شكراً لتحميلك هذا الملف من موقع المناهج القطرية

مراجعة شاملة للوحدة السادسة فيزياء الكم

موقع المناهج ⇦ المناهج القطرية ⇦ المستوى الثاني عشر العلمي ⇦ فيزياء ⇦ الفصل الثاني ⇦ الملف

تاريخ نشر الملف على موقع المناهج: 12-04-2024 07:32:17

إعداد: يحيى

التواصل الاجتماعي بحسب المستوى الثاني عشر العلمي

روابط مواد المستوى الثاني عشر العلمي على تلغرام

التربية الاسلامية	اللغة العربية	اللغة الانجليزية	الرياضيات

المزيد من الملفات بحسب المستوى الثاني عشر العلمي والمادة فيزياء في الفصل الثاني

1	مراجعة شاملة وتلخيص للوحدة الخامسة اساسيات الديناميكا الحرارية
2	مراجعة شاملة للوحدة السادسة فيزياء الكم
3	ملخص قوانين نهاية الفصل
4	اسئلة و أجوبة في الوحدة الثالثة المجال الكهربائي والجهد الكهربائي

المزيد من الملفات بحسب المستوى الثاني عشر العلمي والمادة فيزياء في الفصل الثاني	
5	تحميل الخطة الفصلية

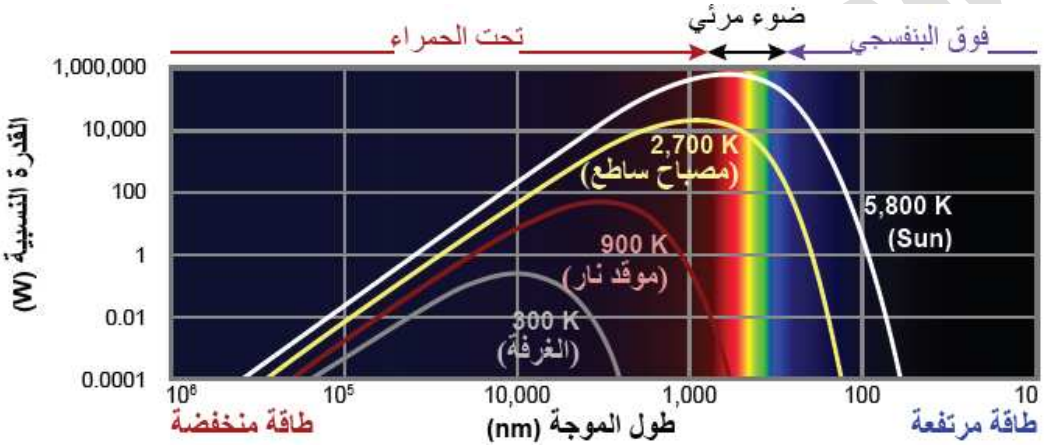
الوحدة السادسة: فيزياء الكم

الوحدة السادسة: فيزياء الكم

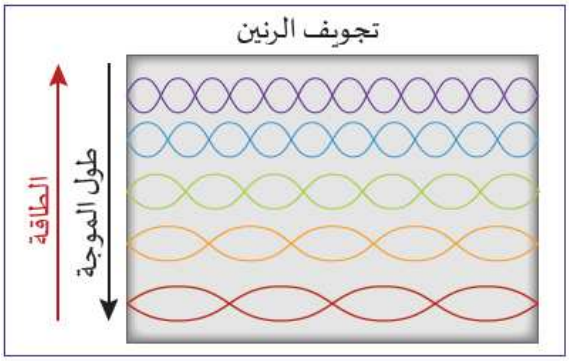
الدرس الأول: نظرية الكم والطبيعة المزدوجة

إشعاع الجسم الأسود:

الجسم الأسود: أي جسم أو مادة تكون مثالية تمامًا في امتصاصها أو إشعاعها للضوء.
يُصدر الجسم الأسود طيفًا مميزًا من الإشعاع يتضمن جميع الاطوال الموجية عند أية درجة حرارة.
ويعرف باسم إشعاع الجسم الأسود، وتُعدّ الشمس مثالاً على اشعاع الجسم الأسود.
اعتمدت محاولات تفسير طيف إشعاع الجسم الأسود على النظرية الكلاسيكية. التي فشلت في تفسير اشعاع الجسم الأسود. إلى أن اقترح ماكس بلانك في العام 1900 أول تفسير لطيف انبعاث الجسم الأسود، معتمدًا على نظرية الكم.



كانت علاقة التناسب العكسي بين طاقة الضوء وطوله الموجي معروفة، فالضوء البنفسجي طوله الموجي قصير وطاقته عالية، بينما الضوء الأحمر له طول موجي طويل وطاقته منخفضة، حاول العلماء تفسير طيف الجسم الأسود اعتمادًا على النظرية الكلاسيكية، وذلك باعتقادهم أن الجسم الأسود يشبه صندوق رنين له أبعاد محدّدة؛ يحتوي حزمة موجات صوتية، كلما كان الطول الموجي أصغر زاد عدد الموجات بداخل الصندوق، الشكل 6- 4. قياسًا على ذلك يزداد عدد موجات الضوء التي تنبعث ضمن طيف الجسم الأسود عند الأطوال الموجية القصيرة؛ أي تزداد شدّة الضوء، ويؤدي هذا التشبيه إلى توقع شدّة لا نهائية للطيف، عندما يكون الطول الموجي مو افقًا لموجات الأشعة فوق البنفسجية، وهو لا يمكن أن يحدث في الو اقع، إذ تتنافى خصائص طيف الجسم الأسود مع هذا الافتراض، تُعرف هذه النتيجة بكارثة الأشعة فوق البنفسجية



الشكل 6-4 عدد لا نهائي من الموجات الأقصر في التجويف.

تنص نظرية بلانك على أن الطاقة المكممة للفوتونات تكون.... nhf ، $2hf$ ، $1hf$ ، ولا يمكن أن تكون $0.5hf$ أو أي أجزاء من hf. وإذا كانت أقل طاقة ممكنة هي لفوتون واحد، لا يمكن أن يتواجد في التجويف عددًا لا نهائيًا من الفوتونات، لأن الطاقة اللانهائية تتطلب عددًا لانهائيا من الفوتونات والتي نجح فيها في تفسير طيف إشعاع الجسم الأسود.

تمرين: اختبار2022:

أي من العبارات التالية غير صحيحة فيما يخص الجسم الأسود؟

a. مثالي في امتصاص الضوء.

b. مثالي في اشعاع الضوء.

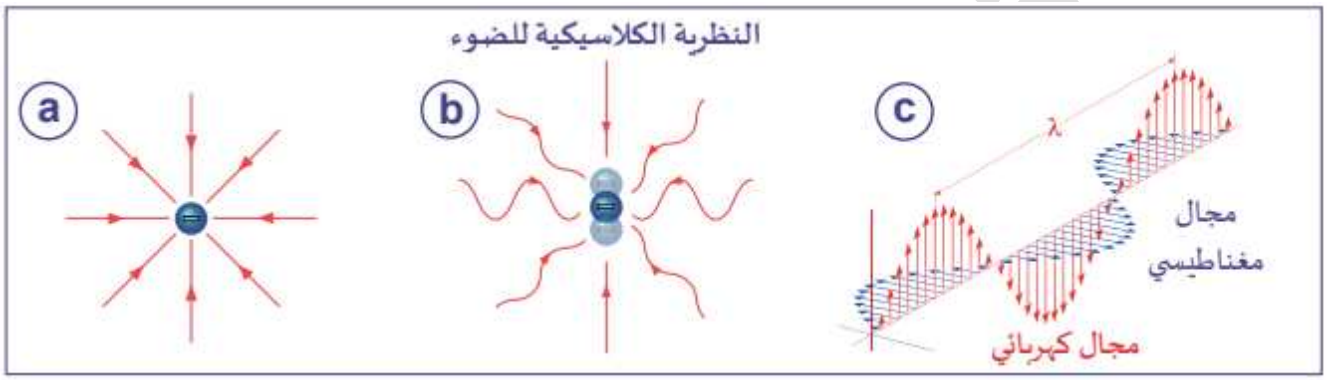
c. يحتوي طيفه جميع الأطوال الموجية.

d. يحتوي طيفه على الأطوال الموجية القصيرة فقط.

الطبيعة الفيزيائية للضوء:

تنص النظرية الكلاسيكية على أنه للضوء طبيعة موجية فهو جزء من الطيف الكهرومغناطيسي.

وإن اهتزاز الإلكترون يولد موجة كهرومغناطيسية فنحن نرى الضوء بسبب استجابة الإلكترونات في شبكية العين للموجة الكهرومغناطيسية.

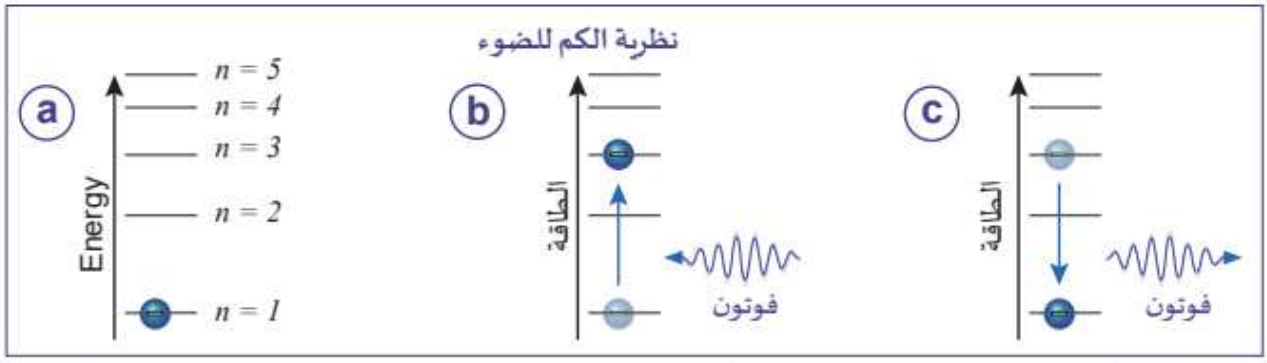


تتفق كل من النظرية الكلاسيكية ونظرية الكم بخصائص التردد والطول الموجي.

ولكن الاختلاف هو أنه في فيزياء الكم تكون الطاقة مكممة في حزم منفصلة (فوتونات)

حيث إن الفوتون هو أصغر كمية للضوء وليس له كتلة سكونية يتمركز في الفضاء كجسيم وله كمية حركة

إذ امتصت الذرة فوتونا فإن إلكترونا ينتقل لمستوى طاقة أعلى فتصبح الذرة مثارة وعندما يعود الإلكترون لمستوى أدنى ينبعث الفوتون نفسه



الشكل 6-6 (a) تشغل الإلكترونات مستويات طاقة . (b) تمتص الذرات فوتونًا فينتقل إلكترون إلى مستوى طاقة أعلى و (c) تُصدِر الذرات فوتونات عندما تهبط إلكتروناتها إلى مستوى طاقة أدنى.

الطاقة والتردد:

الضوء وحيد اللون يتكون من فوتونات متماثلة، لها جميعها نفس التردد،

وتحسب الطاقة E التي يحملها الفوتون الذي يبلغ تردده f بالعلاقة:

$$E = hf \qquad E = \frac{hc}{\lambda}$$

وفي حال ضوء يحتوي على n فوتون تصبح العلاقة:

$$E = nhf \qquad E = \frac{nhc}{\lambda}$$

E: طاقة الفوتون (J)

λ: الطول الموجي (m)

f: تردد الفوتون (Hz)

h: ثابت بلانك

$(h = 6.63 \times 10^{-34}\ J.s)$

c: سرعة الضوء في الفراغ

$(c = 3 \times 10^{8}\ m/s)$

تفسير شدة الضوء حسب النظرية الكلاسيكية ونظرية الكم:

في نظرية الكم يزداد سطوع الضوء بزيادة عدد الفوتونات

في النظرية الكلاسيكية يزداد سطوع الضوء بزيادة سعة موجة الضوء

ملاحظة: تتفاعل الذرة مع فوتون واحد (انبعاث أو امتصاص) في الوقت ذاته

مثال (1):

ما هو عدد فوتونات الضوء المرئي ذات التردد $f = 6 \times 10^{14} Hz$ والتي تنتج طاقة إجمالية $1\ J$؟

Mr. YAHYA R. 66630805

مثال (2):

احسب الطاقة الكلية لخمس مولات من الفوتونات إذا كان طول الموجة لكل منها $250\ nm$.

تمرين: اختبار2021:

ما تردد شعاع ضوئي طاقته الإجمالية تساوي $8.8 \times 10^{-14} J$ ويتكون من 2.01×10^{5} فوتون؟

مع العلم أن ثابت بلانك: $h = 6.63 \times 10^{-34} J.s$

a. $6.6 \times 10^{14}\ m$
b. $8.8 \times 10^{14}\ m$
c. $9.6 \times 10^{14}\ m$
d. $10.6 \times 10^{14}\ m$

تمرين: اختبارتجريبي 2021:

احسب عدد فوتونات الضوء التي تمتلك طاقة كلية تساوي $2.39 \times 10^{6} J$ إذا كان طول موجة الضوء $2.5 \times 10^{-7}\ m$ وسرعته $3 \times 10^{8}\ m/s$ ، وثابت بلانك: $6.63 \times 10^{-34}\ J/s$.

Mr. YAHYA. R 66630805

تمرين: اختبار2020:

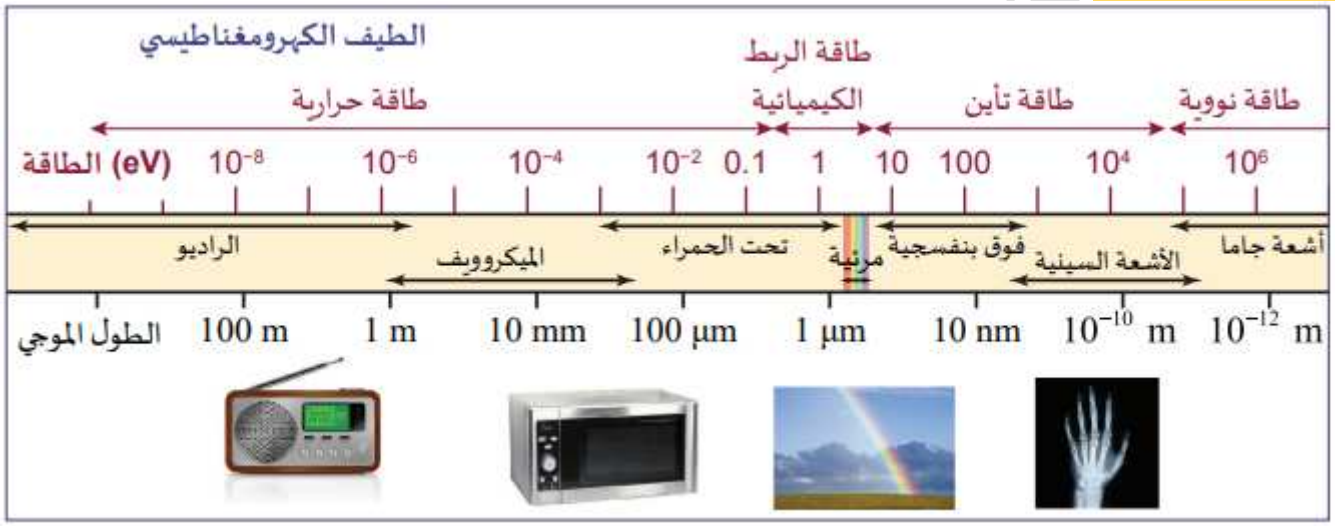
ما لون ضوء يمتلك طاقة فوتونية مقدارها $2.12\ eV$ ؟

Use: ($c=3x10^8$ m/s ,$h=6.63x10^{-34}$J.s , $1eV=1.6x10^{-19}$J)

Light الضوء		wavelength الطول الموجي
blue	أزرق	435 nm-480 nm
green	أخضر	500 nm-560 nm
yellow	أصفر	580 nm-595 nm
Red	أحمر	610 nm-750 nm

a. أزرق
b. أخضر
c. أصفر
d. أحمر

طاقة الفوتونات:



كلما ازداد تردد الإشعاع الكهرومغناطيسي ازدادت معه طاقة الفوتون الواحد والتي تعتبر أقل طاقة لأي إشعاع.

تحدد طاقة الفوتون ما يحدث عندما يتفاعل الفوتون مع المادة.

تحتوي فوتونات الميكروويف والأشعة تحت الحمراء على طاقة كافية لامتصاصها بواسطة الجزيئات وتحويلها إلى طاقة حرارية. هذه هي الطريقة التي يسخن بها فرن الميكروويف الطعام.

طاقة الفوتون للضوء المرئي تقع بين $1.63\ eV$ للضوء الأحمر و $3.26\ eV$ للضوء البنفسجي، وهي طاقة كافية لاختراق الجزيء وإحداث تعديل في الروابط الذرية داخل الجزيء، لكنها في الأغلب غير كافية لكسر هذه الروابط، فلا تحدث تغييرات كيميائية، وهذه الطاقة مناسبة لحدوث تفاعل بين الضوء والخلايا المستقبلة في شبكية العين لحدوث عملية الإبصار.

وبالنسبة لفوتونات الأشعة فوق البنفسجية تكون طاقة الفوتون أكبر من $10\ eV$ فإن بإمكان الفوتون أن يؤين ذرة أو جزيئا وتعمل فوتونات هذه الطاقة على اضعاف الروابط الكيميائية وكسرها.

ويكون لفوتونات الأشعة السينية طاقة أعلى من($1000\ eV$) $1\ keV$ تقريباً، يمكن لهذه الطاقة إخراج الكترونات من الغلاف الداخلي لذرات كبيرة نسبياً مثل الكالسيوم. هكذا تكشف الأشعة السينية الكالسيوم في العظام.

تحتوي أشعة جاما على طاقة فوتون أكبر من $100\ keV$ ، وهي طاقة كافية لاختراق فوتون جاما للنواة والتأثير فيها. تنتج أشعة جاما في الغالب في التفاعلات النووية

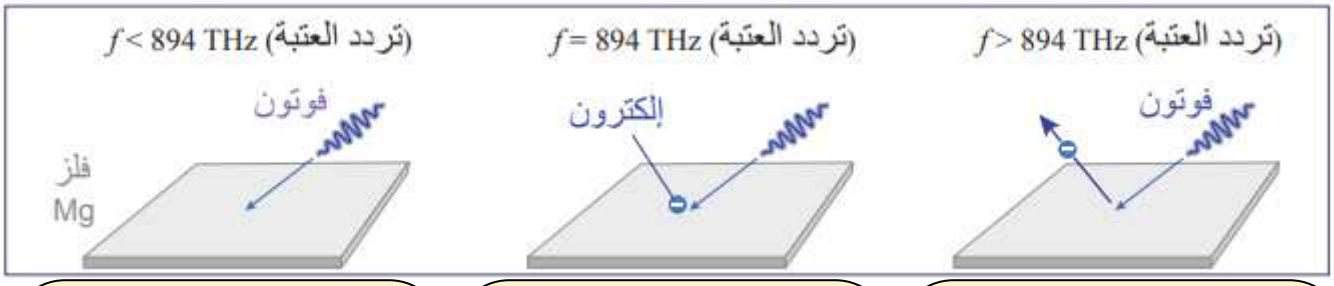
التأثير الكهروضوئي:

التأثير الكهروضوئي: قابلية انبعاث الكترونات من سطح معدني عند تعرضه لضوء تردده فوق تردد العتبة.

تردد العتبة (f): أقل تردد لأشعة ساقطة تستطيع تحرير الإلكترونات من سطح معدني.

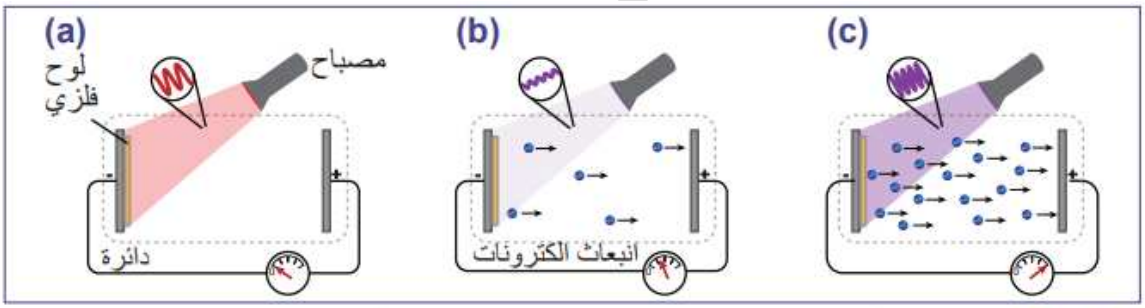
دالة الشغل ($\emptyset$): الطاقة اللازمة لتحرير الإلكترون من سطح المعدن دون إكسابه أية طاقة حركية.

بفرض أن تردد العتبة للمغنيسيوم $f = 894\ THz\ (894 \times 10^{12} Hz)$



$f > 894\ THz$	$f = 894\ THz$	$f < 894\ THz$
تتحرر الإلكترونات، حتى لو كان الضوء خافتا ويكون لها طاقة حركية تزداد بازدياد التردد	تتحرر الإلكترونات بدون طاقة حركية وتبقى مستقرة على سطح الفلز	لا تتحرر الإلكترونات من سطح الفلز، حتى لو كانت شدة الضوء قوية

ويزداد عدد الإلكترونات المتحررة بزيادة شدة سطوع الضوء الذي يكون له تردد أعلى من تردد العتبة



الشكل 6-11 (a) ضوء تردده أقل من تردد العتبة، (b) ضوء ذو شدة منخفضة، و تردد أكبر من تردد العتبة، (c) شدة عالية و تردد أكبر من تردد العتبة.

فعند سقوط ضوء تردده (f) ويحمل طاقة (hf) على سطح فلز فإن الفلز يأخذ من تلك الطاقة ما يساوي دالة شغل الفلز ($\emptyset$) وما يتبقى من الطاقة يتحول لطاقة حركية للإلكترون وفق العلاقة التالية:

$$E = E_{K_{max}} + \emptyset$$

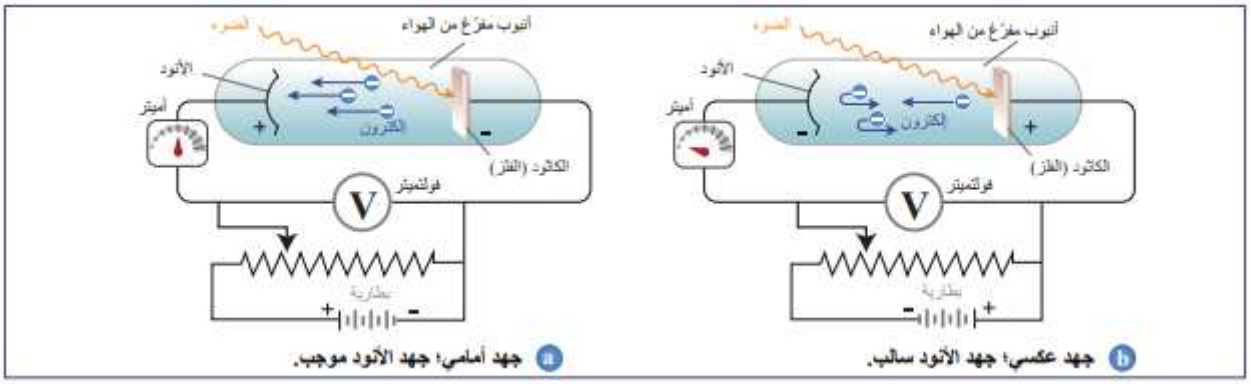
طاقة الفوتون الساقط	الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحررة	دالة شغل الفلز
$E = hf$ $E = \frac{hc}{\lambda}$	$E_{K_{max}} = \frac{1}{2} m {v_{max}}^2$ $E_{K_{max}} = e.V_s$	$\phi = hf_o$ $\phi = \frac{hc}{\lambda_o}$

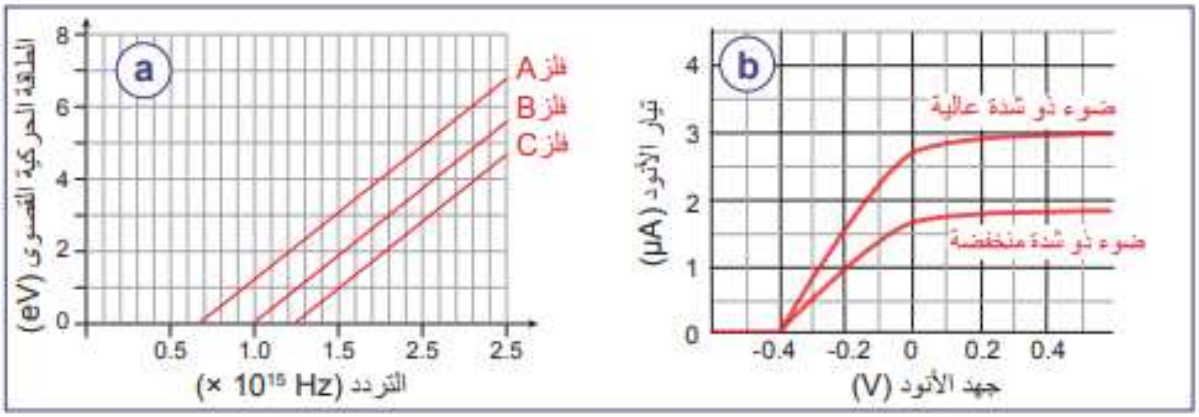
ملاحظة التأثير الكهروضوئي:

بتنفيذ التجربة الموضحة في الشكل أدناه نلاحظ أنه عند تطبيق جهد سالب على الآنود تتباطأ حركة الإلكترونات ويستمر التباطؤ بزيادة الجهد السالب إلى أن يتوقف وصول الإلكترونات وينخفض التيار الكهربائي للصفر ويكون عندها:

$$E_{K_{max}} = e.V_s$$

حيث V_s هو جهد الإيقاف وهو أقل جهد عكسي يجعل قيمة التيار في الخلية الكهروضوئية صفرا.





يوضح الشكل رسمًا لتيار الآنود بالنسبة إلى الجهد.

ويلاحظ أن شدة التيار تنخفض للصفر عند قيمة الجهد (-0.4 V) والذي يمثل قيمة جهد الإيقاف (وهو لا يعتمد على شدة الضوء)

يوضح الشكل رسمًا للطاقة الحركية القصوى لثلاثة فلزات بدلالة تردد الإشعاع الساقط

قيمة تردد العتبة لكل فلز عند تقاطع الخط الخاص به مع المحور السيني

شروط حدوث ظاهرة التأثير الكهروضوئي:

وفقً لما سبق فإن ظاهرة التأثير الكهروضوئي تحدث إذا تحقق أي من الشروط التالية:

- ✓ طاقة الضوء الساقط أكبر أو تساوي دالة شغل الفلز: $E \geq \emptyset$
- ✓ تردد الضوء الساقط أكبر أو يساوي تردد عتبة الفلز: $f \geq f_o$
- ✓ طول موجة الضوء الساقط أصغر أو يساوي طول موجة عتبة الفلز: $\lambda \leq \lambda_o$

مثال (3):

a. أوجد تردد العتبة لمعدن دالة الشغل له $1.5\ eV$.

b. احسب الطاقة الحركية القصوى والسرعة القصوى للإلكترونات المنبعثة عندما يسقط ضوء، تردده $6.10 \times 10^{14}\ Hz$ على سطح المعدن.

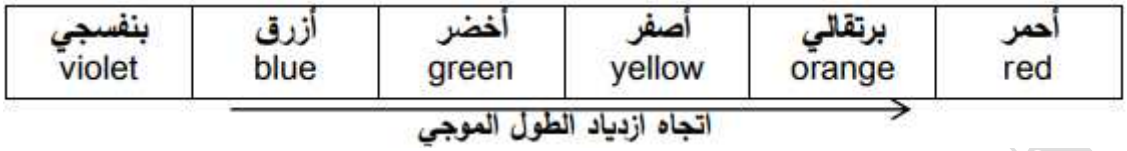
مثال (4):

جهد الإيقاف لضوء أخضر طوله الموجي $496\ nm$ يبلغ $0.4\ V$. ما مقدار دالة الشغل لسطح المعدن المستخدم في الخلية الكهروضوئية؟

Mr. YAHYA. R 66630805

تمرين: اختبار2022:

الشكل التالي يوضح اتجاه ازدياد الطول الموجي للفوتونات في جزء من الطيف الكهرومغناطيسي. اعتمادًا عليه أي ضوء مما يلي يمكنه أن يحرر إلكترونات من سطح أحد الفلزات، إذا علمت أن دالة الشغل للفلز تساوي طاقة فوتون الضوء الأزرق؟



a. ضوء أحمر عالي الشدة

b. ضوء أخضر منخفض الشدة

c. ضوء أصفر عالي الشدة

d. ضوء بنفسجي منخفض الشدة

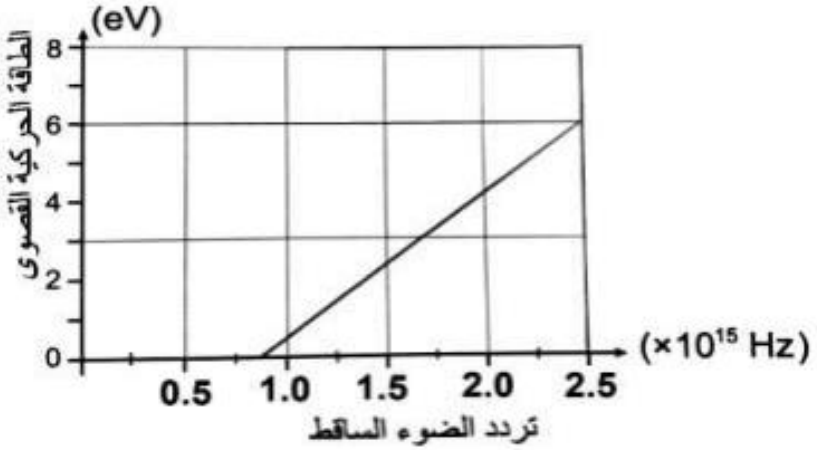
تمرين: اختبار2022:

احسب الطاقة الحركية القصوى للإلكترونات المنبعثة عندما يسقط ضوء تردده $(6.8 \times 10^{14} Hz)$ على سطح معدن دالة الشغل له $(2.4 \times 10^{-19} J)$ علمًا أن ثابت بلانك يساوي $(6.63 \times 10^{-34} J.s)$

Mr. YAHYA. R 66630805

تمرين: اختبار تجريبي 2022:

يبين الشكل التالي العلاقة بين تردد الضوء الساقط على فلز، والطاقة الحركية القصوى للإلكترونات المتحررة من سطح الفلز. ($h = 6.63 \times 10^{-34} J.s$, $c = 3 \times 10^{8}\ \frac{m}{s}$, $1eV = 1.6 \times 10^{-19} J$)

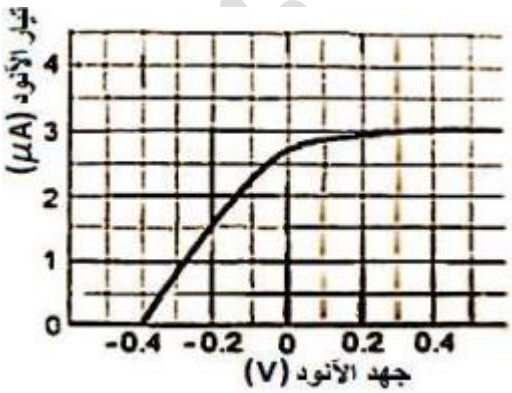


a. احسب دالة الشغل لهذا الفلز بوحدة eV.

b. احسب الطول الموجي للفوتون الساقط الذي يزود الإلكترونات المتحررة بطاقة حركية قصوى 2.4 eV.

تمرين: اختبار 2021:

الشكل أدناه يوضح العلاقة بين شدة تيار الأنود وجهد الأنود عند سقوط الضوء على سطح فلز، بالرجوع للشكل ما جهد الإيقاف للفلز؟



$0.2\ V$ .a

$0.0\ V$ .b

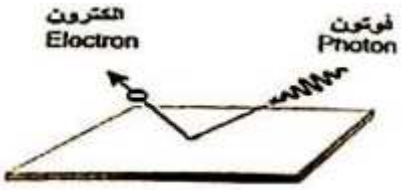
$-0.2\ V$ .c

$-0.4\ V$ .d

Mr. YAHYA. R 66630805

تمرين: اختبار2021:

1- الشكل أدناه يوضح ظاهرة تنتج عندما يسقط اشعاع على سطح فلزويتحرر منه الكترون، ما شرط حدوث هذه الظاهرة من حيث تردد الإشعاع الساقط على سطح الفلزمقارنة مع تردد العتبة للفلز؟



تمرين: اختبار2021:

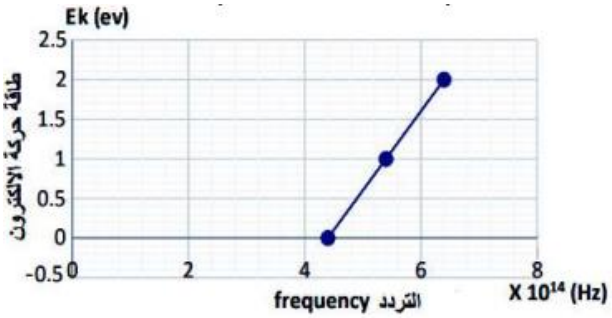
1- سقط ضوء تردده $(6.6 \times 10^{14} Hz)$ على سطح فلزتردد العتبة له $(4.8 \times 10^{14} Hz)$ احسب السرعة القصوى للإلكترونات المنبعثة من سطح الفلز.

2- وضح المقصود بدالة الشغل للفلز.

Mr. YAHYA. R 66630805

تمرين: اختبار تجريبي 2021:

إذا كان التمثيل البياني لطاقة حركة الإلكترونات المحررة من سطح فلزوتردد الفوتونات الساقطة عليه موضحة في الشكل التالي: ما مقدار دالة الشغل لهذا الفلز؟ $(h = 6.63 \times 10^{-34} J.s)$



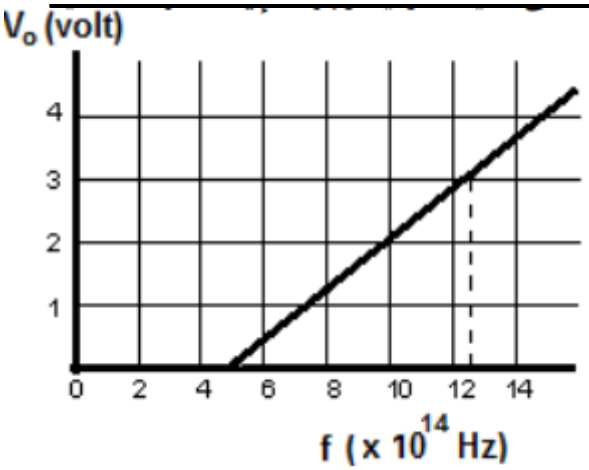
a. $2.92 \times 10^{-19}\ J$
b. $3.11 \times 10^{-33}\ J$
c. $1.41 \times 10^{-46}\ J$
d. $7.00 \times 10^{47}\ J$

تمرين: اختبار تجريبي 2021:

سقط ضوء تردده $6 \times 10^{14}\ Hz$ على معدن دالة الشغل الكهروضوئي له $1.5\ eV$ احسب طاقة الحركة القصوى للإلكترون المنبعث من سطح هذا المعدن.

Mr. YAHYA. R 66630805

تمرين: اختبار تجريبي 2021:



الشكل المقابل يمثل العلاقة البيانية بين تردد الضوء الساقط على خلية ضوئية وجهد الإيقاف لهذه الخلية: باستخدام الرسم البياني، احسب ما يلي:

a. تردد العتبة للفلز المستخدم.

b. دالة الشغل للفلز المستخدم.

c. جهد الإيقاف لهذه الخلية عندما يكون تردد الضوء الساقط هو $(12.3 \times 10^{14} Hz)$.

d. ما الذي يمثله ميل المنحنى الناتج من العلاقة البيانية؟

تمرين: اختبار تجريبي 2021:

إذا كان تردد العتبة لمعدن معين هو $3.3 \times 10^{14} Hz$، فإذا سقط على سطح هذا المعدن ضوء طوله الموجي هو $3.65 \times 10^{-7} m$، أوجد جهد الإيقاف للإلكترونات المنبعثة.

Mr. YAHYA. R 66630805

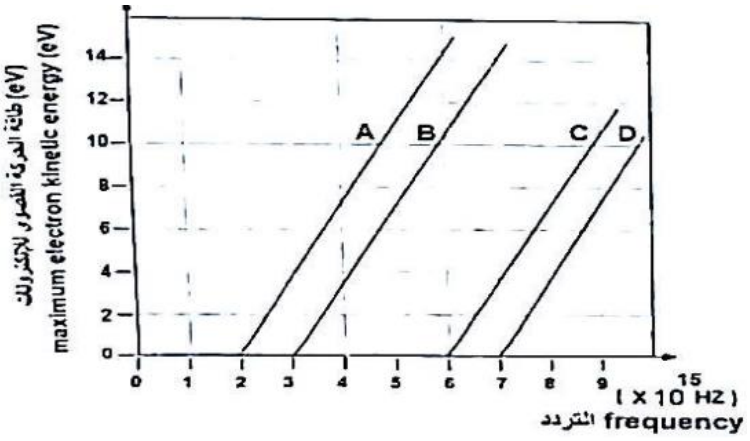
تمرين: اختبار2020:

يسقط ضوء طوله الموجي $530\ nm$ على سطح معدن دالة الشغل له تساوي $1.70\ eV$ ما قيمة الطاقة الحركية القصوى للإلكترونات المنبعثة؟

$0.64\ eV$ .a
$0.87\ eV$ .b
$2.72\ eV$ .c
$4.67\ eV$ .d

تمرين: اختبار2020:

الرسم البياني بالأسفل يوضح العلاقة بين تردد الضوء الساقط وطاقة الحركة القصوى للإلكترونات المنبعثة من أسطح أربعة معادن مختلفة (D,C,B,A) إذا تم اسقاط أشعة ضوئية بطاقة مقدارها $(26.52 \times 10^{-19} J)$ أي منها ستحرر الإلكترونات بأكبر طاقة حركية؟



A .a
B .b
C .c
D .d

تمرين: اختبار2020:

تسقط فوتونات بطاقات مختلفة قدرها ($2.5\ eV, 1.8\ eV, 1.2\ eV$) على سطح معدن دالة شغله $(1.8\ eV)$

1- اذكر الفوتونات التي تستطيع نزع إلكترونات من سطح المعدن.

2- احسب النهاية العظمى للطاقة الحركية للإلكترونات المنتزعة من سطح المعدن للفوتونات في الفرع 1.

Mr. YAHYA. R 66630805

تمرين: اختبار2020:

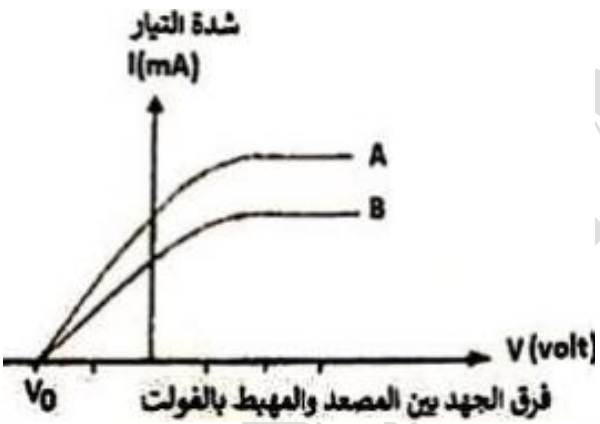
الجدول التالي يبين تغير شدة تيار دائرة خلية كهروضوئية نتيجة تغير جهد أنود الخلية.

شدة التيار (mA)	2.7	2	1.6	0.9	0.3	0	0	0
جهد الأنود (V)	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5

باستخدام الجدول السابق احسب طاقة حركة أسرع الالكترونات الضوئية بوحدة(eV)؟

تمرين: اختبار2019:

الرسم البياني أدناه يوضح العلاقة بين شدة التيار الكهروضوئي المار في خلية كهروضوئية فيها لمصدرين ضوئيين B و A وفرق الجهد الكهربائي بين المصعد والمهبط.



a. تردد المصدر A أقل من تردد المصدر B

b. تردد المصدر A أكبر من تردد المصدر B

c. تردد المصدر A يساوي من تردد المصدر B

d. تردد المصدر A يساوي مثلي تردد المصدر B

تمرين: اختبار2019:

ضوء طوله الموجي λ أضاء سطح معدن وحرر منه الكترونات بطاقة حركة قصوى $1\ eV$ وضوء آخر طوله الموجي $\lambda/2$ أضاء نفس المعدن وحرر منه الكترون بطاقة حركة قصوى $4\ eV$ ما دالة الشغل لهذا المعدن؟

a. $1\ eV$

b. $1.5\ eV$

c. $2\ eV$

d. $3\ eV$

تمرين: اختبار2018:

سقط ضوء تردده $3 \times 10^{14}\ Hz$ على سطح معدني حساس للضوء فانطلقت منه الكترونات بسرعة قصوى $6 \times 10^{5} m/s$ فإذا علمت أن ثابت بلانك يساوي $6.63 \times 10^{-34}\ J.s$ وكتلة الإلكترون تساوي $9.1 \times 10^{-31}\ Kg$ وشحنة الإلكترون $1.6 \times 10^{-19}\ C$ فاحسب:

1- جهد الإيقاف للمعدن في هذه الحالة.

2- تردد العتبة للمعدن.

Mr. YAHYA. R 66630805

تقويم الدرس 6-1

1. أي الكميات التالية تعتبر خاصية للفلز في ظاهرة التأثير الكهروضوئي؟
   a. تردد الفوتون.
   b. دالة الشغل.
   c. طول الموجة.
   d. الطاقة الحركية القصوى.
2. تحدث عملية الإبصار عند سقوط فوتونات محددة على شبكية العين، ما تأثير هذه الفوتونات في الشبكية؟
   a. اختراق النواة وإحداث تغيير فيها.
   b. كسر الروابط الذرية
   c. إحداث تغيير في الروابط الذرية
   d. تأيين الذرات
3. a- ما طاقة فوتون ضوئي، طوله الموجي $\lambda = 2\ \mu m$؟
   b- ما طاقة فوتون ضوئي، طوله الموجي $\lambda = 0.5\ \mu m$؟
   c- إلى أي جزء من الطيف الكهرومغناطيسي ينتمي كل فوتون في الفرعين السابقين؟
4. اشرح كيفية إيجاد أقصى طاقة حركية لإلكترون منبعث من مادة عبر التأثير الكهروضوئي.

Mr. YAHYA. R 66630805

5. كان أحد الباحثين يصمّم تجربة لدراسة التأثير الكهروضوئي باستخدام فلز النيكل دالة الشغل له $5.15\ eV$.
علمًا أن $1\ eV = 1.6 \times 10^{-19}\ J$.

a. اشرح المقصود بدالّة الشغل.

b. احسب تردّد العتبة لفلز النيكل. إلى أي منطقة من الطيف الكهرومغناطيسي ينتمي هذا التردّد؟

c. هل سيؤدي ضوء طاقته $7.35\ eV$ إلى تحرير إلكترونات ضوئية من النيكل؟ في أي منطقة من الطيف الكهرومغناطيسي يوجد هذا الضوء؟

d. هل يحرر ضوء الأشعة تحت الحمراء بطول موجي $1\ \mu m$ إلكترونًا ضوئيا؟

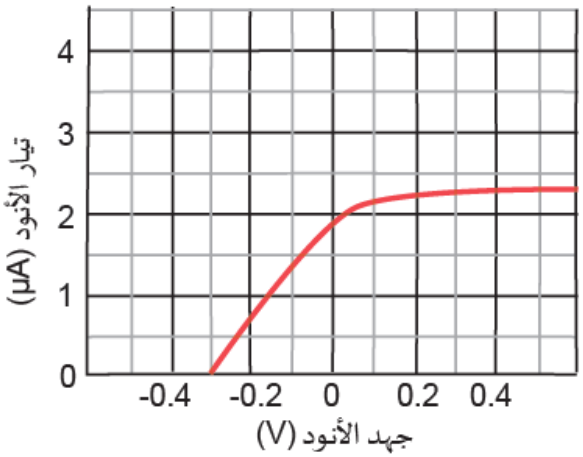
e. هل يحرر الضوء البنفسجي $400\ nm$ إلكترونات ضوئية؟

f. هل تحرّر الأشعة فوق البنفسجية عند $200\ nm$ إلكترونات ضوئية؟

Mr. YAHYA. R 66630805

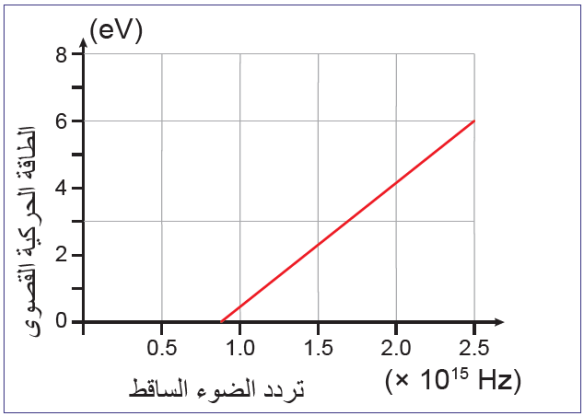
6. يصطدم فوتون طاقته $2\ eV$ بلوح فلزي، ما يؤدي إلى تحرير إلكترونات الضوئية. إذا تم تقليل الطول الموجي بنسبة 25 % ، فإن السرعة القصوى تتضاعف. احسب دالة الشغل للفلزّ.

7. يظهر الشكل المجاور رسمًا بيانيًّا لجهد الضوء الأخضر بدلالة التيار الكهروضوئي. إذا كانت دالة الشغل للفلز تساوي $2.10\ eV$ ، فما مقدار الطول الموجي للضوء.



Mr. YAHYA. R 66630805

8. يبين الشكل المجاور العلاقة البيانية بين تردد الضوء الساقط على فلز، والطاقة الحركية القصوى التي تمتلكها الإلكترونات المتحررة من سطح الفلز.



a. ما مقدار دالة الشغل لهذا الفلز؟

b. ما مقدار الطول الموجي للفوتون الساقط والذي يزود الإلكترونات المتحررة بطاقة قصوى $0.6\ eV$

Mr. YAHYA. R 66630805

مراجعة الوحدة

2. ما طاقة الفوتون الذي يكون تردّده $6 \times 10^{14} Hz$؟

a. $4.0 \times 10^{-19} J$
b. $5.0 \times 10^{-7} J$
c. $1.8 \times 10^{23} J$
d. $5.4 \times 10^{31} J$

10. صف التأثير الكهروضوئي ومدى ارتباطه بالطبيعة المزدوجة للضوء.

11. كيف يرتبط تردّد اهتزاز الموجة الكهرومغناطيسية بطاقتها؟

12. احسب طاقة فوتون طوله الموجي $500\ nm$.

13. بناءً على التأثير الكهروضوئي رأى أحد الطلاب أن الضوء هو عبارة عن جسيم. اختبر طالب ثانٍ فرضية الطالب الأول من خلال إجراء تجربة الشق المزدوج، والتي أظهرت أن الضوء يتداخل كموجة. لذلك فقد رأى هذا الطالب أن الضوء هو عبارة عن موجة. من خلال تقويمك للتفسيرين العلميين والأدلة، أيّهما كان على حق؟

14. ما العدد التقريبي لفوتونات ضوء الأشعة تحت الحمراء $(\lambda = 6\ \mu m)$ في $1\ eV$ من الطاقة؟

Mr. YAHYA. R 66630805

15. واحد إلكترون فولت أو eV هو طاقة تساوي $1.6 \times 10^{-19} J$. يستخدم كيلو إلكترون فولت في الغالب (keV) للتعبير عن طاقة الفوتونات في منطقة معينة من الطيف الكهرومغناطيسي. باستخدام مخطط الطيف الكهرومغناطيسي، حدّد نوع الإشعاع الكهرومغناطيسي الذي يكون مقدار طاقته في حدود $1\ KeV$.

16. تبلغ دالّة شغل الكروميوم $7.2 \times 10^{-19}\ J$ ما تردد عتبة هذه المادة؟

17. يطلق معدن الإلكترونات فقط بالتأثير الكهروضوئي عندما يسقط عليه ضوء بطول موجي $286\ nm$ أو أقل. ما دالّة شغل الفلز؟

18. توصف بعض أنواع الإشعاع الكهرومغناطيسي في الغالب باستخدام وحدات الطاقة، مثل الإلكترون فولت.
   a. ما تردّد الإشعاع الكهرومغناطيسي الذي تبلغ طاقته $2.0\ keV$ ؟
   b. ما هذا النوع من الإشعاع الكهرومغناطيسي؟

19. كم يبلغ عدد فوتونات الضوء البرتقالي ($\lambda = 600$ nm) المطلوبة لإنتاج $1\ J$ من الطاقة؟

Mr. YAHYA. R 66630805

الوحدة السادسة: فيزياء الكم

الدرس الثاني: مستويات الطاقة والأطياف

طول موجة دي برولي:

رأى دي برولي أن الإلكترونات المحصورة في حيز صغير يكون لها طول موجي مرتبط بالطاقة مثل الفوتونات وقد حدد دي برولي رياضيا الطول الموجي بالمعادلة:

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

λ: الطول الموجي (m)

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

P: كمية الحركة (الزخم الخطي) $(Kg.m/s)$

m: الكتلة (Kg)

v: السرعة (m/s)

إن الطبيعة المزدوجة للمادة تعني أن المادة لها خصائص موجية وجسيمية

الجسيمات التي لها كمية حركة لها أيضاً طول موجي يشبه الطول الموجي للفوتون.

نحن لا نلاحظ في الغالب موجات المادة لأن الأطوال الموجية للأجسام العادية صغيرة جدًا.

طول موجة دي برولي لكرة قدم نموذجية تتحرك بسرعة $2\ m/s$ هو $3 \times 10^{-34} m$ وهذا أصغر بكثير من قطر ذرة واحدة

طول موجة دي برولي لإلكترون في فلز يقارب $10\ nm$ وهو مماثل لقطر ذرة تقريبًا.

مثال (8):

طول موجة دي برولي لإلكترون $0.157\ nm$.

جد سرعة الإلكترون وطاقته الحركية علما بأن كتلته $9.1 \times 10^{-31} Kg$

Mr. YAHYA. R 66630805

تداخل الإلكترونات وحيودها:

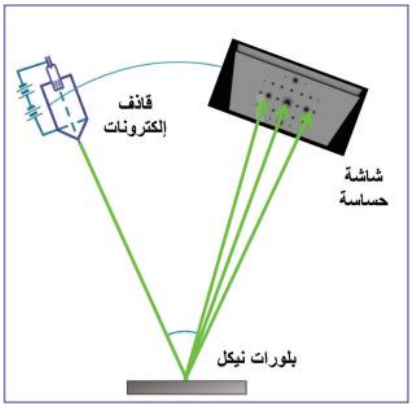
تجربة تشتت الإلكترونات عن سطح النيكل أجراها العالمان دافيسون وجيرمر لإثبات الطبيعة الموجية للإلكترونات.

تمثل بلورة النيكل محزوز حيود إذ تشكل المسافات المنتظمة بين ذراته شقوق محزوز الحيود.

تظهر الأشعة المنعكسة عن بلورة النيكل على الكاشف نمط تداخل عبارة عن أهداب مضيئة (تداخل بناء) وأهداب معتمة (تداخل هدام)

تعني الطبيعة المزدوجة للمادة أن للفوتونات طبيعة جسيمية كما أن للإلكترونات طبيعة موجية ويعطي الزخم الخطي للفوتون بالعلاقة:

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



الشكل 37-6 بُنية تجربة دافيسون وجيرمر.

P: كمية الحركة (الزخم الخطي) $(Kg.m/s)$
h: ثابت بلانك $(h = 6.63 \times 10^{-34}\ J.s)$
λ: الطول الموجي (m)
f: التردد (Hz)
c: سرعة الضوء في الفراغ $(3 \times 10^{8}\ m/s)$

مثال (9):

ما الطول الموجي لفوتون زخمه الخطي يساوي زخم إلكترون سرعته $v_e = 100\ m/s$؟

تمرين: اختبار2022

احسب طول موجة دي برولي لإلكترون يتحرك بسرعة مقدارها $4.2 \times 10^{6}\ m/s$

$h = 6.63 \times 10^{-34} J.s \quad / \quad m_e = 9.1 \times 10^{-31} Kg \quad / \quad e = 1.6 \times 10^{-19} C$

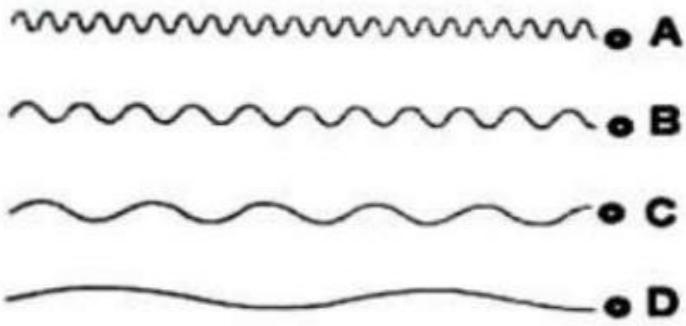
تمرين: اختبار تجريبي 2021:

ما طول موجود دي برولي المصاحب لإلكترون يتحرك بسرعة $4.4 \times 10^{6}\ m/s$

كتلة الإلكترون تساوي $9.1 \times 10^{-31} Kg$ وثابت بلانك: $h = 6.63 \times 10^{-34}\ J.s$

Mr. YAHYA. R 66630805

تمرين: اختبار 2018



الشكل يوضح موجات دي برولي المصاحبة لأربع جسيمات تتحرك في الفراغ أي منها يمتلك أقل سرعة؟

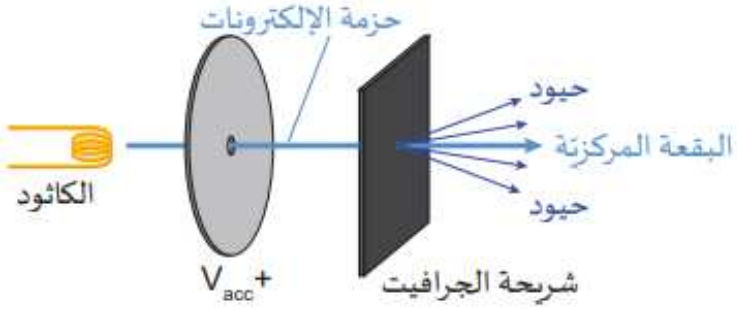
a. A
b. B
c. C
d. D

تمرين: اختبار تجريبي 2018

ما مقدار سرعة إلكترونات طول موجة دي برولي لها يساوي 0.65 A؟

a. $8.51 \times 10^6\ m/s$
b. $1.12 \times 10^7\ m/s$
c. $1 \times 10^3\ m/s$
d. $3 \times 10^2\ m/s$

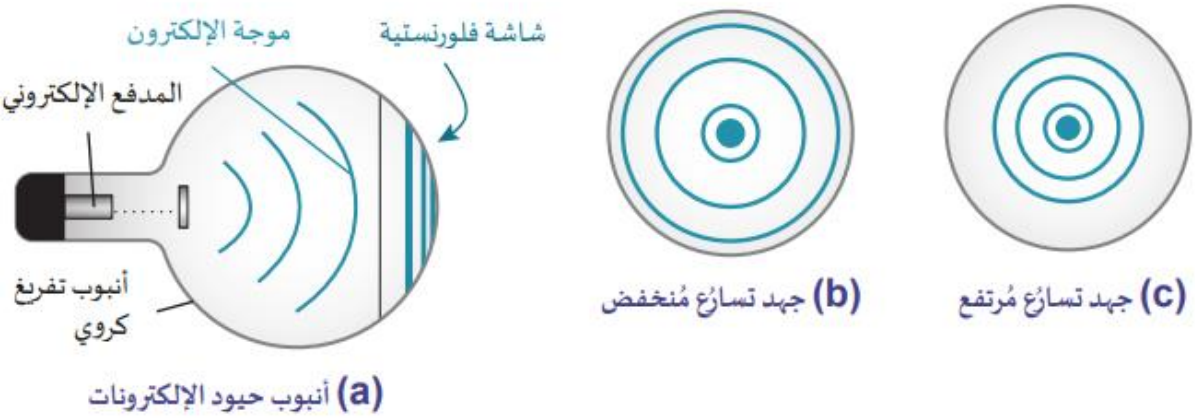
أنبوبة حيود الإلكترونات:



يمكن استخدام أنبوب حيود الإلكترونات لتوضيح أن الإلكترونات تظهر نمط حيود كالموجات.

يصدر المدفع الإلكتروني إلكترونات من الكاثود تحمل طاقة يمكن التحكم بها من خلال جهد التسارع V_{acc} حيث تمر حزمة الالكترونات عبر شريحة رقيقة من الجر افيت حيث تعمل الفراغات الكائنة بين ذراتها على تشتيت الإلكترونات مشكلة النمط حيود.

تصطدم الإلكترونات بسطح فلورسنتي مقعر فينشأ نمط حيود وسبب نشوئه: أن موجات الإلكترون يتم تشتيتها بواسطة صفائح ذرات كربون متتالية عند السطح البيني في الجر افيت.



تؤدي زيادة فرق جهد المدفع الإلكتروني إلى زيادة طاقة الإلكترونات وإلى خفض طولها الموجي كما هو موضح بالشكل.

الخصائص الكاينماتيكية (الحركية) للإلكترون:

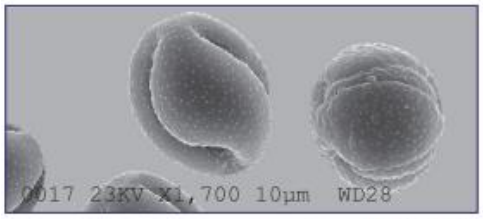
إحدى الخصائص الهامة للمدفع الإلكتروني هي استطاعته تغيير الطاقة الحركية والطول الموجي للإلكترون بسهولة.
يجعل ذلك من حزمة الإلكترونات أداة فعالة لفحص التركيب الذري للمواد والبناء الهندسي للبلورات
وفيما يلي علاقات الطاقة الحركية للإلكترونات وسرعتها وطولها الموجي:

$$E_k = eV$$

$$v = \sqrt{\frac{2E_k}{m}} = \sqrt{\frac{2.eV}{m}}$$

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meV}} = \frac{h}{\sqrt{2m.E_k}}$$

E_k: كمية الحركة (الزخم الخطي) $(Kg.m/s)$
e: شحنة الإلكترون $(1.6 \times 10^{-19}\ C)$
V: فرق جهد التسريع (V)
v: السرعة (m/s)
m: الكتلة (Kg)
λ: الطول الموجي (m)
h: ثابت بلانك $(h = 6.63 \times 10^{-34}\ J.s)$



الشكل 6-40 حبّة لقاح كما يرصدها مجهر إلكتروني.

إن أصغر مقدار يمكن رؤيته بواسطة المجهر يكون مساو لطول موجي واحد.
ولكن الطول الموجي للإلكترون أقل بكثير من الطول الموجي للضوء المرئي
الذي له الطاقة نفسها. لذلك يمكن للمجهر الإلكتروني أن يزودنا بصور
لأجسام صغيرة جدًا كحبوب لقاح النباتات (الشكل 40-6)

فسر: يقوم المجهر الإلكتروني بالتكبير أكثر بكثير من المجهر الضوئي؟

لأن الطول الموجي للإلكترون أقل بكثير من الطول الموجي للضوء المرئي الذي له نفس الطاقة

مثال (10):

يتطلب مجهر إلكتروني طوال موجيا مقداره $1\ nm$. ما مقدار طاقة الإلكترون وفرق جهد التسريع الذي يحتاجه المجهر لكي يعمل بشكل طبيعي؟

علمًا أن: (كتلة الإلكترون: $9.1 \times 10^{-31} Kg$) (شحنة الإلكترون $1.6 \times 10^{-19}\ C$)

Mr. YAHYA. R 66630805

تمرين: اختبار2020

أي من خصاص الالكترون تعتمد عليها قوة التكبيرفي المجهر الإلكتروني النافذ؟

a. الطول الموجي

b. سعة الموجة

c. الكتلة

d. الشحنة

تمرين: اختبارتجريبي 2022

ما طول موجة دي برولي لإلكترون طاقته الحركية $1.4116 \times 10^{-17}\ J$

كتلة الإلكترون تساوي $9.1 \times 10^{-31} Kg$ وثابت بلانك: $h = 6.63 \times 10^{-34}\ J.s$

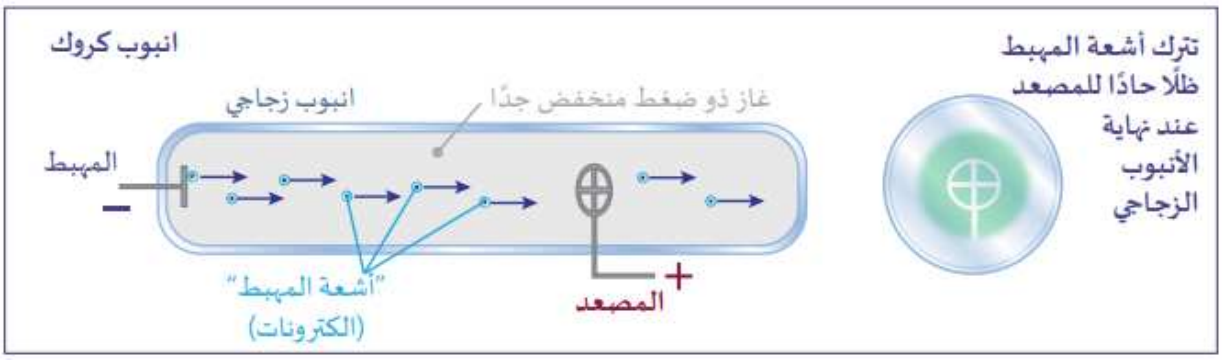
تمرين: اختبار2021:

2- تم تسريع الكترون فاكتسب طاقة حركية مقدارها $9 \times 10^{-18}\ J$ احسب طول موجة دي برولي له.

$(m = 9.11 \times 10^{-31}\ Kg$

Mr. YAHYA. R 66630805

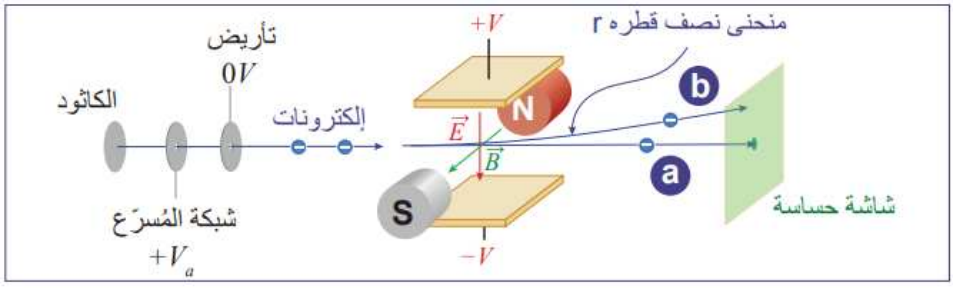
أشعة المهبط (الكاثود) واكتشاف الإلكترون:



أجرى علماء مختلفون من 1857 إلى 1897 تجارب لتحليل أشعة المهبط. أثبتت تجربة ج.ج. طومسون أن أشعة المهبط تتكون من جسيمات سالبة الشحنة. جمعت نتائج هذه التجارب في الجدول التالي:

نتائج التجربة	هل هي خاصية موجية؟	هل هي خاصية جسيمية؟
تسخن أشعة المهبط الأجسام التي تصطدم بها	نعم، تسخن الموجات الكهرومغناطيسية الأجسام التي تصادفها أيضا.	نعم، تتحول الطاقة الحركية للجسيمات إلى طاقة حرارية عندما تتصادم.
تدور أشعة المهبط العجلات الدوارة	نعم، يمكن أن تدور الموجات الكهرومغناطيسية العجلات الدوارة	نعم، يمكن أن يتسبب حفظ الزخم في الجسيمات في جعل العجلة تدور.
تنحرف أشعة المهبط بواسطة المجالات المغناطيسية	لا، الموجات لا تنحرف.	نعم، يمكن أن تنحرف الجسيمات المشحونة بواسطة المجال المغناطيسي
يمكن أن تمر أشعة المهبط من خلال الرقائق المعدنية	نعم، يمكن أن تمر بعض الموجات الكهرومغناطيسية، من الرقائق المعدنية	نعم، يعتمد ذلك على سرعة الجسم وسماكة المعدن.

تجربة طومسون وحساب نسبة شحنة الالكترون لكتلته $\frac{e}{m}$:



أجرى طومسون تجربته على مرحلتين:

1- وضع في مسار الإلكترونات مجالين كهربائي ومغناطيسي متعامدين ولاحظ عند تساوي القوة الكهربائية والمغناطيسية أن الإلكترونات لن تعاني أي انحراف (ستسقط في منتصف الشاشة)

$$F_e = q.E$$

$$F_m = qvB \quad \Rightarrow \quad qE = qvB \quad \Rightarrow \quad v = \frac{E}{B}$$

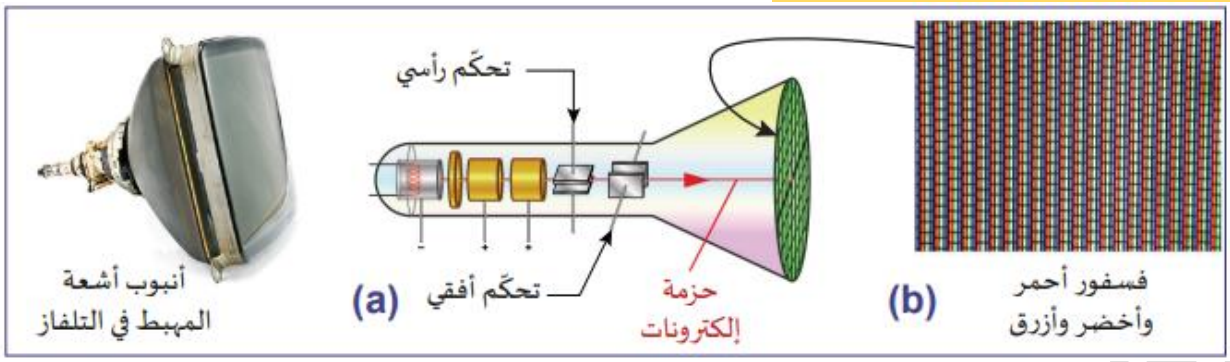
2- ألغى المجال الكهربائي فلاحظ انحراف حزمة الإلكترونات لتسير في مسار دائري، وعندها تكون القوة المغناطيسية هي قوة مركزية أي:

$$F_m = F_c \quad \Rightarrow \quad qvB = \frac{m.v^2}{r}$$

$$\Rightarrow \quad qBr = mv \quad or \quad \frac{q}{m} = \frac{v}{Br}$$

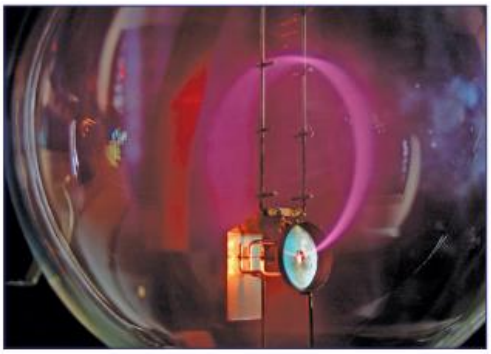
q: شحنة الإلكترون $(1.6 \times 10^{-19}\ C)$
m: كتلة الإلكترون $(9.1 \times 10^{-31} Kg)$
B: شدة المجال المغناطيسي (T)
v: السرعة (m/s)
r: نصف قطر المسار الدائري (m)
E: شدة المجال الكهربائي (N/C)

تطبيقات على أنابيب أشعة المهبط:



من تطبيقات أشعة المهبط هو شاشات التلفازوراسم الذبذبات.

حيث يتم التحكم بحزمة الإلكترونات من خلال المجالات الكهربائية والمغناطيسية لتسقط في المكان المحدد لها على الشاشة المغطاة بقطع فوسفورأحمروأخضروأزرق.



قياس نسبة الشحنة إلى الكتلة في مختبر المدرسة:

يتم قياس هذه النسبة $(\frac{e}{m})$ باستخدام أنبوب مهبط ضمن ملفين ينتجان مجالات مغناطيسية معروفة الشدة.

مثال (11):

في تجربة طومسون إذا كانت شدة المجال الكهربائي تساوي $(1.8 \times 10^5\ N/C)$، وشدة المجال المغناطيسي تساوي $(6 \times 10^{-3}\ T)$، فتحركت حزمة الإلكترونات دون انحراف. احسب سرعة كل الكترون في الحزمة.

تمرين: اختبار 2020

شعاع الكتروني يمردون انحراف بين مجالين متعامدين إذا كانت القوة المغناطيسية $9 \times 10^{-15}\ N$ فما مقدار القوة الكهربائية؟

a. $1.8 \times 10^{-15}\ N$
b. $2.2 \times 10^{20}\ N$
c. $5.4 \times 10^{-20}\ N$
d. $9 \times 10^{-15}\ N$

Mr. YAHYA. R 66630805

مثال (12):

أجريت تجربة مماثلة لما قام به طومسون، استخدمت فيها حزمة إلكترونات، فأدخلت مجالين الكهربائي شدته $(10.2 \times 10^5\ N/C)$، والمغناطيسي شدته $(10^{-2}T)$، فتحركت في خط مستقيم، وعند إيقاف المجال الكهربائي انحرفت الحزمة في مسار دائريا نصف قطره $(6\ cm)$، احسب نسبة شحنة الإلكترون إلى كتلته.

تمرين: اختبار 2017

جسيم مشحون يتم تسريعه بفرق جهد $150\ V$ ليدخل مجالا مغناطيسيا شدته $50\ mT$ فتحرك في مسار دائري نصف قطره $(9.8\ cm)$ ما نسبة الشحنة إلى الكتلة (q/m) لهذا الجسيم؟

$a.\ 1.2 \times 10^7\ C/Kg$
$b.\ 1.2 \times 10^{-7}\ C/Kg$
$c.\ 2.2 \times 10^7\ C/Kg$
$d.\ 2.2 \times 10^{-7}\ C/Kg$

تمرين: اختبار تجريبي 2018

دخل الكترون مجال مغناطيسي في أنبوب طومسون بسرعة $5 \times 10^5 m/s$ فانحرف بمسار نصف قطره $7 \times 10^{-3} m$ ما شدة المجال المغناطيسي؟

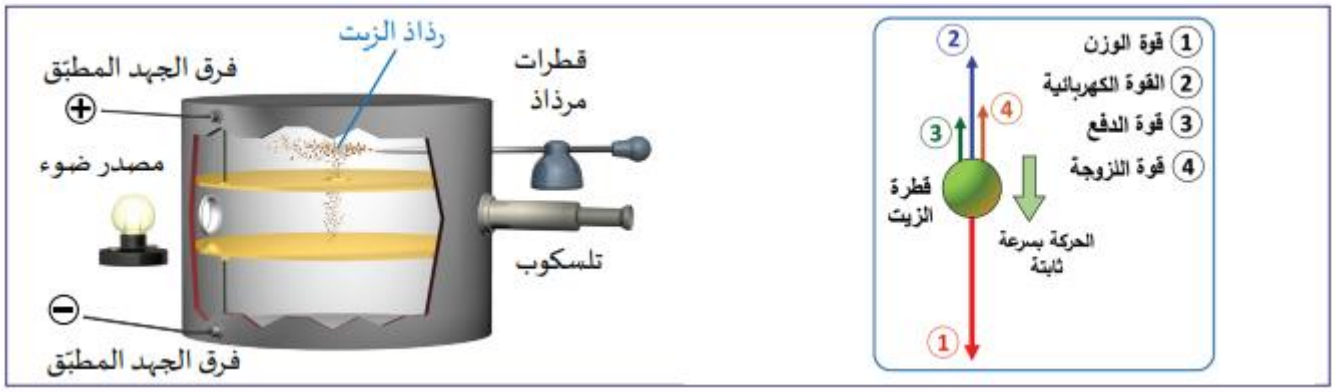
a. $6.04 \times 10^{-4}\ T$
b. $6.04 \times 10^{-6}\ T$
c. $4.06 \times 10^{-6}\ T$
d. $4.06 \times 10^{-4}\ T$

Mr. YAHYA. R 66630805

تجربة ميليكان وتكميم الشحنة:

ينص مبدأ تكميم الشحنة على أن الشحنة الموجودة على أي جسم يمكن أن تكون فقط مضاعفات صحيحة لشحنة أولية e هي شحنة الإلكترون ومقدارها $1.6 \times 10^{-19}\ C$.

وقد قام العالم ميليكان بإجراء مجموعة تجارب لتحديد قيمة هذه الشحنة الأولية كما هو موضح في الصورة أدناه:



تخضع قطرة الزيت أثناء تواجدها بين اللوحين إلى قوتين هما (وبإهمال قوة اللزوجة والدفع):

1- قوة الوزن: $F_w = mg$

2- القوة الكهربائية: $F_e = qE$

وتكون قطرة الذات في حالة اتزان عند تساوي هاتين القوتين:

$$F_w = F_e$$

$$mg = qE$$

$$\frac{4}{3}\pi r^3 . \rho . g = ne . \frac{\Delta V}{d}$$

$$\Delta V = \frac{4\pi r^3 \rho g d}{3ne} \quad or \quad \Delta V = \frac{mgd}{ne}$$

ΔV: فرق الجهد بين اللوحين (V)

e: شحنة الإلكترون $(1.6 \times 10^{-19}\ C)$

m: كتلة الإلكترون $(9.1 \times 10^{-31} Kg)$

d: البعد بين اللوحين (m)

n: عدد الإلكترونات

r: نصف قطر قطرة الزيت (m)

ρ: كثافة الزيت (Kg/m^3)

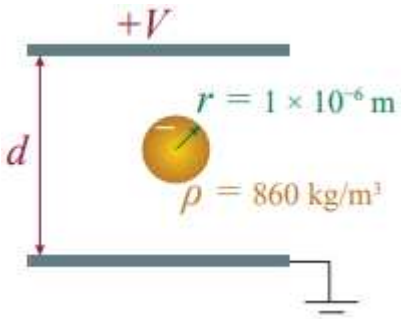
g: شدة مجال الجاذبية $(9.8\ N/Kg)$

مثال (13):

أجرى مجموعة طلبة تجربة مليكان، فاستخدموا صفيحتين مشحونتين، البعد بينهما $4\ cm$ وفرق الجهد بينهما $390\ V$ لكي تتزن قطرة زيت كتلتها تساوي $3.24 \times 10^{-16} Kg$ ، احسب عدد الإلكترونات الفائضة التي تحملها قطرة الزيت.

Mr. YAHYA. R 6663

مثال (14):

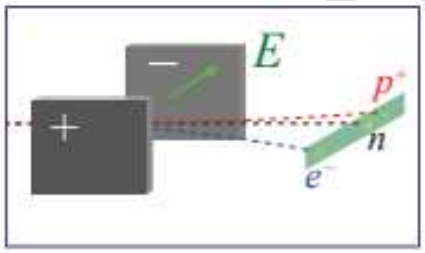


أجرى طالب تجربة ميليكان، فلاحظ أن قطرة الزيت التي نصف قطرها $10^{-6}\ m$، تحمل عددا فائضا من الإلكترونات مقداره 5 الكترونات. كم يجب أن يكون فرق الجهد الكهربائي المطبق بين طرفي لوحين تفصل بينهما مسافة $1\ cm$؟ علما أن كثافة الزيت هي $860\ {}^{Kg}/_{m^3}$

مثال (15):

يتحرك كلا من الكترون وبروتون ونيوترون بالسرعة نفسها ليمر كل منهم عبر مجال كهربائي مماثل ينحرف الإلكترون مسافة $1\ cm$ إلى اليمين. كم سيكون انحراف البروتون في هذه الحالة؟ علما أن:

$$m_p = 1.67 \times 10^{-27} Kg,\ \ m_e = 9.11 \times 10^{-31} Kg,\ \ \ q_e = 1.602 \times 10^{-19} C$$



Mr. YAHYA. R 66630805

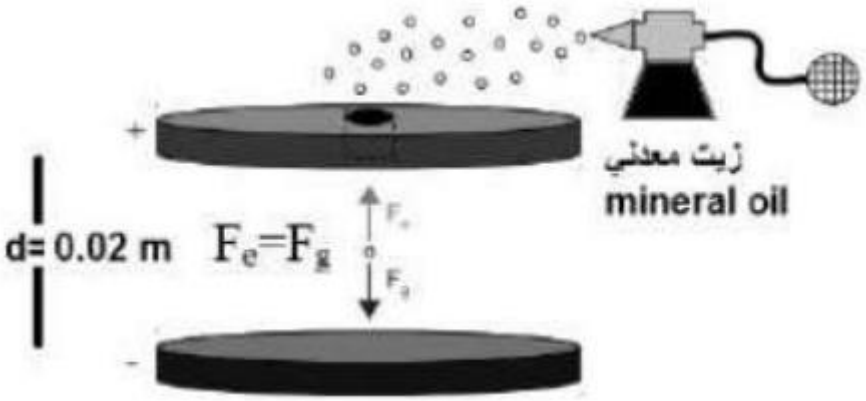
تمرين: اختبار 2017

قطرة زيت تحمل ثلاثة إلكترونات وتزن $5 \times 10^{-15}\ N$ ما شدة المجال الكهربائي اللازم لتعليقها؟
$(e = 1.6 \times 10^{-19} C)$

$a.\ 1 \times 10^{4}\ N/C$
$b.\ 1.9 \times 10^{4}\ N/C$
$c.\ 2.5 \times 10^{4}\ N/C$
$d.\ 3 \times 10^{4}\ N/C$

تمرين: اختبار تجريبي 2018

في جهاز ميليكان لوحظ أن قطرة زيت كتلتها $1.632 \times 10^{-15}\ Kg$ معلقة بين لوحين متوازيين يفصل بينهما مسافة قدرها $0.02\ m$ وفرق الجهد بينهما $340\ V$
احسب عدد الإلكترونات الفائضة على قطرة الزيت.
(لديك التالي: $g = 10\ N/Kg$ $e = 1.6 \times 10^{-19} C$)

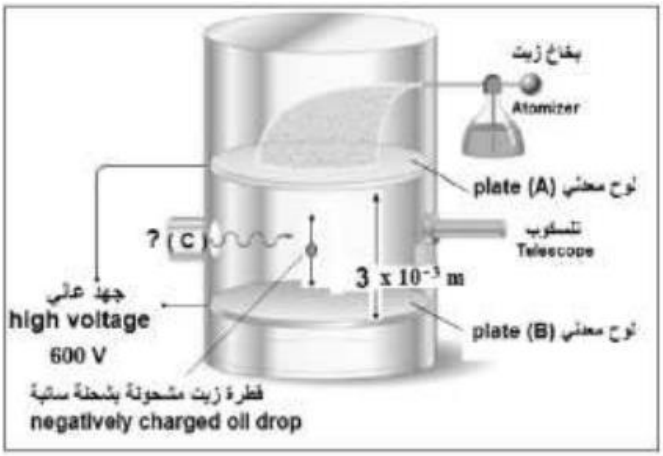


تمرين: اختبار تجريبي 2020

الشكل أدناه يوضح تجربة ميليكان على قطرة الزيت، ادرس الشكل جيدا ثم أجب عما يلي:

a. ما الغرض من التجربة؟
b. ما شحنة كل من اللوحين A وB؟
c. ماذا يمثل الجزء C في الشكل؟
d. ما القوتان اللتان تؤثران على قطرة الزيت المشحونة؟
e. من خلال البيانات الموجودة على الشكل أوحسب عدد الإلكترونات التي تحملها قطرة الزيت المشحونة علما أن القطرة في حالة اتزان وكتلتها تساوي: $1.63 \times 10^{-14}\ Kg$.

$(q_e = 1.6 \times 10^{-19}\ C\ , g = 9.8\ N/Kg)$



Mr. YAHYA. R 66630805

تقويم الدرس 6-2

6. تمتصّ الذرّة فوتونًا من الضوء تردده $10^{14}\ Hz$.
   a. ما طاقة هذا الفوتون؟
   b. ما الفرق في الطاقة بين مستوى طاقة الذرّة قبل أن تمتص الفوتون ومستوى طاقتها بعد أن امتصّت الفوتون؟
   c. إلى أي جزء من الطيف الكهرومغناطيسي ينتمي هذا الفوتون؟

8. أجريت تجربة لحساب النسبة $\frac{e}{m}$ للإلكترون، فاستخدمت صفيحتان تبعدان عن بعضهما $1.2\ cm$ وفرق الجهد بينهما $820V$ ، وطبق مجال مغناطيسي شدته $2.4 \times 10^{-3}\ T$ فانتقلت الإلكترونات دون انحراف. وعند إيقاف المجال الكهربائي انحرفت حزمة الإلكترونات في مسار دائري نصف قطره $7\ cm$. أحسب: سرعة الإلكترون، والنسبة $\frac{e}{m}$

Mr. YAHYA. R 66630805

مراجعة الوحدة

23. لماذا كان العلماء يتجادلون حول طبيعة أشعة المهبط (الكاثود)؟

24. كيف استطاع جي جي طومسون أن يستنتج أن شحنة أشعة الكاثود سالبة؟ لماذا لم يتوصل العلماء الآخرون قبل طومسون إلى النتيجة نفسها؟

31. تسخن أشعة الكاثود الجسم الذي تسقط عليه.

a. اشرح كيف تدعم هذه الملاحظة الرأي الذي يؤكّد أن أشعة الكاثود هي موجات.

b. اشرح كيف تدعم هذه الملاحظة الرأي الذي يؤكّد أن أشعة الكاثود تتكون من جسيمات.

32. أشعة الكاثود تنحرف تحت تأثير مجال مغناطيسي. فهل تثبت هذه الملاحظة أن أشعة الكاثود تتكون من جسيمات أو موجات؟ اشرح إجابتك.

Mr. YAHYA. R 66630805

33. الطول الموجي للضوء الأخضر $(\lambda = 500\,nm\ (5.0 \times 10^{-7}m)$ في الفراغ.

a. ما طاقة فوتون واحد من الضوء الأخضر؟ عبّر عن ذلك بوحدة الجول ثم بالإلكترون فولت.

b. ما زخم الإلكترون الذي له الطول الموجي نفسه لفوتون الضوء الأخضر؟

c. اقسم إجابتك في الجزء (b) على كتلة الإلكترون ($m_e = 9.1 \times 10^{-31}kg$). ماذا تمثل هذه النسبة؟

d. قارن إجابتك في الجزء (c) بسرعة الضوء في الفراغ $(c = 3 \times 10^{8}m/s)$.

Mr. YAHYA. R 66630805