هاتف خلوي
٠٧٨٦٧٧٨١٩٨

مقدمة إلى ميكانيكا الكم

إعداد: عدنان ملكاوي
adnanmalkawi@yahoo.com

الـــــــــذرة

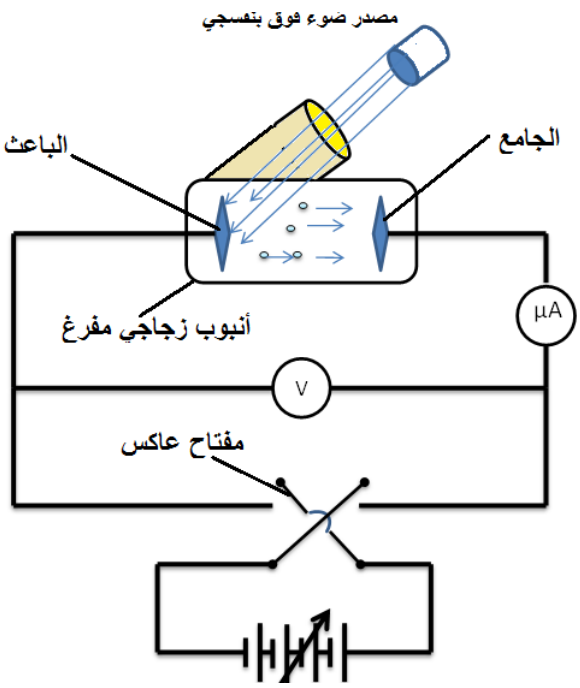
ماكس بلانك ومبدأ تكميم الطاقة

مبدأ تكمية الطاقة : الطاقة الكهرومغناطيسية تشع أو تمتص على شكل مضاعفات لكمية اساسية غير قابلة للتجزئة تتناسب مع تردد الإشعاع

ط = هـ × $ت_{د}$ هـ=٦,٦٢٥×١٠-٣٤ جول .ث

الظاهرة الكهروضوئية

الظاهرة الكهروضوئية : ظاهرة انبعاث إلكترونات من أسطح الفلزات عند سقوط الضوء عليها



قام العالم لينارد بدراسة الظاهرة الكهروضوئية من خلال الخلية المجاورة حيث لاحظ ما يلي :

١- عند سقوط الأشعة فوق البنفسجية على الباعث فإن مؤشر الميكروأميترينحرف مما يدل على سريان تيار(تمكن الضوء من تحرير إلكترونات)

٢- تحررت الإلكترونات من ارتباطها بالفلزبجزء من طاقة الضوء والباقي تحركت به (طاقة حركية)

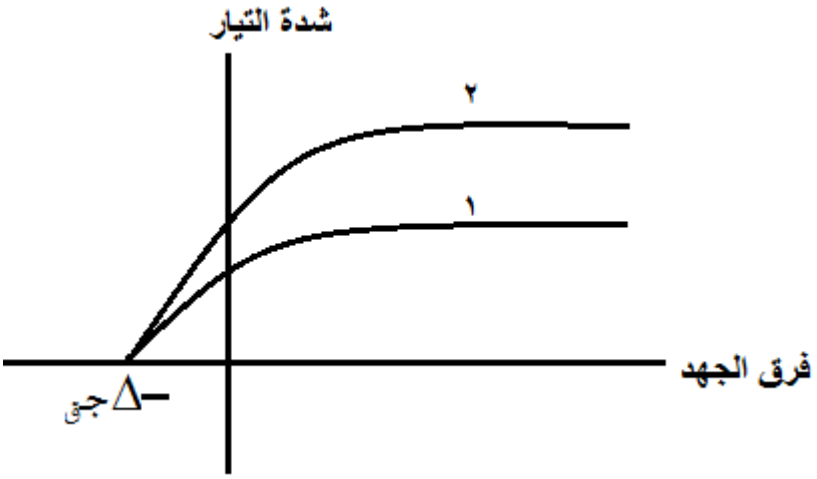
٣- مع استمرارتخفيض الجهد بين طرفي الباعث والجامع استمر التيار بالتناقص مما يعني أن هناك إلكترونات توقفت عن الوصول مما يدل على تفاوت الإلكترونات في طاقتها الحركية

٤- عندما أصبح فرق الجهد للجامع سالباً بالنسبة للباعث استطاع هذا الفرق في الجهد إيقاف أكبر الإلكترونات طاقة حركية ويسمى هذا الفرق في الجهد (فرق جهد الإيقاف أو القطع)

فرق جهد القطع : فرق الجهد بين لوحي الباعث والجامع والقادر على إيقاف أكبر الإلكترونات طاقة حركية

Δجق × $شـ_{e}$ = $ط_{ح\ عظمى}$

العلاقة بين شدة التيار وفرق جهد القطع:



- عند زيادة شدة الضوء الساقط على الخلية الضوئية تزداد شدة التيار الكهربائي (شدة التيار في المنحنى (١) أكبر من شدة التيار في المنحنى (٢))
- لا تتأثر الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المنبعثة بشدة الضوء الساقط وبالتالي لا يتغير جهد القطع
- يتغير جهد القطع إذا تغير تردد الضوء الساقط حيث أن انبعاث الإلكترونات يعتمد على التردد للضوء الساقط (لا يمكن أن تنبعث إلكترونات من سطح الفلز إذا لم يكن التردد كافياً لانبعاثها مهما زدنا شدة الضوء الساقط)

تعريف :
تردد العتبة(تـ.) : هو أقل تردد للضوء الساقط والذي يستطيع تحرير إلكترونات من سطح الفلز

- يعتبر تردد العتبة صفة مميزة للفلز (لكل فلز تردد عتبة خاص به)

كيف فسرت الفيزياء الكلاسيكية الظاهرة الكهروضوئية ؟

١- اعتمدت الفيزياء الكلاسيكية في التفسير على الموجي حيث اعتبرت أن الضوء ينتشر على شكل موجات كهرومغناطيسية
٢- تمتص الإلكترونات الضوء على نحو مستمر عند سقوطه عليها وبالتالي كلما زادت شدة الضوء أصبحت الطاقة الممتصة أكبر (وهذا يخالف النتائج التجريبية)
٣- وبالتالي يمكن أن تنبعث الإلكترونات من سطح الفلز مهما كان تردد الضوء الساقط بشرط أن تكون شدته مناسبة (وهذا يخالف النتائج التجريبية)

تفسير أينشتين للظاهرة الكهروضوئية

قام أينشتين بتفسير الظاهرة الكهروضوئية كما يلي :

١- افترض أينشتين أن الضوء ينبعث على شكل كمات من الطاقة (فوتونات) وعند سقوط الفوتونات على سطح الفلز تعطي طاقتها كاملة لإلكترون واحد (عملية امتصاص الطاقة ليست بشكل مستمر)

٢- تتفاوت الإلكترونات المتحررة في طاقتها الحركية وذلك حسب مكان تحررها (الإلكترونات التي تتحرر من سطح الفلز تكون طاقتها الحركية أكبر من الإلكترونات التي تتحرر من باطن الفلز لأنها لا تصطدم بذرات الفلز)

٣- لا تتحرر الإلكترونات من سطح الفلز إلا إذا كانت طاقة الفوتون الساقط مساوية لقيمة معينة من الطاقة تسمى (اقتران الشغل (Φ)

تعريف :
اقتران الشغل : أقل طاقة لازمة لتحرير الإلكترون من سطح الفلز دون إعطائه طاقة حركية)

$$\Phi = \text{هـ} \times \text{ت}_{\text{د}_{\text{ه}}}$$

حيث : هـ ثابت بلانك

$\text{ت}_{\text{د}_{\text{ه}}}$: تردد العتبة للفلز

تعريف
الإلكترون فولت : الطاقة التي يكتسبها إلكترون عندما يتحرك في فرق جهد مقداره (١ فولت)
١ ev = ١,٦ × ١٠$^{-١٩}$ جول

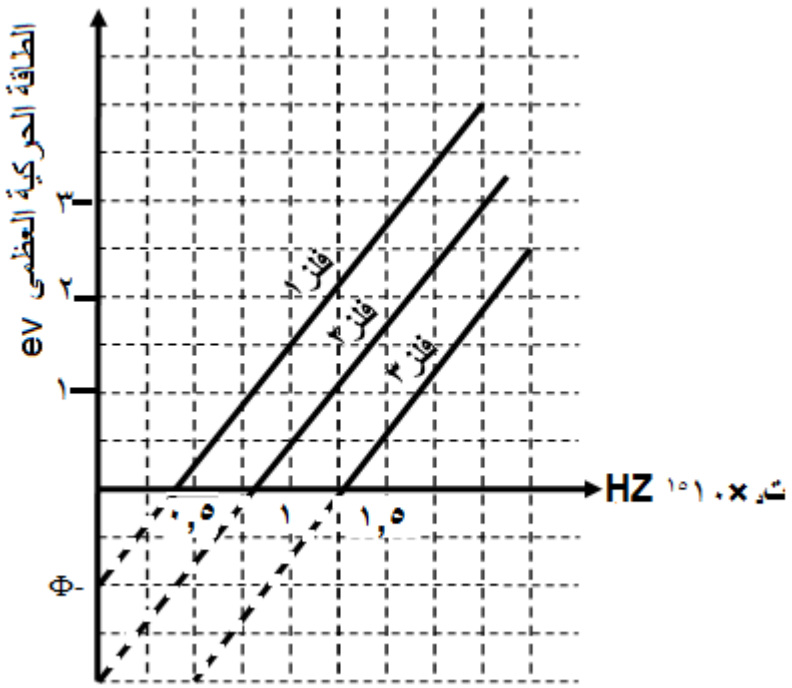
٤- إذا سقط فوتون طاقته أكبر من اقتران الشغل للفلز فإن جزء من الطاقة يتحرر به والجزء الآخر يتحول إلى طاقة حركية مع الإلكترون

$$\text{هـ} \times \text{ت}_{\text{ر}} = \text{هـ} \times \text{ت}_{\text{د}_{\text{ه}}} + \text{ط}_{\text{ح عظمى}}$$

$$\text{هـ} \times \text{ت}_{\text{ر}} = \text{هـ} \times \text{ت}_{\text{د}_{\text{ه}}} + \frac{١}{٢}\,\text{ك}_{\text{e}}\,\text{ع}_{\text{e}}^{٢}$$

٥- حسب نموذج أينشتين فإن زيادة شدة الضوء تعني زيادة التيار بسبب زيادة عدد الفوتونات الساقطة وبالتالي زيادة عدد الإلكترونات المتحررة ولا تتغير طاقة الفوتون لأنها تعتمد على التردد .

العلاقة بين تردد الضوء الساقط والطاقة الحركية العظمى :



١- جميع المنحنيات المرسومة متوازية هذا يدل على أن ميل الخط المستقيم لجميع المنحنيات هو مقدار ثابت (ثابت بلانك)

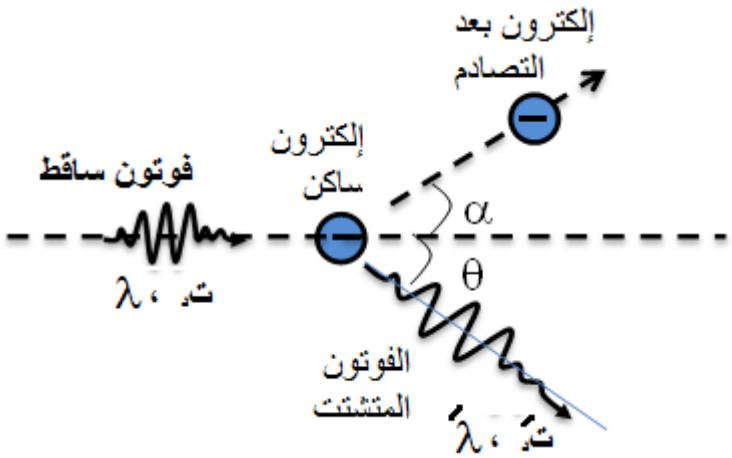
$$\text{الميل} = \text{هـ} = \frac{\text{ط}_{٢} - \text{ط}_{١}}{\text{ت}_{د٢} - \text{ت}_{د٢}}$$

٢- تمثل نقطة تقاطع الخطوط المستقيمة مع محور السينات (تردد العتبة)

٣- تمثل نقطة تقاطع الخطوط المستقيمة مع محور الصادات (Φ-)

ظاهرة كومبتون

عند اصطدام الفوتون مع الإلكترون الساكن لاحظ كومبتون ما يلي :



١- تشتت الاشعة السينية عند اصطدامها بالهدف

٢- تردد الاشعة المتشتتة أقل من تردد الاشعة الساقطة

تفسير المشاهدات :

فسر كومبتون الملاحظات كما يلي :

١- عندما يصطدم الفوتون (ط= هـ × ت$_{د}$) بالإلكترون يخسر جزء من طاقته ويكتسبها الإلكترون على شكل طاقة حركية

٢- يتشتت الإلكترون والفوتون بعد التصادم بزاويتين مختلفتين بحيث يكون تردد الضوء المتشتت أقل من تردد الضوء الساقط

أثبت كومبتون صحة الطبيعة الجسيمية للضوء وذلك عن طريق حساب الزخم الخطي للفوتون وإثبات أن الزخم الخطي محفوظ (وبالتالي انطبق على ظاهرة كومبتون قوانين التصادم التام المرونة)

$$خ = \frac{هـ}{\lambda}$$

ما هي الطرق التي تتفاعل فيها الإلكترونات مع المادة ؟

١- قد يصطدم الفوتون بالإلكترون ويتشتت (ظاهرة كومبتون) ويفقد جزء من طاقته فيقل تردده وتبقى سرعته ثابتة

٢- قد يتمكن الفوتون من تحرير إلكترون من سطح الفلز (الظاهرة الكهروضوئية) فيختفي الفوتون ويتحرك الإلكترون

٣- قد يمتص الإلكترون طاقة الفوتون وينتقل من مستوى طاقة إلى مستوى آخر

هل للمادة طبيعة مزدوجة؟ :

أثبت العلماء أن للضوء طبيعة مزدوجة

١- موجية (ظاهرة الحيود ، التداخل ، الانكسار)

٢- طبيعة جسيمية (الظاهرة الكهروضوئية ، ظاهرة كومبتون)

- اثبت العالم دي برولي نظرياً أن الجسيمات المادية لها طبيعة موجية تعطى حسب العلاقة

$$خ = \frac{هـ}{\lambda}$$

حيث (خ = ك ع) الزخم الخطي للجسيم

- تحقق العالمان دافيسون وجيرمي من صحة فرض ديبرولي حيث لاحظ العالمان حيود الإلكترونات عند سقوط حزمة منها على بلورة مادة صلبة واستطاعوا حساب الطول الموجي لموجة الإلكترون واتفقت مع نظرية ديبرولي
- يصعب مشاهدة الطبيعة الموجية لأجسام الكبيرة بسبب الطول الموجي القصير جداً
- يمكن الاستفادة من الخصائص الموجية للإلكترونات في تصميم المجهر الإلكتروني الذي يعمل على تسريع الإلكترونات فيزداد زخمها ويقل طولها الموجي فنحصل على موجات قصيرة تزيد من قوة التمييز في المجهر حيث أن المجهر الضوئي لا يستطيع إظهار التفاصيل التي تكون ابعادها أقل من طول موجة الضوء وهذا يدل على أن طول موجة ديبرولي أصغر من طول موجة الضوء

مسالة ١ :

يسقط ضوء طول موجته (٥٤٦نم) على سطح فلز حساس فتنطلق منه إلكترونات ضوئية ، فإذا كان جهد القطع للفلز حينئذٍ (٠,١٨ فولت) وعندما أصبح طول موجة الضوء الساقط (١٨٥نم) ، بلغ جهد القطع (٤,٦٣فولت) أحسب :

١- ثابت بلانك.

٢- اقتران الشغل للفلز.

٣- تردد العتبة للفلز.

مسألة ٢

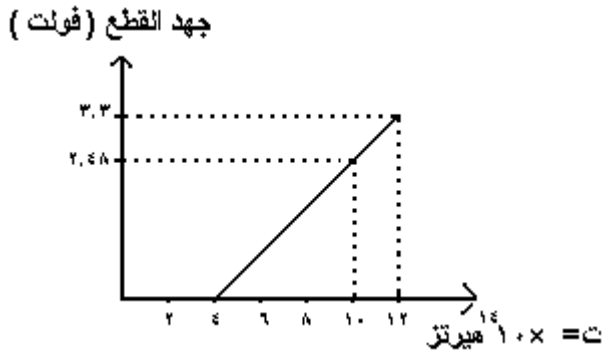
ج) سقط ضوء طول موجته (٣٠٠ أنجستروم) على سطح فلز اقتران الشغل له ($٣,٤ \times ١٠^{-١٩}$ جول) أحسب :

١- جهد القطع

٢- أكبر طول موجي يستطيع تحرير إلكترونات من هذا السطح.

مسألة ٣

أ) يمثل الرسم البياني المجاور العلاقة بين كل من جهد القطع وتردد الفوتونات الساقطة على مهبط خلية كهروضوئية ، مستعيناً بالبيانات المبينة على الرسم أحسب:



١- مقدار ثابت بلانك

٢- اقتران الشغل لمهبط الخلية الكهروضوئية

٣- الطاقة الحركية العظمى – بالجول – للإلكترونات المنبعثة عند إسقاط الأشعة التي ترددها (١٢×١٠^١٤) هيرتز على مهبط الخلية.

مسألة ٤

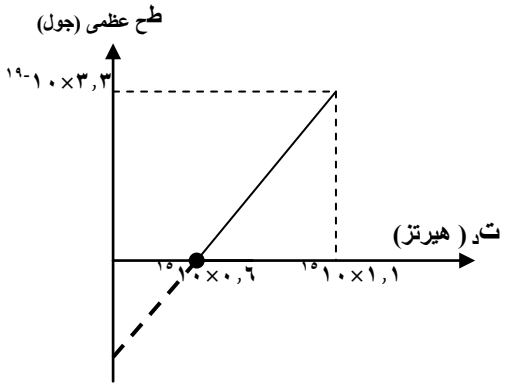
ب) في الخلية الكهروضوئية إذا كانت الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات الضوئية المنطلقة من الباعث (٦,٤×١٠^-١٩ جول) والطول الموجي اللازم لمرور التيار في الخلية يساوي (٦٠٠٠ أنجستروم) أحسب :

١- اقتران الشغل لمادة الباعث

٢- جهد الإيقاف

مسألة ٥

) يمثل الرسم المجاور العلاقة بين تردد الضوء الساقط والطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المنبعثة في الخلية الكهروضوئية . بالاعتماد على المعلومات المثبتة على الرسم : أحسب ما يلي



١- أكبر طول موجي يستطيع تحرير الإلكترونات من مهبط الخلية .

٢- ثابت بلانك

مسألة ٦

ب) أسقط ضوء تردده (٠,٨٠ × ١٠^١٥) هيرتز على سطح فلز الصوديوم ، إذا كان اقتران الشغل للصوديوم يساوي (٢,٥) إلكترون فولت فاحسب ما يأتي :

١- تردد العتبة للصوديوم

٢- الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المنبعثة من سطح الفلز

مسألة ٧

د) سقط شعاع ضوئي طول موجته (٤٠٠٠ أنجستروم) على فلز مهبط خلية كهروضوئية فانبعث إلكترونات طاقتها الحركية العظمى (٢,٥) إلكترون فولت أحسب :

١- اقتران الشغل للفلز ٢- فرق جهد القطع في الخلية ٣- تردد العتبة

مسألة ٨

أ- سقط فوتون تردده $٠,٧٥ \times ١٠^{١٥}$ هيرتز على سطح فلز تردد العتبة له ($٠,٥ \times ١٠^{١٥}$) هيرتز أحسب ما يأتي :

١- اقتران الشغل للفلز ٢- فرق جهد القطع للفلز

مسألة ٩

ب) أسقط ضوء طول موجته (٣٣٠×١٠^{-٩}) م على سطح فلز فانطلقت إلكترونات من سطحه ، فإذا كان جهد القطع للفلز حينئذٍ (٠,٦٢٥) فولت أحسب تردد العتبة للفلز .

الحل:

الأطياف الذرية

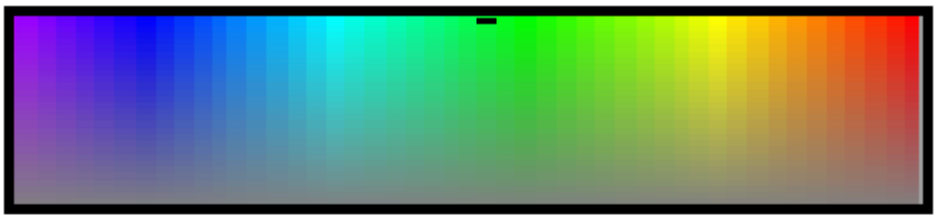
ملاحظات اساسية :

١- أي جسم ساخن يبعث إشعاعاً متصلاً من الموجات

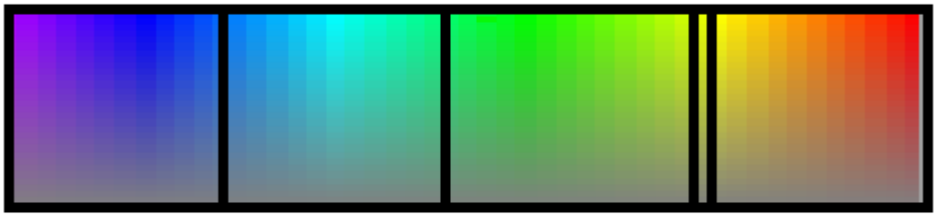
٢- في أنابيب التفريغ الكهربائي ينبعث من الغازات المنخفضة الضغط طيفاً على شكل خطوط منفصلة يسمى طيف انبعاث خطي

٣- يعتبر طيف الانبعاث الخطي خاصية مميزة لكل عنصر إذا أنه لا يمكن لعنصرين أن يكون لهما نفس الانبعاث الخطي

٤- عند مرور الطيف المتصل عبر غاز أحد العناصر يظهر خطوط سوداء عند أطوال موجية معينة في الطيف المتصل تسمى طيف امتصاص خطي وتعتبر هذه الأطياف أيضاً سمة مميزة للعناصر



طيف متصل



طيف امتصاص خطي

طيف انبعاث خطي

٥- الأطوال الموجية للطيف المنفصل (الخطي) تخضع لعلاقات رياضية سميت بسلاسل الطيف وهي على التوالي :

١- متسلسلة ليمان $\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{١}{١^{٢}} - \frac{١}{ن^{٢}}\right)$ ن = ٢ ، ٣ ، ٤ ، . . . . . .

R: ثابت ريد بيرغ = ١,٠٩٧×١٠^٧ م^-١

٢- متسلسلة بالمر $\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{١}{٢^{٢}} - \frac{١}{ن^{٢}}\right)$ ن = ٣، ٤ ، ٥ ، .....

٣- متسلسلة باشن $\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{١}{٣^{٢}} - \frac{١}{ن^{٢}}\right)$ ن= ٤ ، ٥ ، ٦ ،.....

٤- متسلسلة براكيت $\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{١}{٤^{٢}} - \frac{١}{ن^{٢}}\right)$ ن= ٥ ، ٦ ، ٧ ، .....

٥- متسلسلة فوند $\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{١}{٥^{٢}} - \frac{١}{ن^{٢}}\right)$ ن= ٦ ، ٧ ، ٨ ، .....

نموذج بور لذرة الهيدروجين

ملاحظات:

- وضع رذرفورد نموذجاً ذرياً افترض فيه أن الذرة تتكون من نواة موجبة تتركز فيها كتلة الذرة وإلكترونات سالبة تدور حول النواة كما تدور الكواكب حول الشمس
- واجه نموذج رذرفورد مشكلتين اساسيتين :

١- الشحنات التي تدور حول النواة لها تسارع مركزي وبالتالي وحسب النظرية الكهرومغناطيسية فإن الإلكترونات ستشع طاقة على نحو مستمر وبالتالي يكون الطيف الناتج متصلاً وليس خطياً

٢- إشعاع الإلكترونات للموجات الكهرومغناطيسية يفقدها طاقة على نحو مستمر مما يعني تناقص نصف قطر المدار وبالتالي السقوط في النواة وانهيار الذرة

فرضيات نموذج بور:

للتغلب على هذه المشاكل افترض بور نموذجاً معتمداً على مبدأ التكميم لبلانك على النحو التالي :

١- يتحرك الإلكترون في مدارات دائرية حول النواة بتأثير قوة الجذب الكهربائي

٢- يتحرك الإلكترون في مدارات ذات أنصاف أقطار محددة (مستويات طاقة) وتكون طاقته في هذه المستويات ثابتة ولا يشع أي طاقة ما دام في نفس المستوى

٣- لا يشع الإلكترون طاقة طالما بقي في نفس مستوى الطاقة ولكنه يشع طاقة محدودة إذا انتقل من مستوى طاقة إلى مستوى طاقة آخر ويكون مقدار الطاقة المشعة

$$هـ \times ت_د = |ط - ط_ه|$$

هـ × $ت_د$: مقدار طاقة الفوتون المنبعث أو الممتص

ط: طاقة الإلكترون في المستوى النهائي

$ط_ه$: طاقة الإلكترون في المستوى الابتدائي

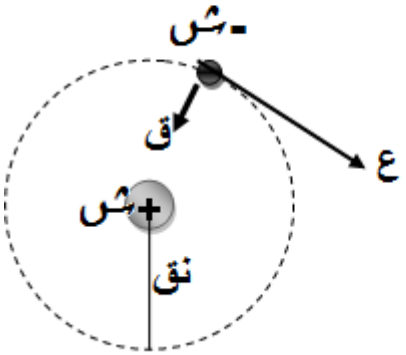
٤- يمتلك الإلكترون زخماً زاوياً مقداره (ك ع نق) والمدارات المسموح بها للإلكترون هي التي يكون فيها الزخم الزاوي

$$خ_ز = \frac{ن هـ}{٢ \pi}$$

$$ك_e \; ع_ن \; نق_ن = \frac{ن هـ}{٢ \pi}$$

حساب نصف قطر مدار الإلكترون

يتأثر الإلكترون بقوة تجاذب مع النواة تعمل كقوة مركزية مما يجعل الإلكترون يسير بمسار دائري نصف قطره



$$نق_ن = ٥.٢٩ \times ١٠^{-١١}\ ن^٢$$

حيث ٥.٢٩×١٠^{-١١} = نق ب

حساب مستويات الطاقة المسموح فيها للإلكترون

طاقة وضع الإلكترون في المدار (ن) هي

$$ط_ن = -\left(\frac{١٣.٦\ ev}{ن^٢}\right)$$

١- وتعني الإشارة السالبة أنه يجب تزويد الإلكترون بهذه الطاقة لتحريره من مستوى الطاقة دون إعطائه طاقة حركية

٢- يسمى المستوى الاول (ن=١) مستوى الاستقرار وتسمى باقي المستويات مستويات الإثارة

تفسير بور لظاهرة الطيف الخطي :

استطاع بور تفسير ظاهرة الطيف الخطي بناءاً على الفرض الثالث لنظريته حيث اعتمد على

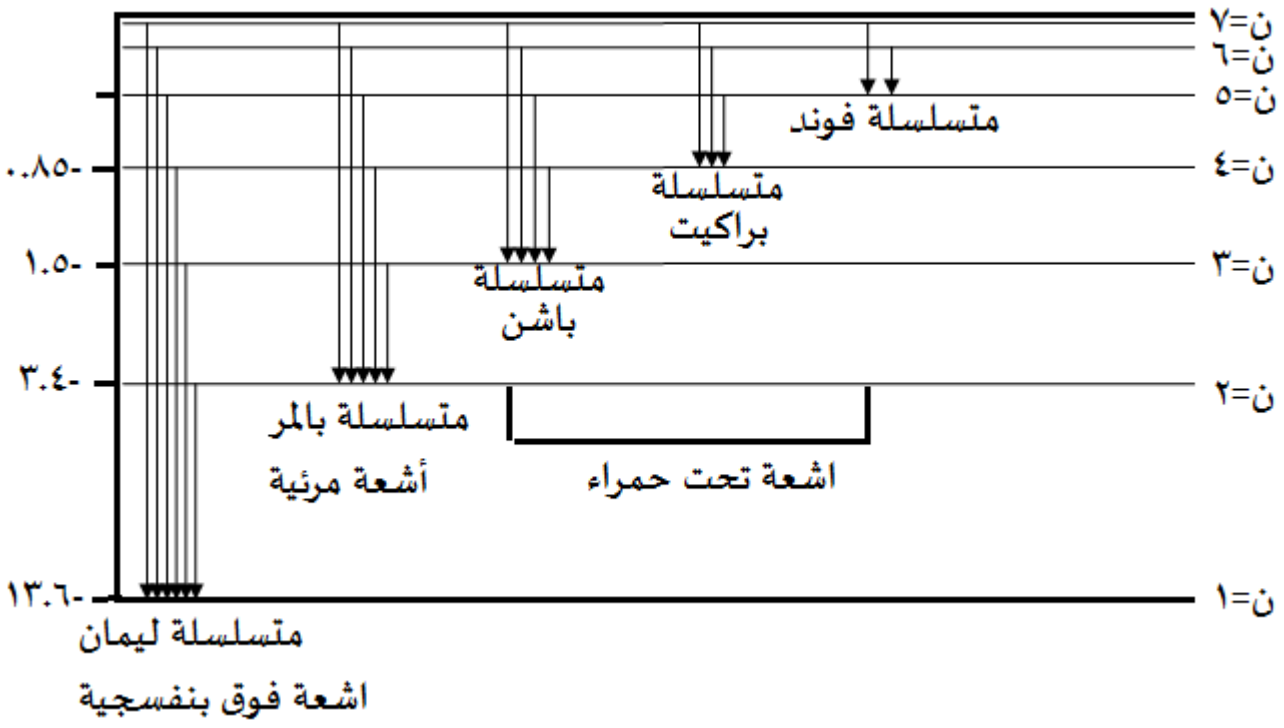
هـ ت$_{ن}$ = ط - ط$_{ه}$

وعن طريق حساب طاقة المستويات من العلاقة

توصل إلى العلاقة : ط$_{ن}$ = - ($\frac{١٣.٦ \text{ ev}}{ن^{٢}}$)

$$\frac{١}{\lambda} = R \left(\frac{١}{ن_{١}^{٢}} - \frac{١}{ن_{٢}^{٢}}\right)$$

مخطط يبين المتسلسلات للأطياف الخطية حسب نموذج بور



موجات الإلكترونات وفرضية دي برولي :

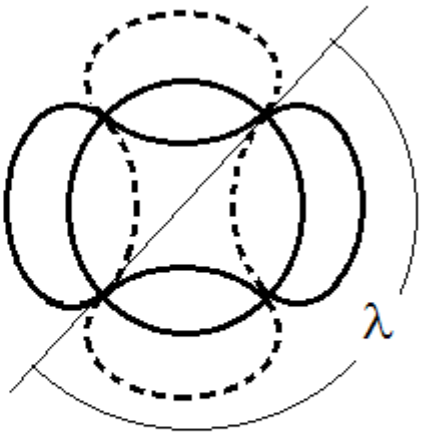
يصاحب الإلكترون الذي يدور في مدار(ن) موجات ويكون محيط المدار الدائري = عدد صحيح من الأطوال الموجية وإلا تداخلت الموجات تداخلاً هداماً وبالتالي فإن عدد الموجات الصحيحة يدل على رقم المدار

$$ن \lambda = ٢ \pi نق_ن$$

من فرض دي برولي

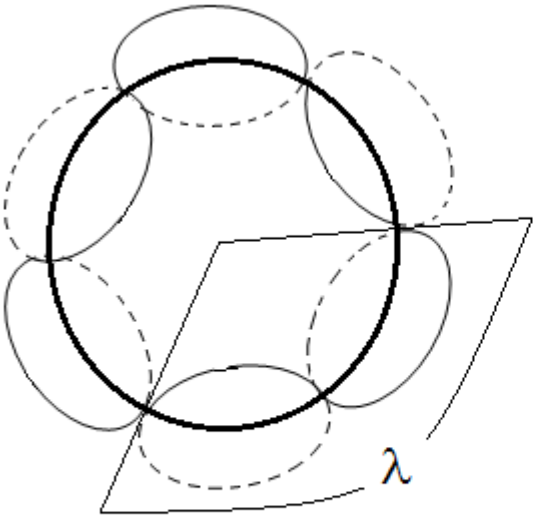
$$\lambda = \frac{هـ}{ك ع}$$

$$٢ \pi نق_ن = \frac{ن هـ}{ك ع}$$ وهذا هو الفرض الرابع لبور



عدد الموجات = ٢

رقم المستوى =٢



عدد الموجات =٣

رقم المستوى = ٣

مآخذ على نموذج بور الذري :

١- لم يتمكن من التنبؤ بالأطوال الموجية للذرات عديدة الإلكترونات

٢- لم يفسر تألف بعض خطوط الطيف من خطين عند تفحصها بأدوات عالية الدقة

٣- لم يفسر انقسام خط الطيف إلى خطين عند تعريضه لمجال مغناطيسي

مسألة ١

إذا وجد إلكترون ذرة الهيدروجين في المستوى الرئيسي الثاني أحسب :

١- طول الموجة المصاحبة للإلكترون .

٢- سرعة الإلكترون .

٣- طاقة الإلكترون في مداره .

مسألة ٢

انتقل إلكترون ذرة هيدروجين من مدار طاقته (-١,٥ إلكترون فولت) إلى مدار طاقته (-٣,٤ إلكترون فولت) حسب نموذج بور أحسب :

١) تردد الإشعاع المنبعث

٢) الزخم الزاوي للإلكترون في المدار الذي انتقل إليه

٣) طول موجة ديبرولي للإلكترون في المدار(١,٥ إلكترون فولت

)

مسألة ٣

) يتحرك إلكترون في المستوى الأول لذرة الهيدروجين أحسب :

١- الزخم الزاوي للإلكترون

٢- طول موجة ديبرولي للإلكترون

٣- تردد الفوتون اللازم لنقله إلى المستوى الثالث من الذرة

مسألة ٤

إلكترون في مستوى الطاقة (ن=٣) لذرة هيدروجين مثارة . أحسب

١- طول موجة ديبرولي المصاحبة لحركة الإلكترون .

٢- طول موجة الفوتون المنبعث عند انتقال الإلكترون من مستوى الطاقة (ن=٣) إلى (ن=١)

مسألة ٥

انتقل إلكترون ذرة الهيدروجين من مستوى الطاقة (٤) إلى مستوى الطاقة (٢) :

١- طاقة الإلكترون في المستوى الرابع مقدرة بالإلكترون فولت

٢- طاقة الإلكترون في المستوى الثاني مقدرة بالإلكترون فولت

٣- طاقة الفوتون المنبعث مقدرة بالإلكترون فولت

٤- الطول الموجي للفوتون المنبعث

٥- الزخم الزاوي للإلكترون في المدار الثاني

٦- طول موجة ديبرولي للإلكترون في المدار الثاني

مسألة ٦ :

أثبت أن طول موجة ديبرولي لإلكترون في مستوى الطاقة (ن) هي:(٢πنق$_{ب}$ ن)

مسألة ٧:

انتقل إلكترون من مستوى طاقة (ط=-١,٥ إلكترون فولت) إلى مستوى طاقة (-٣,٤ إلكترون فولت) في ذرة الهيدروجين أحسب ما يلي :

- رقم المدارلكل من مستويي الطاقة
- طاقة الفوتون المنبعث
- إلى أي سلسلة ينتمي الطيف المنبعث
- إلى أي نوع من الإشعاع ينتمي طيف الانبعاث الخطي

٢٠٠٧ شتوى

أ) علّل لكل مما يأتي : (٤ علامات)

١) عند سقوط ضوء أزرق على سطح فلز السيزيوم تنبعث منه إلكترونات ضوئية، في حين لا تنبعث أي إلكترونات إذا سقط الضوء نفسه على سطح فلز الخارصين.

٢) يمكن ملاحظة الطبيعة الموجية للجسيمات الذرية ودون الذرية،بينما لا يمكن ملاحظتها للأجسام الجاهرية.

ب) إذا انتقل إلكترون ذرة هيدروجين مثارة من مستوى الطاقة الرابع إلى مستوى الطاقة الثاني.

فأجب عما يأتي : (٨ علامات)

أولاً : ما اسم السلسلة التي ينتمي إليها الطيف الكهرمغناطيسي المنبعث ؟

ثانياً : احسب كلاً مما يأتي :

١- الزخم الزاوي للإلكترون في مستوى الطاقة الرابع.

٢- طاقة الفوتون المنبعث بوحدة (إلكترون فولت).

٤

أ) ١- لأن تردد الضوء الأزرق أكبر من تردد العتبة لفلز السيزيوم (أي طاقة الفوتون للضوء الأزرق أكبر > اقتران الشغل لفلز السيزيوم) وأقل من تردد العتبة لفلز الخارصين. ①

٢- لأن الطول الموجي المصاحب للجسيمات الذرية ودون الذرية يساوي مقدار كبير جداً يمكن قياسه ومشاهدته ① بخلاف الطول الموجي المصاحب للجسيمات الجاهرية فهو صغير جداً يتعذر قياسه أو ملاحظته. ①

٨

ب) أولاً : (بالمر) ①

ثانياً : ١- $\text{خ} = \frac{\text{ن هـ}}{2\pi} = \frac{\text{غ} \times 6.6 \times 10^{-34}}{2 \times \frac{22}{7}}$ ①

الزخم الزاوي $= 2.4 \times 10^{-34}$ جول.ثانية ①

٢- $\text{ط}_{\text{ن}} = -\frac{13.6}{\text{ن}^2}$ ①

$\text{ط}_4 = -\frac{13.6}{16} = -0.85$ إلكترون فولت ①

$\text{ط}_2 = -\frac{13.6}{4} = -3.4$ إلكترون فولت ①

طاقة الفوتون المنبعث $= (-0.85) - (-3.4)$ ①

$= 2.55$ إلكترون فولت ①

٢٠٠٧ صيفي

ب) سقط ضوء طول موجته (٢٥٠ × ١٠$^{-٩}$) م على سطح فلز ، فإذا وجد أن فرق جهد القطع للفلز حينئذ يساوي (٢) فولت ، **فاحسب ما يأتي :** (٩ علامات)

١) الطاقة الحركية العظمى للإلكترون المنبعث من سطح الفلز بوحدة (الجول).

٢) اقتران الشغل لهذا الفلز.

(١) (١) (١)

ب - ١ - ط$_{ح}$ = ن ٠ ك = ١,٦ × ١٠$^{-١٩}$ × ٢ = ٣,٢ × ١٠$^{-١٩}$ جول

٢ - ص = ∅ = ط$_{ح}$ - ن$_{د}$ (٢)

٩ ن$_{د}$ = س / ك = ٣ × ٨٠ / ٢٥٠ × ١,٠ = ١,٢ × ١٠^{١٥} هرتز (١) (١)

∅ = (١,٦ × ١٠$^{-٣٤}$ × ١,٢ × ١٠^{١٥}) - ٣,٢ × ١٠$^{-١٩}$

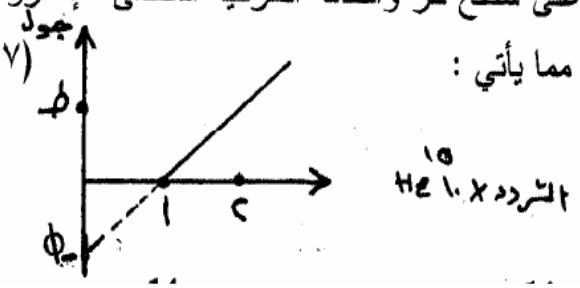
= ٧,٩٢ × ١٠$^{-١٩}$ - ٣,٢ × ١٠$^{-١٩}$ (١)

= ٤,٧٢ × ١٠$^{-١٩}$ جول (١)

٢٠٠٨ شتوي

أ – إلكترون ذرة هيدروجين مثارة موجود في مستوى الطاقة الثالث (ن = ٣)، **بيّن** أن طول الموجة المصاحبة له يعطى بالعلاقة (**λ = ٦ π نق**). (حيث نق : نصف قطر المدار الأول) (٥ علامات)

أ – يمثّل الشكل العلاقة بين تردد الضوء الساقط على سطح فلز والطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المنطلقة من سطح الفلز. اعتماداً عليه **احسب** قيمة كل مما يأتي : (٧ علامات)



١) اقتران الشغل (ف).

٢) فرق جهد القطع.

أ- باستخدام كلا من:

ط ع لعظمى = ح ن / ج (١) و λ = ح / ط ع (١)

ط ع = ح ن / (ج λ)

ج λ لعظمى / ن = ح / ط ع (١) ، لعظمى = ن^٢ لعظمى (١)

إذا طبق الطالب ٢ π نق = n λ مباشرة يأخذ علامتان فقط

λ = ٢ π ن^٢ لعظمى / ن = ٢ π ن لعظمى (١) ، "ن = ٣"

λ = ٦ π نق

٢- أ- ف = ح ت_ع (١) "ت_ع = ١ × ١٠^١٥ هيرتز" (١)

= (٦,٦ × ١٠^-٣٤)(١ × ١٠^١٥) (١)

= ٦,٦ × ١٠^-١٩ جول

٢- ط = ح ت − ف (١) "ت = ٢ × ١٠^١٥ هيرتز"

= (٦,٦ × ١٠^-٣٤)(٢ × ١٠^١٥) − ٦,٦ × ١٠^-١٩ (١)

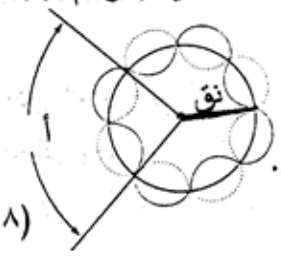
= ١٣,٢ × ١٠^-١٩ − ٦,٦ × ١٠^-١٩

= ٦,٦ × ١٠^-١٩ جول

Δ جـ = ط / هـ (١) = ٦,٦ × ١٠^-١٩ / ١,٦ × ١٠^-١٩ فولت (١) = ٤,١٢٥ فولت

٢٠٠٨ صيفي

ج- يمثّل الشكل المرسوم جانباً موجات إلكترون ذرة الهيدروجين في مدار ما، مستعيناً بالرسم **أجب عما يأتي** :



أولاً : ١- ما رقم المدار الذي يوجد فيه الإلكترون ؟

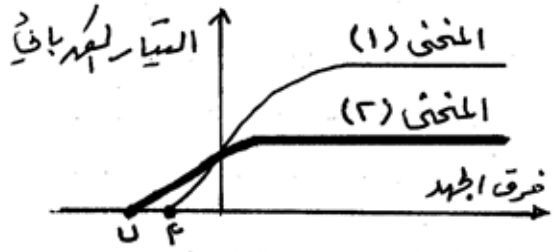
٢- ماذا تمثل (أ) ؟

ثانياً : **احسب** : ١- نصف قطر المدار (نق) الذي يوجد فيه الإلكترون.

٢- الزخم الزاوي لهذا الإلكترون.

(٨ علامات)

أ – الرسم البياني المجاور يمثّل نتائج تجربة أجريت باستخدام خلية كهرضوئية وذلك لدراسة العلاقة بين فرق الجهد والتيار الكهربائي المار فيها. معتمداً على الرسم **أجب عما يأتي** : (٤ علامات)



١- أي المنحنيين يمثّل شدة الضوء الساقط الأكبر على باعث الخلية **ولماذا** ؟

٢- ماذا تمثل كل من النقطتين (أ ، ب) ؟

٣- أي المنحنيين يمثل تردد الضوء الساقط الأكبر ؟

٨

ج - أولاً: رقم المدار، ن = ٤ (١)

ج - λ : طول موجة دي بروي المصاحبة للإلكترون (١)

ثانياً: ١- سع = ٢ π نق (١)

= ١٦ × ٥,٢٩ × ١٠^-١١ (١)

= ٨٤,٦٤ × ١٠^-١١ م (١)

٢- الزخم الزاوي = ن هـ / ٢π (١)

= ٤ × ٦,٦٢ × ١٠^-٣٤ / ٢ × ٢٢/٧ (١)

= ٢,٤ × ١٠^-٣٥ كغم م²/ث (١) أو

= (٢,٤ × ١٠^-٣٥) جول.ث

٤

أ - ١- المنحنى (١) يمثل شدة الضوء الأكبر (١) لأن مقدار التيار أكبر (١)

٢- (أ ، ب) تمثلان فرق جهد القطع. (١)

٣- المنحنى (٢) يمثل تردد الضوء الأقل الأكبر (١)

٢٠٠٩ شتوي

أ) الرسم المجاور يبيّن مخططاً لمستويات الطاقة،مستعيناً بالقيم المثبتة عليه : (١٠علامات)

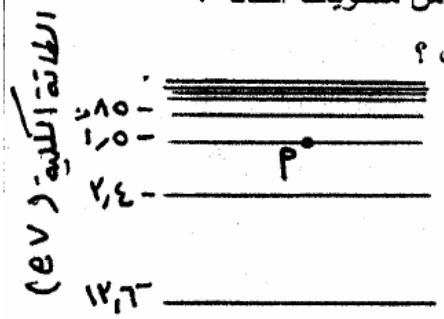
أولاً : ١) ماذا يحدث للإلكترون (أ) عندما ينتقل بين مستويين مختلفين من مستويات الطاقة ؟

٢) ماذا تمثّل **الإشارة السالبة** في المقدار (-١٣,٦) إلكترون فولت ؟

ثانياً : احسب :

١) أقصر طول موجي في متسلسلة بالمر.

٢) طول موجة دي بروي المصاحبة للإلكترون (أ).



(٧ علامات)

أولاً: ١- إذا انتقل من مستوى ادنى لمستوى اعلى يمتص طاقة. ①

وإذا انتقل من مستوى اعلى الى مستوى ادنى يبعث طاقة. ①

١٠

٢- تعني انه يجب تزويد الالكترون بطاقة مقدارها (+ ١٣,٦ eV) ①

لتحريره من الذرة. او كون الكمية طاقة حركة

ثانياً: ١- في متسلسلة بالمر المستوى الذي ن = ٢، واقصر طول موجي ن = ∞

$\frac{1}{\lambda} = R\left|\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right|$ ①

$= 1\times10^7 \left|\frac{1}{2^2} - \frac{1}{\infty^2}\right|$ ① $\Rightarrow \lambda = 4\times10^{-7}\ m$ ①

٢- $\lambda = \frac{h}{mv}$ ① $mv = \frac{h}{\lambda}$ ① $mv = 3$ من الشكل

$\lambda = \frac{h\times c}{3h}$ ① $\Rightarrow \lambda = 6\ \mu m$ ①

او $\lambda = 6.6\times0.6\times10^{-11}\ m$

٢٠٠٩ صيفي

ب) إلكترون ذرة هيدروجين في مستوى طاقة محدد (ن)؛ وجد أن طول موجة دي بروي المصاحبة له تساوي (٤ π نق$_{ب}$). **احسب** : (٩ علامات)

١) رقم مستوى الطاقة المحدد (ن).

٢) الطاقة اللازم تزويد الإلكترون بها لكي يغادر مداره نهائياً.

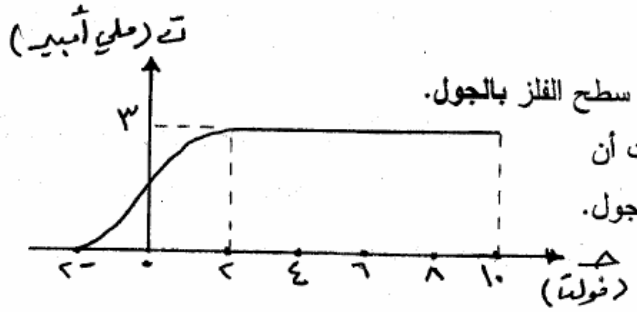
٣) الزخم الزاوي للإلكترون.

ج) يُمثّل الرسم البياني العلاقة بين الجهد الكهربائي والتيار المار في الخلية الكهرضوئية، مستعينا بالقيم المثبتة على الرسم **أوجد** : (٥ علامات)

١) مقدار فرق جهد القطع للفلز.

٢) الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المنبعثة من سطح الفلز **بالجول**.

٣) طاقة الفوتون الساقط على مهبط الخلية، إذا علمت أن اقتران الشغل الكهرضوئي للفلز ($٣,٢ \times ١٠^{-١٩}$) جول.



ب - ١ - $ن\lambda = ٢\pi نق_{ب}$ ① $لب = ن^{٢} لب$

٩ $\lambda = ٢\pi ن لب$ ①

$ن = \frac{(٤\pi لب)}{٢\pi لب}$ ① ← $ن = ٢$ ①

٢ - $ط = ط + \frac{٢\pi لب}{لب}$ ①

$ط = ط + \frac{٦,٦ \times ١٠^{-٣٤}}{٤}$ ① $= ط + ٤,٣ ف$ ($\frac{١}{٢}$)

إذا حسب الطالب طاقة الفوتون (= ٤,٣ ف) . يعطى علامة واحدة فقط

٣ - $خ_{ز} = \frac{ن هـ}{٢\pi}$ ①

$= \frac{٢ \times ٦,٦ \times ١٠^{-٣٤}}{٢\pi}$ ①

$= ١,٢ \times ١٠^{-٣٤}$ جول.ث ($\frac{١}{٢}$)

ج - ١ - $ف_{ق} = ٢$ فولت ① أو -٢ فولت

٥ ٢ - $ط_{ح} = ش_{ك} + ط_{ق}$ ①

$ط_{ح} = ٦,٦ \times ١٠^{-١٩} \times ٢$ ① $= ٣,٢ \times ١٠^{-١٩}$ جول.

٣ - $ط_{ح} = هـ ت_{ك} - ش$ ①

$٣,٢ \times ١٠^{-١٩} = هـ ت_{ك} - ٣,٢ \times ١٠^{-١٩}$

طاقة الفوتون = $هـ ت_{ك} = ٦,٤ \times ١٠^{-١٩}$ جول. ①

٢٠١٠شتوى

أ) عند زيادة شدة الضوء الساقط على باعث الخلية الكهرضوئية، **ما الذي يحدث لكل مما يلي "مفسّراً إجابتك لكل حالة"** : ١) تيار الخلية. ٢) فرق جهد القطع. (٦ علامات)

ج) تمثّل العلاقة (ك ع نق = $\frac{\text{ن هـ}}{\text{٢ } \pi}$) فرضاً من فروض بور : (٦ علامات)

١) **اكتب** نص الفرضية التي تمثلها هذه العلاقة.

٢) اعتماداً على هذه العلاقة، **بيّن أن** الطاقة الحركية للإكترون تعطى بـ (طح = $\frac{١}{٨}$ $\frac{\text{ن}^{٢}\text{ هـ}^{٢}}{\text{ك } \pi \text{ نق}^{٢}}$).

أ - ١- يزداد التيار الكهربائي (١) بزيادة شدة الضوء تعني زيادة عدد الفوتونات (١) وبالتالي زيادة عدد الالكترونات المحررة. (١)

٢- يبقى ثابتاً، جهد القطع يعتمد على طاقة او تردد الفوتون (١) وزيادة (١) شدة الضوء لا تزيد من طاقة الفوتون او تردده. (١)

ج - ١- يمتلك الالكترون الذي يدور حول النواة نرخاً زاوياً (ل = ن ث) ويكون لهذا الزخم كم محدد، أي المدارات المسموح للالكترون ان يتواجد فيها هي التي يكون فيها الزخم الزاوي للالكترون مضاعفات $\text{هـ}/٢\pi$ (علامتان)

٢- ط = $\frac{١}{٢}$ ك ع^{٢} (١) من العلاقة ع = $\frac{\text{ن هـ}}{\text{٢}\pi \text{ ك نق}}$ (١)

ط = $\frac{١}{٢}$ ك $\left(\frac{\text{ن}^{٢}\text{ هـ}^{٢}}{\text{٤}\pi^{٢}\text{ ك}^{٢}\text{ نق}^{٢}}\right)$. (٢)

= $\frac{١}{٨}$ $\left(\frac{\text{ن}^{٢}\text{ هـ}^{٢}}{\pi^{٢}\text{ ك نق}^{٢}}\right)$

٢٠١٠صيفي

ب) تمثل المعادلة $\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ ، ن = ٣ ، ٤ ، ... إحدى العلاقات التجريبية التي تعطي طيف ذرة الهيدروجين : (٤ علامات)

١) ما اسم المتسلسلة التي تمثلها هذه المعادلة؟ ٢) ماذا يسمى الثابت (R)؟ وما وحدته؟

ب) سقط فوتون تردده (1×10^{15}) هيرتز على فلز دالة الشغل له (3.3×10^{-19}) جول. احسب :

١) تردد العتبة للفلز.

٢) الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المنبعثة بوحدة الجول.

٣) الزخم الخطي للفوتون الساقط. (٨ علامات)

٤ ب- ١- متسلسلة بالمر. (٢)

٢- ثابت ريدبرغ ووحدته $م^{-1}$ أو $\frac{1}{م}$. (١) (١)

٥ ب- ١- $ت_{د} = \frac{ص}{هـ}$ (١) $= \frac{3.3 \times 10^{-19}}{6.6 \times 10^{-34}}$ (١) $= 0.5 \times 10^{15}$ هيرتز. (½)

٢- $ط_{ح} = هـ ت - ص$ (١)

$= 6.6 \times 10^{-34} \times 10^{15} - 3.3 \times 10^{-19}$ (١)

3.3×10^{-19} جول. (½)

٣- $خ = \frac{هـ}{\lambda}$ (١) $= \frac{هـ ت}{ع}$ (*)

$= \frac{6.6 \times 10^{-34} \times 10^{15}}{3 \times 10^{8}}$ (١) $= 2.2 \times 10^{-27}$ كغم م/ث. (*)

٢٠١١ شتوي

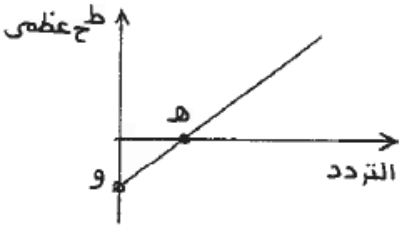
ب) افترض دي برولي وجود موجات مصاحبة لحركة الجسيمات المادية (موجات دي برولي)، (٣ علامات)

١) اكتب العلاقة الرياضية التي تحسب الطول الموجي لموجة دي برولي.

٢) اذكر دليلاً تجريبياً على وجود تلك الموجات.

٣) اذكر تطبيقاً عملياً واحداً لاستخدام تلك الموجات.

ب) الشكل المجاور يمثل العلاقة بين تردد الضوء الساقط والطاقة الحركية العظمى للإلكترونات الضوئية المتحررة في الخلية الكهروضوئية.



اعتماداً على الشكل: ١) ماذا تمثل كل من النقطتين (هـ ، و) ؟

٢) إذا استبدل الفلز بآخر اقتران الشغل له مختلف فهل يتغير ميل المنحنى؟

٣) احسب فرق جهد القطع عند سقوط ضوء بتردد(١×١٠^{١٥}) هيرتز على فلز اقتران الشغل له = (٢) إلكترون فولت.

ب - ١ - $\lambda = \frac{هـ}{ك ع}$ ①

٢

٢ - صعود إلكترونات (أو النيوترونات أو ذرات كبيرة وصغيرة) في البلورات ①

٢ - الجهر الإلكتروني ①

ب) ١ - هـ : تردد العتبة ①

و : اقتران الشغل ($-\phi$) ①

٢ - لا يتغير ①

٣ - $هـ ت_د = \phi + ط ح_{عظمى}$ ①

$(٦,٦ \times ١٠^{-٢٤}) \times (١ \times ١٠^{١٥}) = (٢ \times ١,٦ \times ١٠^{-١٩}) + ط ح$ ①

$ط ح = ٢,٤ \times ١٠^{-١٩}$ جول

$ط ح = س \Delta هـ_ق$ ①

$٢,٤ \times ١٠^{-١٩} = ١,٦ \times ١٠^{-١٩} \Delta هـ_ق \Leftarrow \Delta جـ_ق = ١,٥$ فولت ①

٢٠١١ صيفي

) علّل كلاً مما يأتي:

١) أسقط فوتونان مختلفان في التردد على فلز واحد، فانطلق من الفلز إلكترونان متساويان في الطاقة الحركية.

أ) إلكترون ذرة هيدروجين مثارة،موجود في المستوى الثالث للطاقة، احسب: (٥ علامات)

١) مقدار الطاقة (بوحدة الإلكترون فولت) اللازم إعطائها للإلكترون ليغادر الذرة نهائياً.

٢) نصف قطر مدار هذا الإلكترون.

أي صورة لجواب الطالب تأخذ العلامة كاملة

٢٠٠

أ - ١) لأن الالكترونان انطلقا من اماكن مختلفة من الفلز ①

حيث أن: الفوتون ذو التردد الاعلى انتزع الكترون من عمق معين من الفلز. ①

او الفوتون ذو التردد الأقل انتزع الكترون من عمق أقل ①

أ - ١ - ط = ط∞ - ط٣ ①

ط٣ = -١٣,٦ / ٣² = -١,٥ e.v. ①

ط = ب - (-١,٥) = +١,٥ الكترون فولت. ①

٢ - نق٣ = نق١ × ٣² ①

= ٥,٢٩ × ١٠^-١١ × ٩ = ٤٧,٦١ × ١٠^-١١ م ①

إجابات أسئلة الفصل السادس

١)

رقم الفقرة	١	٢	٣	٤
رمز الإجابة الصحيحة	ب	أ	ب	أ

٢) صحيحة .

إذا كانت الالكترونات الواصلة إلى الهدف ذات طاقة منخفضة، فلن تتحرر إلكترونات من مستويات الطاقة الداخلية لذرة الهدف وبالتالي لن تظهر ألخطوط المنفصلة المميزة لطيف الأشعة السينية.

٣) اعتمد على أن الأشعة السينية تتألف من فوتونات أي أن لها طبيعة جسيمية ،وبناءً على هذا الفرض بين أن التصادم بين الفوتون والإلكترون يخضع لقوانين التصادم تام المرونة بين الجسيمات المادية .أي أن الزخم محفوظ.

٤) لأنه وفقاً لنموذج رذرفورد فإن للإلكترون تسارع مركزي والنظرية الكهرمغناطيسية تفترض أن الشحنات المتسارعة تشع موجات على نحو مستمر لذلك من المتوقع أن يكون الطيف المنبعث مستمر وليس خطياً.

٥) $ط_{ح} = \frac{١}{٢} ك ع^{٢}$ ، $ط_{و} = ش \Delta جـ$

وبما أن الزيادة في طاقة الحركة تساوي النقصان في طاقة الوضع ،إذا:

$\frac{١}{٢} ك ع^{٢} = ش \Delta جـ$. وبضرب طرفي المعادلة بـ ك:

$\frac{١}{٢} ك^{٢} ع^{٢} = ك ش \Delta جـ$

$\frac{١}{٢} خ^{٢} = ك ش \Delta جـ \Leftarrow خ^{٢} = ٢ ك ش \Delta جـ$

$\leftarrow خ = \sqrt{٢ ك ش \Delta جـ}$

لكن $\lambda = \frac{هـ}{خ}$

$\Leftarrow \lambda = \frac{هـ}{\sqrt{٢ ك ش \Delta جـ}}$

٦) أ) لأن الإلكترون المتسارع –وفقًا للنظرية الكهرمغناطيسية – سوف يفقد طاقة بشكل مستمر وهذا يعني أن نصف قطر مدار الإلكترون سوف يتناقص تدريجيًا إلى أن يصطدم في النواة.

ب) افترض بور أن الإلكترون يشع طاقة فقط إذا انتقل من مستوى طاقة إلى آخر أما إذا بقي في مستوى طاقة معينة فلا يمكن أن يشع طاقة.

٧) $\frac{أ\nu^{٢}}{نق^{٢}} = \frac{ك\ ع^{٢}}{نق}$

من الفرضية الرابعة لنموذج بور: $ك\ ع = \frac{ن\ هـ}{٢\pi\ نق}$

$\leftarrow \frac{أ\nu^{٢}}{نق^{٢}} = \frac{ن\ هـ}{٢\pi\ نق^{٢}} \times ع$

$\leftarrow ع = \frac{٢\ \pi\ أ\ \nu^{٢}}{ن\ هـ}$

٨) من الجدول (٦-١) نجد أن اقتران الشغل للرصاص = ٤,٢٥ إلكترون فولت

طاقة الفوتون = Φ + $ط_{ح عظمى}$ = ٤,٢٥ + ٢ = ٦,٢٥ إلكترون فولت

$ط = ٦,٢٥ \times ١,٦ \times ١٠^{-١٩} = ١ \times ١٠^{-١٨}$ جول

$ط = هـ\ ت_{د} \Leftarrow ت_{د} = \frac{ط}{هـ} = \frac{١ \times ١٠^{-١٨}}{٦,٦ \times ١٠^{-٣٤}} \simeq ١,٥ \times ١٠^{١٥}$ هيرتز .

٩) أ) نعم .حيث تمثل (١٣,٦إلكترون فولت) طاقة التأيين وهي أقل طاقة لازمة لتحرير الإلكترون من الذرة نهائيًا .كما يمكن للذرة أن تمتص فوتونًا طاقته أقل من ١٣,٦ إلكترون فولت، مما يؤدي إلى انتقال الإلكترون من مستوى طاقة لآخر أو قد يتحرر الإلكترون من مستوى طاقة ما.

ب) الزخم الزاوي.

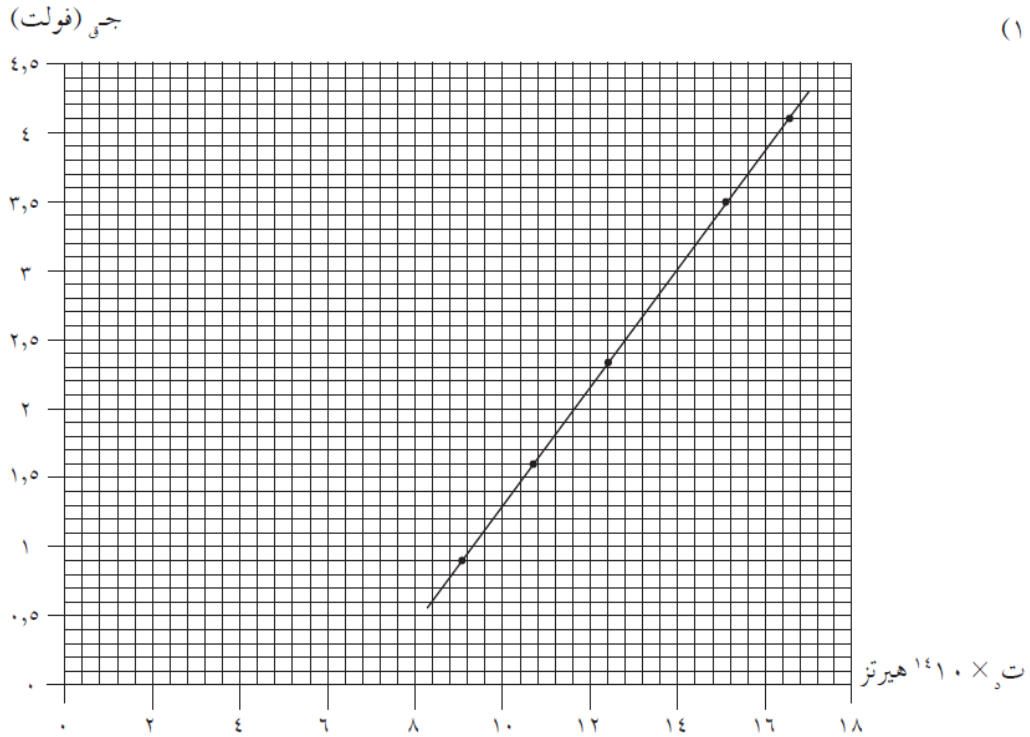
جـ) إذا امتص طاقة تساوي فرق الطاقة بين المستويين

د) طاقة فوتون الضوء = $هـ\ ت_{د} = \frac{هـ\ س}{\lambda} = \frac{٦,٦ \times ١٠^{-٣٤} \times ٣ \times ١٠^{٨}}{٦٠٠ \times ١٠^{-٩}} = ٣,٣ \times ١٠^{-١٩}$ جول .

$ط = |ط - ط_{٥}| = |-١,٥ - -٣,٤| = ١,٩$ إلكترون فولت = $٣,٠٤ \times ١٠^{-١٩}$ جول. الطاقة اللازمة لانتقال الإلكترون.

وبما أن طاقة الفوتون الساقط لا تساوي الطاقة اللازمة لانتقال الإلكترون إذا لن ينتقل.

١٠)



أ) – المنحنى يبين أنه إذا كانت قيمة تردد الضوء أقل من مقدار معين فلن ينبعث الكترونات من سطح الفلز ويمكن تفسير ذلك وفقًا لآينشتين بأن طاقة الفوتون أقل من الطاقة اللازمة لتحرير الإلكترون.

–المنحنى يبين أن العلاقة بين فرق جهد القطع وتردد الضوء طردية وهذا يتفق مع المعادلة (هـ ت$_{د}$ = Φ + ـــ جـ$_{ق}$) فعند زيادة تردد الضوء الساقط تزداد الطاقة الحركية للإلكترونات المتحررة وبالتالي يزداد فرق الجهد اللازم لإيقافها.

ب) من المنحنى نجد أن ت$_{د}$ = ٦,٨ × ١٠^{١٤} هيرتز (تقريباً)

هـ = $\frac{\Delta \text{ـــ جـ}_{ق}}{\Delta \text{ت}_{د}}$ = ـــ × ميل الخط المستقيم

ميل الخط = $\frac{٠,٥ - ٠}{(٦,٨ - ٨) \times ١٠^{١٤}}$ = ٤,١٦٦ × ١٠$^{-١٥}$

هـ = ١,٦ × ١٠$^{-١٩}$ × ٤,١٦٦ × ١٠$^{-١٥}$ = ٦,٦ × ١٠$^{-٣٤}$ جول.ث

Φ = هـ ت$_{د}$ = ٤,٤٨٨ × ١٠$^{-١٩}$ جول = ٢,٨ إلكترون فولت

جـ) كالسيوم.

د) ١) لن يتغير

٢) تتغير نقطة تقاطع المنحنى مع محور السينات ومع محور الصادات ويبقى ميل المنحنى ثابت أي نحصل على خط مستقيم مواز لهذا الخط .

١١) أ) ط = ٤ × ١,٦ × ١٠$^{-١٩}$ = ٦,٤ × ١٠$^{-١٩}$ جول

ط = هـ ت$_{د}$ = $\frac{\text{هـ س}}{\lambda}$ ⇐ λ = $\frac{\text{هـ س}}{\text{ط}}$ = $\frac{٦,٦ \times ١٠^{-٣٤} \times ٣ \times ١٠^{٨}}{٦,٤ \times ١٠^{-١٩}}$ ⇐ λ = ٣,٠٩ × ١٠$^{-٧}$ م

ب) ط = ٤ × ١,٦ × $١٠^{-١٩}$ = ٦,٤ × $١٠^{-١٩}$ جول

ط = $\frac{١}{٢}$ ك $ع^{٢}$

ع = $\sqrt{\frac{٢ط}{ك}}$ = $\sqrt{\frac{٢ \times ٦,٤ \times ١٠^{-١٩}}{٩,١ \times ١٠^{-٣١}}}$ ≃ ١,٢ × $١٠^{٦}$ م/ث.

λ = $\frac{هـ}{ك\ ع}$ = $\frac{٦,٦ \times ١٠^{-٣٤}}{٩,١ \times ١٠^{-٣١} \times ١,٢ \times ١٠^{٦}}$ = ٦,٠٤ × $١٠^{-١٠}$ م

جـ) λ = $\frac{هـ}{خ}$ ⇐ خ = $\frac{هـ}{\lambda}$ = $\frac{٦,٦ \times ١٠^{-٣٤}}{١,٤ \times ١٠^{-٦}}$

خ = ٤,٧١ × $١٠^{-٢٨}$ كغ .م/ث.

١٢) أ) $\frac{١}{\lambda}$ = R $\left|\frac{١}{ن^{٢}} - \frac{١}{ن_{٥}^{٢}}\right|$

$\frac{١}{\lambda}$ = ١,٠٩٧ × $١٠^{٧}$ $\left|\frac{١}{٢^{٢}} - \frac{١}{٥^{٢}}\right|$ = ٢,٣ × $١٠^{٦}$

← λ = ٤,٣٤ × $١٠^{-٧}$ م

$ت_{د}$ = $\frac{س}{\lambda}$ = $\frac{٣ \times ١٠^{٨}}{٤,٣٤ \times ١٠^{-٧}}$ = ٦,٩ × $١٠^{١٤}$ هيرتز.

ب) ط = $\frac{-١٣,٦}{ن^{٢}}$ = $\frac{-١٣,٦}{٢٥}$ = −٠,٥٤٤ إلكترون فولت.

جـ) $نق_{ن}$ = ٥,٢٩ × $١٠^{-١١}$ $ن^{٢}$

= ٥,٢٩ × $١٠^{-١١}$ × ٢٥ = ١٣٢,٢٥ × $١٠^{-١١}$ م

د) $\frac{١}{\lambda}$ = R $\left|\frac{١}{ن^{٢}} - \frac{١}{ن_{٥}^{٢}}\right|$

= ١,٠٩٧ × $١٠^{٧}$ $\left|\frac{١}{١^{٢}} - \frac{١}{٥^{٢}}\right|$ = ١,٠٥ × $١٠^{٧}$

⇐ λ = ٩,٥ × $١٠^{-٨}$ م = ٠,٩٥ نم، إلى متسلسلة ليمان.

هـ) ٢ π نق = ن λ ⇐ (ن=١)

٢ × ٣,١٤ × نق = ١ × λ

λ = ٢ × ٣,١٤ × ٥,٢٩ × $١٠^{-١١}$

= ٣٣,١١ × $١٠^{-١١}$ م