

الفصل التاسع

ميكروسكوبات التداخل الضوئي

Interference Microscopes

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

١/٩ - أساسيات ميكروسكوب التداخل الضوئي

Fundamentals of interference microscopy

تنقسم الأجسام بالنسبة للميكروسكوب الضوئي 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 الموجة phase objects لها أهمية خاصة فى حالة ميكروسكوبات التداخل الضوئي ، ولاتعطى هذه الاجسام تغيرا فى شدة الضوء الممتص إنما تحدث اختلافا عن الوسط المحيط بها لاختلاف معاملات الانكسار أو السمك الضوئي (nt) ، حيث n هي معامل انكسار الجسم ، t هي سمكه بوحدة الأطوال . ويوضع الجسم الذى يغير من طور الموجة فى مقياس التداخل الضوئي فيغير من طول المسار الضوئي خلال هذا الجسم . ويبين الشكل رقم (١/٩) فكرة ميكروسكوب التداخل الضوئي الثنائى - Françon 1961 .

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

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

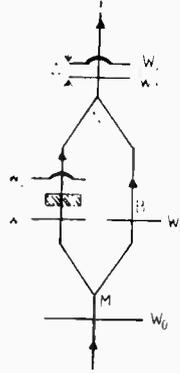
$$I = I_0 \cos^2 \delta / 2$$

$$= I_0 \cos^2 \frac{\pi}{\lambda} \Delta$$

ف عندما تكون Δ تساوى صفرا فإن δ تساوى صفرا ويكون $I = I_0$.

ويتضح أن الموجتين يكون لهما نفس الطور في جميع المناطق ماعدا المناطق التي حدث لها تغير بواسطة الجسم phase object . وفي حالة هدب التداخل الضوئي الثنائي 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 التي حدث لها تغير بواسطة الجسم تتغير الشدة الضوئية الناتجة ، وتعطى معلومات عن قيمة ومدى تغير السمك الضوئي 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 ضوئي ملونة عندما يضاء مقياس التداخل الضوئي بمصدر ضوئي أبيض .

نذكر هنا أنه قد تم في الفصل السادس شرح أساسيات هذب التداخل الضوئي المتعدد وتطبيقها على الألياف



شكل رقم (١/٨) : أساس ميكروسكوب التداخل الضوئي الثنائي وتظهر جبهات الموجات الناتجة

وتنقسم أنواع ميكروسكوبات التداخل الضوئي إلى مجموعتين :

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

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

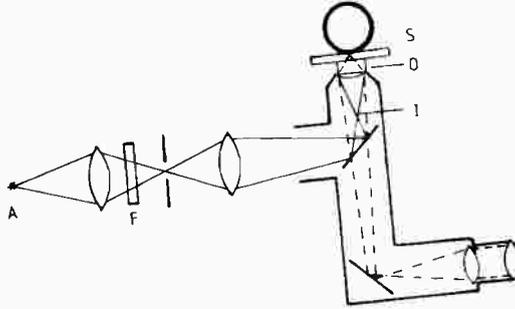
وتعطى المجموعة (أ) معلومات عن تضاريس سطح الأجسام ، بينما تعطى المجموعة (ب) معلومات عن تركيب العينات sample structure وعن قيمة $n_{\lambda} t$ عند أى نقطة على العينة . وإذا قيس سمك العينة (بالمليمتر مثلا) فإنه يمكن تعيين معامل الانكسار . وميكروسكوب التداخل الضوئي قوة تكبير عالية high magnification يصاحبها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

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

١- ميكروسكوب التداخل الضوئي 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 بهذب التداخل الضوئى، ويمكن الحصول على خريطة هذه الهذب بارتفاعات تتغير بمقدار $\lambda/2$ (حيث λ هى طول موجة الضوء المستخدم) عندما تنتقل من هذبة إلى الهذبة 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 .

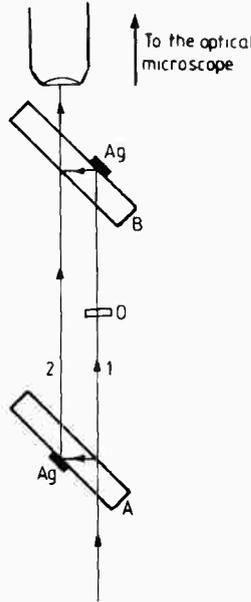
ج- العدسة الشيئية المحتوية على مقياس تداخل ضوئي interference objectives .

د- مقياس التداخل الضوئي التفاضلية differential interferometers .

وقد أعطى تولانسكى وصفا لبعض الأجهزة المثلة لهذه الأنواع الأربعة من ميكروسكوبات التداخل الضوئي .

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

وتتقسم 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 الضوئي . وبالمرور خلال B يتداخل الشعاعان وينتج هيب تداخل ضوئي يمكن رؤيتها بالميكروسكوب ، وتعطى هذه الهيب معلومات عن الجسم O .



شكل رقم (٣/٩) : ميكروسكوب التداخل الضوئي لجامن (تولانسكى ١٩٧٣)

والحصول على معلومات أكثر عن أساسيات ميكروسكوبات التداخل الضوئي وتطبيقاتها
في 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 في القسم التالي وصفا لبعض ميكروسكوبات التداخل الضوئي الثنائي ، وكذلك بعض الأنظمة البصرية التي تستخدم في مجال دراسة الألياف بالتداخل الضوئي fibre interferometry .

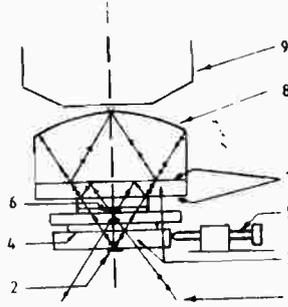
٢/٩- بعض أنواع ميكروسكوبات التداخل الضوئي :

Some types interference microscope

١/٢/٩- ميكروسكوب التداخل الضوئي لدايسون

The Dyson interference Microscope :

في هذا الميكروسكوب - Dyson 1950, 1953 - يسقط الضوء بواسطة عدسة مجمعة حيث يتم اعتراضه بشريحة ذات سطحين متوازيين ، سطحها العلوي مغلى 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 لا يمر بالجسم ويعتبر كمرجع . ويبين الشكل رقم (٤/٩) النظام البصري لميكروسكوب التداخل الضوئي لدايسون - Dyson, 1950 .



شكل رقم (٤/٩) : النظام البصري لميكروسكوب التداخل الضوئي لدايسون (من 1950 Dyson)

- 1- مخروط حزمة الأشعة الضوئية الساقطة على الجسم (6) بواسطة العدسة المجمع
- 2- منطقة مغطاة بطبقة من الفضة تعكس الضوء
- 3- شريحة من الزجاج سطحاها متوازيان
- 4- سطح نصف مفضل
- 5- مسمار محوى يقوم بتحريك الشريحة (3)
- 6- الجسم تحت الفحص
- 7- سطح نصف مفضل
- 8- سطح مغطى بطبقة سميكة من الفضة
- 9- شبيبة انيكروسكوب

٢/٢/٩- ميكروسكوب التداخل الضوئي لبىكر :

Baker interference microscope

تم تطوير هذا الميكروسكوب عام (١٩٥٠) وهو ميكروسكوب تداخل ضوئي يقوم على الانكسار المزدوج . وقد ناقش " Heyn " (١٩٥٧) استخدامه فى دراسة الألياف النسيجية . وفيه ينفصل الشعاع الضوئي 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 .

٢/٢/٩- ميكروسكوب التداخل الضوئي « انترفاكو »

The " Interphako " interference microscope

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

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

- أ- ميكروسكوب ضوئي عادي يستخدم الأشعة النافذة خلال الجسم المراد فحصه .
- ب- نظام داخلي بسيط لتكوين الصورة .
- ج- مقياس ماخ وزندر للتداخل الضوئي .

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

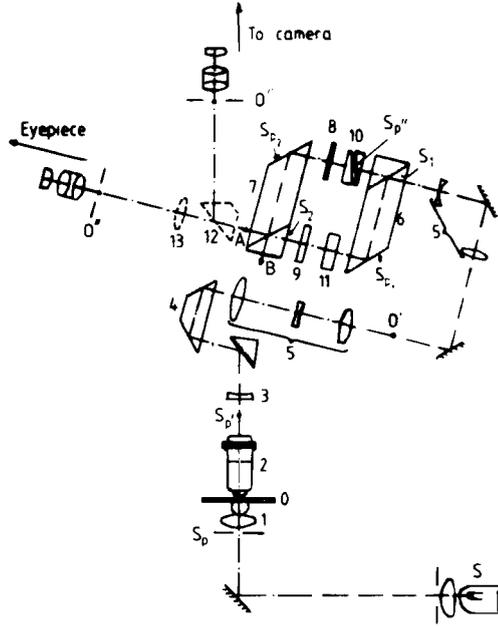
ويتكون مقياس التداخل الضوئي في هذا الجهاز من منشورين (6 & 7) ، ومغير لطور الأشعة (8) Phase shifter ، وإسفين ضوئي دوار (10) rotary wedge بالإضافة إلى عنصرين (٩) ، (١١) يتم عن طريقهما تعادل الأشعة compensating elements .

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

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

الدوار (10) rotary wedge من إسفينين من الزجاج المتماثلين في الشكل والتصميم ويدوران حول المحور البصري في اتجاهين متضادين ويمكن استخدام الانترفاكو في قياس الأجسام المناسبة بدقة تصل إلى $\lambda/200$ بدون استخدام شريحة نصف مظلة 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 وألياف 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 (٥/٩) : مسار الأشعة في ميكروسكوب التداخل الانترفاكو (من) Description and
 مصدر S (Instructions Manual Carl Zeiss Jena, Brochure No 30-G305-2)
 ضوئى S_p فتحة ، ٥ الجسم ، (1) عدسة مجمعة (2) شينية (3)، (4)، (5) نظام تكوين الصورة
 المرئية (6)، (7)، منشوران ، (8) مغير طور الأشعة (9)، (11) عنصران يتم عن طريقهما تعادل
 الأشعة (10) الإسفين الدوار (12) منشور (13) عدسة برتراند

The Pluta polarising interference microscope

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

أ- مجالا متجانسا للرؤية uniform field .

ب- مجالا يحتوى على هدب التداخل الضوئي fringe interference field مع ازواج جانبي للصورة ، ويستخدم لكل من التحليل الكيفي باستخدام طريقة التباين التفاضلي لهدب التداخل (DIC) differential interference contrast والتحليل الكمي ، وذلك بقياس فرق المسار الضوئي للعينات المختلفة المنفذة للضوء .

وليكروسكوب التداخل الضوئي التقليدي استخدامات محدودة في مجال دراسة الألياف . بينما تتميز ميكروسكوبات التباين التفاضلي لهدب التداخل (DIC) (Nomarski 1955) بميزات كثيرة في هذا المجال . وسنشرح فيما يلي الفكرة التي بنى عليها ميكروسكوب بلوتا . ويبين الشكل رقم (٦/٩) المسار الضوئي لميكروسكوب التداخل الضوئي بالانكسار المتغير (VDRI) variable double-refracting interference الذي طوره « بلوتا Pluta » (١٩٧١ ، ١٩٧٢) تمثل Z المصدر الضوئي Kol مجمع الضوء D_p, illuminator collector فتحة diaphragm . ومن أهم الصفات المميزة لهذا النظام البصري احتواؤه على منشورين للانكسار المزدوج W₁ & W₂ birefringent prisms يعملان في نفس الوقت ويفصل بينهما لوح نصف موجي (H) half wave plate ، 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 الشبئية 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 أنبوية الميكروسكوب عند مسافة متغيرة i_2 ويمكن أن يزاح إلى وضعين ، مواز (أ) وعمودى (t) على محور العدسة الشبئية . ولكل من هذين المنشورين مستوى خارجى لهذب التداخل الضوئى الخاصة به ، وتضم هذه الهذب لتتطابق مع البؤرة الخلفية F' للعدسة الشبئية . وتوضع فتحة مستطيلة D فى المستوى البؤرى الأمامى للعدسة المجمة للضوء C . ويوجد مستقطب P قبل هذه الفتحة ومحلل A خلف المنشور W_2 ، وتدور الفتحة D واللوح النصف موجى H والمستقطب P حول محور العدسة الشبئية .

ويبين الشكل رقم (٧/٨) الوضع الابتدائى للمكونات P, A, H & S بالنسبة لوضع المنشورين W_2, W_1 وتبين E_2, E_1 حافتى الإسفينين a_2, a_1 زوايا هذين الإسفينين العلويين المقابلة لهاتين الحافتين واللذان تخصان المنشورين W_2, W_1 وتمثل $F F'$ أحد الاتجاهات الرئيسية لنذببات الضوء light vibrations للوح النصف موجى H, SS هو اتجاه الفتحة

وفى ميكروسكوب التداخل الضوئى المستخدم الانكسار المزوج المتغير VDRI تترك الموجة - المستقطبة استوائيا بالمستقطب P - العدسة المجمة للضوء C وتشكل 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 الشبئية ob وتنقسم بالمنشورين W_2, W_1 إلى جبهتين مستقطبتين فى اتجاهين متعامدين . وعند مرورهما خلال المحلل 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 بزواية إسفين مقدارها a_3 ، ويمكن أن يحل محل المنشور W_2 .

وقد قدم "Pluta" (١٩٧٢) أشكالاً للمتجهات vectorial diagrams ، وذلك لتوضيح جبهة الموجة المحصلة في الحالات المختلفة لترتيب وضع المنشور W_1 بالنسبة لوضع المنشور W_2 ، وتصل دقة قياس فرق طول المسار الضوئي بطريقة مجال الهدب - fringe field باستخدام منشور ولاستون - إلى 0.05λ ، حيث λ هي طول موجة الضوء المستخدم ، وبذلك يكون الخطأ في تعيين معاملات الانكسار والانكسار المزدوج بهذه الطريقة أقل من $0.0003 - 0.0001$ ودقة قياس قطر الشعيرة هي حوالي ١ ميكرومتر - Pluta, 1972 .

ويمكن استخدام الضوء أحادي طول الموجة ($\lambda = 646$ نانومتر) أو الضوء الأبيض ، ويستخدم الأخير لتحديد مكان الهدبة الصفيرية (Faust and Marrinan, 1955) achromatic fringe . ويمكن استخدام طريقة التداخل التفاضلي differential interference fringe method وطريقة مجال الهدب مع ميكروسكوب بلوتا ، وتعتبر الطريقتان مناسبتين لتعيين الانكسار المزدوج للألياف والشرائح الرقيقة ، وخصوصاً العينات ذات التركيب غير المتجانس ويقدم ميكروسكوب التداخل الضوئي لبلوتا طريقة سهلة وسريعة لقياس معاملات الانكسار المزدوج للألياف غير المتجانسة التركيب والتي لها مقاطع عرضية منتظمة وغير منتظمة . ولهذا الجهاز فائدة كبيرة عند دراسة الألياف التي لها معاملات انكسار عالية جداً أو عند استخدام سائل غير معامل انكساره يختلف عن معامل انكسار الشعيرة بمقدار كبير - Hamza and Sikorski, 1978 .

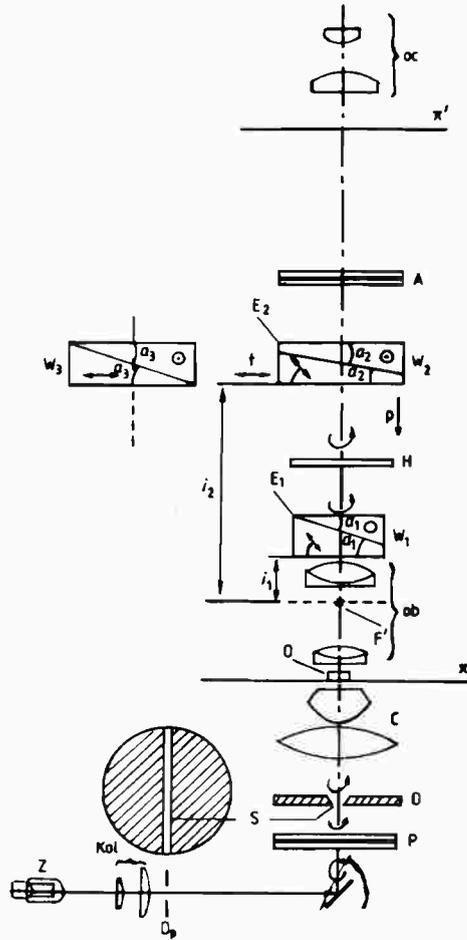
هذا وقد ناقش "Pluta" (١٩٧٢) مميزات هذا الجهاز من حيث استخدامه في مجال بحوث الألياف . وأجرى حمزة ومجموعته دراسة مكثفة على الألياف الطبيعية والتركيبية باستخدام هذا الميكروسكوب - انظر : Hamza, 1986 والبحوث المذكورة في هذا البحث .

٥/٢/٩- ازدواج الصورة في ميكروسكوب التداخل الضوئي

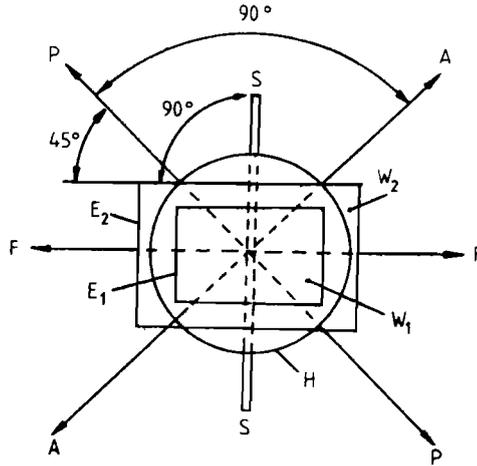
The shearing effect in interference microscopy :

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

وعند استخدام ميكروسكوب التداخل الضوئي « انترفاكو » يمكن الحصول على الانقسام الكلي والانقسام التفاضلي وذلك باستخدام إسفين ضوئي نوار rotary wedge . يتكون هذا الإسفين النوار من إسفينين من الزجاج لهما نفس التصميم design يمكن دورانهما حول المحور البصري في اتجاهين متضادين بالنسبة لبعضهما .



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



شكل رقم (٧/٩) : الاتجاهات الابتدائية للعناصر الرئيسية التي يقوم عليها الميكروسكوب الموضح في شكل (٦/٩) (من Pluta 1977)

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

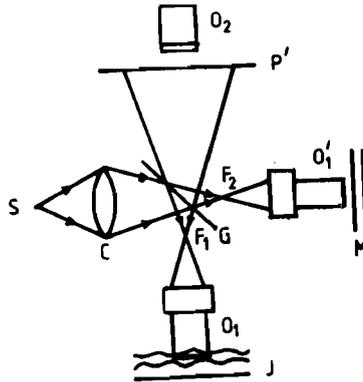
$$r = r_1 - r_2$$

وينتج عن دوران المنشور الثاني الموجود فى شينية 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 لقياس 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 بزواوية مقدارها 45° على المحور الأفقى . وينعكس جزء من الضوء فى اتجاه العدسة الشينية 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 الشينية O_1' المماثلة للعدسة O_1 ، ثم تنعكس هذه الأشعة على المرآة المستوية M لى تصل إلى O_1 ، ثم تنعكس إلى G لى تصل إلى العدسة العينية O_2 . وتتكون صورتان F_1, F_2 للمصدر S عند بؤرة كل من الشينيتين O_1, O_1' وتتداخل الموجتان ، الأولى هى الموجه المعدلة التى تحمل معلومات عن سطح الجسم J والثانية هى الموجه المستوية المرجع reference plane wave ويتم ذلك عند P' التى يمكن ملاحظتها بالعينية O_2 . وتتكون خريطة لهدب التداخل الضوئى الثانى . ويتم دراسة تضاريس سطح الجسم من شكل الهدب وقيم إزاحتها .



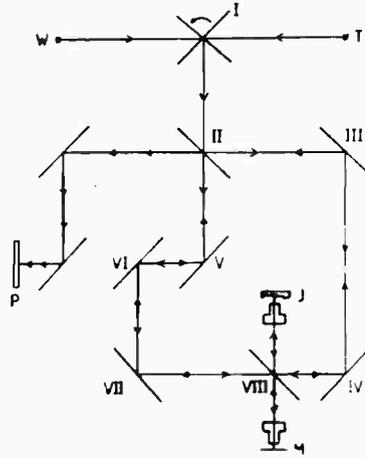
شكل رقم (٨/٩) : ميكروسكوب التداخل لنيك

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 شبيئية وعلى مسافة محددة منها . ويوجد ثلاث أغطية لهما انعكاسية ٢٠ ، ٦٠ ، ٩٠٪ لكل من عدسات الشبيئية 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 أيضا ظروف ضبط المسافة بين السطح المراد فحصه والعدسة الشبيئية الجيدة فى مسار الأشعة لإضاءة العينة واتجميع الضوء المنعكس من سطحها والذي يحمل المعلومات عن تضاريس هذا السطح .

ويمكن قياس تضاريس سطح الأجسام فى المدى من $\lambda/2$ إلى 20λ وذلك فى الاتجاه العمودى على هذا السطح . ويستعمل مصدر ضوئى أحادى الطول الموجى هو مصباح الثاليوم ($\lambda = 530$ 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) . ويتم 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 الثانى 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 في حالة هدب فيزيو تتكون الهدب محددة الموقع قريبة من مقياس التداخل الضوئي ،
ويعد ذلك تسجل صورة مكبرة لها على اللوح الحساس .



شكل رقم (٩/٩) : رسم تخطيطي لمسار الضوء في ميكروسكوب التداخل لزايس - لنيك T مصباح تاليم
W ، مصدر ضوء أبيض ، J الجسم ، M مرآة مرجع ، I مرآة عاكسة ، P لوح فوتوغرافي II مرآة
نصف مفضضة III ، IV ، V ، VI ، VII ، أسطح مفضضة عاكسة

٧/٢/٩- مقياس التداخل الضوئي (ملاخ وزندر) :

The Mach-Zehnder interferometer

في مقياس جامن للتداخل الضوئي Jamin interferometer تعمل الأسطح الأمامية
للشريحتين المتكونتتين لهذا الجهاز كمجزات لحزمة الأشعة الضوئية ، وتعمل الأسطح الخلفية
كمرايا مستوية ، ولا يمكن ضبط هذه العناصر كلا على حدة ، ويكون فصل الشعاعين محددًا
بسمك هاتين الشريحتين . ويكون البعد كبيرًا بين الشعاعين في مقياس ماخ وزندر
- Zehnder 1891, Mach 1892 - حيث تكون مجزات حزمة الأشعة والمرايا العاكسة
عناصر منفصلة عن بعضها .

ويبين الشكل رقم (١٠/٩) مسار الأشعة في مقياس ماخ وزندر . S مصدر ضوئي
أحادي طول الموجة عند المستوى البؤري للعدسة L_1 وتنقسم حزمة متوازية من الأشعة -
عند السطح النصف عاكس (A₁) semi-reflecting surface للشريحة الزجاجية D₁
ذات الأسطح المتوازية - إلى حزمتين تتحدان بعد انعكاسهما من المرآتين المستويتين

M_2 , M_1 وذلك عند السطح النصف عاكس (A_2) للشريحة الزجاجية D_2 ذات الأسطح المتوازية وتخرج الأشعة لتتجمع بواسطة العدسة L_2 . افترض أن W_1 هي جبهة موجة مستوية plane wavefront في الشعاع الذي يمر بين المرآة M_1 ، والشريحة الزجاجية D_2 ، W_2 هي جبهة الموجة المستوية المقابلة لها في الشعاع الذي يمر بين المرآة M_2 ، والشريحة الزجاجية D_2 ، W_1' هي جبهة الموجة المستوية التقديرية wavefront virtual plane الموجودة بين المرآة M_2 والشريحة D_2 والتي 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 :

$$h = PN$$

وهي المسافة الرأسية من P إلى W_1' ، n هي معامل انكسار الوسط الموجود بين W_1' ، W_2 وتظهر عند النقطة p' المرافقة للنقطة p هدب مضيئة في حالة :

$$m\lambda = n\lambda , \quad |m| = 0, 1, 2, \dots$$

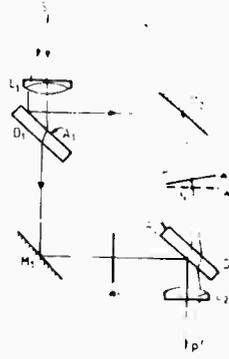
وتظهر عمليا ثلاث حالات للأجسام التي تغير من طور الموجة phase objects :

أ- الأجسام ذات البعدين Two-dimensional phase objects والتي لايتغير فيها معامل الانكسار في اتجاه انتشار الأشعة .

ب- الأجسام المتماثلة قطريا Radially symmetric phase objects .

ج- الأجسام غير المتماثلة Asymmetric phase objects .

وفي الحالة الأولى يكون طول الجسم الذي يغير من طور الموجة هو L في اتجاه انتشار الأشعة ، وبذلك يكون معامل الانكسار دالة في y ، z فقط .



شكل رقم (١٠/٩) : مسار الضوء في مقياس التداخل (ملاخ وزنبر)

معادلة إزاحة الهدبة : Fringe shift equation

عند وضع جسم شفاف لتغيير طور الأشعة Phasor في أحد مسارات الأشعة لمقياس
ملاخ ، وزنبر (شكل رقم ١١/٩) فإن إزاحة الهدبة $\delta(y,z)$ تعطى بالمعادلة :

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

حيث n_0 هي معامل الانكسار في وسط الشعاع الذي لم يحدث له تغير $undisturbed$
beam ، λ هي طول موجة الضوء .

ولإثبات هذه المعادلة نلاحظ أن المسار الضوئي للشعاع الذي حدث له تغير $disturbed$
ray مقاسا بالأطوال الموجية يكون :

$$N_d = \int_{x_0}^{x_1} \frac{dx}{\lambda}$$

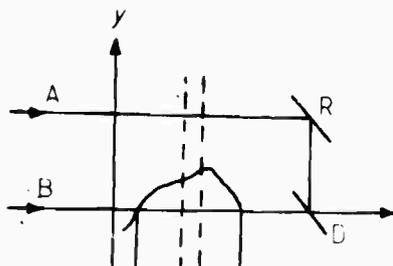
ويعطى الفرق $(N_d - N_0)$ المضاعفات العددية للمقدار (2π) حيث يختلف بها
الشعاعان في الطور عند إعادة اتحادهما ويساوى بالكاد هذا الرقم إزاحة الهدبة $\delta(y,z)$.

وإذا كان :

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

$$n(y,z) - n_0 = \frac{\delta\lambda}{x_1 - x_0} = \frac{\delta\lambda}{L} \quad \text{ينتج أن :}$$

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



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

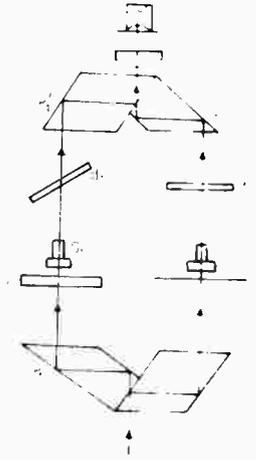
Leitz interference microscope : مقياس التداخل الضوئى لليتز : ٨/٢/٩-

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_1, P_1', P_2, P_2' منشورات تحل محل المرايا العاكسة ومجزئات الموجات الضوئية عند الأركان الأربعة لمقياس ماخ وزندر Mach-Zehender interferometer .

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



شكل رقم (١٢/٩) : النظام البصري ومسار الأشعة في ميكروسكوب التداخل البينز

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 and 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 *Przegląd Włókienniczy* **19** 261
- 1971 *Opt. Acta* **18** 661
- 1972 *J. Microsc.* **96** 309
- Pluta M 1982 *Mikroskopia Optyczna* (Warszawa : Państwowe Wydawnictwo Naukowe) In Polish)
- Polskie Zakłady 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 Interferometry* (Oxford: Clarendon)
- 1973 *An Introduction to Interferometry* (London : Longman) pp 210-23
- Zehnder L 1891 *Z. Instrkde* **11** 275