الفصل التاسع

ميكروسكوبات التداخل الضوئى

Interference Microscopes

ميكوسكوبات التداخل الضوئى هى ميكروسكوبات معدله يمكن بواسطتها رؤية الجسم (المعتم أو الشفاف) وفى نفس الوقت تحتوى على مقياس تداخل ضوئى,(Tolansky 1973) . ويعنى هذا أن ميكروسكوب التداخل الضوئى يحتوى على الميكروسكوب الضوئى ومقياس التداخل فى جهاز واحد يعمل عمل كل منهما . ويسمح هذا التعديل بالحصول على معلومات مفيدة بالإضافة إلى مايتم الحصول عليه باستخدام الميكروسكوب الضوئى التقليدى . ويوجد عدد من مقاييس التداخل الضوئى Optical interferometers التى يمكن أن تلحق بالميكروسكوب الضوئى ويتوفر عدد من هذه الميكروسكوبات على المستوى التجارى .

٩/١- أساسيات ميكروسكوب التداخل الضوئى

Fundamentals of interference microscopy

تنقسم الأجسام بالنسبة للميكروسكوب الضوئى إلى أجسام تحدث تغيرا فى سعة الموجة amplitude objects ، وأجسام تحدث تغيرا فى طور الموجة phase objects . وفى الحالة الأولى يختلف امتصاص الأجسام للضوء عن امتصاص الوسط المحيط بالجسم لهذا الضوء ، وبذلك يظهر تباين بين الجسم والوسط المحيط به تسجله عين الإنسان وأفلام التصوير لحساسيتهما للتغير فى الشدة الضوئية . والأجسام التى تغير من طور الموجةphase objects لها أهمية خاصة فى حالة ميكروسكوبات التداخل الضوئى ، ولاتعطى هذه الاجسام تغيرا فى شدة الضوء الممتص إنما تحدث اختلافا عن الوسط المحيط بها لاختلاف معاملات الانكسار أو السمك الضوئى (nt) ، حيث n هى معامل انكسار الجسم ، t هى سمكه بوحدة الأطوال . ويوضع الجسم الذى يغير من طور الموجة فى مقياس التداخل الضوئى فيغير من طول المسار الضوئى خلال هذا الجسم . ويبين الشكل رقم (١/٩) فكرة ميكروسكوب التداخل الضوئى الثنائى - Françon 1961 .

وينقسم الشعاع الضوئى SM إلى شعاعين MON, MBN عند النقطة M بأحد عناصر مقياس التداخل الضوئى . ويمر الشعاع MON خلال الجسم 0 (phase object) . ويمكن أن يكون هذا الجسم عبارة عن شعيرة . ولا يمر الشعاع MBN بالجسم O ويلتقى الشعاعان مرة أخرى عند النقطة N بواسطة العنصر الآخر من عناصر مقياس التداخل الضوئى وتمر الأشعة بالميكروسكوب وتنتج هدب التداخل الضوئى . وتحدد نتيجة التداخل الضوئى بين الشعاعين MBN, MON شدة الشعاع NS وتعتمد على معامل الانكسار وسمك الجسم O .

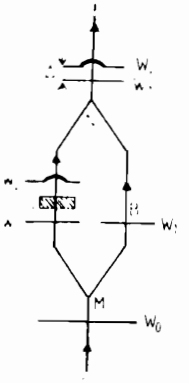
وفرق الطور δ بين الموجتين W_1, W_2 يساوى $\frac{2\pi}{\lambda}\Delta$ ، حيث Δ هى فرق المسار، ويحكم هذا باستخدام مقياس التداخل الضوئى . والعلاقة الآتية تعطى توزيع الشدة الضوئية فى الهدب الناتجة بدلالة فرق الطور δ :

$$I = I_o \cos^2 \delta / 2$$
$$= I_o \cos^2 \frac{\pi}{\lambda}\Delta$$

فعندما تكون Δ تساوى صفرا فإن δ تساوى صفرا ويكون $I = I_o$.

ويتضح أن الموجتين يكون لهما نفس الطور فى جميع المناطق ماعدا المناطق التى حدث لها تغير بواسطة الجسم phase object . وفى حالة هدب التداخل الضوئى الثنائى تتبع توزيع الشدة الضوئية قانون مربع جيب التمام Cos^2 law . وتكون عرض الهدبة المضيئة مساويا لعرض الهدبة المعتمة وتساوى نصف المسافة بين هدبتين مضيئتين متتاليتين . وعندما يتغير طور الموجة δ خلال الأجزاء التى حدث لها تغير بواسطة الجسم تتغير الشدة الضوئية الناتجة ، وتعطى معلومات عن قيمة ومدى تغير السمك الضوئى optical thickness للجسم مغير الطور phasor وإذا كانت قيمة Δ صغيرة تكون رتبة التداخل N صغيرة وتساوى صفرا أو ١ أو ٢ ، وتظهر هدب تداخل ضوئى ملونة عندما يضاء مقياس التداخل الضوئى بمصدر ضوئى أبيض .

نذكر هنا أنه قد تم فى الفصل السادس شرح أساسيات هدب التداخل الضوئى المتعدد وتطبيقها على الألياف



شكل رقم (١/٩) : أساس ميكروسكوب التداخل الضوئى الثنائى وتظهر جبهات الموجات الناتجة

وتنقسم أنواع ميكروسكوبات التداخل الضوئى إلى مجموعتين :

أ- المجموعة التى تستخدم الضوء المنعكس أى التى تتعامل مع أجسام معتمة غير منفذة للضوء مثل المعادن .

ب- المجموعة التى تستخدم الضوء النافذ خلال الأجسام ، أى التى تتعامل مع الأجسام الشفافة التى تسمح بنفاذ ضوء من خلالها مثل الألياف والمواد البيولوجية biological materials .

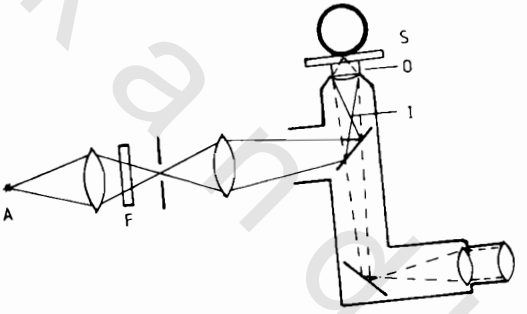
وتعطى المجموعة (أ) معلومات عن تضاريس سطح الأجسام ، بينما تعطى المجموعة (ب) معلومات عن تركيب العينات sample structure وعن قيمة $n_\lambda t$ عند أى نقطة على العينة . وإذا قيس سمك العينة (بالملليمتر مثلا) فإنه يمكن تعيين معامل الانكسار . ولميكروسكوب التداخل الضوئى قوة تكبير عالية high magnification يصاحبها قوة تحليل كبيرة high resolution فقط فى حالة البعد الرأسى أى العمق (Tolansky 1973) .

والشكلان الآتيان يعطيان وصفا لميكروسكوبين كمثالين للنظام البصرى المستخدم فى المجموعتين أ ، ب .

١- ميكروسكوب التداخل الضوئى بالأشعة المنعكسة

Interference microscopes using reflected light :

طور « تولانسكى ,Tolansky » (١٩٤٤) نظاما مبسطا فى حالتى التداخل الضوئى الثنائى والمتعدد - انظر : Tolansky, 1973 - ونلاحظ فى الشكل رقم (٢/٩) أن الضوء يخرج من المصدر A ليمر من خلال المرشح الضوئى F وتتكون صورة I فى المستوى البؤرى للعدسة الشيئية O . وتمثل S نظام التداخل الضوئى الذى يتكون من الجسم موضوعا على مسطح ضوئى . ويضاء هذا النظام بسقوط حزمة متوازية من الضوء أحادى اللون عموديا عليه . ويظهر سطح الجسم مغطى بهدب التداخل الضوئى ، ويمكن الحصول على خريطة هذه الهدب بارتفاعات تتغير بمقدار $\lambda/2$ (حيث λ هى طول موجة الضوء المستخدم) عندما ننتقل من هدبة إلى الهدبة التالية .



شكل رقم (٢/٩) : ميكروسكوب التداخل الضوئى الذى يستخدم أشعة منعكسة (من Tolansky 1973)

٢- ميكروسكوب التداخل الضوئى الذى يستخدم الأشعة النافذة

Interference microscopes using transmitted light

تفحص الأجسام الشفافة المنفذة للضوء مثل الألياف التركيبية والألياف البصرية بواسطة الأشعة النافذة . ويوجد عدد كبير من ميكروسكوبات التداخل الضوئى التى تستعمل الضوء النافذ ، وقد قسم « تولانسكى Tolansky » (١٩٧٣) هذه الأجهزة إلى :

أ- أجهزة تستخدم ميكروسكوبين .

ب- أجهزة تستخدم ميكروسكوب مطور modified microscope .

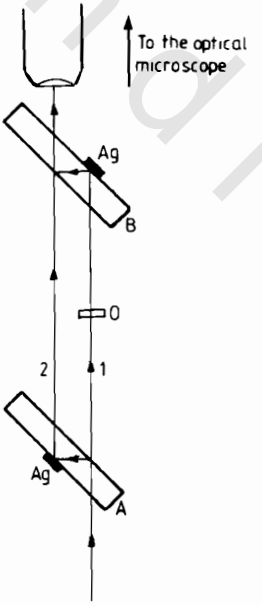
جـ- العدسة الشيئية المحتوية على مقياس تداخل ضوئى interference objectives .

د- مقاييس التداخل الضوئى التفاضلية differential interferometers .

وقد أعطى تولانسكى وصفا لبعض الأجهزة المماثلة لهذه الأنواع الأربعة من ميكروسكوبات التداخل الضوئى .

ووصف " Sirks " فى عام (١٨٩٣) واحدا من أوائل ميكروسكوبات التداخل الضوئى التى تستخدم الأشعة النافذة . ويتكون هذا الميكروسكوب من مقياس التداخل الضوئى لجامن Jamin interferometer الذى يوضع قبل الميكروسكوب الضوئى - انظر : Tolansky, 1973 - ويبين الشكل رقم (٣/٩) رسما توضيحيا لهذا الجهاز حيث B, A عبارة عن لوحين متماثلين من الزجاج يحتوى كل منهما على منطقة صغيرة مفضضة .

وتنقسم الحزمة الضوئية المتوازية إلى شعاعين ١ ، ٢ كما فى الشكل رقم (٣/٩) ، ويمر أحدهما خلال الجسم O بينما يمر الشعاع الآخر بالقرب من هذا الجسم . وينتج عن ذلك وجود فرق فى المسار الضوئى . وبالمرور خلال B يتداخل الشعاعان وينتج هدب تداخل ضوئى يمكن رؤيتها بالميكروسكوب ، وتعطى هذه الهدب معلومات عن الجسم O .



شكل رقم (٣/٩) : ميكروسكوب التداخل الضوئى لجامان (تولانسكى ١٩٧٣)

والحصول على معلومات أكثر عن أساسيات ميكروسكوبات التداخل الضوئى وتطبيقاتها فى بحوث الألياف نقترح الرجوع إلى المراجع الآتية :

Tolansky (1948, 1973), Françon (1961), Heyn (1954, 1957), Barer (1955), Stoves (1957), Pluta (1971, 1972, 1982), Fatou (1978), Steel (1986) and Hamza (1986).

ونذكر فى القسم التالى وصفا لبعض ميكروسكوبات التداخل الضوئى الثنائى ، وكذلك بعض الأنظمة البصرية التى تستخدم في مجال دراسة الألياف بالتداخل الضوئى fibre interferometry .

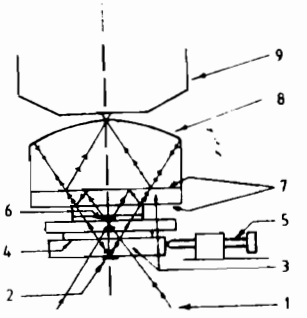
٢/٩- بعض أنواع ميكروسكوبات التداخل الضوئى :

Some types interference microscope

١/٢/٩- ميكروسكوب التداخل الضوئى لدايسون

The Dyson interference Microscope :

فى هذا الميكروسكوب – Dyson 1950, 1953 – يسقط الضوء بواسطة عدسة مجمعة حيث يتم اعتراضه بشريحة ذات سطحين متوازيين ، سطحها العلوى مغطى بطبقة رقيقة من الفضة ينفذ من خلالها الضوء ليسقط جزء منه على الجسم وينعكس جزء آخر مرتين لوجود منطقة مغطاة بالفضة (2) ، وبذلك يمر شعاعان بالمستوى الموجود به الجسم ، أحدهما من خلاله والآخر لايمر بالجسم ويعتبر كمرجع . ويبين الشكل رقم (٤/٩) النظام البصرى لميكروسكوب التداخل الضوئى لدايسون – Dyson, 1950 .



شكل رقم (٤/٩) : النظام البصرى لميكروسكوب التداخل الضوئى لدايسون (من Dyson 1950)

1- مخروط حزمة الأشعة الضوئية الساقطة على الجسم (6) بواسطة العدسة المجمعة

2- منطقة مغطاة بطبقة من الفضة تعكس الضوء 3- شريحة من الزجاج سطحاها متوازيان

4- سطح نصف مفضض 5- مسمار محوى يقوم بتحريك الشريحة (3) 6 - الجسم تحت الفحص

7- سطح نصف مفضض 8- سطح مغطى بطبقة سميكة من الفضة 9- شيئية الميكروسكوب

٩/٢/٢- ميكروسكوب التداخل الضوئى لبيكر :

Baker interference microscope

تم تطوير هذا الميكروسكوب عام (١٩٥٠) وهو ميكروسكوب تداخل ضوئى يقوم على الانكسار المزدوج . وقد ناقش " Heyn " (١٩٥٧) استخدامه فى دراسة الألياف النسجية . وفيه ينفصل الشعاع الضوئى إلى شعاعين : الشعاع المعتاد ordinary ray ، والشعاع الشاذ extra ordinary . وذلك باستخدام مجزئ حزمة الأشعة beam splitter ، مكون من بلورة تحدث انكسارا مزدوجا ، ويكون الشعاعان مستقطبين فى مستويين متعامدين . ويمر هذان الشعاعان فى الأجزاء المختلفة من الجسم . ويمكن قياس معامل انكسار الألياف بسهولة باستخدام هذا الميكروسكوب .

٩/٢/٣- ميكروسكوب التداخل الضوئى « انترفاكو »

The " Interphako " interference microscope

يعتبر هذا الجهاز مناسبا لقياس الفروق الصغيرة فى المسار الضوئى فى العينات الميكروسكوبية ، ويمكن استخدام عدة طرق تقوم على التداخل الضوئى لدراسة وقياس

الخواص الضوئية للعينات بهذا الجهاز . ففى حالة استخدامه بطريقة الأشعة النافذة (*) يتكون الانترفاكو من :

أ- ميكروسكوب ضوئى عادى يستخدم الأشعة النافذة خلال الجسم المراد فحصه .

ب- نظام داخلى وسيط لتكوين الصورة .

جـ- مقياس ماخ وزندر للتداخل الضوئى .

ويبين الشكل رقم (٩/٥) مسار الأشعة فى ميكروسكوب الانترفاكو Beyer and- Schöppe, 1965 - حيث تضاء الفتحة Sp بالمصدر الضوئى S . وبمساعدة العدسة المجمعة (1) والعدسة الشيئية (2) تتكون صورة للفتحة Sp فى المستوى البؤرى للعدسة الشيئية عند $S_{p'}$. ويكون النظام الداخلى لتكوين الصورة (3,4,5) صورة مرحلية intermediate للجسم O عند O', O" كما يكون صورة لفتحة الخروج للميكروسكوب exit pupil عند $S_{p"}$ فى مقياس التداخل الضوئى . ويستخدم المنشور (4) لوضع صورة لفتحة (exit pupil) $S_{p"}$ فى مكانها الصحيح . ويستخدم المنشور (12) فى عملية التصوير . أما العدسة (13) وهى من نوع معين Bertrand lens فتستخدم فى رؤية الفتحة .

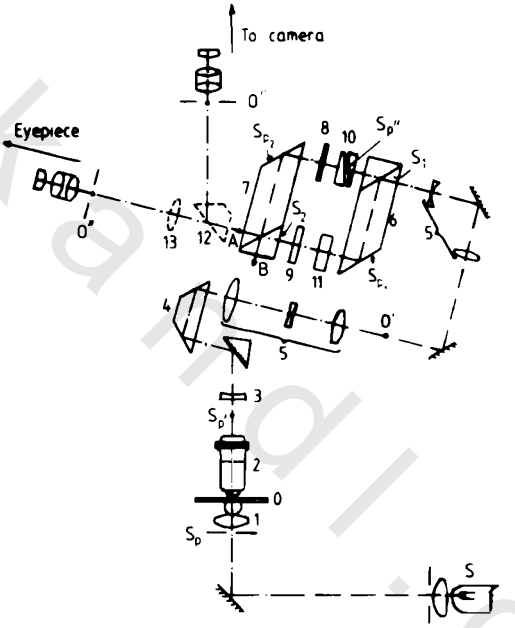
ويتكون مقياس التداخل الضوئى فى هذا الجهاز من منشورين (7 & 6) ، ومغير لطور الأشعة(8) Phase shifter ، وإسفين ضوئى دوار (10) rotary wedge بالإضافة إلى عنصرين (٩) ، (١١) يتم عن طريقهما تعادل الأشعة compensating elements .

ويخرج الشعاعان المتكونان عند سطح مجزئ الشعاع S_1 من فتحتى الخروج exits ، والنقطتان B,A من المنشور (7) يقابلان بعضهما تماما من ناحية الارتفاع والاتجاه . ويحدث مغير الطور (8) phase shifter فرقا فى المسار بين $S_1\ S_{p1}\ S_2$, $S_1\ S_{p2}$ بالمقدار $15\lambda \pm$ (حيث λ هى طول موجة الضوء وتساوى ٥٠٠ نانومتر) وذلك كحد أعلى . ويمكن قياس فرق المسار حتى ثلاثين رتبة . ويتكون الإسفين الضوئى

(*) See Description and Instruction Manual, Carl Zeiss Jena, Brochure No 30-G305-2.

الدوار (10) rotary wedge من إسفينين من الزجاج المتماثلين فى الشكل والتصميم ويدوران حول المحور البصرى فى اتجاهين متضادين ويمكن استخدام الانترفاكو فى قياس الأجسام المناسبة بدقة تصل الى $\lambda/200$ بدون استخدام شريحة نصف مظللة half-shade plate ، وتصل هذه الدقة إلى $\lambda/500$ باستخدام هذه الشريحة .

واستخدم "Hamza, 1986 and Hamza et al 1986" جهاز الانترفاكو لقياس معاملات الانكسار المتوسطة والانكسار المزدوج لألياف البولى استر والياف المركب المزدوج المتكون من غلاف sheath من النايلون ٦ ولب core من النايلون ٦٦ . وتم استخدام كل من الضوء الأبيض والضوء أحادى طول الموجة .



شكل رقم (٩/٥) : مسار الأشعة فى ميكروسكوب التداخل الانترفاكو (من Description and Instructions Manual Carl Ziess Jena, Brochure No 30-G305-2) S مصدر ضوئى S_p فتحة ، o الجسم ، (1) عدسة مجمعة (2) شيئية (3) ,(4) ,(5) نظام تكوين الصورة المرحلية (6) ,(7) ، منشوران ، (8) مغير طور الأشعة (9) ,(11) عنصران يتم عن طريقهما تعادل الأشعة (10) الإسفين الدوار (12) منشور (13) عدسة برتراند

٤/٢/٩- ميكروسكوب التداخل الضوئى لبلوتا

The Pluta polarising inerference microscope

طور « بلوتا Pluta » (١٩٦٥ ، ١٩٧١ ، ١٩٧٢) ميكروسكوب تداخل ضوئى مستخدما الانكسار المزدوج ، ويتميز بكمية واتجاه متغيرين من الـ wavefront shear ووصف استخدام هذا الميكروسكوب لدراسة الألياف التركيبية . وقدم بلوتا بعض التحسينات فى قياس معاملات الانكسار والانكسار المزدوج للألياف باستخدام التداخل الضوئى . ويوفر هذا الميكروسكوب مجالين :

أ- مجالا متجانسا للرؤية uniform field .

ب- مجالا يحتوى على هدب التداخل الضوئى fringe interference field مع ازدواج جانبى للصورة ، ويستخدم لكل من التحليل الكيفى باستخدام طريقة التباين التفاضلى لهدب التداخل differential interference contrast (DIC) والتحليل الكمى ، وذلك بقياس فرق المسار الضوئى للعينات المختلفة المنفذة للضوء .

ولميكروسكوب التداخل الضوئى التقليدى استخدامات محدودة فى مجال دراسة الألياف . بينما تتميز ميكروسكوبات التباين التفاضلى لهدب التداخل Nomarski (1955) DIC بميزات كثيرة فى هذا المجال . وسنشرح فيما يلى الفكرة التى بنى عليها ميكروسكوب بلوتا .

ويبين الشكل رقم (٦/٩) المسار الضوئى لميكروسكوب التداخل الضوئى بالانكسار المتغير variable double-refracting interference (VDRI) الذى طوره « بلوتا Pluta » (١٩٧١ ، ١٩٧٢) تمثل Z المصدر الضوئى Kol مجمع الضوء D_p, illuminator collector فتحة diaphragm . ومن أهم الصفات المميزة لهذا النظام البصرى احتواؤه على منشورين للانكسار المزدوج birefringent prisms W_1 & W_2 يعملان فى نفس الوقت ويفصل بينهما لوح نصف موجى half wave plate (H) ، وهذان المنشوران هما من نوع منشورات والاستون Wollaston prisms – انظر Nomarski, 1955 – والمصنوعة من بلورة الكوارتز .

ويتضح من الرسم أن المنشور W_1 موضوع خلف العدسة الشيئية ob وعند مسافة ثابتة منها i_1 ، ويمكن لهذا المنشور أن يدور حول محور هذه العدسة لإمكان تغير المسافة بين الصورتين ، ويوضع المنشور W_2 فى أنبوبة الميكروسكوب عند مسافة متغيرة i_2 ويمكن أن يزاح إلى وضعين ، موازٍ (أ) وعمودى (t) على محور العدسة الشيئية . ولكل من هذين المنشورين مستوى خارجى لهدب التداخل الضوئى الخاصة به ، وتضم هذه الهدب لتتطابق مع البؤرة الخلفية F' للعدسة الشيئية . وتوضع فتحة مستطيلة D فى المستوى البؤرى الأمامى للعدسة المجمعة للضوء C . ويوجد مستقطب polariser P قبل هذه الفتحة ومحلل analyser A خلف المنشور W_2 ، وتدور الفتحة D واللوح النصف موجى H والمستقطب P حول محور العدسة الشيئية .

ويبين الشكل رقم (٧/٩) الوضع الابتدائى للمكونات P, A, H & S بالنسبة لوضع المنشورين W_1, W_2 وتبين E_1, E_2 حافتى الإسفينين a_1, a_2 زوايا هذين الإسفينين العلويين المقابلة لهاتين الحافتين واللتان تخصان المنشورين W_1, W_2 وتمثل F F أحد الاتجاهات الرئيسية لنبذبات الضوء light vibrations للوح النصف موجى SS, H هو اتجاه الفتحة

وفى ميكروسكوب التداخل الضوئى المستخدم الانكسار المزدوج المتغير VDRI تترك الموجة – المستقطبة استوائيا بالمستقطب P – العدسة المجمعة للضوء C وتتشكل نتيجة مرورها بالجسم الشفاف O . وتحدث إزاحة فى الطور phase shift نتيجة لفرق المسار الضوئى الذى حدث لنفاذها من خلال هذا الجسم . وتمر جبهة هذه الموجة من العدسة الشيئية ob وتنقسم بالمنشورين W_1, W_2 إلى جبهتين مستقطبتين فى اتجاهين متعامدين . وعند مرورهما خلال المحلل analyser A تتداخل الموجتان مع بعضهما وتكونا صورتين للجسم O بجانب بعضهما laterally duplicated ، وتتغير الإزاحة العرضية بدوران المنشور W_1 ، وتمثل π, π' مستوى الجسم والصورة على الترتيب ، oc عدسة عينية . و W_3 عبارة عن منشور ولاستون بزاوية إسفين مقدارها a_3 ، ويمكن أن يحل محل المنشور W_2 .

وقد قدم "Pluta" (١٩٧٢) أشكالا للمتجهات vectorial diagrams ، وذلك لتوضيح جبهة الموجة المحصلة فى الحالات المختلفة لترتيب وضع المنشور W_1 بالنسبة لوضع المنشور W_2 ، وتصل دقة قياس فرق طول المسار الضوئى بطريقة مجال الهدب fringe field – باستخدام منشور ولاستون – إلي 0.05λ ، حيث λ هى طول موجة الضوء المستخدم ، وبذلك يكون الخطأ فى تعيين معاملات الانكسار والانكسار المزدوج بهذه الطريقة أقل من ٠,٠٠٣ – ٠,٠٠١ ودقة قياس قطر الشعيرة هى حوالى ١ ميكرومتر – Pluta, 1972 .

ويمكن استخدام الضوء أحادى طول الموجة (λ = ٥٤٦ نانومتر) أو الضوء الأبيض ، ويستخدم الأخير لتحديد مكان الهدبة الصفرية(Faust and Marrinan, 1955) achromatic fringe . ويمكن استخدام طريقة التداخل التفاضلى differential interfer-ence وطريقة مجال الهدب fringe field method مع ميكروسكوب بلوتا ، وتعتبر الطريقتان مناسبتين لتعيين الانكسار المزدوج للألياف والشرائح الرقيقة ، وخصوصا العينات ذات التركيب غير المتجانس ويقدم ميكروسكوب التداخل الضوئى لبلوتا طريقة سهلة وسريعة لقياس معاملات الانكسار المزدوج للألياف غير المتجانسة التركيب والتى لها مقاطع عرضية منتظمة وغير منتظمة . ولهذا الجهاز فائدة كبيرة عند دراسة الألياف التى لها معاملات انكسار عالية جدا أو عند استخدام سائل غمر معامل انكساره يختلف عن معامل انكسار الشعيرة بمقدار كبير - Hamza and Sikorski, 1978 .

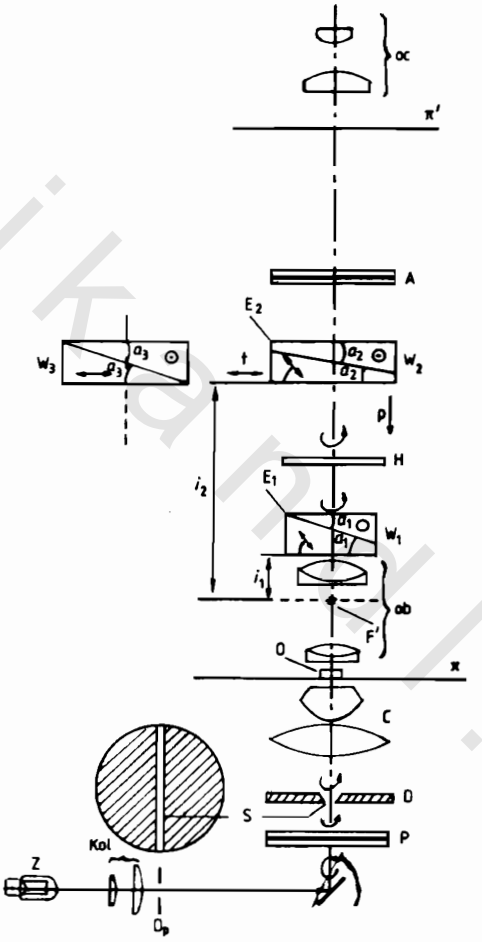
هذا وقد ناقش "Pluta" (١٩٧٢) مميزات هذا الجهاز من حيث استخدامه فى مجال بحوث الألياف . وأجرى حمزة ومجموعته دراسة مكثفة على الألياف الطبيعية والتركيبية باستخدام هذا الميكروسكوب – انظر : Hamza, 1986 والبحوث المذكورة فى هذا البحث .

٥/٢/٩- ازدواج الصورة فى ميكروسكوب التداخل الضوئى

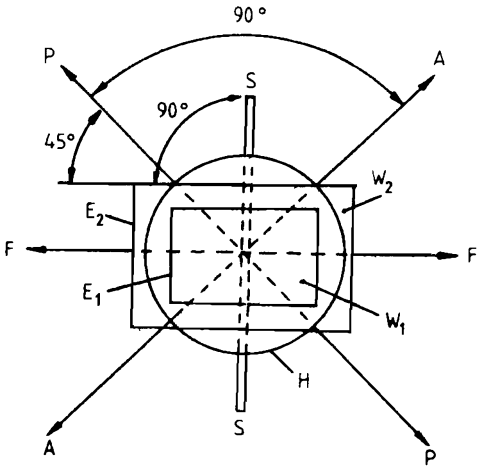
The shearing effect in interference microscopy :

تعتمد طريقة ازدواج الصورة على الانقسام الجانبى للصور ، وعندما يكون الانقسام أكبر من الجسم ينتج انقسام كلى للصورة total image splitting . وعندما يكون للانقسام الجانبى للصورة قيمة فى حدود قريبة من أقل قيمة تحدث انقسام ومن ثم انفصال ، يسمى بالانقسام التفاضلى differential splitting

وعند استخدام ميكروسكوب التداخل الضوئى « انترفاكو » يمكن الحصول على الانقسام الكلى والانقسام التفاضلى وذلك باستخدام إسفين ضوئى دوار rotary wedge . يتكون هذا الإسفين الدوار من إسفينين من الزجاج لهما نفس التصميم design يمكن دورانهما حول المحور البصري فى اتجاهين متضادين بالنسبة لبعضهما .



شكل رقم (٦/٩) النظام البصرى لميكروسكوب التداخل المستخدم الانكسار المزدوج لبلوتا وفيه يوفر إمكانية التغيير المستمر لكمية واتجاه جبهة الموجة wavefront shear (من Pluta 1972)



شكل رقم (٧/٩) : الاتجاهات الابتدائية للعناصر الرئيسية التى يقوم عليها الميكروسكوب الموضح فى شكل (٦/٩) (من Pluta 1972)

وعند استخدام ميكروسكوب التداخل الضوئى لبلوتا يمكن الحصول على ازدواج فى الصورة ، وذلك باستعمال عدسات شيئية لها قوة انقسام عالية (من نوع Polarising inter-ference objectives) . ويكون منشور ولاستون W_2 الموجود فى رأس الميكروسكوب والمنشور W_1 الموجود في شيئية الميكروسكوب مع المستقطب والمحلل المتعامدين أو المتوازيين و لفتحة slit تكون فى مجموعها نوعا من مقياس التداخل الضوئى ثنائى الاستقطاب -- Polskie Zaktady optyczne (PZO) 1976- double polarising inter-ferometer – ويمكن أن يدور منشور ولاستون الموجود فى الشيئية حول محور رأسى لضبط مقدار انفصال الصور . ويعطى الحد الأقصى لهذا الانقسام (r) عندما تكون زاوية الدوران للمنشورين لها نفس الاتجاه same orientation وفى هذه الحالة تكون :

$$r = r_1 + r_2$$

حيث r_1 , r_2 هما مقدارا الانقسام الذى يمكن الحصول عليه بواسطة المنشور الأول والثانى على الترتيب .

وإذا عكس المنشور الثانى بحيث تكون زاوية دورانه عكس اتجاه المنشور الأول فإن :

$$r = r_1 - r_2$$

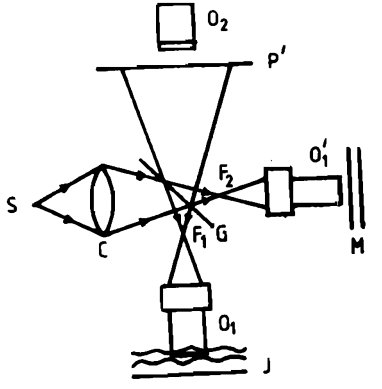
وينتج عن دوران المنشور الثانى الموجود فى شيئية الميكروسكوب حول محور رأسى قيمة انقسام الصورة image shearing value تتراوح بين $(r_1 + r_2)$ الى $(r_1 - r_2)$.

٦/٢/٩- ميكروسكوب التداخل الضوئى زايس لنيك

The Ziess-Linnik interference microscope

يقدم هذا الجهاز تطبيقا هاما لمقياس ميكلسون للتداخل الضوئى وذلك لدراسة تضاريس الأسطح ، وهو يعتبر جهاز حديث نسبيا وقد صممه وبناه "Linnik" (١٩٣٣) . ويبين الشكل رقم (٨/٩) تركيب هذا الجهاز حيث S مصدر الضوء ، C عدسة مجمعة ، G مجزئ لحزمة الأشعة ، ويميل بزاوية مقدارها ٤٥° على المحور الأفقى . وينعكس جزء من الضوء فى اتجاه العدسة الشيئية O_1 لتسقط على السطح المراد فحصه ، وتنعكس الأشعة من هذا السطح حاملة المعلومات عنه فى اتجاه العدسة العينية O_2 خلال مجزئ حزمة الأشعة G ، وينفذ الضوء خلال G إلى الشيئية O_1' المماثلة للعدسة O_1 ، ثم تنعكس هذه الأشعة على المرآة المستوية M لكى تصل إلى O_1 ، ثم تنعكس إلى G لكى تصل إلى العدسة العينية O_2 .

وتتكون الصورتان F_1, F_2 للمصدر S عند بؤرة كل من الشيئيتين O_1, O_1' وتتداخل الموجتان ، الأولى هى الموجه المعدلة التى تحمل معلومات عن سطح الجسم J والثانية هى الموجة المستوية المرجع reference plane wave ويتم ذلك عند P' التى يمكن ملاحظتها بالعينية O_2 . وتتكون خريطة لهدب التداخل الضوئى الثنائى . ويتم دراسة تضاريس سطح الجسم من شكل الهدب وقيم إزاحتها .



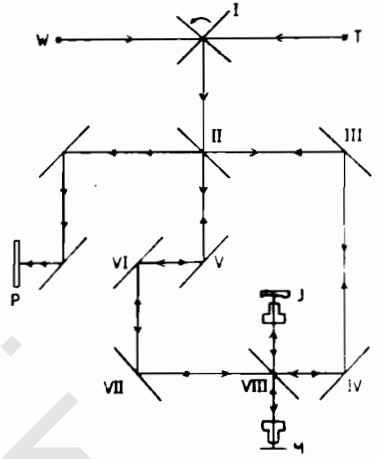
شكل رقم (٨/٩) : ميكروسكوب التداخل لنيك

ويبين الشكل رقم (٩/٩) مسار الضوء فى ميكروسكوب التداخل الضوئى «زايس- لنيك» . ويتم التداخل بين شعاعين منعكسين ، أحدهما من المرآة المرجع المستوية والشعاع الآخر منعكس من الجسم تحت الفحص . وتكون المرآة المرجع على هيئة غطاء cap لعدسة شيئية وعلى مسافة محددة منها . ويوجد ثلاث أغطية لهما انعكاسية ٣٠ ، ٦٠ ، ٩٠٪ لكل من عدسات الشيئية الثلاث المتوفرة فى الجهاز ، وقوة تكبيرها هى على الترتيب ١٠ ، ٢٥ ، ٦٠ مرة ، ويختار الغطاء cap بحيث يكون انعكاسيته أقرب ماتكون إلى انعكاسية العينة المراد فحصها . وكلما زاد مقدار التكبير كلما قرب الغطاء من العدسة ، وهذه هى ايضا ظروف ضبط المسافة بين السطح المراد فحصه والعدسة الشيئية المجودة فى مسار الأشعة لإضاءة العينة ولتجميع الضوء المنعكس من سطحها والذى يحمل المعلومات عن تضاريس هذا السطح .

ويمكن قياس تضاريس سطح الأجسام فى المدى من $\lambda/2$ إلى $20\ \lambda$ وذلك فى الاتجاه العمودى على هذا السطح . ويستعمل مصدر ضوئى أحادى الطول الموجى هو مصباح الثاليوم (λ = ٥٣٥ نانومتر) ، ويستبدل بهذا المصدر مصدر ضوئى أبيض للحصول على هدب بيضاء ذات رتبة تداخل منخفضة low-order white light fringes وذلك بدوران العاكس I الموضح فى الشكل رقم (٩/٩) . وتتم القياسات الدقيقة باستخدام الضوء أحادى طول الموجة ، ثم يحل الضوء الابيض محل مصباح الثاليوم ونحصل على هدب بيضاء ذات رتبة منخفضة ، وبعد ذلك يحل مصباح الثاليوم محل المصباح الأبيض ، وبهذه الطريقة تتكون هدب أحادية اللون ذات تباين contrast عال وواضحة على امتداد مجال الرؤية . وتستخدم عينية تلسكوب لرؤية الهدب المتكونة أو تستخدم كاميرا لتسجيل خريطة التداخل الضوئى .

ويتميز نظام التداخل الضوئى فى ميكروسكوب زايس – لنيك بإمكانية تغيير كل من اتجاه وقوة تفرق linear dispersion الهدب بضبط شريحة توضع فى مسار أحد الشعاعين . ويلاحظ أن أحد الفروق الأساسية بين هدب التداخل الضوئى الثنائى المتكونة بهذا النوع من الميكروسكوب وهدب فيزو محددة الموقع localised Fizeau fringes هى أنه بينما يكبر الجهاز الأول السطح المراد فحصه أولا وبعد ذلك يتم تكوين هدب التداخل الضوئى عليه ،

فإنه فى حالة هدب فيزو تتكون الهدب محددة الموقع قريبة من مقياس التداخل الضوئى ، وبعد ذلك تسجل صورة مكبرة لها على اللوح الحساس .



شكل رقم (٩/٩) : رسم تخطيطى لمسار الضوء فى ميكروسكوب التداخل لزايس – لنيك T مصباح ثاليوم ، W مصدر ضوء أبيض ، J الجسم ، M مرآة مرجع ، I مرآة عاكسة ، P لوح فوتوغرافى II مرآة نصف مفضضة VII, VI,V, IV, III ، اسطح مفضضة عاكسة

٧/٢/٩- مقياس التداخل الضوئى (لماخ وزندر) :

The Mach-Zehender interferometer

فى مقياس جامن للتداخل الضوئى Jamin interferometer تعمل الأسطح الأمامية للشريحتين المتكونتين لهذا الجهاز كمجزءات لحزمة الأشعة الضوئية ، وتعمل الأسطح الخلفية كمرايا مستوية ، ولايمكن ضبط هذه العناصر كلا على حدة ، ويكون فصل الشعاعين محددا بسمك هاتين الشريحتين . ويكون البعد كبيرا بين الشعاعين فى مقياس ماخ وزندر – Zehnder 1891, Mach 1892 – حيث تكون مجزءات حزمة الأشعة والمرايا العاكسة عناصر منفصلة عن بعضها .

ويبين الشكل رقم (١٠/٩) مسار الأشعة فى مقياس ماخ وزندر . S مصدر ضوئى أحادى طول الموجة عند المستوى البؤرى للعدسة L_1 وتنقسم حزمة متوازية من الأشعة – عند السطح النصف عاكس semi-reflecting surface (A_1) للشريحة الزجاجية D_1 ذات الأسطح المتوازية – إلى حزمتين تتحدان بعد انعكاسهما من المرآتين المستويتين

M_1 , M_2 وذلك عند السطح النصف عاكس (A_2) للشريحة الزجاجية D_2 ذات الأسطح المتوازية وتخرج الأشعة لتتجمع بواسطة العدسة L_2 . افرض أن W_1 هى جبهة موجة مستوية plane wavefront فى الشعاع الذي يمر بين المرآه M_1 ، والشريحة الزجاجية W_2, D_2 هى جبهة الموجة المستوية المقابلة لها فى الشعاع الذى يمر بين المرآة M_2 ، والشريحة الزجاجية W_1', D_2 هى جبهة الموجة المستوية التقديريةwavefront virtual plane الموجودة بين المرآة M_2 والشريحة D_2 والتى تخرج من الشريحة الأخيرة منطبقة على W_1 . وعند نقطة مثل P على جبهة الموجة W_2 فإن فرق الطور التقديرى virtual phase difference بين الأشعة الخارجية – Born and Wolf, 1980 – يكون :

$$\delta = 2 \pi n h/\lambda$$

حيث :

$$h = PN$$

وهى المسافة الرأسية من P إلى W'_1 ,n هى معامل انكسار الوسط الموجود بين W_1', W_2 وتظهر عند النقطة p' المرافقة للنقطة p هدب مضيئة فى حالة :

$$m\lambda = n\lambda , \qquad | m | = 0, 1, 2, ...$$

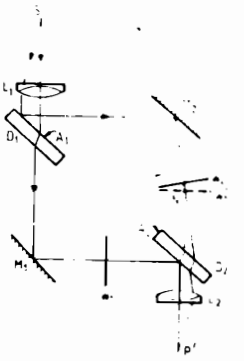
وتظهر عمليا ثلاث حالات للأجسام التى تغير من طور الموجة phase objects :

أ– الأجسام ذات البعدين Two-dimensional phase objects والتى لايتغير فيها معامل الانكسار فى اتجاه انتشار الأشعة .

ب– الأجسام المتماثلة قطريا Radially symmetric phase objects .

جـ– الأجسام غير المماثلة Asymmetric phase objects .

وفى الحالة الأولى يكون طول الجسم الذى يغير من طور الموجة هو L فى اتجاه انتشار الأشعة ، وبذلك يكون معامل الانكسار دالة فى y, z فقط .



شكل رقم (٩/١٠) : مسار الضوء فى مقياس التداخل (لماخ وزندر)

معادلة ازاحة الهدبة : Fringe shift equation

عند وضع جسم شفاف لتغيير طور الأشعة Phasor فى أحد مسارات الأشعة لمقياس ماخ ، وزندر (شكل رقم ٩/١١) فإن إزاحة الهدبة $\delta(y,z)$ تعطيها المعادلة :

$$\delta(y,z) = \frac{1}{\lambda}\int_{x_0}^{x_1} (n - n_0)\, dx \qquad n = n(x, y, z)$$

حيث n_o هى معامل الانكسار فى وسط الشعاع الذى لم يحدث له تغير undisturbed beam ، λ هى طول موجة الضوء .

ولإثبات هذه المعادلة نلاحظ أن المسار الضوئى للشعاع الذى حدث له تغير disturbed ray مقاسا بالأطوال الموجية يكون :

$$N_d = \int_{xo}^{x1} \frac{dx}{\lambda}$$

ويعطى الفرق $(N_d - N_o)$ المضاعفات العددية للمقدار (2π) حيث يختلف بها الشعاعان فى الطور عند إعادة اتحادهما ويساوى بالكاد هذا الرقم إزاحة الهدبة $\delta(y,z)$.

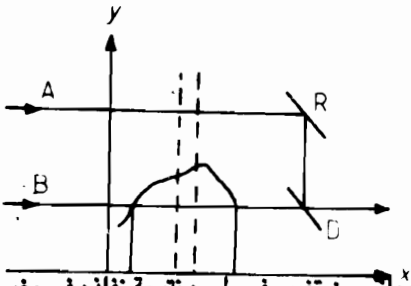
وإذا كان :

$$n = n(y,z)$$

ينتج أن :

$$n(y, z) - no = \frac{\delta\lambda}{x_1 - x_0} = \frac{\delta\lambda}{L}$$

وذلك فى حالة الجسم ذى البعدين الذى يغير من طور الموجة Two-dimentional phase object .



شكل رقم (١١/٩) :مسار الضوء الذى يعانى من تغيير فى طوره نتيجة نفاذه فى مغير الطور فى مقياس التداخل (لماخ وزندر) ، A شعاع عادى لم يعان من تغيير ، R عاكس B شعاع عانى من تغيير طوره ، D مجزء للأشعة

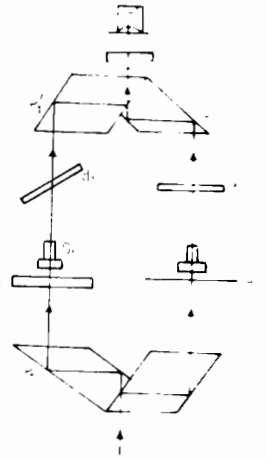
٨/٢/٩- مقياس التداخل الضوئى لليتز : Leitz interference microscope

يتكون هذا الميكروسكوب من ميكروسكوبين منفصلين لكنهما متماثلان ، يحتوى أحدهما (J) على الجسم المراد فحصه ويعطى الميكروسكوب الآخر موجة لم يحدث لها تغير undisturbed wave ، ويكون الميكروسكوب الأول صورة تتداخل مع الموجة المرجع المستوية المتكونة بالميكروسكوب الثانى .

ويبين الشكل رقم (١٢/٩) مسار الأشعة الضوئية فى ميكروسكوب ليتز للتداخل الضوئى .

P_2', P_2, P_1', P_1 منشورات تحل محل المرايا العاكسة ومجزءات الموجات الضوئية عند الأركان الأربعة لمقياس ماخ وزندر Mach-Zehender interferometer .

O_1', O_1 هما عدستان شيئيتان مصححتان لمالا نهاية وتكون العدسة L صورتين منطبقتين للمستويين R, J يمكن رؤيتهما بالعينية O_2 . وتسمح الشريحتان d_2, d_1 نواتى الأسطح المتوازية – بتغيير طول المسار الضوئى Δ .



شكل رقم (١٢/٩) : النظام البصرى ومسار الأشعة فى ميكروسكوب التداخل للبتز

References

Barer R 1955 *Phase Contrast, Interference Contrast and Polarizing Microscopy* Analytical Cytology Series (New York: McGraw-Hill)

Beyer H and Schöppe G 1965 Interferenzeinrichtung für durchlicht Mikroskopie *Jenaer Rundschau* **10** 99-105

Born M and Wolf E 1980 *Principles of Optics* 6th edn (London : Pergamon) p315

Dyson J 1950 Proc. R. Soc. A **204** 170

——— 1953 *Nature* **171** 743

Fatou J E 1978 Optical microscopy of fibres in *Applied Fibre Science* ed. F Happey vol. 1 (London : Academic) Ch. 3

Faust R C ad Marrinan H J 1955 *Br. J. Appl. Phys.* **6** 351

Françon M 1961 *Progress in Microscopy* (London : Pergamon) pp94-128

Hamza A A 1986 *J. Microsc.* **142** 35

Hamza A A, Fouda I M and El-Farahaty K A 1986 *Int. J. Polym. Mater.* **11** 169

Hamza A A and Sikorski J 1978 *J. Microsc.* **113** 15

Heyn A N J 1954 *Fibre Microscopy* (New York: Interscience)

——— 1957 *Textile Res. J* **27** 449

Linnik W 1933 *C.R. Acad. Sci. URSS* **1** 21
Mach L 1892 *Z. Instrkde.* **12** 89
Nomarski G 1955 *J. Phys. Radium, Paris* **16** 95
Pluta M 1965 *Przeglad Wlókienniczy* **19** 261
——— 1971 *Opt. Acta* **18** 661
——— 1972 *J. Microsc.* **96** 309
Pluta M 1982 Mikroskopia Optyczna (Warszawa : Panstwowe Wydawnictwo Naukowe) In Polish)
Polskie Zaklady Optyczne (PZO) Instruments 1976 Biolar Polarizing Interference Microscope, Description and Instruction Manual
Steel W H 1986 *Interferometry* (Cambridge : Cambridge University Press)
Stoves J L 1957 *Fibre Microscopy* (London : National Trade Press)
Tolansky S 1948 *Multiple-Beam Interfrometry* (Oxford: Clarendon)
——— 1973 An Introduction to Interferometry (London : Longman) pp 210-23
Zehnder L 1891 *Z. Instrkde* **11** 275

obeikandl.com