10-15
أمثلة متنوعة على الظاهرة الكهروضوئية	16-18
ظاهرة كومبتون	19-20
أمثلة متنوعة على ظاهرة كومبتون	21-22
أسئلة مراجعة الدرس الأول	23-24
نموذج بور لذرة الهيدروجين	25-27
الأطياف الذرية	28-29
أمثلة متنوعة	30-32
الطبيعة الموجية الجسمية	33-35
أسئلة مراجعة الدرس الثاني	36-38
الإثراء والتوسع	39
أسئلة مراجعة الوحدة وإجاباتها	40-49
أسئلة تفكير ومهارات عليا	50-52

الفيزياء الحديثة

الدرس الأول: الطبيعة الجسيمية للضوء
الدرس الثاني: التركيب الذري



أهداف الدرس الأول :

1. أصف الإشعاع الحراريّ للجسم الأسود.
2. أشرح الظاهرة الكهرضوئيّة.
3. أفسّر العلاقة بين الطاقة الحركية العظمى لإلكترونات المتحرّرة من سطح الفلزّ وتردّد الضوء الساقط عليه.
4. أشرح تجربة كومبتون.
5. أحلّ مسائل حسابية على الظاهرة الكهرضوئية وتأثير كومبتون

أهداف الدرس الثاني :

1. أشرح الأسس التي اعتمد عليها بور في بناء نموذجه لذرة الهيدروجين، وأستقصي حدود هذا النموذج.
2. أستنتج أنّ الإشعاع الكهرمغناطيسي المنبعث عن الذرات ينتج عن انتقال الإلكترونات بين مستويات الطاقة.
3. أستقصي الطيف المنبعث من مصادر ضوئية مختلفة.
4. أطبّق بحلّ مسائل حسابيّة على نموذج بور لذرة الهيدروجين.

معلومات أساسية في الإشعاع الكهرومغناطيسي

1 موجات الاشعاع الكهرمغناطيسي

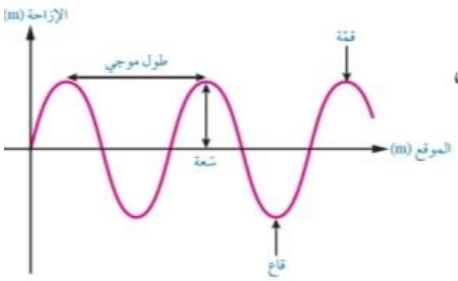
تشكل الموجات الكهرمغناطيسية ما يعرف **بالطيف الكهرمغناطيسي Electromagnetic spectrum**، الذي يضم أنواعا مختلفة من الإشعاع تعرفتها في صفوف سابقة، من بينها: الأشعة تحت الحمراء، والضوء المرئي، والأشعة فوق البنفسجية، والأشعة السينية، وغيرها...

تتكون الموجات الكهرمغناطيسية من مجالين: كهربائي ومغناطيسي، تنتقل في الفراغ وفي الأوساط المادية، وهي لا تحتاج إلى إحداث اضطراب ميكانيكي في الوسط، بل تنتقل على شكل اضطراب في المجالين الكهربائي والمغناطيسي. وتتصف الموجات الكهرمغناطيسية بصفات عامة، أهمها:

- تتكون من مجالين أحدهما كهربائي والآخر مغناطيسي يتذبذب أحدهما باتجاه عمودي على الآخر، ومتساويان في ترددهما، الذي يمثل تردد الموجة نفسها.
- موجات مستعرضة يكون اتجاه تذبذب المجالين الكهربائي والمغناطيسي متعامدا مع اتجاه انتشارها.
- تنتقل الموجات الكهرمغناطيسية جميعها في الفراغ بسرعة($c = 3 \times 10^8$ m/s) مهما كان ترددها.

موجات الطيف الكهرمغناطيسي

2 موجات الاشعاع الكهرومغناطيسي



1) الازاحة (A) : و هي أقصى إزاحة تحدثها الموجة لجسيمات الوسط بالنسبة إلى موقع اتزانها.

2) الطول الموجي (λ) : و هو المسافة بين اي نقطتين متتاليتين و متماثلتين في ازاحتيهما مثل بين قمتين متتاليتين .

3) التردد(f): هو عدد الموجات التي تعبر نقطة ثابته في الوسط خلال ثانية واحدة .

العلاقة بين الطول الموجي (λ) و التردد (f):

كلما كان الطول الموجي كبير كلما قل التردد اي ان العلاقة بينهما عكسية و بنسبة ثابته تمثل سرعة الضوء ($C=3\times10^8$) و يعبر عن ذلك من العلاقة :

$$f = \frac{C}{\lambda}$$ (C: m/s، λ: m، f: H_z)

3 النموذج الموجي للضوء و النموذج الكمي للضوء

أولاً: النموذج الموجي للضوء (الفيزياء الكلاسيكية)

تُعدّ النظريّة الكهرمغناطيسيّة من مجالات الفيزياء الكلاسيكيّة المهمّة، طوّرها العالم الإنجليزي ماكسويل ،Maxwell وتصف الضوء بأنّه موجات كهرمغناطيسيّة، ونجحت هذه النظرية في تفسير كثيرٍ من الظواهر المتعلقة بالضوء كالحيود، والتداخل، والانعكاس، والانكسار.

نظرية الفيزياء الكلاسيكية للإشعاع :

الاجسام تشع الطاقة و تمتصها بأي مقدار و عند اي تردد اي أن امتصاص الطاقة يكون متصلاً و ان الطاقة التي تحملها الموجة تعتمد على سعتها لا على ترددها .

ثانياً: النموذج الكمي للضوء (الفيزياء الحديثة)

في بدايات القرن التاسع عشر اكتُشفت ظواهر فيزيائية جديدة لم تستطع الفيزياء الكلاسيكية تفسيرها: مثل إشعاع الجسم الأسود، والظاهرة الكهرضوئيّة، وتأثير كومبتون، وتركيب الذرات والأطياف الخطّيّة المنبعثة عنها على نحو ما سأدرس لاحقًا في هذه الوحدة. إنّ الحاجة إلى تفسير هذه الظواهر أدّت إلى نشوء علم الفيزياء الحديثة، ويندرج تحتها علم فيزياء الكمّ الذي يُعنى بدراسة أنظمة الجُسيمات الذريّة ودون الذريّة (دون الجاهريّة) Microscopic particles ضمن مجالات منها الفيزياء الذرية والفيزياء النووية وأشباه الموصلات.

مبدأ تكمية الطاقة للعالم ماكس بلانك :

افترض بلانك أنّ الأشعة الصادرة عن الأجسام ناتجة عن مُتذبذِبات(Oscillators الإلكترونات في الذرات مثلا)، وأنّ هذه المتذبذِبات تشعّ الطاقة أو تمتصّها بكميات محدّدة وغير متصلة، وهذا يخالف تمامًا الفيزياء الكلاسيكية التي تفترض أنّ تلك المتذبذِبات تشعّ الطاقة أو تمتصّها بأيّ مقدار؛ أيْ على نحوٍ متّصل. ووفقاً لفرضية بلانك، فإنّ الطاقة التي تشعّها الأجسام أو تمتصّها عند تردّد معيّن تكون عددًا صحيحًا من مضاعفات طاقة الحزمة (الكمة) الواحدة؛ وطاقة الكمة الواحدة يُعبَّر عنها بالعلاقة الآتية:

$$E=hf$$

حيث h ثابت بلانك وقيمته(6.63×10^{-34}J.s)، و f تردّد الموجة. وعند تردّد معيّن، فإنّ طاقة الأشعة الكهرمغناطيسية التي يشعّها جسم أو يمتصها يُعبَّر عنها بالعلاقة الآتية:

$$E_n = nhf$$

حيث n عدد صحيح موجب. وبذلك، فإنّ طاقة الأشعة الصادرة عن جسم عند التردّد f يمكن أن تأخذ قيمًا، مثل: hf, 2hf, 3hf, 4hf,. وهذا ما يعرف بمبدأ تكمية الطاقة

ثالثاً:

مقارنة بين الفيزياء الكلاسيكية والفيزياء الحديثة

الفيزياء الكلاسيكية		الفيزياء الحديثة
النموذج الموجي للضوء		النموذج الكمي للضوء
موجات	طبيعة الاشعاع	وحدات منفصلة من الطاقة كمات(سميت فيما بعد فوتونات)
بشكل متصل(مستمر) و بمقادير غير محددة	عملية انبعاث و امتصاص الطاقة	بشكل منفصل (غير مستمر) و بمقادير محددة $E=nf$
سعة الموجة (شدة الضوء) كميته	تعتمد طاقة الاشعاع على	تردد الضوء
• انعكاس الضوء • انكسار الضوء • التداخل • الحيود	ظواهر نجح كل نموذج في تفسيرها	• اشعاع الجسم الأسود • الظاهرة الكهرضوئية • ظاهرة كومبتون • الأطياف الخطية المنبعثة من الذرات

أمثلة متنوعة على مبدأ تكميم الشحنة

القانون : $E=hf$ تذكر $f=\frac{c}{\lambda}$

ثوابت وزارية : $e= 1.6\times10^{-19}c$ $h= 6.63\times10^{-34}$ J.s $C= 3\times10^{8}$m/s

تحويلات جديدة: و من الجدير بالذكر أن وحدة قياس الطاقة المستخدمة في الفيزياء الذرية هي الالكترون فولت (eV) : هو الطاقة التي يكتسبها إلكترون عند تسريعه بفرق جهد مقداره(1V) ، حيث $1eV = 1.6\times10^{-19}$J

مثال

جسم ساخن بدرجة حرارة معينة، ومعظم الأشعة الصادرة عنه تردّدها يساوي ($f=1\times 1015$ Hz)، أجد طاقة الكمة الواحدة من الإشعاع عند هذا التردّد.

الحلّ:

$$E = hf = 6.63\times10^{-34}\times1\times10^{15} = 6.63\times10^{-19}\,\text{J}$$

$$1\,\text{eV} = 1.6\times10^{-19}\,\text{J}$$

وبذلك تصبح طاقة الكمة الواحدة تساوي:

$$E = 6.63\times10^{-19}\,\text{J}\times\frac{1\,\text{eV}}{1.6\times10^{-19}\,\text{J}} = 4.1\,\text{eV}$$

مثال

أجد طاقة كمة أشعة سينيّة تردّدها ($4.2\times10_{18}$Hz)

$$E = hf = 6.63\times10^{-34}\times4.20\times10^{18}$$

$$= 2.78\times10^{-15}\,\text{J} = 2.78\times10^{-15}\,\text{J}\times\frac{1\,\text{eV}}{1.6\times10^{-19}\,\text{J}} = 17.4\,\text{keV}$$

مثال

إذا كان تردد موجة الضوء الأحمر يساوي(4.6×10^{14} Hz)، أجد طاقة الكمة الواحدة له.

$$E = hf = 6.63\times10^{-34}\times4.6\times10^{14} = 3.1\times10^{-19}\,\text{J}$$

تجربة تمهيدية

عند تسخين سلك فلزي و اثناء تسخينه مع مرور الزمن حيث يتوهج باللون الأحمر ثم الأصفر ثم الأزرق و اذا ارتفعت درجة حرارة السلك سيتوهج باللون الأبيض و هذا يخالف ما تنبأ به نموذج العالمان رايلي – جينز حيث استخدما الفيزياء الكلاسيكية لتفسير سلوك شدة الاشعاع و بناء على قوانين الفيزياء الكلاسيكية التي ترتكز على ان الاجسام تشع الطاقة و تمتصها بأي مقدار و عند اي تردد اي ان امتصاص الطاقة يكون متصلاً و أن الطاقة التي تحملها الموجة تعتمد على سعتها لا على ترددها .

فلو كان تفسير رايلي- جينز صحيحاً لشعت الأجسام ضوءاً مرئياً حتى عند درجة حرارة الغرفة .

لكن عند درجة حرارة الغرفة كل الي رح تشعه اشعه غير مرئية اشعة تحت الحمراء يعني بحدود تردد معين و طول موجي معين و هاي تسمى اشعة حرارية عشان هيك عشت العمر مخدوع و تفكر انه هاي الجاكيت بتدفي و هاي لا يما الدنيا برد البس بلوزة بتدفي . و الحقيقة المرة طلعت انه انت الي بتدفي البلوزة مش هي بتدفيك هي بتحاول تخلي الحرارة الصادرة عنك حوليك فقط .

يصدر عن الأجسام أشعه كهرمغناطيسية في منطقة الاشعة تحت الحمراء عندما تكون درجة حرارتها اكبر من الصفر المطلق (OK) لكن عند درجة حرارة الغرفة لا تبعث الأجسام أشعة كهرمغناطيسية في منطقة الضوء المرئي بخلاف ما يتنبأ به نموذج رايلي جينز.

سؤال **في التجربة الاستهلاليّة: مع زيادة درجة حرارة السلك بدأ يشعّ باللون الأحمر، ثم الأصفر، ثم الأبيض. فلماذا تغيّر لون التوهّج إلى الأبيض؟**

هنا (رايلي و جينز) صفواعلى جنب (الكلاسيكية)سولافة بلانك مقنعة أكثر (الحديثة)

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

ملاحظة يجب حفظ الترتيب الصحيح للون توهج سلك فلزي عند تسخينه لانه عليه سؤال في كتاب التمارين.

أحمر ثم الاصفر ثم الأزرق ثم الأبيض

إشعاع الجسم الأسود

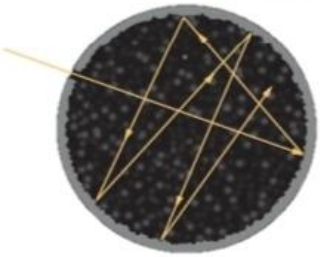
الأجسام جميعها فوق درجة حرارة الصفر المطلق تشع طاقة على شكل أشعة كهرمغناطيسية ، ففي درجة حرارة الغرفة تشع الأجسام أشعة تحت الحمراء غير مرئية للإنسان . و عند رفع درجة حرارة الأجسام تبدأ بالتوهج باللون الأحمر ، و هذا لا يعني أنها لا تشع أجزاءً أخرى من الطيف ، بل إن معظم الإشعاعات الناتجة من الجسم يقع طولها الموجي ضمن نطاق الطول الموجي للأشعة الحمراء من الطيف المرئي و عند تسخينها أكثر تتوهج بلون ذي طول موجي أقصر و في حالة الاتزان الحراري فإن مقدار ما يفقده الجسم من طاقة يساوي مقدار ما يكتسبه الجسم من طاقة ، ما يعني أن قدرة الأجسام على إشعاع الطاقة تساوي قدرتها على امتصاص الطاقة . و ثبت أن الأجسام جميعها تصدر إشعاعات حرارية وأن كمية الإشعاع المنبعث تزداد بازدياد درجة الحرارة . و يعتمد إشعاع الجسم للطاقة على درجة حرارته و طبيعة سطحه و لونه .

و لفهم الاشعاع الحراري المنبعث من جسم طور العلماء مفهوم الجسم الأسود .

الجسم الأسود : هو عبارة عن جسم مثالي يمتص الأشعة الكهرمغناطيسية الساقطة عليه كلها بغض النظر عن ترددها و يشعها ايضاً بالكفاءة نفسها .

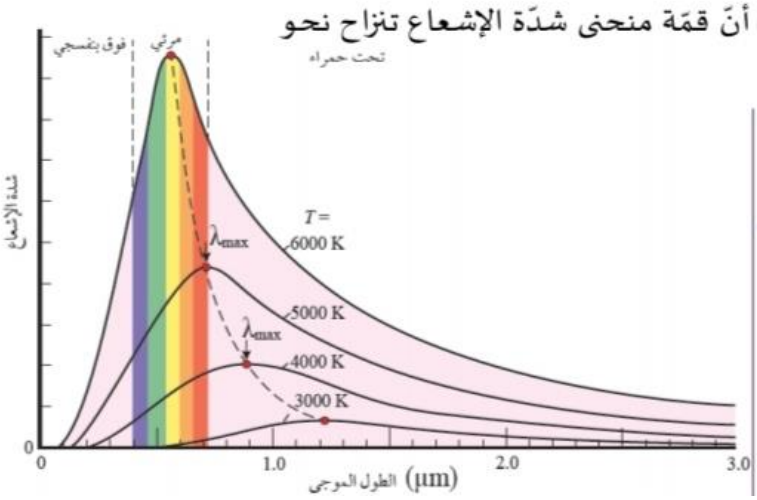
ملاحظة

- يعتمد انبعاث الأشعة من الجسم الأسود على درجة حرارته فقط .
- اطلق على الجسم الأسود هذا الاسم لان الجسم الذي يمتص الأشعة الساقطة عليه كلها يكون أسود اللون.



تصور الجسم الأسود: ثقب صغير في صندوق جدرانه الداخلية سوداء، والأشعة التي تدخل الصندوق من خلال الثقب تُمتصّ امتصاصًا كاملاً. وحيثُ إنّه لا يوجد جسم في الطبيعة يمتصّ الأشعة الساقطة عليه كلها ، فإنّ الجسم الأسود جسم مثالي.

يوضّح الشكل علاقة شدّة الإشعاع المنبعِث من الجسم الأسود بالطول الموجيّ للأشعة المنبعِثة منه عند درجات حرارة مختلفة. ولوحِظ أنّ قمّة منحنى شدّة الإشعاع تنزاح نحو الترددات العالية بارتفاع درجة حرارة الجسم الأسود.



الربط بعلوم الفضاء

درجة حرارة سطح الشمس تصل إلى 6000 K تقريبًا، حيث إن الشمس تشعّ طاقة في مناطق الطيف الكهرمغناطيسي كافة، ولكن أكبر قيمة لشدة إشعاع الشمس تقع في منطقة الضوء المرئيّ على نحو ما هو واضح في الشكل المساحة تحت المنحنى تمثّل معدل الطاقة الكلية المشعّة لكل وحدة مساحة لذا، فإنّ الشمس تشعّ 40%تقريبًا من الطاقة في منطقة الضوء المرئي.

تفسير سلوك شدة الإشعاع المنبعث من الجسم الأسود
و كارثة الأشعة فوق البنفسجية

الفيزياء الكلاسيكية

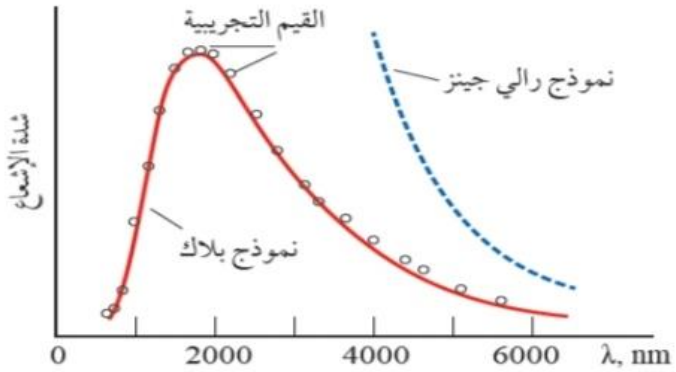
استخدم العالِمان رايلي وجينز Rayleigh and Jeans الفيزياء الكلاسيكية لتفسير سلوك شدّة الإشعاع المنبعِث من الجسم الأسود بناءً على قوانين الفيزياء الكلاسيكية التي ترتكز على أنّ الأجسام تُشعّ الطاقة، وتمتصّها بأيّ مقدار وعند أيّ تردّد: أيْ إنّ امتصاص الطاقة يكون متصلاً Continuous ، وأنّ الطاقة التي تحملها الموجة تعتمد على سعتها لا على تردّدها. وقد أظهر نموذج رايلي- جينز توافقًا مقبولً مع النتائج التجريبيّة في منطقة الأطوال الموجيّة الكبيرة (الأشعة تحت الحمراء)، في حين أظهر عدم توافق في منطقة الأطوال الموجيّة القصيرة)الأشعة فوق البنفسجية) على نحو ما يظهر في الشكل ، حيث تؤول شدة الإشعاع حسب نموذج رايلي- جينز إلى اللانهاية عندما يؤول الطول الموجي إلى الصفر، في حين تشير النتائج التجريبية بأنها (شدة الإشعاع) تؤول إلى الصفر، وهذا ما عُرف في تاريخ الفيزياء باسم **كارثة الأشعة فوق البنفسجية**

الفيزياء الحديثة

عام 1900 تمكّن العالم ماكس بلانك Max Planck من وضع صيغة رياضيّة تصف شدّة الإشعاع المنبعِث من الجسم الأسود، وتطابقت حساباته مع النتائج التجريبية تمامًا.

توضيح أكثر (تزويدي)

ينبعث الإشعاع من الجسم الساخن نتيجة لاهتزاز جزيئاته أو ذراته. و حسب مبدأ تكمية الطاقة ، فإن هذه الجزيئات و الذرات لا تشع إشعاعاً متصلاً، بل كمات محددة متتالية من الطاقة ، تعتمد مقدار طاقة كل منها على تردد الجزيء أو الذرة . و عند درجة حرارة معينة لا تهتز الذرات و الجزيئات بتردد واحد، وإنما بترددات مختلفة وفق توزيع يمثل الترددات المتوسطة . و هذا ما يفسر نقصان اللطاقة في الجزء الأيسر و الأيمن من منحنى إشعاع الجسم الأسود. أما الجزيئات ذات الترددات المتوسطة فتكون أكثر عدداً، و هذا ما يفسر ارتفاع شدة الطاقة عند هذه الترددات ، و بذلك تمكن بلانك من تخطي كارثة الأشعة فوق البنفسجية السالفة الذكر، و في الوقت نفسه ، تطابقت تنبؤاته مع النتائج التجريبية لاشعاع الجسم الأسود.



الظاهرة الكهروضوئية

بدي اقسم الظاهرة الضوئية ل 5اقسام :

اولاً : تجربة الكشاف الكهربائي

ثانياً: تجربة لينارد A التجربة B نتائج التجربة C تفسير الفيزياء الكلاسيكية للتجربة

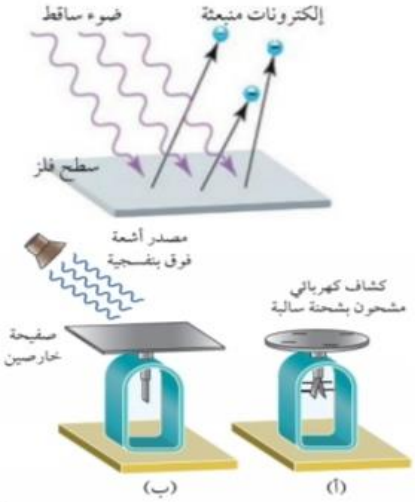
ثالثاً: تفسير اينشتين

رابعاً: التمثيل الباني للعالم ميليكان

خامساً: ملخص الظاهرة الكهرضوئية و حل مسائل متنوعة

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

تسمى الالكترونات المنبعثة الكترونات ضوئية و هذا ما لاحظه العالم هيرتز خلال تجاربه عام 1887م تحديداً أن الشرارة الكهربائية تحدث على نحو اسرع في جهاز الإرسال الخاص به عند تعريضه لاشعة فوق بنفسجية .



أولا تجربة الكاشف الكهربائي

عند شحن ورقتي كشاف كهربائي بشحنة سالبة فإن ورقتي الكاشف تنفرجان (تنافر) و عند اسقاط مصدري من الضوء (مصدر أشعة فوق بنفسيجة، مصدر ضوء احمر) على صفيحة الخارصين فإن : لاحظ الجدول

الضوء المُسلط	كميته((شدته))	النتيجة	السبب
أحمر ((تردد منخفض))	عادية	لم يحدث تغير على انفراج ورقتي الكشاف .	طاقة الضوء غير كافية
أحمر	كبيرة	لم يحدث تغير على انفراج ورقتي الكشاف .	طاقة الضوء لم تزداد بزيادة شدته .
فوق بنفسجية ((تردد عالي))	عادية	قل الانفراج	لان الكترونات تحررت من قرص الكشاف ما يدل على ان طاقة الاشعاع زادت بزيادة تردده
فوق بنفسجية	كبيرة	يقل بشكل أكثر	لانه يتحرر الكترونات و تنبعث بعدد أكبر؟!

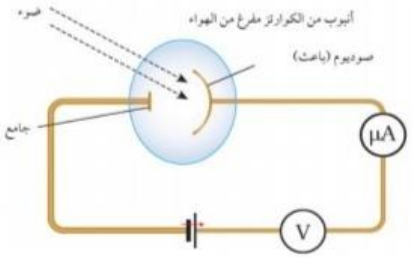
نلاحظ من التجربة أنه عند سقوط الأشعة فوق البنفسجية على صفيحة الخارصين قل انفراج ورقتي الكشاف ، ما يدل على تفريغ شحنة الكشاف السالبة و يعود ذلك الى تحرر الكترونات من سطح الخارصين عند امتصاصها طاقة من الأشع فوق البنفسجية.

يعني طاقة الضوء تعمد على النوعية (نوع الاشعاع تردده) ولا تعتمد على الكمية (شدة الاشعاع) ضدة الاشعاع (الكمية) بركة مش غلط لكن اذا النوعية كويسة .

ثانيا تجربة ليناد

A التجربة

الشكل المجاور يبين رسماً تخطيطياً لجهاز استخدمه العالم لينارد لاجراء كثير من التجارب الخاصة بالظاهرة الكهرضوئية .



مكونات الجهاز

يتكوّن من :

1. أنبوب من زجاج الكوارتز مُفرّغ من الهواء تجنّباً لفقد الإلكتروناتِ طاقةً حركيّةً نتيجة تصادمها بجسيمات الهواء.
2. قطبين فلزّيين، أحدهما مصنوع من فلزّ الصوديوم يُسمّى الباعث، موصول بالقطب الموجب لمصدر فرق جهد قابل للضبط، والآخر يُطلق عليه اسم الجامع يتصل بالقطب السالب لمصدر فرق الجهد.

تعالو نشوف لينارد شو عمل وشو استنتج :

عند سقوط أشعة كهرمغناطيسية بتردّد مناسب على الباعث تتحرّر الإلكترونات من سطحه، وتنطلق نحو الجامع. ويُستدلّ على ذلك من خلال التيار الكهربائي الذي يقرؤه الميكرو أميتر (μA) الذي يُسمّى التيار الكهرضوئيّPhotocurrent.

كلّما ازدادت سالبيّة جهد الجامع، ازدادت قوّة تنافر الإلكترونات الكهربائيّة مع الجامع، فيقلّ التيار الكهرضوئي حيث لا يصل الجامع إلاّ الإلكترونات التي تمتلك طاقة حركية كافية للتغلّب على قوة التنافر الكهربائية مع الجامع. ويُسمّى فرق الجهد الذي يصبح عنده التيار الكهرضوئيّ صفرًا **جهد الإيقاف Stopping potential (*Vs*)**، والذي يستطيع إيقاف الإلكترونات ذات الطاقة الحركيّة العظمى (KE_{max}) قبل وصولها إلى الجامع.

جهد الايقاف: فرق الجهد الذي تكون عنده قراءة التيار الكهرضوئي صفراً .

OR فرق الجهد الذي يستطيع ايقاف الالكترونات ذات الطاقة الحركية العظمى EK_{max} قبل وصولها الى الجامع .

- يرتبط جهد الايقاف بالطاقة الحركية العظمى للالكترونات بالعلاقة التالية :

$$KE_{max} = eV_s$$

حيث e تساوي القيمة المطلقة لشحنة الالكترون .

سؤال

هل يمكن أن تكون الطاقة الحركية لجسم سالبة ؟ و لماذا ؟

لا يمكن ان تكون الطاقة الحركية سالبة فهي تعتمد على السرعة و على مربع السرعة و كل من الكميتين دائماً موجبة .

B نتائج التجربة

وقد لاحظ لينارد المشاهدات التجريبية الآتية للظاهرة الكهرضوئية:

1. تتحرّر إلكترونات من سطح الفلزّ فقط عندما يكون تردّد الأشعة الساقطة على سطحه أكبر من تردّد معيَّن، يُسمّى **تردّد العتبة** Threshold frequency.
2. تنبعث الإلكترونات الضوئية بطاقات حركية متفاوتة تتراوح قيمها من صفر إلى قيمة عظمى(KE_{max}).
3. القيمة العظمى للطاقة الحركية للإلكترونات (KE_{max}) المنبعثة من سطح الفلزّ تتناسب طرديًّا مع تردّد الأشعة الساقطة عليه، ولا تعتمد على شدّة الأشعة.
4. يزداد عدد الإلكترونات المنبعثة بزيادة شدّة الأشعة دون زيادة في الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات الضوئية.
5. تنبعث الإلكترونات انبعاثًا فوريًّا بمجرد سقوط الأشعة على سطح الفلزّ.

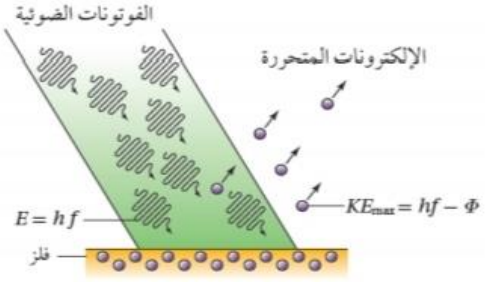
C اسباب فشل الفيزياء الكلاسيكية في تفسير نتائج الظاهرة الكهرضوئية

تتنبّأ النظرية الكهرمغناطيسية، التي ترتكز على النموذج الموجيّ للضوء فيما يخص الظاهرة الكهرضوئية، بما يأتي:

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

من الواضح أنّ التنبؤات جميعَها تخالف النتائج التجريبية، وبذلك شكّلت الظاهرة الكهرضوئية دليلاً آخرَ على عجز الفيزياء الكلاسيكية بنموذجها الموجي للضوء عن تفسير سلوك الجُسيمات دون الجاهريّة.

ثالثا تفسير اينشتين للظاهرة الكهرضوئية



لتفسير الظاهرة الكهرضوئية استخدم أينشتين فرضيّة تكمية الطاقة لبلانك، وافترض أنّ طاقة الأشعة الكهرمغناطيسية مركّزة في جُسيمات أُطلِقَ على كلٍّ منها اسم فوتون، حيث طاقة الفوتون الواحد تساوي ($E = hf$): أيْ إنّ للأشعة الكهرمغناطيسية طبيعة جُسيميّة إضافة إلى طبيعتها الموجيّة. لذا فعند سقوط فوتون على إلكترونات الفلزّ، فإنّ الإلكترون الواحد منها، إمّا أنْ يمتص طاقة الفوتون كاملة، وإمّا أنّه لا يمتصها أبدًا، أتأمّل الشكل وحتى يتحرّر الإلكترون من سطح الفلز، يجب أن يمتلك طاقة كافية للتغلّب على قوة التجاذب الكهربائي مع النوى الموجبة للفلز، وأقلّ طاقة كافية لتحرير إلكترون من سطح الفلز تُسمى (**اقتران الشغل Φ Work function**) ، وهو يعتمد على نوع الفلزّ على نحو ما هو مبيّن في الجدول . فإذا كانت طاقة الفوتون الذي يمتصّه الإلكترون (hf) أكبر من Φ ، فإنّ الإلكترون يتحرّر ممتلكاً طاقة حركية. ولا يتحرّر إن كانت (hf) أقلّ من Φ. وتُحسب الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحرّرة (KE_{max}) باستخدام العلاقة الآتية:

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

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

ويمكن إعادة كتابة العلاقة السابقة على النحو الآتي:

$$hf = \Phi + \frac{1}{2} m v_{max}^2$$

حيث: m كتلة الإلكترون.

و v_{max} : السرعة العظمى للإلكترونات المتحرّرة.

و $KE_{max} = \frac{1}{2} m v_{max}^2$

أمّا عندما تكون طاقة الفوتون مساوية لاقتران الشغل، فإنّ الإلكترون يتحرّر بطاقة حركية مساوية للصفر. ويُسمى تردّد الأشعة الكهرمغناطيسية في هذه الحالة **بتردّد العتبة** للفلزّ (f_o) ، ويُعرف بأنّه أقلّ تردّد يتطلّبه تحرير إلكترونات ضوئيّة من سطح فلزّ دون إكسابها طاقةً حركيّة. ويُحسب من اقتران الشغل للفلزّ حسب العلاقة:

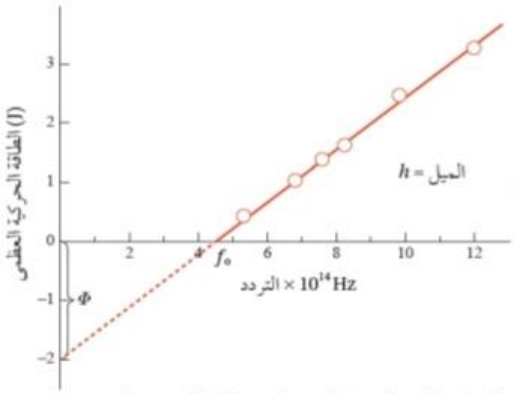
$$f_o = \frac{\Phi}{h}$$

سؤال أذكر فرضيّة أينشتين التي استخدمها في تفسير نتائج الظاهرة الكهرضوئية.

لتفسير نتائج الظاهرة الكهرضوئية افترض العالم أينشتين أن الضوء يتكون من جسيمات (فوتونات)وطاقة كل فوتون ($E = hf$) و عندما يسقط الفوتون على إلكترونات الفلز فإن الإلكترون الواحد منها إما أن يمتص طاقة الفوتون كاملة أو لا يمتصها نهائيا. وحتى يتمكن الفوتون من تحرير إلكترون من سطح الفلز يجب أن تكون طاقته مساوية لاقتران الشغل للفلز أو أكبر منه.

رابعا التمثيل البياني للعالم ميليكان .

اثبات لتفسير اينشتين و حساب ثابت بلانك علمياً



عام 1916 أجرى العالم ميليكان Millikan قياسات تجريبيّة للتحقّق من علاقة أينشتين للظاهرة الكهرضوئيّة، حيث استخدم ميليكان أشعة كهرمغناطيسيّة بتردّدات مختلفة، وقاس جهد الإيقاف عند كل تردّد، ومثّل العلاقة البيانيّة بين الطاقة الحركيّة العظمى للإلكترونات المتحرّرة وبين تردّد الأشعة الساقطة على الباعث برسم بياني فكانت على نحو ما هي موضّحة في الشكل. ومن الواضح أنّ العلاقة بين الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحرّرة وتردّد الأشعة الساقطة على الباعث علاقة خطّيّة، وهذا يتفق مع تفسير أينشتين للظاهرة الكهرضوئية. ويمثّل ميل الخط في الرسم ثابت بلانك، في حين يمثّل تقاطع امتداد الخط مع محور الطاقة ، ($-\Phi$)وتمثل نقطة تقاطع الخط مع محور التردّد، تردّدَ العتبة.

وتمكّن ميليكان أيضاً من إثبات أنّ التيار الكهرضوئي يزداد بزيادة شدّة الإشعاع الساقط على الباعث. وفسّر أينشتين ذلك بأنّ زيادة شدّة الأشعة الكهرمغناطيسية تعني زيادة عدد الفوتونات الساقطة على الباعث في الثانية الواحدة، ونظرًا إلى أنّ كل فوتون يحرّر إلكترونًا، لذا يجب أن يزداد عدد الإلكترونات المتحرّرة في الثانية الواحدة.

وعند إمعان النظر في العلاقة التي تربط الطاقة الحركية العظمى باقتران الشغل وتردّد الأشعة الكهرمغناطيسية، أُلاحظ أنّ الطاقة الحركيّة العظمى تتناسب طرديًّا مع تردّد الأشعة لا مع شدّتها.

سؤال كيف استطاع النموذج الجسيمي للاشعاع تفسير الانبعاث الفوري للالكترونات من سطح الفلز؟

واستطاع النموذج الجُسيميّ للإشعاع تفسير الانبعاث الفوري للإلكترونات من سطح الفلزّ: لأنّه يفترض أنّ الطاقة مركّزة في الفوتون، وبمجرد امتصاص الإلكترون للفوتون، فإنّه يكتسب طاقة تُحرّره من الفلزّ مهما كانت شدّة الإشعاع، على أنْ يكون تردّد الفوتون أكبر من تردّد العتبة للفلزّ.

سؤال كيف استطاع النموذج الجسمي للاشعاع تفسير التفاوت في الطاقة الحركية للالكترونات

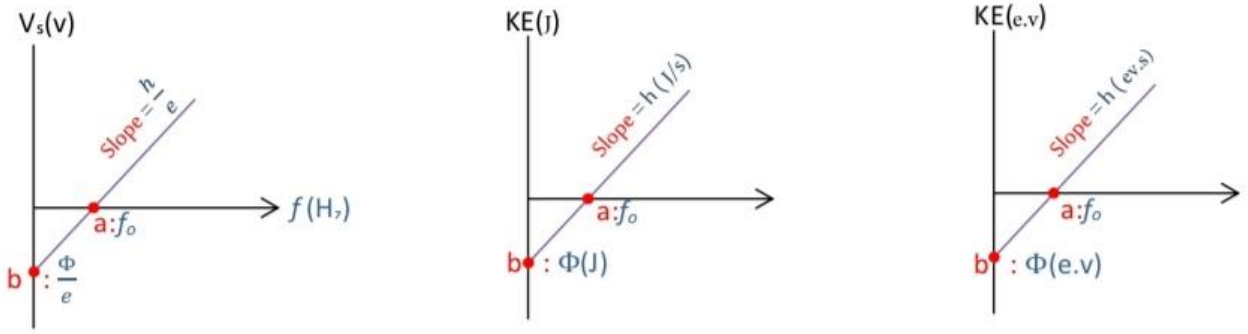
المنبعثة من صفر الى طاقة حركية عظمى .

وذلك حسب طاقة ربط الإلكترون بذرات الفلزّ، إضافة إلى عمق موقع الإلكترون تحت سطح الفلزّ، فالإلكترونات ذات طاقة الربط الأصغر والأقرب لسطح الفلزّ تتحرّر بطاقة حركيّة أكبر.

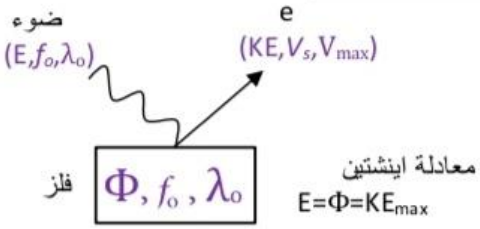
خامسا ملخص الظاهرة الكهروضوئية و حل مسائل متنوعة

وجه المقارنة	الفيزياء الحديثة(النموذج الكمي)	الفيزياء الكلاسيكية (النموذج الموجي)
تفاعل الضوء مع الالكترونات	يعطي الفوتون الواحد طاقته كامله لالكترون واحد فقط اي أن عملية امتصاص الطاقة ليست مستمرة.	تمتص الالكترونات الطاقة الضوئية على نحو مستمر أي أن عملية امتصاص الطاقة مستمرة
شرط تحرر الالكترونات	يتحرر من الفلز الكترونات عند سقوط الضوء فقط اذا كان تردد الضوء الساقط اكبر او يساوي تردد العتبة للفلز	يتحرر من الفلز الكترونات عند سقوط ضوء ذي شدة عالية على الفلز بغض النظر عن تردد الضوء الساقط عليه
المدة الزمنية لانبعاث الالكترونات الضوئية	اذا كان تردد الضوء اكبر من تردد العتبة يتحرر الالكترون و ينبعث فور سقوط الضوء	يحتاج الالكترون الى بعض الوقت لامتصاص الطاقة الكافية و تجميعها ليتحرر من الفلز خاصة عند سقوط ضوء خافت شدته قليلة.
الطاقة الحركية العظمى	تعتمد على تردد الضوء الساقط	تعتمد على شدة الضوء الساقط

التمثل البياني ل ميليكان



ملخص القوانين



ضوء	$E=hf$	$f=\frac{c}{\lambda}$
فلز	$\Phi=hf_o$	$f_o=\frac{c}{\lambda_o}$
الكترون	$KE_{max}=eV_s$	$KE_{max}=\frac{1}{2}m_eV^2_{max}$

أمثلة متنوعة على الظاهرة الكهروضوئية

$h= 6.6\times10^{-34}$J.s , $e=1.6\times10^{-19}$ c $m_e = 9.11\times10^{-31}$ Kg

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

1) تردد الضوء الساقط
2) طول موجة الضوء الساقط
3) تردد العتبة للفلز
4) اكبر طول موجي يستطيع تحرير الكترونات من سطح الفلز.
5) الطاقة الحركية العظمى للالكترونات المنبعثة
6) جهد الايقاف
7) السرعة القصوى للالكترونات الضوئية المنبعثة

1) $E=hf$

$f=\frac{E}{h}$

$=\frac{13.2\times10^{-19}}{6.6\times10^{-34}}$

$=2\times10^{15}\ H_z$

2) $\lambda=\frac{c}{f}$

$=\frac{3\times10^{8}}{2\times10^{15}}$

$\lambda = 1.5\times10^{-7}$ m

3) $\Phi=hf_o$

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

$=\frac{6.6\times10^{-19}}{6.6\times10^{-34}}$

$=1\times10^{15}\ H_z$

4) $\lambda=\frac{c}{f_o}$

$=\frac{3\times10^{8}}{1\times10^{15}}$

$=3\times10^{-7}$m

5) $E=\Phi+ KE_{max}$

$KE_{max}=E-\Phi$

$=13.2\times10^{-19}-6.6\times10^{-19}$

$=6.6\times10^{-19}$ J

6) $KE_{max}=eV_s$

$V_s=\frac{6.6\times10^{-19}}{1.6\times10^{-19}}$

$=4.13V$

7) $KE_{max}=\frac{1}{2}m_eV_{max}^2$

$V_{max}=\sqrt{\frac{2KE_{max}}{m_e}}=\sqrt{\frac{2\times6.6\times10^{-19}}{4.11\times10^{-31}}}$

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

أ . تردّد العتبة للفلزّ.

ب. الطاقة الحركيّة العظمى للإلكترونات المنطلِقة من سطح الفلزّ.

أ .أحسب تردّد العتبة من اقتران الشغل للفلزّ

$$hf_0 = \Phi$$

$$f_0 = \frac{\Phi}{h} = \frac{2.0 \times 1.6 \times 10^{-19}}{6.63 \times 10^{-34}} = 4.8 \times 10^{14}\,\text{Hz}$$

ب. أحسب الطاقة الحركيّة العظمى من العلاقة:

$$KE_{\max} = hf - \Phi = 6.0 - 2.0 = 4.0\,\text{eV} = 4.0 \times 1.6 \times 10^{-19} = 6.4 \times 10^{-19}\,\text{J}$$

مثال

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

المُعطيات: $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s},\ \Phi = 2.2 \text{ eV},\ \lambda = 460 \text{ nm} = 460 \times 10^{-9} \text{ m},\ h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$

المطلوب: $KE_{\max} = ?$

أجد تردّد الضوء الساقط على الفلزّ

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3.0 \times 10^8}{460 \times 10^{-9}} = 6.5 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

أحوّل وحدة قياس اقتران الشغل من eV إلى وحدة جول (J):

$$\Phi = 2.2 \times 1.6 \times 10^{-19} = 3.5 \times 10^{-19} \text{ J}$$

ثمّ أعوّض في العلاقة

$$KE_{\max} = hf - \Phi = 6.63 \times 10^{-34} \times 6.5 \times 10^{14} - 3.5 \times 10^{-19}$$
$$= 8.1 \times 10^{-20} \text{ J}$$

مثال

إذا كانت الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحرّرة من سطح النحاس تساوي (22.6 eV) عند سقوط أشعة فوق بنفسجيّة تردُّدها (6.60×10^{15} Hz) على سطحه. أجد اقتران الشغل للنحاس بوحدة (eV).

المُعطيات: $KE_{\max} = 22.6 \text{ eV},\ f = 6.60 \times 10^{15} \text{ Hz},\ h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$

المطلوب: $\Phi = ?$

أجد hf بوحدة (eV)

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

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

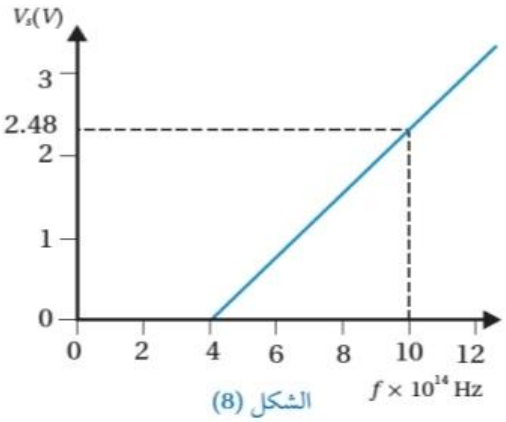
ثمّ أعوّض في العلاقة

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

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

مثال

يمثّل الرسم البياني في الشكل (8) العلاقة بين جهد الإيقاف وتردُّدِ الفوتونـات الساقطـة على مهبط خليـة كهرضوئيـة، مستعينًا بالبيانات المبيّنة على الرسم، أحسب ما يأتي:



الشكل (8)

أ . مقدار ثابت بلانك.

ب. اقتران الشغل لمهبط الخلية.

جـ. الطاقة الحركية العظمى (بالجول) للإلكترونات المنبعثة عند إسقاط أشعة تردّدها $(12 \times 10^{14}\text{Hz})$ على مهبط

الحلّ:

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

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

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

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

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

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

جـ. $$KE_{max} = hf - \Phi = 6.63 \times 10^{-34} \times 12 \times 10^{14} - 2.6 \times 10^{-19} = 5.4 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

مثال

أرادت سارة قياس تردّد العتبة لفلزّ في تجربة الظاهرة الكهرضوئية، فاستخدمت أشعة كهرمغناطيسية طول موجتها (300 nm)، ووجدت أنّ التيار الكهرضوئي يصبح صفراً عند فرق جهد (2.1V)، أجد تردّد العتبة للفلزّ.

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8}{300 \times 10^{-9}} = 1.0 \times 10^{15}\ \text{Hz}$$

$$KE_{\max} = e\,V_s = 1.6 \times 10^{-19} \times 2.1 = 3.4 \times 10^{-19}\text{J}$$

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

$$= 6.63 \times 10^{-34} \times 1.0 \times 10^{15} - 3.4 \times 10^{-19}$$

$$= 3.2 \times 10^{-19}\text{J}$$

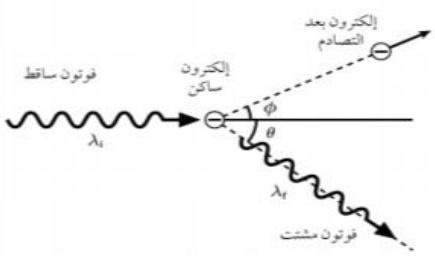
$$f_0 = \frac{\phi}{h} = \frac{3.2 \times 10^{-19}}{6.63 \times 10^{-34}} = 4.9 \times 10^{14}\ \text{Hz}$$

ظاهرة كومبتون

المقدمة

بعد نجاح أينشتين في تفسير الظاهرة الكهرضوئية باستخدام النموذج الجُسيمي للإشعاع الكهرمغناطيسي، جاءت ظاهرة كومبتون اختباراً لهذا النموذج.

التجربة



أسقط كومبتون أشعة سينيّة على هدف من الغرافيت، ونظراً إلى أنّ الطاقة الكليّة للإلكترونات في الجرافيت صغيرة جدًّا مقارنة بطاقة فوتونات الأشعة السينية، فإنّ طاقة تلك الإلكترونات تُهمَل وتُعدّ ساكنة. لاحظ كومبتون أنّ طول موجة الأشعة السينيّة المشتّتة (λf) أكبر من طول موجة الأشعة السينيّة الساقطة (λi).

سؤال لماذا لم يستخدم كومبتون الضوء المرئي في تجربته؟

التفسير

لم يستطع النموذج الموجيّ للضوء تفسير زيادة الطول الموجي للأشعة المشتتة في هذه الظاهرة، واستطاع كومبتون تفسير نتائج هذه الظاهرة بالاعتماد على قانوني حفظ الزخم الخطي والطاقة، وبافتراض أنّ الأشعة الكهرمغناطيسية تتفاعل مع الإلكترون بوصفها جُسيمات طاقةُ كلٍّ منها hf .

ومقدار زخمه الخطي $p = \frac{E}{c} = \frac{h}{\lambda}$

وهذا الاستنتاج يتوافق مع الطبيعة الجُسيمية للأشعة الكهرمغناطيسية التي استخدمها أينشتين في تفسير الظاهرة الكهرضوئية.

معادلة كومبتون لحفظ الطاقة

ونتيجة لتصادم الفوتون الساقط مع الإلكترون يكتسب الإلكترون طاقة، ويتحرك بمسار يصنع زاوية (ϕ) مع مسار الفوتون الساقط، في حين ينحرف اتجاه الفوتون المشتّت بزاوية (θ) ويستمر بالسرعة نفسها(c) ، ولكن بطول موجيّ أكبر ($\lambda i < \lambda f$) ويُعبّر عن الطاقة التي اكتسبها الإلكترون (Ee) بالعلاقة:

$$E_e = E_i - E_f$$

حيث (E_f) طاقة الفوتون المشتّت

(E_i)طاقة الفوتون الساقط.

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

يزداد الطول الموجي للأشعة المشتّتة ويقل ترددها وتبقى سرعة الأشعة الكهرمغناطيسية ثابتة.

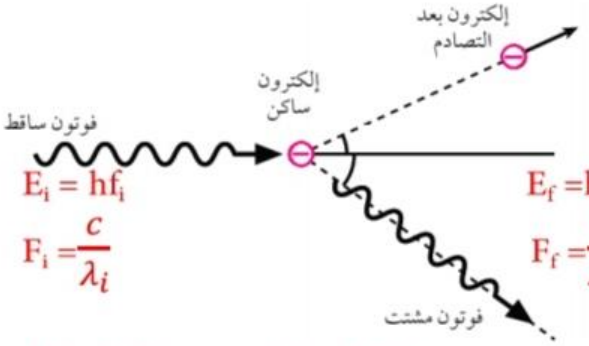
سؤال **بماذا يختلف تفاعل الفوتون مع الإلكترون في ظاهرة كومبتون عن تفاعله مع الإلكترون في الظاهرة الكهرضوئية.**

في ظاهرة كومبتون يعطي الفوتون جزءاً من طاقته للإلكترون، في حين يعطي طاقته كلّها للإلكترون في الظاهرة الكهرضوئية.

سؤال **اذكر الظواهر التي فشلت الفيزياء الكلاسيكية بنموذجهاالموجي للضوء في تفسيرها في حين نجح في ذلك النموذج الجسيمي للضوء .**

1. ظاهرة اشعاع الجسم الأسود
2. ظاهرة كومبتون
3. الظاهرة الكهرضوئية
4. ظاهرة الأطياف الذرية (الدرس القادم)

ملخص ظاهرة كومبتون



الهدف من التجربة هو اثبات ان للضوء طبيعة جسيمية حيث اعتمد على ان الأشعة السينية هي فوتونات (جسيمات) اعتمد على النموذج الجسيمي للضوء . و ذلك من خلال اثبات التصادم بين الفوتون و الالكترون حيث التصادم صفة للجسيمات وذلك من خلال ما تعلمناه في الوحدة الأولى حفظ الطاقة و الزخم حيث برهن عن طريق القياسات التجريبية أن الزخم الخطي للنظام محفوظ في هذا التصادم ما يؤكد ان الفوتون يحمل زخماً (الضوء بقى جسيم يا رجالة) و اثبت أن الطاقة المحفوظة في اثناء التصادم (تصادم مرن ولا غير مرن) حيث:

فوتون ساقط		فوتون متشتت
E_i	>	E_f
f_i	>	f_f
λ_i	<	λ_f
C_i	=	C_f
P_i	>	P_f

5 مقارنات

الطاقة التي اكتسبها الالكترون بعد التصادم تساوي فرق طاقة الفوتونين السقط و المتشتت :

$$E_e = E_i - E_f$$
$$= h\,(f_i - f_f)$$
$$= hc\left(\frac{1}{\lambda_i} - \frac{1}{\lambda_f}\right)$$

أمثلة متنوعة على ظاهرة كومبتون

مثال فوتون أشعة سينيّة تردّده (4.20×10^{18} Hz). أجد طاقته ومقدار زخمه الخطّي.

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

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

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

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

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

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

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

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

أ . طول موجة الفوتون الساقط . ب. طاقة الفوتون المشتَّت.

ج. مقدار التغيّر في الطول الموجيّ للفوتون.

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

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

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

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

جـ. أجد طول موجة الفوتون المشتّت (بعد التصادم)

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

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

مثال أجد مقدار الزخم الخطّي لكلّ ممّا يأتي:

أ . فوتون أشعّة مرئيّة طاقته (3.00×10^{-19} J).

ب. فوتون أشعّة فوق بنفسجيّة تردّده (5.4×10^{15} Hz) .

جـ. فوتون أشعّة سينيّة طول موجته (2.00 nm).

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

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

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

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

أسئلة مراجعة الدرس الأول

أسئلة مراجعة الدرس الأول

سؤال 1

الفكرة الرئيسية أوضّح المقصود بكلٍ من: الجسم الأسود، الظاهرة الكهرضوئيّة، اقتران الشغل للفلزّ، تردّد العتبة.

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

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

اقتران الشغل للفلز: أقل طاقة للأشعة الكهرمغناطيسية تكفي لتحرير إلكترونات من سطح الفلز دون إكسابها طاقة حركية.

تردد العتبة: أقل تردد يتطلبه تحرير إلكترونات ضوئية من سطح فلز دون إكسابها طاقة حركية.

سؤال 2

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

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

$$E_e = (4.3\times10^{-23} - 3.2\times10^{-23})\times3\times10^{8}$$

$$= 3.3\times10^{-15}\text{J} = 3.3\times10^{-15}\text{J}\,\frac{1\text{ eV}}{1.6\times10^{-19}\text{ J}} = 20.6\text{ keV}$$

سؤال 3

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

أ . اقتران الشغل للفلز. ب. الطاقة الحركيّة العظمى للإلكترونات المتحرّرة.

أ. اقتران الشغل للفلز:

$$\phi = h\,f_0 = 6.63\times10^{-34}\times5.0\times10^{14} = 3.3\times10^{-19}\text{ J}$$

ب. الطاقة الحركيّة العظمى للإلكترونات المتحرّرة:

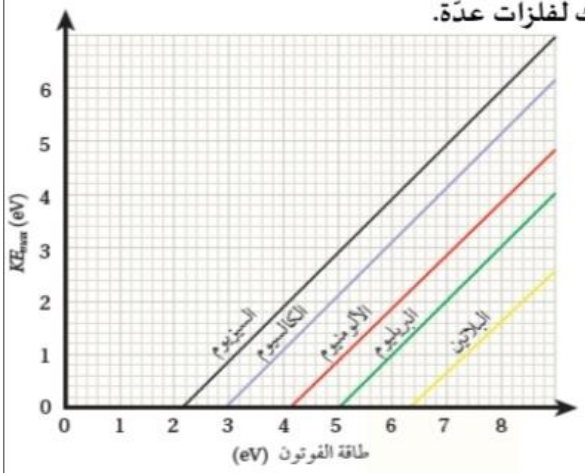
$$KE_{max} = h\,f - \phi = h\frac{c}{\lambda} - \phi$$

$$= 6.63\times10^{-34}\,\frac{3\times10^{8}}{300\times10^{-9}} - 3.3\times10^{-19} = 3.3\times10^{-19}\text{ J}$$

سؤال 4

أحلّل رسمًا بيانيًّا:

يمثّل الرسم البيانيّ المجاور العلاقة بين الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحرّرة من سطح الفلزّ وطاقة فوتون الإشعاع الكهرمغناطيسي الساقط على سطح الفلزّ. وذلك لفلزات عدّة.



أ . جميع الخطوط مستقيمة ومتوازية، أفسّر ذلك.

ب. أرتّب تردّد العتبة للفلزّات من الأصغر إلى الأكبر.

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

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

أ. حسب العلاقة:

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

حيث (hf) طاقة الفوتون، فإن ميل الخط يجب أن يساوي (1) لجميع الخطوط.

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

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

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

د. نجد أولاً طاقة الفوتون:

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

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

سؤال 5

أستخدم المُتغيّرات:

سقط إشعاع كهرمغناطيسي طول موجته (80 nm)على سطح فلزّ اقتران الشغل له (5.1 eV). أجد أصغر و(أكبر) طاقة حركية للإلكترونات المتحرّرة من سطح الفلزّ.

$KE_{\min} = 0$

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

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

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

سؤال 6
أناقش

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

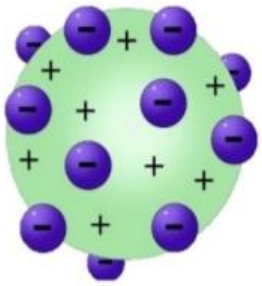
يفترض النموذج الموجي للضوء أن طاقة الضوء تعتمد على شدته وأن الأجسام تمتص الطاقة من الضوء بشكل متصل، فلو كانر هذه الفرضية صحيحة ل ا زدت الطاقة الحركية العظمى بزيادة شدة الضوء الساقط على الفلز وهو ما تعارض مع النتائج التجريبية للظاهرة الكهرضوئية.

نموذج بور لذرة الهيدروجين

ساد الاعتقاد أنّ الذرّة أصغر مكوّنات المادّة، لكن بيّنت التجارب لاحقًا أنّ الذرة تتكوّن من جُسيمات أصغر منها. إنّ تفسير بِنية الذرّة واستقرارها كان من أهمّ التحديات التي واجهت الفيزياء الكلاسيكية.

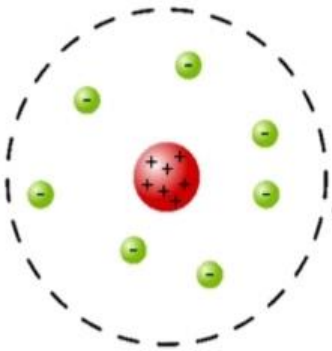
أولاً: النماذج الذرية التي سبقت نموذج بور

1 نموذج طومسون الذري



افترض طومسون أنّ الذرة عبارة عن كرة مصمتة موجبة الشحنة تتوزّع فيها الإلكترونات سالبة الشحنة، وأنّ الذرة متعادلة كهربائيا؛ لأنّ مجموع الشحنة السالبة يساوي مجموع الشحنة الموجبة. لكن تجربة رذرفورد أثبتت عدم صحّة هذا النموذج.

2 نموذج رذرفورد الذري



في تجربته الشهيرة عام 1911 ، أسقط رذرفورد Rutherford جُسيمات ألفا على صفيحة رقيقة من الذهب، وافترض، بناءً على مشاهداته التجريبية، أنّ الذرة تتكوّن من نواة موجبة الشحنة تشغل حيزًا صغيرًا جدًّا، تتركّز فيه غالبية كتلة الذرة، تدور حوله إلكترونات سالبة الشحنة مثل دوران الكواكب حول الشمس. ولم يُكتب لهذا النموذج النجاح؛ لأنّه لم يستطع تفسير استقرار الذرة، حيث أن الإلكترون جسيم مشحون يدور حول النواة، ويغير من اتجاه حركته بشكل مستمر، وبذلك يمتلك تسارعًا مركزيًا، وحسب النظرية الكهرمغناطيسية فإنّه سيشعّ (يفقد) طاقة بشكل متصل، ونتيجة فقدانه الطاقة؛ فإنّه سينجذب نحو النواة ما يؤدّي إلى انهيار الذرة. وهذا يخالف النتائج التجريبية، حيث الذرة مستقرة والطاقة التي تشعّها منفصلة ذات قيم محدّدة.

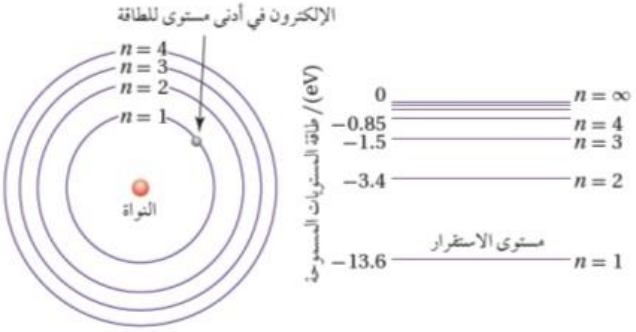
ثانياً: نموذج بور الذري

العالم بور كان مقتنعًا بصحّة نموذج رذرفورد، لكنّه اختلف معه في كيفيّة إشعاع الإلكترون للطاقة، فافترض أنّ الإلكترون يفقد الطاقة على شكل كمات محدّدة من الطاقة (فوتونات)، لا على شكل متّصل. واستخدم بور مبدأ تكمية الطاقة، ونموذج رذرفورد إضافة إلى النموذج الجُسيمي للإشعاع ليبني نموذجاً للذرة عُدَّ فيما بعد أهمّ الإنجازات العلميّة في ذلك الوقت.

فرضيات بور لذرة الهيدروجين

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

2. توجد مدارات محدّدة (مستويات طاقة)مسموح للإلكترون بأن يحتلّها، وإذا بقي في مستوى الطاقة نفسه فلا يشعّ طاقة ولا يمتصّها.



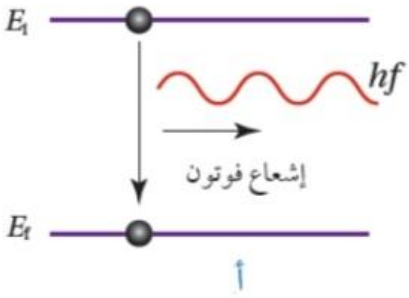
ويُعبَّر عن طاقة الإلكترون في مستوى الطاقة (n) في ذرة الهيدروجين بوحدة (eV) بالعلاقة الآتية:

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

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

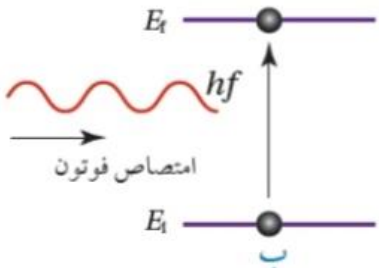
ألاحظ من العلاقة السابقة أنّ مستويات الطاقة غير متصلة (منفصلة) وتأخذ قيمًا محدّدة، أيْ إنّها مكمّاة، فمثلاً طاقة المستوى الأول (13.6 eV−) وطاقة المستوى الثاني .(3.40 eV −) والشكل يبيّن مستويات الطاقة لذرة الهيدروجين، حيث يُمثَّل كلُّ مستوًى بخطٍ أفقيّ مُبَيَّنًا بجانبه الرقمُ الكميُّ الرئيسُ (n)، وطاقةُ المستوى بوحدة(eV).

3. يشعّ الإلكترون طاقة أو يمتصّها فقط إذا انتقل من مستوى طاقة إلى مستوى آخر. فعند انتقال الإلكترون من مستوى طاقة أعلى إلى مستوى طاقة أقلّ، فإنّه يشعّ فوتونًا طاقته تساوي الفرق بين طاقتي المستويين ، أتأمّل الشكل (أ).

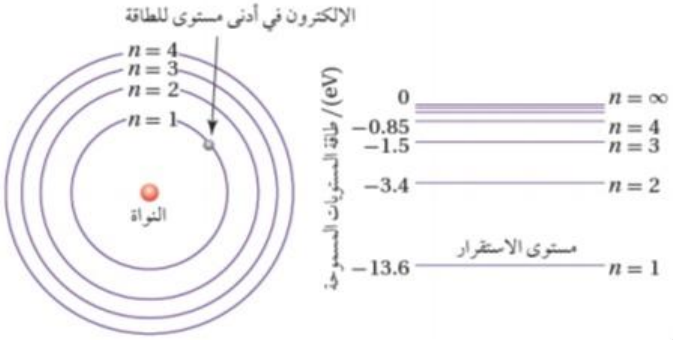


أ

ويمكن أيضًا أن يمتص الإلكترون فوتونًا، وينتقل إلى مستوى طاقة أعلى عندما تكون طاقة الفوتون الممتَصّ مساوية لفرق الطاقة بين المستويين، أتأمّل الشكل (ب).



ب



وفي كلتا الحالتين فإنّ طاقة الفوتون (E) المنبَعِث أو الممتَصّ يُعبَّر عنها بالعلاقة:

$$E = |E_f - E_i| = hf$$

حيث :

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

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

f: تردّد الفوتون المنبَعِث أو المُمتَصّ.

Note الاحظ من الشكل أنّ الإلكترون في مستوى الطاقة الأول يمتلك أقلّ طاقة وهي($E_1 = -13.6$ eV) ، ويُسمّى مستوى الاستقرار . Ground state أما مستويات الطاقة En حيث($n > 1$) ، فتسمّى مستويات الإثارة ، Excited states ينتقل إليها الإلكترون عندما يمتص فوتوناً ذا طاقة مناسبة. فمثلًا حتى ينتقل إلكترون من مستوى الطاقة الأول ($E_1 = -13.6$ eV) إلى مستوى الطاقة الثاني ($E_2 = -3.4$ eV) يجب أن يمتص فوتونًا طاقته تساوي الفرق بين طاقتي المستويين، أيّ .(10.2 eV) أمّا لنقل إلكترون من مستوى الطاقة الأول ($n = 1$) إلى مستوى الطاقة ($n = \infty, E_\infty = 0$)، فيتطلّب امتصاص فوتون طاقته (13.6 eV) ، وتُسمّى **طاقة التأيّن**

طاقة التأيّن Ionization energy : وهي أقلّ طاقة لازمة لتحرير الإلكترون من الذرة دون إكسابه طاقة حركية. فالإشارة السالبة لطاقة المستوى($E_n = -\frac{13.6}{n^2}$ eV) تعني ضرورة تزويد الإلكترون بطاقة مقدارها $+\frac{13.6}{n^2}$ eV لتحريره من الذرة.

الربط بالتكنولوجيا

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

الربط بالحياة

يُعدّ نظام تحديد المواقع العالمي Global positioning system (GPS) أحد أهمّ الأنظمة التي خدمت البشر، وسهّلت حياتهم. وحتى يعمل هذا النظام بدقّة؛ يحتاج إلى ساعات دقيقة جدًّا، وهي الساعات الذرّية. ويُستخدم الكوارتز في هذه الساعات الذرية، بالإضافة إلى ذرات عناصر أخرى مثل السيزيوم - 133.

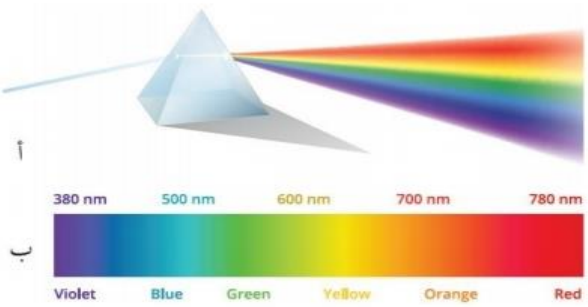
سؤال **ماذا يحدث للإلكترون إذا زادت طاقة الفوتون الذي يمتصّه على طاقة التأيُّن؟**

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

الأطياف الذرية

أولاً: أنواع الأطياف الذرية

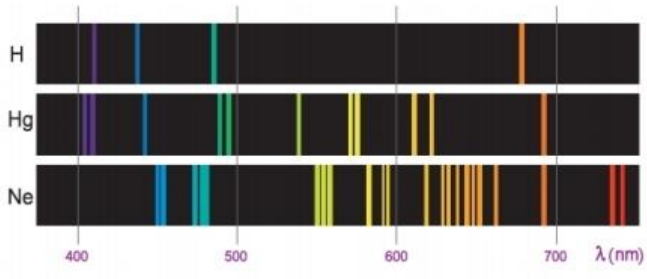
A طيف الانبعاث المتصل



يوضّح الشكل (أ) منشورًا يعمل على تحليل ضوء الشمس الأبيض إلى ألوان الطيف المتصل Continuous spectrum : وسُمّي متّصلً لأنّه يحتوي الأطوال الموجيّة كافة بدءًا من اللون الأحمر وصولً إلى اللون البنفسجي، الشكل (ب.)

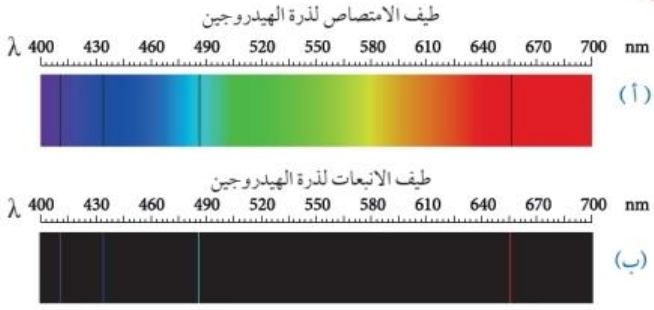
B طيف الانبعاث المنفصل

بخلاف الطيف الشمسي فإنّ أطياف الذرات ليست متصلة. ولتفسير الطيف الذريّ غير المتصل أفترضُ وجود ذرة هيدروجين في مستوى الاستقرار، وانتقل الإلكترون إلى مستوى طاقة أعلى نتيجة امتصاصه فوتونًا ذا طاقة معينة، هنا تصبح الذرة في مستوى إثارة، لكنّها تعود إلى مستوى الاستقرار ببعث فوتون طاقته (E) تساوي الفرق بين طاقتي المستويين اللذين ينتقل بينهما.



وبذلك، فإنّ للأشعة المنبعثة طولاً موجيًّا (لونًا) محدّدًا. وكلّما تغيّر أحد المستويين أو كلاهما تتغيّر طاقة الفوتون المنبعث، ما يؤدّي إلى إشعاع الذرة ألوانًا مختلفة تكون غير متصلة؛ لأنّ مستويات الطاقة غير متصلة أيضًا. والشكل يوضّح أطياف الانبعاث لذرات عناصر بعد إثارتها، منها عنصر الهيدروجين، كلٌّ منها يتكوّن من خطوط من الألوان غير المتصلة (المنفصلة) على خلفيّة سوداء، ويُسمّى **طيف الانبعاث الخطّي Emission line spectrum.**

C طيف الامتصاص الخطي



وإذا مُرّر ضوء الشمس خلال غاز عنصر معيّن، فإنّ ذرات الغاز تمتص أطوالاً موجيّةً معيّنة فقط، وبتحليل الطيف النافذ لوحظ وجود خطوط معتمة منفصلة على خلفية مضيئة على نحو ما هو موضّح في الشكل(أ)

ويُسمّى هذا الطيف **طيف الامتصاص الخطّي** ، والخطوط المعتمة ناتجة عن فقدان أطوال موجيّة معينة امتصّتها ذرات الغاز، وهي تقابل تمامًا الخطوط المضيئة التي ظهرت في طيف الانبعاث الخطّي لذرات العنصر نفسه، ألاحظ الشكل(ب)؛ لأنّ لأطوال الموجيّة المحدّدة من الطيف التي تمتصّها ذرات عنصر معيّن هي الأطوال الموجيّة نفسها التي تشعّها. لذا، يُعدّ طيف العنصر مَزِيَّة خاصّة به كالبصمة للإنسان، ولا يمكن لعنصرين أن يكون لهما الطيف الخطّي نفسه.

ثانياً: نموذج بور وطيف ذرة الهيدروجين

طيف ذرة الهيدروجين من أبسط الأطياف؛ لأنّها تحتوي على إلكترون واحد فقط، ويوضّح الشكل الأطوال الموجية لطيف الانبعاث الخطي لذرة الهيدروجين في منطقة الضوء المرئي.

لقد نجح نموذج العالم بور في حساب الأطوال الموجيّة لطيف ذرة الهيدروجين.

فعند انتقال الإلكترون من مستوى الطاقة (n_i) إلى مستوى الطاقة(n_f)، فإنّ طاقة الفوتون (h_f) بوحدة الجول، هي: $$hf = |E_f - E_i| = 13.6\, e \left|\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right|$$

حيث e هي القيمة المطلقة لشحنة الإلكترون، وبالتعويض عن التردّد $f = c/\lambda$، وقسمة المعادلة على hc نحصل على: $$\frac{1}{\lambda} = \frac{13.6\, e}{hc} \left|\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right|$$

المقدار $\frac{13.6e}{hc}$ يساوي $1.097 \times 10^7\ m^{-1}$ قيمة ثابت يُسمّى **ثابت ريدبيرغ**(R_H) ، لذا فإنّ: $$\frac{1}{\lambda} = R_H \left|\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right|$$

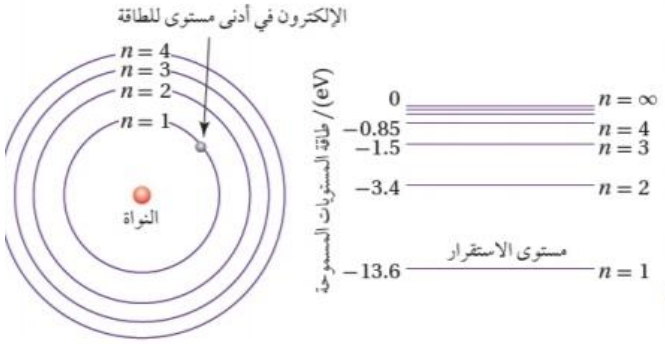
حيث (λ) الطول الموجي للفوتون المنبعث. وعلى الرغم من اتّفاق نتائج نموذج بور مع النتائج التجريبية لطيف ذرة الهيدروجين والأيونات ذات الإلكترون الواحد، فإنّه فشل في تفسير أطياف الذرات عديدة الإلكترونات.

سؤال **هل يمكن تفسير الأطياف الذريّة باستخدام مفاهيم الفيزياء الكلاسيكية؟ أفسّر إجابتي.**

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

أمثلة متنوعة على نموذج بور والأطياف الذرية

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



المُعطيات: $eV = 1.6 \times 10^{-19}\,J,\ E_3 = -1.50\,eV,\ E_2 = -3.40\,eV$

المطلوب : $E = ?$

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

مثال اعتمادًا على الشكل في السؤال السابق، أجد طاقة الفوتون اللازمة لنقل الإلكترون في ذرة الهيدروجين من مستوى الاستقرار (n = 1)إلى مستوى الطاقة الثالث بوحدةeV.

المُعطيات: $E_3 = -1.50\,eV,\ E_1 = -13.6\,eV$

المطلوب: $E = ?$

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

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

أ . الزخم الزاويّ للإلكترون.

ب. طاقة الإلكترون.

المُعطياتُ: $\hbar = 1.05 \times 10^{-34}\,J.s\ ,\ n = 2$

المطلوبُ: $L = ?\ ,\ E_2 = ?$

الحلّ:

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

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

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

المُعطيات: $h = 6.63 \times 10^{-34}\,\text{J.s},\ 1\ \text{eV} = 1.6 \times 10^{-19}\,\text{J},\ n_i = 2,\ n_f = 3$

المطلوب: $f = ?$

الحلّ:

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

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

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

مثال انتقل إلكترون ذرة الهيدروجين من مستوى الطاقة n_i إلى مستوى الطاقة الثاني، فانبعث فوتون بطاقة $(4.08 \times 10^{-19}\,\text{J})$. أجد قيمة رقم مستوى الطاقة n_i.

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

ولأن الإلكترون فقد طاقة فإن:

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

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

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

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

المُعطيات: $R_H = 1.097 \times 10^7\,\text{m}^{-1},\ n_f = 1,\ n_i = 2$

المطلوب: $\lambda = ?$.

الحلّ:

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

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

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

مثال أجدُ الأطوال الموجيّة للفوتونات المنبعِثة عند انتقال إلكترون ذرة الهيدروجين من مستويات الطاقة: الثالث، والرابع، والخامس، والسادس إلى مستوى الطاقة الثاني. وأقارن الأطوال الموجيّة التي حصلت عليها بتلك الموجودة في الشكل، وفي ضوء ذلك أناقش أفراد مجموعتي في صحة نموذج بور.

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

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

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

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

نكرّر العملية عندما $n_i = 4, 5, 6$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

الطبيعة الموجية الجسمية

المقدمة

بعض الظواهر المتعلقة بالضوء مثل، الحيود والتداخل لا يمكن تفسيرها إلاّ على افتراض أنّ الضوءَ موجاتٌ كهرمغناطيسية. وبالمقابل، توجد ظواهر أخرى مثل، إشعاع الجسم الأسود، والظاهرة الكهرضوئية، وظاهرة كومبتون، والأطياف الذريّة لا يمكن تفسيرها إلّا على افتراض أنّ الضوء يتكوّن من جسيمات (فوتونات) تمتلك زخمًا خطّيًا يُحسب مقداره من العلاقة :

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

فافترض العلماء أنّ للإشعاع الكهرمغناطيسي طبيعة **موجيّة-جُسيميّة مزدوجة Wave-particle duality of light** . وعلى غرار الطبيعة الموجيّة -الجسيميّة للإشعاع، اقترح العالم دي بروي de Broglie عام 1923 أنّ للأجسام الماديّة طبيعة موجيّة. واستخدم العلاقة السابقة في حساب طول موجيّ للـ

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

حيث λ: طول موجة دي بروي، ويُطلق عليها اسم الموجة المصاحِبة للجسم.

h: ثابت بلاك

p: مقدار الزخم الخطّي للجسم.

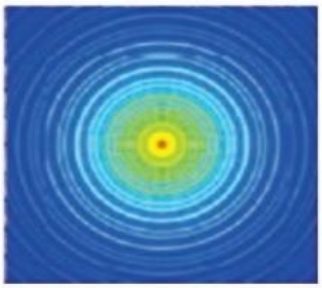
m: كتلة الجسم

v: سرعة الجسم

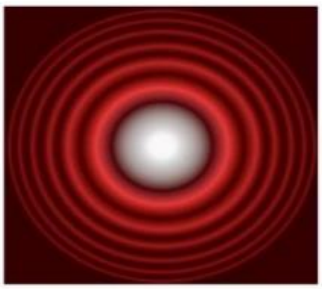
الموجات المصاحِبة للأجسام ليست موجات ميكانيكية او كهرمغناطيسية، وهي ذات أهمية كبيرة في مجال فيزياء الكمّ. وعند حساب طول موجة دي بروي المصاحبة لجسم كبير (جاهري)، نجد أنّها صغيرة جدًّا بل أصغر بكثير من أبعاد الجسم.

في المقابل، فإنّ طول موجة دي بروي المُصاحِبة لجُسيم صغير مثل الإلكترون قريب من قيمة المسافة الفاصلة بين الذرات في الموادّ الصُّلبة، لذلك تمكّن العالمان دافسون Davisson وجيرمر Germer بعد ثلاث سنوات من وضع دي بروي لفرضيته من الكشف تجريبيًّا عن الطبيعة الموجيّة للإلكترونات عند إسقاط حزمة من الإلكترونات على بلورة من النيكل، حيث المسافة بين ذرات النيكل مُقاربة لطول موجة دي بروي المصاحِبة للإلكترونات.

وقد أظهرت نتائج التجربة وجود نمط حيود للإلكترونات على نحو ما هو مبيَّن في الشكل (أ) الذي يشبه نمط حيود الضوء المبيَّن في الشكل (ب.)



(أ)



(ب)

الربط بعلوم الحياة

بعد اكتشاف الطبيعة الموجيّة للإلكترون استُخدِمت فيمي كروسكوب من نوع خاص الإلكترونات بدلاً من الضوء، يُسمّى ميكروسكوبًا إلكترونيًّا. يمكنه إظهار تفاصيل أدقّ للأجسام من الميكروسكوبات الضوئية ما مكّن العلماء من رؤية الفيروسات والتفاصيل الدقيقة للخلية.

أمثلة متنوعة على الطبيعة الموجية الجسمية

مثال أجد طول موجة دي بروي المصاحِبة لِ:

أ . إلكترون سرعته $1.00 \times 10^6\ \text{m/s}$.

ب. رصاصة كتلتها $m_b = 50.0\ \text{g}$ تتحرك بسرعة $v_b = 400\ \text{m/s}$.

الحلّ:

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

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

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

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

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

المُعطيات: $v_i = 0,\ h = 6.63 \times 10^{-34}\ \text{J.s},\ m_e = 9.11 \times 10^{-31}\ \text{kg},\ \Delta V = 2.7\ \text{V}$

المطلوب: $\lambda_e = ?$

نجد أولاً مقدار السرعة النهائيّة للإلكترون من العلاقة: $KE = \frac{1}{2} m_e v^2 = e\,\Delta V$

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

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

ثمّ نجد طول موجة دي بروي المصاحِبة له:

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

مثال

1.قاس سعيد طول موجة دي بروي لحزمة من الإلكترونات فوجدها (2.24×10^{-10}m). أجد فرق الجهد المستَخدم في تسريع الإلكترونات.

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

أ . أجد طول موجة دي بروي المصاحِبة لها.

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

.1

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

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

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

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

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

.2

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

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

أسئلة مراجعة الدرس الثاني

أسئلة مراجعة الدرس الثاني

سؤال 1

الفكرة الرئيسية أوضّح المقصود بكلٍّ من: طيف الامتصاص الخطّي، طيف الانبعاث الخطّي.

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

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

سؤال 2

أذكر حدود نموذج بور.

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

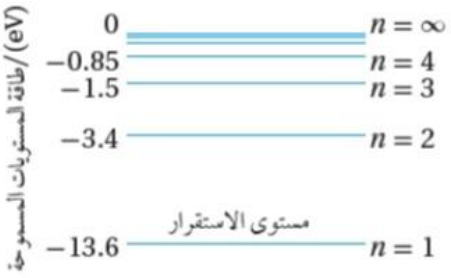
سؤال 3

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

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

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

سؤال 4



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

يمكن أن يمتص فوتون لنقله إلى لمستوى الطاقة الثاني:

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

أو لنقله إلى مستوى الطاقة الثالث

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

أو لنقله إلى مستوى الطاقة الرابع

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

سؤال 5

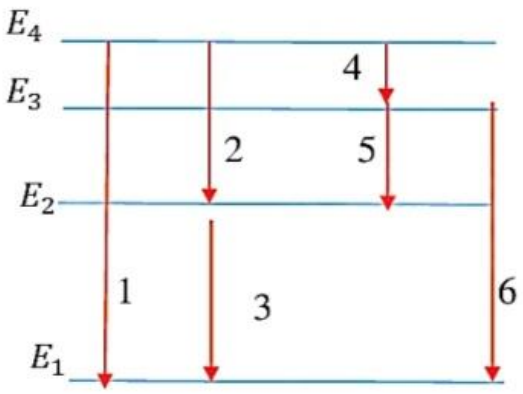
أصنف أصنّف الكميّات الفيزيائيّة الآتية (الطول الموجيّ، التردّد، الطاقة، الزخم الخطّي) من حيث ارتباطها بالطبيعة الموجيّة أو الجُسيميّة للمادّة.

الكميات المرتبطة بالطبيعة الموجية: الطول الموجي، التردد.
الكميات المرتبطة بالطبيعة الجسيمية: الزخم الخطي.
بينما فيما يخص الطاقة، فالجسيمات والموجات تحمل طاقة.

سؤال 6

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

استنتج: الإجابة كما هي موضحة في الشكل المجاور.



سؤال 7

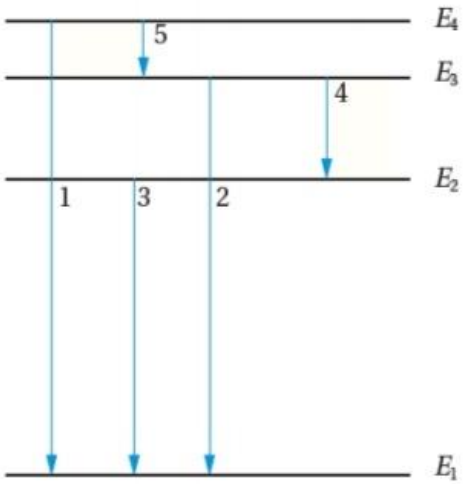
أحسب طول موجة الإشعاع اللازم لنقل إلكترون من مستوى الاستقرار لذرة الهيدروجين إلى مستوى الطاقة الثالث.

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

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

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

سؤال 8



أحلّل الشكل: يمثّل الشكل المجاور مستويات الطاقة المسموح بها للإلكترون لذرة ما، والانتقالات بين مستويات الطاقة (الأرقام من 1 إلى 5).

أ . أيّ الانتقالات ينتج عنه انبعاث فوتون بأكبر طول موجيّ؟

ب. أيّ الانتقالات ينتج عنه انبعاث فوتون بأكبر طاقة؟

جـ. أيّ الانتقالات ينتج عنه انبعاث فوتون بأقلّ تردّد؟

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

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

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

سؤال 9

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

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

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

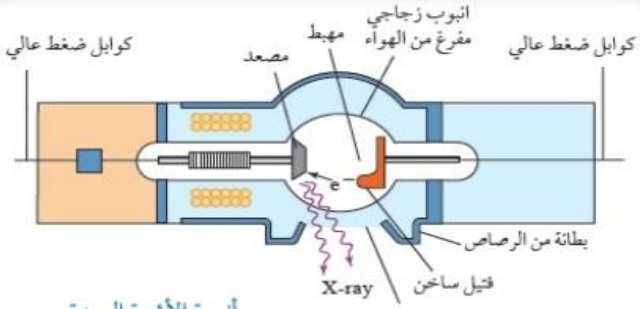
$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{1.67 \times 10^{-27} \times 4.4 \times 10^7} = 9.0 \times 10^{-15}\ \text{m}$$

الإثراء والتوسّع

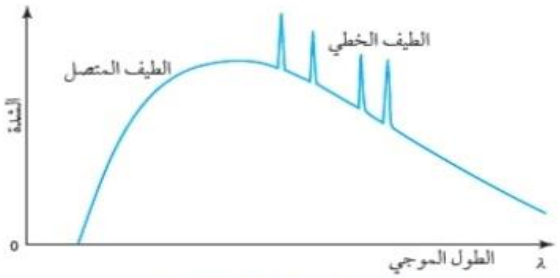
الفيزياء والطبّ: الأشعة السينيّة

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

ويتكوّن أنبوب الأشعة السينيّة المبيَّن في الشكل المجاور من أنبوب مفرَّغ من الهواء يحتوي على فتيل فلزيّ تنبعث منه إلكترونات عند تسخينه. تُسرَّع الإلكترونات المنبعِثة من الفتيل باستخدام فرق جهد كهربائي كبير لتصطدم بعدها بالمِصعد، وهو عبارة عن مادّة فلزيّة فتنبعث منه الأشعة السينيّة. وقد وجد أنّ طيف الأشعة السينية يتكوّن من طيف متّصل وطيف خطّي على نحو ما هو مبيَّن في الشكل المجاور. عند اقتراب الإلكترونات المُسرَّعة من ذرات المِصعد تتباطأ تباطؤًا كبيرًا بفعل القوّة الكهربائية، وتفقد جزءًا من طاقتها الحركية التي تظهر على شكل أشعة كهرمغناطيسية ذات طاقة متّصلة. وقد يصطدم أحد الإلكترونات المُسرّعة بأحد الإلكترونات في مستويات الطاقة الداخلية لذرة المصعد فيحرّره، ونتيجة لذلك، ينتقل إلكترون من المستويات الخارجية للطاقة لملء الفراغ الداخلي، ويصاحِب ذلك انبعاث فوتون بطاقة محدّدة تساوي فرق الطاقة بين المستويين، ويظهر ذلك على شكل طيف خطّي في طيف الأشعة السينيّة.



أنبوبة الأشعة السينية



الطيف الخطّي والمتصل للأشعة السينية.

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

صورة مأخوذة عن طريق الأشعة السينيّة للقفص الصدري.

أسئلة مراجعة الوحدة

أسئلة مراجعة الوحدة

1. أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة لكل جملة ممّا يأتي:

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

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

جـ. زيادة تردّد الضوء الساقط على الفلزّ د. تقليل تردّد الضوء الساقط على الفلزّ

2. وفقاً لتصوّر الفيزياء الكلاسيكية للظاهرة الكهرضوئية:

أ. تتحرّر الإلكترونات تحرّرًا فوريًّا.

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

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

د . لا تتحرّر الإلكترونات من سطح الفلزّ عند الترددات العالية للضوء.

3. طبقًا لظاهرة كومبتون، فإنّ:

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

ب. تردّد الفوتونات المشتَّتة أكبر من تردّد الفوتونات الساقطة.

جـ. طول موجة الفوتونات المشتَّتة أكبر من طول موجة الفوتونات الساقطة.

د . طاقة الفوتونات المشتَّتة أكبر من طاقة الفوتونات الساقطة.

4. إذا تضاعف الطول الموجيّ للفوتون مرتين فإنّ:

أ . طاقته تقلّ إلى النصف، وكذلك زخمه الخطي. ب. طاقته تبقى ثابتة ويقلّ زخمه إلى الخطي النصف.

جـ. طاقته تتضاعف مرتين ويبقى زخمه ثابتاً الخطي. د. طاقته تبقى ثابتة ويبقى زخمه الخطي كذلك.

5. يُحسب الزخم الخطي للفوتون من العلاقة:

أ. $m v$ ب. $E c$ جـ. $\frac{E}{c}$ د. $\frac{h}{f}$

6. شدّة الطاقة المنبَعثة من جسم أسود درجة حرارته مقارِبة لدرجة حرارة الشمس تكون:

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

ب. أكبر ما يمكن عند الأطوال الموجيّة القصيرة جدًّا للإشعاع.

جـ. أكبر ما يمكن في منطقة الأطوال الموجيّة للضوء المرئي.

د . متساوية عند جميع الأطوال الموجيّة للإشعاع.

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

أ. الأطوال الموجيّة الكبيرة . ب. الأطوال الموجيّة القصيرة.

جـ. الترددات الصغيرة. د . الأطوال الموجيّة جميعها للإشعاع.

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

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

9. يزداد طول موجة دي بروي المُصاحِبة لجُسيم إذا :

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

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

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

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

أ . يفقد الفوتون جزءًا من طاقته، ويزداد تردده.

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

جـ. يمتصّ الإلكترون طاقة الفوتون كلّها.

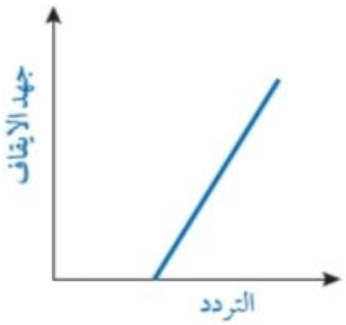
د. يفقد الفوتون جزءًا من طاقته، ويبقى تردّده ثابتًا.

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

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

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

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



أ. h ب. $\frac{e}{h}$

جـ. $\frac{h}{e}$ د. $\frac{\Phi}{h}$

إجابة السؤال الأول

رقم الفقرة	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
رمز الاجابة الصحيحة	ج	ج	ج	أ	ج	ج	ب	أ	د	أ	ج	أ	ج

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

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

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

3. أستخدم المتغيّرات: سقط ضوء طول موجته (300 nm) على سطح فلزّ اقتران الشغل له (2.2 eV)، أجد ما يأتي:

أ. تردّد العتبة للفلزّ.

ب. الطاقة الحركيّة العظمى للإلكترونات المتحرّرة.

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

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

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

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

أ. زادت شدّة الضوء مع بقاء تردّده ثابتاً.

ب. زاد تردّد الضوء مع بقاء شدّته ثابتة.

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

5. أناقش: إلكترون في مستوى الاستقرار لذرة الهيدروجين، أناقش ما يحدث للإلكترون إذا:

أ . سقط عليه فوتون طاقتُه (7.0 eV) .

ب. سقط عليه فوتون طاقتُه (12.1 eV).

جـ. سقط عليه فوتون طاقتُه (20.0 eV).

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

ب. الإلكترون يمتص الفوتون وينتقل الى مستوى الطاقة الثالث.

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

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

يمكن أن ينتقل إلى مستوى الطاقة الأول فيكون فرق الطاقة

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

أو يمكن أن ينتقل إلى مستوى الطاقة الثاني

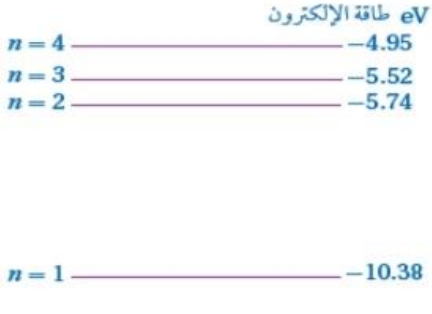
$$\Delta E = E_2 - E_3 = -3.4 - (-1.5) = -1.9 \text{ eV}$$

ثم من مستوى الطاقة الثاني إلى مستوى الطاقة الأول

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

والإشارة السالبة تعنى أن الإلكترون فقد طاقة.

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



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

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

أ. أعلى طاقة فوتون يمكن أن ينبعث عندما ينتقل الإلكترون من مستوى الطاقة ($n = 4$) إلمستوى الاستقرار ($n = 1$) حيث تساوي: $\Delta E = |-10.38 - (-4.95)| = 5.43 \text{ eV}$

ب. أقل طاقة فوتون يمكن أن ينبعث عندما ينتقل الإلكترون من مستوى الطاقة ($n = 3$) إلى مستوى الطاقة ($n = 2$). حيث تساوي: $\Delta E = |-5.74 - (5.52)| = 0.22 \text{ eV}$

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

أحسب طاقة الفوتون:

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

أحولها إلى وحدة (eV):

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

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

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

أحسب طول موجة دي بوري من: $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m\,v}$

وأجد السرعة من الطاقة الحركية $KE = \frac{1}{2} m\, v^2 = e\,\Delta V$

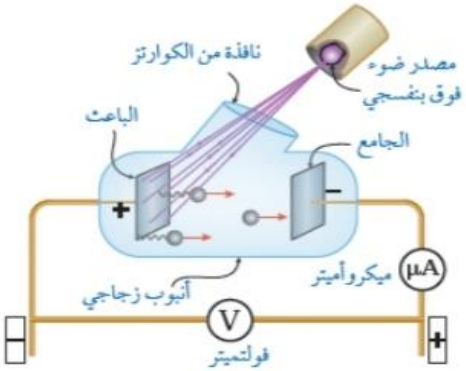
$$v = \sqrt{\frac{2\,e\Delta V}{m}}$$

أعوض في طول موجة دي بروي:

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

10. **التفكير الناقد** يمثّل الشكل المجاور تجربة لدراسة الظاهرة الكهرضوئية قام بها العالم لينارد، وكان تردّد الضوء الساقط (8×10^{14} Hz). اعتمادًا على ذلك، أُجيب عمّا يأتي:

أ. أبيّن ماذا يحدث لقراءة الأميتر عند زيادة فرق الجهد، وأناقشُ أفراد مجموعتي في سبب ذلك.



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

جـ. أناقش أفراد مجموعتي في تأثير زيادة شدة الضوء في قراءة الأميتر عندما تكون قراءته صفرًا.

د. أناقش أفراد مجموعتي في تأثير زيادة تردّد الضوء في قراءة الأميتر عندما تكون قراءته صفرًا.

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

و. أحسب تردّد العتبة لفلزّ الباعث.

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

ب. يُسمّى فرق جهد الإيقاف.

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

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

ه. تتنبأ الفيزياء الكلاسيكية بزيادة طاقة الضوء عند ازدياد شدته وبذلك لا تبقى قراءة الأميتر صفرًا عند زيادة شدة الضوء في الفرع (ج). كما تتنبأ الفيزياء الكلاسيكية بأن تبقى قراءة الأميتر تساوي صفراً في الفرع (د).

و. أحسب تردد العتبة لمادة الباعث:

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

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

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

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

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

أ. أفسّر سبب ظهور هذه الخطوط.

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

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

ب.

$$E = h f = h\frac{c}{\lambda} = 6.63 \times 10^{-34} \frac{3 \times 10^{8}}{686.7 \times 10^{-9}} = 2.89 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

$$E = \frac{2.89 \times 10^{-19}}{1.6 \times 10^{-19}} = 1.81\ \text{eV}$$

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

أ . اقتران الشغل للفلز. ب. فرق جهد القطع (الإيقاف)

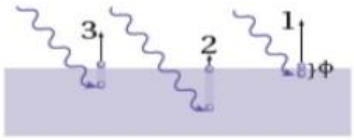
أ: اقتران الشغل للفلز:

$$\phi = h f_o = h\frac{c}{\lambda_0} = 6.63 \times 10^{-34}\frac{3 \times 10^8}{682 \times 10^{-9}} = 2.9 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

ب. فرق جهد القطع (الإيقاف):

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

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



أ . ما فرضيته فيما يتعلق بالضوء؟

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

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

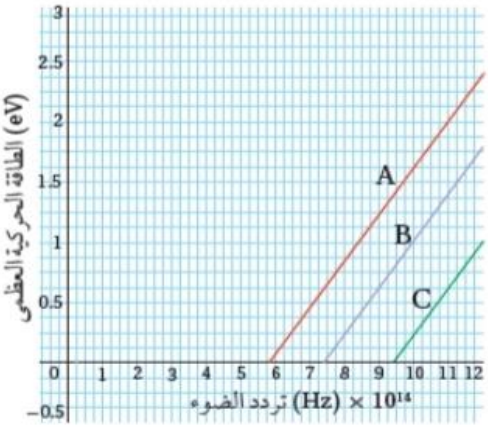
د . كيف فسّر أينشتين التفاوت في الطاقة الحركية للإلكترونات المتحرّرة؟

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

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

ج. $KE1 > KE3 > KE2$ (بافتراض ان الفوتونات جميعها تمتلك مقدار الطاقة نفسه)

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



أ . أفسّر توازي المنحنيات الثلاثة.

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

جـ. أجد اقتران الشغل للفلزِ (A).

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

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

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

ب.

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

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

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

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

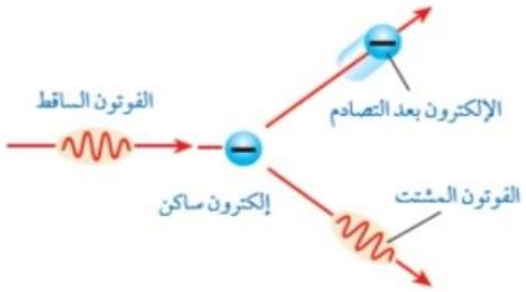
د. تتحرر إلكترونات من الفلز (A) والفلز (B)، وتكون الطاقة الحركية العظمى أكبر للإلكترونات المتحررة من الفلز (A).

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

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

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

ب. ماذا تساوي طاقة الإلكترون بعد التصادم؟



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

ب. $Ee = Ei - Ef$ ، حيث Ei طاقة الضوء الساقط و Ef طاقة الضوء المشتر.

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

للفوتون $p_{photon} = \frac{E}{c}$

للإلكترون نجد سرعته أولاً من الطاقة الحركية:

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

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

ومنه

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

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

طبيعة موجية: الحيود والتداخل.

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

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

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

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

أ. الزخم الخطيّ للفوتون قبل التصادم.

ب. الطاقة التي اكتسبها الإلكترون في أثناء عملية التصادم.

أ. الزخم الخطيّ للفوتون قبل التصادم.

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

ب. الطاقة التي اكتسبها الإلكترون في أثناء عملية التصادم.

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

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

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

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

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

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

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

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

21. أفسر: سقطت حزمتان ضوئيتان بتردّدين مختلفين (f_1, f_2) على سطحي فلزّين مختلفين على الترتيب (X, Y)، اقترانا الشغل لهما $(\Phi_X > \Phi_Y)$، فتحرّرت إلكترونات لها الطاقةُ الحركية العظمى نفسُها من سطحي الفلزّين، فأيُّ الحزمتين تردّدها أكبر؟ أفسّر إجابتي.

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

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

$$hf_1 > hf_2$$

وبالقسمة على (h)

$$f_1 > f_2$$

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

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

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

أ. اقتران الشغل لفلزّ الباعث.

$$\phi = hf - KE_{\max}$$
$$= h\frac{c}{\lambda} - KE_{\max} = 6.63 \times 10^{-34}\ \frac{3 \times 10^{8}}{380 \times 10^{-9}} - 1.6 \times 10^{-19}$$
$$= 5.2 \times 10^{-19} - 1.6 \times 10^{-19} = 3.6 \times 10^{-19}\text{J}$$

ب. تردّد العتبة للفلزّ

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

ج. جهد الإيقاف.

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

أسئلة تفكير ومهارات عليا

1- أضعُ دائرةً حول رمز الإجابة الصحيحة لكُلّ جملة ممّا يأتي:

1. أيٌّ ممّا يأتي يمثّل الترتيب الصحيح للون توهّج سلك فلزي عند تسخينه؟

أ. الأبيض ثم الأزرق ثم الأصفر ثم الأحمر

ب. الأزرق ثم الأبيض ثم الأحمر ثم الأصفر.

ج. الأحمر ثم الأصفر ثم الأزرق ثم الأبيض.

د. الأزرق ثم الأبيض ثم الأصفر ثم الأحمر.

2. عند تسليط ضوء أحمر على صفيحة خارصين لا تنبعث إلكترونات من سطحه، أمّا إذا زادت شدّة الضوء الأحمر، فـ:

أ. تنبعث إلكترونات من سطح الخارصين بعددٍ قليلٍ فورًا.

ب. لا تنبعث إلكترونات من سطح الخارصين.

ج. تنبعث إلكترونات من سطح الخارصين بعدد كبير فورًا.

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

3. عند تسليط أشعة فوق بنفسجية بشدّة منخفضة على سطح الخارصين انبعثت الكترونات من سطحه، ماذا يحدث عند زيادة شدة الضوء الساقط؟

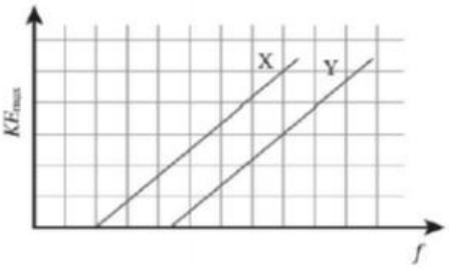
أ. يزداد مقدار جهد القطع.

ب. لا يتغير عدد الالكترونات المنبعثة.

جـ. تزداد طاقة الطاقة الحركية للالكترونات المنبعثة.

د. يزداد عدد الالكترونات المنبعثة.

4. يوضح الشكل المجاور العلاقة بين تردد الضوء الساقط على سطح فلزين مختلفين (X,Y) والطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحررة من الفلزين. إذا سقط على الفلزين ضوء له التردد نفسه وأكبر من تردد العتبة لهما، فإن الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحررة من الفلز (X).



أ. أكبر منها للفلز (Y)؛ لأن اقتران الشغل للفلز (Y) أكبر.

ب. أقل منها للفلز (Y)؛ لأن اقتران الشغل للفلز (Y) أكبر.

جـ. أكبر منها للفلز (Y)؛ لأن اقتران الشغل للفلز (Y) أصغر.

د. أصغر منها للفلز (Y)؛ لأن اقتران الشغل للفلز (Y) أصغر.

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

أ. 10^{12} ب. 10^{13} جـ. 10^{2} د. 10^{10}

رقم الفقرة	1	2	3	4	5
رمز الاجابة الصحيحة	ج	ب	د	أ	د

2- جهاز إرسال راديو FM ينتج في كل ثانية طاقة مقدارها (130 kW) ليبث موجات كهرمغناطيسية ترددها (99.7 MHz)، أجد عدد الفوتونات التي يبثها جهاز الإرسال في الثانية الواحدة.

2. أجد طاقة الفوتون الواحد

$$E = h\,f = 6.63 \times 10^{-34} \times 99.7 \times 10^{6} = 6.61 \times 10^{-26}\ \text{J}$$

أجد عدد الفوتونات في الثانية الواحدة من قسمة الطاقة المنبعثة في الثانية الواحدة على طاقة الفوتون الواحد:

$$n = \frac{130 \times 10^{3}}{6.61 \times 10^{-26}} = 1.97 \times 10^{30}\ photon$$

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

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

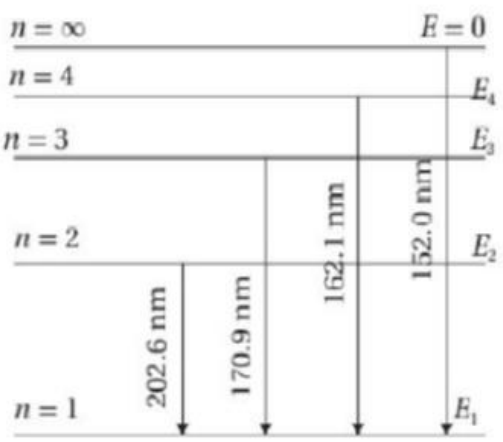
$$\phi = h\frac{c}{\lambda} - e\,V_s$$

$$\phi = 6.63 \times 10^{-34}\ \frac{3 \times 10^{8}}{546.1 \times 10^{-9}} - 1.6 \times 10^{-19} \times 0.376 = 3.04 \times 10^{-19}\text{J}$$

وفي الحالة الثانية:

$$e \times V_s = 6.63 \times 10^{-34}\ \frac{3 \times 10^{8}}{587.1 \times 10^{-9}} - 3.04 \times 10^{-19} = 3.48 \times 10^{-20}$$

$$V_s = \frac{3.48 \times 10^{-19}}{1.6 \times 10^{-19}} = 0.22\ \text{V}$$



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

4. أجد طاقة المستوى الأول

$$E_\infty - E_1 = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

$$E_\infty - E_1 = 6.63 \times 10^{-34} \frac{3 \times 10^8}{152.0 \times 10^{-9}}$$

$$0 - E_1 = 13.1 \times 10^{-19}\text{J}$$

$$E_1 = -13.1 \times 10^{-19}\text{J} = -8.5\text{ eV}$$

ثم أجد طاقة المستوى الثاني من

$$E_2 - E_1 = hf = \frac{hc}{\lambda} = 6.63 \times 10^{-34} \frac{3 \times 10^8}{202.6 \times 10^{-9}} = 9.8 \times 10^{-19}\text{J}$$

$$E_2 - (-13.1 \times 10^{-19}) = 9.8 \times 10^{-19}$$

$$E_2 = -3.3 \times 10^{-19} = -2.1\text{ eV}$$

وأجد طاقة المستوى الثالث بنفس الطريقة

$$E_3 - E_1 = hf = \frac{hc}{\lambda} = 6.63 \times 10^{-34} \frac{3 \times 10^8}{170.9 \times 10^{-9}} = 11.6 \times 10^{-19}\text{J}$$

$$E_2 - (-13.1 \times 10^{-19}) = 11.6 \times 10^{-19}$$

$$E_2 = -1.5 \times 10^{-19} = -0.93\text{ eV}$$

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

أجد طول موجة دي بروي المصاحبة له

$$\lambda = \frac{h}{m\,v} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{1 \times 10^5 \times 1 \times 10^{-12}} = 6.63 \times 10^{-27}\text{ m}$$

وهذا الطول أصغر بكثير من قطر الجسم، لذا لا يمكن الكشف عن موجات دي بروي المصاحبة له.

المميز في الفيزياء

الفصل الدراسي الثاني للتوجيهي العلمي والصناعي

إعداد المعلم: عبد الفتاح أبو الحاج

تابعنا على:

قناة المميز ALMOMAIZ على اليوتيوب

وصفحة المميز ALMOMAIZ على الفيس بوك

للتواصل على رقم (0780199072)

ALmomaiz educational channel
ALMOMAIZ
ALMOMAIZ
ABEDALFATTAHABUALHAJ
Tc-Abedalfattah Abualhaj
0780199072

ALmomaiz educational channel
ALMOMAIZ
ALMOMAIZ
ABEDALFATTAHABUALHAJ
Tc-Abedalfattah Abualhaj
0780199072