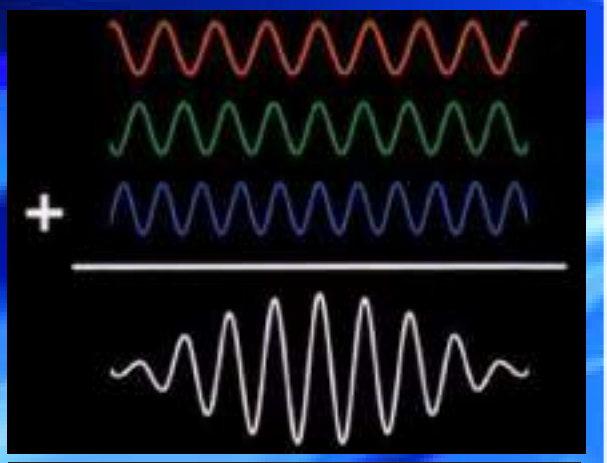
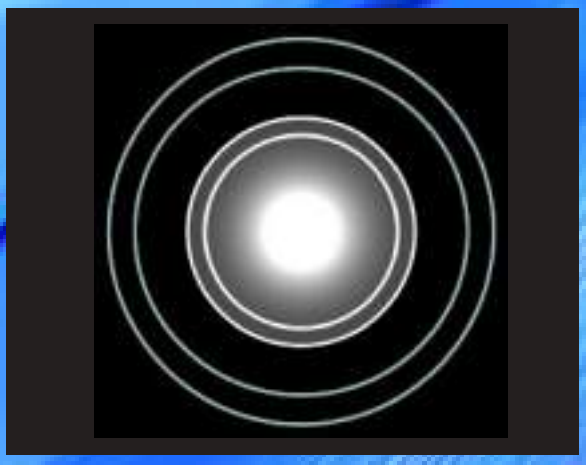
الفصل السادس 6

الفيزياء الحديثة
Modern Physics





مفردات الفصل:

6-1 مقدمة.

6-2 نظرية الكم (إشعاع الجسم الأسود وفرضية بلانك).

6-3 الظاهرة الكهروضوئية.

6-4 الجسيمات (الدقائق) والموجات.

6-5 الموجات المادية.

6-6 مدخل إلى مفهوم ميكانيك الكم ودالة الموجة.

6-7 مبدأ اللادقة لهايزنبرك.

6-8 النظرية النسبية .

6-9 فرضيتا اينشتين في النظرية النسبية الخاصة .

6-10تحويلات لورنتز .

6-11 اهم النتائج المترتبة على النظرية النسبية الخاصة .

6-12 تكافؤ الكتله والطاقة .

الأهداف السلوكية

بعد دراسة الفصل ينبغي للطالب ان يكون قادرا على ان:

- يوضح مفهوم الجسم الاسود.
- يذكر اقتراح (فرضية) بلانك بالنسبة للطاقة المكماة.
- يحدد فوائد بعض تطبيقات الخلية الكهروضوئية.
- يعرف مفهوم دالة الشغل وتردد العتبة لمعدن.
- يدرك معنى سلوك الجسيمات كموجات.
- يدرك معنى سلوك الموجات كجسيمات.
- يذكر العلاقة بين زخم الفوتون وطوله الموجي.
- يوضح فرضية دي برولي.
- يوضح دالة الموجة.
- يذكر مبدأ اللادقة (اللايقين).
- يعرف مفهوم أطار الاسناد القصوري .
- يوضح عامل لورنتز(γ) بدلالة سرعة الاجسام المتحركة .
- يذكر بعضاً من التطبيقات المهمة للنظرية النسبية.
- يذكر علاقة رياضية لتكافؤ الكتلة والطاقة .
- يحل المسائل بتطبيق العلاقات الرياضية في الفصل.

المصطلحات العلمية	
Modern physics	الفيزياء الحديثة
Classical mechanics	الميكانيك الكلاسيكي (التقليدي)
Quantum mechanics	الميكانيك الكمي
Photoelectrons	الالكترونات الضوئية
Stopping potential	جهد الايقاف (القطع)
Threshold frequency	تردد العتبة
Photocell	خلية كهروضوئية
Quantized	مكماة
Wave function	دالة الموجة
Probability	احتمالية
Matter waves	موجات مادية
Wave properties	خواص موجية
Particle properties	خواص جسيمية (دقائقية)
Dual behavior	سلوك ثنائي
Threshold wavelength	طول موجة العتبة
Time Dilation	نسبية الزمن
Length Contraction	نسبية الطول (انكماش الطول)
Mass Energy Equivalence	تكافؤ الكتلة والطاقة
Work function	دالة الشغل
Relativity	النسبية
Inertial frames of reference	أطر الإسناد القصورية
Lorentz factor	عامل لورنتز

1-6 مقدمة Introduction

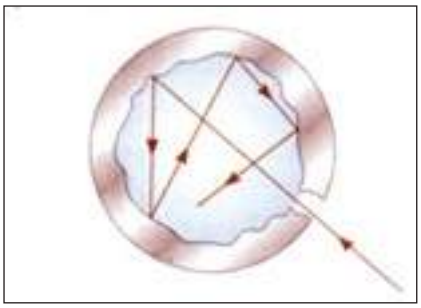
في بداية القرن العشرين حدثت تغيرات جذرية في علم الفيزياء فقد أفضت العديد من التجارب العملية الجديدة الى نتائج لاتخضع لتفسيرات القوانين الكلاسيكية (التقليدية)، ومن هذه التجارب تجربة إشعاع الجسم الاسود والظاهرة الكهروضوئية. ولتفسير إشعاع الجسم الأسود قدم العالم بلانك الأفكار الاساسية التي أدت الى صياغة نظرية الكم وقام العالم اينشتين بافتراض أن الضوء يسلك سلوك الجسيمات مثلما يسلك سلوك الموجات.

ومن أجل تفسير المشاهدات الجديدة المميزة نشأ مفهوم جديد نطلق عليه اسم الفيزياء الحديثة.

2-6 نظرية الكم (اشعاع الجسم الاسود وفرضية بلانك)
Quantum theory (Blackbody radiation and Planck's hypothesis)

من المعروف أنه تنبعث من جميع الأجسام أشعة حرارية بشكل موجات كهرومغناطيسية إلى الوسط المحيط بها، كما أنها تمتص أيضاً إشعاع حراري من هذا الوسط.

في نهاية القرن التاسع عشر أصبح واضحاً أنّ النظرية الكلاسيكية للاشعاع الحراري اصبحت غير مناسبة، ولكن لماذا؟



شكل (1)

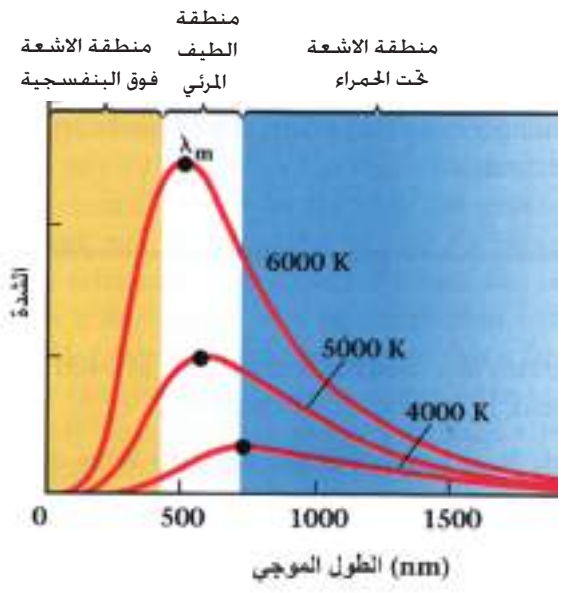
المشكلة الاساسية والرئيسة كانت في تفسير او فهم توزيع الاطوال الموجية من الاشعاع الصادر من الجسم الاسود، فماذا يقصد بالجسم الاسود وكيف يمكننا تمثيله عملياً؟ الجسم الاسود هو نظام مثالي يمتص جميع الاشعاعات الساقطة عليه (وهو ايضاً مشع مثالي عندما يكون مصدراً للاشعاع)، وكتقريب جيد يمكننا تمثيل الجسم الاسود عملياً بفتحة ضيقة داخل فجوة (أو جسم أجوف)، لاحظ شكل (1).

ان طبيعة الاشعة المنبعثة من الفتحة الضيقة التي تؤدي الى الفجوة قد وجد بانها تعتمد فقط على درجة الحرارة المطلقة لجدران الفجوة. وهنا قد يتبادر الى ذهنك السؤال الآتي :

كيف يتغير توزيع طاقة اشعاع الجسم الاسود مع الطول الموجي ودرجة الحرارة المطلقة؟

الشكل (2) يبين النتائج العملية لتوزيع طاقة اشعاع الجسم الاسود كدالة للطول الموجي ولدرجات حرارة مطلقة مختلفة.

يمكن أن نلاحظ من الشكل (2) ما يأتي:



شكل (2)

1- المعدل الزمني للطاقة التي يشعها الجسم الأسود لوحدة المساحة (الشدة) تتناسب طردياً مع المساحة تحت المنحني، إذ وجد أن هذه المساحة تتناسب طردياً مع الاس الرابع لدرجة الحرارة المطلقة (عدا الصفر المطلق) للأجسام السوداء ويعبر عن ذلك بقانون ستيفان - بولتزمان (The Stefan- Boltzmann Law) الذي يعطى على وفق العلاقة الآتية :

$$I = \sigma T^4$$

إذ إن:

(I) يمثل شده الاشعاع بوحدة $(\frac{W}{m^2})$

(T) تمثل درجة الحرارة المطلقة بوحدة الكلفن (K)

(σ) يمثل ثابت ستيفان - بولتزمان

$$\sigma = 5.67\times10^{-8}\ \frac{W}{m^2K^4}$$

هل تعلم (للاطلاع)

يشع الحديد الصلب المنصهر الطاقة بمعدلات مرتفعة وهو يشكل مثالاً على قانون ستيفان - بولتزمان للاشعاع.

2- إن ذروة التوزيع الموجي للاشعاع المنبعث من الجسم الاسود تنزاح نحو الطول الموجي الاقصر عند ارتفاع درجة الحرارة المطلقة (تناسب عكسي) ويسمى قانون الازاحة لفين (Wein Displacement Law) ويعطى على وفق العلاقة الآتية:

$$\lambda_m T = 2.898\times10^{-3}$$

إذ إن (λ_m) هي الطول الموجي المقابل لذروة المنحني ويقاس بوحدة المتر (m) ، (T) درجة الحرارة المطلقة للجسم المشع ويقاس بوحدة الكلفن (K).

وقد اجريت محاولات عدة وفقاً لقوانين الفيزياء الكلاسيكية لدراسة وتفسير الطيف الكهرومغناطيسي المنبعث من الجسم الاسود كدالة للطول الموجي عند درجة حرارة معينة، إلا أنها جميعها باءت بالفشل، لان الفيزياء الكلاسيكية افترضت أن الطاقة المنبعثة هي مقادير مستمرة.

إن هذا الفشل قد أدى بالعالم ماكس بلانك (Max Planck) عام (1900) إلى أن يقترح (يفترض) بان الجسم الاسود يمكن أن يشع ويمتص طاقة بشكل كمات (quanta) محددة ومستقلة من الطاقة تعرف باسم الفوتونات (photons). وهذا يعني أن الطاقة هي مكماة (quantized)، حيث تعطى طاقة الفوتون (E) بحسب العلاقة:

$$E = hf$$

إذ إن (f) هو تردد الفوتون ، (h) هو ثابت بلانك وقيمته $(6.63\times10^{-34}\ J.s)$.

مثال (1) جد الطول الموجي المقابل لذروة الاشعاع المنبعث من جسم الانسان عندما تكون درجة حرارة جلده (35^0C). افترض أن جسم الانسان يشع كجسم اسود.

الحل لدينا العلاقة:

$$\lambda_m T = 2.898\times10^{-3}$$

$$\therefore \lambda_m = \frac{2.898\times10^{-3}}{T}$$

$$T = 35+273 = 308(K)$$

وبالتعويض في العلاقة المذكورة آنفاً نحصل على:

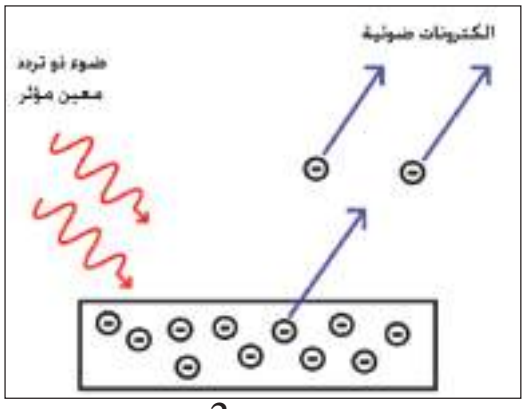
$$\therefore \lambda_m = \frac{2.898\times10^{-3}}{308}$$

$$\therefore \lambda_m = 9.409\times10^{-6}(m) = 9.409(\mu m)$$

وهو الطول الموجي المقابل لذروة الاشعاع المنبعث من جسم الانسان.

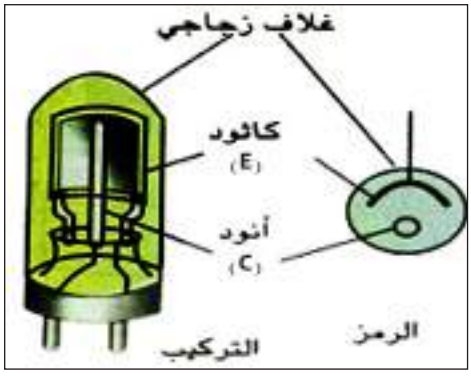
3-6 الظاهرة الكهروضوئية Photoelectric Effect

في النصف الأخير من القرن التاسع عشر، أوضحت التجارب أن الضوء الساقط (ذو تردد معين مؤثر) على سطوح معادن معينة يسبب انبعاث الالكترونات من تلك السطوح، لاحظ الشكل (3). إن هذه الظاهرة تعرف بالظاهرة الكهروضوئية والالكترونات المنبعثة تسمى بالالكترونات الضوئية (photoelectrons)، إذ إن أول من لاحظ هذه الظاهرة عملياً هو العالم هيرتز (Hertz) وذلك في عام (1887).



شكل (3)

ولتوضيح الظاهرة الكهروضوئية نستعمل الخلية الكهروضوئية (photocell)، لاحظ شكل (4). وهي أنبوبة مفرغة من الهواء لها نافذة شفافة (أو غلاف) من الزجاج أو الكوارتز (لكي تمرر الاشعة فوق البنفسجية زيادة على الضوء المرئي) وتحتوي على لوح معدني (E) يسمى باللوح الباعث للالكترونات او المهبط (كاثود)، الذي يتصل بالقطب السالب



شكل (4)

لمصدر فولطية مستمرة (يمكن تغيير جهده) ولوح معدني آخر (C) يسمى باللوح الجامع او المصعد (انود) الذي يتسلم الالكترونات الضوئية المنبعثة ويتصل بالقطب الموجب لمصدر الفولطية.

لدراسة الظاهرة الكهروضوئية عملياً نجري النشاط الآتي:

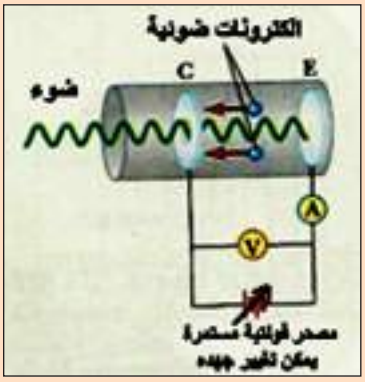
نشاط

تجربة لدراسة الظاهرة الكهروضوئية

أدوات النشاط: خلية كهروضوئية، فولطميتر (V)، اميتر (A)، مصدر فولطية مستمرة يمكن تغيير جهده، اسلاك توصيل، مصدر ضوئي.

الخطوات:

* نربط الدائرة الكهربائية كما في الشكل (5).
* عند وضع الانبوبة بالظلام، نلاحظ أن قراءة الاميتر تساوي صفراً، أي لا يمر تيار في الدائرة الكهربائية.
* عند إضاءة اللوح الباعث للالكترونات بضوء ذي تردد مؤثر نلاحظ انحراف مؤشر الاميتر دلالة على مرور تيار كهربائي في الدائرة الكهربائية. إن هذا التيار يظهر نتيجة انبعاث الالكترونات الضوئية من اللوح الباعث (السالب) ليستقبلها اللوح الجامع (الموجب) فينساب التيار الكهروضوئي في الدائرة الكهربائية.
* عند زيادة الجهد الموجب للوح الجامع [اي بزيادة فرق الجهد (ΔV) بين اللوحين الجامع والباعث)] نلاحظ زيادة التيار الكهروضوئي حتى يصل إلى مقداره الاعظم الثابت وبذلك يكون المعدل الزمني للالكترونات الضوئية المنبعثة من اللوح الباعث والواصلة الى اللوح الجامع مقداراً ثابتاً فيسمى التيار المنساب في الدائرة الكهربائية في هذه الحالة بتيار الاشباع.



شكل (5)

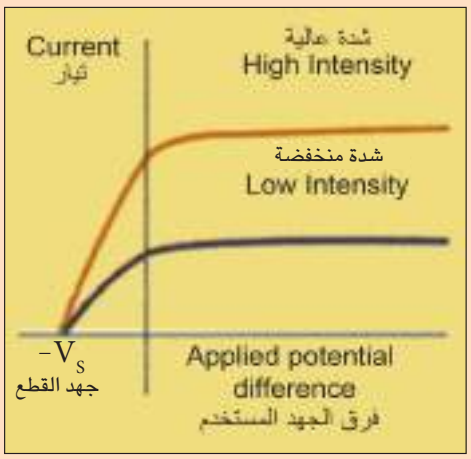
وهنا لعلك تسأل:

أولاً: ماذا يحصل عند زيادة شدة الضوء الساقط (لتردد معين مؤثر)؟

ثانياً: ماذا يحصل في حالة عكس قطبية فولطية المصدر، اي في حالة ان يكون اللوح الباعث موجباً واللوح الجامع سالباً و (ΔV) سالباً؟

ثالثاً: ماذا يحصل عند زيادة سالبية جهد اللوح الجامع تدريجياً؟

وللإجابة على هذه التساؤلات لاحظ الشكل (6).



شكل (6)

أولاً: عند زيادة شدة الضوء الساقط (لتردد معين مؤثر) فاننا نلاحظ زيادة تيار الاشباع، فمثلاً عند مضاعفة شدة الضوء الساقط لتردد معين مؤثر، فان تيار الاشباع يتضاعف.

ثانياً: في حالة عكس قطبية فولطية المصدر أي في حالة أن يكون اللوح الباعث موجباً واللوح الجامع سالباً و (ΔV) سالباً، ففي هذه الحالة يهبط التيار تدريجياً إلى قيم أقل لان معظم الالكترونات الضوئية سوف تتنافر الان مع اللوح الجامع السالب، وتصل فقط الالكترونات الضوئية التي لها طاقة أكبر من القيمة ($e\Delta V$) الى اللوح الجامع، إذ إن (e) هي شحنة الالكترون.

ثالثاً: عند زيادة سالبية جهد اللوح الجامع تدريجياً فإنه وعند قيمة جهد معين (V_s)، أي عندما ($\Delta V = -V_s$) فإننا نلاحظ أن تيار الدائرة يساوي صفراً، إن هذا الجهد (V_s)، يسمى جهد القطع او الايقاف. ويمكن الملاحظة بالتجربة أن جهد الايقاف لا يعتمد على شدة الضوء الساقط.

ولما كان جهد الايقاف مقياساً للطاقة الحركية العظمى للالكترونات الضوئية المنبعثة، $(KE)_{max}$، فإن:

$$(KE)_{max} = \frac{1}{2}mv_{max}^2 = eV_s$$

حيث (m) هي كتلة الالكترون، (e) هي شحنة الالكترون و (v_{max}) هي الانطلاق الأعظم للالكترونات الضوئية المنبعثة.

وقد أتضح من تجربة الظاهرة الكهروضوئية بعض الحقائق والتي لم يمكن تفسيرها بوساطة الفيزياء الكلاسيكية (النظرية الموجية للضوء) وهي:

1- لا تنبعث الالكترونات الضوئية إذا كان تردد الضوء الساقط اقل من تردد معين يسمى تردد العتبة (f_0)، وهو أقل تردد يولد الانبعاث الكهروضوئي لذلك المعدن، وهو يعد أيضاً خاصية مميزة للمعدن المضاء، إذ إن لكل معدن تردد عتبة خاصاً به.

إن هذه الحقيقة لا تتفق مع النظرية الموجية والتي تتنبأ بان الظاهرة الكهروضوئية تحصل عند جميع الترددات بشرط أن تكون شدة الضوء الساقط عالية.

2- الطاقة الحركية العظمى للالكترونات الضوئية المنبعثة $(KE)_{max}$، لا تعتمد على شدة الضوء الساقط، ولكن طبقاً للنظرية الموجية فان الضوء ذا الشدة العالية يحمل طاقة اكثر للمعدن في الثانية الواحدة ولذلك فان الالكترونات الضوئية المنبعثة سوف تمتلك طاقة حركية اكبر.

هل تعلم (للاطلاع)

يمكن للمركبات الفضائية ان تتأثر بالظاهرة الكهروضوئية، اذ تؤدي الاشعة فوق البنفسجية الى شحن المركبات الفضائية بالشحنة الموجبة ويتم تفريغ هذه الشحنة الموجبة عندما تهبط المركبة الفضائية على سطح الارض.

3- الطاقة الحركية العظمى للالكترونات الضوئية المنبعثة تزداد بزيادة تردد الضوء الساقط. بينما تتنبأ النظرية الموجية بأنه لا يوجد علاقة بين طاقة الالكترونات الضوئية المنبعثة وتردد الضوء الساقط.

4- تنبعث الالكترونات الضوئية من سطح المعدن آنياً [في أقل من ($10^{-9}s$) بعد اضاءة السطح]، حتى وان كانت شدة الضوء الساقط قليلة. ولكن حسب النظرية الموجية فأن الالكترونات الضوئية تحتاج بعض الوقت حتى تمتص الضوء الساقط الى ان تكتسب طاقة حركية كافية لكي تهرب من المعدن.

ولعلك تتسائل من هو العالم الذي استطاع ان يقدم تفسيراً ناجحاً للظاهرة الكهروضوئية؟ قدم العالم اينشتين في عام (1905) تفسيراً ناجحاً للظاهرة الكهروضوئية، إذ اعتمد في تفسيره على مبدأ بلانك وهو ان الموجات الكهرومغناطيسية هي مكماة (quantized). واقترح ان الضوء يعد كسيل من الفوتونات وكل فوتون له طاقة (E) تعطى على وفق العلاقة الآتية:

$$E = hf$$

إذ إن (h) هو ثابت بلانك و (f) هو تردد الضوء الساقط (تردد الفوتون)، وإن تردد الفوتون يعطى بحسب العلاقة:

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

إذ إن (c) هي سرعة الضوء في الفراغ و (λ) هي طول موجة الضوء. وطبقاً لتفسير اينشتين للظاهرة الكهروضوئية فإن الطاقة الحركية العظمى للالكترونات الضوئية المنبعثة $(KE)_{max}$، لاحظ الشكل (7)، تعطى على وفق العلاقة الآتية:

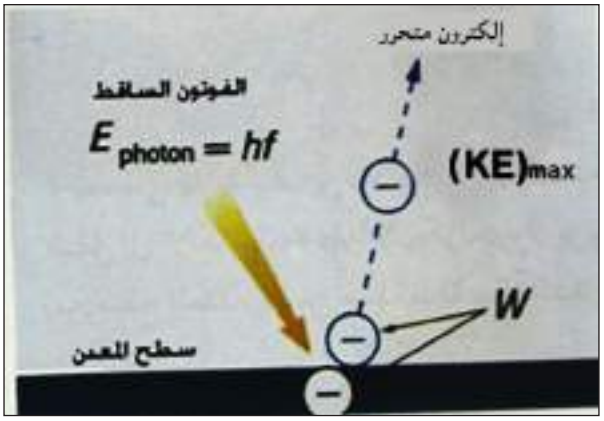
المعادلة الكهروضوئية لأينشتين

$$(KE)_{max} = \frac{1}{2}mv_{max}^2 = hf - w$$

إذ إن (hf) تمثل طاقة الضوء الساقط و (w) تمثل دالة الشغل للمعدن (work function) وهي أقل طاقة يرتبط بها الالكترون بالمعدن وتعطى بالعلاقة:

$$w = hf_0$$

وقيمتها هي بحدود بضعة (eV) اذ ان ($1eV = 1.6 \times 10^{-19}J$). والجدول (6-1) يبين دالة الشغل لمعادن مختلفة.



شكل (7)

جدول (6-1) دالة الشغل لمعادن مختلفة

المعدن	دالة الشغل (eV)
الفضة	4.73
الالمنيوم	4.08
النحاس	4.70
الحديد	4.50
الصوديوم	2.46
الرصاص	4.14
البلاتين	6.35
الخارصين	4.31

وقد يتبادر إلى ذهننا كيف استطاع العالم اينشتين أن يفسر الظاهرة الكهروضوئية والتي لم تستطع الفيزياء الكلاسيكية ان تفسرها؟ وقد استطاع تفسير ذلك على وفق المعادلة الكهروضوئية المذكورة آنفاً مستنداً إلى نظرية الكم لبلانك وكما يأتي:

1- لا تحصل الظاهرة الكهروضوئية إذا كان تردد الضوء الساقط أقل من تردد العتبة (f_0)، ولكي تحصل هذه الظاهرة يجب أن تكون طاقة الفوتون الساقط أكبر من أو تساوي دالة الشغل (w)، فالالكترون الضوئي يتحرر او ينبعث بوساطة امتصاص فوتون واحد. فإذا كانت طاقة الفوتون الساقط لا تحقق هذا الشرط، فإن الالكترونات الضوئية لا تنبعث ولا تتحرر نهائياً من سطح المعدن مهما كانت شدة الضوء الساقط، إن هذه الحقيقة تدعم وجود تردد العتبة. وفي حالة أن تكون طاقة الفوتون الساقط تساوي دالة الشغل للمعدن (او تردد الضوء الساقط يساوي تردد العتبة للمعدن) فإن الالكترونات الضوئية فقط تتحرر من سطح المعدن من غير أن تكتسب طاقة حركية.

2- من العلاقة:

$$(KE)_{max} = hf - w$$

يمكن ملاحظة أن الطاقة الحركية العظمى للالكترونات الضوئية المنبعثة $(KE)_{max}$ تعتمد فقط على تردد الضوء الساقط ودالة الشغل (او تردد العتبة) للمعدن ولا تعتمد على شدة الضوء الساقط لأن امتصاص فوتون واحد يكون مسؤولاً عن تغير الطاقة الحركية للالكترون.

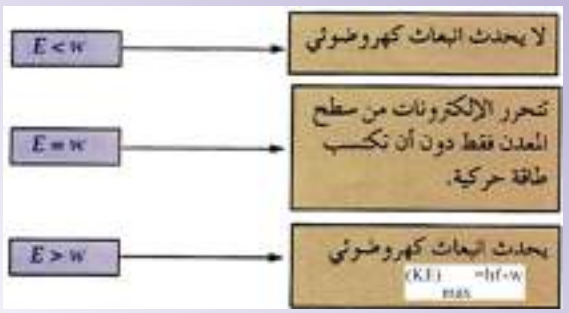
3- بما ان العلاقة بين $(KE)_{max}$ و (f) هي علاقة خطية حسب العلاقة:

$$(KE)_{max} = hf - w$$

إذ يلاحظ من العلاقة المذكورة آنفاً اعلاه بان $(KE)_{max}$ تتناسب خطياً مع تردد الضوء الساقط (f)، وبذلك يمكن الان ان نفهم وبسهولة لماذا $(KE)_{max}$ تزداد بزيادة (f).

4- تنبعث الالكترونات الضوئية من سطح المعدن لحظياً بغض النظر عن شدة الضوء الساقط. ومن الجدير بالذكر ان النتائج العملية والتي اوضحت العلاقة الخطية بين الطاقة الحركية العظمى للالكترونات الضوئية المنبعثة $(KE)_{max}$ وتردد الضوء الساقط (f) موضحة في

تذكر



(E) تمثل طاقة الفوتون الساقط.

(w) تمثل دالة الشغل للمعدن.

فكر

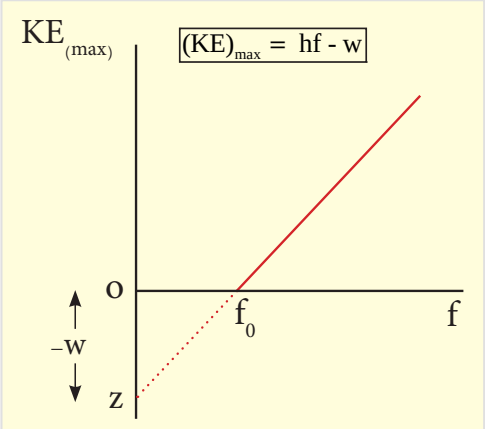
ثلاثة معادن مختلفة $(a\ ،\ b\ ،\ c)$ اسقط على كل واحد منها ضوء تردده $(0.85\times10^{15}\,Hz)$ فاذا كان تردد العتبة لكل منهم على الترتيب هو:

a - 1.14×10^{15} (Hz)

b - 0.59×10^{15} (Hz)

c - 1.53×10^{15} (Hz)

لأي من المعادن الثلاثة تحصل الظاهرة الكهروضوئية؟ ولماذا؟



شكل (8)

الشكل (8). إن تقاطع الخط المستقيم في الشكل (8) مع الاحداثي السيني (اي عندما $(KE)_{max}=0$) فانه يمثل قيمة تردد العتبة (f_0). فعند ترددات أقل من (f_0) لاتنبعث الكترونات ضوئية مهما كانت شدة الضوء الساقط. كما أن ميل الخط المستقيم فهو يمثل قيمة ثابت بلانك (h). وإذا مد الخط المستقيم وقطع الاحداثي الصادي في نقطة مثل (Z) فان المقطع السالب للاحداثي الصادي فانه يمثل قيمة دالة الشغل للمعدن، لاحظ الشكل (8).

كما يمكن تعريف طول موجة العتبة (λ_0) بأنها أطول طول موجة يستطيع تحرير الالكترونات الضوئية من سطح معدن معين وتعطى بالعلاقة الآتية:

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_0} = \frac{hc}{w}$$

فالاطوال الموجية الاطول من (λ_0) والساقطة على معدن يمتلك دالة شغل(W) لاتؤدي الى انبعاث الكترونات ضوئية.

شكل (9)

شكل (10)

تطبيقات الظاهرة الكهروضوئية:

يوجد العديد من الاجهزة المستعملة في حياتنا اليومية والتي تعتمد على الظاهرة الكهروضوئية ومن امثلتها الخلية الكهروضوئية والتي بوساطتها يمكننا قياس شدة الضوء وتحويل الطاقة الضوئية الى طاقة كهربائية كما في الخلايا الشمسية المستعملة لإضاءة الشوارع مثلاً، لاحظ الشكل (9). كما تستثمر الظاهرة الكهروضوئية في كاميرات التصوير الرقمية، لاحظ الشكل (10)، وكذلك في إظهار تسجيل الموسيقى المصاحبة لصور الافلام المتحركة السينمائية وغيرها من التطبيقات العملية الأخرى.

مثال (2)

سقط ضوء طوله الموجي (300nm) على معدن الصوديوم. فإذا كانت دالة الشغل للصوديوم تساوي (2.46eV) جد:

a- الطاقة الحركية العظمى للالكترونات الضوئية المنبعثة بوحدة الجول (J) اولاً وبوحدة الالكترون- فولط (eV) ثانياً.

b- طول موجة العتبة للصوديوم.

مع العلم بان ثابت بلانك يساوي $6.63\times10^{-34}(J.s)$ ، $1(eV)=1.6\times10^{-19}(J)$ ، وسرعة الضوء في الفراغ $(c)=3\times10^{8}(m/s)$

الحل لدينا العلاقة:

(a)

$$(KE)_{max}=hf-w$$

وكذلك لدينا العلاقة:

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

ومن العلاقتين السابقتين نحصل على:

$$(KE)_{max}=\frac{hc}{\lambda}-w$$

وبالتعويض في العلاقة السابقة نحصل على:

$$(KE)_{max}=\frac{6.63\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{300\times10^{-9}}-2.46\times1.6\times10^{-19}$$

$$(KE)_{max}=6.63\times10^{-19}-3.936\times10^{-19}$$

$$\therefore (KE)_{max}=2.694\times10^{-19}(J)$$

وهي الطاقة الحركية العظمى للالكترونات الضوئية المنبعثة بوحدة الجول.

$$(KE)_{max}=\frac{2.694\times10^{-19}}{1.6\times10^{-19}}=1.684(eV)$$

وهي الطاقة الحركية العظمى للالكترونات الضوئية المنبعثة بوحدة (eV).

(b)

لدينا العلاقة:

$$\lambda_0=\frac{hc}{w}$$

وبالتعويض في العلاقة السابقة نحصل على:

$$\therefore \lambda_0=\frac{6.63\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{2.46\times1.6\times10^{-19}}$$

$$\therefore \lambda_0=5.053\times10^{-7}(m)=505.3(nm)$$

وهي طول موجة العتبة للصوديوم.

إن الظاهرة الكهروضوئية وظاهرة الاشعاع والامتصاص من الدلائل القاطعة على أن الضوء يسلك سلوك الجسيمات (فوتونات)، كما أن هناك ظواهر أخرى مثل التداخل والحيود والاستقطاب تبين أن الضوء يسلك سلوك الموجات. وهنا يبرز السؤال الآتي: أي السلوكين هو الصحيح؟ أيسلك الضوء سلوك الجسيمات أم يسلك سلوك الموجات؟

والحقيقة أن الإجابة على هذا السؤال تعتمد على الظاهرة التي هي قيد الدراسة. فان بعض التجارب يمكن تفسيرها عند سلوك الضوء سلوك الجسيمات أي إن الضوء يظهر صفة جسيميه والبعض الاخر يمكن تفسيرها عند سلوك الضوء سلوك الموجات اي ان الضوء يظهر صفة موجية. فالضوء الذي يمكنه إخراج الالكترونات من المعادن كما في الظاهرة الكهروضوئية، بمعنى ان الضوء يسلك سلوك الجسيمات فان نفس هذا الضوء يمكن ان يحدث حيوداً بمعنى ان الضوء يسلك سلوك الموجات. وعلى هذا الأساس فان النظرة الحديثة لطبيعة الضوء تأخذ السلوك الثنائي (المزدوج)، اي ان طاقة الاشعاع تنتقل بشكل فوتونات يقودها باتجاه سيرها مجال موجي.

ومن هنا يجب التأكيد على انهُ في حالة او ظرف معين يُظهر الضوء أما الصفة الجسيمية او الصفة الموجية ولكن ليس كلاهما في آن واحد، أي إن النظرية الجسيمية للضوء والنظرية الموجية للضوء يكمل بعضها الآخر.

وهنا يبرز السؤال الآتي:

كيف يمكننا رياضياً تفسير السلوك المزدوج للفوتون؟

إن طاقة الفوتون (E) تعطى على وفق العلاقة:

$$E = hf$$

وبحسب معادلة اينشتين في تكافؤ الكتلة (m) مع الطاقة (E) (والتي سوف تدرسها في فصل لاحق) فان الطاقه (E) تعطى على وفق العلاقة:

$$E = mc^2$$

إذ إن (c) هي سرعة الضوء في الفراغ. ومن العلاقتين السابقتين يمكننا الحصول على:

$$m = \frac{hf}{c^2}$$

تبين لنا العلاقة السابقة بان الفوتون يسلك كما لو كانت له "كتله" .

إن زخم الفوتون (p) يعطى بالعلاقة:

$$p = mc$$

كما ان تردد الفوتون (f) يرتبط بالطول الموجي المرافق للفوتون (λ) بالعلاقة:

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

وبتعويض العلاقة المذكورة آنفاً في علاقة سلوك الفوتون كما لو كانت له كتلة (m) نحصل على:

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

او

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

أي إن الطول الموجي المرافق للفوتون يتناسب عكسياً مع زخم الفوتون.

كما يمكن البرهنة على أن طاقة الفوتون (E) تعطى بحسب العلاقة:

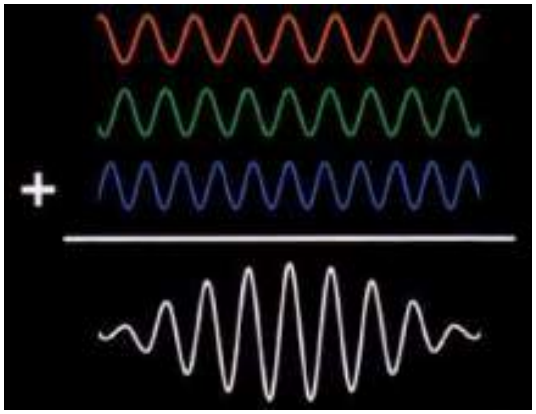
$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

5-6 الموجات المادية Matter waves

لاحظنا سابقاً أن الضوء يسلك سلوكاً ثنائياً جسيمي (دقائقي) وموجي والسؤال المطروح الآن: هل أن للجسيمات سلوكاً ثنائياً ايضاً؟ والاجابة على هذا السؤال جاءت على يد العالم لويس دي برولي (Louis deBroglie) ففي عام (1923) اقترح دي برولي فكرة الطبيعة الثنائية للجسيم (الجسيمية ـ الموجية). إذ افترض دي برولي الفرضية الآتية:

(في كل نظام ميكانيكي لابد من وجود موجات ترافق (تصاحب) حركة الجسيمات المادية)

إن هذه الفكرة التي جاء بها العالم دي برولي تعد فكرة هائلة وغير مسبوقة ولم يكن في ذلك الوقت اي دليل أوتأكيد عملي لها. فطبقاً لفرضية دي برولي فإن الاجسام المادية مثل الالكترونات هي مثل الضوء لها الطبيعة الازدواجية او الثنائية اي تسلك سلوكاً جسيمياً وسلوكاً موجياً. وبذلك يكون الالكترون مصحوباً بموجة، هذه الموجة هي ليست موجة ميكانيكية او موجة كهرومغناطيسية. ولكن ماهو نوع الموجات المرافقة (المصاحبة) لحركة جسيم مثل الالكترون؟ ان الموجات المرافقة لحركة الجسيم هي موجات من نوع آخر جديد أطلق عليها اسم الموجات المادية، إذ يمثل الجسيم برزمة موجية (wave packet)، اي موجة ذات مدى محدود في الفضاء.ويمكن الحصول على الرزمة الموجية من إضافة موجات ذوات طول موجي مختلف قليلاً، لاحظ الشكل (11).



شكل (11)

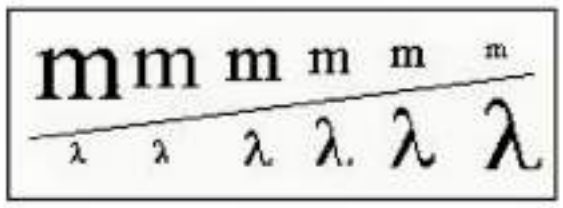
فقد افترض دي برولي أن الطول الموجي للموجة المادية (λ) يرتبط بزخم الجسيم (p)، وكما هو في حالة الفوتون، بحسب العلاقة:

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

إذ إن (h) هو ثابت بلانك. فإذا كان جسيم ما كتلته (m) يتحرك بانطلاق مقداره (v) فان طول موجة دي برولي المرافقة للجسيم تعطى بحسب العلاقة:

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

وعند النظر بدقة الى العلاقة المذكورة آنفاً تتضح لنا الخاصية الازدواجية للمادة إذ إن الجهة اليمنى من العلاقة تحتوي مفهوم الجسيم [الكتله (m) أو الزخم (mv)] والجهة اليسرى من المعادلة تحتوي مفهوم الموجة [الطول الموجي (λ)]. وفي الواقع أن الطول الموجي المرافق للاجسام الاعتيادية في حياتنا اليومية، اي في العالم البصري (المرئي) (macroscopic world) مثل كرة القدم المتحركة، السيارة المتحركة...الخ يكون من الصغر بحيث ان سلوكها الموجي مثل التداخل والحيود لا يمكن ملاحظته، لانه زيادة على صغر قيمة ثابت بلانك فان كتلتها كبيرة نسبياً (أو زخمها كبير نسبياً) وبذلك فان طول موجة دي برولي المرافقة لها يكون صغير جداً، لان العلاقة عكسية، لاحظ شكل (12)، إذ إن $\lambda = \frac{h}{mv}$ ما يجعل الخواص الموجية للاجسام الكبيرة نسبياً مهملة. لكنها تتضح عند دراسة الخصائص الموجية بالنسبة للجسيمات الذرية والنووية (ذوات الكتل الصغيرة جداً والزخم الصغير نسبياً) اي في العالم المجهري (غير المرئي) (microscopic world) مثل الالكترونات والبروتونات والنيوترونات، اذ ان طول موجة دي برولي المرافقة لهذه الجسيمات يمكن



شكل (12)

هل تعلم (للاطلاع)

يعد المجهر الالكتروني (The electron microscope) من الاجهزه العملية والذي يعتمد على الخواص الموجية للالكترونات ويتميز عن المجهر الضوئي الاعتيادي بقدرة تحليل اكبر حيث يمكنه ان يميز التفاصيل والتي تقل بحوالي (1000) مرة عن تلك التفاصيل التي تميز بوساطة المجهر الضوئي وذلك لان الطول الموجي للالكترون المستعمل هو اصغر بكثير من الطول الموجي للضوء الاعتيادي.

قياسها ودراستها. والشكل (13) يوضح أنموذجاً للسلوك الموجي للالكترونات (حيود الالكترونات).

شكل (13)

ومما يجدر ذكره انه وكما هو الحال في الضوء فان السلوكين الجسيمي والموجي للاجسام المتحركة لا يمكن ملاحظته في الوقت نفسه.

ومن المفيد أن نبين هنا بان معادلة دي برولي تنطبق على جميع الاجسام في الكون من صغيرها مثل الالكترون الى كبيرها مثل الكواكب.

مثال (3) جد طول موجة دي برولي المرافقة لكرة كتلتها $(0.221kg)$ تتحرك بانطلاق مقداره $(3m/s)$ مع العلم بان ثابت بلانك يساوي $6.63\times10^{-34}(J.s)$.

الحل على وفق العلاقة التالية:

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

وبالتعويض في العلاقة المذكورة آنفاً نحصل على:

$$\lambda=\frac{6.63\times10^{-34}}{0.221\times3}=10^{-33}(m)$$

وهو طول موجة دي برولي المرافق للكرة.

مثال (4)

جد طول موجة دي برولي المرافقة لالكترون يتحرك بانطلاق مقداره $(6\times10^{6}m/s)$ مع العلم بان كتلة الالكترون تساوي $(9.11\times10^{-31}kg)$ وثابت بلانك يساوي $6.63\times10^{-34}(J.s)$.

الحل

على وفق العلاقة التالية:

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

وبالتعويض في العلاقة السابقة نحصل على:

$$\lambda=\frac{6.63\times10^{-34}}{9.11\times10^{-31}\times6\times10^{6}}$$

$$\therefore\lambda=0.121\times10^{-9}(m)$$

وهو طول موجة دي برولي المرافق للالكترون.

An access to the understanding of quantum mechanics and wave function

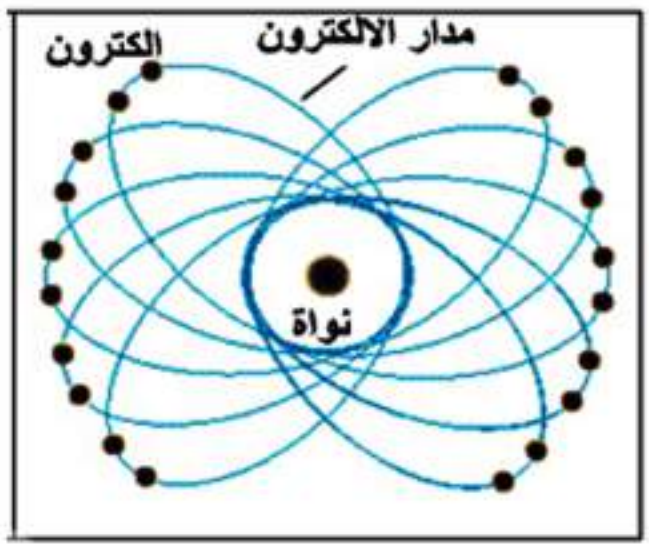
عند استعمالك الحاسوب والكاميرا الرقمية وحاسبتك الشخصية هل كنت تعلم بان جميع هذه الاجهزة تعمل على وفق قوانين ميكانيك يسمى الميكانيك الكمي، فماذا يقصد بالميكانيك الكمي؟ بشكل عام يقصد بالميكانيك الكمي "انه ذلك الفرع من الفيزياء والذي هو مخصص لدراسة حركة الاشياء (objects) والتي تأتي بحزم صغيرة جداً، أو كمات". والحقيقة ان الكميات المتضمنة التي يقوم بدراستها الميكانيك الكمي هي الاحتمالات (probabilities) بدلاً من التأكيد (asserting) الذي نجده في الميكانيك الكلاسيكي. فعلى سبيل المثال فان نصف قطر بور لذرة الهيدروجين يساوي (0.0529nm) حسب الميكانيك الكلاسيكي في حين ان هذه القيمة وحسب الميكانيك الكمي تمثل نصف القطر الاكثر احتمالاً (ارجحية). اذ لو قمنا بتجارب مناسبة لوجدنا ان نصف قطر بور هو اكبر او اقل من هذه القيمة ولكن القيمة الاكثر احتمالاً التي سنجدهاسوف تكون مساوية الى (0.0529nm). ثم فان شكل الذرة حسب الميكانيك الكلاسيكي، لاحظ الشكل (14)، يختلف عن شكل الذرة حسب الميكانيك الكمي، لاحظ الشكل (15).

ومن المهم ان نوضح هنا بأن الميكانيك الكلاسيكي ليس الا صيغة تقريبية للميكانيك الكمي.

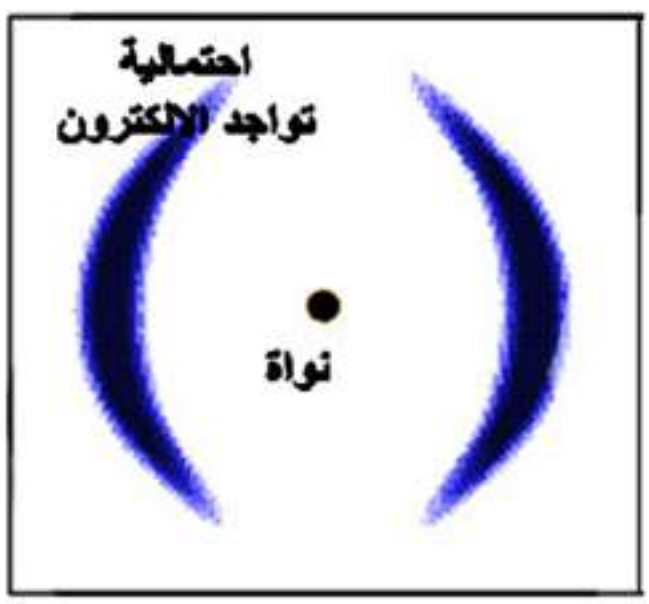
ولكن ما الكمية التي يهتم بدراستها الميكانيك الكمي؟ ان هذه الكمية تسمى دالة الموجة (wave function)والتي ستتعرف عليها الآن.

هل تعلم (للاطلاع)

تعد معادلة شرودنكر (Schrodinger equation) المعادلة الاساس في الميكانيك الكمي، مثل ما تعد معادلة قانون نيوتن الثاني في الحركة المعادلة الاساس في الميكانيك الكلاسيكي.



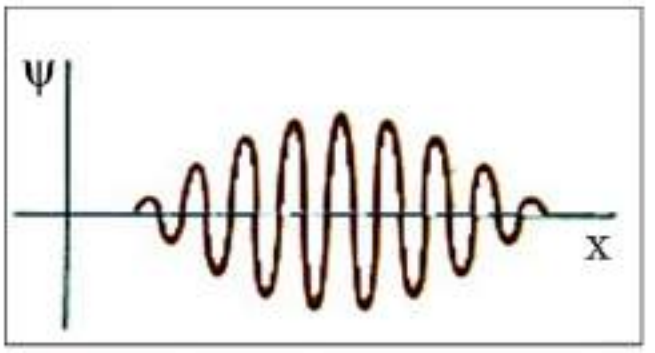
شكل (14) شكل ذرة حسب الميكانيك الكلاسيكي



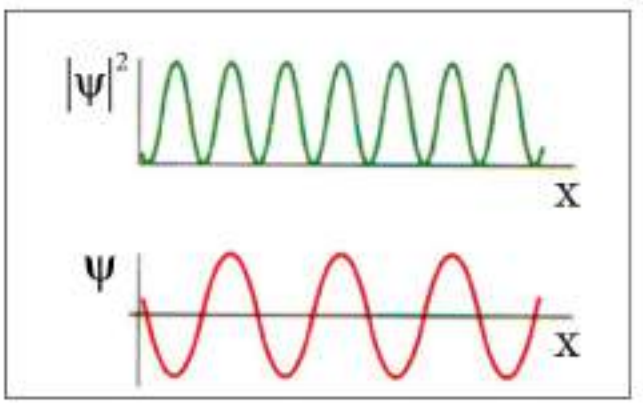
شكل (15) شكل ذرة حسب الميكانيك الكمي

دالة الموجة:

من المعروف ان الكمية المتغيرة دورياً في الموجات المائية هي ارتفاع سطح الماء وفي الموجات الصوتية هو ضغطها وفي الموجات الضوئية هي المجال الكهربائي والمجال المغناطيسي. ولكن ما الكمية المتغيرة في حالة الموجات المادية؟ الكمية التي تغيراتها تشكل الموجات المادية تسمى دالة الموجة ويرمز لها عادة بالرمز (Ψ) (يقرأ بساي psi)، والشكل (16) يبين احد الامثلة لتغير دالة الموجة (Ψ) مع الاحداثي السيني، ودالة الموجة هي صيغة رياضية إذ إن قيمة دالة الموجة المرافقة لجسيم متحرك في نقطة معينة في الفضاء ولزمن معين تتعلق باحتمالية (ارجحية) ايجاد الجسيم في ذلك المكان والزمان. حيث ان كثافة الاحتمالية (probability density)، اي الاحتمالية لوحدة الحجم، لايجاد الجسيم الذي يوصف بدالة الموجة (Ψ) في نقطة معينة في الفضاء ولزمن معين تتناسب تناسباً طردياً مع قيمة $|\Psi|^2$ في ذلك المكان والزمان المعينين، والشكل (17) يبين احد الامثلة لدالة الموجة (Ψ) وكثافة الاحتمالية $|\Psi|^2$ لجسيم.



شكل (16)



شكل (17)

ان قيمة كبيرة الى $|\Psi|^2$ تعني احتمالية كبيرة لوجود الجسيم في المكان والزمان المعينين، في حين قيمة صغيرة الى $|\Psi|^2$ تعني احتمالية صغيرة لوجود الجسيم في المكان والزمان المعينين. وطالما ان قيمة $|\Psi|^2$ لا تساوي صفراً في مكان ما، فان هناك احتمال معين لوجود الجسيم في ذلك الموقع، ان هذا التفسير لقيمة $|\Psi|^2$ كان قد قدم لاول مرة من قبل العالم بورن وذلك في عام (1927).

7-6 مبدأ اللادقة لهايزنبرك Heisenberg Uncertainty Principle

إذا أردت قياس موضع وانطلاق جسيم في أية لحظة فإنك ستواجه دائماً بلادقة عملية في قياساتك. طبقاً للميكانيك الكلاسيكي ليس هناك حائلاً يمنع من تحسين جهاز القياس أو الطرائق التجريبية المستعملة لأعلى درجة ممكنة. أي من الممكن، حسب المبدأ، عمل مثل هذه القياسات بدرجة صغيرة من اللادقة. ولكن من جهة أخرى فأن نظرية الكم تتنبأ بوجود مثل هذا الحائل. ففي عام (1927) قدم العالم هايزنبرك (Heisenberg)، هذه الفكرة والتي تعرف بمبدأ اللادقة (أو

هل تعلم (للاطلاع)

هناك صيغة أخرى لمبدأ اللادقة والتي تربط بين اللادقة في طاقة الجسيم (ΔE) واللادقة في الزمن المستغرق لقياس الطاقة (Δt) والتي يعبر عنها بالعلاقة:

$$\Delta E \Delta t \geq \frac{h}{4\pi}$$

اللايقين) والذي ينص على: "من المستحيل أن نقيس آنياً (في الوقت نفسه) الموضع بالضبط وكذلك الزخم الخطي بالضبط لجسيم". فإذا كانت اللادقة في قياس موضع الجسيم هي (Δx) وكانت اللادقة في قياس زخم الجسيم هي (Δp) فأن مبدأ اللادقة يعطى بالعلاقة التالية:

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$$

إذ إن (h) يمثل ثابت بلانك.

في دراستنا الحالية فإن المقصود بـ (Δx) هو اللادقة بالموضع باتجاه الإحداثي السيني والمقصود بـ (Δp) هي اللادقة في مركبة الزخم الخطي باتجاه الإحداثي السيني. وكما يلاحظ من مبدأ اللادقة فأنه كلما كانت قيمة (Δx) صغيرة كانت قيمة (Δp) كبيرة والعكس صحيح، أي إنه كلما كانت قيمة (Δx) كبيرة تكون قيمة (Δp) صغيرة. فكلما أرتفعت دقة قياس إحدى هاتين الكميتين كلما قلّ ما نعرفه عن الكمية الأخرى، لاحظ الشكل (18). كما يمكن ان تعد اللادقة (Δx) على انه الخطأ في موضع الجسيم واللادقة (Δp) على أنه الخطأ في زخم الجسيم.

وكما هو معروف فإن مقدار زخم الجسيم (p) يعطى بالعلاقة:

$$p = mv$$

إذ إن (m) هي كتلة الجسيم و (v) هو إنطلاق الجسيم. وإن اللادقة في زخم الجسيم (Δp) تعطى بالعلاقة:

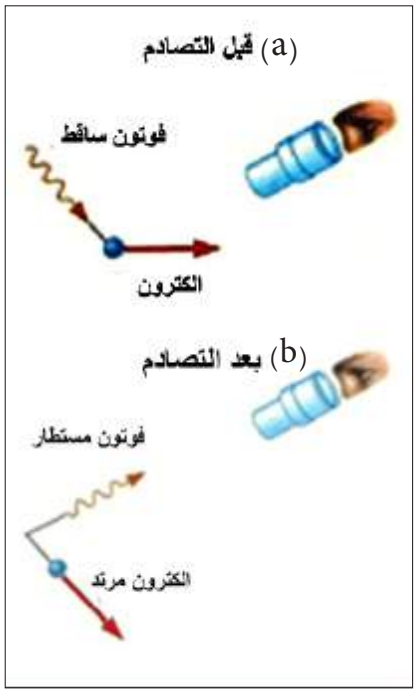
$$\Delta p = m\Delta v$$

إذ إن (Δv) هي اللادقة في إنطلاق الجسيم (أو الخطأ في إنطلاق الجسيم).

فمتى يمكننا الحصول على أقل (أدنى) لادقة لإحدى الكميتين (Δx) أو (Δp) في علاقة مبدأ اللادقة ؟

والجواب يمكننا ذلك عن طريق جعل حاصل ضرب هاتين الكميتين مساوياً لـ $(\frac{h}{4\pi})$ أي إن:

$$\Delta x \Delta p = \frac{h}{4\pi}$$



فكرة تجربة لمشاهدة الكترون بوساطة مجهر ضوئي قوي.
(a) يتحرك الالكترون باتجاه اليمين قبل التصادم مع الفوتون.
(b) يرتد الالكترون (يتغير زخمه) نتيجة التصادم مع الفوتون.

شكل (18)

ومن الجدير بالذكر أن مبدأ اللادقة والذي يضع حدوداً لدقة قياس موضع وزخم جسيم آنياً والتي هي ليست حدوداً ناجمة بسبب الأجهزة المستعملة أو طرائق القياس، فإن هذه الحدود حدوداً أساسية تفرض من الطبيعة، ولايوجد سبيل للتغلب عليها. وأخيراً لابد لنا أن نبين أنه وبسبب القيمة الصغيرة جداً لثابت بلانك فإن هذا يفسر عدم ملاحظتنا لمبدأ اللادقة في حياتنا ومشاهداتنا اليومية الاعتيادية أي في العالم البصري.

مثال (5)

اذا كانت اللادقة في زخم الكترون تساوي $(3.5\times10^{-24}\,kg\frac{m}{s})$ ، جد اللادقة في موضع الالكترون، مع العلم بان ثابت بلانك يساوي $(6.63\times10^{-34}\ J.s)$

الحل

على وفق العلاقة التالية:

$$\Delta x\ \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$$

$$\therefore \Delta x \geq \frac{h}{4\pi\,\Delta p}$$

وبالتعويض في العلاقة المذكورة آنفاً نحصل على:

$$\Delta x \geq \frac{6.63\times10^{-34}}{4\times3.14\times3.5\times10^{-24}}$$

وهي اللادقة في موضع الالكترون.

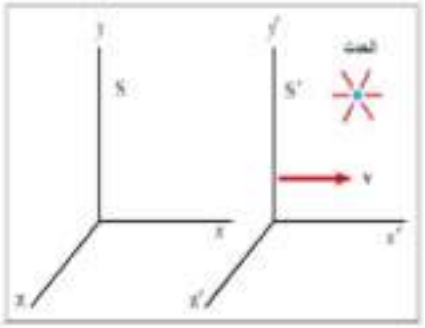
$$\therefore \Delta x \geq 1.508\times10^{-11}(m)$$

8-6 النظرية النسبية Relativity Theory

تصف الفيزياء حركة الاجسام اذا كانت سرعتها قليلة وكذلك عندما تصبح سرعتها كبيرة تقترب من سرعة الضوء فالاجسام التي تتحرك بسرعة قليلة تخضع لقوانين الفيزياء الكلاسيكية التي وضع مبادئها العالم نيوتن (يفسر سلوكها طبقاً لقوانين نيوتن في الحركة) اما الاجسام التي تتحرك بسرعة كبيرة مقاربة لسرعة الضوء تخضع لقوانين النظرية النسبية لاينشتين (يفسر سلوكها طبقاً للنظرية النسبية لاينشتين) .

وتعد النظرية النسبية الخاصة التي اقترحها العالم اينشتين عام 1905 من اكثر النظريات اثارة ، لانها استطاعت ان تحدث العديد من التغيرات في مفاهيم الفيزياء الكلاسيكية وطبيعة الجسيمات النووية وبعض الظواهر الكونية .

والمفهوم الذي تعتمد عليه فكرة النظرية النسبية يدعى اطر الاسناد (Frame of references) .



شكل (19)

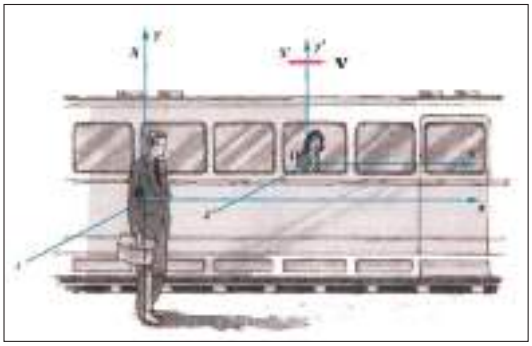
واطر الاسناد هو موقع الجسم الذي يقوم فيه شخص ما برصد حدث ما في زمن معين ويسمى هذا الشخص بالمراقب (observer) لانه يرصد الحدث ويقوم بالقياس .

ما الذي اضافته النظرية النسبية للمفاهيم الكلاسيكية ؟

ان رصد حدث في الفضاء بدقة يتم بتحديد موقعه باستخدام الاحداثيات $(X\ ،\ y،\ Z)$ وتحديد زمن حدوثه بالاحداثي (t) أي انها اعتمدت اربع احداثيات هي $(x،\ y\ ،\ z،\ t)$ بدلاً من ثلاث احداثيات كما في الفيزياء الكلاسيكية .

كيف تنظر النظرية الكلاسيكية والنظريةالنسبية الى مفهوم الحركة النسبية ؟

نفترض ان مراقباً في اطار اسناد معين يراقب حدثاً شكل (20) في اطار اسناد اخر يتحرك بسرعة ثابتة نسبة الى اطار اسناده (أطر الاسناد القصورية حيث تكون هذه الاطر متطابقة لحظة بدء الحركة او القياس).



شكل (20) شخص في اطار ثابت (S) يراقب شخص اخر في اطار متحرك (S`)

وفقاً للميكانيك الكلاسيكي : ان الزمن المقاس للحدث هو ذاته في كلا الاطارين القصوريين وان قياس الزمن يسير بالمعدل نفسه بغض النظر عن سرعة حركة اطاري الاسناد وعليه فإن المدة الزمنية بين حدثين متعاقبين يجب ان تكون واحدة لكلا الراصدين .

وفقاً للنظرية النسبية : يصبح الافتراض اعلاه غير صحيح عندما تكون سرعة حركة الجسم مقاربة او يمكن مقارنتها بسرعة الضوء وعليه يجب اعتماد فرضيات النظرية النسبية لتفسير ذلك.

9-6 فرضيتا اينشتين في النظرية النسبية الخاصة

تعتمد النظرية النسبية الخاصة على فرضيتين او مبدأين :

1 – ان قوانين الفيزياء يجب ان تكون واحدة في جميع اطر الاسناد القصورية .

2 – سرعة الضوء في الفراغ مقدار ثابت ($c=3 \times 10^8$ m/s) في جميع اطر الاسناد القصورية بغض النظر عن سرعة المراقب او سرعة مصدر انبعاث الضوء.

وقد دعم كل من مايكلسون ومورلي فرضيتا اينشتين من خلال تجربة مشهورة اجراها العالمان عام 1887 والتي اثبت بان سرعة الضوء ثابتة عند انتقاله بالاتجاهات المختلفة ، وبذلك اسقطت نظرية الاثير التي افترضت لتفسير آلية انتقال الضوء .

10-6 تحويلات لورنتز Lorentz Transformations

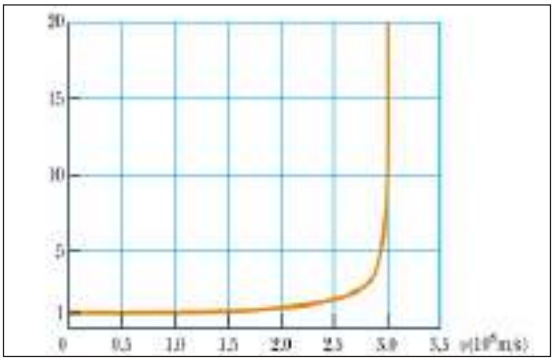
هي التحويلات التي اعتمدها اينشتين في النظرية النسبية حيث برهن لورنتز في دراسته لحركة الجسيمات المادية في المجال الكهرومغناطيسي بأن لسرعة الجسيمات تأثير مهم في قياس الابعاد الفيزيائية للجسيم وبرهن بوجود عامل تصحيحي يجب اعتماده في العلاقة بين اطاري الاسناد (s , s').

ويدعى العامل التصحيحي الذي اعتمد في العلاقة بين احداثيات اطاري الاسناد (s , s') معامل لورنتز γ (Lorentz Factor)

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

γ معامل لورنتز v سرعة الجسم c سرعة الضوء

وعند رسم معامل لورنتز γ كدالة لسرعة الجسيم نحصل على الشكل (21) حيث نلاحظ بأن قيم γ صغيرة عند السرع القليلة وتصبح ما لا نهاية عند سرعة الضوء .



شكل (21) قيم γ بدلالة سرعة مختلفة عند اقتراب السرعة من سرعة الضوء نلاحظ اقتراب قيم γ من اللانهاية .

11-6 أهم النتائج المترتبة على النظرية النسبية الخاصة
The most important consequences of the spacial theory of relativity

ان الاجسام المتحركة بسرعة تقترب من سرعة الضوء بالنسبة لراصد ساكن تعاني تغيراً في مقادير هذه الكميات ، وهي :

1 – تمدد الزمن: نلاحظ ان الزمن الذي يسجله راصد متحرك بنفس سرعة الحدث (t_o) اصغر من الزمن الذي يسجله راصد ساكن (t)

2 – انكماش الطول : اذ ان الاجسام المتحركة بالنسبة الى راصد ساكن تعاني تقلصاً (انكماش) في الطول باتجاه حركتها.

3 – تغير الكتلة مع السرعة (الكتلة النسبية):

من النتائج المهمة للنظرية النسبية الخاصة تغير الكتلة كدالة للسرعة اي ان الكتلة كمية غير ثابتة حيث ان كتلة الجسم المتحرك تزداد بزيادة سرعته وفق العلاقة :

$$m = \frac{m_o}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

حيث : (m_o) الكتلة السكونية (m) كتلة الجسم المتحرك بسرعة v(الكتلة النسبية)

من العلاقة السابقة نجد ان :

في السرعة الصغيرة جداً مقارنة بسرعة الضوء أي $(v << c)$ فإن $m_o \simeq m$

ولا يمكن ملاحظة التغير في كتلتها اما في السرع الكبيرة القريبة من سرعة الضوء فإن الامر مختلف ويكون التغير في الكتلة محسوساً وهذا ما اثبته التجارب في الفيزياء النووية .

وقد اسهمت الفيزياء النووية في اثبات صحة النتائج التي افرزتها النظرية النسبية الخاصة لاينشتين

ومن اهم التجارب في مجالات الاشعاعات النووية هي الجسيمات المنطلقة في بعض المواد المشعة مثل اليورانيوم والراديوم حيث تنبعث دقائق مادية متناهية في الصغر وبسرع قريبة من سرعة الضوء وتزداد كتلتها بما يتفق مع المعادلات التي افترضها اينشتين.

12-6 تكافؤ الكتلة والطاقة Mass Energy Equivalence

استطاع اينشتين من ان يدمج قانونا حفظ الطاقة والمادة بافتراض ان المادة يمكن ان تتحول الى طاقة حيث ان مقدارا ضئيلا من الكتلة عندما يختفي وينتج عنه كمية كبيرة من الطاقة .

وان (الطاقة الناتجة عن كتلة معينة تساوي حاصل ضرب هذه الكتلة في مربع سرعة الضوء)

$$E=mc^2$$

استطاعت هذه النظرية ان تفسر سر طاقة النجوم وعمرها الطويل فهي تفقد مقدار قليل من كتلتها (مادتها) لتعطي طاقة تملا بها الفضاء المحيط بها بأجمعه كما وتعتبر هذه المعادلة مبدأ عمل وتشغيل المفاعلات النووية وكذلك الاسلحة النووية

فمثلا كمية الطاقة التي يمكن الحصول عليها عند تحول غرام واحد كلياً من المادة الى الطاقة هي

$$E= mc^2 \Longrightarrow E=1\times10^{-3}\times(3\times10^8)^2 = 9\times10^{13}J$$

ان هذا المقدار كبير جداً وبالامكان مقارنته بكمية الطاقة الكهربائية المستهلكة من قبل عائلة عراقية فاذا كان معدل الاستهلاك هو 1000kwh في الشهر الواحد فإن هذا يعادل $3.6 \times 10^9 J$ وبقسمة الطاقة المنتجةعلى الطاقة المستهلكة نحصل على عدد الاشهر المكافئة اي:

$$\frac{9 \times 10^{13} J}{3.6 \times 10^9 J} = 2.5\times10^4 \text{ months}$$

وهذا يعني ان الطاقة الناتجة من تحول غرام واحد فقط من المادة الى طاقة ستكفي هذه العائلة لاكثر من الفي سنة كتشغيل كهربائي.

أسئلة الفصل السادس

س1 اختر العبارة الصحيحة لكل مما يأتي:

1- عند ارتفاع درجة الحرارة المطلقة فإن ذروة التوزيع الموجي للاشعاع المنبعث من الجسم الأسود تنزاح نحو:

a - الطول الموجي الاطول. b - الطول الموجي الاقصر.

c - التردد الاقصر. d - ولا واحدة منها.

2 - العبارة (في كل نظام ميكانيكي لابد من وجود موجات ترافق (تصاحب) حركة الجسيمات المادية) هي تعبير عن:

a - مبدأ اللادقة لهايزنبرك. b - اقتراح بلانك.

c - قانون لينز. d - فرضية دي برولي.

3 - اي من الكميات التاليه تعد ثابتة حسب النظرية النسبية :

a - سرعة الضوء. b- الزمن .

c - الكتلة . d- الطول .

4 - إحدى الظواهر التالية تعد أحد الأدلة التي تؤكد أن للضوء سلوكاً جسيمياً :

a - الحيود. b - الظاهرة الكهروضوئية.

c - الإستقطاب. d - التداخل.

5- افترض أنه قيس موضع جسيم بدقة تامة، أي أن ($\Delta x = 0$)، فإن أقل لادقة في زخم هذا الجسيم تساوي:

a- $\frac{h}{4\pi}$. b- $\frac{h}{2\pi}$.

c - ما لا نهاية. d - صفر.

إذ إن (h) هو ثابت بلانك.

6- عند مضاعفة شدة الضوء الساقط بتردد معين مؤثر في سطح معدن معين يتضاعف مقدار:

a- الطاقة الحركية العظمى للالكترونات الضوئية المنبعثة. b- جهد الايقاف.

c- زخم الفوتون. d- تيار الاشباع .

7- وفقاً لمعادلة اينشتين الشهيرة بتكافؤ الكتلة والطاقة : فأن

a - $E = m^2 c$ b - $E = c^2 m^2$ c - $E = m c^2$ d - $E = m c$

8- كثافة الاحتمالية لايجاد الجسيم في نقطة ولحظة معينتين تتناسب :

a- طرديا مع $|\psi|^2$.
b- عكسيا مع $|\psi|^2$.
c- طرديا مع $|\psi|$.
d- عكسيا مع $|\psi|$.

[إذ إن (ψ) تمثل دالة الموجة للجسيم].

9- العبارة (من المستحيل أن نقيس آنياً (في الوقت نفسه) الموضع بالضبط وكذلك الزخم الخطي بالضبط لجسيم) هي تعبير عن:

a- قانون فاراداي.
b- قانون الازاحة لفين.
c - قانون ستيفان - بولتزمان.
d- مبدأ اللادقة لهايزنبرك.

10- الموجات المرافقة لحركة جسيم مثل الالكترون هي:

a - موجات ميكانيكية طولية.
b- موجات ميكانيكية مستعرضة.
c - موجات كهرومغناطيسية.
d- موجات مادية.

س2 لماذا فشلت المحاولات العديدة لدراسة وتفسير الطيف الكهرومغناطيسي المنبعث من الجسم الاسود كدالة للطول الموجي عند درجة حرارة معينة وفقاً لقوانين الفيزياء الكلاسيكية ؟

س3 ما التطبيقات العملية لمبدأ تكافؤ الكتلة والطاقة ؟

س4 ما المقصود بكل مما يأتي:

الميكانيك الكمي، تردد العتبة لمعدن، دالة الشغل لمعدن ، الجسم الاسود .

س5 ما فرضيات اينشتين في النظرية النسبية الخاصة ؟

س6 لماذا يفضل عادة استعمال خلية كهروضوئية نافذتها من الكوارتز بدلاً من الزجاج في تجربة الظاهرة الكهروضوئية.

س7 ما النظرة الحديثة لطبيعة الضوء؟

س8 سقط ضوء طاقته تساوي (5eV) على معدن الالمنيوم فانبعثت الكترونات ضوئية. وعند سقوط الضوء نفسه على معدن البلاتين لم تنبعث الكترونات ضوئية. فسر ذلك إذا علمت أن دالة الشغل لمعدن الألمنيوم تساوي (4.08eV) ودالة الشغل لمعدن البلاتين تساوي (6.35eV).

مسائل الفصل السادس

استفد:

ثابت بلانك = $6.63\times10^{-34}(J.s)$

كتلة الالكترون = $9.11\times10^{-31}\ (kg)$

شحنة الالكترون = $1.6\times10^{-19}\ (C)$

$$1(eV)=1.6\times10^{-19}(J)$$

سرعة الضوء في الفراغ $3\times10^{8}\ (m/s)$ = (c)

س1 إذا علمت أن الطول الموجي المقابل لذروة الاشعاع المنبعث من نجم بعيد تساوي (480nm)، فما درجة حرارة سطحه؟ اعتبر النجم يشع كجسم اسود.

س2 فوتون طوله الموجي (3nm). احسب مقدار زخمه؟

س3 يتوقف تحرير الالكترونات الضوئية من سطح مادة عندما يزيد طول موجة الضوء الساقط عليه عن (600nm) فإذا أضيء سطح المعدن نفسه بضوء طول موجته (300nm) فما الطاقة الحركية العظمى التي تنبعث بها الالكترونات الضوئية من سطح المعدن مقدرة بوحدة الجول (J) اولاً ووحدة الالكترون – فولط (eV) ثانياً؟

س4 سقط ضوء طول موجته يساوي (10^{-7} m) على سطح مادة دالة شغله تساوي (1.67×10^{-19} J) فانبعثت الكترونات ضوئية من السطح، جد:

a – الانطلاق الاعظم للالكترونات الضوئية المنبعثة من سطح المعدن.

b– طول موجة دي برولي المرافقة للالكترونات الضوئية المنبعثة ذوات الانطلاق الاعظم.

س5 سقط ضوء تردده (0.6×10^{15} Hz) على سطح معدن فوجد أن جهد الايقاف للالكترونات الضوئية المنبعثة ذات الطاقة الحركية العظمى يساوي (0.18 V)، وعندما سقط ضوء تردده (1.6×10^{15} Hz) على نفس سطح المعدن وجد أن جهد الايقاف يساوي (4.324V). جد قيمة ثابت بلانك.

س6 جد طول موجة دي برولي المرافقة لألكترون تم تعجيله خلال فرق جهد مقداره (100V)؟

س7 بروتون طاقته الحركية تساوي (1.6×10^{-13} J). إذا كانت اللادقة في زخمه تساوي (5%) من زخمه الاصلي، فما هي أقل لادقة في موضعه؟ على فرض أن كتلة البروتون تساوي (1.67×10^{-27} kg).

س8 افترض أن اللادقة في موضع جسيم كتلته (m) وانطلاقه (v) تساوي طول موجة دي برولي المرافقة له، برهن على أن: $\frac{\Delta v}{v}\geq\frac{1}{4\pi}$

إذ ان (Δv) هي اللادقة في انطلاق الجسيم.