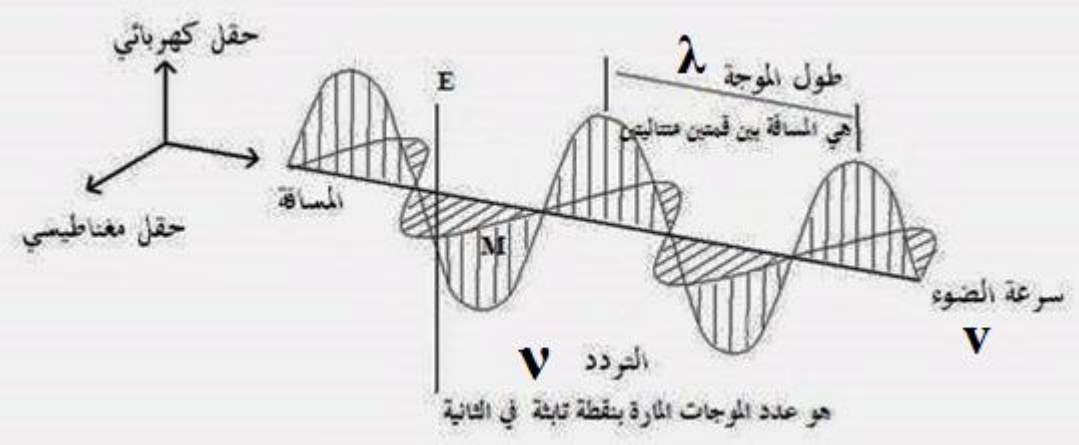
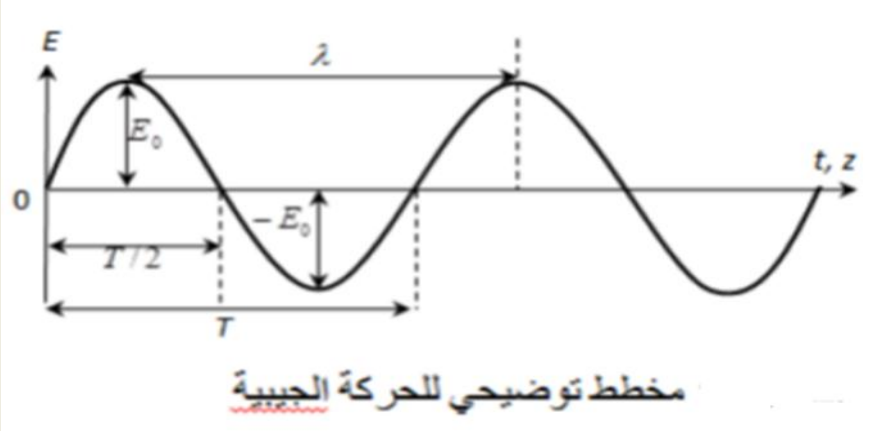
تداخل الضوء Interference

الضوء عباره موجات كهرومغناطيسيّة، تنتشر بالسرعة c وتتكون من مركبتين متعامدتين هي مركبة المجال الكهربائي و مركبة المجال المغناطيسي وتنعكس هذه الموجات عن الأجسام الشفافة، بحيث يمُكن رؤيتها بالعين المجردة، ويظهر الضوء بأطوال موجية مختلفة متمثلاً بألوان الطيف السبعة، ويعتبر اللون البنفسجي الأقصر طولاً، بينما يكون اللون الأحمر هو الأطول، ليتوسط هذين اللونين اللون الأزرق والبرتقالي، والأصفر والأخضر.





$$f(z,t) = E(z,t) = E0 \sin(\omega t + \phi) \qquad (1)$$

حيث ان E_0 سعة الاهتزاز

$\omega = 2\pi\nu = 2\pi/T$ تمثل السرعة الزاوية

$T=1/\nu$ التردد والزمن الدوري

ϕ تمثل زاوية الطور الابتدائية $\phi = k.z = 2\pi z/\lambda$

حيث ان $2\pi/\lambda$ هو العدد الموجي k

التراكب او التداخل يحدث مع كل أنواع الموجات، بما في ذلك الموجات الصوتية، والموجات الضوئية، وموجات الراديو، وموجات الماء.وينتج التداخل بسبب التقاء موجتين جيبيتين متساويتين في التردد وتتحركان في نفس الاتجاه وبنفس السرعة و بفرق طور ثابت مقداره ϕ يعتمد على فرق المسار δ بين الموجتين والطول الموجي λ :

$$\phi = \delta\, k$$

تختلف المصادر الضوئية عن بعضها البعض في كمية الضوء المنبعث منها. وفي النظام المتري تقاس قوة (أو شدة) إضاءة مصدر نقطي بوحدة تسمى "الشمعة العيارية" (أو كاندلا، ورمزها cd).

ويعرف الفيض (أو التدفق) الضوئي بكمية الضوء المنبعث من مصدر ضوئي في الثانية. ولما كان مقدار هذا الفيض صغيراً جداً بالنسبة للوحدات المطلقة التي تستخدم لقياس الطاقة بصفة عامة، فقد اتفق على وحدة خاصة له تسمى "ليومن"، وتعرف بأنها الفيض الضوئي الذي ينبعث في الثانية من مصدر نقطي شدته شمعة عيارية واحدة.

وحيث إن عدد وحدات الزوايا المجسمة حول مصدر نقطي هو 4π فإن الفيض الضوئي الكلي F مقاساً(بالليومن) الذي ينبعث من مصدر شدة إضاءته I شمعة في جميع الاتجاهات هو:

$$F\ (lm) = 4\pi\ (sr) \times I\ (cd)$$

من ناحية أخرى، كلما زادت قوة إضاءة المصدر الضوئي فإن كمية الضوء التي تسقط على السطوح القريبة تزداد أيضاً، أي أن استنارة أو استضاءة هذه السطوح تزداد. وتعرف شدة الاستضاءة E لسطح ما بالفيض الضوئي الساقط عمودياً على وحدة المساحات من هذا السطح.

$$E = \frac{F}{A}\ (lm/m^2)$$

وفي النظام المتري يطلق على وحدة شدة الاستضاء اسم لاكس و رمزه Lx والموضحة بالجدول ادناه الذي يبين شدة الاستضاء المصادر التي من حولنا ويرمز لها E واذا كان الفيض منبعثا من مصدر نقطي قوته I كندلا (cd), فان شدة استضاء السطح E يعبر عنها بالاكس هي بالشكل الاتي

$$E\ (lx) = \frac{F}{A} = \frac{4\pi I}{4\pi r^2} = \frac{I}{r^2}\ cd/m^2$$

وتدل هذه النتيجة على ان شدة الاستضاءة تتناسب عكسيا مع مربع بعد السطح عن المركز (او المصدر) وطرديا مع قوة المصدر الضوئي وهو قانون التربيع العكسي في الضوء.

أ.د. جاسم المشهداني

صيغ الإضاءة	الاستضائية بوحدات لوبومن /متر٢
نهار ساطع	100000
نهار ملبد بغيوم وسحب	1000
إضاءة داخلية نهارا	200
إضاءة داخلية اصطناعية ليلا	100
سطح الشمس	2000,000,000
فتيلة متوجهة من التنجستن	20,000,000
سطح ورقة بيضاء في ضوء الشمس	25000
مصباح فلورسنت	6000
لهيب الشمع	5000
السماء الصافية	3200
سطح القمر	2900
نور القمر	0.2
سطح ورقة بيضاء في نور القمر	0.3

أ.د. جاسم المشهداني

الشدة الضوئية النهائية للموجة الناتجة من التداخل هي

$$I = 4I_o \cos^2\left(\frac{\phi}{2}\right)$$

الشدة قبل التداخل I_o حيث

أعلى قيمة للشدة تكون $I = 4I_o$ **أي عندما**

$$\cos^2\left(\frac{\phi}{2}\right) = 1$$

وهذا يكون اذا كانت

$$\frac{\phi}{2} = 0, \pm\pi, \pm 2\pi, \pm 3\pi, \ldots = (m\pi)$$

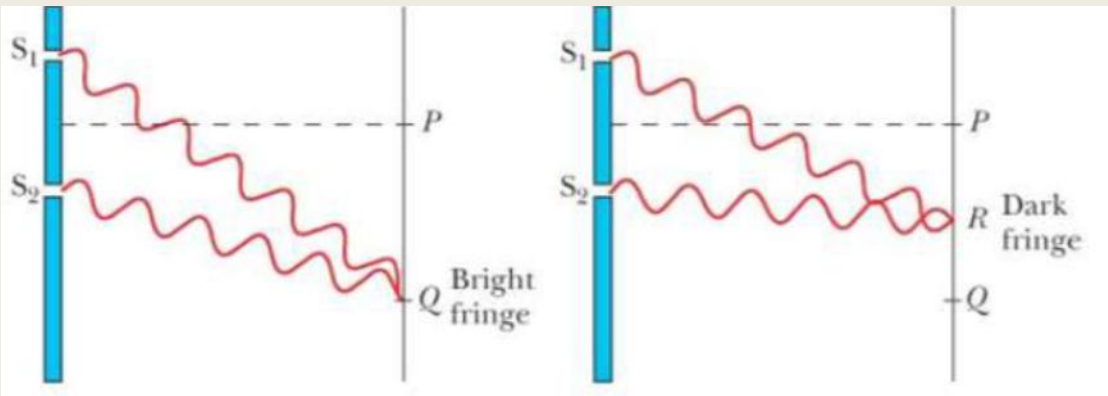
حيث

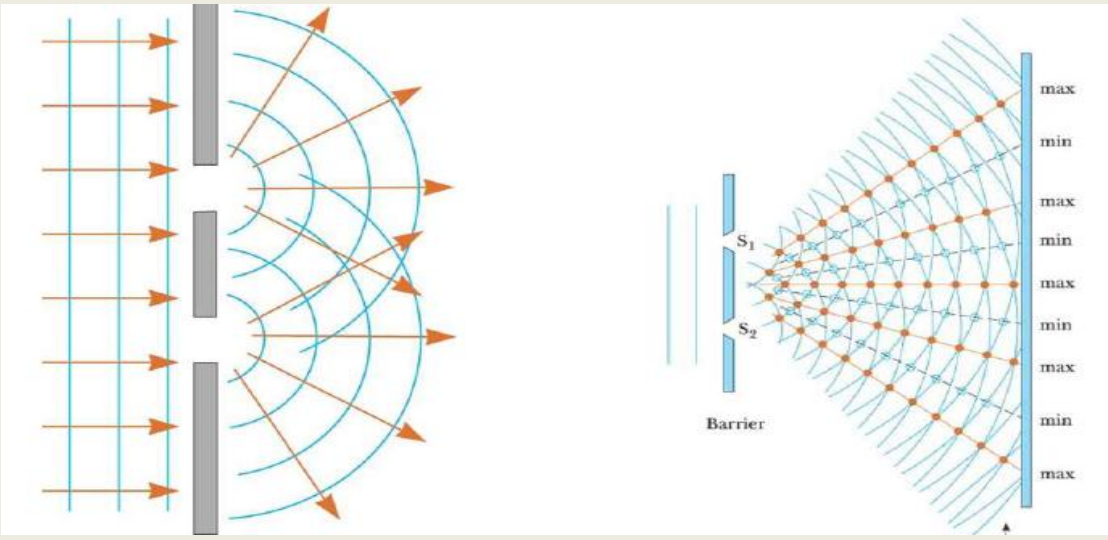
$$m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \pm 4, \ldots$$

اذا شرط التداخل الهدام هو

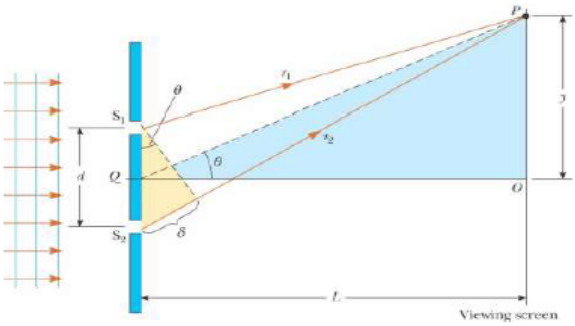
$$\delta = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$$

في عام 1801 اثبت يونج ظاهرة تداخل الامواج الضوئية الصادرة من شقين ضيقين متوازيين، مما يؤدي إلى حدوث انحراف في مساره وبالتالي حدوث فرق في المسار الضوئي بين الشعاعين النافذين من الشقين تكون الاهداب المضيئة والمظلمة بالتتابع





من الشكل: $\delta = d \sin\theta$



موقع الهدب المضيء:

$$y_b = m\frac{\lambda L}{d}$$

موقع الهدب المظلم:

$$y_d = \left(m + \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda L}{d}$$

المسافة بين أي هدبتين متتاليتين:

$$\Delta y = \frac{\lambda L}{d}$$

مثال

فتحتان ضيقتان تفصل ومتوازيتان تفصل بينهما مسافة قدرها 0.2mm ما هو فرق الطور بين الموجتين المتداخلتين على شاشة تبعد مسافة 160cm وعند نقطة تبعد مسافة 1mm من الرتبة الصفرية؟ احسب الطول الموجي للضوء اذا علمت ان شدة الاضاءة عند تلك النقطة تساوي 36% من الشدة القصوى. ماهو لون الضوء المستعمل؟

الحل

$$y=1mm\ ,\ D=160cm\ ,\ d=0.2mm\ ,\ \lambda=?\ ,\ \delta=?$$

محصلة الشدة للموجات المتداخلة هي

$$I=2I_0(1+\cos\delta)=4I_0\cos^2\delta/2$$

$$I/I_{max}=(2I_0(1+\cos\delta))/4I_0$$

$$(0.36)=(1+\cos\delta)/2$$

$$0.72=1+\cos\delta$$

$$\cos\delta=-0.28$$

$$\delta=106.26^0=1.854rad$$

$$\delta=(2\pi dy_m)/\lambda D$$

$$\lambda=(2\pi dy_m)/(D\delta)=(2\pi(0.02)(0.1))/((160)(1.854))=423.5x10^{-7}cm$$

$$\lambda=423.5A^0$$

و عليه فان الضوء المستعمل هو البنفسجي.

الحيود Diffraction

الحيود هو انحراف الضوء عن مساره عندما يمر من خلال عوائق او فتحات صغيرة ولكي تظهر ظاهرة الحيود بجلاء يجب ان تكون ابعاد العائق او الفتحة مقاربة للطول الموجي للضوء المار من خلالها. و عند دراسة ظاهرة الحيود جرت العادة على تقسيم الحيود الى نوعين هما 1-حيود فرانهوفر Fraunhofer حيث تتحقق الحالة الاولى عندما تكون كلا من الموجة الساقطة والموجة المارة مستويتين اي عندما تكون المسافة بين الفتحة او العائق وكل من المصدر والشاشة كبيرة جدا (لا نهائية).

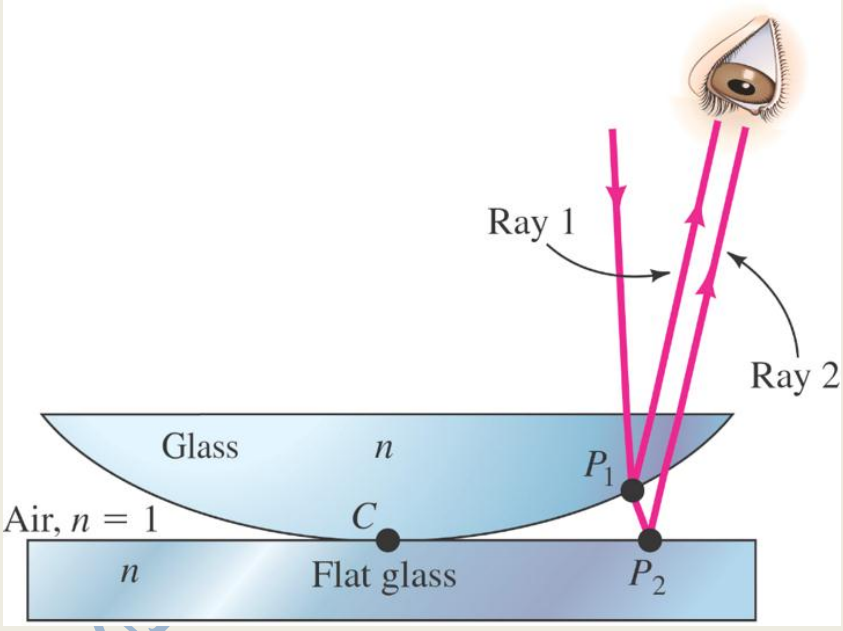
2-حيود فرنل Fresnel تتحقق الحالة اذا كان اي من المصدر او الشاشة او كلاهما قريبا من الفتحة او العائق .

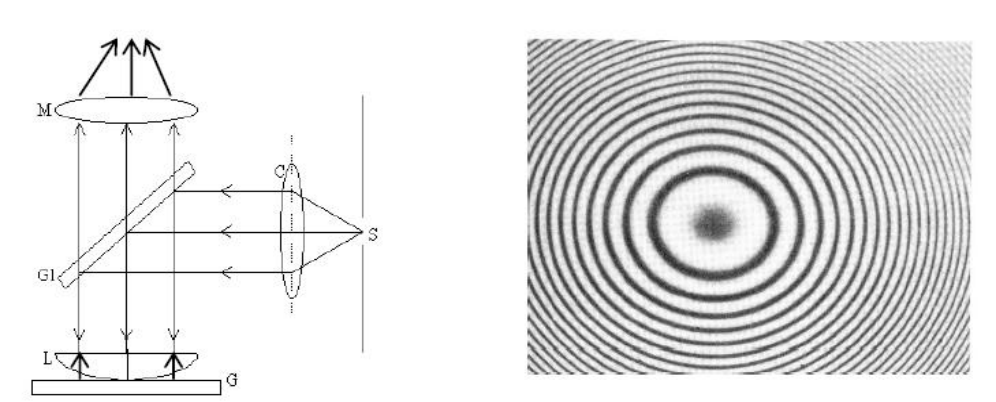
أ.د. جاسم المشهداني

الحقيقة ان حيود فرلنهوفر يعتبر حالة خاصة من حيود فرنل الذي يعتبر اعم حالة حيود ممكنة.

حلقات نيوتن

تعتبر أحدى الطرق التي يمكن بها الحصول على تداخل للضوء. تتكون من عدسة محدبة الوجه والأخر مستوى توضع فوق سطح زجاجي. بإسقاط ضوء أحادي الطول الموحى نحصل على تداخل شعاعين 1و2 تعطى شكل





شرط التداخل البناء هو:

$$2nd = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$$

حيث n =1 للهواء

للحلقات المضيئة

$$2d = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$$

m= 0,1,2,3,….

وشرط التداخل الهدام هو:

للحلقات المظلمة:

$$2d = m\lambda$$

m=0,1,2,3,…

نصف قطر الحلقات المضيئة: $r = \sqrt{R\lambda\left(M + \frac{1}{2}\right)}$

نصف قطر الحلقات المظلمة: $r = \sqrt{R\lambda m}$

أ.د. جاسم المشهداني

مثال

وضعت عدسة مستوية محدبة لها نصف قطر تكور R=3m على سطح زجاجي مستو بحيث يلامس السطح المحدب للعدسة السطح الزجاجي المستو. عندما يسقط شعاع ضوئي الى اسفل على العدسة تكون حلقات نيوتن . احسب الطول الموجي للشعاع اذا وجد ان نصف قطر الحلقة المضيئة الخمسون هو 9.8mm .

الحل

العلاقة بين نصف قطر حلقات نيوتن والطول الوجي للضوء الساقط في حالة حلقات المضيئة تعطى بالعلاقة $r_m = \sqrt{(m+1/2)R\lambda}$

وفي تجربة حلقات نيوتن نجد ان نصف قطر الحلقة المضيئة رقم (m+1) وهو r_m وكان m= 49 .

$$\lambda = r_m^2/(R(m-1/2)) = (9.8)^2/((3x10^3)(49.5)) = 646.7nm$$

مثال

في تجربة حلقات نيوتن كان نصف قطر الحلقة المظلمة الثالثة يساوي 1,3mm عندما سقط ضوء طول موجته $6000A^0$. احسب نصف قطر تكور العدسة المحدبة المستعملة في التجربة.

الحل

العلاقة بين نصف قطر حلقات نيوتن والطول الموجي للطول الساقط في حالة الحلقات المظلمة يعطى بالعلاقة .

$$r_m=\sqrt{m\lambda R}$$

$$R= r_m^2/m\lambda = (1.3x10^{-3})^2/((3)(60x10^{-8}m)=0.938m.$$

مثال

عندما وضع سائل شفاف في الفجوة الهوائية بين العدسة واللوحة الزجاجية بجهاز حلقات نيوتن وجد ان قطر الحلقة العاشرة يتغير من 1.5cm الى 1.31cm . اوجد معامل انكسار السائل.

الحل

$$d=0.0589mm$$

$$\lambda=5890A^0 = 5890x10^{-8}\ cm$$

$$2d =m\lambda$$

$$m=2d/\lambda = ((2)(0.00589)/(5890x10\text{-}8) = 200$$ هدبة

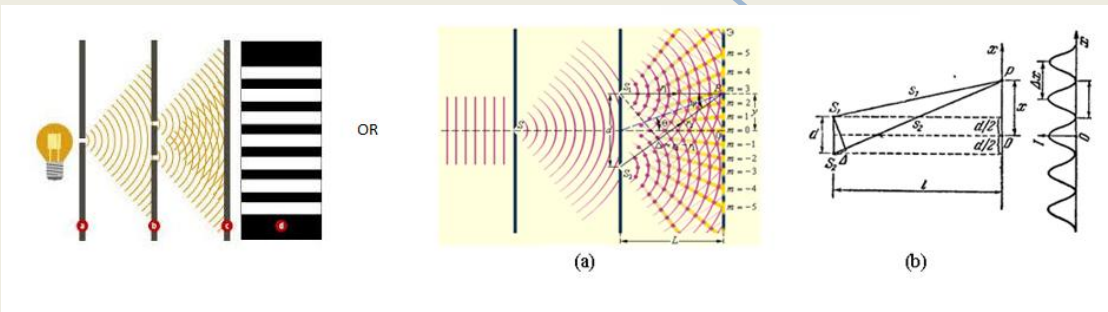
عدد الاهداب التي ظهرت في مجال الرؤيا هو 200 هدبة .

أ.د. جاسم المشهداني

مبدأ هيجنز huygens principle

هو مبدأ يصف ظاهرة حيود الموجات سواء كانت موجات الماء او صوت او الموجات الكهرومغناطيسية , وينص المبدأ على انه تتصرف كل نقطة من نقاط جبهة الموجة كمصدر ومركز لموجة جديدة ,ويركز هذا المبدأ على الخاصية الموجية للضوء علما انه في ذلك الوقت كان يعتقد بالخاصية المادية للضوء و المقترح من قبل نيوتن حول الطبيعية الجسيمية للضوء بوصفه عباره عن تدفقاً أو تيارًا من الجسيمات المتناهية في الصغرفي حين ان هيجنز اقترح عكس اقتراح نيوتن عن الضوء و قد افترض أن الضوء ذي سمة تموجية تماماً، حيث أن أشعة الضوء يمكنها أن تنحني وتلتقي ثانية و إن الضوء ينتشر، عن طريق الموجات والأسطح الكروية مثلما ينتشر الصوت،و الماء ، ولهذا فإن النمط الناتج يَكون عبارة عن سلسلة من الموجات الصغيرة المتحدة المركز .فبالنسبة لموجات الصوت، فإن كل جسيم للوسط الحامل لها الهواء يتحرك ذهاباً وإياباً على طول الاتجاه الذي تنتشر فيه الموجات ولذلك سميت بحركة موجية طولية وان سعة الموجة تكون موازية لاتجاه انتشارها اما في الضوء إن الحركة تكون لأعلى وأسفل، وبزاويا عمودية على السطح وعمودية على اتجاه انتشار الموجة و سعة الموجة تكون عمودية على اتجاه انتشارها، ولذلك سميت بحركة موجية مستعرضة.

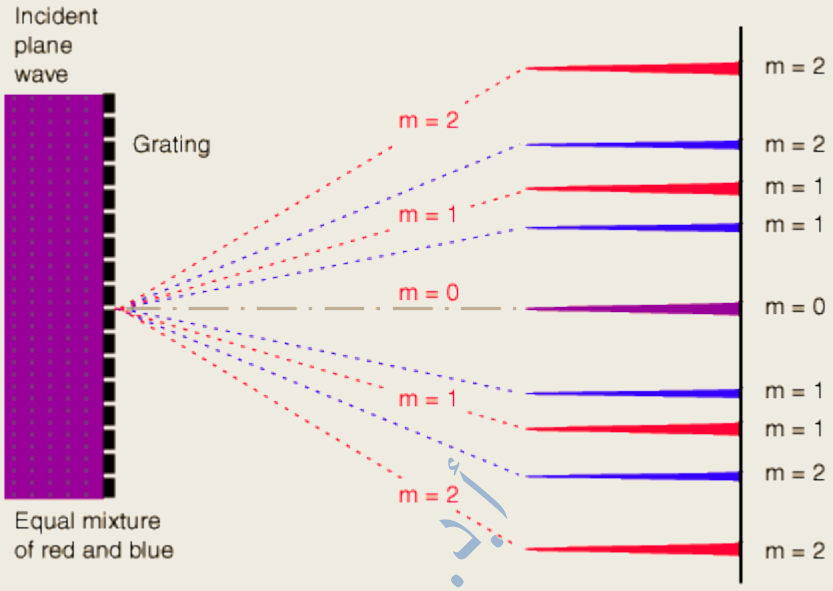
فان النظرية الموجية لهيجنز قد نجحت في وصف وتفسير بعض الخصائص المعروفة للضوء مثل الانعكاس ,مع بداية القرن العشرين بدأت القرائن تتراكم لصالح الطبيعة الجسيمية للضوء و اهمها علي الاطلاق التأثير الكهروضوئي الذي اعطي تفسيره الكامل اينشتاين. في هذا التفسير فان الضوء فعلا مكون من جسيمات تسمي فوتونات لكن هذه الجسيمات تتصرف بطريقة كمية لا كلاسيكية. ظاهرة التداخل يمكن ايضا تفسيرها باستخدام هذه النظرية الكمية للضوء .اذا كان الضوء عبارة عن فوتونات و اذا كان الضوء يتداخل فانه يجب على الفوتونات ان تتداخل حتي لو ارسلناها علي الحاجز الفاصل الذي يحتوي على الشقين .اذا كان كلا الشقين مفتوحين فان الفوتون له طريقين يمكن ان يسلكهما .كل طريق مرفق بدالة موجة تعبر عن احتمال تواجد الفوتون في اي نقطة من الفضاء اذا مر عبر ذلك الشق او عبر الاخر. دالة الموجة الكلية تعطي بجمع الدالتين المرفقتين بالشقين و هو مبدأ التركيب الخطي في الميكانيك الكمي. الاحتمال يحسب من اخذ مربع دالة الموجة و هذا المربع نجد انه يكون كبير في نقاط معينة من الشاشة يمثل الاهداب المضيئة (التداخل البناء) بين الدالتين المرفقتين بالشقين و انه يكون صغيراي في نقاط اخرى من الشاشة الاهداب المظلمة (التداخل الهدام) بين هاتين الدالتين كما نلاحظ من الشكل ادناه .



محزز الحيود Diffraction Grating

وهو تعميم لتجربة يونج ذات الفتحة الثنائية وينظر اليها على انها مجموعة معادة من عناصرالحيود التي تنتج عنها تغيرات دورية في الطور او السعة او كلاهما . وتتم صناعته عن طريق ترسيب فيلم من الالمنيوم على لوح زجاجي وقطع حزات مستقيمة ومتوازية تصل الى عدد من الالاف في كل سنتمترمن سطح المحزز ويعرف هذا النوع بالمحزز العاكس . اما اذا قطعت الحزات على الوجه الزجاجي مباشرة فانه يتم الحصول على ما يعرف بالمحزز المنفذة للاشعة . لذلك هو أداة تستخدم لفصل وتفريق الضوء اي يقوم بعمل عنصر مشتت للضوء الى مكوناته اللونية أو الاطوال الموجية المكونة له وله أهمية كثيرة لا غنى عنه في مجال علم البصريات و يستخدم بكثرة في تجارب الحيود و يستخدم لتحليل الضوء مثل الموشور ولكن قدرة التحليل لمحزوز الحيود اكبر بكثير من الموشور وكلما زادت عدد الشقوق كلما كانت القدرة التحليلية اكبر. إلا أن النمط الذي نحصل عليه للشق المزدوج كان على درجة من التشوش بحيث لم يعطي نتائج دقيقة، وتبين انه اذا كان الشقوق كبيراً و ذات ابعاد متساوية عن بعضها البعض، تعطى نظاماً أكثر حدة وإتقاناً للهدبات. والنمط الذي يحتوي هذا العدد 10000 تسمى محزوز الحدود وقد يحتوي المحزوز النموذجي على شقاً متوازياً، يبعد كل

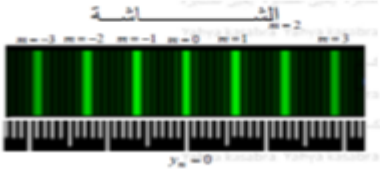
منها عن الشق المجاور لها بمسافة $d = 10^{-4}$ cm . كما نلاحظ من الشكل ادناه محزز الحيود هو الأداة المفضلة لفصل الألوان في الضوء الساقط ، شرط الحد الأقصى للشدة هو نفسه بالنسبة للشق المزدوج. ومع ذلك ، فإن الفصل الزاوي للحد الأقصى أكبر بشكل عام لأن التباعد الشق صغير جدًا بالنسبة لمحزز الحيود.



عندما تكون هناك حاجة لفصل الضوء من أطوال موجية مختلفة بدقة عالية ، فإن محزز الحيود هي في الغالب الأداة المفضلة. محزز الحيود يدخل في تطبيقات قياس الأطياف الذرية المختبرية والتلسكوبات. يوفر العدد الكبير من الشقوق المتوازية والمتقاربة لمحزز حيود ، الشدة القصوى تكون حادة وضيقة جدًا ، ويوفر دقة عالية في التطبيقات الطيفية. كما أن قمة البيك أعلى بكثير من الشق المزدوج.

أ.د. جاسم المشهداني

محزز الحيود يحتوي على عدد كبير من الشقوق المتوازية المتساوية الابعاد عن بعضها البعض



$$d = \frac{1}{N}$$

d - البعد بين اي شقين متجاورين

N - عدد الشقوق في وحدة الطول

مبدأ عمله ان كل شق ينتج حيود ثم يحدث تداخل بين امواج الشقوق .

الاهداب المضيئة تستخدم نفس العلاقات السابقة

مثال

اضيئت فتحتان ضيقتان جدا و متوازيان تفصل بينهما مسافة مقدارها 0,02mm بواسطة ضوء احادي التردد فظهرت هدبة الرابعة على حده عند زاوية مقدارها 6 . احسب الطول الموجي للضوء المستخدم .

الحل

$$d\sin\theta = m\lambda \ , \ \lambda = d\sin\theta/m = (0.02)\sin 6/4 = 52.26\times10^{-5}\ mm \ , \ \lambda = 5226\ A^0$$

مثال

فتحتان ضيقتان جدا ومتوازيتان تفصل بينهما مسافة 0.25mm تم اضاءتهما بواسطة ضوء اخضر من ليزر الارجون المتأين λ=514.5nm وظهرت اهداب التداخل الناتجه على شاشة تبعد مسافة 1.2m من الفتحتين . احسب المسافة بين الهدبين المضيئين العشرين . ماهي الزاوية التي تصنعها الهدبة الخامسة والعشرون مع المسار الاصلي للشعاع.

الحل

المسافة بين الهدبتين المضيئتين يمكن حسابها من العلاقة

$$\Delta y = D\lambda/d = ((1.2)(514.5\times10^{9}))/(0.25\times10^{-3}) = 2.469\times10^{-3} m$$

زاوية الحيود التي تصنعها الهدبة يمكن حسابها من العلاقة

$$d\sin\theta_m = m\lambda$$

$$\sin\theta_m = m\lambda/d$$

$$\theta_m = \sin^{-1}(m\lambda/d) = \sin^{-1}((25)(514.5\times10^{-9})/(0.25\times10^{-3})) = 2.95^0$$

مثال

وجد من تجربة يونج ان المسافة الفاصلة بين الهدبتين التاسعة والعاشرة هي 2.520mm بينما كانت المسافة الفاصلة بين الفتحتين هي 1.2mm في حين ان الشاشة تقع على بعد 4m من الفتحتين . 1- اوجد طول موجة الضوء المستعمل وما هو لونه؟

2 - ماهو بعد الرتبة العاشرة عن الصفرية.

الحل

1- المسافة بين كل هدبتين متتاليتين هي $\Delta y = D\lambda/d$

$$\lambda = ((\Delta y)d)/D = ((2.520)(1.2))/(4\times10^{3})$$

طول موجة الضوء المستعمل هو λ=756nm ولونه احمر غامق .

2- $y_m = mD\lambda/d$

أ.د. جاسم المشهداني

$$y_{10}=(((10)(4x10^{3}))/(1.2\ ))x756x10^{-6}=25.2mm$$

مثال

محزوز حيود المسافة بين كل شقين متجاورين فيه $(5\times10^{-6}\,m)$ اضيء بضوء احادي اللون طول موجته $(5.5\times10^{-7}\,m)$ احسب كلا من :

1) عدد الشقوق في المتر الواحد من المحزوز

2) زاوية رصد الهدبة المضيئة الثانية .

الحل :

1) $N=\frac{1}{d}=\frac{1}{5\times10^{-6}}=2\times10^{5}/m$

2) $d\sin\theta=m\lambda\Rightarrow\sin\theta=\frac{2\times5.5\times10^{-7}}{5\times10^{-6}}\Rightarrow\theta=12.7^{o}$

مثال

يقاس الخط المضيء ذو الطول الموجي $(546nm)$ للزئبق عند زاوية (81°) في الرتبة الثالثة من نموذج محزوز الحيود احسب عدد شقوق المحزوز في السنتيمتر الواحد ؟

الحل :

$$d\sin\theta=m\lambda\Rightarrow d=\frac{m\lambda}{\sin\theta}=\frac{3\times546\times10^{-9}}{\sin81^{o}}=1.66\times10^{-6}\,m$$

$$N=\frac{1}{d}=\frac{1}{1.66\times10^{-6}}=6.03\times10^{5}/m=6.03\times10^{3}/cm$$

مثال

محزوز حيود عدد شقوقه $(4525/cm)$ أضيء بضوء أزرق طوله الموجي $(422nm)$:

1) على أي زاوية تظهر الهدبة المضيئة الأولى .

2) ما رتبة الهدبة المضيئة التي تظهر على زاوية (34.95^{o}) مع الهدبة المركزية .

3) هل يمكن مشاهدة الهدبة المضيئة السادسة للون الأزرق على الشاشة ولماذا ؟

الحل :

1) $d=\frac{1}{N}=\frac{1}{4525}=2.21\times10^{-4}\,cm=2.21\times10^{-6}\,m$

$$d\sin\theta=m\lambda\Rightarrow\sin\theta=\frac{1\times422\times10^{-9}}{2.21\times10^{-6}}\Rightarrow\theta=11^{o}$$

2) $d\sin\theta=m\lambda\Rightarrow m=\frac{d\sin\theta}{\lambda}=\frac{2.21\times10^{-6}\times\sin34.95}{422\times10^{-9}}=3$

3) $m_{max}\prec\frac{d}{\lambda}\prec\frac{2.21\times10^{-6}}{422\times10^{-9}}\prec5.2\Rightarrow m_{max}=5$

لا يمكن مشاهدة الرتبة السادسة لأن $m_{max}=5$

مثال

محزوز حيود فيه (1×10^5) شقاً في المتر الواحد , يضاء بشعاع ليزر فيتكون نمط حيود على شاشة , إذا رصدت الهدبة المضيئة الثالثة عند زاوية (10.2^o) أجب عما يلي :

1) احسب الطول الموجي لضوء شعاع الليزر .

2) إذا أضيء المحزوز نفسه بشعاع ليزر اخر وتكون نمط حيود بحيث رصدت فيه الهدبة المضيئة الثالثة عند زاوية (14.1^o) فسر لماذا الطول الموجي لهذا الشعاع أطول من الطول الموجي للشعاع الأول .

الحل :

1) $d=\frac{1}{N}=\frac{1}{1\times10^5}=1\times10^{-5}\,m$

$$d\sin\theta=m\lambda \Rightarrow \lambda=\frac{d\sin\theta}{m}=\frac{1\times10^{-5}\times\sin10.2^o}{3}=5.9\times10^{-7}\,m$$

2) لأنه بزيادة الزاوية (θ) يزيد $(\sin\theta)$ فتزيد (λ) حسب العلاقة $d\sin\theta=m\lambda$.

مثال

محزوز حيود به (1×10^5) شق في المتر الواحد أضيء المحزوز بضوء احادي اللون طوله الموجي $(4.8\times10^{-7}\,m)$ فتشكل نمط حيود على شاشة تبعد مسافة $(2m)$ عن المحزوز , اجب عما يلي :

1) ما نوع الهدبة المتكونة على بعد $(0.144m)$ من الهدبة المركزية .

2) إذا اردنا رصد هدبة (من النوع والرتبة نفسها) عند موقع أبعد عن الهدبة المركزية فاقترح اجراءين لتحقيق ذلك .

الحل :

1) $d=\frac{1}{N}=\frac{1}{1\times10^5}=1\times10^{-5}\,m$

$$\tan\theta=\frac{y_m}{D}=\frac{0.144}{2}\Rightarrow\theta=4.12^o$$

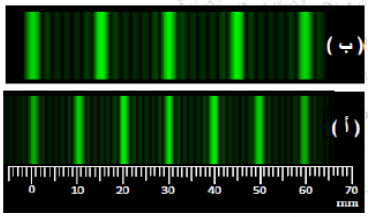
$$\Delta x=d\sin\theta=1\times10^{-5}\sin4.12^o=7.2\times10^{-7}\,m$$

هدبة مظلمة ثانية $\frac{\Delta x}{\lambda}=\frac{7.2\times10^{-7}}{4.8\times10^{-7}}=1.5$

2) أ) زيادة بعد الشاشة ب) استخدام ضوء طوله الموجي أكبر ج) استخدام محزوز آخر عدد شقوقه أكبر .

مثال

أضيء محزوز حيود بضوء أخضر فتكونت نمط تداخل كالمبين في الشكل (أ) المجاور على شاشة تبعد مسافة $(1.2m)$ فإذا كان عدد الشقوق في وحدة المحزوز $(1.52\times10^4/m)$, أجب عما يلي :



1) احسب الطول الموجي للضوء الاخضر المستخدم .

2) ما الذي يجب تغييره لينتج النمط الظاهر في الشكل (ب) , وبأي عامل ؟

الحل :

1) $d=\frac{1}{N}=\frac{1}{1.52\times10^4}=6.58\times10^{-5}\,m$

من الرسم للهدبة المضيئة الأولى للون الأخضر تكون : $(y_m=10mm=10\times10^{-3}\,m)$

$$y_m\approx\frac{m\lambda D}{d}\Rightarrow\lambda=\frac{d\,y_m}{m\,D}=\frac{6.58\times10^{-5}\times10\times10^{-3}}{1\times1.2}=5.48\times10^{-7}\,m$$

2) يلزم تغيير بُعد الشاشة (D) لأنه بزيادة (D) تزيد (y_m) : العامل $=\frac{D_ب}{D_أ}=\frac{y_ب}{y_أ}=\frac{15}{10}=1.5$

مثال

مطياف ضوئي فيه محزوز حيود المسافة بين كل شقين متجاورين فيه $(2\times10^{-6}\,m)$ يضاء المحزوز بضوء وحيد اللون طول موجته $(5.9\times10^{-7}\,m)$ أجب عما يلي :

1) ما أقصى رتبة يمكن مشاهدتها على الشاشه .

2) إذا استبدل المحزوز بآخر عدد الشقوق في وحدة الأطوال منه أقل , فما تأثير ذلك على كل مما يلي :

أ) شدة إضاءة الهدبة المضيئة الصفرية ب) عدد الأهداب التي يمكن مشاهدتها على الشاشة .

الحل :

1) $m_{max} \prec \frac{d}{\lambda} \prec \frac{2\times10^{-6}}{5.9\times10^{-7}} \prec 3.4 \Rightarrow m_{max} = 3$

2) أ) تقل , لأن كمية الضوء الواصلة للهدبة المركزية تقل عندما يقل عدد الشقوق .

ب) تزيد , بنقصان (N) تزيد (d) فتزيد (m_{max}) .

أ.د. جاسم المشهداني

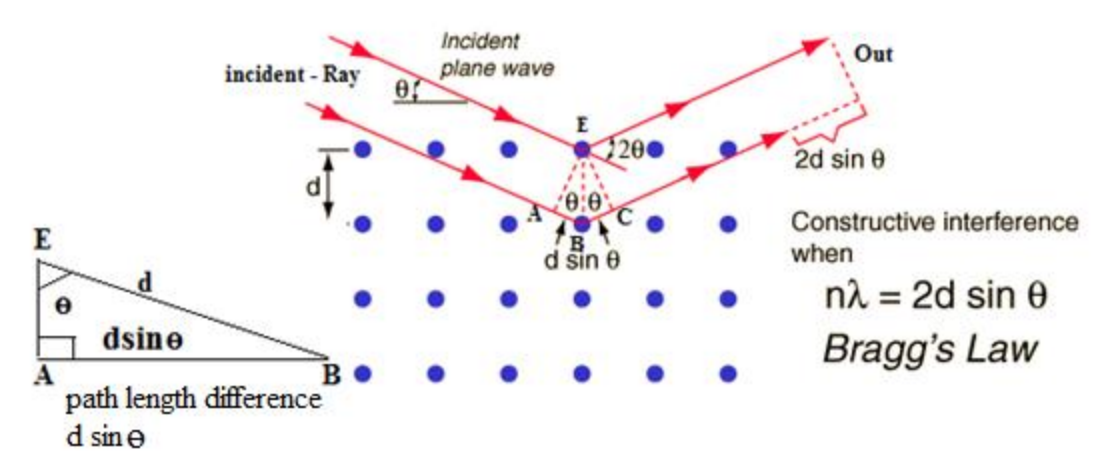
معادلة براك Bragg equation

وجد العالم براك معادلته الشهيرة عام 1912.إلى أنّ الحيود يحصل عندما يكون طول موجة الأشعة الكهرومغناطيسيّة مقاربا لأبعاد الذرّات في البلورة التي تمرّ منها مثل بلورة ملح الطعام Nacl.ترتيب ذرات البلورة تصلح لأن تكوّن حيودا لموجات اشعة اكس ؛ أشعة اكس ، وهي أشعة كهرومغناطيسية طولها الموجي قصير جدا طولها الموجي (10-0.01)nm. ويكون من الصعب الكشف عن حيود أشعة اكس عن شق اتساعه أقل من0.1nm. لأنّ الموجات تنعكس من الطبقاتٍ الذرية وتتداخل تداخلاً بناءً وفقاً لقانون براك، فعندما تسقط الأشعة على البلورة تنعكس الموجات على أكثر من طبقةٍ تفصلها عن بعضها مسافة d ،ينتج التداخل بسبب التقاء موجتين جيبتين متساويتين في التردد، وتتحركان في نفس الاتجاه وبنفس السرعة ولكن بفرق طور ثابت يعتمد على فرق المسار d بين الموجتين والطول الموجي λ. ، حيث يكون مسار كلّ موجةٍ مساوياً لعددٍ كاملٍ n او "m" من طول الموجةλ . وهذا المخطط يكشف بنية الذرة الداخلية ونسق ذراتها , وعندما تتشتت الاشعة السينية على شبكة البلورة ، فإن القمم الناتجة عن التشتت والتي يمكن ملاحظتها تتبع القوانين التالية:

-زاوية السقوط تساوي زاوية التشتت.

-فرق المسار يساوي عددا صحيحا من الموجات (λ ,2λ ,3λ، ...)

-يمكن التعبير عن التداخل البناء بقانون براك (التداخل البناء هو الذي يعطي أهدابا مضيئة كما في تجربة يونج) وهو:



من الشكل يكون لدينا

$$AB + BC = n\lambda$$

$$d\sin\theta + d\sin\theta = n\lambda$$

$$2d\sin\theta = n\lambda$$

$$n\lambda = 2d\sin\theta \quad \text{Bragg's Law}$$

حيث ان

d :المسافة بين طبقات الذرّات

λ: طول موجة الأشعة

θ:الزاوية بين الشعاع الساقط ومستوى الطبقة البلوريّة

n:عددٌ صحيحٌ يحدّد درجة الحيود ..... n =1,2,3.

وقانون براك ممكن ان ينطبق أيضاً على حيود الإلكترونات، وحيود النيوترونات. الحيود في حالة البلورات المكعّبة من الممكن معرفة المسافات بين الطبقات المختلفة في النظام البلوري المكعب باستخدام قانون براك . من خلال تطبيق قانون براك تمّ التعرف على البنية البلوريّة لكلوريد الصوديوم ,أثناء حيود الأشعة السينيّة تبين أنّ كلّ ذرّة كلور محاطةٌ بستّ ذراتٍ من الصوديوم وعلى مسافاتٍ متساويةٍ. بعد تحديد الزاوية، وحيث أننا نعرف الطول الموجي للأشعة المستخدمة (أشعة اكس) يصبح من الممكن تحديد المسافة d الفاصلة بين ذرات البلورة.

أقترح دي برولي كما هو الحال مع طبيعة سلوك الضوء الموجي والجسمي فان الجسيم المادي مثل الإلكترون , يمتلك هذه الطبيعة المزدوجة من السلوك الجسيمي و الموجي. في حالة الفوتون, فإن طاقته E تساوي hν حسب معادلة بلانك ، ووفقاً لنظرية أينشتاين فإن طاقة الفوتون تساوي mc^2 حيث c سرعة الضوء و m هي الكتلة النسبية للفوتون.

$$E = h\nu \quad \text{(Planck's equation)} \quad , \quad E = mc^2 \quad \text{(Einstein equation)}$$

ويمتلك الفوتون كتلة سكون مساوية للصفر ولكن الفوتونات متحرك وغير ساكن دائماً, ولذا فعند سرعة c يمتلك الفوتون كتلة mغير صفرية. وعند مساواة المعادلتين أعلاه نحصل على :

$$h\nu = mc^2$$

مع العلم أن $\nu = c/\lambda$ حيث λ هو الطول الموجي للضوء ،وعندئذ تصبح المعادلة السابقة بالشكل التالي :

$$hc/\lambda = mc^2$$

فيكون الطول الموجي λ مساوي الى

$$\lambda = h/mc$$

وبصورة مشابهة اقترح دى برولي أن جسيماً مادياً كتلته m وسرعته v سيمتلك طولاً موجياً λ معطي بالعلاقة التالية:

$$\lambda = h/mv = h/p$$

حيث P هو زخم الجسيم أو عزم الفوتون أو كمية التحرك .

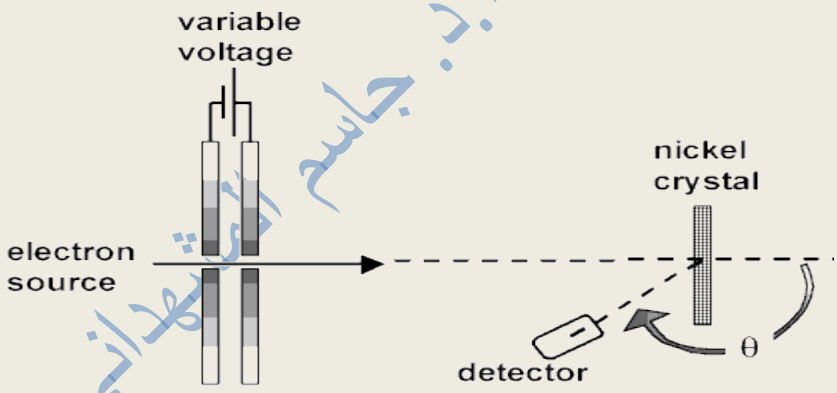
مثال

احسب طول موجي دي برولي لإلكترون يتحرك بسرعة 1.0×10^8 m/s والى جسيم كتلته 1g و بسرعة 1 cm/sec .

$$\lambda = 6.6 \times 10^{-27} \text{ erg.s} / (9.1 \times 10^{-28} \text{ g})(1.0 \times 10^8 \text{ cm/s}) = 7 \times 10^{-8} = 7 \text{ A}^o$$

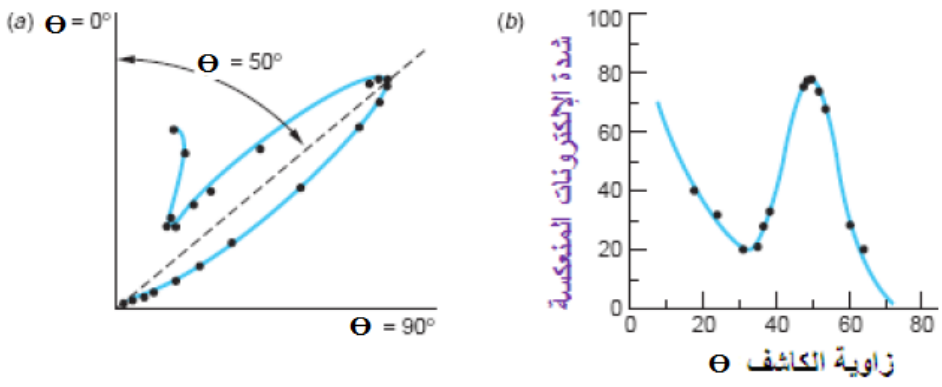
وكما نلاحظ إن مقدار الطول الموجي يكون في حدود الأبعاد الجزيئية وهو الأمر الذي يعطي التأثيرات الموجية أهمية في الحركات الإلكترونية في الذرات والجزئيات.

ولكن في حالة جسيم مرئي بعد استخدام المعادلة أن الطول الموجي الناتج 7×10^{-27}cm وهو صغير جداً وهذا يشير إلى أن تأثيرات الكم تكون غير ملحوظة بالنسبة لحركة الأجسام الكبيرة. في التجربة التي أجراها دافيسون التي تمت دراسة انعكاس الإلكترونات من سطح البلورة . لدراسة طاقة الإلكترونات المتشتتة عن سطح معدن النيكل ، حيث يتم قذف بلورة المعدن بإلكترونات مسرّعة وقياس طاقة وزاوية تشتت هذه الالكترونات بعد اصطدامها بالبلورة كما نلاحظ من الشكل.



أ.د. جاسم المشهداني

وهذه تعتبر أول خطوة كبيرة نحو ميكانيكا الكم: حيث وضعت عينة من بلورة النيكل في جهاز مفرغ من الهواء ، وكانت العينة موضوعة على قاعدة قابلة للدوران ينتج حزمة الإلكترونات من مدفع الالكترونات، حيث يتم تعجيل الإلكترونات إلى الطاقة المرغوبة في حدود 50 فولت , وكما نلاحظ ان كاشف الإلكترونات ، متحركا على شكل قوسي حول العينة لقياس زوايا التشتت ورصد الإليكترونات المتطايرة. لاحظ دافيسون ، أن هناك قيما عظمى لكثافة الإلكترونات المتشتتة تتغير حسب زاوية العينة كما نلاحظ من الشكل



شكل يمثل تغير كثافة الإلكترونات المشتتة مع زاوية التشتت. تقاس زاوية الكاشف Θ بالنسبة لاتجاه سقوط شعاع الإلكترونات المعجلة

وهذه القمم تشير إلى الخاصية الموجية للإلكترونات، ويمكن معالجتها بقانون براك وحساب الأطوال الموجية المصاحبة للإلكترونات المادية. و كما نلاحظ اعلاه ما قام به يونج بتسليط شعاع ضوئي أحادي اللون على شقين الفاصل بينهما صغير جدا , وقام برصد الأشعة الخارجة من الشقين على شاشة لاحظ هدب مضيء، ناتج عن التداخل البناء وهدب معتم، ناتج عن تداخل هدام. الموجة تتحرك وتنتشر في جميع الاتجاهات، بعدما عبرت الشق ، هذا الميل هو ما يسمى بالحيود.

في تجربة دافيسون وجيرمر Davison and Germer experiment الأولى التي برهنت فرضية دي برولي كانت بقذف بلورة من النيكل بحزمة من الكترونات بجهد 54 فولت، وحصل على أشعة مختلفة قوية عندما كانت المرتبة الأولى n=1 , و الزواية تساوي 65°.

وبتطبيق معادلة براج Bragg equation لإيجاد قيمة λ عندما n =1، $\sin 65^o = 0.9068$ ، والمسافة الداخلية لذرة النيكل (d) تساوي $0.91A^0$ نجد

$$n\lambda = 2\, d \sin \Theta$$

$$1 \times \lambda = 2 \times 0.91 \times 0.09068$$

$$\lambda = 1.65A^o$$

وبتطبيق معادلة دي برولي

$$\lambda = h / m_e v$$

حيث e , m , v هي السرعة والكتلة والشحنة على التوالي وأن الالكترون سوف يعجل خلال فرق جهد قدره V فان الطول الموجي λ مساوي الى

$$1/2\, mv^2 = Ve$$

$$m_e^2\, v^2 = 2m_e\, Ve$$

أ.د. جاسم المشهداني

$$m_e v = \sqrt{(2m_e Ve)}$$

$$\lambda = h/m_e v$$

$$\lambda = h/\sqrt{(2m_e Ve)}$$

القيم ادناه كانت لدراسة اولية اجريت لاختبار فرضية دي برولي:

$V = 54$ volts , $h = 6.63 \times 10^{-34}$ j.s , $m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ kg , $E = 1.6 \times 10^{-19}$ j.s

وبعد التعويض فى المعادلة الأخيرة نحصل علي :

$$\lambda = (6.63x10\text{-}34\ j.s)/\sqrt{(2x9.1x10^{-31}kg\ x\ 54x1.6x10^{-19}j)} = 1.66\ A^0$$

وهذه النتيجة جاءت موافقة لفرضية دي برولي

الامتصاص Absorption

عندما يمر شعاع ضوئي او موجة خلال وسط ما فانه يفقد جزء من طاقته وبالتالي تتغير شدة الشعاع والتي يمكن حسابها من المعادلة:

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

I – شدة الاشعة النافذة من الهدف

I0 – شدة الاشعة الساقطة على الهدف

μ- معامل الامتصاص

X – السمك .

مثال

اجريت تجربة حلقات نيوتن باستعمال شعاع من ليزر الهليوم والنيون ($\lambda = 6328A^0$) فوجد ان قطر الحلقة الخامسة والعشرون هو 17.2mm بينما قطر الحلقة الخامسة عشر كان 1.22mm . اوجد قطر العدسة المستعملة في التجربة.

مثال

اضيئت فتحتان ضيقتان تفصل بينهما مسافة 0.70mm بضوء طول موجته 600nm ما هو فرق الطور بين الموجتين المتداخلتين على الشاشة التي تبعد مسافة قدرها 2.6m من الفتحتين و عند نقطة تبعد مسافة 2.3mm من الرتبة الصفرية العظمى على الشاشة؟ ماهي نسبة شدة الاضاءة عند هذه النقطة لتلك عند الرتبة الصفرية؟

أ.د. جاسم المشهداني