

1. مقدمة (Introduction)

درسنا فيما سبق ظواهر الانكسار والانعكاس التي تندرج ضمن البصريات الهندسية ، اي يعتبر فيها مسار الضوء بشكل أشعة مستقيمة . لكن حقيقة الامر ان الضوء يسير في الوسط بشكل موجي ، اي يخضع لصفات الموجة الكهرومغناطيسية من سرعة وطول موجي وتردد وطاقة وزخم . ان من اهم الظواهر البصرية التي تندرج ضمن الطبيعة الموجية للضوء هي ظاهرة التداخل (interference) . لذلك يجب في البداية التعرف على صفات الموجة الكهرومغناطيسية للتمهيد لموضوع التداخل .

2. الموجة الكهرومغناطيسية (Electromagnetic Wave)

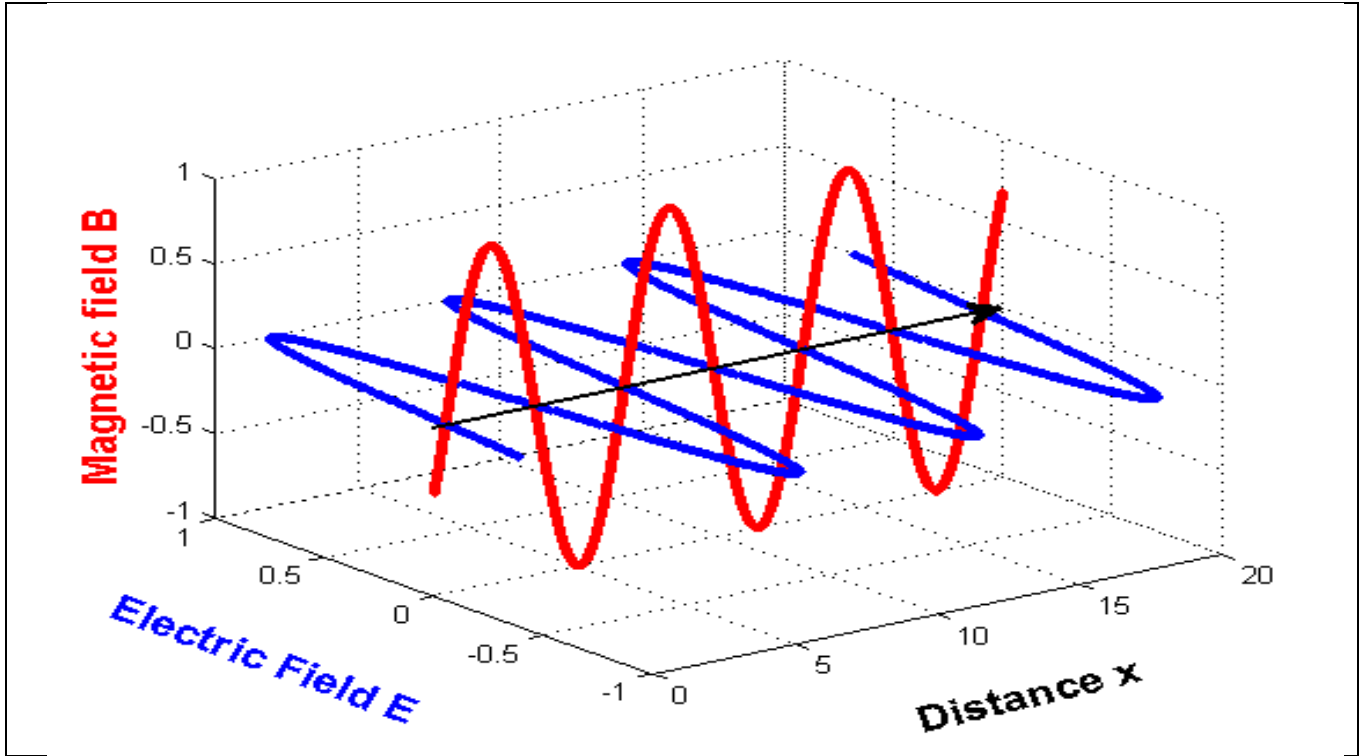
الموجة هي اضطراب للصفات الفيزيائية في الوسط الناقل لها ، وهي احد أشكال انتقال الطاقة هناك نوعين من الموجات حسب طريقة انتشارها : النوع الاول هو الموجات الطولية (longitudinal waves) (مثل موجات الصوت والنابض الحلزوني) يكون اتجاه تذبذب الموجة مع اتجاه انتشارها على شكل تضاعط وتخلخل . اما النوع الثاني هو الموجات المستعرضة (transverse waves) (مثل موجات الماء والحبل المتحرك والموجات الكهرومغناطيسية) يكون اتجاه تذبذب الموجة عمودي على اتجاه انتشارها .

تنتقل الموجات الكهرومغناطيسية في الفراغ والوسط المادي ، بينما بقية الموجات (التي تسمى الموجات الميكانيكية) تنتقل في الوسط المادي فقط حيث تنتقل فيه الموجات وتنقل الطاقة من مكان إلى آخر بدون إزاحة جزيئات الوسط بشكل دائم، أي أنه لا تنتقل أي كتلة مع انتقال الموجة .

للموجة الكهرومغناطيسية صفة الدورية أي لها نمط متكرر من الشدة في فترات زمنية متتابة بفترة فاصلة بينها بحركة توافقية تخضع للدالة الجيبية (sine function) على شكل قمم وقيعان (crests and valleys) كما في الشكل (1) . يسمى عدد التكرار في الموجة لوحدة الزمن بالتردد (frequency) ، والمسافة بين قمتين او قاعين بالطول الموجي (wavelength) ، تسير هذه الموجة في الفراغ بسرعة ثابتة ($c=3 \times 10^8$ m/s) لا تضاهيها اي سرعة في الكون (حسب اخر النظريات) . ان الدالة الجيبية التي تصف حركة الموجة الكهرومغناطيسية هي :

$$y = a \sin(\omega t - kx) \quad \dots \dots (1)$$

حيث (a) تمثل سعة الموجة (amplitude) ، (ω) السرعة الزاوية (angular velocity) حيث ($\omega = 2\pi f$) ، (k) العدد الموجي (wave number) حيث ($k = 2\pi/\lambda$) . ان الموجات تنقل الطاقة من مكان الى اخر ، وتسمى كمية الطاقة المارة في زمن معين على وحدة المساحة بالشدة (intensity) التي تتناسب مع مربع سعة الموجة .

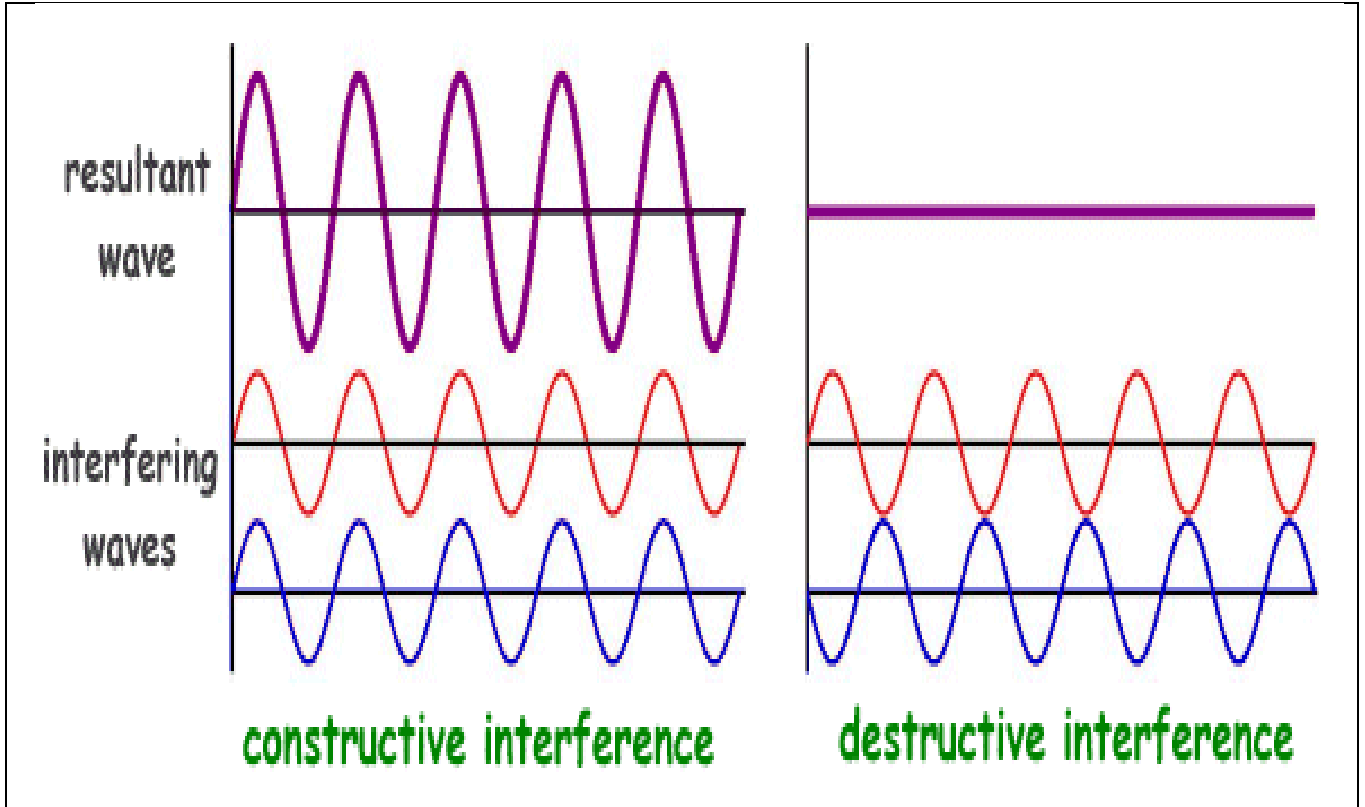


الشكل (1) : الموجة الكهرومغناطيسية

3. تداخل موجتان (Two Waves Interference)

عند انتقال موجتين متشابهتين (coherence waves) (الموجات المتشابهة هي الموجات المتساوية في التردد والسعة وفرق الطور بينها ثابت مع الزمن) في وسط معين وبنفس الاتجاه ، تحدث ظاهرة مثيرة بين الموجتين وهي التداخل . اي تتراكب الموجتين مع بعضها حيث تندمجان معا مكونة موجة جديدة تختلف من حيث السعة مشكلة نمط من التداخل يشبه نوعا ما تراكب موجات الماء عند إسقاط حجرين على بركة ماء راكد .

يخضع تداخل الموجتين الى مبدأ التراكب (superposition principle) الذي يشير الى ان سعة الموجة المتولدة من التداخل ناتجة من المجموع الجبري لسعات الموجات المتداخلة . لذلك يمكن ان تتولد موجة بسعة عظيمة ناتجة من جمع قمتين او قعرين معا اذا كان فرق الطور (phase difference) بين الموجتين المتداخلتين يساوي $(\delta = 0, 2\pi, 4\pi, 6\pi, \dots, m\pi)$ ، فتكون الشدة المتولدة المتولدة من التداخل هي اعظم ما يمكن (maximum intensity) لكونها تتناسب مع مربع السعة كما ذكرنا ، فيسمى التداخل المتكون في هذه الحالة بالتداخل البناء (constructive interference) . او تتكون موجة بسعة صغرى ناتجة من جمع قمة مع قعر اذا كان فرق الطور بين الموجتين المتداخلتين يساوي $(\delta = \pi, 3\pi, 5\pi, \dots, m\pi)$ ، فتكون الشدة المتولدة المتولدة من التداخل هي اقل ما يمكن (minimum intensity) ، فيسمى التداخل المتكون في هذه الحالة بالتداخل الهدام (destructive interference) كما في الشكل (2) .



الشكل (2) : التداخل البناء والتداخل الهدام

إذا كان هناك موجتين متشابهتين تسيران في نفس الاتجاه ، فمعادلة الموجة لهما هي :

$$y_1 = a_1 \sin(\omega t - \varphi_1) \quad \dots \dots (2)$$

$$y_2 = a_2 \sin(\omega t - \varphi_2) \quad \dots \dots (3)$$

حيث (φ) تمثل طور الموجة $(\varphi = kx)$. عند تداخل هاتان الموجتان يحدث اندماج بينهما مكونة موجة جديدة سعتها تتحدد حسب مبدأ التراكب . فتكون معادلة الموجة الجديدة هي :

$$y = y_1 + y_2 = a_1 \sin(\omega t - \varphi_1) + a_2 \sin(\omega t - \varphi_2)$$

$$y = A \sin(\omega t - \phi) \quad \dots \dots (4)$$

حيث (ϕ) تمثل طور الموجة المتولدة ، (A) سعة الموجة المتولدة التي ترتبط بعلاقة مع سعتي الموجتين المتداخلتين وفرق الطور بينهما كما يلي :

$$A^2 = a_1^2 + a_2^2 + 2a_1a_2\cos\delta \quad \dots \dots (5)$$

نلاحظ من خلال المعادلة (5) اعتماد سعة الموجة المتداخلة على سعتي الموجتين المتداخلتين وفرق الطور بينهما ، ولكون السعتين ثابتتين فيبقى الدور على فرق الطور ليحدد نوع التداخل المتولد

نفرض ان الموجتين المتداخلتان لهما نفس السعة ($a_1=a_2=a$) ، فتكون المعادلة (5) بالصورة الاتية :

$$A^2 = a^2 + a^2 + 2a^2 \cos \delta = 2a^2(1 + \cos \delta) \dots \dots (6)$$

$$A^2 = 4a^2 \cos^2 \delta/2 \dots \dots (7)$$

بما ان الشدة تتناسب مع مربع السعة ، فتكون محصلة الشدة للموجة المتولدة كما يلي :

$$I \propto A^2 = 4a^2 \cos^2 \delta/2 \dots \dots (8)$$

اذا كان فرق الطور بين الموجتين المتداخلتين ($\delta = 0, 2\pi, 4\pi, 6\pi, \dots, m\pi$) فتكون قيمة ($\cos^2 \delta/2 = 1$) ، فتصبح الشدة باقصى قيمة ويكون التداخل بناء :

$$I_{max} \propto A^2 = 4a^2 \dots \dots (9)$$

اما اذا كان فرق الطور بين الموجتين المتداخلتين ($\delta = \pi, 3\pi, 5\pi, 7\pi \dots, m\pi$) فتكون قيمة ($\cos^2 \delta/2 = 0$) ، فتصبح الشدة باقل قيمة ويكون التداخل هدام :

$$I_{min} \propto A^2 = 0 \dots \dots (10)$$

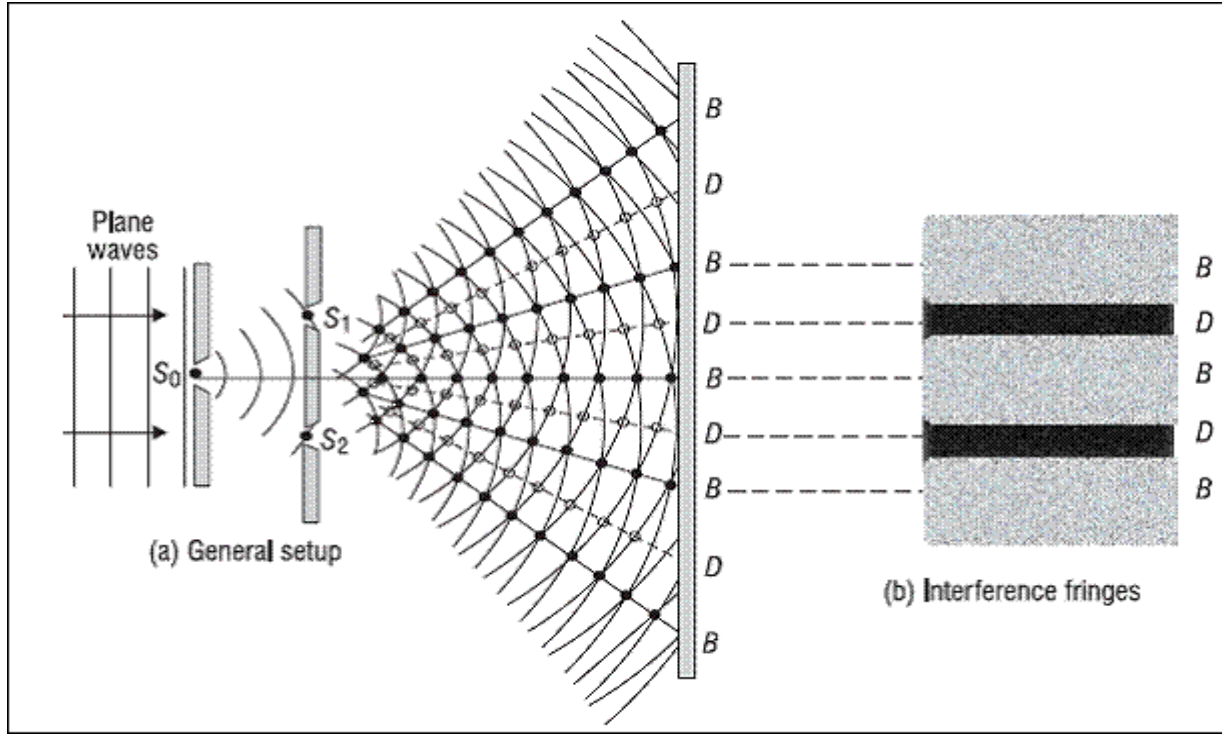
ممکن رؤية نمط التداخل المتكون على شكل اهداب مضيئة (تداخل بناء) واهداب مظلمة (تداخل هدام) ، شكل الاهداب يحدد حسب نوع جهاز التداخل وحسب حزمة الضوء المتداخل . فيمكن ان تكون الاهداب على شكل خطوط متوازية (كما في تجربة الشق المزدوج ليونك) ، او تكون على شكل حلقات متحدة المركز (كما في تجربة مايكلسون وتجربة نيوتن) .

يمكن الحصول على التداخل باجراء تجارب عديدة ، لكنها تعتمد على مبدئين اساسيين : الاول هو مبدأ تجزئة جبهة الموجة (wave front division principle) ، والثاني مبدأ تجزئة السعة (amplitude division principle) . وسوف نأخذ تجربتين في هذا الفصل كمثال لكل مبدأ هي تجربة الشق المزدوج ليونك (مبدأ تجزئة جبهة الموجة) وتجربة الغشاء الرقيق (مبدأ تجزئة السعة) .

4. تجربة يونك للشق المزدوج (Young's Double Slit experiment)

تجربة يونك للشق المزدوج هي إحدى أهم التجارب الفيزيائية التي أسهمت في البحث في طبيعة الضوء وإثبات طبيعته الموجية ، ثم استخدمت في اثبات وجود خاصية موجية لجميع الجسيمات مثل الإلكترونات وغيرها. تعتمد هذه التجربة على انحراف الضوء عند شقين رفيعين في حاجز مانع للضوء، حيث يقوم الانحراف بتحويل كلا الشقين إلى مصدرين ضوئيين متشابهين ومترافين، وينتج عنها عند استقبال الضوء على حاجز أمامهما نمط تداخل يتميز بأهداب ضوئية مضيئة وأخرى مظلمة .

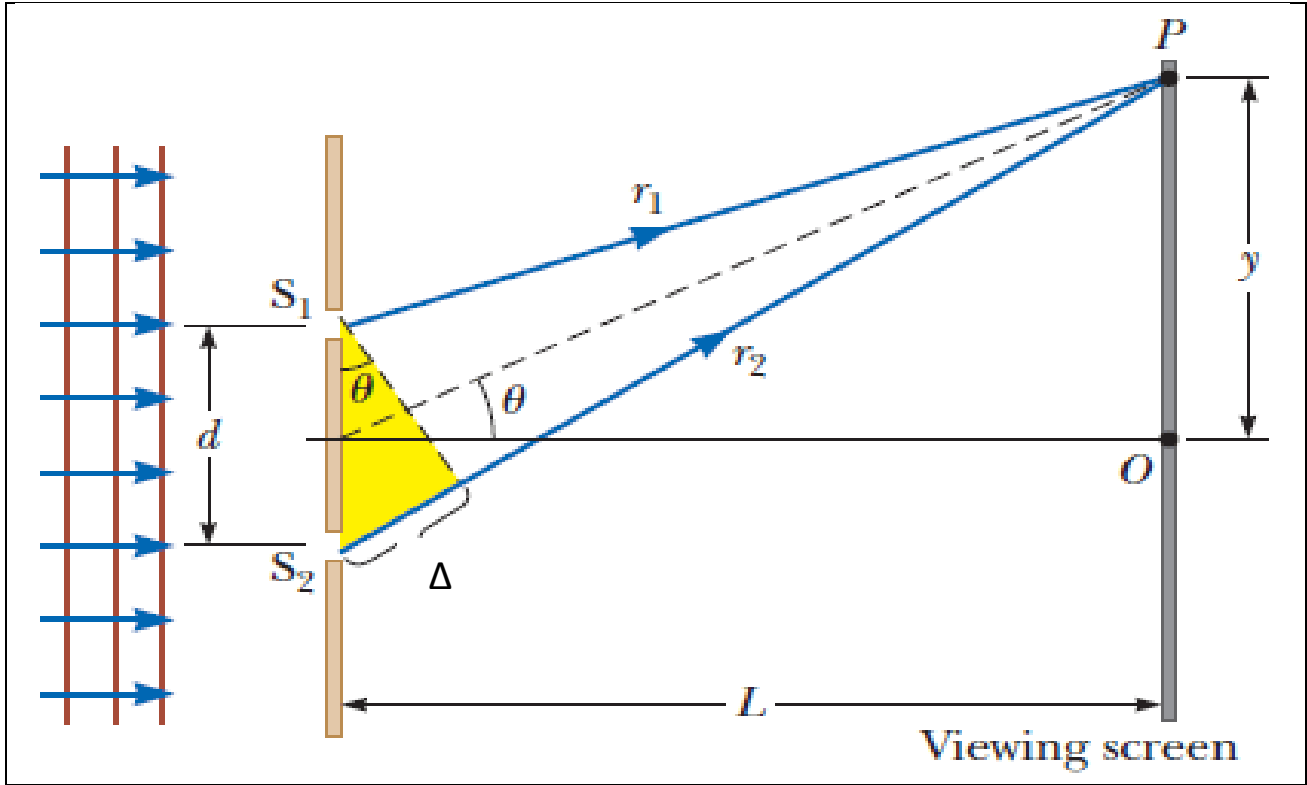
في هذه التجربة يمرر الضوء خلال شق ضيق (S) ليكون حزمة ضوئية ضيقة ، ليمر بعدها خلال شقين (S_1 , S_2) متساويين في العرض (لتكون سعة الحزمتين المتولدتين متساوية) وتفصلهما نفس المسافة مع (S) (ليكون فرق الطور بين الحزمتين ثابت مع الزمن) ، كذلك يكون التردد ثابت لكون الضوء من مصدر واحد . فتصبح الموجات المتداخلة من الشقين هي موجات متشابهة كما في الشكل (3) .



الشكل (3) : تجربة يونك للشق المزدوج

عند تداخل الموجات المتولدة من الشقين (S_1 , S_2) ينتج نمط التداخل على الشاشة (OP) كما في الشكل (4) . يكون الهدب المركزي مضيئاً على الشاشة في نقطة (O) حسب معادلة الشدة (معادلة (8)) ، لكون فرق المسار (Δ) بين (S_1O) و (S_2O) هو صفر (مسارين متساويين) ، فيكون فرق الطور (δ) بين الموجات المتداخلة في هذه النقطة صفر أيضاً ، حسب العلاقة :

$$\delta = k\Delta \quad \dots \dots (11)$$



الشكل (4) تكوين أهداب التداخل في تجربة يونك

لتحديد نوع التداخل في اي نقطة على الشاشة ولتكن نقطة (P) التي تبعد مسافة (y) عن الهدب المركزي (النقطة O) ، يجب معرفة فرق المسار (Δ) بين الموجتين المتداخلتين في هذه النقطة الذي بدوره يحدد فرق الطور (δ) ومنه يعرف مقدار الشدة للهدب المتكون في النقطة (P) ، اي نوع التداخل (بناء او هدام) .

ان فرق المسار بين (S_1P) و (S_2P) هو (Δ) كما في الشكل (4) :

$$\Delta = S_2P - S_1P \quad \dots \dots (12)$$

$$\Delta = d \sin \theta \quad \dots \dots (13)$$

حيث (d) تمثل المسافة بين الشقين ، والتي تعتبر صغيرة جدا اذا ما قورنت مع المسافة بين الشقين والشاشة (L) . لذلك تكون الزاوية (θ) صغيرة جدا ، ويمكن استخدام التقريب الاتي :

$$\sin \theta \approx \tan \theta = \frac{y}{L} \quad \dots \dots (14)$$

فتصبح المعادلة (13) كما يلي :

$$\Delta = \frac{dy}{L} \quad \dots \dots (15)$$

$$\delta = k\Delta = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{dy}{L} \quad \dots \dots (16)$$

تمثل المعادلة (16) فرق الطور للموجتين المتداخلتين في نقطة (P) على الشاشة . فيكون التداخل بناء والشدة في أعظم قيمة اذا كان فرق الطور :

$$\delta = 0, 2\pi, 4\pi, 6\pi, \dots, m\pi$$

$$\Delta = 0, \lambda, 2\lambda, 3\lambda, \dots = m\lambda$$

$$\frac{dy}{L} = m\lambda \quad \dots \dots (17) \quad (\text{constructive interference})$$

حيث (m) هو عدد صحيح (m = 0, 1, 2, 3, ...) يسمى مرتبة التداخل . ويكون التداخل هدام والشدة في اقل قيمة اذا كان فرق الطور :

$$\delta = \pi, 3\pi, 5\pi, 7\pi \dots, m\pi$$

$$\Delta = \frac{\lambda}{2}, \frac{3\lambda}{2}, \frac{5\lambda}{2}, \frac{7\lambda}{2} \dots = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$$

$$\frac{dy}{L} = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda \quad \dots \dots (18) \quad (\text{destructive interference})$$

5. التداخل في الأغشية الرقيقة (Thin Film Interference)

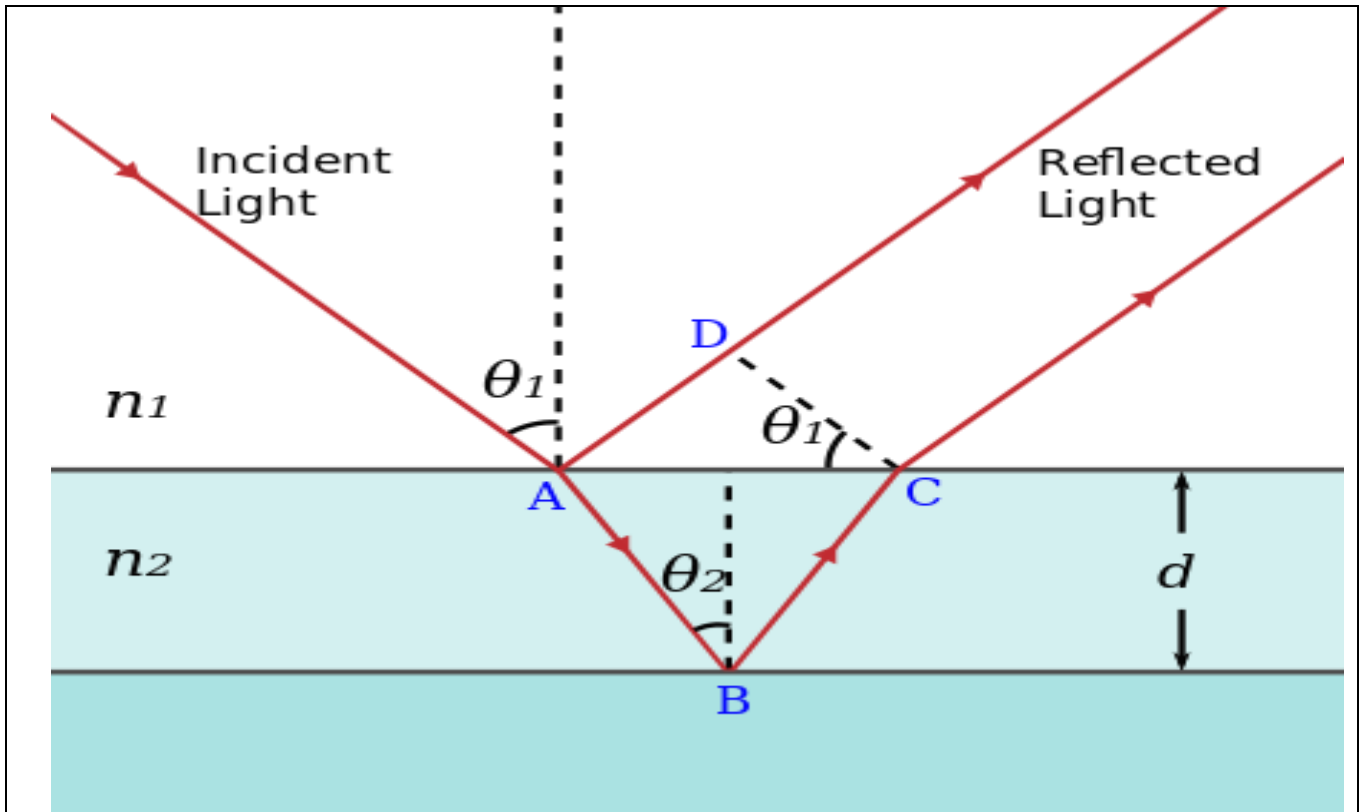
هناك بعض الظواهر في الطبيعة ناتجة من التداخل بين موجات الضوء المنعكسة من الاغشية الرقيقة مثل الالوان المتولدة من فقاعات الصابون وفي اغشية الزيت . تعمل هذه الظواهر على التداخل بمبدأ تجزئة السعة ، اي ان سعة الموجة تنقسم الى قسمين نتيجة الانعكاس من سطحين متتاليين ، بعدها تتداخل الموجات مع بعضها مولدة نمط تداخل .

في الشكل (5) شعاع ضوئي يسقط بزاوية (θ_1) على سطح غشاء رقيق سمكه (d) في نقطة (A) ، نلاحظ ان قسم من الشعاع ينعكس الى نفس الوسط الاول (n_1) ، وقسم ينفذ (ينكسر) الى داخل الغشاء (n_2) (مع إهمال الجزء الممتص) ويسقط على السطح السفلي له في نقطة (B) بزاوية سقوط (θ_2) . هذا الشعاع ينقسم الى جزئين قسم ينفذ الى خارج الغشاء وقسم ينعكس متجها الى النقطة (C) . عند نقطة (C) ينقسم الشعاع ايضا الى منعكس الى داخل الغشاء ونافذ الى الوسط العلوي (n_1) . وهكذا تتكرر هذه العملية من الانعكاس والانكسار وفي كل مرة تقل شدة الضوء نتيجة تجزؤ السعة في عملية الانعكاس والانكسار .

هذه العملية تكون اشعة منعكسة متوازية حسب الشكل (5) ، تتداخل هذه الاشعة مع بعضها تداخل بناء او هدام حسب فرق الطور بين الشعاعين المتداخلين . وفرق الطور هنا يعتمد على ثلاثة امور هي :

- سمك الغشاء (d) الذي يحدد فرق مسار الاشعة المتداخلة
- معامل انكسار الغشاء
- زاوية سقوط الشعاع الاصلي على سطح الغشاء

جدير بالذكر ان الضوء المنعكس من السطح الفاصل بين وسطين يحدث له ازاحة طور (phase shifting) مقدارها (π) اذا كان ($n_1 < n_2$) ، فينتج نمط تداخل على شكل اهداب مظلمة ومضيئة اذا كان الضوء احادي الطول الموجي ، أو على شكل حزمة ألوان اذا كان الضوء المستخدم مركب (ابيض مثلا) . ان التداخل لا يحدث الا في الاغشية التي لها سمك صغير نسبيا (غشاء رقيق) مقارنة بالطول الموجي المستخدم ، حتى يحدث فرق طور بين الموجات يسمح بتكوين التداخل .



الشكل (5) : التداخل في الاغشية الرقيقة

ان فرق الطور بين الشعاعين المتداخلين يحسب من خلال فرق المسار البصري (optical path difference OPD) بين الشعاعين الذي يساوي حسب الشكل (5) :

$$\Delta = OPD = n_2(AB + BC) - n_1AD \dots \dots (19)$$

$$AB = BC = \frac{d}{\cos\theta_2} \dots \dots (20)$$

$$AD = 2d \tan\theta_2 \sin\theta_1 \dots \dots (21)$$

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2 \quad (\text{Snell's law})$$

$$\Delta = n_2 \left(\frac{2d}{\cos\theta_2} \right) - 2d \tan\theta_2 n_2 \sin\theta_2 \dots \dots (22)$$

$$\Delta = 2n_2 d \left(\frac{1 - \sin^2\theta_2}{\cos\theta_2} \right) \dots \dots (23)$$

$$\Delta = 2n_2 d \cos\theta_2 \dots \dots (24)$$

إذا كان فرق المسار البصري يساوي طول موجي واحد أو مضاعفات صحيحة له ، فالتداخل يكون بناء كما موضح في المعادلة :

$$\lambda, 2\lambda, 3\lambda, 4\lambda, \dots = m\lambda = 2n_2 d \cos\theta_2 \quad (\text{constructive interference})$$

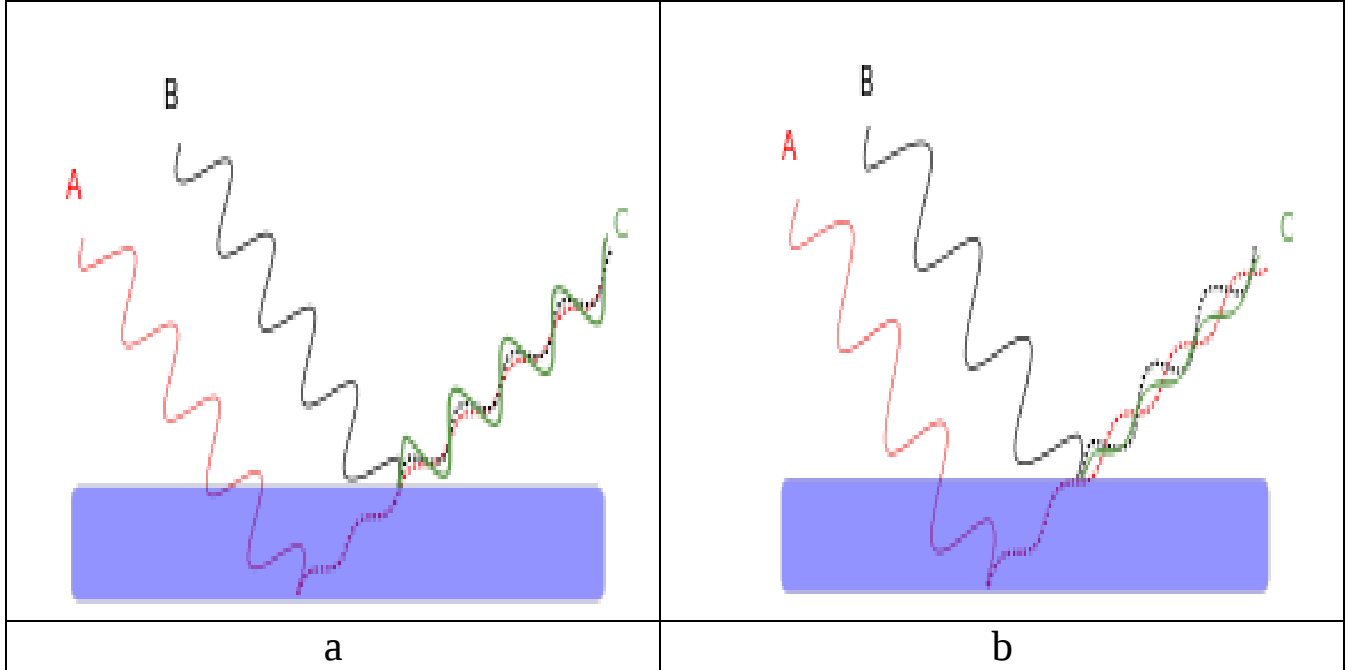
أما إذا كان فرق المسار البصري يساوي نصف الطول الموجي أو مضاعفات صحيحة لأنصافه ، فالتداخل يكون هدام كما موضح في المعادلة :

$$\frac{\lambda}{2}, \frac{3\lambda}{2}, \frac{5\lambda}{2}, \dots = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda = 2n_2 d \cos\theta_2 \quad (\text{destructive interference})$$

6. تفاعل الطور (Phase Interaction)

ان طور الموجة له دور أساسي في ظاهرة التداخل بما له من تأثير حسب مبدأ التراكب بين الموجات . الشكل (6) يوضح سقوط موجتين (A ,B) على غشاء رقيق . كل موجة سوف تنعكس من سطحي الغشاء . الموجة (A) تنعكس من السطح السفلي ، والموجة (B) تنعكس من السطح العلوي . هذا الانعكاس المزدوج ينتج عنه تداخل بين الموجتين فيولد الموجة (C). فإذا كانت الموجتان المتداخلتان في نفس الطور (in phase) أي فرق الطور بينهما صفر أو مضاعفات صحيحة للطول الموجي يكون التداخل بناء وسعة الموجة (C) أكبر ما يمكن كما في الشكل (A-a) . وإذا كانت الموجتان

المتداخلتان خارج الطور (out of phase) أي فرق الطور بينهما مضاعفات صحيحة لانصاف الطول الموجي يكون التداخل هدام وسعة الموجة (C) اصغر ما يمكن كما في الشكل (A-b). ان علاقة الطور بين الموجات المتداخلة تعتمد على الطول الموجي للموجة (A) داخل الغشاء وكذلك سمك الغشاء.



الشكل (6) : تفاعل الطور بين الموجات المتداخلة

ان هناك امثلة كثيرة لظاهرة التداخل في الاغشية الرقيقة . تختلف حسب نوع الغشاء المستخدم ونوع الوسط المحيط بالغشاء ، من الامثلة المهمة في هذا الصدد هو التداخل في فقاعة الصابون ، والتداخل في طبقة الزيت ، والطلاء غير العاكس .

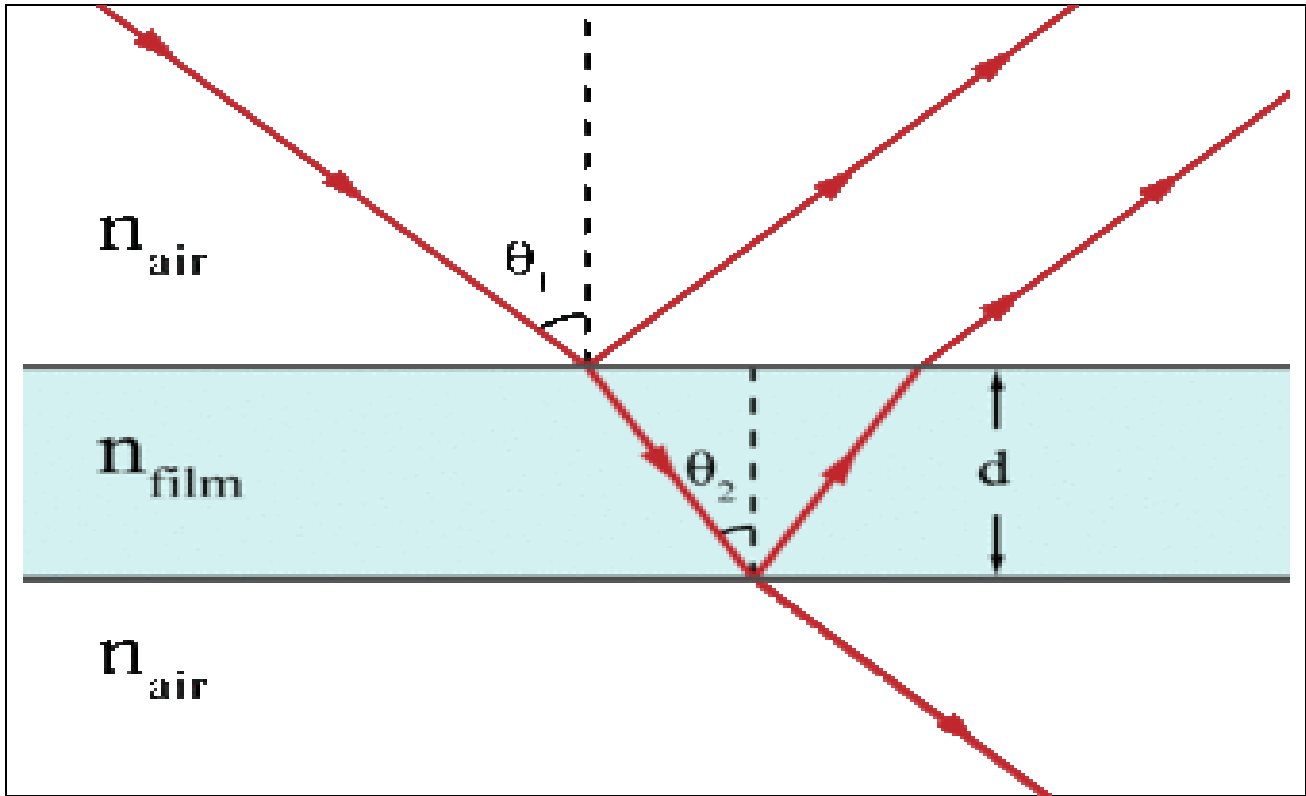
7. التداخل في فقاعة الصابون (Interference in Soap Bubble)

في حالة فقاعة الصابون ، الضوء ينتقل من الهواء ويسقط على غشاء فقاعة الصابون ، وبما ان معامل انكسار غشاء الفقاعة (الوسط الثاني) اكبر من معامل انكسار الهواء (الوسط الاول) ($n_{\text{film}} > n_{\text{air}}$) ، فالانعكاس الذي يحدث في الطبقة العليا من الغشاء (الطبقة الفاصلة بين الهواء والغشاء) سوف يولد إزاحة طور مقدارها (π) كما في الشكل (6). ان القسم الأكبر من الضوء سوف ينفذ من الطبقة العليا (منكسرا) الى الطبقة السفلى من الغشاء (الطبقة الفاصلة بين الغشاء والهواء) ، الذي بدوره يعكس الضوء بدون إزاحة طور لكون هذا الانعكاس داخلي ، أي ان معامل انكسار الوسط الأول اكبر من معامل انكسار الوسط الثاني ($n_{\text{film}} > n_{\text{air}}$). فيحدث التداخل بين الشعاعين

المنعكسين من الطبقتين العليا والسفلى بنمط تداخل يعتمد على سمك الغشاء ومعامل انكساره وزاوية سقوط الشعاع والطول الموجي للضوء المستخدم . ان شرط حدوث التداخل في فقاعة الصابون هو :

$$\left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda = 2n_{film}d\cos\theta_2 \quad (\text{constructive interference}) \quad \dots (25)$$

$$m\lambda = 2n_{film}d\cos\theta_2 \quad (\text{destructive interference}) \quad \dots (26)$$



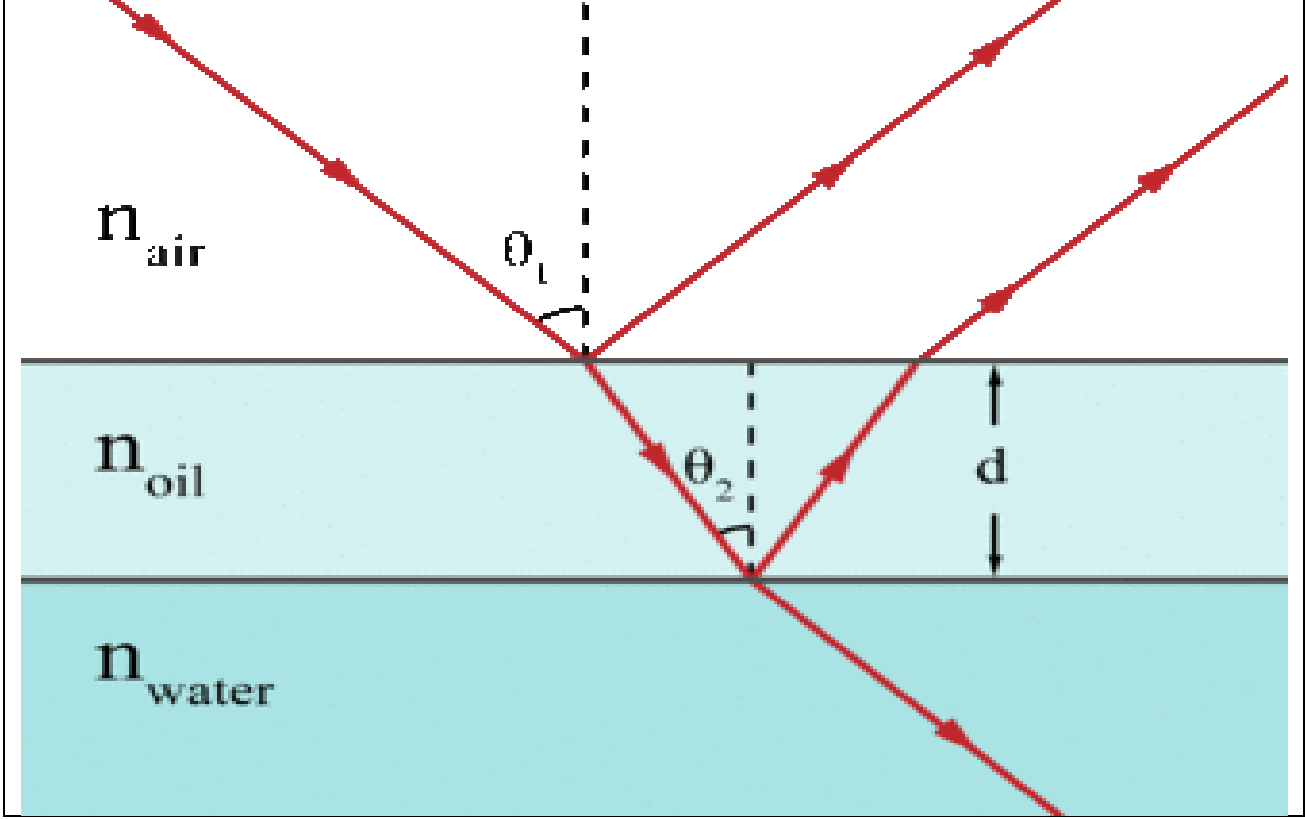
الشكل (6) التداخل في فقاعة الصابون

8. التداخل في طبقة الزيت (Interference in Oil Film)

في حالة طبقة الزيت ، الزيت يطفو على طبقة من الماء وتكون فوق طبقة من الهواء كما في الشكل (7) . الزيت يمتلك معامل انكسار قريب من ($n_{oil} = 1.5$) ، ومعامل انكسار الماء ($n_{water} = 1.33$) . كما هو الحال في فقاعة الصابون فالزيت هنا محاط بطبقتين (الهواء والماء) اقل معامل انكسار منه ($n_{oil} > n_{water} > n_{air}$) . فيحدث انعكاس في الطبقة العليا من الزيت بإزاحة طور مقدارها (π) لكون ($n_{oil} > n_{air}$) ، بينما يحدث انعكاس ثاني في الطبقة السفلى من الزيت بدون إزاحة طور لكون ($n_{oil} > n_{water}$) . فيحدث تداخل بين الشعاعين المنعكسين بنفس شرط تداخل فقاعة الصابون :

$$\left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda = 2n_{oil}d\cos\theta_2 \quad (\text{constructive interference})$$

$$m\lambda = 2n_{oil}d\cos\theta_2 \quad (\text{destructive interference})$$



الشكل (7) : التداخل في طبقة الزيت

9. الغشاء غير العاكس (Anti Reflection Coating)

في الاغشية غير العاكسة ، عند سقوط الاشعة على الغشاء يلغى الجزء المنعكس من هذا السطح فيبقى الشعاع النافذ داخل الغشاء فقط . الغشاء غير العاكس يصمم بحيث يحدث تداخل هدام بين الموجات المنعكسة ، وتداخل بناء بين الموجات المنكسرة (النافذة) للطول الموجي المستخدم . ان الغشاء غير العاكس يجب ان يكون معامل انكساره اكبر من الهواء واصغر من المادة اسفل الغشاء (مثل الزجاج) ($n_{air} < n_{coating} < n_{glass}$) كما في الشكل (8) . كذلك يجب ان يكون سمكه البصري (السمك مضروب في معامل الانكسار) مساوي لربع الطول الموجي للضوء الساقط ليتحقق شرط الغشاء غير العاكس وكما يلي :

$$nd = \frac{\lambda}{4} \quad \dots \dots (27)$$

حيث (d) يمثل سمك الغشاء غير العاكس ، بينما معامل انكسار الغشاء يجب ان يحقق الشرط

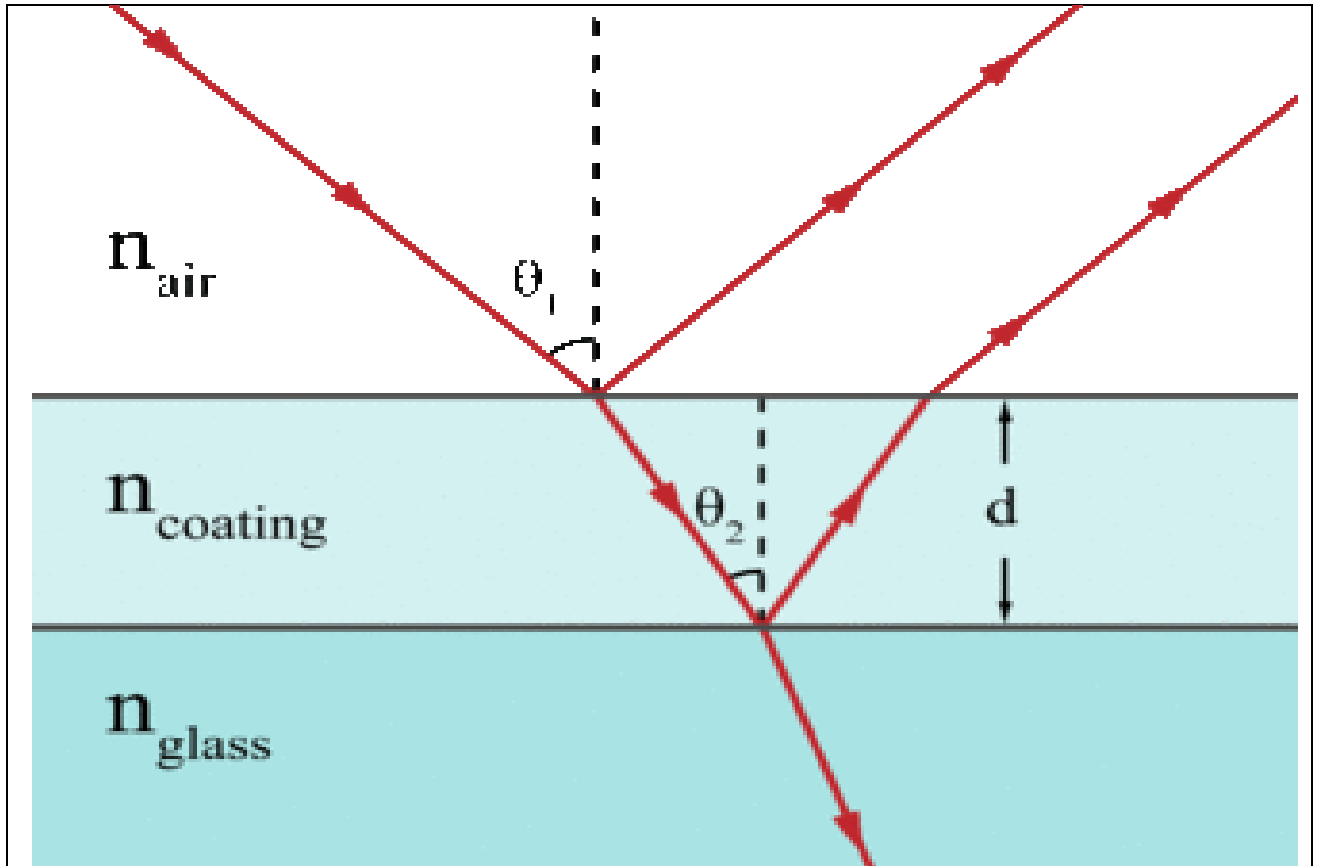
$$n_{coating} = \sqrt{n_{air}n_{glass}} \quad \dots \dots (28)$$

عند سقوط الضوء على الغشاء غير العاكس سيكون هناك انعكاسين كلاهما بازاحة طور مقدارها (π) . بسبب ان الانعكاس من السطح العلوي للغشاء يحقق شرط ازاحة الطور $(n_{air} < n_{coating})$ ، كذلك الانعكاس من السطح السفلي للغشاء يحقق شرط ازاحة الطور $(n_{coating} < n_{glass})$. فتكون معادلتى التداخل الخاصة بالاغشية غير العاكسة هي:

$$\left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda = 2n_{coating}d\cos\theta_2 \quad (destructive \ interference)$$

$$m\lambda = 2n_{coating}d\cos\theta_2 \quad (constructive \ interference)$$

ان شرط عدم حدوث انعكاس في الاغشية غير العاكسة



الشكل (8) : الغشاء غير العاكس

10. تمارين الفصل السابع (Problems)

(1) في تجربة يونك . استخدم ضوء احادي الطول الموجي ($\lambda=4800 \text{ \AA}$) . اذا كانت المسافة بين الشقين هي (0.4 mm) ، والمسافة بين الشقين والشاشة (50 cm) . جد (a) : فرق الطور بين الموجات المتداخلة في نقطة على الشاشة تبعد بمسافة (0.1 mm) عن الهدب المركزي ، (b) : النسبة بين شدة الضوء في هذه النقطة وبين الشدة الواقعة في الهدب المركزي .

$$a) \lambda = 4800 \text{ \AA} = 4800 \times 10^{-7} \text{ mm}$$

$$d = 0.4 \text{ mm} , \quad L = 50 \text{ cm} = 500 \text{ mm} , \quad y = 0.1 \text{ mm}$$

$$\Delta = \frac{yd}{L} = \frac{0.1 * 0.4}{500} = 8 \times 10^{-5} \text{ mm}$$

$$\text{phase difference } \delta = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta = \frac{2\pi}{4800 \times 10^{-7}} * 8 \times 10^{-5} = \frac{\pi}{3}$$

$$b) \text{ Intensity in central fringe: } I_o \sim A^2 = 4a^2 \cos^2 \frac{\delta}{2}$$

$$(\delta = 0) \rightarrow I_o = 4a^2$$

$$\text{Intensity at the point: } I \sim A^2 = 4a^2 \cos^2 \frac{\delta}{2}$$

$$\left(\delta = \frac{\pi}{3}\right) \rightarrow I_o = 4a^2 \cos^2 \frac{\pi}{6} = 4a^2 \left(\frac{3}{4}\right)$$

$$\frac{I}{I_o} = \frac{4a^2 \left(\frac{3}{4}\right)}{4a^2} = \frac{3}{4}$$

(2) في تجربة يونك . اذا كانت المسافة بين الشقين (0.2 mm) والمسافة بين الشقين والشاشة (1 m) . جد الطول الموجي للضوء المستخدم اذا كان الهدب المضيء الثالث يبعد بمسافة (7.5 mm) بعيدا عن الهدب المركزي .

$$d = 0.2 \text{ mm} , \quad L = 1 \text{ m} = 1000 \text{ mm} , \quad y = 7.5 \text{ mm} , \quad m = 3$$

$$\lambda = \frac{dx}{Dm} = \frac{0.2 * 7.5}{1000 * 3} = 5 \times 10^{-4} \text{ mm} = 500 \text{ nm}$$

(3) غشاء رقيق معامل في الهواء معامل انكساره (1.33) وسمكه ($2200 \text{ \AA}$). سقط عليه ضوء ابيض بصورة عمودية . فما هو اللون الذي سيظهر في الضوء المنعكس عن الغشاء ؟

$$m = 1, \quad n_2 = 1.33, \quad d = 2200 \text{ \AA} = 2200 * 10^{-10} \text{ m}, \quad \theta_2 = 0$$

$$m\lambda = 2n_2 d \cos \theta_2$$

$$\lambda = 2 * 1.33 * 2200 * 10^{-10} \cos 0$$

$$\lambda = 5852 * 10^{-10} \text{ m} \quad (\text{green light})$$

(4) عدسة معامل انكسارها (1.69) موضوعة في الهواء . طليت بطبقة من سطح غير عاكس . فما مقدار معامل انكسار وسمك هذه الطبقة لكي لا يحدث اي انعكاس للضوء عن سطح العدسة للطول الموجي ($5500 \text{ \AA}$) .

$$n_{\text{coating}} = \sqrt{n_{\text{air}} n_{\text{glass}}} = \sqrt{1 * 1.69} = 1.3$$

$$d = \frac{\lambda}{4n_{\text{coating}}} = \frac{5500 * 10^{-10}}{4 * 1.3} = 1057.7 * 10^{-10} \text{ m}$$