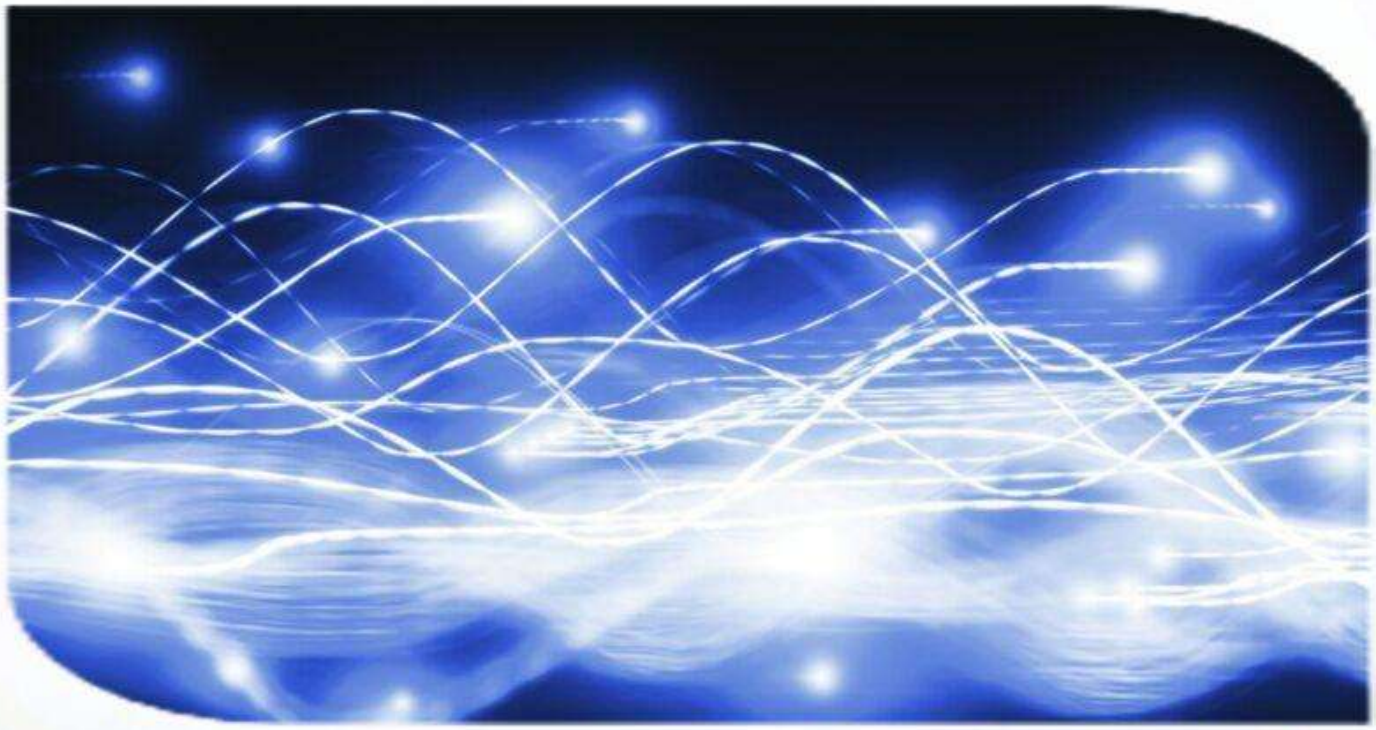
الفيزياء

الثاني عشر



نظرية الكم

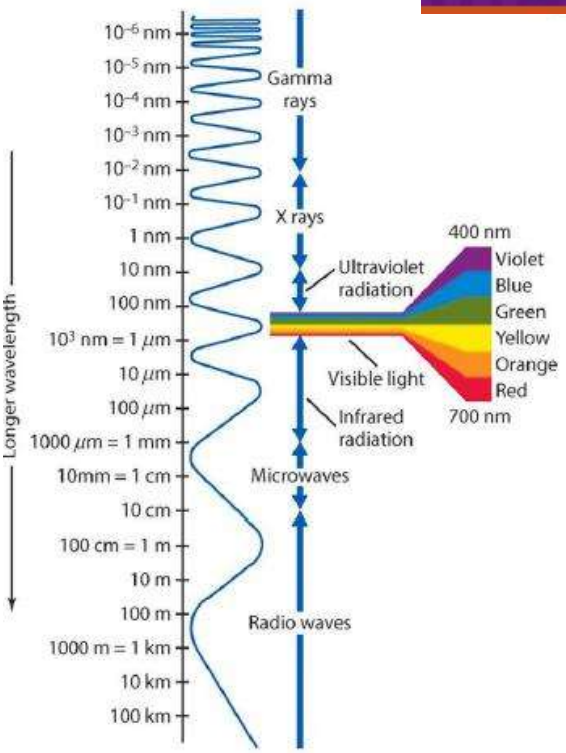
الأستاذ : محمد عاطف

050 - 3136836

نظرية الكم

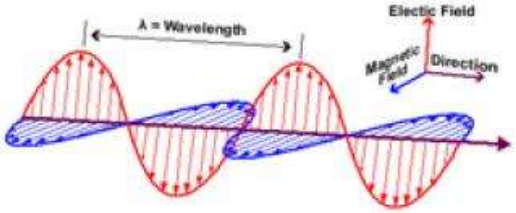
النموذج الجسيمي للموجات

مقدمة



الطيف الكهرومغناطيسي

- **نظرية الموجات الكهرومغناطيسية لماكسويل**: الضوء عبارة عن موجات كهرومغناطيسية وليس جسيمات.



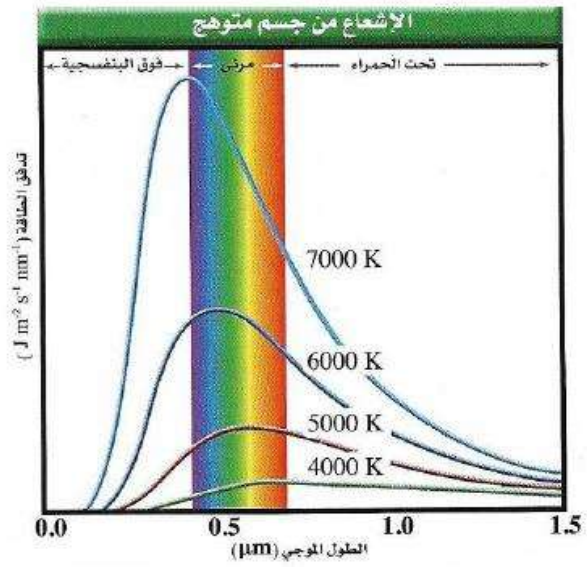
- **استطاعت نظرية ماكسويل تفسير الظواهر التالية:**
  التداخل – الحيود – الاستقطاب
- **فشلت نظرية ماكسويل في تفسيرالظواهر التالية:**
  - **انبعاث الاشعاع الكهرومغناطيسي** : ومن ضمنها تفسير الطيف المنبعث من جسم ساخن.
  - **امتصاص الاشعاع الكهرومغناطيسي**: ومن ضمنها تفسير تفريغ الجسيمات المشحونة كهربائي من سطح فلزي عند سقوط الأشعة فوق البنفسجية UV عليها. (والتي سوف نتناولها في ظاهرة الانبعاث الكهروضوئي)



الشكل 1 يمثل لون وهج المصباح على درجة حرارة الفتيلة

الاشعاع من الأجسام المتوهجة

- **أمثلة على اشعاع الأجسام الساخنة:**
  1- فتيلة المصباح المتوهجة 2- الاشعاع المنبعث من الشمس.
- **الرسم البياني لطيف الانبعاث لجسم متوهج عند درجات حرارة مختلفة**



1. تبعث الفتيلة المتوهجة عند درجة حرارة معينة اشعاعا على مدى من الأطوال الموجية في نفس الوقت ويشمل ذلك الطيف المرئي و الغير مرئي مثل الأشعة تحت الحمراء والأشعة فوق البنفسجية ويسمى ذلك بطيف الانبعاث.
2. عند زيادة درجة حرارة فتيلة مصباح متوهج فان الطول الموجي الذي تنبعث عنده الكمية العظمى من الطاقة يقل ، وبالتالي يتغير لونها من الأحمر الى البرتقالي فالأصفر وأخيرا الأبيض (لأنها تشع جميع ألوان الطيف المرئي).
3. عند زيادة درجة الحرارة تزداد الطاقة المنبعثة من الجسم في كل ثانية على شكل موجات كهرومغناطيسية (القدرة الكلية المنبعثة) حيث وجد أن (القدرة المنبعثة α T^4) . حيث T درجة الحرارة المطلقة (كلفن). أي أن **الأجسام الأسخن تشع قدرة أكبر بالمقارنة بالأجسام الأبرد.**

MR: Mohamed atef 0503136836

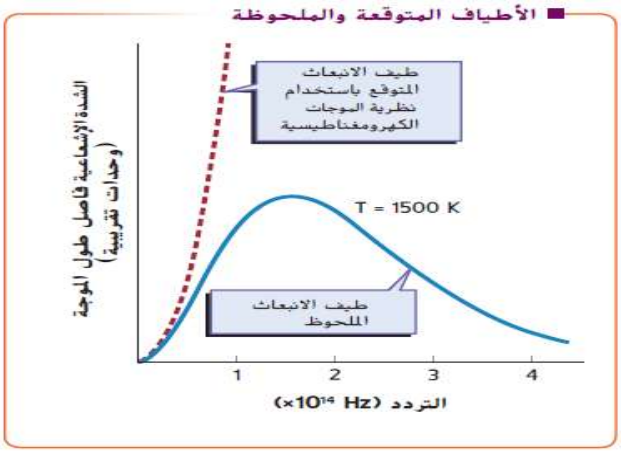
ملاحظة1: تعتمد الألوان التي تراها العين من الأجسام المتوهجة على الشدة النسبية للموجات الكهرومغناطيسية المنبعثة ذات الترددات المختلفة وعلى حساسية العينين لهذه الموجات.

ملاحظة2: لم تستطع نظرية ماكسويل تفسير شكل الطيف الموضح بالرسم (طيف الانبعاث). وقد استطاع بلانك تفسير شكل الطيف باستخدام نظريته المشهورة واستطاع من خلال نتائج تجاربه الحصول على منحنى مطابق.

سؤال: بالرجوع للرسم البياني بين الطول الموجي وشدة الاشعاع المنبعث لجسم متوهج. وضح أثر زيادة درجة الحرارة على كل من

أ- **الطول الموجي للطاقة العظمى المنبعثة.** (يقل)

ب- **شدة الاشعاع للطاقة العظمى المنبعثة.** (تزداد)



نظرية ماكس بلانك

- **فروض ماكس بلانك:**

1- الذرات غير قادرة على تغيير طاقتها بشكل مستمر.

2- طاقة اهتزاز الذرات في الجسم الصلب لها ترددات محددة فقط. وتساوي:

$$E=nhf \quad (n=0,1,2,3,....)$$

أي أن: طاقة الذرة المهتزة تساوي حاصل ضرب عدد صحيح في ثابت بلانك وفي تردد الاهتزاز.

حيث أن ثابت بلانك $h=6.63\times10^{-34}\ J/HZ$

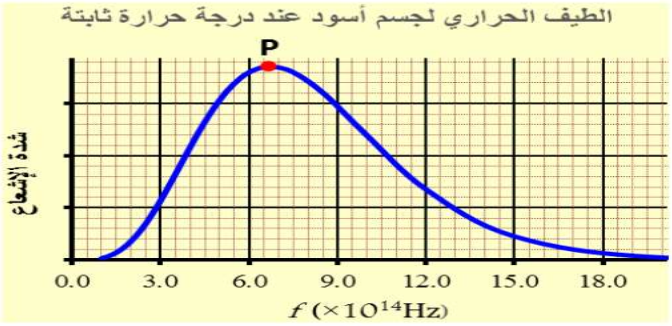
3- الطاقة مكماة، أي أنها توجد على شكل حزم أو كميات معينة.

$$E=0,\ hf\ ,\ 2hf\ ,\ 3hf\ ,... \qquad (n=0,1,2,....)$$

4- الذرة المهتزة تشع موجات كهرومغناطيسية فقط عندما تتغير طاقة اهتزازها من حالة لأخرى، على عكس توقع ماكسويل والذي يرى بأن الذرة المهتزة تشع موجات كهرومغناطيسية بشكل دائم ومستمر. كما وأن والطاقة المنبعثة تساوي التغير في طاقة اهتزاز الذرة.

$$\Delta E=E_2-E_1$$

يُظهر الرسم البياني المجاور شدة الإشعاع الحراري المنبعث من جسم أسود عند الترددات المختلفة للطيف الكهرومغناطيسي المنبعث عنه.



فسر ماذا يحدث لترددات الطيف الكهرومغناطيسي المنبعث إذا قلّت درجة حرارة الجسم الأسود ؟

.....

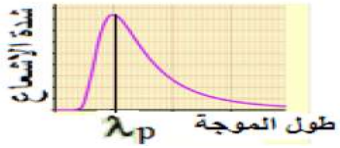
.....

.....

ما الذي تدل عليه زيادة المساحة أسفل منحنى (شدة الاشعاع — الطول الموجي) لجسم أسود؟

- ☐ درجة حرارة الجسم تقل وتزداد λ_p
- ☐ درجة حرارة الجسم تقل وتقل λ_p
- ☐ درجة حرارة الجسم تزداد وتزداد λ_p
- ☐ درجة حرارة الجسم تزداد وتقل λ_p

الشكل يمثل شدة الاشعاع الصادر عن جسم أسود مع طول موجته عند لحظة معينة ، إذا استمر تسخين الجسم الأسود، ما الذي يحدث لكل من المساحة تحت المنحنى و طول موجة القمة (λp)؟



- ☐ تزداد كل من المساحة و λp
- ☐ تقل كل من المساحة و λp
- ☐ تزداد المساحة وتقل λp
- ☐ تقل المساحة و تزداد λp

MR: Mohamed atef 0503136836

التأثير الكهروضوئي (الانبعاث الكهروضوئي)

- **ظاهرة التأثير (الانبعاث) الكهروضوئي:** ظاهرة انبعاث الكترونات من سطوح الفلزات عند تعرضها لاشعاع كهرومغناطيسي ذو تردد مناسب.

- **الصعوبات التي واجهت النظرية الموجية لماكسويل:**

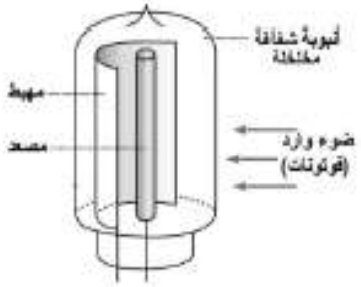
لم تستطع النظرية الموجية لماكسويل تفسير الظواهر التالية:

1- عند سقوط الأشعة فوق البنفسجية على لوح زنك مشحون بشحنة سالبة ، فانه يفقد شحنته، ولا يفقدها عندما يسقط عليه ضوءا مرئيا.
2- عند سقوط الأشعة فوق البنفسجية أو الضوء المرئي على لوح زنك مشحون بشحنة موجبة فانه يظل مشحونا دون أن يفقد شحنته.



الخلية الكهروضوئية

- **الخلية الكهروضوئية** : أداة تستخدم لدراسة ظاهرة الانبعاث الكهروضوئي.





- **تركيب الخلية الكهروضوئية:**

1- **قطبين كهربائيين فلزيين (المصعد والمهبط).**
أ- **المهبط (الكاثود):** القطب الأكبر ويتكون من صفيحة مقعرة مطلية بمادة السيزيوم أو أي فلز قلوي آخر.
ب- **المصعد (الأنود) :** القطب الأصغر ويتكون من سلك رفيع وذلك لكي لا يحجب الاشعاع الساقط على المهبط.
2- **أنبوب مفرغ من الهواء مصنوع من مادة الكوارتز.**

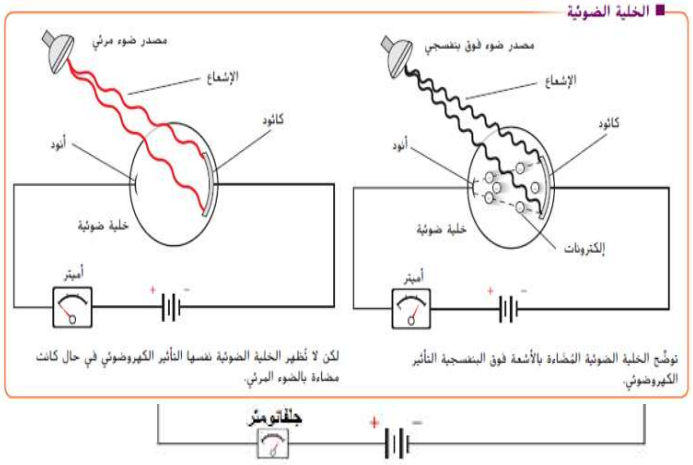
علل لما يأتي:

أ- تفريغ الهواء في الخلية الكهروضوئية.
1- لمنع تأكسد سطحي الفلزين.
2- لمنع الالكترونات من التباطؤ والتوقف نتيجة تصادمها مع جزيئات الهواء.

ب- استخدام أنبوب مصنوع من الكوارتز في الخلية الكروضوئية.
وذلك للسماح للأطوال الموجية والأشعة فوق البنفسجية بالنفاذ من خلاله، لأن الزجاج العادي يمتص الأشعة فوق البنفسجية.

ج- يصنع المصعد (القطب الأصغر) من سلك رفيع جدا.
وذلك يسمح لمعظم الأشعة بالنفاذ ولا يحجب الا كمية صغيرة فقط من الأشعاع.

MR: Mohamed atef 0503136836



- **كيفية عمل الخلية الكهروضوئية:**

1- عندما لا يسقط اشعاع كهرومغناطيسي على المهبط في الخلية الكهروضوئية لا يسري تيار كهربي (لأن الدائرة الكهربائية مفتوحة).
2- عندما يسقط اشعاع كهرومغناطيسي ذو تردد معين (f) بحيث يكون أكبر من أو يساوي تردد العتبة (f_o) فانه تتحرر الالكترونات من المهبط وتتدفق باتجاه المصعد ، فيمر تيار كهربائي في الدائرة يتم قياسه بواسطة الجلفانومتر.

ملاحظات هامة:

1- يتغير تردد العتبة بتغير نوع مادة الفلز في المهبط.
2- لا تعتمد تحرير الالكترونات (مرور التيار) على شدة الضوء الساقط ولكن يعتمد على تردده (أكبر من أو يساوي تردد العتبة).
3- زيادة شدة الاشعاع يؤدي لزيادة تدفق الالكترونات الضوئية أي زيادة شدة التيار بشرط أن يكون تردد الضوء أكبر من تردد العتبة.

علل لما يلي:

1- **تتحرر الالكترونات من السيزيوم عند استخدام جميع الألوان في الطيف المرئي عدا الأحمر.**
لأن تردد اللون الأحمر أقل من تردد العتبة للسيزيوم وبالتالي فانه لا يمتلك الطاقة الكافية لتحرير الالكترونات من الفلز.
على عكس بقية ألوان الطيف المرئي والتي تمتلك ترددات أكبر من تردد العتبة للسيزيوم.

2- **لا تتحرر الالكترونات من سطح الزنك عند تعريضها لأي طول موجي للضوء المرئي.**
لأن نطاق ترددات الطيف المرئي أقل من تردد العتبة لفلز الزنك، لذا فان طاقتها غير كافية لتحرير الالكترونات من الزنك.

3- **عند سقوط الأشعة فوق البنفسجية على لوح زنك مشحون بشحنة سالبة ، فانه يفقد شحنته.**
لأن تردد الأشعة الفوق بنفسجية أكبر من تردد العتبة للزنك وبالتالي فان لديها الطاقة الكافية لتحرير الالكترونات(سالبة الشحنة) من سطح الفلز ، فينشحن اللوح بشحنات موجبة لتتعادل مع الشحنات السالبة الموجودة عليه أصلا، مما يؤدي لفقدان شحنته.

4- **عند سقوط الأشعة فوق البنفسجية أو الضوء المرئي على لوح زنك مشحون بشحنة موجبة فانه يظل مشحونا دون أن يفقد شحنته.**
لأن سقوط الأشعة فوق البنفسجية تعمل على تحرير الالكترونات من لوح الزنك بفعل ظاهرة الانبعاث الكهروضوئي (تردد الأشعة فوق البنفسجية أكبر من تردد العتبة للزنك) ، فينشحن اللوح بشحنات موجبة تضاف الى الشحنات الموجبة الموجودة عليه أصلا.

- **تفسير نظرية الموجات الكهرومغناطيسية لماكسويل لظاهرة الانبعاث الكهروضوئي.**

فشلت نظرية الموجات الكهرومغناطيسية لماكسويل في تفسير ظاهرة الانبعاث الكهروضوئي، وقد فسرها كالآتي:

1. عند سقوط اشعاع كهرومغناطيسي على سطح فلز ، يعمل المجال الكهربي على تحرير الالكترونات وتسريعها.
2. بزيادة شدة الاشعاع الكهرومغناطيسي يزداد شدة المجال الكهربي ويزداد تحرر الالكترونات وتسريعها.
3. عندما تكون شدة الاشعاع قليلة (ضوء خافت) ، فان الالكترونات في الفلز تحتاج فترة طويلة لامتصاص الطاقة وذلك لاكتساب طاقة كافية لتحريرها.

MR: Mohamed atef 0503136836

- **تفسير نظرية اينشتاين لظاهرة الانبعاث الكهروضوئي**

1. تتركز الطاقة على شكل كمات تسمى **فوتونات** ، طاقتها ترتبط بترددها من خلال العلاقة ($E=hf$)
2. ترتبط الالكترونات الحرة بالذرات بقوة معينة تختلف من فلز لآخر. ولتحريرها يجب تزويدها بحد أدنى من الطاقة ($E_o=hf_o$)
3. اذا كان تردد الفوتون في الاشعاع الساقط أقل من تردد العتبة f_o فانه ليس لديه الطاقة الكافية لتحرير الالكترونات.
4. كل فوتون يتفاعل مع الكترون واحد ، وبالتالي لا يمكن تجميع الطاقة الغير كافية لعدة فوتونات لتحرير الكترون.
5. اذا كان تردد الفوتون f في الاشعاع الساقط أكبر من تردد العتبة f_o ، فان جزءا من الطاقة يستخدم لتحرير الالكترون (وتسمى دالة (اقتران) الشغل ويرمز لها بالرمز W أو Φ) بينما تتحول الطاقة الزائدة الى طاقة حركية للالكترون المتحرر.

$$KE = hf - W$$
$$KE = hf - hf_o$$

حيث أن :
h: ثابت بلانك ومقداره 6.626×10^{-34} J/Hz
f: تردد الفوتون الساقط (HZ)
f_o: تردد العتبة للفلز (HZ)
W: اقتران الشغل (Joule or eV)

6. الضوء ذو الشدة العالية يحتوي على فوتونات أكثر لكل ثانية ، وبالتالي يتسبب بتحرير عدد الكترونات ضوئية اكثر لكل ثانية اي تيار كهربائي أكبر (بشرط أن يكون تردد الضوء أكبر من تردد العتبة).

ملاحظة هامة: في الأنظمة ذات الحجم الذري نستخدم وحدة الالكترون. فولت (eV) لقياس الطاقة بدلا من الجول ، لأن وحدة الجول تعتبر وحدة طاقة كبيرة جدا للحجوم الذرية، حيث أن ($1eV= 1.6\times10^{-19}$ J)، وبناءا عليه تصبح طاقة الفوتون:

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

حيث أن :
E: طاقة الفوتون بوحدة الجول (J)
λ: الطول الموجي للفوتون بوحدة المتر (m)

$$E = \frac{1240}{\lambda}$$

حيث أن :
E: طاقة الفوتون بوحدة الالكترون. فولت (eV)
λ: الطول الموجي للفوتون بوحدة النانومتر (nm)

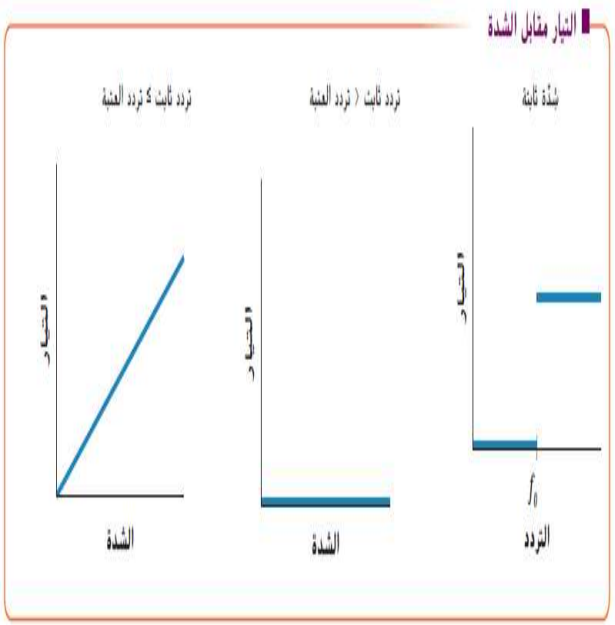
نظرية أينشتاين لتفسير ظاهرة التأثير الكهروضوئي :

1) الإشعاع عبارة عن سيل من الجسيمات (فوتونات) .
2) طاقة الفوتون الواحد تعتمد على التردد $E = hf$.
3) عدد الفوتونات يعتمد على شدة الضوء .
4) لكل فلز حد أدنى من الطاقة اللازمة لتحرير إلكتروناته تسمى اقتران الشغل (w) حيث $w = hf_o$
f_o : تردد العتبة للفلز (أقل تردد يُحرر الإلكترون) .
5) الإلكترون الواحد يمتص فوتون واحد شرط ($E \geq$).
- ($E < w$) أو ($f < f_o$) : لن تتحرر الإلكترونات أبداً .
- ($E = w$) أو ($f = f_o$) : تتحرر الإلكترونات دون طاقة حركية .
- ($E > w$) أو ($f > f_o$) : تتحرر الإلكترونات بطاقة حركية قصوى ($K.E_m$) تحسب من العلاقة :

$$K.E_m = E - w$$

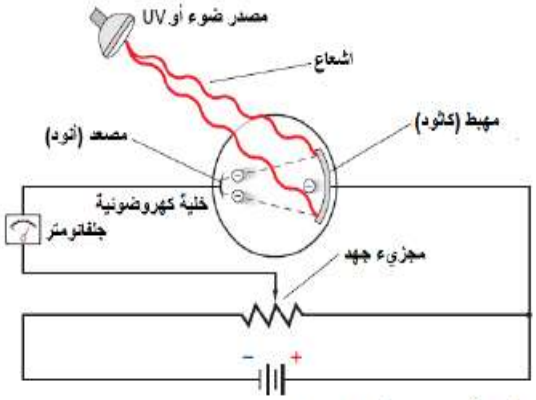
- لحساب السرعة نستعمل : $(K.E_m = \frac{1}{2}m_e v_m^2)$ $(m_e = 9.1\times10^{-31} Kg)$

مهم :
- (E) تعتمد على (f) أو (λ).
- ( ) و (f_o) يعتمدان على نوع الفلز فقط .
- ($K.E_m$) تعتمد على : 1) E (بزيادة E تزيد $K.E_m$)
2) w (بزيادة تقل $K.E_m$)
- $K.E_m \propto (f - f_o)$



MR: Mohamed atef 0503136836

اختبار نظرية أينشتاين



س: كيف يمكن قياس الطاقة الحركية للالكترونات المتحررة ؟

وذلك باستخدام الدائرة الكهربية الموضحة بالشكل والتي تتكون من خلية كهروضوئية جلفانومتر- مجزيء الجهد للتحكم في فرق الجهد المستخدم.

1- يتم توصيل الخلية الكهروضوئية بالبطارية بحيث يتصل مصعد الخلية بالقطب السالب للبطارية والمهبط بالقطب الموجب.
2- يتم تعريض مهبط الخلية لضوء (اشعاع) ذو تردد مناسب. فنلاحظ انحراف مؤشر الجلفانومتر وهو دليل مرور تيار كهربي.
3- يتم زيادة فرق الجهد المعاكس تدريجيا، فنلاحظ نقصان التيار المار في الدائرة بسبب نقصان عدد الالكترونات التي تصل للمصعد ، فتصل تلك التي لديها طاقة حركية (أو سرعة) كبيرة فقط.
4- نزيد فرق الجهد المعاكس حتى ينعدم التيار المار في الدائرة. ونعين فرق الجهد الذي أدى لانقطاع التيار (يسمى جهد الايقاف أو القطع V_0).

5- عند جهد الايقاف تكون الطاقة الحركية للالكترونات مساوية للشغل المبذول من المجال الكهربي لايقافها. أي أن:

$$KE = -qV_o = \frac{1}{2}mv^2$$

حيث أن:
KE: الطاقة الحركية العظمى للالكترون المتحرر (J)
q: شحنة الالكترون وتساوي -1.6×10^{-19} C
V_0: جهد الأيقاف أو القطع (J/C or V)
v: سرعة الالكترونات العظمى (m/s)

ملاحظات مهمة:

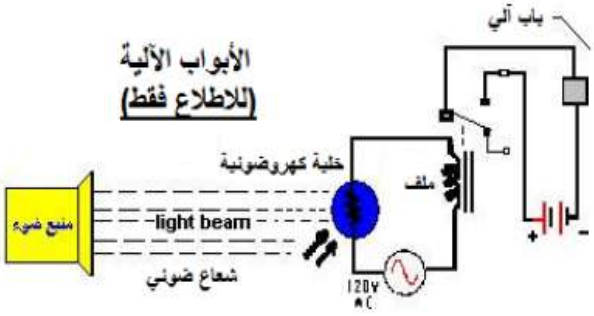
1- سرعة الالكترونات بعد تحررها تكون مختلفة ، بسبب تصادمها مع الذرات قبل خروجها، لذا تكون سرعة الكترونات الذرات القريبة من السطح أكبر من سرعة الكترونات الذرات في الطبقات السفلى.
2- عند جهد الايقاف أو القطع لا تستطيع أسرع الالكترونات الوصول الى المصعد ، لذا ينعدم التيار الكهربائي.

س: كيف يمكن قياس طاقة فوتون ضوئي عمليا؟

ج: عن طريق قياس الطاقة الحركية للالكترونات المتحررة من سطح فلز عند طولين موجيين مختلفين **أو** قياس الطاقة الحركية للالكترونات المتحررة من سطح فلز معلوم عند طول موجي معين.

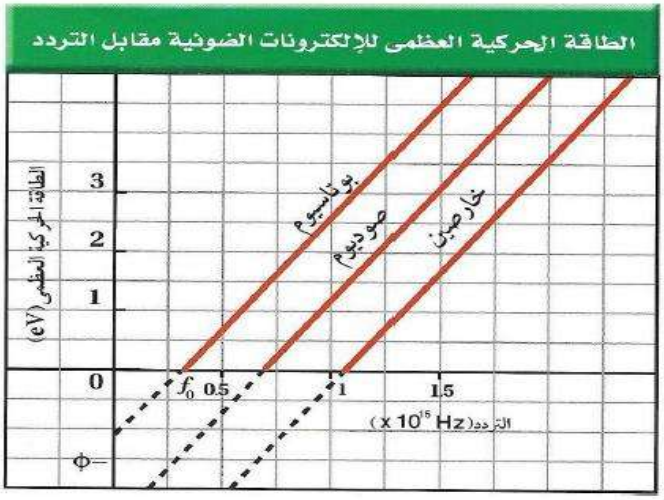
تطبيقات على ظاهرة الانبعاث الكهروضوئي

1- **الألواح الشمسية**: تحويل ضوء الشمس الى طاقة كهربائية.
2- **فاتحات باب المواقف (الكراجات)**: التحكم في فتح الأبواب آليا باستخدام دوائر كهربائية تحتوي على خلية كهروضوئية.
3- **التحكم في اضاءة مصابيح الشوارع واطفاءها (المفاتيح الالكترونية)**.



MR: Mohamed atef 0503136836

العلاقة البيانية بين الطاقة الحركية العظمى للالكترونات المتحررة وتردد الفوتونات الساقطة



- عندما يكون تردد الفوتون الساقط **أقل** من تردد العتبة **لا تتحرر** الكترونات أبدا.
- عندما يكون تردد الفوتون الساقط **مساويا** لتردد العتبة f_o، تكون طاقته كافية **لتحرير الالكترون فقط** ، دون تزويده بطاقة حركية.

- عندما يكون تردد الفوتون الساقط **أكبر** من تردد العتبة ، يكتسب الالكترون المتحرر **طاقة حركية** تزداد بزيادة تردده ، عندها يمكن تمثيل العلاقة بينهما بخط مستقيم كما هو مبين بالشكل.
- يمثل ميل الخط المستقيم في منحنى (الطاقة الحركية العظمى – التردد) ثابت بلانك h . أي أن:

$$h = \frac{\Delta KE}{\Delta F} = 6.63\times10^{-34}\ J/HZ$$

- يمثل نقطة تقاطع الخط المستقيم مع المحور الرأسي

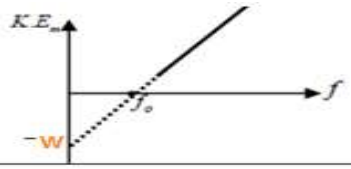
ملاحظات مهمة:

1- يمكن تعيين تردد العتبة f_o بيانيا من خلال نقطة تقاطع الخط المستقيم مع المحور X ، ويختلف باختلاف نوع الفلز .
2- يمكن حساب دالة الشغل (أو اقتران الشغل W) من خلال العلاقة $W=hf_o$, وتقع على نقطة تقاطع الخط المستقيم مع المحور Y

س: ا المقصود بكل من المصطلحات التالية:

1- **ظاهرة الانبعاث الكهروضوئي:** ظاهرة انبعاث الكترونات من سطوح الفلزات عند تعرضها لاشعاع كهرومغناطيسي ذو تردد مناسب.
2- **الخلية الكهروضوئية:** أداة تستخدم لدراسة ظاهرة الانبعاث الكهروضوئي.
3- **تردد العتبة:** أقل تردد للاشعاع يمكنه تحرير الكترونات من سطح الفلز.
4- **دالة (اقتران) الشغل لفلز:** أقل طاقة لازمة لتحرير الالكترون الأضعف ارتباطا بالذرة (المدار الأخير) دون تزويده بطاقة حركية.
5- **جهد الأيقاف (القطع):** أقل فرق جهد بين قطبي الخلية الكهروضوئية تنعدم عنده شدة التيار الكهروضوئي.
6- **الالكترون فولت (eV):** الطاقة التي يكتسبها الكترون يتسارع عبر فرق جهد مقداره فولت واحد.

– **التمثيل البياني لـ $(K.E_m)$ مع تردد الضوء الساقط (f) .**



$$\text{الميل} = \frac{\Delta K.E_m}{\Delta f} = h$$

تفسير نتائج التأثير الكهروضوئي بناءاً على نظرية أينشتاين

1) تحدث ظاهرة التأثير الكهروضوئي عند تردد أكبر أو يساوي تردد العتبة للمعدن .

لأن طاقة الفوتون تكون أكبر أو تساوي اقتران الشغل فتستطيع تحرير الإلكترون من سطح المعدن .

2) لا تحدث ظاهرة التأثير الكهروضوئي عند تردد ادنى من تردد العتبة مهما كانت شدة الضوء الساقط .

لأن طاقة الفوتون تكون أقل من اقتران الشغل فلا يستطيع تحرير الإلكترون. (طاقة الفوتون تعتمد على تردد الضوء وليس شدته)

3) طاقة حركة الإلكترونات المتحررة تعتمد على تردد الضوء .

لأن $(K.E_m)$ تعتمد على طاقة الفوتون وطاقة الفوتون تعتمد على تردد الضوء . $K.E_m = (E - w) = h(f - f_o)$

4) طاقة حركة الإلكترونات المتحررة لا تعتمد على شدة الضوء .

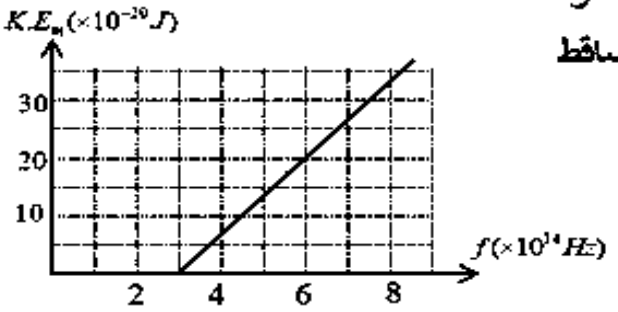
بزيادة شدة الضوء يزيد عدد الفوتونات الساقطة فيزيد عدد الإلكترونات المتحررة أما $(K.E_m)$ فتبقى ثابتة لأنها تعتمد على تردد الضوء واقتران الشغل فقط .

5) الانبعاث اللحظي للإلكترونات عندما يكون تردد الضوء مناسباً .

لأن الإلكترون يمتص فوتون واحد فقط فإما أن يتحرر فوراً إذا كانت $(f \geq f_o)$ أو لا يتحرر إذا كانت $(f < f_o)$.

MR: Mohamed atef 0503136836

يظهر الشكل المجاور الخط البياني للعلاقة بين طاقة الحركة القصوى للإلكترونات المنبعثة من سطح معدن وتردد الضوء الساقط عليه معتمداً على الشكل أجب عما يلي :

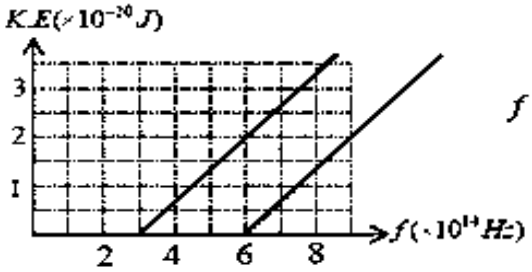


1) ما تردد العتبة للمعدن .

2) احسب الطول الموجي للضوء الذي يسبب انبعاث إلكترونات بطاقة حركية قصوى مقدارها $(20\times10^{-20}\ J)$.

3) إذا استبدل المعدن بآخر تردد العتبة له مثلي تردد العتبة للمعدن السابق فارسم على نفس الشكل الخط البياني للعلاقة بين طاقة الحركة القصوى وتردد الضوء الساقط , وبيّن ماذا يحدث لميل الخط مع تبرير الاجابة

الحل :



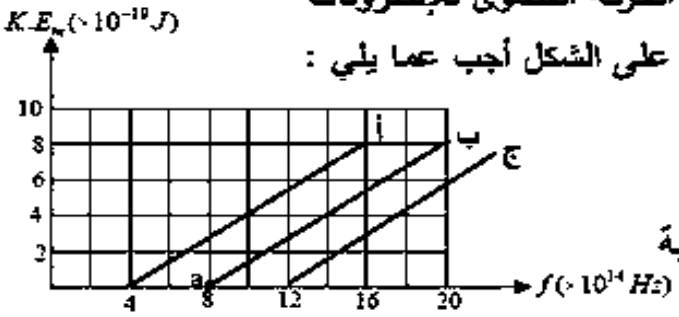
1) $f_o=3\times10^{14}\ Hz$.

2) من الشكل عندما تكون $K.E_m=20\times10^{-20}\ J$ يكون : $f=6\times10^{14}\ Hz$

$$\lambda=\frac{c}{f}=\frac{3\cdot10^8}{6\times10^{14}}=5\times10^{-7}\ m$$

3) ميل الخط لا يتغير لأنه يساوي قيمة ثابتة (ثابت بلانك) .

يظهر الشكل المجاور الخط البياني للعلاقة بين طاقة الحركة القصوى للإلكترونات المنبعثة من ثلاثة فلزات وتردد الضوء الساقط عليها , معتمداً على الشكل أجب عما يلي :



1) ما الذي تمثله النقطة (a) على الرسم ؟

2) احسب دالة الشغل للمعدن (ب) .

3) إذا سقط ضوء تردده $(7\times10^{14}\ Hz)$ فما مقدار الطاقة الحركية القصوى للالكترونات المتحررة من كل معدن .

4) إذا سقط ضوء بتردد معين بحيث يحرر الكترونات من المعادن الثلاث فأي الإلكترونات تمتلك طاقة حركية أكبر .

5) ما أقل تردد يلزم لتحرير إلكترون من جميع الفلزات (أ , ب , ج) ؟

الحل :

1) تردد العتبة للفلز (ب) .

2) من الشكل : $f_o=8\times10^{14}\ Hz$

$$\phi=hf_o=6.63\times10^{-34}\times8\times10^{14}=5.3\times10^{-19}\ J$$

3) لا تنبعث إلكترونات من (ب) و (ج) لأن $(f<f_o)$, ولكن تنبعث إلكترونات من (أ) حيث :

$$K.E_m=h(f-f_o)=6.63\times10^{-34}(7\times10^{14}-4\times10^{14})=2\times10^{-19}\ J$$

4) أ , لأن طاقة الحركة تزيد بنقصان دالة الشغل . $(K.E_m=E-\phi)$.

5) $12\times10^{14}\ Hz$

MR: Mohamed atef 0503136836

تأثير كومبتون

أوضح أينشتاين أن الفوتون جسيم عديم الكتلة له طاقة حركية KE ، بالاضافة أن له زخم (كمية تحرك) P ، وأن زخم الفوتون يساوي حاصل قسمة ثابت بلانك على الطول الموجي للفوتون.

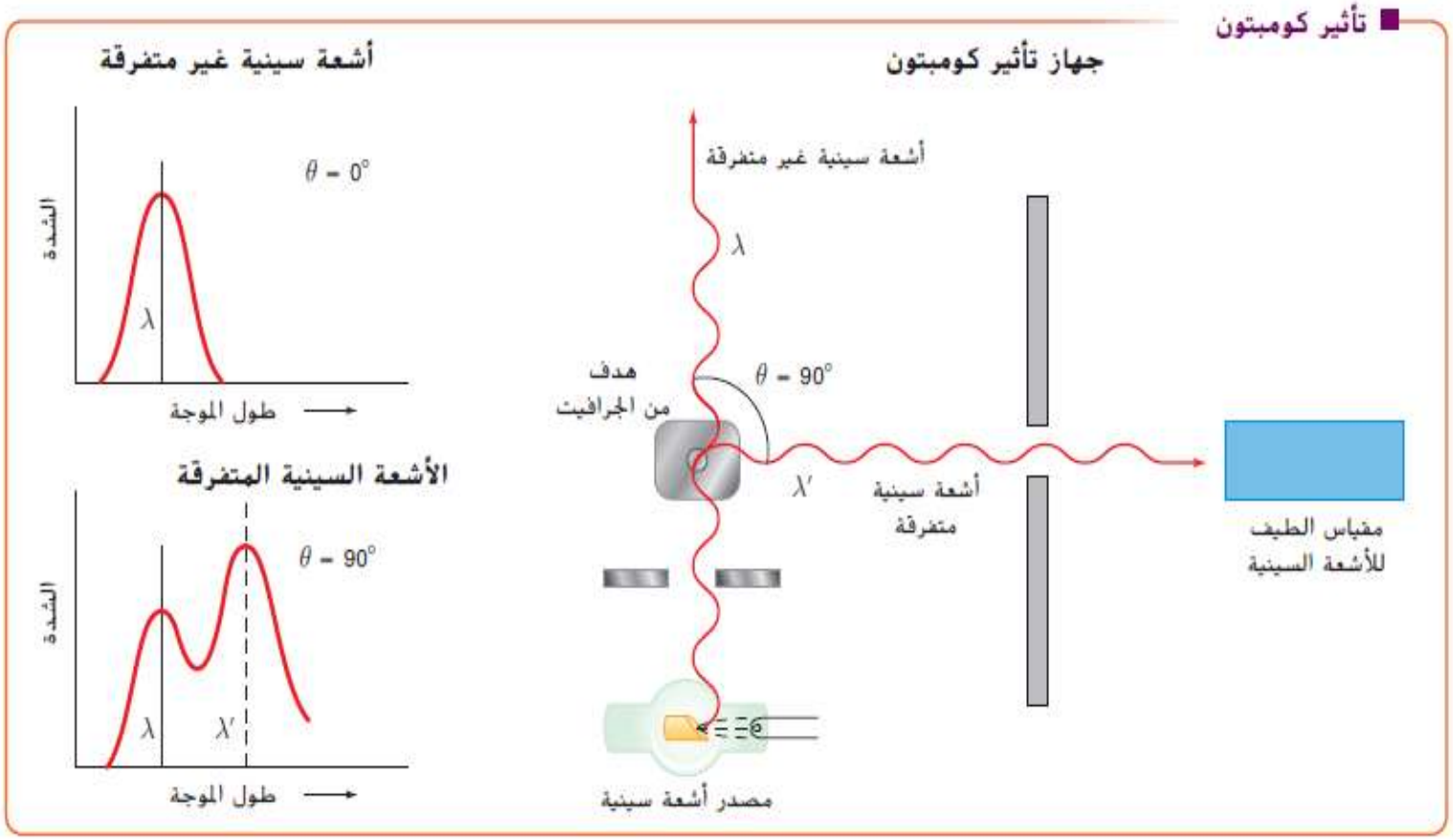
$$p = \frac{E}{C} = \frac{hf}{C} = \frac{h}{\lambda} \quad Kg.m/s$$

قام كومبتون بعدة تجارب لاثبات النموذج الجسيمي للضوء (أنه يتكون من فوتونات)، وأنه يحقق قانوني حفظ الزخم(كمية التحرك) وحفظ الطاقة. والذي سمي فيما بعد "تأثير كومبتون".

- **تأثير كومبتون:** ظاهرة تشتت الفوتون عند اصطدامه بمادة ، مما يسبب تقليل في طاقة الفوتون وزخمه.

تجربة كومبتون

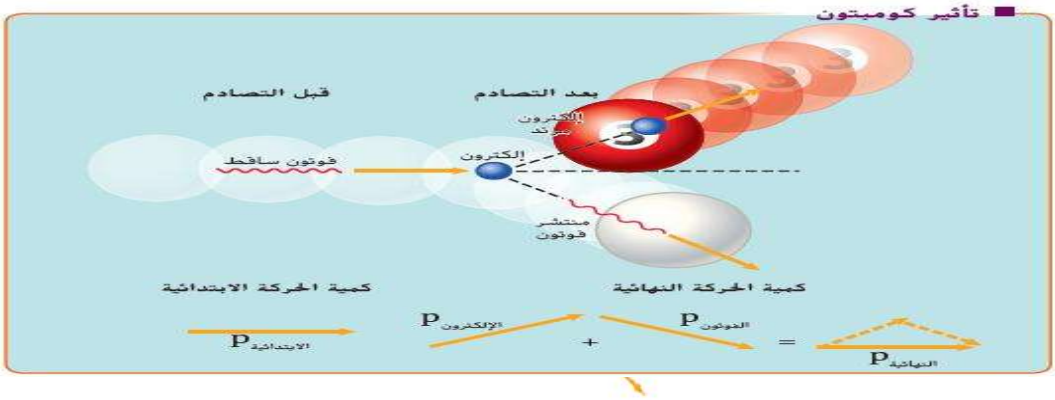
سلط كومبتون أشعة X معلومة الطول الموجي (λ)على هدف من الجرافيت، وقاس الطول الموجي لأشعة X المشتتة (λ'). كما هو موضح بالرسم.



MR: Mohamed atef 0503136836

ماذا لاحظ كومبتون من خلال التجربة؟

1 - بعض أشعة X المشتتة لم يتغير طولها الموجي.
2- بعض أشعة X المشتتة طولها الموجي أكبر من الطول الموجي لأشعة X الساقطة وبالتالي فان طاقتها وزخمها قلت تبعا للعلاقات التالية:



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

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

الاستنتاج:
الطاقة والزخم الذين اكتسبها الالكترونات المتحررة من الهدف يساويان الطاقة والزخم اللذين تفقدها الفوتونات. أي أن الفوتونات تحقق قانوني حفظ الزخم وحفظ الطاقة عندما تصطدم بجسيمات أخرى.

موجات المادة

يتضح من خلال ظاهرة التأثير الكهروضوئي وتأثير كومبتون أن للموجات الكهرومغناطيسية العديمة الكتلة زخما وطاقة كالجسيمات.

س: هل تسلك الجسيمات المادية سلوك الموجات؟

3- اقترح دي برولي أن الجسيمات المادية كالألكترونات والبروتونات لها خصائص موجية كالتداخل والحيود وغيرها.
4- أثبتت تجارب العالم تومسون والعالمان دافيسون وجيرمر أن الالكترونات تحيد عند تسليطها على بلورة رقيقة جدا ، وتكون نمط حيود مشابه لنمط الحيود الذي تكونه أشعة X التي لها نفس الطول الموجي. كما وتمكن العالمان من قياس الطول الموجي المصاحب للالكترون من خلال تعيين زاوية الحيود عن البلورة واستخدام المعادلات الرياضية.

موجات دي برولي

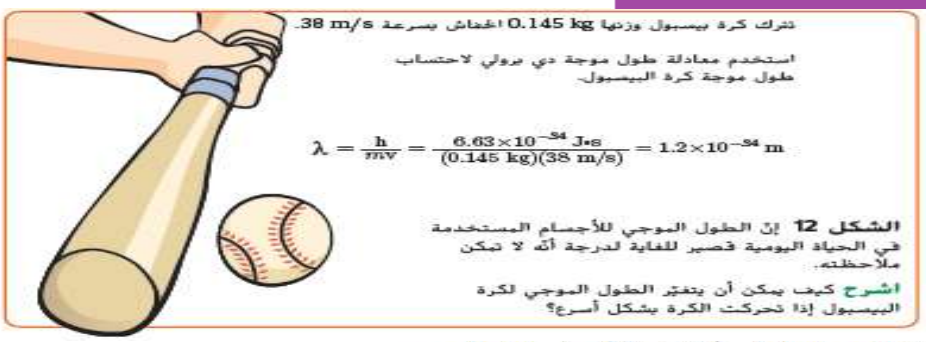
زخم الجسيم المادي المتحرك $p = mv$

زخم الموجات الكهرومغناطيسية (الفوتونات) $p = \frac{h}{\lambda}$

وبمساواة الطرفين

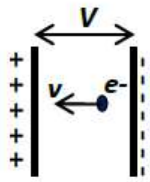
$$p = mv = \frac{h}{\lambda}$$

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



أي أن طول موجة دي برولي المصاحبة لجسيم متحرك تساوي حاصل قسمة ثابت بلانك على زخم الجسيم.

ملاحظة: يمكن ايجاد سرعة الكترون v يتسارع عبر فرق جهد معين V من خلال العلاقة:



$$\boxed{KE = \frac{1}{2}mv^2 = -qV}$$

MR: Mohamed atef 0503136836

الجسيمات والموجات

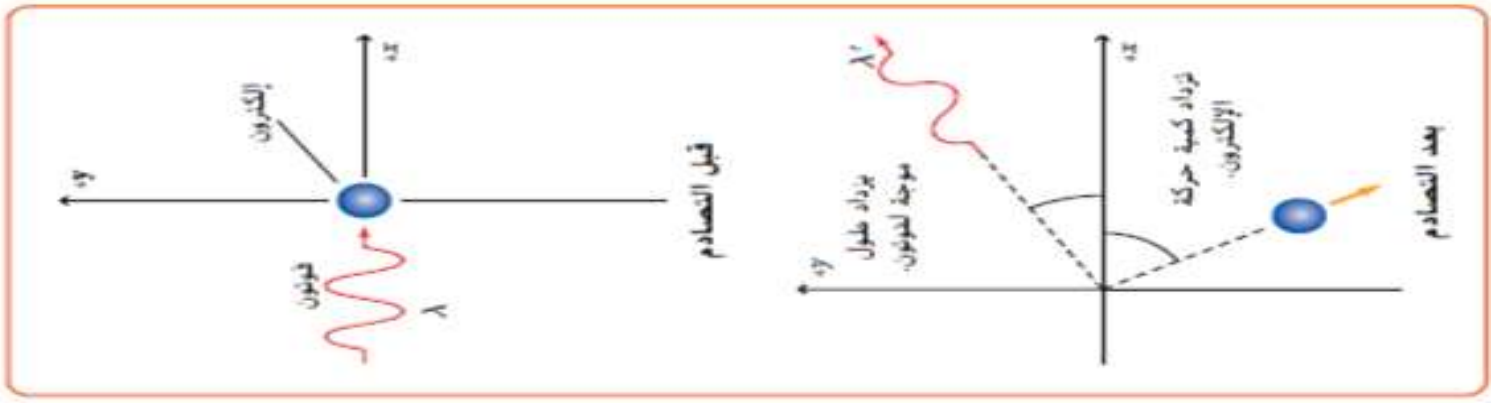
يتضح مما سبق أن النموذج الجسيمي للضوء قد نجح في تفسير بعض الظواهر كالتأثير الكهروضوئي وتأثير كومبتون وانبعاث وامتصاص الاشعاع الكهرومغناطيسي ، فيما نجح النموذج الموجي للضوء في تفسير ظواهر أخرى كالحيود والتداخل والاستقطاب.

ولذا فان النموذجان يلزمان معا لتفسير سلوك الضوء بصورة عامة.

تحديد الموقع والزخم لجسيم متحرك ومبدأ عدم التحديد لهيزنبرج

- لتحديد موقع جسيم صغير متحرك كالالكترون مثلا يجب أن نسقط عليه ضوءا ، ثم نقوم بتجميع وتحليل الضوء المنعكس عنه بواسطة جهاز أو العين البشرية.
- يصعب تحديد الموقع بدقة بسبب تأثير ظاهرة الحيود. ولتقليل ذلك نستخدم ضوء أو اشعاع ذو طول موجي قصير (تردد كبير وطاقة عالية).
- عند استخدام اشعاع ذو طول موجي صغير وطاقة عالية فان الجسيم يكتسب جزءا من الطاقة وبالتالي يتغير زخمه. أي أن كلما زادت الدقة في تحديد موقع الجسم زاد عدم التحديد في قياس زخمه ، والعكس صحيح. وهو ما نص عليه مبدأ عدم التحديد لهيزنبرج.

مبدأ عدم التحديد لهيزنبرج: لا يمكن قياس زخم جسيم وتحديد موقعه بدقة في الوقت نفسه.



الشكل 13 من الضروري حدوث اصطدام بين الفوتون والإلكترون لقياس موقع الإلكترون إذ يشتت هذا الاصطدام كلًا من الإلكترون والفوتون مما يؤدي إلى تغيير كمية تحرك كل منهما.

قارن بين الطول الموجي للفوتون قبل الاصطدام وبعده. إلام يشير هذا التغير في الطول الموجي في ما يتعلق بطاقة الفوتون؟

MR: mohamedatef
Tel: 0503136836

تدريبات متنوعة

تدريب1: احسب طاقة الفوتونات لاشعاع تردده 1×10^{15} HZ

أ- **بوحدة الجول** ب- **بوحدة** eV

.....
.....
.....
.....

تدريب2: احسب طاقة الفوتونات لاشعاع فوق بنفسجي طوله الموجي 348nm . أ- **بوحدة** eV ب- **بوحدة الجول**

.....
.....
.....
.....

تدريب3: اذا كان طول موجة العتبة للزنك 310nm . **فاحسب:**

أ- **تردد العتبة للزنك بوحدة** HZ ب- **اقتران الشغل بوحدة** eV

.....
.....
.....
.....

تدريب4: يسقط ضوء بنفسجي على مهبط خلية كهروضوئية من السيزيوم . فاذا كان طول موجة العتبة λ_o **لمهبط السيزيوم** 633nm.

أ- **احسب اقتران الشغل بوحدة** eV

ب- **اذا سقط ضوء بنفسجي طوله الموجي** 425nm **على السيزيوم فما طاقة الالكترونات المتحررة بوحدة** eV

.....
.....
.....
.....
.....

تدريب5: اذا كان اقتران الشغل للباريوم 2.48eV ، **فما أكبر طول موجي للضوء يستطيع تحرير الكترونات منه؟**

.....
.....
.....
.....

تدريب6: تنبعث الكترونات ضوئية من البوتاسيوم عندما يسقط عليه ضوء أزرق في حين تنبعث الكترونات ضوئية من التنجستن عندما يسقط عليه أشعة فوق بنفسجية. أي الفلزين: أ- له تردد عتبة أكبر ب- له اقتران شغل أكبر

.....
.....
.....
.....

MR: Mohamed atef 0503136836

تدريب7: يلزم جهد ايقاف مقداره 3.2 V لمنع سريان التيار الكهربائي في خلية كهروضوئية . احسب:

أ- الطاقة الحركية العظمى للالكترونات الضوئية المتحررة.

ب- السرعة العظمى للالكترونات المتحررة.

.....
.....
.....
.....
.....

تدريب8: اصطدم ضوء أخضر $\lambda=532nm$ بفلز ما ، فحرر الكترونات منه. اذا تم ايقاف هذه الالكترونات باستخدام فرق جهد 1.44V، فما مقدار اقتران الشغل للفلز بوحدة eV .

.....
.....
.....
.....

تدريب9: احسب زخم فوتون الضوء البنفسجي الذي طوله الموجي $4.8\times10^{2}nm$.

.....
.....
.....

تدريب10: تتدحرج كرة بولنج كتلتها 7kg بسرعة 8.5 m/s . أجب عما يلي:

أ- ما مقدار طول موجة دي برولي المصاحبة للكرة.

ب- لماذا لا تظهر كرة البولنج سلوك موجي ملاحظ؟

.....
.....
.....
.....

تدريب11: يتسارع الكترون في انبوبة أشعة مهبطية من السكون خلال فرق جهد 5×10^{3} V . أوجد ما يلي:

أ- الطاقة الحركية للالكترون. ب- سرعة الالكترون. ج-زخم الالكترون. د- الطول الموجي المصاحب للالكترون.

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

MR: mohamedatef
Tel: 0503136836

تدريب12: اذا علمت أن اقتران الشغل لفلز ما يساوي 2.2eV. فاحسب:

أ- تردد العتبة وطول موجة العتبة.

ب- الطاقة الحركية العظمى للالكترونات الضوئية التي تنبعث من سطح الفلز عند تعرضه لاشعاع تردده 1×10^{15} HZ

ج- جهد الايقاف.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

تدريب13: اذا علمت أن اقتران الشغل لكل من العناصر التالية هي:

(K=2.26 eV), (Zn=4.24 eV), (W= 4.49 eV)

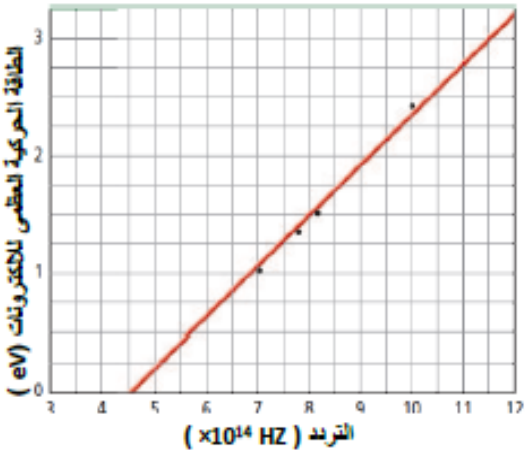
فأي منها تصدر عنه الكترونات ضوئية عندما يضاء باشعاع فوق بنفسجي طوله الموجي 280nm ؟

.....

.....

.....

تدريب14: الشكل البياني الموضح أدناه يبين العلاقة بين الطاقة الحركية العظمى للالكترونات الضوئية المنطلقة من فلز ما وتردد الاشعاع الساقط على الفلز. احسب:



أ- تردد العتبة. (أقل تردد للضوء يستطيع تحرير الالكترونات)

.....

ب- طول موجة العتبة. (أكبر طول موجي لضوء ساقط يستطيع تحرير الكترونات من سطح الفلز)

.....

.....

.....

ت- دالة اقتران الشغل.

.....

.....

.....

ث- احسب ثابت بلانك h من الرسم البياني.

.....

.....

.....

.....

ج- طاقة الفوتونات التي حررت الكترونات ضوئية بطاقة حركية عظمى مقدارها 3.5 eV

.....

.....

.....

.....

.....

MR: Mohamed atef 0503136836

د- سرعة الالكترون المتحرر اذا كان تردد الفوتون الساقط عليه 9×10^{14} HZ ؟

.....
.....
.....
.....

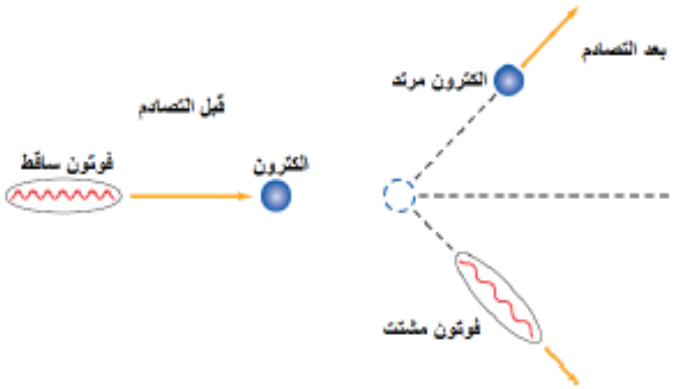
هـ- طول موجة دي برولي المصاحب للالكترون المتحرر في الفرع (د) .

.....
.....
.....

و- زخم فوتون الذي لو سقط على الكترون في ذرة الفلز لأكسبه طاقة حركية قدرها 1e.V .

.....
.....
.....

تدريب15: تأمل الشكل الموضح أدناه . ثم أجب عن الأسئلة التالية:



1- ماذا تسمى هذه الظاهرة؟

2- قارن بين الفوتون الساقط والفوتون المتشتت من حيث:

الطاقة- الزخم- الطول الموجي.

.....
.....
.....
.....
.....

تدريب 16: في تجربة كومبتون سقط فوتون طوله الموجي 1nm على الكترون ، لتخرج بطول موجي 4nm ، احسب :

1- زخم الفوتون الساقط والمشتت.

.....
.....
.....
.....

2- زخم الالكترون بعد اصطدام الفوتون به.

.....
.....
.....

3- سرعة الالكترون بعد التصادم.

.....
.....
.....

4- موجة دي برولي المصاحبة للالكترون.

.....
.....

MR: Mohamed atef 0503136836

تدريب 17: خلية كهروضوئية مهبطها من فلز له اقتران شغل يعادل 1.4e.V، أجب عن الأسئلة التالية:

1- **احسب تردد العتبة لمادة المهبط.**

.....

.....

2- **اذا سقط شعاع طوله الموجي 800nm على الكترون ذرة الفلز المذكور فاحسب ما يلي:**

أ- **زخم الفوتون.**

.....

.....

.....

ب- **طاقة الفوتون.**

.....

.....

.....

ت- **طاقة حركة الالكترون.**

.....

.....

ث- **سرعة الالكترون.**

.....

.....

.....

ج- **طول موجة دي برولي المصاحبة للالكترون.**

.....

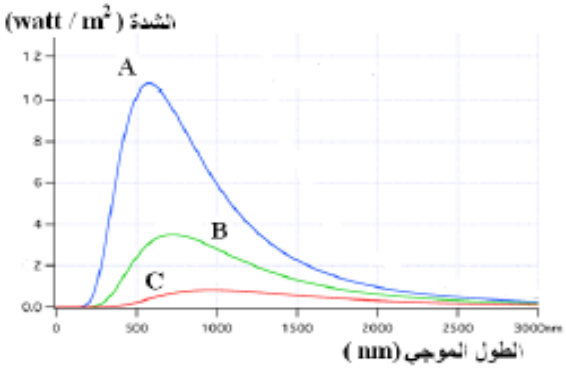
.....

ح- **جهد القطع اللازم لايقاف الالكترون.**

.....

.....

تدريب 18: الشكل التالي يبين العلاقة بين شدة الأشعاع المنبعث من جسم متوهج مع الطول الموجي لكل شعاع منبعث عند ثلاث درجات حرارة مختلفة هي A,B,C . تأمل الشكل ثم أجب عما يلي:



1- **ما أعلى شدة للاشعاع عند درجة حرارة (A) ؟**

.....

2- **ما الطول الموجي لأقصى شدة اشعاع عند درجة الحرارة (B) ؟**

.....

3- **هل يجب أن يكون لون توهج الجسم مطابقا للون اشعاع الأقصى شدة ؟ وضح ذلك ؟**

.....

.....

.....

.....

4- **أي درجات الحرارة هي الأعلى (A) أو (B) أو (C) ؟**

.....

.....

5- **ما الفرق بين شدة الأشعاع الذي طوله الموجي 1000nm ما بين درجة حرارة (A) و (C)؟**

.....

.....

MR: mohamedatef
Tel: 0503136836

نظرية الكم

مسائل تدريبية

النموذج الجسيمي للموجات

1. ما طاقة إلكترون بوحدة الجول إذا كانت طاقته 2.3 eV؟

$$(2.3\text{ eV})\left(\frac{1.60\times10^{-19}\text{ J}}{1\text{ eV}}\right)=3.7\times10^{-19}\text{ J}$$

2. إذا كانت سرعة إلكترون $6.2\times10^{6}\text{ m/s}$ فما طاقته بوحدة eV؟

$$KE=\frac{1}{2}mv^2$$
$$=\left(\frac{1}{2}\right)(9.11\times10^{-31}\text{ kg})(6.2\times10^{6}\text{ m/s})^2$$
$$=(1.75\times10^{-17}\text{ J})\left(\frac{1\text{ eV}}{1.60\times10^{-19}\text{ J}}\right)$$
$$=1.1\times10^{2}\text{ eV}$$

3. ما سرعة الإلكترون في المسألة 1؟

$$m=9.11\times10^{-31}\text{ kg},\ KE=\frac{1}{2}mv^2$$
$$v=\sqrt{\frac{2KE}{m}}=\sqrt{\frac{(2)(3.7\times10^{-19}\text{ J})}{9.11\times10^{-31}\text{ kg}}}$$
$$=9.0\times10^{5}\text{ m/s}$$

4. إذا كان جهد الإيقاف لخلية كهروضوئية 5.7 V فاحسب الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحررة بوحدة eV.

$$KE=-qV_0$$
$$=-(-1.60\times10^{-19}\text{ C})(5.7\text{ J/C})\left(\frac{1\text{ eV}}{1.60\times10^{-19}\text{ J}}\right)$$
$$=5.7\text{ eV}$$

5. يلزم جهد إيقاف مقداره 3.2 V لمنع سريان التيار الكهربائي في خلية ضوئية. احسب الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات الضوئية المتحررة بوحدة الجول.

$$KE=-qV_0$$
$$=-(-1.60\times10^{-19}\text{ C})(3.2\text{ J/C})$$
$$=5.1\times10^{-19}\text{ J}$$

صفحة 46

6. احسب تردد العتبة للزنك بوحدة Hz، واقتران الشغل بوحدة eV، إذا كان طول موجة العتبة للزنك 310 nm.

$$f_0=\frac{c}{\lambda_0}=\frac{3.00\times10^{8}\text{ m/s}}{310\times10^{-9}\text{ m}}=9.7\times10^{14}$$
$$W=hf_0$$
$$=(6.63\times10^{-34}\text{ J/Hz})(9.7\times10^{14}\text{ Hz})\left(\frac{1\text{ eV}}{1.60\times10^{-19}\text{ J}}\right)$$
$$=4.0\text{ eV}$$

7. ما مقدار الطاقة الحركية بوحدة eV للإلكترونات المتحررة من السيزيوم عندما يسقط عليه ضوء بنفسجي طوله الموجي 425 nm إذا كان اقتران الشغل له 1.96 eV؟

$$KE_{max}=\frac{1240\text{ eV.nm}}{\lambda}-hf_0$$
$$=\frac{1240\text{ eV.nm}}{425\text{ nm}}-1.96\text{ eV}$$
$$=0.960\text{ eV}$$

8. تتحرر من فلز إلكترونات بطاقات 3.5 eV عندما يضاء بإشعاع فوق بنفسجي طوله الموجي 193 nm. ما مقدار اقتران الشغل لهذا الفلز؟

$$KE=hf-hf_0$$
$$hf_0=hf-KE=\frac{hc}{\lambda}-KE$$
$$=\frac{1240\text{ eV.nm}}{\lambda}-KE$$
$$=\frac{1240\text{ eV.nm}}{193\text{ nm}}-3.5\text{ eV}$$
$$=2.9\text{ eV}$$

9. إذا كان اقتران الشغل لفلز 4.50 eV فما مقدار أكبر طول موجي للإشعاع الساقط عليه بحيث يكون قادرًا على تحرير إلكترونات منه؟

$$hf_0=4.50\text{ eV}$$

أي أن:

$$\frac{hc}{\lambda_0}=4.50\text{ eV}$$
$$\lambda_0=\frac{1240\text{ eV.nm}}{4.50\text{ eV}}=276\text{ nm}$$

MR: Mohamed atef 0503136836

النموذج الجسيمي للموجات

10. **التأثير الكهروضوئي** لماذا يكون الضوء ذو الشدة العالية والتردد المنخفض غير قادر على تحرير إلكترونات من فلز، في حين أن الضوء ذا الشدة المنخفضة والتردد العالي يستطيع ذلك؟ فسّر إجابتك.

الضوء شكل من أشكال الإشعاع الكهرومغناطيسي، وهو عديم الكتلة، ومع ذلك لديه طاقة حركية. وكل مرة يسقط فيها فوتون على سطح الفلز؛ فإنه يتفاعل فقط مع إلكترون واحد. والفوتون ذو التردد المنخفض لا يملك طاقة كافية لتحرير إلكترون من سطح الفلز، لأن الطاقة ترتبط مباشرة بالتردد وليس بالشدة، في حين الضوء ذو التردد العالي يستطيع تحقيق ذلك.

11. **تردد إشعاع الجسم الساخن وطاقته** كيف يتغير تردد الإشعاع المقابل لأعلى شدة عندما ترتفع درجة حرارة الجسم؟ وكيف تتغير الكمية الكلية للطاقة المنبعثة؟

إن كلًا من تردد قمة الشدة والطاقة الكلية المنبعثة يزدادان. إذ تزداد قمة الشدة بدلالة T، بينما تزداد الطاقة الكلية بدلالة T^4.

12. **التأثير الكهروضوئي وتأثير كومبتون** سلّط عالمٌ أشعةَ X على هدف، فانطلق إلكترون من الهدف دون أن ينبعث أي إشعاع آخر. وضّح ما إذا كان هذا الحدث ناتجًا عن التأثير الكهروضوئي أم تأثير كومبتون.

الحدث ناتج عن التأثير الكهروضوئي، وهو عبارة عن التقاط فوتون بواسطة إلكترون في المادة وانتقال طاقة الفوتون إلى الإلكترون.

13. **التأثير الكهروضوئي وتأثير كومبتون** ميّز بين التأثير الكهروضوئي وتأثير كومبتون.

تأثير كومبتون عبارة عن تشتت الفوتون بواسطة المادة، منتجًا فوتونًا له طاقة وزخم أقل، في حين التأثير الكهروضوئي عبارة عن انبعاث إلكترونات من الفلز عندما يسقط عليه إشعاع ذو طاقة كافية.

14. **التأثير الكهروضوئي** اصطدم ضوء أخضر $\lambda=532\ nm$ بفلز ما، فحرر إلكترونات منه. إذا تم إيقاف هذه الإلكترونات باستخدام فرق جهد 1.44 V، فما مقدار اقتران الشغل للفلز بوحدة eV؟

$$E_{\text{الضوء الأخضر}} = \frac{hc}{\lambda} = \frac{1240\ \text{eV.nm}}{532\ \text{nm}} = 2.33\ \text{eV}$$

$$KE_{\text{الإلكترون المتحرر}} = -qV$$

$$= -(-1.60\times10^{-19}\text{C})(1.44\text{J/C})\ \frac{1\ \text{eV}}{1.60\times10^{-19}\text{J}}$$

$$= 1.44\ \text{eV}$$

$$W = E_{\text{الضوء الأخضر}} - KE_{\text{الإلكترون المتحرر}}$$

$$= 2.33\ \text{eV} - 1.44\ \text{eV}$$

$$= 0.89\ \text{eV}$$

15. **طاقة فوتون** تنبعث فوتونات طولها الموجي 650 nm من مؤشر ليزر. ما مقدار طاقة هذه الفوتونات بوحدة eV؟

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{1240\ \text{eV.nm}}{650\ \text{nm}} = 1.9\ \text{eV}$$

16. **التأثير الكهروضوئي** امتُصّت أشعة X في عظم، وحررت إلكترونًا. إذا كان الطول الموجي لأشعة X 0.02 nm تقريبًا، فقدّر طاقة الإلكترون بوحدة eV.

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{1240\ \text{eV.nm}}{0.02\ \text{nm}} = 6\times10^{4}\ \text{eV}$$

17. **تأثير كومبتون** أُسقطت أشعة X على عظم، فاصطدمت بإلكترون فيه وتشتت. كيف تقارن بين الطول الموجي لأشعة X المشتتة والطول الموجي لأشعة X الساقطة؟

أشعة X المتشتتة لها طول موجي أكبر مقارنة بالأشعة الساقطة.

18. **التفكير الناقد** تخيل أن تصادم كرتَيْ بلياردو ينمذج التفاعل الذي يحدث بين فوتون وإلكترون خلال تأثير كومبتون. افترض أن بروتونًا – وكتلته أكبر كثيرًا من كتلة الإلكترون – وُضع بدلاً من الإلكترون، فهل تكون الطاقة التي يكتسبها البروتون نتيجة التصادم مساوية لتلك التي يكتسبها الإلكترون؟ وهل تكون الطاقة التي يفقدها الفوتون مساوية لتلك التي يفقدها عندما يتصادم بالإلكترون؟

إن الإجابة عن السؤالين هي لا، وكمثال على ذلك تستطيع كرة تنس نقل طاقة حركية أكثر لكرة لينة من الطاقة التي تنقلها لكرة بولينج.

MR: Mohamed atef 0503136836

مسائل تدريبية

2–8 موجات المادة (صفحة 51 – 49)

صفحة 50

19. تتدحرج كرة بولنج كتلتها 7.0 kg بسرعة 8.5 m/s، أجب عما يلي:

a. ما مقدار طول موجة دي برولي المصاحبة للكرة؟

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.63\times10^{-34}\ \text{J.s}}{(7.0\ \text{kg})(8.5\ \text{m/s})}$$

$$= 1.1\times10^{-35}\ \text{m}$$

b. لماذا لا تُظهر كرة البولنج سلوك موجي ملاحظ؟

لأن طول موجة دي برولي المصاحبة لكرة البولنج قصير جدًا، ولا يكفي لإحداث تأثيرات يمكن مشاهدتها.

20. إذا تسارع إلكترون خلال فرق جهد 250 V، فاحسب مقدار سرعته وطول موجة دي برولي المصاحبة له.

$$\frac{1}{2}mv^2 = qv$$

$$v = \sqrt{\frac{2qV}{m}} = \sqrt{\frac{(2)(1.60\times10^{-19}\ \text{C})(250\ \text{J/C})}{9.11\times10^{-31}\ \text{kg}}}$$

$$= 9.4\times10^{6}\ \text{m/s}$$

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

$$= \frac{6.63\times10^{-34}\ \text{J.s}}{(9.11\times10^{-31}\ \text{kg})(9.4\times10^{6}\ \text{m/s})}$$

$$= 7.7\times10^{-11}\ \text{m}$$

21. ما مقدار فرق الجهد اللازم لمسارعة إلكترون بحيث يكون طول موجة دي برولي المصاحبة له 0.125 nm؟

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

أي أن:

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

$$KE = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{p^2}{2m} = \frac{\left(\frac{h}{\lambda}\right)^2}{2m}$$

$$= \frac{\left(\frac{6.63\times10^{-34}\ \text{J.s}}{0.125\times10^{-9}\ \text{m}}\right)}{(2)(9.11\times10^{-31}\ \text{kg})}$$

$$= (1.544\times10^{-17}\ \text{J})\left(\frac{1\ \text{eV}}{1.60\times10^{-19}\ \text{J}}\right)$$

$$= 96.5\ \text{eV}$$

أي انه يتسارع خلال فرق جهد مقدارة 96.5 V.

22. طول موجة دي برولي للإلكترون في المثال 3 يساوي 0.14 nm. ما مقدار الطاقة الحركية بوحدة eV لبروتون ($m = 1.67\times10^{-27}\ \text{kg}$) إذا كان له الطول الموجي نفسه؟

طول موجة دي برولي المصاحبة يساوي: $\lambda = \frac{h}{mv}$

أي أن السرعة تساوي: $v = \frac{h}{m\lambda}$

عندئذ تكون الطاقة الحركية:

$$KE = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m\left(\frac{h}{m\lambda}\right)^2 = \frac{h^2}{2m\lambda^2}$$

$$= \frac{(6.63\times10^{-34}\ \text{J.s})^2}{(2)(1.67\times10^{-27}\ \text{kg})(0.14\times10^{-9}\ \text{m})^2}\left(\frac{1\ \text{eV}}{1.60\times10^{-19}\ \text{J}}\right)$$

$$= 4.2\times10^{-2}\ \text{eV}$$

مراجعة القسم

2–8 موجات المادة (صفحة 51 – 49)

صفحة 51

23. الخصائص الموجية صف التجربة التي أثبتت أن للجسيمات خصائص موجية.

عندما تسقط حزمة من الإلكترونات على قطعة من الكريستال فإن الكريستال يعمل كمحزوز حيود؛ بحيث يجعل الإلكترونات تشكل نمط حيود. إن حيود الإلكترونات (الجسيمات) يشبه حيود الضوء (الموجات) خلال المحزوز.

24. الطبيعة الموجية فسّر لماذا لا تظهر الطبيعة الموجية للمادة؟

لأن الأطوال الموجية لمعظم الأجسام أصغر جدًا من أن يتم الكشف عنها.

25. طول موجة دي برولي ما مقدار طول موجي دي برولي المصاحبة لإلكترون يتسارع خلال فرق جهد 125 V؟

$$v = \sqrt{\frac{-2qV}{m}}$$

$$= \sqrt{\frac{-2(-1.60\times10^{-19}\ \text{C})(125\ \text{V})}{9.11\times10^{-31}\ \text{kg}}}$$

$$= 6.63\times10^{6}\ \text{m/s}$$

$$p = mv = (9.11\times10^{-31}\ \text{kg})(6.63\times10^{6}\ \text{m/s})$$

$$= 6.04\times10^{-24}\ \text{kg.m/s}$$

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{6.63\times10^{-34}\ \text{J.s}}{6.04\times10^{-24}\ \text{kg.m/s}}$$

$$= 1.10\times10^{-10}\ \text{m}$$

$$= 0.110\ \text{nm}$$

26. **الأطوال الموجية للمادة والإشعاع** عندما يصطدم إلكترون بجسيم ثقيل فإن سرعة الإلكترون وطول موجته يتناقصان. بناء على ذلك، كيف يمكن زيادة الطول الموجي لفوتون؟

إذا كان الفوتون يخضع لتشتت كومبتون مع هدف ثابت فإن الطول الموجي للفوتون سيزداد.

27. **مبدأ عدم التحديد لهيزنبرج** عندما يمر ضوء أو حزمة من ذرات خلال شق مزدوج فإنه يتكون نمط تداخل. وتحدث كلتا النتيجتين حتى عندما تمر الذرات أو الفوتونات خلال الشق في الوقت نفسه. كيف يفسر مبدأ عدم التحديد لهيزنبرج ذلك؟

ينص مبدأ هيزنبرغ على أنه من غير الممكن قياس زخم جسيم وتحديد موقعه بدقة في الوقت نفسه، فإذا استطعت تحديد الموقع الدقيق لفوتون أو ذرة عندما تعبر خلال الشق فإنك لن تستطيع معرفة زخمه بدقة. لذلك فإنك لن تكون متأكدًا من أي الشقوق قد عبرت الحزمة الناتجة عن توزيع الفوتونات أو الذرات التي يمكن مشاهدتها في نمط التداخل.

28. **التفكير الناقد** ابتكر الفيزيائيون مؤخرًا محزوز حيود للموجات الضوئية الموقوفة (المستقرة). وتكوّن الذرات التي تمر خلال المحزوز نمط تداخل. إذا كانت المسافة الفاصلة بين الشقوق $\frac{1}{2}\lambda$ (250 nm تقريبًا) فما مقدار طول موجة دي برولي المصاحبة للذرات تقريبًا؟

لمحزوز الحيود يكون $\lambda = d\sin\theta$، حيث d البعد بين الشقوق وθ زاوية الفصل بين القمم المتتالية. لذلك فإن طول موجة دي برولي تعطى بالعلاقة:

$\lambda = (250\ \text{nm})\sin\theta$، إذا اعتبرنا أن $\sin\theta = 0.1$ تقريبًا فإن طول موجة دي برولي تساوي بضع عشرات من النانومتر.

تقويم الفصل

خريطة المفاهيم

صفحة 56

29. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات التالية: الطبيعة المزدوجة، الكتلة، الخصائص الموجية، الزخم، الحيود.



إتقان المفاهيم

صفحة 56

30. **الضوء المتوهج** يضبط مصباح كهربائي متوهج باستخدام مفتاح تحكم. ماذا يحدث للون الضوء الصادر عن المصباح عند إدارة مفتاح التحكم إلى أقل قراءة؟

يصبح الضوء أكثر إحمرارًا

31. وضّح مفهوم تكميته الطاقة.

تكميم الطاقة يعني أن الطاقة توجد على شكل مضاعفات صحيحة لكمية ما.

32. ما الذي تم تكمية في تفسير ماكس بلانك لإشعاع الأجسام المتوهجة؟

إن الطاقة الاهتزازية للذرات المتوهجة مكمّمة.

33. ماذا تسمى كمّات الضوء؟

الفوتونات.

34. سُلِّط ضوء على مهبط خلية ضوئية، وكان تردد الضوء أكبر من تردد العتبة لفلز المهبط. كيف تفسر نظرية أينشتاين للتأثير الكهروضوئي حقيقة زيادة تيار الإلكترونات الضوئية كلما زادت شدة الضوء؟

كل فوتون يحرر إلكترونًا ضوئيًا، والضوء ذو الشدة العالية يحتوي على عدد فوتونات أكثر لكل ثانية؛ لذا يسبب تحرير عدد إلكترونات ضوئية أكثر لكل ثانية.

35. وضح كيف فسّرت نظرية أينشتاين حقيقة أن الضوء الذي تردده أقل من تردد العتبة لفلز لا يحرر إلكترونات ضوئية منه، بغض النظر عن شدة الضوء؟

الفوتونات ذات التردد الأقل من تردد العتبة ليس لها طاقة كافية لتحرير إلكترون. أما إذا ازدادت شدة الضوء فإن عدد الفوتونات يزداد ولكن طاقتها لا تزداد، وتبقى الفوتونات غير قادرة على تحرير إلكترون.

36. الفيلم الفوتوجرافي لأن أنواعًا معينة من أفلام الأبيض والأسود ليست حساسة للضوء الأحمر، فإنه يمكن تحميضها في غرفة مظلمة مضاءة بضوء أحمر. فسّر ذلك بناءً على نظرية الفوتون للضوء.

فوتونات الضوء الأحمر ليس لها طاقة كافية لإحداث تفاعل كيميائي مع الفيلم الذي يتعرض له.

37. كيف أظهر تأثير كومبتون أن للفوتونات زخمًا، كما أن لها طاقة.

تنقل التصادمات المرنة كلًا من الزخم والطاقة للفوتونات فقط إذا كان لها زخم يمكنها من تحقيق المعادلات.

38. الزخم p لجسيم مادي يعطى بالمعادلة $p = mv$. هل تستطيع حساب زخم فوتون مستخدمًا المعادلة نفسها؟ وضح إجابتك.

لا. لأن استخدام هذه المعادلة تجعل زخم الفوتون صفرًا لأن الفوتونات مهملة الكتلة. وهذه النتيجة غير صحيحة لأن الفوتونات المهملة الكتلة زخمها ليس صفرًا.

39. وضح كيف يمكن قياس الخصائص التالية للإلكترون:

a. الشحنة

وازن بين قوة الجذب مع قوة المجال الكهربائي المؤثرتين في الشحنة.

b. الكتلة

وازن بين قوة المجال الكهربائي مع قوة المجال المغناطيسي لإيجاد $\frac{m}{q}$، ثم استخدم قيمة q المقيسة.

c. الطول الموجي

شتت الإلكترونات عن سطح الكريستال وقم بقياس زوايا الحيود.

40. وضح كيف يمكن قياس الخصائص التالية للفوتون:

a. الطاقة

قس الطاقة الحركية KE للإلكترونات المتحررة من الفلز بطولين موجيين مختلفين على الأقل. أو قس الطاقة الحركية للإلكترونات المتحررة من معدن معلوم عند طول موجي واحد فقط.

b. الزخم

قس التغير في الطول الموجي لأشعة X المشتتة بواسطة المادة.

c. الطول الموجي.

قس زاوية الحيود عندما ينفذ الضوء خلال شقين أو محزوز حيود، وقس عرض نمط الحيود للشق المفرد، أو قس الزاوية التي ينحرف الضوء عندها عند نفاذه خلال المنشور.

تطبيق المفاهيم

صفحة 56–57

41. استخدم طيف الانبعاث لجسم متوهج عند ثلاث درجات حرارة مختلفة كما في **الشكل 1–8** للإجابة عن الأسئلة الآتية:

a. عند أي تردد تكون شدة الانبعاث أكبر ما يكون لكل من درجات الحرارة الثلاث؟

4000 k: ~2.5×10^{14} Hz, 5800 k: ~3.5×10^{14} Hz, 8000 k: ~4.6×10^{14} Hz.

b. ماذا تستنتج عن العلاقة بين التردد الذي تكون عنده شدة الإشعاع المنبعث أكبر ما يمكن وبين درجة حرارة الجسم المتوهج؟

يزداد التردد الذي تكون عنده شدة الإشعاع المنبعث أكبر ما يمكن بزيادة درجة الحرارة.

c. بأي مُعامل تتغير شدة الضوء الأحمر المنبعث عندما تزداد درجة الحرارة من 4000 k إلى 8000 k؟

تزداد شدة الجزء الأحمر من الطيف من 0.5 إلى 9.2 تقريبًا، وتكون الزيادة بمعامل أكبر قليلا من 18.

42. وضع قضيبان من الحديد في النار، فتوهج أحدهما

MR: Mohamed atef 0503136836

باللون الأحمر الداكن، بينما توهج الآخر باللون البرتقالي الساطع. أي القضيبين:

a. أكثر سخونة؟

البرتقالي الساطع.

b. يشع طاقة أكبر؟

البرتقالي الساطع.

43. هل يحرر ضوء تردده كبير عددًا أكبر من الإلكترونات من سطح حساس للضوء مقارنة بضوء تردده أقل، مع افتراض أن كلا الترددين أكبر من تردد العتبة؟

ليس ضرُوريًا، إذ يتناسب عدد الإلكترونات المنبعثة طرديًا مع عدد الفوتونات الساقطة أو مع شدة الضوء وليس مع تردده.

44. تنبعث إلكترونات ضوئية من البوتاسيوم عندما يسقط عليه ضوء أزرق، في حين تنبعث إلكترونات ضوئية من التنجستن عندما يسقط عليه أشعة فوق بنفسجية. أي الفلزين:

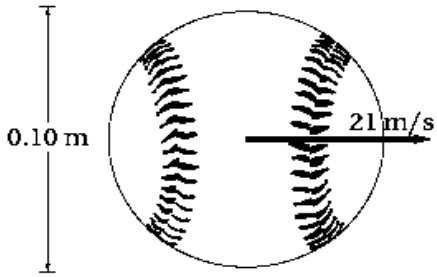
a. له تردد عتبة أكبر؟

الضوء الأزرق له تردد وطاقة أقل من الضوء فوق البنفسجي، لذلك فإن التنجستن له تردد عتبة أكبر.

b. له اقتران شغل أكبر؟

التنجستن.

45. قارن طول موجة دي برولي المصاحبة لكرة البيسبول الموضحة في **الشكل 10–8** بقطر الكرة.



الشكل 10–8 ■

قطر كرة البيسبول 0.10 m تقريبًا بينما طول موجة دي برولي 10^{-34}m، وبذلك يكون قطر كرة البيسبول أكبر 10^{33} مرة من الطول الموجي لموجة دي برولي المصاحب لها.

إتقان حل المسائل

8–1 النموذج الجسيمي للموجات

صفحة 58–57

46. اعتمادًا على نظرية بلانك، كيف يتغير تردد اهتزاز ذرة إذا بعثت طاقة مقدارها 5.44×10^{-19} J عندما تغيّرت قيمة n بمقدار 1؟

$$E=nhf$$

لذا:
$$f=\frac{E}{nh}=\frac{5.44\times10^{-19}\text{ J}}{(1)(6.63\times10^{-34}\text{ J.s})}$$
$$=8.21\times10^{14}\text{ Hz}$$

47. ما مقدار فرق الجهد اللازم لإيقاف إلكترونات طاقتها الحركية العظمى 4.8×10^{-19} J؟

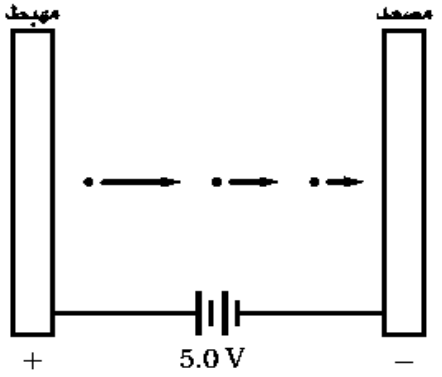
$$KE=-qV_0$$

أي:
$$V_0=\frac{KE}{-q}=\frac{4.8\times10^{-19}\text{ C}}{-(-1.60\times10^{-19}\text{ C})}=3.0\text{ V}$$

48. ما زخم فوتون الضوء البنفسجي الذي طوله الموجي 4.0×10^{2} nm؟

$$p=\frac{h}{\lambda}=\frac{6.63\times10^{-34}\text{ J.s}}{4.0\times10^{-7}\text{ m}}$$
$$=1.7\times10^{-27}\text{ kg.m/s}$$

49. جهد الإيقاف لإلكترونات فلز معين موضح في **الشكل 11–8**. ما مقدار الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات الضوئية بدلالة الوحدات التالية؟



الشكل 11–8 ■

a. الإلكترون فولت

$$KE=-qV_0$$
$$=-(-1\text{ e})(5.0\text{ V})$$
$$=5.0\text{ eV}$$

MR: Mohamed atef 0503136836

b. الجول

$$\left(\frac{5.0\text{ eV}}{1}\right)\left(\frac{1.60\times10^{-19}\text{ J}}{1\text{ eV}}\right)$$
$$= 8.0\times10^{-19}\text{ J}$$

50. تردد العتبة لفلز معين 3.00×10^{14} Hz. ما مقدار الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحررة إذا أضيء الفلز بضوء طوله الموجي 6.50×10^{2} nm؟

$$KE = hf - hf_0$$
$$= h\left(\frac{c}{\lambda} - f_0\right)$$
$$= (6.63\times10^{-34}\text{ J.s})$$
$$\left(\frac{3.00\times10^{8}\text{ m/s}}{6.50\times10^{-7}\text{ m}} - 3.00\times10^{14}\text{ Hz}\right)$$
$$= 1.07\times10^{-19}\text{ J}$$

51. ما مقدار الشغل اللازم لتحرير إلكترون من سطح الصوديوم إذا كان تردد العتبة له 4.4×10^{14} Hz؟

$$\text{الشغل} = hf_0$$
$$= (6.63\times10^{-34}\text{ J/Hz})(4.4\times10^{14}\text{ Hz})$$
$$= 2.9\times10^{-19}\text{ J}$$

52. إذا سقط ضوء تردده 1.00×10^{15} Hz على الصوديوم في المسألة السابقة، فما مقدار الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات الضوئية؟

$$KE = hf - hf_0$$
$$= h(f - f_0)$$
$$= (6.63\times10^{-34}\text{ J/Hz})$$
$$(1.00\times10^{15}\text{ Hz} - 4.4\times10^{14}\text{ Hz})$$
$$= 3.7\times10^{-19}\text{ J}$$

53. **مقياس الضوء** يستعمل مقياس الضوء الفوتوجرافي خلية ضوئية لقياس الضوء الساقط على الجسم المراد تصويره. كم يجب أن يكون اقتران الشغل لمادة المهبط حتى تكون الخلية الضوئية حساسة للضوء الأحمر ($\lambda = 680$ nm) كحساسيتها للألوان الأخرى للضوء؟

$$W = \frac{1240\text{ eV.nm}}{\lambda_0} = \frac{1240\text{ eV.nm}}{680\text{ nm}}$$
$$= 1.8\text{ eV}$$

54. **الطاقة الشمسية** يُستهلك 4×10^{11} J من الطاقة كل عام في الاستخدامات المنزلية في دولة ما. إذا كانت أشعة الشمس تسقط على بعض أجزاء هذه الدولة لمدة 3000 h كل عام، فأجب عما يلي:

a. ما مقدار الطاقة الشمسية التي تسقط على المتر المربع الواحد كل عام؟

تستقبل الأرض 1000 J/m^2 في كل ثانية، أي:

$$E = (1000\text{ J/m}^2\text{.s})\left(\frac{3600\text{ s}}{\text{h}}\right)\left(\frac{3000\text{ h}}{\text{y}}\right)$$
$$= 1\times10^{10}\text{ J/m}^2 \text{ كل عام}$$

b. إذا كان بالإمكان تحويل هذه الطاقة الشمسية إلى طاقة مفيدة بكفاءة 20%، فما مقدار المساحة التي يجب استخدامها لإنتاج طاقة مساوية لتلك التي تستهلك في المنازل.

$$\text{المساحة} = \frac{4\times10^{11}\text{ J}}{(0.2)(1\times10^{10}\text{ J/m}^2)}$$
$$= 2\times10^{2}\text{ m}^2$$

8–2 موجات المادة

صفحة 58

55. ما مقدار طول موجة برولي المصاحبة لإلكترون يتحرك بسرعة 3.0×10^{6} m/s؟

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$
$$= \frac{6.63\times10^{-34}\text{ J.s}}{(9.11\times10^{-31}\text{ kg})(3.0\times10^{6}\text{ m/s})}$$
$$= 2.4\times10^{-10}\text{ m}$$
$$= 0.24\text{ nm}$$

56. ما مقدار السرعة التي يجب أن يتحرك بها إلكترون لتكون طول موجة دي برولي المصاحبة له 3.0×10^{-10} m؟

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$
$$v = \frac{h}{m\lambda}$$
$$= \frac{6.63\times10^{-34}\text{ J/Hz}}{(9.11\times10^{-31}\text{ kg})(3.0\times10^{-10}\text{ m})}$$
$$= 2.4\times10^{6}\text{ m/s}$$

MR: Mohamed atef 0503136836

57. يتسارع إلكترون في أنبوب أشعة مهبطية من السكون خلال فرق جهد $5.0\times10^{3}\ V$. ما مقدار:

a. سرعة الإلكترون؟

$$\frac{1}{2}mv^2 = qV$$

$$v = \sqrt{\frac{qV}{\frac{1}{2}m}}$$

$$v = \sqrt{\frac{(1.60\times10^{-19}\ C)(5.0\times10^{3}\ V)}{(\frac{1}{2})(9.11\times10^{-31}\ kg)}}$$

$$= 4.2\times10^{7}\ m/s$$

b. الطول الموجي المصاحب للإلكترون؟

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

$$= \frac{6.63\times10^{-34}\ J/Hz}{(9.11\times10^{-31}\ kg)(4.2\times10^{7}\ m/s)}$$

$$= 1.7\times10^{-11}\ m = 0.017\ nm$$

58. احتُجز نيوترون طاقته الحركية 0.02 eV فقط.

a. ما سرعة النيوترون؟

$$KE = (0.02\ eV)(1.60\times10^{-19}\ J/eV)$$

$$= 3.2\times10^{-21}\ J$$

$$= \frac{1}{2}mv^2$$

$$v = \sqrt{\frac{2KE}{m}} = \sqrt{\frac{(2)(3.2\times10^{-21}\ J)}{1.67\times10^{-27}\ kg}}$$

$$= 1.96\times10^{3}\ m/s$$

b. أوجد طول موجة دي برولي المصاحبة للنيوترون.

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

$$= \frac{6.63\times10^{-34}\ J.s}{(1.67\times10^{-27}\ kg)(1.96\times10^{3}\ m/s)}$$

$$= 2.03\times10^{-10}\ m$$

59. إذا كانت الطاقة الحركية لإلكترون ذرة الهيدروجين 13.65 eV فاحسب:

a. مقدار سرعة الإلكترون.

$$KE = \frac{1}{2}mv^2$$

$$v = \sqrt{\frac{2KE}{m}}$$

$$= \sqrt{\frac{(2)(13.65\ eV)(1.60\times10^{-19}\ J/eV)}{9.11\times10^{-31}\ kg}}$$

$$= 2.19\times10^{6}\ m/s$$

b. مقدار طول موجة دي برولي المصاحبة للإلكترون.

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

$$= \frac{6.63\times10^{-34}\ kg.m/s}{(9.11\times10^{-31}\ kg)(2.19\times10^{6}\ m/s)}$$

$$= 0.332\ nm$$

c. محيط ذرة الهيدروجين ثم قارنه بطول موجة دي برولي المصاحبة لإلكترون الذرة. علمًا بأن نصف قطر ذرة الهيدروجين 0.519 nm.

$$C = 2\pi r$$

$$= (2\pi)(0.519\ nm) = 3.26\ nm$$

أي أن المحيط يساوي 10 أطوال موجية مكتملة.

60. إذا كان طول موجة دي برولي المصاحبة لإلكترون 0.18nm

a. فما مقدار فرق الجهد الذي تحرك خلاله إذا بدأ الحركة من السكون؟

طول موجة دي بولي: $\lambda = \frac{h}{mv}$

ومنها فإن السرعة تعطى بالعلاقة: $v = \frac{h}{m\lambda}$

الطاقة الحركية عندها تساوي: $KE = \frac{1}{2}mv^2$

$$= \frac{1}{2}m\left(\frac{h}{m\lambda}\right)^2$$

$$= \frac{h^2}{2m\lambda^2}$$

MR: Mohamed atef 0503136836

وباستخدام مصطلح فرق الجهد فإن الطاقة الحركية تساوي: $KE = qV$

وباستخدام العلاقتين السابقتين للطاقة الحركية فإن فرق الجهد V يساوي:

$$V = \frac{h^2}{2mq\lambda^2}$$
$$= \frac{(6.63\times10^{-34}\ \text{J.s})^2}{(2)(9.11\times10^{-31}\ \text{kg})(1.60\times10^{-19}\ \text{C})(0.18\times10^{-9}\ \text{m})^2}$$
$$= 47\ \text{V}$$

b. إذا كان طول موجة دي برولي المصاحبة لبروتون 0.18 nm فما مقدار فرق الجهد الذي تحرك خلاله إذا بدأ الحركة من السكون؟

باستخدام الإشتقاق السابق فإن فرق الجهد يساوي:

$$V = \frac{h^2}{2mq\lambda^2}$$
$$= \frac{(6.63\times10^{-34}\ \text{J.s})^2}{(2)(1.67\times10^{-27}\ \text{kg})(1.60\times10^{-19}\ \text{C})(0.18\times10^{-9}\ \text{m})^2}$$
$$= 0.025\ \text{V}$$

مراجعة عامة

صفحة 58–59

61. ما مقدار الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحررة من فلز إذا كان جهد إيقافها 3.8 V؟

$$KE = -qV_0 = -(-1\ \text{e})(3.8\ \text{V}) = 3.8\ \text{eV}$$

62. إذا كان تردد العتبة لفلز ما 8.0×10^{14} Hz، فما اقتران الشغل له؟

$$W = hf_0$$
$$= (6.63\times10^{-34}\ \text{J/Hz})(8.0\times10^{14}\ \text{Hz})$$
$$= 5.3\times10^{-19}\ \text{J}$$

63. إذا سقط ضوء تردده 1.6×10^{15} Hz على الفلز في المسألة السابقة، فما مقدار الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات الضوئية؟

$$KE = hf - hf_0$$
$$= (6.63\times10^{-34}\ \text{J/Hz})(1.6\times10^{15}\ \text{Hz}) - 5.3\times10^{-19}\ \text{J}$$
$$= 5.3\times10^{-19}\ \text{J}$$

64. احسب طول موجة دي برولي المصاحبة لديوترون (^{2}H) كتلته 3.3×10^{-27} kg ويتحرك بسرعة 2.5×10^4 m/s.

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$
$$= \frac{(6.63\times10^{-34}\ \text{J.s})}{(3.3\times10^{-27}\ \text{kg})(2.5\times10^4\ \text{m/s})}$$
$$= 8.0\times10^{-12}\ \text{m}$$

MR: Mohamed atef 0503136836

65. إذا كان اقتران الشغل للحديد 4.7 eV

a. فما مقدار طول موجة العتبة له؟

$$W = \frac{hc}{\lambda_0} = \frac{1240\ \text{eV.nm}}{\lambda_0}$$

$$\lambda_0 = \frac{1240\ \text{eV.nm}}{W} = \frac{1240\ \text{eV.nm}}{4.7\ \text{eV}}$$

$$= 2.6\times10^{2}\ \text{nm}$$

b. إذا أُسقط إشعاع طوله الموجي 150 nm على الحديد، فما مقدار الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحررة بوحدة eV؟

$$KE = \frac{hc}{\lambda} - \frac{hc}{\lambda_0} = \frac{1240\ \text{eV.nm}}{150\ \text{nm}} - 4.7\ \text{eV}$$

$$= 3.6\ \text{eV}$$

66. إذا كان اقتران الشغل للباريوم 2.48 eV، فما أكبر طول موجي للضوء يستطيع تحرير إلكترونات منه؟

$$\text{اقتران الشغل} = 2.48\ \text{eV} = hf_0 = \frac{hc}{\lambda_0}$$

أي:

$$\lambda_0 = \frac{hc}{2.48\ \text{eV}}$$

$$= \frac{(6.63\times10^{-34}\ \text{J.s})(3.00\times10^{8}\ \text{m/s})}{(2.48\ \text{eV})\left(\frac{1.60\times10^{-19}\ \text{J}}{1\ \text{eV}}\right)}$$

$$= 5.01\times10^{-7}\ \text{m}$$

$$= 501\ \text{nm}$$

67. طول موجة دي برولي المصاحبة لإلكترون 400.0 nm، وهي تساوي أقصر طول موجي للضوء المرئي. احسب مقدار:

a. سرعة الإلكترون.

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

أي:

$$v = \frac{h}{m\lambda}$$

$$= \frac{6.63\times10^{-34}\ \text{J/Hz}}{(9.11\times10^{-31}\ \text{kg})(400.0\times10^{-9}\ \text{m})}$$

$$= 1.82\times10^{3}\ \text{m/s}$$

b. طاقة الإلكترون بوحدة eV.

$$KE = \frac{1}{2}mv^2$$

$$= \left(\frac{1}{2}\right)(9.11\times10^{-31}\ \text{kg})(1.82\times10^{3}\ \text{m/s})^2$$

$$\left(\frac{\text{eV}}{1.60\times10^{-19}\ \text{J}}\right)$$

$$= 9.43\times10^{-6}\ \text{eV}$$

68. **المجهر الإلكتروني** يعدّ المجهر الإلكتروني مفيدًا لأنه يمكن جعل الأطوال الموجية لموجات دي برولي المصاحبة للإلكترونات أقصر من الطول الموجي للضوء المرئي. ما مقدار الطاقة (بوحدة eV) اللازم تزويدها لإلكترون حتى يكون طول موجة دي برولي المصاحبة له 20.0 nm؟

طول موجة دي بولي: $\lambda = \frac{h}{mv}$

ومنها فإن السرعة تعطى بالعلاقة: $v = \frac{h}{m\lambda}$

الطاقة الحركية عندها تساوي: $KE = \frac{1}{2}mv^2$

$$= \frac{1}{2}m\left(\frac{h}{m\lambda}\right)^2$$

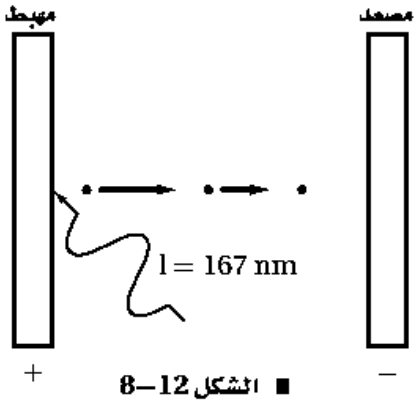
$$= \frac{h^2}{2m\lambda^2}$$

$$= \left(\frac{(6.63\times10^{-34}\ \text{J.s})^2}{(2)(9.11\times10^{-31}\ \text{kg})(20.0\times10^{-9}\ \text{m})^2}\right)$$

$$\left(\frac{1\ \text{eV}}{1.60\times10^{-19}\ \text{J}}\right)$$

$$= 3.77\times10^{-3}\ \text{eV}$$

69. يسقط إشعاع على قصدير، كما في **الشكل 12–8**. إذا كان تردد العتبة للقصدير 1.2×10^{15} Hz فما مقدار:



الشكل 12–8 ■

a. طول موجة العتبة للقصدير؟

$$c = \lambda f$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3.00\times10^{8}\ \text{m/s}}{1.2\times10^{15}\ \text{Hz}} = 2.5\times10^{-7}\ \text{m}$$

b. اقتران الشغل للقصدير؟

$$W = hf_0$$
$$= (6.63\times10^{-34}\ \text{J/Hz})(1.2\times10^{15}\ \text{Hz})$$
$$= 8.0\times10^{-19}\ \text{J}$$

c. الطاقة الحركية للإلكترونات المتحررة بوحدة eV، إذا كان الطول الموجي للإشعاع الكهرومغناطيسي الساقط 167 nm؟

$$KE_{\text{عظمى}} = \frac{hc}{\lambda} - hf_0$$
$$= \frac{(6.63\times10^{-34}\ \text{J/Hz})(3.00\times10^{8}\ \text{m/s})}{167\times10^{-9}\ \text{m}} - 8.0\times10^{-19}\ \text{J} = 3.9\times10^{-19}\ \text{J}$$

$$KE_{\text{عظمى}}(\text{eV}) = (3.9\times10^{-19}\ \text{J})\left(\frac{1\ \text{eV}}{1.60\times10^{-19}\ \text{J}}\right) = 2.4\ \text{eV}$$

التفكير الناقد

صفحة 59–60

70. **تطبيق المفاهيم** يبعث مصدر ليزر هيليوم– نيون فوتونات طولها الموجي 632.8 nm.

a. احسب مقدار الطاقة بوحدة الجول لكل فوتون يُبعث من الليزر.

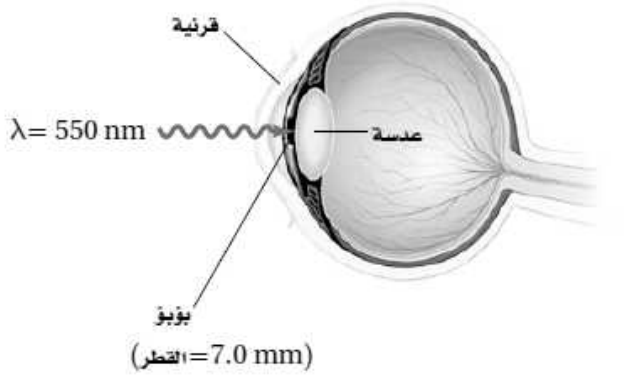
كل فوتون يمتلك طاقة تساوي: $E = \frac{hc}{\lambda}$

$$= \frac{(6.63\times10^{-34}\ \text{J.s})(3.00\times10^{8}\ \text{m/s})}{632.8\times10^{-9}\ \text{m}}$$
$$= 3.14\times10^{-19}\ \text{J}$$

b. إذا كانت قدرة مصدر ليزر صغير تقليدي 0.5 mW تكافئ (5×10^{-4} J/s)، فما عدد الفوتونات المنبعثة من مصدر الليزر في كل ثانية؟

$$n = \frac{P}{E} = \frac{5\times10^{-4}\ \text{J/s}}{3.14\times10^{-19}\ \text{J/فوتون}}$$
$$= 2\times10^{15}\ \text{فوتون/s}$$

71. تطبيق المفاهيم يدخل الضوء المرئي الذي شدته $1.5\times10^{-11}\ \text{W/m}^2$ بصعوبة إلى عين إنسان، كما في الشكل 13–8.



■ الشكل 13–8

a. إذا سلط هذا الضوء على عين الإنسان ومر خلال بؤبؤ عينه، فما مقدار القدرة التي تدخل عينه بوحدة الواط؟

القدرة = (شدة الضوء)(المساحة)

$$= (\text{شدة الضوء})(\pi r^2)$$
$$= (1.5\times10^{-11}\ \text{W/m}^2)(\pi(3.5\times10^{-3}\ \text{m})^2)$$
$$= 5.8\times10^{-16}\ \text{W}$$

b. استخدم الطول الموجي المُعطى للضوء المرئي والمعلومات المُعطاة في الشكل 13–8 لكي تحسب عدد الفوتونات التي تدخل العين في كل ثانية.

طاقة كل فوتون: $E = \frac{hc}{\lambda}$

$$= \frac{(6.63\times10^{-34}\ \text{J.s})(3.00\times10^{8}\ \text{m/s})}{550\times10^{-9}\ \text{m}}$$
$$= 3.62\times10^{-19}\ \text{J}$$

$$n = \frac{P}{E} = \frac{5.8\times10^{-16}\ \text{J/s}}{3.62\times10^{-19}\ \text{J/فوتون}}$$
$$= 1600\ \text{فوتونات/s}$$

MR: Mohamed atef 0503136836

72. **إنشاء الرسوم البيانية واستخدامها** أكمل طالب تجربة التأثير الكهروضوئي، وسجّل جهد الإيقاف كدالة رياضية في الطول الموجي، كما في **الجدول 1–8**. وكان مهبط الخلية الضوئية مصنوع من الصوديوم. عيّن البيانات (جهد الإيقاف مقابل التردد) واستعمل الآلة الحاسبة لرسم أفضل خط مستقيم. استخدم الميل والمقطع وأوجد اقتران الشغل، وطول موجة العتبة، ومقدار $\frac{h}{q}$ في هذه التجربة. قارن قيمة $\frac{h}{q}$ مع القيمة المقبولة.

الجدول 1–8

جهد الإيقاف مقابل الطول الموجي

λ (nm)	V_0 (eV)
200	4.20
300	2.06
400	1.05
500	0.41
600	0.03

حوّل الطول الموجي إلى تردد ، ثم مثّل البيانات بعد ذلك بيانيًا، ثم حدد أفضل ميل للخط المستقيم من الرسم البياني.

$$\text{الميل} = 4.18\times10^{-15}\ \text{V/Hz}$$
$$= 4.18\times10^{-15}\ \text{J/Hz.C}$$

القيمة المقبولة تساوي :

$$\frac{h}{e} = \frac{(6.63\times10^{-34}\ \text{J/Hz})}{(1.60\times10^{-19}\ \text{C})}$$
$$= 4.14\times10^{-15}\ \text{J/Hz.C}$$

من الرسم البياني يكون تردد العتبة :

$$f_0 = 4.99\times10^{14}\ \text{Hz},$$

والذي يعطي طول موجة العتبة من خلال :

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_0} = \frac{3.00\times10^8\ \text{m/s}}{4.99\times10^{14}\ \text{Hz}} = 601\ \text{nm}$$

ويكون الشغل يساوي :

$$W = hf_0$$
$$= (6.63\times10^{-34}\ \text{J/Hz})(4.99\times10^{14}\ \text{Hz})$$
$$= 3.31\times10^{-19}\ \text{J}$$

الكتابة في الفيزياء

صفحة 60

73. في ضوء ما درسته عن مبدأ عدم التحديد .إبحث عن الحتمية وعدم التحديد في الفيزياء لهيزنبرج وأكتب بحثًا عن ذلك.

ستختلف الإجابات ويجب أن تتضمن: أن مبدأ هيزنبرج يتضمن أنه لا يمكن قياس خاصيتين فيزيائيتين (كالموقع والزخم) لجسيم (كالإلكترون) بلحظة واحدة معينة دون وجود قدر من عدم التأكد من دقة القياس لإحدى الخاصيتين، فإذا عرفنا موقع الإلكترون بلحظة ما أصبح مستحيلاً معرفة زخمه بالدقة نفسها. وينتج عدم التحديد عن عملية القياس نفسها، والتي تؤثر فيها أجهزة القياس على الكميات المقيسة، بما فيها الضوء المستخدم نفسه. فعلى هذا المستوى فإنه عند التعامل مع ذرات أو جزيئات أو جسيمات أولية نقوم بتصويب فوتونات لقياس سرعة هذه الجسيمات بدقة معينة، ثم نصوب فوتونات أخرى لقياس موضع هذه الجسيمات. ونظرًا لأن الفوتونات لها طاقة تقوم بدفع الجسيم عند الاصطدام به فيتغير موقعه، وبالتالي فإننا لا نستطيع تحديد موقعه بدقة ولا تحديد زخمه بدقة.

مراجعة تراكمية

صفحة 60

74. يتحرك شعاع من الالكترونات بسرعة $2.8\times10^8\ \text{m/s}$ في مجال كهربائي مقداره $1.4\times10^4\ \text{N/C}$ ما مقدار المجال المغناطيسي الذي يجب أن تتحرك خلاله الالكترونات حتى تحافظ على حركتها فيه دون انحراف؟

$$v = \frac{E}{B}$$

$$B = \frac{E}{v} = \frac{1.4\times10^4\ \text{N/C}}{2.8\times10^8\ \text{m/s}}$$

$$= 5.0\times10^{-5}\ \text{T} = 5.0\times10^{1}\ \mu\text{T}$$

MR: Mohamed atef 0503136836

مسألة تحفيز

افترض أن قطعة نقدية كتلتها 5.0 g معلقة بنابض تهتز إلى أعلى وإلى أسفل، وكانت السرعة القصوى لهذه القطعة في أثناء اهتزازها 1.0 cm/s. اعتبر أن قطعة النقد المهتزة تمثّل الاهتزازات الكمية للإلكترونات في الذرة، حيث تعطى طاقة الاهتزازات بالمعادلة $E = nhf$.



1. احسب الطاقة الحركية العظمى للجسم المهتز.

$$KE = \frac{1}{2}mv^2$$
$$= \left(\frac{1}{2}\right)(5.0\times10^{-3}\ \text{kg})(1.0\times10^{-2}\ \text{m/s})^2$$
$$= 2.5\times10^{-7}\ \text{J}$$

2. يبعث الجسم المهتز طاقة على شكل ضوء بتردد 5.0×10^{14} Hz إذا كانت هذه الطاقة تُبعث في مرحلة واحدة فاحسب الطاقة التي يفقدها الجسم.

$$E = hf$$
$$= (6.63\times10^{-34}\ \text{J/Hz})(5.0\times10^{14}\ \text{Hz})$$
$$= 3.3\times10^{-19}\ \text{J}$$

3. حدد عدد المراحل التي ستقل فيها طاقة الجسم بمقادير متساوية من أجل أن يفقد طاقته كلها.

$$\text{عدد المراحل} = \frac{2.5\times10^{-7}\ \text{J}}{3.3\times10^{-19}\ \text{J/مرحلة}}$$
$$= 7.6\times10^{11}\ \text{مراحل}$$

MR: mohamedatef
Tel: 0503136836