

الباب الثالث عشر

الاستقطاب الدائري والاستقطاب الاهليلجى والاستقطاب الدوراني

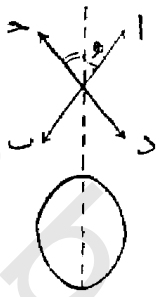
٣١١ - الاستقطاب الدائري والاستقطاب الاهليلجى

تبين في الباب السابق أن سرعة الشعاع المعتاد وسرعة الشعاع الغير المعتاد مختلفتان بوجه عام وإن اتجاه الاهتزازة في الشعاع المعتاد عمودية على المستوى الرئيسى واتجاهها في الآخر في المستوى الرئيسى . فإذا أسقطنا شعاعاً من الضوء المستقطب استقطاباً استوائياً على لوح بلورى يحدث للانكسار المزدوج ، ومقطع من بلورة أحادية المحور ، وكان اتجاه الاهتزازة مائلاً بالنسبة الى المستوى الرئيسى بزاوية ، تحللت الاهتزازة الى مركبتين ، احدهما في المستوى الرئيسى والآخرى عمودية عليه ، وتنتقل هاتان المركبتان خلال اللوح البلورى بسرعتين مختلفتين . فإذا كان اللوح البلورى مقطوعاً بحيث كان محوره موازياً لسطحه وكان الضوء واقعاً عمودياً على السطح ، كان مسير الشعاعين خلال اللوح البلورى واحداً بالرغم من اختلاف السرعتين . فإذا وصلت الاهتزازتان الى السطح الآخر للوح يكون بينهما اختلاف في الطور يحدث من جراء اختلاف السرعتين .

ويتبين مما سبق في بند (١٨٠) أنه إذا كان اختلاف الطور الحادث بينهما صفراً أو π أو بوجه عام 2π ، فانهما في هذه الحالة يحصلان اهتزازة مستقيمة موازية للاهتزازة الأصلية ويكون الشعاع النافذ من اللوح مستقطباً استقطاباً استوائياً واتجاه اهتزازته مواز لاتجاه الاهتزازة في الشعاع الاصلى

وإذا كان اختلاف الطور بينهما π أو 3π أو بوجه عام $(2\pi + 1)$ ، فانهما يحصلان اهتزازة مستقيمة ولكن اتجاهها لا يكون موازياً لاتجاه الاولى وإنما يميل على المستوى الرئيسى

بزواوية تساوى ميل الاهتزازة الاولى ولكنها فى الجانب الآخر منه . فاذا فرضنا أن المستقيم الرأسى شكل (٢٨٢) يمثل المستوى الرئيسى العمودى على مستوى الورقة وكان المستقيم ا ب دالا على

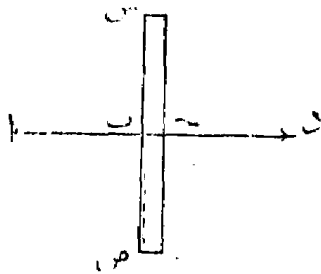


اتجاه الاهتزازة فى الشعاع الاصلى وميله على المستوى الرئيسى بزواوية تساوى ه فان اتجاه المحصلة فى الحالة التى نحن بصددھا يكون ح د ويصنع اتجاهھا زواوية قدرھا ٢ ه مع اتجاه الاولى . واذا كان الشعاع النافذ من اللوح البلورى مستقطباً استقطاباً استوائياً ولكن اتجاه الاهتزازة يصنع زواوية قدرھا ٢ ه مع اتجاه الاهتزازة

فى الشعاع الاصلى . واذا كان اختلاف الطور الحادث بين الاهتزازتين أى مقدار (شكل ٢٨٢) آخر فان المحصلة تكون قطعاً ناقصاً سنعبّر عنه بالاهليلج . ويقال ان الشعاع النافذ من البلورة مستقطب استقطاباً اهليلجياً (١) ، ويلاحظ انه فى حالة ما يكون اختلاف الطور $\frac{\pi}{2}$ أو $\frac{3\pi}{2}$ أو بوجه عام $(2n+1)\frac{\pi}{2}$ واتساع الاهتزازتين المتعامدتين واحد ، يتحول الاهليلج الى دائرة ويقال ان الشعاع النافذ مستقطباً استقطاباً دائرياً (٢)

٣١٢ - احداث الاستقطاب الدائرى والاستقطاب الاهليلجى

وللحصول على ضوء مستقطب استقطاباً دائرياً يستخدم عادة لوح بلورى يسمى « اللوح



(شكل ٢٨٣)

الربع الموجى» (٣) وهو لوح من بلورة احادية المحور محدثة للانكسار المزدوج مقطوع بحيث يكون سطحه موازياً للمحور حتى اذا سقط عمودياً على سطحه شعاع من الضوء الطبيعى فان الشعاعين المعتاد والغير المعتاد لا ينفصلان ويظل مسيرهما واحداً ولكن سرعتيهما لا تكونان متساويتين . وبهذا سلك اللوح البلورى بحيث يكون

فرق المسير الحادث من جراء اختلاف السرعة مساوياً ربع الطول الموجى

فاذا فرضنا أن شعاعاً مثل ا ب شكل (٢٨٣) يسقط على اللوح البلورى المتوافر فيه الشرطان

المذوران وكان المحور موازياً للسطح س ص الواقع عليه الضوء فان مستوى الورقة يمثل المستوى الرئيسى . فاذا كان الشعاع مستقطباً استقطاباً استوائياً وكان اتجاه الاهتزازة مائلاً على مستوى الورقة بزاوية قدرها 45° درجة فان الاهتزازة تتحلل الى مركبتين متساويتى الاتساع احدهما عمودية على مستوى الورقة (الشعاع المعتاد) والاخرى فى مستوى الورقة وموازية للمحور (الشعاع الغير المعتاد) وهاتان تنتقلان خلال اللوح الى ح على مسير واحد ولكن بسرعتين مختلفتين فيحدث فرق فى المسير قدره ربع الطول الموجى واذن يبلغ اختلاف الطور بين الاهتزازتين المتعامدتين عند ح قائمة فيحصلان اهتزازة مستديرة يكون مستواها عمودياً على المستوى الرئيسى (مستوى الورقة) وتكون هى الاهتزازة فى الشعاع ح د النافذ من اللوح البلورى

أما اذا كان اتجاه الاهتزازة فى الشعاع ا ب المستقطب استوائياً يميل على المستوى الرئيسى (مستوى الورقة) بزاوية ليست صفراً ولا قائمة ولا 45° درجة ، فان الاهتزازة تتحلل الى مركبتين متعامدتين ليستا متساويتى الاتساع تنتقلان بسرعتين مختلفتين . وعند ح يكون قد بلغ اختلاف الطور بينهما قائمة ، فيحصلان قطعاً ناقصاً ، ويكون الشعاع ح د النافذ من البلورة مستقطباً استقطاباً اهليلجياً ويلاحظ أن مستوى الاهليلج يكون عمودياً على المستوى الرئيسى (مستوى الورقة) ويكون أحد محوريه الرئيسيين موازياً لمحور الضوء فى البلورة

٣١٣ - تقدير سمك اللوح الربع الموجى

لتقدير سمك اللوح الربع الموجى نرسم لمعامل انكسار الشعاع المعتاد بالرمز μ ولسمك اللوح البلورى بالحرف z ، فسير الشعاع المعتاد خلال البلورة مقيساً فى الاثير أو الهواء يكون μz ، وبما أن الضوء ينفذ فى اتجاه عمودى على المحور ويسقط عمودياً على السطح فشكل (٢٦١) يمثل مسير الشعاعين المعتاد والغير المعتاد باعتبار أن البلورة سالبة ، ومنه يتضح أن سرعة الشعاع الغير المعتاد داخل البلورة ثلثها نصف المحور الاطول لمدور القطع الناقص الذى يمثل صدر الموجة للشعاع الغير المعتاد ، واذن تكون النسبة بين سرعة الضوء فى الاثير أو الهواء وسرعة الشعاع الغير المعتاد هى مما سبق أن سميناه معامل انكسار الشعاع الغير المعتاد . فاذا رمزنا

لهذا بالرمز m يكون مسير الشعاع الغير المعتاد داخل البلورة ، مقيساً في الاثير أو الهواء ، مساوياً m' . واذن يكون الفرق في المسير بين الشعاعين عند ما يخترقان سمك اللوح البلورى هو

$$s = (m - m') \frac{1}{4}$$

باعتبار أن s الطول الموجى للضوء مقيساً في الاثير أو الهواء واذن

$$\frac{s}{(m - m') \frac{1}{4}} = 4$$

ويساوى هذا سمك اللوح الربع الموجى بالنسبة الى ضوء ذى طول موجى قدره s . والضوء الذى يختار عادة لهذا الغرض ضوء لهب الصوديوم .

ويلاحظ أنه اذا كانت البلورة موجبة فان معامل انكسار الشعاع الغير المعتاد يكون اكبر فيتغير المقدار $(m - m')$ الى $(m' - m)$

ويصنع اللوح الربع الموجى من الكوارتز وهو من البلورات الموجبة أو الميكا^(١) وهو من النوع السالب . وسمك اللوح المصنوع من الميكا ٠.٣٢ من المليمتر بالتقريب

٣١٤ — اختبار الضوء المستقطب استقطاباً دائرياً

منشور نكل ينفذ الاهتزازة الموازية لمستواه الرئيسى ، ويمنع الاهتزازة العمودية على المستوى الرئيسى من النفوذ خلاله . والاهتزازة المستديرة يمكن تحليلها الى مركبتين مستقيمتين متعامدتين متساويتى الاتساع . فاذا أنفذ خلال منشور نكل شعاع من الضوء المستقطب استقطاباً دائرياً فان الاهتزازة المستديرة تتحلل الى المركبتين المذكورتين ، وتكون احدهما فى المستوى الرئيسى للمنشور وهذه تنفذ والاخرى عمودية عليه ، وهذه يمتنع نفوذها . وبما أن المركبتين متساويتان ، فان اتساع الاهتزازة التى ينفذها المنشور يكون واحداً فى جميع أوضاعه ، واذن تكون شدة الضوء النافذ من المنشور ثابتة لا تتغير تبعاً لدوران المنشور حول الشعاع الساقط عليه

(١) ولو أن الميكا من البلورات الثنائية المحور فان بعض أنواعها يكاد يكون أحادى المحور

فمنشور نكل يميز بين الضوء المستقطب دائرياً وبين الضوء المستقطب استوائياً . لان شدة الضوء النافذ منه عند ما يكون الضوء الواقع عليه مستقطباً استقطاباً استوائياً تتغير من العدم الى نهاية عظمى الى العدم وهكذا تبعاً لدوران المنشور

ولكن المنشور لا يميز بين الضوء الطبيعي غير المستقطب وبين الضوء المستقطب دائرياً لان شدة الضوء النافذ منه اذا كان الضوء الساقط عليه طبيعياً غير مستقطب تظل هي أيضاً ثابتة لا تتغير . فدفعاً لهذا الالتباس ينفذ الضوء المستقطب دائرياً خلال لوح ربع موجي . فان الاهتزازة المستديرة تتحلل الى المركبتين المستقيمتين المتعامدتين المتساويتين الاتساع اللتين يوجد بينهما اختلاف في الطور قدره قائمة . وتكون احدهما في المستوى الرئيسى للوح الربع الموجي والاخرى عمودية عليه فاذا ما اخترقنا اللوح الربع الموجي حدث بينهما اختلاف في الطور قدره قائمة . فأما يزول ما كان بينهما من الاختلاف ، واما يبلغ اختلاف الطور بينهما قائمتين . وفي كلتي الحالتين تكون محصلتهما اهتزازة مستقيمة . فيتحول الشعاع المستقطب دائرياً بفعل اللوح الربع الموجي الى شعاع مستقطب استوائياً . فاذا اخترعنا هذا بوساطة منشور نكل تغيرت شدة الضوء النافذ خلاله من الصفر الى نهاية عظمى الى الصفر وهكذا تبعاً لدوران المنشور . أما انفاذ الضوء الطبيعي الغير المستقطب خلال اللوح الربع الموجي فلا يحوله الى ضوء مستقطب استقطاباً استوائياً

٣١٥ - اختبار الضوء المستقطب استقطاباً اهليلجياً

والاهتزازة الاهليلجية يمكن تحليلها الى مركبتين مستقيمتين متعامدتين بينهما اختلاف في الطور قدره قائمة ، ولكنهما غير متساويتين الاتساع . فاذا أنفذ خلال منشور نكل شعاع من الضوء المستقطب اهليلجياً أنفذ المنشور المركبة الموازية لمستواه الرئيسى . واتساع هذه المركبة ليس ثابتاً . فاذا كان المستوى الرئيسى موازياً للبحور الاطول لاهليلج الاهتزازة كان اتساعها أكبر ما يمكن واذا كان المستوى الرئيسى موازياً للبحور الاقصر لاهليلج الاهتزازة كان اتساعها أصغر ما يمكن . فدوران منشور نكل حول الشعاع الساقط عليه يجعل اتساع مركبة الاهتزازة

التي ينفذها تتغير من نهاية عظمى الى صغرى ليست صفراً الى نهاية عظمى وهكذا ، فتتغير شدة الضوء من كبر الى صغر الى كبر تبعاً لذلك . فشدة الضوء النافذ خلال المنشور لا تبقى ثابتة كما لو كان الضوء الساقط على المنشور مستقطباً استقطاباً دائرياً أو كان ضوءاً طبيعياً غير مستقطب ولا تعدم في وضع من أوضاع المنشور كما لو كان الضوء الساقط عليه مستقطباً استقطاباً استوائياً فيمكن التمييز بهذه الكيفية بين الضوء المستقطب اهليلجياً وبين الضوء الغير المستقطب أو المستقطب دائرياً أو المستقطب استوائياً . ولكن لا يكفي هذا للتمييز بين الضوء المستقطب اهليلجياً وبين مزيج من الضوء الطبيعي الغير المستقطب والضوء المستقطب استوائياً ، فانه اذا أنفذ مثل هذا المزيج خلال منشور نكل وأدير المنشور فان شدة الضوء النافذ منه تتغير من كبر الى صغر الى كبر تبعاً لدوران المنشور

فدفعاً لهذا الاتباس ينفذ الضوء المستقطب اهليلجياً في لوح ربع موجي ، فاذا كان مستواه الرئيسي موازياً للمحور الاطول أو المحور الاقصر لاهليلج الاهتزازة تحللت الاهتزازة الاهليلجية الى مركبتين مستقيمتين متعامدتين بينهما اختلاف في الطور قدره قائمة وغير متساويتي الاتساع ، وتكون احدهما موازية للمستوى الرئيسي للوح والاخرى عمودية عليه^(١) . فعند نفوذهما في اللوح يحدث بينهما اختلاف جديد في الطور قدره قائمة . فاما يزول ما كان بينهما من الاختلاف واما يبلغ اختلاف الطور قائمتين . فتتحول الاهتزازة الاهليلجية الى اهتزازة مستقيمة ، أى يتحول الضوء المستقطب اهليلجياً الى ضوء مستقطب استوائياً . فاذا أنفذ هذا خلال منشور نكل فان المنشور يمنع نفاذه في وضع و ينفذه بشدة في وضع عمودي

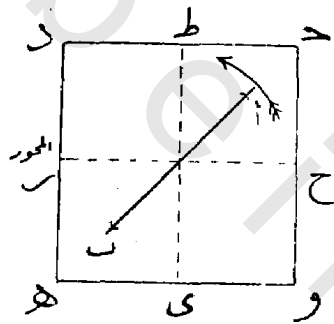
٣١٦ — تعيين اتجاه الاهتزازة المستديرة في الاستقطاب الدائري

(أولاً) عند احداث الاستقطاب الدائري بفعل اللوح الربع الموجي يمكن تعيين اتجاه الاهتزازة المستديرة بملاحظة وضع المستقطب بالنسبة الى اللوح الربع

(١) الاهتزازة الاهليلجية هي محصلة اهتزازتين مستقيمتين متعامدتين بينهما اختلاف π في الطور الا في حالات خاصة (أنظر بند ١٨٠) واذن يمكن تحليلها الى مركبتين مستقيمتين متعامدتين لا يكون فرق الطور بينهما قائمة الا اذا كانت احدهما موازية لاحد المحورين الرئيسيين لاهليلج الاهتزازة والاخرى موازية للآخر

الموجى ونوع البلورة المصنوع منها هذا اللوح .

لنفرض أن المستقطب منشور نكل وأن ضوءاً طبيعياً يسقط على هذا المنشور فينفذ الضوء منه مستقطباً استقطاباً استوائياً ثم يسقط هذا الضوء على لوح ربع موجى موضوع في الوضع المناسب فيخرج منه مستقطباً استقطاباً دائرياً . ولنفرض أنه ينظر الى منشور نكل في اتجاه الضوء الواقع عليه ، وإن القطر القصير للوجه الواقع عليه الضوء في اتجاه مواز للمستقيم ا ب

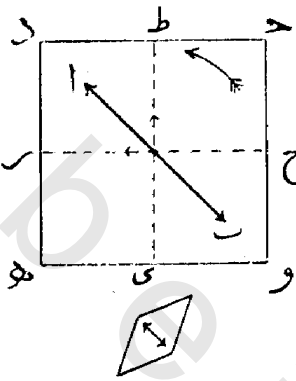


(شكل ٢٨٤)

(شكل ٢٨٤) . وليكن ح د هـ و سطح اللوح الربع الموجى الذى يقع عمودياً عليه الضوء المستقطب النافذ من المنشور والذى اتجاه اهتزازته مواز للمستقيم ا ب . فلكى يتحول بفعل اللوح الضوء المستقطب استوائياً ، الى ضوء مستقطب دائرياً يجب أن يكون الاتجاه ا ب مائلاً على المستوى الرئيسى للوح بزاوية

قدرها ٤٥ درجة . لذلك لنفرض أن المحور الضوئى هو ر ح ، فيكون المستوى الرئيسى للوح عمودياً على مستوى الورقة وماراً بالمستقيم ر ح . فالاهتزازة ا ب تتحلل بفعل اللوح الى مركبتين متساويتى الاتساع احدهما موازية للمستوى الرئيسى أى فى اتجاه ر ح ، والاخرى عمودية عليه اى فى اتجاه ط ي . وهاتان المركبتان تنفذان خلال اللوح بسرعتين مختلفتين ، ويلغان الوجه الآخر للوح وبينهما اختلاف فى الطور قدره قائمة ، فاذا كان اللوح من بلورة سالبة ، فإن الاهتزازة الموازية للمستوى الرئيسى أى التى فى اتجاه ر ح تكون السابقة . فاذا اعتبرنا أن الازاحة فى المركبة الموازية للمستقيم ر ح عند السطح الاول للوح صفراً والحركة نحو اليمين فهى فى المركبة الموازية للمستقيم ط ي تكون صفراً أيضاً وتكون الحركة الى أعلى . ولكن عند وصول الاهتزازتين الى السطح الثانى للوح فانه عند ما تكون الموازية للمستقيم ط ي ازاحتها صفراً واتجاه الحركة الى أعلى تكون الاخرى قد سبق طورها (عما كان) بمقدار قائمة أى تكون عند نهاية ازاحتها نحو اليمين . فعند تحصيل الحركتين تكون الدقيقة المهتزة عند ح ومتحركة الى اعلى واذن يكون اتجاه الحركة المستديرة فى عكس اتجاه حركة عقرب الساعة بالنسبة الى من ينظر فى اتجاه الضوء الواقع على اللوح الربع الموجى

(ثانياً) عند اختبار الاستقطاب الدائري بواسطة لوح ربع موجى ومنشور نكل لنفرض أن الضوء المستقطب استقطاباً دائرياً اتجاه اهتزازه المستديرة في عكس حركة عقربى الساعة بالنسبة الى الناظر بحيث يقع الضوء على عينه . ولنفرض انه وضع



(شكل ٢٨٥)

في سبيل الضوء لوح ربع موجى ومنشور نكل بحيث يخترق الضوء أولاً اللوح الربع الموجى ثم المنشور ثم يقع على العين . ولنفرض أن ح د هـ و (شكل ٢٨٥) يمثل اللوح الربع الموجى (بالنسبة الى الناظر بالكيفية المذكورة) وليكن محوره ر ح وليكن المستوى الرئيسى عمودياً على مستوى الشكل ماراً بالمستقيم ر ح . فعند وصول

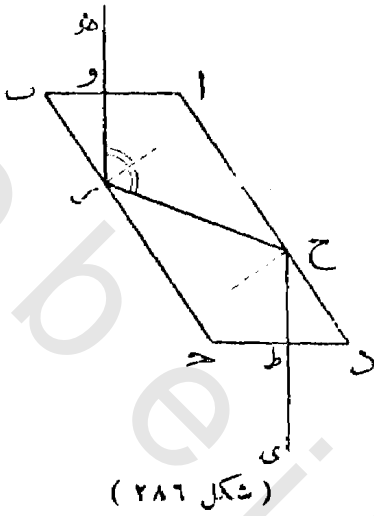
الاهتزازة المستديرة الى سطح اللوح تتحلل الى مركبتين مستقيمتين متساويتى الاتساع احدهما موازية للمستوى الرئيسى أى في اتجاه ر ح والاخرى عمودية عليه أى في اتجاه ط ي ويكون بين المركبتين اختلاف في الطور قدره قائمة ، ووفقاً للاتجاه المفروض يتضح أنه عندما تكون الازاحة في المركبة الموازية للمستقيم ط ي صفراً واتجاه الحركة الى أعلى، تكون الازاحة في المركبة الموازية للمستقيم ر ح عند نهايتها العظمى الى اليمين . فاذا كان اللوح من بلورة سالبة فان سرعة الثانية خلال اللوح تكون أكبر في أثناء وصول الاهتزازتين الى الوجه الثانى للوح يتقدم طور الثانية بمقدار قائمة . واذا عند ما تكون الازاحة في المركبة الموازية للمستقيم ط ي صفراً واتجاهها الى أعلى لا تكون الازاحة في المركبة الاخرى عند نهايتها العظمى الى اليمين كما لو لم يحدث اختلاف جديد في الطور بينهما ، بل تكون ازاحتها صفراً وحركتها نحو اليسار ، لتقدم طورها بمقدار قائمة . فتحصل المركبتان حركة مستقيمة في اتجاه ا ب ولكي ينفذ منشور نكل هذه الاهتزازة يكون القطر القصير لوجهه موازياً للمستقيم ا ب ، فيكون وجه المنشور بالنسبة الى الناظر كما هو مبين بالشكل

فباتباع مثل الخطوات السابقة يمكن تعيين اتجاه الحركة المستديرة في الاستقطاب الدائري سواء أ كان ذلك عند احداث الاستقطاب الدائري أم عند اختباره

وكثيراً ما يستخدم للحصول على ضوء مستقطب استقطاباً دائرياً جهاز يعرف « معين فرسنل » (١) استنبط فرسنل الفكرة الأساسية التي بناه عليها من بحوث نظرية في انعكاس الضوء المستقطب استقطاباً استوائياً وانكساره . فاستدل من هذه البحوث على أنه عندما ينعكس الضوء المستقطب استوائياً ، انعكاساً كلياً يحدث تغير في الطور ، وقيمة هذا التغير عندما يكون الضوء مستقطباً في مستوى السقوط (أى عندما تكون اهتزازه عمودية على مستوى السقوط) غيرها عندما يكون مستقطباً عمودياً عليه . فاذا كان الضوء مستقطباً في اتجاه يميل بزاوية ما على مستوى السقوط ، أى كانت الاهتزازة مائلة على مستوى السقوط ، وليست موازية له ولا عمودية عليه ، تحللت الاهتزازة الى مركبتين ، احدهما موازية لمستوى السقوط والآخرى عمودية عليه ، فيتغير طور احدهما بمقدار يتلف عن المقدار الذى يتغير به طور الأخرى ، فيحدث بينهما اختلاف في الطور ، فتكون محصلتهما بعد ذلك حركة اهليلجية . وقد استنبط من بحوثه النظرية ان اختلاف الطور بين المركبتين الاختلاف الذى يحدث عند الانعكاس الكلى في الزجاج يبلغ $\frac{\pi}{8}$ اذا كانت زاوية السقوط حوالى ٥٥ درجة . فاذا عانى الضوء انعكاسين كليين بلغ اختلاف الطور $\frac{\pi}{4}$ أى بلغ زاوية قائمة . فاذا كانت المركبتان المتعامدتان متساويتى الاتساع تحولت المحصلة من الاهليلج الى الدائرة

وللتحقق عملياً من هذه النتائج النظرية اتخذ كتلة من الزجاج على شكل متوازى متوازيات الأضلاع وجوهرها متماثلة وكل واحد منها على شكل متوازى أضلاع زاويته المنفرجة ١٢٥ درجة وزاويته الحادة ٥٥ درجة فاذا فرضنا أن ا ب ح د (شكل ٢٨٦) يمثل مقطع متوازى متوازيات الأضلاع وسقط على السطح ا ب عمودياً عليه الشعاع هـ و فانه ينفذ في استقامته حتى يسقط على السطح ب ح عند ر وتكون زاوية سقوطه عليه ٥٥ درجة ، فينعكس انعكاساً كلياً ويسقط

على السطح ا د عند ح وزاوية سقوطه ٥٥ درجة أيضا فينعكس انعكاسا كلياً مرة أخرى وينفذ خارجاً من كتلة الزجاج في استقامة ح ط ي . فإذا كان الشعاع ه و مستقطباً استقطاباً استوائياً واتجاه اهتزازته مائل على مستوى الورقة (مستوى السقوط) فإنه طبقاً للنتائج المذكورة آنفاً يكون الشعاع ط ي النافذ من كتلة الزجاج مستقطباً استقطاباً اهليجياً بوجه عام . وإذا كانت زاوية ميل الاهتزازة على مستوى الورقة ٤٥ درجة كان الشعاع مستقطباً استقطاباً دائرياً . وقد حقق فرسنل هذه النتائج ، واتخذ الجهاز من بعده وسيلة للحصول على ضوء مستقطب استقطاباً دائرياً



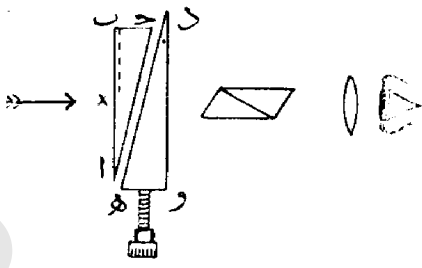
(شكل ٢٨٦)

ويتضح مما سبق أنه إذا كان الشعاع الساقط على الوجه ا ب مستقطباً استقطاباً دائرياً . حدث من جراء الانعكاسين السكليين بين المركبة المستقيمة الموازية لمستوى السقوط ، وبين المركبة المستقيمة العمودية عليه ، اختلاف في الطور قدره قائمة ، واذن يتحول الاستقطاب الدائري الى استقطاب استوائى . كذلك إذا كان الضوء الساقط مستقطباً استقطاباً اهليجياً ، وكان أحد المحورين الاكبر أو الأصغر لاهليج الاهتزازة في مستوى السقوط ، والآخر عمودياً عليه تحول الاستقطاب الاهليجى الى استقطاب استوائى

فمعين فرسنل اذن يقوم من جميع الوجوه مقام اللوح الربع الموجى بل هو يمتاز عن اللوح الربع الموجى في أن تغير الطور الحادث لا يتوقف على الطول الموجى فيصالح عند ما يكون الضوء أبيض ، خلافاً للوح الربع الموجى الذى يستخدم لضوء خاص ذى لون واحد

٣١٨ - مكافئ بابنت

جهاز يستخدم في دراسة الاستقطاب الاهليجى والاستقطاب الدائرى ، ويتركب من منشورين من الكوارتز ، كالمشورين ا ب ح د ه و (شكل ٢٨٧) زاويتاهما ٦٠ و ٣٠ درجة ، والمنشوران موضوعان كما بالشكل بحيث تتجه احدى هاتين الزاويتين في الاتجاه المضاد



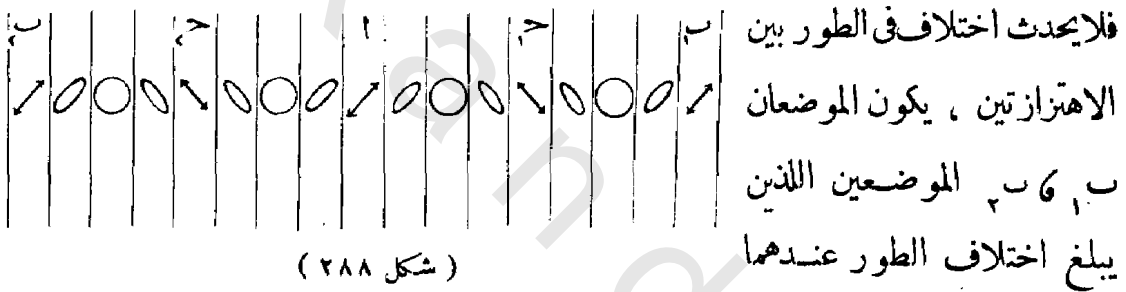
(شكل ٢٨٧)

للاخرى ، والمنشور ا ب - الذى يقع عليه الضوء مقطوع بحيث يكون محوره موازيا للسطح ا ب الواقع عليه الضوء ويصوب اليه الضوء بحيث يكون هذا المحور فى مستوى السقوط والمنشور الثانى د هـ و محوره عمودى على هذا المستوى ويسمى الجهاز «مكافئ بابنت»^(١) نسبة الى مخترعه

فاذا سقط على السطح ا ب شعاع من ضوء ذى لون واحد وكان مستقطباً استقطاباً استوائياً واتجاه اهتزازته يميل بزوايا قدرها هـ على المستوى الرئيسى للمنشور ا ب - (أى على مستوى الورقة) تحللت الاهتزازة المستقيمة الى مركبتين احدهما عمودية على المستوى الرئيسى (عمودية على مستوى الورقة) وهذه تكون اهتزازة الشعاع المعتاد والآخرى فى المستوى الرئيسى وهذه تكون اهتزازة الشعاع الغير المعتاد ، فتنتقل الاهتزازتان خلال المنشور الاول على مسير واحد بسرعتين مختلفتين . ونظراً لأن المنشور من الكوارتز تكون سرعة الاولى أكبر . واذن طور هذه عند نفوذها من المنشور الاول يكون سابقاً . واذا وصلت الاهتزازتان الى المنشور الثانى كانت الاولى فى مستواه الرئيسى ، والثانية عمودية عليه ، فتكون سرعة الاولى أصغر . فالمسرة فى المنشور الاولى تبطئ فى الثانى ، والمبطئة تسرع . فاذا اخترق الضوء سمكن متساويين كان التقدم الحادث فى طور احدهما (بالنسبة الى طور الآخرى) من جراء نفوذها فى المنشور الاول مساوياً للتخلف الحادث من جراء نفوذها فى الثانى فتصل الاهتزازتان الى السطح د و فى طور واحد ، فتكون محصلتهما اهتزازة مستقيمة موازية للاهتزازة الاولى فى الشعاع الاصلى الواقع على السطح ا ب ، فيصنع اتجاهها زاوية قدرها هـ مع مستوى الورقة ، أما اذا اخترق الضوء سمكنين مختلفين حدث اختلاف فى الطور بين الاهتزازتين ، فاذا بلغ اختلاف الطور 2π كانت المحصلة مستقيمة موازية للاتجاه المذكور . واذا بلغ اختلاف الطور $(1 + 2\pi)$ كانت المحصلة مستقيمة أيضاً ولكنها تصنع مع الاتجاه الاول زاوية قدرها π أنظر (شكل ٢٨٢) . أما فيما عدا ذلك فتكون المحصلة بوجه عام اهليلجية ، وتتحول الى الاستدارة عندما تكون

٥ = ٤٥ درجة ويكون اختلاف الطور $(١ + ٢) \frac{\pi}{4}$

فاذا فرضنا أن الاشعة المستقطبة استقطاباً استوائياً ، الواقعة على السطح ا ب ، حزمة متوازية واتجاه الاهتزازة فيها يصنع ٤٥ درجة مع المستوى الرئيسى للنشور الاول ، كانت هناك مواضع على السطح دو يخرج منها ضوء مستقطب استقطاباً استوائياً واتجاه اهتزازته في اتجاه اهتزازة الضوء المستقطب الساقط على السطح ا ب ، وأخرى يخرج منها ضوء مستقطب استقطاباً استوائياً ولكن اتجاه الاهتزازة فيه يميل بزاوية قدرها $٢ \times ٤٥ = ٩٠$ درجة على الاتجاه المذكور ، ومواضع يخرج منها ضوء مستقطب استقطاباً اهليلجياً وأخرى يخرج منها ضوء مستقطب استقطاباً دائرياً . فاذا نظر الى الوجه دو . كانت هذه المواضع كالمدينة تخطيطياً بشكل (٢٨٨) ، فاذا فرضنا أن العمود ا يمثل الموضع الذى يكون عنده السمكان متساويين



٢ ط ، ويكون الموضعان ب ١ و ب ٢ اللذين يبلغ اختلاف الطور عندهما ط وهكذا . فاذا نظر الى الوجه دو خلال منشور نكل ، وكان المنشور فى وضع يمنع نفوذ الضوء المستقطب الساقط على السطح ا ب ، فان المواضع المرموز لها بالرموز ا ب ١ و ب ٢ والمواضع الأخرى التى يبلغ عندها اختلاف الطور ٤ ط ب ١ و ب ٢ الخ تظهر مظلمة . واذن تظهر مجموعة هذب مظلمة فى هذه المواضع ، يتخللها ضياء . فاذا أدير المنشور بمقدار قائمة ظهرت مجموعة أخرى من الهذب المظلمة عند ب ١ و ب ٢ والمواضع الأخرى التى يبلغ فيها اختلاف الطور ٣ ط ب ١ و ب ٢ الخ ويتخلل هذه ضياء

٣١٩ - تطبيق مكافئ بابت فى دراسة الاستقطاب الاهليلجى

ولمكافئ بابت تطبيقات هامة ، أخصها تحديد محوري اهليلج الاهتزازة فى الضوء المستقطب استقطاباً اهليلجياً ، وتعيين اختلاف الطور بين المركبتين المتعامدتين للاهتزازة الاهليلجية ،

وايجاد النسبة بين المحورين الاكبر والاصغر لاهليج الاهتزازة

وعند استعمال المكافئ لهذه الغايات ، يجعل المنشور $ا ب ح$ (شكل ٢٨٧) ثابتاً ، والآخر $د ه و$ متصلاً بطرف لولب دقيق مدرج ، بحيث اذا أدير رأس اللولب انزلق المنشور على المنشور الأول ، وأزيج بقدر معلوم . ويثبت عادة أمام السطح $ا ب$ (في الجانب الذى يقع منه الضوء على هذا السطح) خيطان متقاطعان ينظر اليهما من الجانب الآخر ، خلال قطعة عينية ومنشور نكل كما هو مبين بشكل (٢٨٧) . فاذا سقطت عمودياً على السطح $ا ب$ حزمة متوازية من ضوء ذى لون واحد مستقطب استقطاباً استوائياً ، وهي منشور نكل المحال بحيث كان مستواه الرئيسى عمودياً على اتجاه الاهتزازة فى الضوء الساقط ، فان مجموعة الهدب المظلمة التى ترى عند النظر خلال المنشور تبين المواضع التى يبلغ فيها اختلاف الطور بين الاهتزازتين اللتين ينفذان خلال المكافئ $٢ د ه و$. فاذا أدير اللولب المتصل بالمنشور $د ه و$ حتى يجعل الخيطان المتعامدان منطبقين على منتصف احدى الهدب المظلمة ، ثم أدير حتى يجعل الخيطان منطبقين على منتصف الهدبة المظلمة التى تليها ، أمكن ايجاد الازاحة التى تقابل اختلافاً فى الطور قدره $٢ ط$ أوفرقاً فى المسير قدره الطول الموجى ، وكذلك أجزاء هذا ومضاعفاته . وبهذه الكيفية يعاير اللولب المدرج الموجود بالجهاز

ويمكن تحديد الموضع الذى لا يحدث فيه اختلاف ما فى الطور ، ويكون السمكان اللذان يخترقهما الضوء متساويين ، باستعمال الضوء الابيض ، فيكون هذا الموضع هو موضع الهدبة اللالونية المظلمة الوحيدة عند ما ينظر خلال منشور نكل ومستواه الرئيسى عمودى على اتجاه الاهتزازة فى الضوء الساقط . فى حالة الضوء الابيض تختلف المواضع التى يبلغ فيها اختلاف الطور مقداراً معيناً باختلاف الطول الموجى ، بحيث يمتنع نفوذ الضوء الاحمر مثلاً خلال المنشور يكون لون الضوء النافذ متمماً للاحمر وهكذا

فلاستخدام المكافئ لاجاد اختلاف الطور بين المركبتين المتعامدتين لاهليج الاهتزازة فى الضوء المستقطب استقطاباً اهليجياً يعاير الجهاز ويعين الموضع الذى يتساوى فيه السمكان وتجعل نقطة تقاطع الخيطين منطبقة عليه فاذا سقط الضوء المستقطب اهليجياً على السطح $ا ب$

(شكل ٢٨٧) تحللت الاهتزازة الاهليلجية الى مركبتين متعامدتين احدهما موازية للمستوى الرئيسى لأحد المنشورين والاخرى موازية للمستوى الرئيسى للآخر. أى احدهما موازية للمحور الضوئى لأحد المنشورين والاخرى موازية للمحور الضوئى للآخر. وان كان لا يحدث اختلاف فى الطور بين هاتين المركبتين من جراء نفوذهما خلال المنشورين عند ما يكون السمكان متساويين فان بينهما فى الاصل اختلافاً فى الطور ، فلا يكون موضع تساوى السمكين موضع الهدبة المظلمة الوسطى . وانما يكون موضع هذه الهدبة حيث يحدث بين المركبتين من جراء نفوذهما فى المنشورين اختلاف فى الطور يتعادل والاختلاف الموجود بينهما فى الاصل . فاذا حدد الموضع الذى تظهر فيه هذه الهدبة كان البعد بين الموضعين مقيساً بوساطة اللولب هو المقابل لاختلاف الطور الموجود فى الاصل بين المركبتين ، فاذا كان اللولب معياراً أمكن ايجاد قيمة هذا الاختلاف

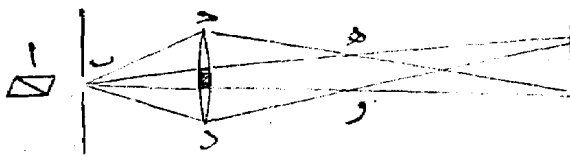
ولتعيين اتجاه كل من المحور الاطول والمحور الاقصر لاهليلج الاهتزازة تهباً نقطة تقاطع الخيطين فى الموضع الذى يكون فيه السمكان متساويين ، ثم يدار اللولب بالمقدار المناسب بحيث تجعل نقطة تقاطع الخيطين فى الموضع الذى يبلغ فيه اختلاف الطور قائمة . فاذا أسقط بعد ذلك على السطح ا ب الضوء المستقطب استقطاباً اهليلجياً . تحللت الاهتزازة الاهليلجية الى مركبتين متعامدتين احدهما موازية للمحور الضوئى فى أحد المنشورين والاخرى موازية للمحور الضوئى فى الآخر فاذا كان المحوران الرئيسيان (الاطول والاقصر) لاهليلج الاهتزازة موازيين للمحورين الضوئيين المذكورين كان اختلاف الطور بين المركبتين فى الاصل قائمة وحيث ينفذ الضوء فى الموضع المحدود بالخيطين المتعامدين يحدث بفعل المنشورين اختلاف فى الطور قدره قائمة ، فاذا تعادل هذا والاختلاف الاصلى بحيث يزول الاختلاف فى الطور بتاتاً ، رؤيت الهدبة المظلمة الوسطى ونقطة تقاطع الخيطين منطبقة على منتصفها . أما اذا لم يكن المحوران الرئيسيان لاهليلج الاهتزازة موازيين للمحورين الضوئيين ولم يحصل هذا التعادل فانه يمكن ادارة المكافئ حتى يهباً فى الموضع الذى تظهر فيه الهدبة المظلمة عند نقطة تقاطع الخيطين فيكون المحوران الضوئيان فى المنشورين موازيين للمحورين الرئيسيين لاهليلج الاهتزازة

ولايجاد النسبة بين طولى المحورين الرئيسيين لاهليج الاهتزازة يهيا المكافئ في الوضع السابق بحيث يكون المحوران الضوئيان موازيين للمحورين الرئيسيين لاهليج الاهتزازة ويلاحظ وضع منشور نكل المحلل عندما تكون مواضع الهدب المظلمة التي ترى خلاله هي المواضع التي يبلغ فيها الاختلاف الكلى في الطور بين المركبتين (أى الاختلاف الأصيل مضافاً اليه ما يحدث بفعل المكافئ) صفراً أو $\frac{\pi}{2}$ أو π أو $\frac{3\pi}{2}$ أو 2π الخ أو بوجه عام $2\pi n$ ، فالمركبتان تحصلان في هذه الحالة حركة مستقيمة يكون ظل الزاوية بين اتجاهها وبين احدى المركبتين مساوياً النسبة بين اتساعى هاتين المركبتين أى يكون ظل الزاوية بين اتجاهها وبين اتجاه أحد المحورين الضوئيين مساوياً تلك النسبة ، وهى تساوى النسبة بين المحورين الرئيسيين لاهليج الاهتزازة . ونظراً لأن منشور نكل يمنع المحصلة من النفوذ فاتجاه هذه المحصلة يكون عمودياً على المستوى الرئيسى لمنشور نكل

٣٢٠ - التداخل في الضوء المستقطب استقطاباً استوائياً

توضيح العوامل التى يتوقف عليها حدوث التداخل في الضوء المستقطب من المسائل التى بحثها « فرسل » « وارجو »^(١) وعززت القول بأن موجات الضوء موجات عرضية فإذا كان اتجاه الاهتزازة في الشعاع الضوئى عمودياً على اتجاه سير الموجه أى على اتجاه الشعاع فإنه لا ينتظر حدوث تداخل بين شعاعين بحيث يمحو ضوء أحدهما ضوء الآخر في موضع ما الا اذا كان اتجاه الاهتزازة فيهما واحداً . أما اذا كان اتجاه الاهتزازة في أحدهما مائلاً على اتجاهها في الآخر ، فإن الاهتزازتين تحصلان بوجه عام حركة اهليلجية ، فلا يحدث تداخل بالمعنى المعروف

ويمكن دراسة موضوع التداخل في الضوء المستقطب استقطاباً استوائياً بالكيفية المبينة تخطيطياً بشكل (٢٨٩)



(شكل ٢٨٩)

فيتخذ مستقطب ١ كمنشور نكل أو لوح تورمالينى ، بحيث يقع الضوء المستقطب بفعله على

فتحة مستطيلة ضيقة عند ب ، فيسقط بعض الضوء النافذ منها على عدسة لامة مقسمة نصفين
 ح د قد فصل أحدهما عن الآخر بحاجز معتم فتتكون بفعل النصف الأول صورة حقيقية
 للفتحة عند ه ، وبفعل النصف الثاني صورة حقيقية عند و ، وتكون هاتان الصورتان بمثابة
 المصدرين المتداخلين بحيث يحدث من تداخل ضوءيهما هذب تداخل كالمعتاد
 فاذا وضع عند ه و لوحان تورمالينيان مثلاً بحيث كان مستوياهما الرئيسيان متوازيين ،
 حدثت هذب تداخل . أما اذا كان مستوياهما متعامدين فالهذب تنمحي

واذا استبدل باللوحين التورمالينيين لوحان من سبات اسلندا ، ووضعنا بحيث كان مستوياهما
 الرئيسيان متوازيين ، وكان اتجاه الاهتزازة في الضوء المستقطب الواقع على الفتحة موازياً لهما
 أو عمودياً عليهما حدثت هذب تداخل حيث يلاحظ في الحالة الاولى أن الأشعة النافذة من
 اللوحين البلوريين هي الغير المعتادة ، وفي الثانية المعتادة . أما اذا كان اتجاه الاهتزازة في الضوء
 المستقطب الواقع على الفتحة مائلاً على المستويين الرئيسيين ، فإن الأشعة النافذة من كل من
 اللوحين تنقسم قسمين أشعة معتادة واتجاه الاهتزازة فيها عمودى على المستوى الرئيسى ، وأشعة
 غير معتادة ، واتجاه الاهتزازة فيها مواز للمستوى الرئيسى . فتتداخل الأشعة المعتادة من أحد
 اللوحين والأشعة المعتادة من الآخر ، وكذلك الأشعة الغير المعتادة من أحدهما والأشعة الغير
 المعتادة من الآخر دون أن تتداخل الأشعة المعتادة من أحدهما والأشعة الغير المعتادة من الآخر
 واذن تحدث مجموعتان من الهذب تقع احدهما فوق الأخرى . واذا أدير أحد اللوحين بحيث
 يصير المستوى الرئيسى لأحدهما عمودياً على المستوى الرئيسى للآخر ، صار اتجاه الاهتزازة في
 الأشعة المعتادة من أحد اللوحين موازياً لاتجاهها في الأشعة الغير المعتادة من الآخر ، فتتداخل
 الأشعة المعتادة من أحدهما والأشعة الغير المعتادة من الآخر فتحدث مجموعتان من الهذب أيضاً
 ونظراً لأن سرعة الأشعة الغير المعتادة في البلورة السالبة اكبر من سرعة المعتادة ، فإنه يوجد بوجه
 عام فرق في المسير بينهما يترتب عليه أن كلا من مجموعتي الهذب في هذه الحالة تتحول من موضعها
 في الحالة الأولى ، فتزاح بوجه عام احدهما في الاتجاه المضاد للازاحة الحادثة في الأخرى

واستنبط فرسنل وأراجو من بحوثهما في هذا الموضوع النتائج الآتية

(أولاً) أن الشعاعين المستقطبين في اتجاهين متعامدين لا يتداخلان بحيث يمحو ضوء أحدهما ضوء الآخر كما يتداخل شعاعان من الضوء الطبيعي

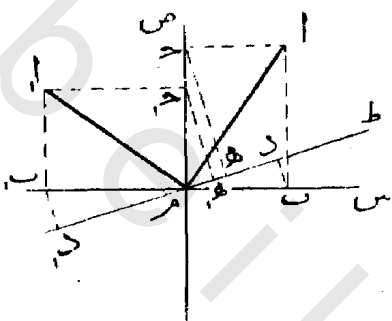
(ثانياً) أن الشعاعين المستقطبين في اتجاه واحد يتداخلان كما يتداخل شعاعان من الضوء الطبيعي

ولكن من التجارب التي أجريها ما استدلا منه على أنه إذا كان الشعاعان المستقطبان مستقطبين في اتجاهين متعامدين ثم جعل استقطابهما في اتجاه واحد (أى كانت اهتزازاهما متعامدين ثم جعلنا في اتجاه واحد) فانهما قد لا يكتسبان بالرغم من هذا خاصية امكان تداخلهما كما يتداخل الشعاعان من الضوء الطبيعي ، الا اذا كان هذان الشعاعان مستمدين في الأصل من شعاع واحد مستقطب استقطاباً استوائياً ، ونظراً لما يبدو في هذه النتيجة من الغرابة بادى الامر ، ولارتباطها بنظرية في ماهية الاهتزازة في الضوء الطبيعي الغير المستقطب نزيدها تفصيلاً فيما يأتي

فالتجربة التي استدلا بها على هذه النتيجة ، جعلنا فيها المصدرين المتداخلين فتحتين متشابهتين كما في تجربة « ينج » (بند ٢١٢) أضيئت احدهما بضوء ينفذ من مجموعة من ألواح الميكا ، وأضيئت الاخرى بضوء ينفذ من مجموعة أخرى ، بحيث كان مستوى السقوط بالنسبة الى احدهما عمودياً على مستوى السقوط بالنسبة الى الاخرى . فنظراً لان هذا الضوء الصادر من الفتحتين يكون في هذه الحالة مستقطباً واهتزازة الضوء الصادر من احدهما عمودية على اهتزازة الضوء الصادر من الاخرى ، فانه لا يحدث هدب تداخل . ولكن اذا وضع في مسير الضوء الواقع على الفتحتين بينهما وبين مجموعة الألواح ، لوح من التورمالين مثلاً ، بحيث يميل مستواه الرئيسى بزاوية قدرها ٥٤ درجة على أحد مستويي السقوط ، فان هذا اللوح ينفذ المركبة الموازية لمستواه الرئيسى ، واذن يكون اتجاه الاهتزازة في الضوء الواقع على الفتحتين واحداً ، فالمنتظر في هذه الحالة أن تحدث هدب تداخل ، ولكن الهدب لا تحدث .

وتعلل هذه النتيجة على اعتبار أن الاهتزازة في شعاع من الضوء الطبيعي ليست مقصورة على اتجاه واحد بل هي في جميع الاتجاهات العمودية على الشعاع ، أى على اعتبار أن شعاع الضوء

الطبيعى كأنه شعاع من ضوء مستقطب استقطاباً استوائياً ولكن اتجاه اهتزاز ته يتغير على الدوام بسرعة كبيرة جداً ، فمثلا اذا فرضنا أن اتجاه الاهتزازة فى الضوء الطبيعى الساقط على ألواح الميكا ، كان فى لحظة ما فى استقامة مـ ١ (شكل ٢٩٠) وكان طول المستقيم مـ ١ ممثلاً اتساع الاهتزازة . وكانت الاهتزازة التى تنفذها احدى مجموعتى الألواح هى الموازية للمحور مـ ١ س والاهتزازة التى تنفذها المجموعة الأخرى هى الموازية للمحور مـ ٢ س



فإذا كان المستوى الرئيسي للوح التورماليني موازياً (شكل ٢٩٠)

للمستقيم مـ ط ، فانه ينفذ من الاهتزازة مـ ب المركبة مـ د ، وينفذ من الاهتزازة مـ ح المركبة مـ هـ ، فيكون اتجاه الاهتزازتين اللتين ينفذهما واحدا واذن تكونان قابلتين للتداخل ، غير أن هذه الحالة لا تدوم ، فاتجاه الاهتزازة في شعاع الضوء الطبيعي يتحول سريعاً من مـ ا الى مـ ا ، في الاتجاه العمودى على مـ ا . فتنفذ في هذه اللحظة احدى مجموعتى الاواح المركبة مـ ب ، وتنفذ الاخرى المركبة مـ ح ، فينفذ لوح التورمالين المركبة مـ د ، والمركبة مـ هـ ، فيكون اتجاه الاهتزازتين اللتين ينفذهما واحداً ، فتكونان أيضاً قابلتين للتداخل ، ولكن الاهتزازة الواقعة على احدى الفتحتين يكون طورها في هذه اللحظة مضاداً لطور الواقعة على الأخرى ، فتكون مواضع الضياء مثلاً في الهدب الحادثة في هذه اللحظة واقعة على مواضع الظلمة في الهدب الحادثة في اللحظة الأولى . ونتيجة حدوث مثل هذا باستمرار وبسرعة أن تختفى معالم الهدب بتاتاً

أما إذا لم يكن اتجاه الاهتزاز في الضوء الساقط على مجموعتي الألواح متغيرا بل كان منطبقا

علی م - ا ، حدثت هذب تداخل

ونستنبط مما سبق النتيجةين الآتيتين

(أولاً) عند الحصول من الضوء الطبيعي على شعاعين مستقطبين في اتجاهين متعامدين

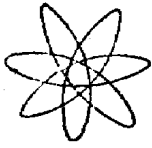
فان هذين الشعاعين اذا جعل استقطابهما فى اتجاه واحد لا يتداخلان ، كما يتداخل شعاعان من الضوء الطبيعى

(ثانياً) عند الحصول من الضوء المستقطب استقطاباً استوائياً على شعاعين مستقطبين فى اتجاهين متعامدين ، فان هذين الشعاعين اذا جعل استقطابهما فى اتجاه واحد ، يتداخلان ، كما يتداخل شعاعان من الضوء الطبيعى

٣٢١ — ماهية الاهتزازة فى الضوء الطبيعى

يتضح مما سبق أنه اذا اعتبرنا الاهتزازة فى الضوء المستقطب استقطاباً استوائياً فى اتجاه واحد فان اتجاهها فى الضوء الطبيعى الغير المستقطب يتغير بسرعة كبيرة جداً ، ومن المعلوم أنه اذا سقط الضوء الطبيعى على منشور نكل فان الضوء النافذ منه يكون مستقطباً استقطاباً استوائياً واتجاه اهتزازته مواز للمستوى الرئيسى للمنشور . فاذا أدير المنشور بسرعة حول نفسه ، بحيث يكون محور الدوران موازياً لاتجاه وقوع الضوء عليه ، فان الضوء النافذ منه يكون مستقطباً استقطاباً استوائياً ، واتجاه اهتزازته يكون متغيراً بسرعة تبعاً لدوران المنشور . ويمكن الاستدلال على أن الضوء النافذ من المنشور الدائر بسرعة تشبه خواصه خواص الضوء الطبيعى الغير المستقطب . فهو ينفذ فى منشور نكل دون أن تتغير شدته من كبر الى صغر تبعاً لدوران هذا المنشور ، وينفذ فى لوح ربع موجى دون أن يتحول الى ضوء مستقطب استقطاباً استوائياً واذا وقع على لوح بلورى يحدث الانكسار المزدوج كلوح من سبات اسلندا مثلاً انقسم مسيره قسمين أشعة معتادة وأشعة غير معتادة ، وتبقى شدتهما واحدة لا تتغير تبعاً لدوران اللوح البلورى . وهذا يعزز اعتبار الضوء الطبيعى الغير المستقطب كأنه ضوء مستقطب استقطاباً استوائياً واتجاه اهتزازته يتغير تغيراً سريعاً مستمراً . ونظراً لأن الاهتزازة المستقيمة هى حالة خاصة من الاهتزازة الاهليلجية ، يمكن تعميم هذه الفكرة واعتبار الضوء الطبيعى كأنه ضوء مستقطب استقطاباً اهليلجياً ، واتجاه المحورين الاطول والاقصر لاهلياج الاهتزازة بل والنسبة بين طوليهما يتغيران تغيراً سريعاً مستمراً . وشكل (٢٩١) يبين اجمالاً مثلاً لما تؤول اليه

الاهتزازة الاهليلجية اذا تغير اتجاه محوري الاهليلج تغيراً منتظماً وشكل (٢٩٢) يبين اجمالاً



مثالاً لما تقول اليه الاهتزازة الاهليلجية اذا تغيرت النسبة بين طولى محوري الاهليلج تغيراً منتظماً . فاذا فرضنا أن هذا الشكل الأخير كان تغيره من الاستقامة الى الاستدارة الى الاستقامة أكثر تدرجاً ، وكان في أثناء ذلك يدور



(شكل ٢٩٢)

بسرعة واستمرار حول محور عمودى عليه ماراً بمركزه ، فانه يمثل بوجه عام

الاهتزازة في شعاع الضوء الطبيعي الغير المستقطب على حسب الاعتبار

المذكور

ولكن من المعلوم أن الحركتين الدوريتين المتعامدتين المختلفتين التردد ، تحصلان حرركات

تكون مسيراتها أشكالاً كالمبينة في شكل (٢٩١ و ٢٩٢) . فاذا راعينا حالة خاصة واعتبرنا للسهمولة

الاهتزازة مستقيمة يتغير اتجاهها باستمرار كما يحدث في حالة الضوء النافذ من منشور نكل

الدائر ، فانها يمكن تحصيلها من مركبتين مستديرتين متضادتي الاتجاه ومختلفتي التردد . فاذا كان

من الممكن تحليل الاهتزازات في الضوء الطبيعي الغير المستقطب الى مركبات مختلفات التردد

كان معنى ذلك أن الضوء الطبيعي الغير المستقطب لا يمكن أن يكون ضوءاً بسيطاً ذا لون واحد

وقد كان « جورج ايرى » ^(١) أول من تنبه الى هذه النتيجة واستخلص منها أن النظرية

المذكورة في ماهية الاهتزازة في الضوء الطبيعي تنفي امكان الحصول على ضوء طبيعي غير

مستقطب يكون بسيطاً ذا لون واحد ، الا اذا كان التغير الحادث في اهليلج الاهتزازة تغيراً فجائياً

لا مستمراً بمعنى أن الاهتزازة تحتفظ بشكل ثابت (اهليلجى مثلاً) مدة من الزمن تحدث فيها

آلاف من الاهتزازات ، ثم يتغير فجأة الى صورة أخرى واتجاه آخر ويلبث ذلك ثابتاً مدة من

الزمن تحدث فيها آلاف من الاهتزازات وهكذا . ولكن يلاحظ أنه اذا كان التغير الطارىء

على الاهتزازة بطيئاً جداً بالقياس الى مدة الاهتزازة ، فيكاد يكون اتجاهها مثلاً ثابتاً لا يتغير

برهة من الزمن تحدث فيها آلاف من الاهتزازات ، أمكن اعتبار الضوء بسيطاً ، لان اختلاف

التردد يكون طفيفاً جداً ليس من المتيسر الاستدلال عليه ، وبما يعزز بقاء الاهتزازة محتفظة

بشكلها واتجاهها مدة من الزمن يحصل فيها آلاف من الاهتزازات ، التجارب التي أجريت في التداخل ، فباستعمال مقياس ميكلسن في التداخل يمكن الحصول على هذب في حالات يباغ فيها فرق المسير بين الاشعة المتداخلة آلاف الطول الموجي . وقد حصل ميكلسن في تجاربه على هذب تداخل حيث بلغ فرق المسير نصف مليون مرة الطول الموجي دالا ذلك على أن الاهتزازة تتكرر هذا العدد من المرات دون أن يتغير شكلها أو اتجاهها ، والا لما حصلت الهذب . وان كان هذا العدد كبيراً ، فان المدة التي تحدث فيها هذه الاهتزازات صغيرة فاذا اعتبرنا الطول الموجي للضوء 6×10^{-5} من السنتيمتر وسرعة الضوء 3×10^{10} سنتيمتر في الثانية ، فان التردد أى عدد الاهتزازات في الثانية يكون مساوياً 5×10^{14} . فتكون المدة التي يحدث فيها نصف مليون اهتزازة مساوية 10^{-9} من الثانية . واذا كان الضوء الطبيعي يلبث مستقطباً استقطاباً استوائياً أو اهليلجياً مدة من الزمن تبلغ من الصغر هذا القدر ، فانه من المحال الاستدلال على ذلك عملياً

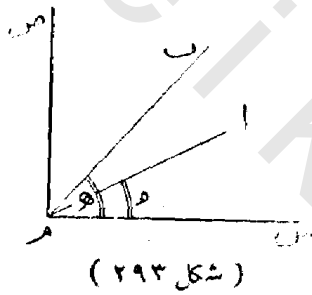
٣٢٢ — ألوان الالواح البلورية الرقيقة — حالة الاشعة المتوازية

اذا نفذ الضوء المستقطب استقطاباً استوائياً خلال لوح من بلورة أحادية المحور ، فان الاهتزازة تتحلل بوجه عام الى مركبتين متعامدتين تنتقلان خلال اللوح بسرعتين مختلفتين . فاذا كان سمك اللوح صغيراً بحيث يكاد لا يكون ثمت انفصال بين الاهتزازتين أو اذا كان الضوء نافذاً في اتجاه عمودى على المحور الضوئى فان الاهتزازتين تحصلان عند نفوذهما من اللوح اهتزازة تكون بوجه عام اهليلجية ، فاذا كان الضوء أبيض كان اختلاف الطور بين المركبتين مختلفاً تبعاً لاختلاف الطول الموجي . فقد يبلغ مثلاً 2π لطول موجى معين ، فتكون محصلة الاهتزازة في هذا الضوء مستقيمة موازية للاهتزازة الاصلية في حين أن الاهتزازة في ضوء آخر قد تكون عمودية عليها أو تكون بوجه عام اهليلجية فاذا اختبر الضوء النافذ من اللوح البلورى خلال منشور نكل موضوع بحيث يكون مستواه الرئيسى عمودياً على اتجاه الاهتزازة الاصلية فانه يمنع من النفوذ الضوء الاول . وينفذ الثانى أو بوجه عام ينفذ مركبة

الاهتزازة الاهليلجية في الاتجاه الموازي لمستواه الرئيسى من الأضواء الأخرى . واذن يكون الضوء النافذ منه ملوناً . وإذا أدير بمقدار قائمة نفذت الأضواء التى امتنع نفوذها في الوضع الاول وامتنع نفوذ ما كان نافذاً .

ويتضح من هذا الشرح العام أن الضوء الذى ينفذه المنشور يكون ملوناً ويتغير لونه تبعاً لدوران المنشور .

وزيادة في التفصيل نراعى هنا أولاً حالة ما تكون أشعة الضوء الواقع على اللوح البلورى متوازية ، ولنفرض أنها تقع عمودياً على اللوح ، ولنفرض أن المحورين م-م س-ص (شكل ٢٩٣) يمثلان اتجاهى المركبتين المتعامدتين اللتين



تتحلل اليهما الاهتزازة عند وقوعها على اللوح البلورى ، ولنفرض أن م-م يمثل اتجاه الاهتزازة في الضوء المستقطب الواقع على اللوح وان م-ب يمثل اتجاه الاهتزازة التى ينفذها

المحلل الذى يختبر الضوء النافذ خلال اللوح البلورى بوساطته ، ولنرمز للزاوية بين م-م و المحور السينى بالحرف هـ وللزاوية بين م-ب والمحور السينى بالحرف هـ . فمثلاً اذا كان المستقطب الذى يحدث استقطاب الضوء الواقع على اللوح منشور نكل يكون م-م موازياً لمستواه الرئيسى واذا كان المحلل الذى يختبر الضوء النافذ من اللوح البلورى بوساطته منشور نكل أيضاً يكون م-ب موازياً لمستواه الرئيسى ، أما الاتجاهان م-م س-ص فيكون أحدهما موازياً للمستوى الرئيسى للوح البلورى والآخر عمودياً عليه .

فاذا فرضنا أن الاهتزازة في الضوء الواقع على اللوح البلورى ازاحتها في لحظة ما ا حـ حـه كانت هذه الازاحة في استقامة م-ا . واذن تكون مركبتها الموازية للمحور السينى ا حـ حـه حـتام ومركبتها الموازية للمحور الصادى ا حـ حـه حـا حـه ، وبما أن هاتين المركبتين تنتقلان في اللوح البلورى بسرعتين مختلفتين ، وهما عند النفوذ منه يكون بينهما اختلاف في الطور ، لنفرض أن المركبة الموازية للمحور الصادى طورها يسبق طور الأخرى بزاوية قدرها هـ ، أى لنفرض أن الازاحة في اتجاه المحور السينى عند وقوع الضوء على المحلل تكون ا حـ حـه حـتام

في حين أن الازاحة في الاتجاه الموازي للبحور الصادي تكون في اللحظة نفسها
 ١ حـ (٢ + ٣) حـ ٤ . فتكون مركبة الأولى في الاتجاه الموازي للمستقيم مـ ب هي
 ١ حـ ٢ حـ ٣ حـ ٤ حـ ، ومركبة الثانية في الاتجاه نفسه هي ١ حـ (٢ + ٣) حـ ٤ حـ .
 ويكون مجموع هاتين المركبتين مساوياً للازاحة في الاهتزازة التي ينفذها المحلل . حيث
 تكون هذه الاهتزازة محصلة المركبتين المذكورتين وهما في استقامة واحدة . فاذا رمزنا لاتساع
 هذه المحصلة بالحرف ϵ ، يتضح بالرجوع الى المعادلة (٤) في بند (١٨١) أن

$$\epsilon^2 = \epsilon_1^2 \cos^2 \theta + \epsilon_2^2 \sin^2 \theta + 2\epsilon_1 \epsilon_2 \cos \theta \sin \theta$$

$$\therefore \epsilon^2 = \epsilon_1^2 \cos^2 \theta + \epsilon_2^2 \sin^2 \theta + 2\epsilon_1 \epsilon_2 \cos \theta \sin \theta$$

$$+ 2\epsilon_1 \epsilon_2 \cos \theta \sin \theta = (\epsilon_1^2 \cos^2 \theta + \epsilon_2^2 \sin^2 \theta + 2\epsilon_1 \epsilon_2 \cos \theta \sin \theta)$$

$$= (\epsilon_1 \cos \theta + \epsilon_2 \sin \theta)^2$$

$$= \epsilon_1^2 \cos^2 \theta + \epsilon_2^2 \sin^2 \theta + 2\epsilon_1 \epsilon_2 \cos \theta \sin \theta$$

ومربع اتساع الاهتزازة مقياس لشدة الضوء ، اذن المقدار المذكور يمثل شدة الضوء النافذ
 من المحلل باعتبار أن له طولاً موجياً معيناً . أما اذا كان الضوء أبيض فان قيمة ϵ تختلف
 تبعاً لاختلاف الطول الموجي ، وبما أن شدة الاضواء ذات الأطوال الموجية المختلفة التي
 يتركب منها الضوء الأبيض ليست واحدة ، فان اتساع الاهتزازة الأصلية ، وهو المقدار ϵ_1 ،
 يختلف هو أيضاً باختلاف هذه الاضواء . واذن الشدة الكلية للضوء النافذ من المحلل تمثل
 بالمقدار الجبري الآتي

$$\epsilon^2 = \epsilon_1^2 \cos^2 \theta + \epsilon_2^2 \sin^2 \theta + 2\epsilon_1 \epsilon_2 \cos \theta \sin \theta \quad (١)$$

وهذا المقدار يتركب من حدين ، الاول لا علاقة له باحداث الألوان ، لأن المقدار ϵ_1
 يمثل مجموع شدات الاضواء ذات الألوان المختلفة التي يتركب منها الضوء الأبيض فهو يمثل
 شدة الضوء الأبيض المستقطب الواقع على اللوح البلوري . وتغير قيمتي الزاويتين θ و ϕ
 لا يغير من شدات الاضواء ذات الألوان المختلفة التي يتركب منها الضوء الأبيض ، بعضها
 دون الآخر ، ولا يغير من نسبتها بعضها الى الآخر ، وإنما يغير من مجموعها ، فيبقى المجموع ضوءاً

ابيض وانما تتغير شدته تبعاً لتغير زاويتي هـ ٦ هـ . أما الحد الثاني فيتضمن اختلاف الطور الحادث بين مركبتى الاهتزازة فى كل واحد من الاضواء التى يتركب منها الضوء الابيض ، وهذا الاختلاف فى الطور ليس واحداً لها جميعاً . واذن فهذا الحد هو الذى يترتب عليه أن يكون الضوء النافذ من المحلل ملوناً

فاذا جعلنا المستقطب والمحلل ثابتين فى موضعيهما وأدركنا اللوح البلورى ، فإن الاتجاهين مـ ا ٦ مـ ب يقيان ثابتين ، ويكون تأثير ادارة اللوح البلورى أن يدور المحوران السيني والصادى ، فتبقى قيمة (هـ - م) ثابتة ولكن تتغير قيمة كل من م ٦ هـ . فاذا راعينا الحالة التى تأخذ فيها قيمة م فى الازدياد من الصفر حتى تصير قيمة هـ قائمة ، فإن حـ ا ٢ م ٦ حـ ا ٢ هـ تكون قيمتهما موجبتين ، وتكون اشارة الحد الثانى من المقدار الجبرى المذكور سالبة ، واذن يكون الضوء النافذ من المحلل ضوءاً أبيض ، قد أنقصت منه أضواء ذات ألوان مختلفة ، بمقادير يختلف بعضها عن الآخر ، فيكون ذلك الضوء النافذ ملوناً بلون خاص . واذا أدير اللوح بعد ذلك حتى تصير قيمة م قائمة فإن حـ ا ٢ هـ تكون قيمتها سالبة ، وتكون اشارة الحد الثانى موجبة ، ويكون الضوء النافذ من المحلل ضوءاً أبيض قد أضيفت اليه أضواء ذات ألوان مختلفة بمقادير يختلف بعضها عن الآخر ، فيكون الضوء النافذ ملوناً أيضاً . ثم يتكرر هذا تبعاً لاستمرار الدوران^(١) . ولكن يلاحظ فى كلتى الحالتين أن اختلاف الطور الحادث بين المركبتين يبقى ثابتاً لا يتغير بدوران اللوح البلورى (على فرض أن الضوء يقع عمودياً على سطح اللوح وأن اللوح يدور حول محور مواز لاتجاه وقوع الضوء عليه) نظراً لأن سمك اللوح البلورى ثابت . واذن فقيمة المقدار مـ حـ ٢ حـ ا ٢ ي تبقى ثابتة (على فرض أن شدة الضوء الاصلى الواقع على اللوح ثابتة) واذن يكون مزيج الالوان الذى يمثله الحد الثانى من المقدار الجبرى ، والذى

(١) لسهولة تتبع الحالات التى يكون فيها الحد المذكور موجبا أو سالبا يستحسن أن يرسم الخطان مـ ا ، مـ ب على قطعة من الورق المعتاد ، ثم يرسم المحوران السيني والصادى على قطعة من الورق الشفاف . وتوضع الثانية على الاولى بحيث تقع نقطة تقاطع الخطين على نقطة تقاطع المحورين ويمرر بهذه النقطة دبوس ، فيثبت بادارة احدى القطعتين بالنسبة الى الاخرى تعيين الحالات المختلفة التى يكون فيها حـ ا ٢ هـ أو حـ ا ٢ م ٦ موجبا أو سالبا

نعتبره قد أنقص مرة من الضوء الأبيض (الذى يمثله الحد الاول) ، وأضيف اليه مرة أخرى هذا المزيج تكون مركباته هي لا تتغير ، وتكون نسبة هذه المركبات بعضها الى الآخر ثابتة ، ويكون أثر تغير قيمتي h و g أن تتغير قيمة المجموع دون أن تتغير نسبة تلك المركبات بعضها الى الآخر . فيبقى اللون من حيث نقيته (أنظر بند ١١٤) واحداً في كل حالة على حدتها ولكنه يكون مشوباً بضوء أبيض ، ويكون تأثير إدارة اللوح البلورى أن يتغير صفاء هذا اللون أى مبلغ تجرده من الضوء الأبيض أو اختلاطه به . وتبلغ قيمة الحد الاول نهايتها العظمى عند ما يكون ($h - g$) صفراً (أى عند ما يكون المستقطب والمحلل فى وضعين متماثلين) وفى هذه الحالة تبلغ شدة الضوء الأبيض الذى يشوب اللون المذكور نهايتها العظمى ، فيبلغ بهق اللون حده الاعلى . أما اذا كان المقدار ($h - g$) مساوياً قائمة (أى كان المستقطب والمحلل متعامدان) فان الحد الاول يعدم فتعدم شدة الضوء الأبيض الذى يشوب اللون ، فيعدم البهق ، ويكون اللون صافياً

وبما أن الاتجاه $h - g$ (شكل ٢٩٣) مواز للمستوى الرئيسى للمحلل g مواز للمستوى الرئيسى للستوى الرئيسى للمستقطب (باعتبار أن كلا منهما منشور نكل) ، فان إدارة أحدهما دون الآخر بمقدار قائمة يغير الحد الاول من المقدار الجبرى المذكور الى

$$h^2 - g^2 \quad (٢١)$$

ويغير إشارة الحد الثانى منه أى يتحول المقدار المذكور الى الصورة الآتية

$$h^2 - g^2 + 2hg \cos 2\phi \quad (٢٢)$$

وبما أن مجموع المقدارين (١) و (٢) يساوى

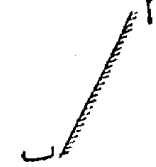
$$h^2 - g^2$$

أى يساوى شدة الضوء الأبيض الواقع على اللوح البلورى ، يتضح أن الضوء النافذ من المحلل فى الوضع الاول يكون هو والضوء النافذ منه فى الوضع الثانى ضوءين متتامين

ولاختبار الظاهرة التى شرحناها فيما سبق يستعمل عادة بولارسكوب نورنبرج (أنظر بند ٢٨٥)

ويوضع اللوح البلورى فوق اللوح الزجاجى المثبت فى الجهاز بين المستقطب وبين المحلل ،

ويفضل أن يكون المحلل المستعمل لهذا الغرض منشور نكل . ومن الممكن استعمال بولارسكوب يكون فيه المستقطب أيضاً منشور نكل . وشكل (٢٩٤) يوضح تركيب جهاز من هذا القبيل ، وهو يتركب من مرآة مستوية ا ب ومنشور نكل ح يستخدم كمستقطب ، وآخر د يستخدم لمحلل ويوضع اللوح البلورى هـ و بينهما . ولاستعمال الجهاز يصوب ضوء السماء مثلاً بالانعكاس عن سطح المرآة ا ب نحو المستقطب ، وينظر خلال



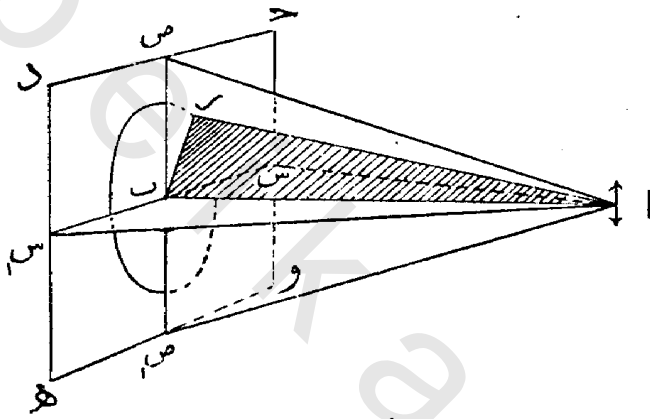
(شكل ٢٩٤)

المحلل والعين غير متكيفة . حيث تكون معدة لاستقبال الاشعة المتوازية ويلاحظ فيما سبق أن يكون اللوح البلورى رقيقاً والا كان فرق المسير الحادث بين الاهتزازة الموازية للمستوى الرئيسى وبين الاهتزازة العمودية عليه كبيراً ، وفي هذه الحالة قد يساوى هذا الفرق n_p بالنسبة الى طول موجى قدره n_p ، ويساوى $(1 + n_p)$ بالنسبة الى طول موجى قدره n_p وهكذا . فاذا أنفذ المحلل الضوء ذا الطول الموجى n_p فهو ينفذ أيضاً الضوء ذا الطول الموجى n_p وهكذا . واذن تنفذ أضواء عدة ذات أطوال موجية مختلفة فيكون الضوء النافذ أبيض . ويشبه ما يحدث في هذه الحالة ، ما سبق ذكره في التداخل عند استعمال الضوء الأبيض ، وعند ما يكون فرق المسير بين الشعاعين المتداخلين كبيراً

٣٢٣ — ألوان الألواح البلورية الرقيقة — حالة الاشعة الممومة

في هذه الحالة نراعى ما يحدث عند ما تكون الاشعة الساقطة على اللوح البلورى على هيئة حزمة مخروطية الشكل ، وليست متوازية كما في الحالة السابقة ، ولنفرض أن اللوح البلورى من بلورة أحادية المحور ، وانه مقطوع بحيث يكون محوره عمودياً على سطحه ، ولنفرض أن الضوء المستقطب الواقع على اللوح ذلون واحد ، وانه على هيئة حزمة مخروطية الشكل صادرة من نقطة مثل ا (شكل ٢٩٥) ، وان الحزمة الضوئية تقع على اللوح البلورى ح د هـ و ، وهو موضوع في وضع رأسى وسطحه الواقع عليه الضوء عمودى على المحور الضوئى ، وان المستقيم ا ب (وهو محور الحزمة الضوئية) ينطبق امتداده على المحور الضوئى

ولنفرض أن اتجاه الاهتزازة في الضوء الواقع على اللوح البلورى رأسى ، كالمبين بالشكل . فالاشعة التى تكون اهتزازتها فى المستوى الرئيسى أو عمودياً عليه ، تنفذ خلال اللوح البلورى دون أن يطرأ على اتجاه اهتزازتها تغير ما . وبما أن الأشعة التى تقع فى المستوى الرأسى $ا ص ب$ ، يكون هذا المستوى بالنسبة اليها جميعاً هو المستوى الرئيسى ، واهتزازتها جميعاً واقعة فى هذا المستوى ، اذن تنفذ جميعها دون أن يحدث تغير ما فى اتجاه اهتزازتها . وبما



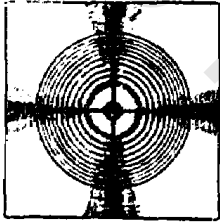
(شكل ٢٩٥)

أن الأشعة التى تقع فى المستوى الأفقى $ا س ب$ ، يكون هذا المستوى بالنسبة اليها هو المستوى الرئيسى ، واهتزازتها عمودية عليه ، فهى أيضاً تنفذ دون أن يحدث تغير ما فى اتجاه اهتزازتها . واذن فالاشعة الواقعة فى

هذين المستويين اذا أنفذت ، بعد نفوذها من اللوح البلورى ، خلال منشور نكل يستعمل كمحلل ، وكان مستواه الرئيسى رأسياً ، فانه ينفذها جميعها ، أما اذا كان مستواه الرئيسى أفقياً فانه لا ينفذها .

واذا راعينا شعاعاً ليس واقعا فى أحد المستويين المذكورين كالشعاع $ا ر$ ، فان المستوى الرئيسى بالنسبة اليه يكون المستوى $ا ب ر$ ، وبما أن الاهتزازة رأسية ، فهى تتحلل الى مركبتين احدهما فى هذا المستوى والاخرى عمودية عليه ، وهاتان تنفذان فى اللوح البلورى فى اتجاه لا ينطبق على المحور الضوئى . فهما تنتقلان خلاله بسرعتين مختلفتين ، فاذا وصلتا الى السطح الآخر للوح البلورى ، كان بينهما اختلاف فى الطور . والاختلاف الحادث فى الطور بين المركبتين يتوقف على ميل الشعاع $ا ر$ بالنسبة الى العمود $ا ب$ ، فالمحل الهندسى للنقط التى مثل $ر$ والتى يكون اختلاف الطور الحادث لديها واحداً ، هو محيط دائرة مركزها $ب$. والسلك الذى يخترقه شعاع مثل الشعاع $ا ر$ يزداد كلما بعدت نقطة $ر$ عن نقطة $ب$. وزيادة السمك يترتب عليه زيادة اختلاف الطور .

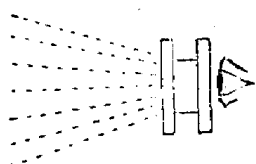
واذن اذا كان الضوء بسيطا ذا طول موجى واحد فان هناك دائرة مركزها ب يبلغ اختلاف الطور بين مركبتى الاهتزازة للاشعة الصادرة من ا والتي تقع عند محيط هذه الدائرة ٢ ط ، فتحصلان اهتزازة مستقيمة فى اتجاه الاهتزازة الاصلية ، وحول هذه الدائرة دائرة أخرى يبلغ اختلاف الطور بين مركبتى الاهتزازة للاشعة التى تقع عند محيطها ٤ ط ، فتحصلان أيضا اهتزازة مستقيمة فى اتجاه الاهتزازة الاصلية ، وهكذا . فاذا اختبر الضوء النافذ من اللوح البلورى بوساطة منشور نكل يستعمل كمحلل ، وكان موضوعا بحيث لا ينفذ الاهتزازة الاصلية ظهرت حلقات متحدة المركز من ضياء وظلمة كما هو مبين بشكل (٢٩٦) تدل مواضع



الظلمة فيها على الحالات التى يبلغ فيها اختلاف الطور بين مركبتى الاهتزازة ٢ ط ٤ ط ٦ ط الخ حيث يكون اتجاه الاهتزازة النافذة من اللوح موازيا لاتجاه الاهتزازة الاصلية ، وعلاوة على هذه الحلقات يظهر صليب كالمبين بالشكل ضلعا مظللمان هو الحادث من امتناع نفوذ الاشعة الواقعة فى (شكل ٢٩٦) المستويين ا ص ب ا ص ا ٦ ا س ب س ا (شكل ٢٩٥) واذا أدير المحال بمقدار قائمة تبدلت مواضع الظلمة ضياء ومواضع الضياء ظلمة

أما اذا كان الضوء أبيض ، فنظراً لأن السمك اللازم لاجداث اختلاف فى الطور قدره ٢ ط مثلاً للاشعة البنفسجية غيره للاشعة الحمراء ، فان الحلقات تكون ملونة ، أما الصليب فيبقى لالونياً . وتسمى الحلقات التى تتكون فى هذه الظاهرة « هدبا » وتسمى أحيانا المنحنيات ذات اللون الواحد

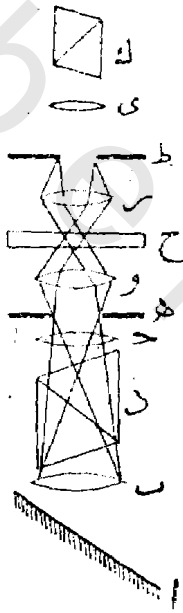
ومن أبسط الاجهزة لرؤية الحلقات والصليب جهاز ماسك التورمالين (بند ٢٨٣) حيث يوضع اللوح البلورى (ويكون محوره عموديا على سطحه) بين اللوحين التورمالينين ، وينظر خلالها الى ضوء السماء والعين قريبة جدا من اللوحين . ففي هذه الحالة تكون الاشعة الواقعة على انسان العين على هيئة حزمة مخروطية زاوية المخروط فيها متسعة كما



هو مبين بشكل (٢٩٧)

ويستعمل عادة بولارسكوب كالمبين بشكل (٢٩٨) وفيه ا (شكل ٢٩٧)

مرآة مستوية تعكس ضوء السماء نحو الجهاز، فتم الاشعة بواسطة العدستين ب ٦ > عند فتحة مستديرة في الحاجز ه ، وتنفذ في أثناء ذلك خلال منشور نكل مستقطب هو المدلول عليه بالحرف د . والفتحة المستديرة في الحاجز ه ، موضوعة في المستوى البؤرى لعدسة لامة و . فالاشعة المتجمعة في النقط المختلفة من الفتحة المذكورة تنفذ خارجة من هذه العدسة



متوازية فتخترق اللوح البلورى ح في اتجاهات مختلفة ثم تلم بعد ذلك بواسطة عدسة لامة ر على فتحة مستديرة في حاجز ط . وبالجهاز عدسة أوقطعة عينية ي لتكبير الصورة الحادثة عند ط ومحلل ك

٢٣٤ - دوران مستوى الاستقطاب

إذا هيء مستقطب ومحلل كمنشورى نكل أو كوحين من التورمالين ، بحيث كانا متعامدين فيمنع المحلل الضوء المستقطب من النفوذ خلاله ، ثم أتى بلوح من الكوارتز مثلاً ، مقطوع بحيث يكون سطحه عمودياً على المحور الضوئى ، ووضع اللوح بين المستقطب والمحلل بحيث يقع الضوء (شكل ٢٩٨) عمودياً على سطحه فينفذ فيه في اتجاه المحور ، فإنه يشاهد أن المحلل ينفذ بعض الضوء خلاله ، حتى إذا كان الضوء ذا لون واحد ، وأدير المحلل بزاوية معينة امتنع نفوذ الضوء فيه مرة أخرى

ونفذ الضوء خلال اللوح البلورى في اتجاه المحور الضوئى لا يكون مصحوباً بانكسار مزدوج . وامتناع الضوء النافذ من اللوح البلورى من النفوذ خلال المحلل بعد أن يدار بزاوية معينة ، يدل على أن الضوء النافذ من اللوح البلورى لا يزال ضوءاً مستقطباً استقطاباً استوائياً ولكنه يختلف عنه قبل وقوعه على اللوح في أن اتجاه الاهتزازة أو مستوى الاستقطاب قد تغير . ولذلك تسمى الظاهرة ظاهرة « دوران مستوى الاستقطاب »^(١) وتسمى أحياناً ظاهرة « الاستقطاب الدوراني »^(٢) . والزاوية التي يدور خلالها مستوى الاستقطاب ، أو اتجاه

الاهتزازة، تسمى « زاوية الدوران »^(١)، وتساوى الزاوية بين المستوى الرئيسى للمحلل عند منعه الضوء المستقطب من النفوذ قبل وضع اللوح، وبين المستوى الرئيسى له عند منعه الضوء المستقطب من النفوذ بعد وضع اللوح

وأول من كشف هذه الظاهرة « اراجو » وذلك فى سنة ١٨١١ وهى تحدث فى بعض البلورات كالكوارتز ولا تحدث فى باورات إسبات اسلندا مثلاً. وتسمى الباورات التى تحدث فيها « البلورات ذات الفعل الضوئى » أو بايجار « الباورات الفعالة »^(٢). ودلت التجارب على أن اتجاه الدوران يختلف فى بعض الباورات عنه فى الأخرى. فإذا نظر خلال الباوره الى المصدر الصادر منه الضوء، وكان الدوران فى عكس اتجاه حركة عقرب الساعة تسمى الباوره « يمينى »^(٣) ويقال عن الدوران أنه يمينى أو موجب. أما اذا كان فى الاتجاه المضاد فان الباوره تسمى « يسرى »^(٤) ويقال عن الدوران أنه « أيسر » أو « سالب ». وقد دلت التجارب على أن ضرباً من بلورات الكوارتز أيمن وضرباً منها أيسر. والدوران الحادث بفعل لوح بلورى سمكه مليمتراً يسمى أحياناً « الدوران النوعى »^(٥) للباور

٢٣٥ - قوانين دوران مستوى الاستقطاب

ودرس « بيو »^(٦) ظاهرة دوران مستوى الاستقطاب، واستنبط من بحوثه العملية ثلاثة قوانين، تعرف بقوانين دوران مستوى الاستقطاب، أو بقوانين بيو والقانون الأول ينص على أن زاوية دوران مستوى الاستقطاب تتناسب وسمك اللوح البلورى الفعال أى سمك المادة الفعالة التى يخترقها الضوء والقانون الثانى ينص على أن الزاوية الكلية للدوران الحادث بفعل عدة ألواح من باورات

(١) Angle of Rotation (٢) Optically Active crystals ومن أمثلة البلورات الفعالة باورات

الـ Cinnabar وبلورات Sulphate of Strychnia وبلورات Sulphate of Aethylen-diamin

(٣) Right-Handed أو Dextrogyrate (٤) Left-Handed أو Levogyrate

(٦) Biot

(٥) Specific Rotation

مختلفة تساوى المجموع الجبرى لزوايا دوران هذه الألواح (كل لوح منها على حدة) والقانون الثالث ينص على أن زاوية الدوران تكون أكبر كلما كان الطول الموجى أقصر ، وتدل نتائج التجارب دلالة تقريبية على أن زاوية الدوران تتناسب عكسياً ومربع الطول الموجى

٣٢٦ - تشتت مستوى الاستقطاب

والقانون الثالث من قوانين يويو يترتب عليه أنه إذا استعمل ضوء أبيض وهيء المستقطاب والمحلل بحيث كانا متعامدين ، ثم وضع اللوح الفعال بينهما ، فإن دوران مستوى الاستقطاب للضوء ذى اللون الأحمر يكون أقل منه للضوء ذى اللون البنفسجى . فإذا أدير المحلل لكي يمنع نفوذ الضوء ، فإنه يبلغ الوضع الذى يمنع عنده نفوذ الأحمر قبل أن يبلغ الوضع الذى يمنع عنده نفوذ البنفسجى . ففي الوضع الاول يتمتع نفوذ الأحمر وتنفذ الاضواء الاخرى الى حد ما ، فيكون لون الضوء النافذ من المحلل ضارباً الى الزرقة . وفي الوضع الثانى يتمتع نفوذ البنفسجى ، وتنفذ الاضواء الاخرى الى حد ما ، فيكون لون الضوء النافذ ضارباً الى الحمرة . أما فيما بين هذا وذاك فيمنع المحلل نفوذ الجزء الاوسط فيما بين الأحمر والبنفسجى من الطيف وينفذ الى حد ما الطرفين ، فيكون لون الضوء النافذ قرمزياً أو بنفسجياً أغبر^(١) . وتسمى هذه الظاهرة أحياناً « تشتت مستوى الاستقطاب »^(٢)

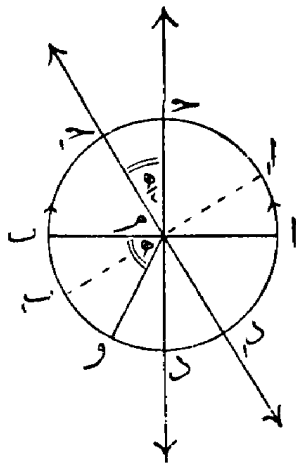
وقد وجد يويو أن اللون القرمزى المذكور يحدث فى وضع معين للمحلل ، بحيث إذا أدير المحلل قليلاً تحول هذا اللون بسرعة الى الحمرة ، أو إذا أدير فى الاتجاه المضاد تحول الى الزرقة . فيمكن إذن تحديد وضع المحلل عند حدوث هذا اللون تحديداً دقيقاً . ولذلك نسمى اللون المذكور « النقبة المحسوسة »^(٣) . وما يلاحظ عند حدوث « النقبة المحسوسة » إن شدة الضوء النافذ من المحلل تكون صغيرة ، لأن الجزء الاوسط من الطيف ، وهو الأصفر الاخضر ، الذى هو أشد أجزاء طيف الضوء الأبيض استضاءة ، يتمتع نفوذه

(١) Grayish Violet (٢) Dispersion of the plane of Polarisation

(٣) سماه يويو « teinte sensible » ويسمى بالانجليزية The tint of passage

٢٣٧ - نظرية فرسنل في دوران مستوى الاستقطاب

تبين في بند (١٨٥) أن الحركة الدورية البسيطة (التوافقية البسيطة) يمكن تحليلها إلى حركتين مستديرتين متساويتى المدة والاتساع وفي اتجاهين متضادين ، كما أن الحركتين اللتين من هذا القبيل تحصلان حركة دورية بسيطة . ولشرح ظاهرة دوران مستوى الاستقطاب ذهب فرسنل إلى أن الاهتزازة المستقيمة في الضوء الواقع على اللوح الفعّال تتحلل إلى مركبتين مستديرتين في اتجاهين متضادين ، تنتقلان في اتجاه المحور بسرعتين مختلفتين . فإذا ما وصلتا إلى السطح الثانى للوح يكون بينهما اختلاف في الطور ، فتحصلان اهتزازة مستقيمة ، ولكن اتجاهها يكون مائلاً بالنسبة إلى اتجاه الاهتزازة الاولى . فإذا فرضنا أن نقطتي a و b (شكل ٢٩٩) تدوران حول محيط الدائرة التي مركزها m بسرعتين متساويتين في اتجاهين متضادين ، وابتدأت احدهما



من أحد طرفي القطر a ب ، وابتدأت الاخرى من الطرف الآخر فان محصلتهما تكون حركة مستقيمة في استقامة القطر $ح د$ العمودى على a ب ، ويكون اتساعها مساوياً ضعف نصف قطر الدائرة (أنظر بند ١٨٥)

فإذا فرضنا أن الحركة المستديرة التي في عكس اتجاه حركة عقربى الساعة قد سبق طورها طور الاخرى بزاوية ما قدرها $هـ$ فكانت

النقطة التي تتحرك الحركة الاولى عند a مثلاً في حين أن الاخرى

عند $و$ ، حيث تكون الزاوية $ب م و$ مساوية $هـ$ ، ورسمنا $م ب$ منصفاً للزاوية $ب م و$ ، ومددنا $ب م$ حتى يقطع محيط الدائرة عند $ا$ ، فان النقطة التي تتحرك في عكس اتجاه حركة عقربى الساعة تكون عند $ا$ في حين أن الاخرى تكون عند $ب$ ، واذن تكون محصلتهما حركة مستقيمة في اتجاه القطر $ح د$ حيث تكون الزاوية $ح م ب$ مساوية $\frac{1}{2} هـ$ ، ويكون اتساع هذه المحصلة مساوياً ضعف نصف قطر الدائرة

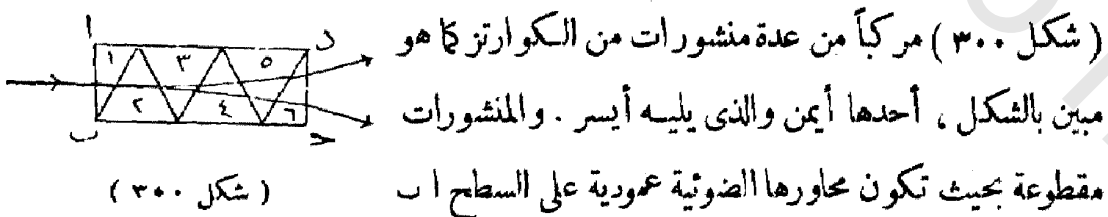
ويتضح من هذا أن الحركة المستقيمة التي في اتجاه $ح د$ اذا حلت إلى المركبتين المستديرتين

المتضادى الاتجاه ، وحدث أن تقدم طور المركبة التى فى عكس اتجاه حركة عقربى الساعة بزاوية ما قدرها θ ، فان المركبتين تحصلان حركة مستقيمة ، اتجاهاً قد أدير (بالنسبة الى اتجاه الحركة المستقيمة الاولى) فى عكس اتجاه حركة عقربى الساعة بزاوية تساوى نصف θ وبالمثل يتضح أنه اذا تقدم طور المركبة التى فى اتجاه حركة عقربى الساعة ، فان اتجاه الحركة المستقيمة يدور فى اتجاه حركة عقربى الساعة بمقدار نصف الزاوية

واذا اعتبرنا أن اتجاه الاهتزازة فى الضوء المستقطب الواقع على عين الناظر قبل نفوذه فى اللوح الفعال هو δ ثم تحول من جراء نفوذه فى اللوح الى الاتجاه δ_1 ، فنظراً لان العين تنظر الى مصدر الضوء خلال اللوح ، فان الدوران على حسب القاعدة المذكورة فى بند (٢٣٤) يعتبر أيمن ، والبلورة تعتبر يمنى ، وتكون المركبة المستديرة التى فى عكس اتجاه حركة عقربى الساعة هى السابقة فى الطور . ونستنبط من هذا أنه على حسب نظرية فرسنىل تكون المركبة المستديرة التى ينطبق اتجاهاها على اتجاه الدوران الحادث فى مستوى الاستقطاب ، هى التى يكون طورها سابقاً ، أى هى التى تنتقل داخل اللوح البلورى فى اتجاه المحور بسرعة أكبر . أى أن سرعة انتقال المركبة المستديرة اليمنى فى اتجاه المحور أكبر فى البلورة اليمنى ، وسرعة انتقال المركبة المستديرة اليسرى فى اتجاه المحور أكبر فى البلورة اليسرى

٣٢٨ — تحقيق نظرية فرسنىل عملياً

وقد استطاع فرسنىل تحقيق نظريته فى أن المركبتين المستديرتين المتضادتين الاتجاه تنتقلان فى اتجاه المحور فى البلورة الفعالة بسرعتين مختلفتين . واتخذ لذلك متوازى مستطيلات ab حد



الذى يصوب عليه الضوء . فاذا فرضنا أن المنشورات المرقومة بالارقام ١ ، ٣ ، ٥ هى من الكوارتز الايمن والمنشورات المرقومة بالارقام ٢ ، ٤ ، ٦ من الكوارتز الأيسر وسقط شعاع من الضوء

المستقطب استقطاباً استوائياً عمودياً على السطح α فان سرعة المركبة المستديرة التي في عكس اتجاه حركة عقرب الساعة بالنسبة الى الناظر خلال المتوازي المستطيلات نحو مصدر الضوء تكون أكبر من سرعة الاخرى في البلورة اليمنى وأقل من سرعتها في البلورة اليسرى .
 فبالنسبة الى المركبة المستديرة التي في عكس اتجاه حركة عقرب الساعة يكون انكسار الضوء عند نفوذه من المنشور (١) الى المنشور (٢) من قبيل الانكسار عند نفوذه من وسط لطيف (أى السرعة فيه أكبر) الى وسط كثيف (أى السرعة فيه أقل) ، فينحرف مسير الشعاع قليلاً نحو قاعدة المنشور (٢) . أما بالنسبة الى المركبة المستديرة التي في اتجاه حركة عقرب الساعة فان انكسار الضوء يكون من قبيل الانكسار عند نفوذه من وسط كثيف (السرعة فيه أقل) الى وسط لطيف (السرعة فيه أكبر) . فينحرف المسير قليلاً نحو رأس المنشور (٢) .
 وعند نفوذ الضوء من المنشور (٢) الى المنشور (٣) ينحرف الشعاع الاول نحو رأس المنشور (٣) وينحرف الثانى نحو قاعدته ، فيزداد الانفراج بين مسيرى الشعاعين حتى اذا تعدد ذلك خرج الشعاعان في النهاية من السطح α منفصلين ، ويكون كلاهما مستقطباً استقطاباً دائرياً واتجاه الحركة المستديرة في المنحرف الى أسفل (شكل ٣٠٠) في عكس حركة عقرب الساعة (وذلك بالنسبة الى الناظر خلال متوازي المستطيلات نحو مصدر الضوء)

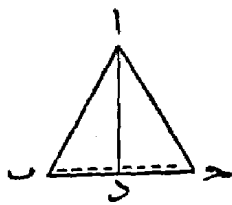
وقد تحقق فرسئل من حدوث الانفصال بين الشعاعين ومن استقطابهما استقطاباً دائرياً كل فى الاتجاه المتفق مع الشرح المذكور

٣٢٩ - منشور كورنو

المنشورات المصنوعة من الكوارتز شائعة الاستعمال فى البحوث الطيفية لا سيما ما يتعلق منها بالاشعة المابعد البنفسجية . وبلورة الكوارتز من البلورات المحدثه للانكسار المزدوج ، وهى من هذه الوجهة تشبه بلورة سبات اسلندا (لولا أن الاولى موجبة والثانية سالبة) ، لذلك يقطع المنشور المصنوع من الكوارتز بحيث يكون مقطعه العرضى العمودى على حرفه الحارفى مثلاً متساوى الضلعين وبحيث يكون المحور الضوئى موازياً لقاعدة هذا المثلث فعند ما يهيا المنشور فى الوضع الذى تكون فيه زاوية انحراف الشعاع النافذ فيه عند نهايتها الصغرى ، يكون

مسير هذا الشعاع موازيا للقاعدة ، ويكون اذن مسيره منطبقا على المحور فيبطل الانكسار المزدوج . ونظراً لان اختلاف سرعتي الشعاع المعتاد والشعاع الغير المعتاد في الكوارتز ليس كبيراً جداً ، فانه اذا مال الشعاع الذى ينفذ في المنشور ميلاً طفيفاً على المحور ، فانفصال الشعاعين أحدهما عن الآخر قد يكون طفيفاً جداً ليس له أثر محسوس . ولذلك اذا استعمل منشور من الكوارتز مقطوع بالكيفية المذكورة ، في سبكتروسكوب وهي المنشور في الوضع الذى تكون فيه زاوية انحراف شعاع من منتصف الطيف عند نهايتها الصغرى فسير هذا الشعاع خلال المنشور ينطبق على المحور فيعدم بالنسبة اليه الانكسار المزدوج ، أما مسار الشعاع من أحد طرفي الطيف مثلاً ، فيكون مائلاً ميلاً صغيراً بالنسبة الى المحور ، وهذا الميل وان كان قد يؤدي الى حدوث انكسار مزدوج محسوس في بلورة من سبات اسلندا ، فهو عادة لا يترتب عليه أى أثر محسوس في حالة المنشور الكوارتزى ، فيبطل الانكسار المزدوج بالنسبة الى أشعة الطيف كلها غير أن للسألة وجهها آخر . فبلورة الكوارتز من البلورات الفعالة ، أى التى تدير مستوى الاستقطاب ، فيكون نفوذ شعاع في اتجاه المحور في المنشور الكوارتزى ، صغوباً بانقسامه قسمين ، كل مستقطب استقطاباً دائرياً واتجاهها الحركة المستديرة فيهما متضادان ، وسرعتا انتقالهما في اتجاه المحور مختلفتان . فلا يكون معامل انكسار أحدهما مساوياً معامل انكسار الآخر واذن لا يكون ثمت وضع واحد تكون فيه زاوية الانحراف عند نهايتها الصغرى

فدفعاً لهذا يركب عادة المنشور الكوارتزى من منشورين ا ب د ١ ٦ ح د (شكل ٣٠١)



(شكل ٣٠١)

زاوية ا فى كل ٣٠ درجة وزاوية د فى كل قائمة ، ويكون أحدهما من الكوارتز الايمن والآخر من الكوارتز الايسر ، والمحور فى كل عمودى على السطح المشترك بينهما وهو ا د . فعند نفوذ الضوء فى المنشور المركب ا ب ح فى اتجاه يوازي قاعدته ب ح ، يكون السهم

الذى يخترقه الضوء فى نصفه واحداً ، والاختلاف الحادث بين السرعتين بفعل أحد النصفين يبطله النصف الآخر . ويعرف المنشور الذى يرسم بهذه الكيفية « بمنشور كورنو » ^(١) نسبة الى مخترعه

٣٣٠ — دوران مستوى الاستقطاب بفعل السوائل والابخرة

وقد دلت التجارب على أن خاصة ادارة مستوى الاستقطاب ليست مقصورة على بعض البلورات كالكوارتز ، وانما هي موجودة لدى بعض السوائل كعطر التربنتينا ، وعطر الليمون والنعناع والكرافية ، وبعض المحلولات كمحلول السكر في الماء ومحلول كبريتات الكينا وغير ذلك وأول من كشف خاصة بعض السوائل والمحلولات في ادارة مستوى الاستقطاب « يو » وذلك في سنة ١٨١٥ وتسمى السوائل والمحلولات التي لها هذه الخاصة بالسوائل أو المحلولات الفعالة

وادارة السوائل والمحلولات لمستوى الاستقطاب صغيرة اذا قيست بادارة الكوارتز مثلاً عند ما يتساوى سمك المادة الفعالة في الحالتين ، ولقياس الدوران الحادث بفعل السوائل أو المحلولات طرق دقيقة سيأتى ذكرها فيما بعد

وقد بينت التجارب أن خاصة ادارة مستوى الاستقطاب في السائل أو المحلول لا تزول اذا مزج السائل أو المحلول بسائل آخر غير فعال لا يتفاعل واياه تفاعلاً كيميائياً ولكن زاوية الدوران تناسب وكمية المادة الفعالة الموجودة ، وبينت التجارب أن السائل يظل محتفظاً بخاصته حتى اذا تحول الى بخار . لذلك تعد الخاصة ، خاصة جزيئية تنتمى الى جزيئات المادة الفعالة فاذا زاد عدد الجزيئات الفعالة في السمك الذى يخترقه الضوء كبرت تبعاً لذلك زاوية دوران مستوى الاستقطاب ، واذا قل ، صغرت الزاوية

ودلت التجارب على أنه عند ما يكون المحلول فعالاً ، والمذيب غير فعال ، فإن المذاب يكون فعالاً اذا وجد في حالة الصلابة ، وكان شفافاً غير متبلور ، لان التبلور عادة مصحوب بالانكسار المزدوج ، وهذا يشوب خاصة الدوران . وقد كانت الوسيلة الى الكشف عن خاصة ادارة بعض الاجسام الصلبة لمستوى الاستقطاب ، أن تذاب هذه الاجسام في مذيبات مناسبة غير فعالة وتختبر المحلولات

ودلت التجارب على أن الكوارتز تزول منه خاصة ادارة مستوى الاستقطاب اذا صهر أو

أذيب في محلول البوتاسا الكاوية ، وهذا يدل على أن الدوران في الألواح البلورية الفعالة ينتمى الى الهيئة التي تترتب بها الجزئيات في البلورة ويزول بزوال هيئة ترتيبها ، في حين أنها في السوائل أو المحلولات تنتمى الى الجزئيات نفسها

٣٣١ - الدوران النوعى والدوران الجزئى

وإذا كانت إدارة مستوى الاستقطاب في السوائل والمحلولات خاصة جزئية تتوقف على عدد الجزئيات الفعالة الموجودة في السمك الذى يخترقه الضوء ، فإن زاوية الدوران في المحلول الفعال تكون متناسبة وسمك المحلول ، ومتناسبة أيضاً وكتلة المذاب الفعال في السنتيمتر المكعب من المحلول . وتسمى زاوية الدوران عند ما تكون كتلة المذاب الفعال في السنتيمتر المكعب من المحلول جراماً واحداً وسمك المحلول ديسيمتراً واحداً تسمى الزاوية في هذه الحالة الدوران النوعى ^(١) اللبادة الفعالة فإذا رمزنا لكتلة المذاب الفعال بالحرف g و لكتلة المذيب غير الفعال بالحرف k ، فإن الجرام الواحد من المحلول يحتوى من المذاب الفعال على كتلة قدرها

$$\frac{g}{k + g} \text{ جراماً}$$

فإذا رمزنا لكثافة المحلول بالحرف n ، ونظراً لان الكثافة هي كتلة وحدة الحجم ينتج أن السنتيمتر المكعب من المحلول يحتوى على كتلة من المذاب الفعال قدرها

$$\frac{n}{k + g}$$

وإذا رمزنا لزاوية الدوران بالحرف d ، و لسمك المحلول أى للسمك الذى يخترقه الضوء مقيساً بالديسيمتر بالحرف s ، فإن

$$d \text{ تناسب } \frac{n}{k + g} s$$

$$\therefore \frac{\theta}{\theta + \kappa} = \omega$$

حيث يكون المقدار ω هو الدوران النوعي للمادة
أما في حالة سائل فعال نقى (كعطر التربينينا) غير ممزوج بآخر ، فإن كتلة المادة الفعالة في
السننيمتر المكعب منه تساوى

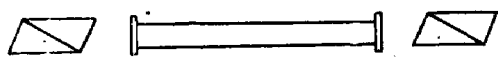
ث

باعتبار أن θ رمز لكثافة السائل
فاذا رمزنا لسمكه مقيساً بالديسمتر بالحرف σ ، ولزاوية الدوران بالحرف θ فإن
 $\theta = \sigma \theta$

حيث يكون المقدار ω هو الدوران النوعي ويساوى في هذه الحالة خارج قسمة زاوية
الدوران عند ما يكون سمك السائل ديسمتراً واحداً على كثافة السائل
وقد دلت التجارب على أن قيمة الدوران النوعي ليست ثابتة تماماً ، فهى بوجه عام تزداد
قليلاً اذا قلت شدة تركيز المحلول ، كما أنها تختلف باختلاف المذيب . وحاصل ضرب الدوران
النوعى فى الوزن الجزيئى للمادة يسمى « الدوران الجزيئى » ^(١)

٣٣٣ - مقاييس السكر

ويستخدم دوران مستوى الاستقطاب فى الصناعة وفى الطب لايحاد كمية السكر فى
المحلولات . وأبسط الاجهزة التى تستخدم لهذه الغاية جهاز يتركب كما بشكل (٣٠٢) من
منشورى نكل أحدهما مستقطب والآخر محلل ، موضوعين على استقامة واحدة ، وبحيث
يمكن أن توضع بينهما أنبوبة اسطوانية الشكل مسدود طرفاها بلوحين من الزجاج ، وهذه تملأ
بالسائل المراد ايجاد شدة دورانه الجزيئى . فاذا
استخدم ضوء ذو لون واحد ، وهى المنشوران



(شكل ٣٠٢)

بحيث يكون مستواهما الرئيسيان متعامدين ، ووضعت بينهما الانبوبة هـ ، فارغة ، او مملوءة بالماء ظل المحلل غير منفذ للضوء ، ولكن اذا وضعت الانبوبة هـ مملوءة بمحلول السكر مثلاً ، أنفذ المحلل بعض الضوء ، ولزمت ادارته بزاوية معينة لكي يمتنع نفوذ الضوء منه . فاذا كان بالمحلل مؤشر يدور حول دائرة مدرجة ثابتة ، أمكن قياس هذه الزاوية

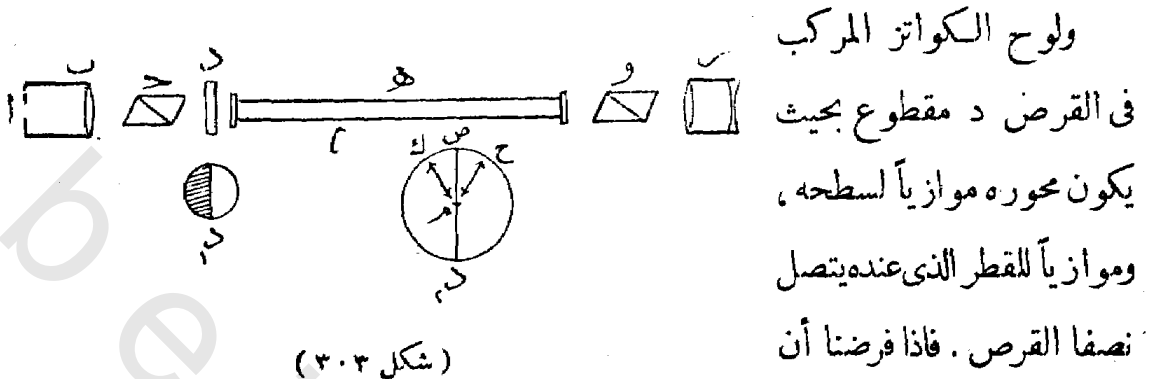
ومما تجب ملاحظته في هذا الشأن أن الزاوية التي يدار خلالها المحلل قد لا تكون مساوية لزاوية دوران مستوى الاستقطاب ، فمثلاً اذا أدير المحلل في عكس اتجاه حركة عقرب الساعة ، بالنسبة الى الناظر خلاله نحو مصدر الضوء ، بزاوية قدرها هـ ، فالدوران قد يكون أيمن وقدره هـ أو قدره بوجه عام $h + \alpha$ ، أو قد يكون أيسر وقدره $h - \alpha$. فدفعاً للالتباس تعاد التجربة بأنبوبة طولها النصف ، أو تعاد بالانبوبة نفسها وانما يخفف المحلول الى نصف شدة تركيزه فيمكن بالمقابلة دفع الالتباس

ولكن مثل هذا الجهاز ، ليس من الدقة على جانب كبير ، فلا يخول استعماله قياس زاوية الدوران بالدقة التي تتطلبها بعض البحوث الحديثة أو تتطلبها الغاية التي من أجلها يراد تقدير كمية السكر في السائل ، لذلك اخترعت أجهزة أخرى دقيقة تسمى « بالسكر مترات »^(١) نسميها مقاييس السكر ، وقد يطلق عليها أحياناً اسم « البولار مترات »^(٢) أو مقاييس الاستقطاب سنأتى فيما يلي على وصف نوعين منها .

٣٣٣ - مقياس لوران - المقياس ذو اللوح النصف الموجي

يتركب مقياس « لوران »^(٣) كما هو مبين بشكل (٣٠٣) من مجمع مكون من فتحة مستديرة ا موضوعة على بعد من عدسة لامة ب مساويعدها البؤرى بحيث اذا أضيئت الفتحة تخرج الاشعة من العدسة متوازية ، فتتخذ خلال منشور نكل ح هو المستقطب ، ثم خلال قرص مستدير شفاف د أحد نصفيه وليكن الايسر (كما هو مبين عند د) من الكوارتز والنصف الآخر من الزجاج ، ثم ينفذ الضوء خلال الانبوبة هـ وهى التي يوضع فيها السائل

ثم خلال منشور نكل و ، وهو المحلل ، ثم خلال قطعة عينية م تصنع عادة على هيئة تلسكوب قصير من النوع المنسوب الى غاليليه ، فيصل الى العين

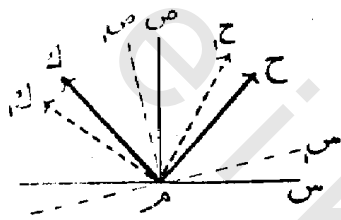


شكل (د) يمثل مظهر القرص د بالنسبة الى الناظر خلال الجهاز نحوه مصدر الضوء ، وكان نصفه الايسر من الكوارتز ، والايمن من الزجاج ، فان محور اللوح الكوارتزي يكون موازياً لسطح القرص وموازياً أيضاً للمستقيم م - ص ، واذن يكون مستواه الرئيسي عمودياً على مستوى الشكل (د) وموازياً للمستقيم م - ص ويثبت هذا القرص في الجهاز عند د بحيث يكون م - ص رأسياً . فاذا وقع الضوء المستقطب على القرص ، وكان اتجاه اهتزازه موازياً للمستقيم م - ح (شكل د) فان الاهتزازة في الضوء النافذ خلال النصف الكوارتزي تتحلل الى مركبتين مستقيمتين ، احدهما عمودية على المستوى الرئيسي وهذه في الكوارتز (نظراً لانه من البلورات الموجبة) أسرع ، والاخرى موازية للمستوى الرئيسي ، وهذه أبطأ . فعند وصولهما الى الوجه الآخر للوح الكوارتزي ، يكون بينهما فرق في المسير أو اختلاف في الطور ، فاذا هيئ سمك اللوح الكوارتزي بحيث يبلغ فرق المسير نصف الطول الموجي أى يبلغ اختلاف الطور π ، فان المركبتين تحصلان اهتزازة مستقيمة في اتجاه كالمين (في شكل د) بالمستقيم م - ك . فاذا رمزنا للزاوية بين اتجاه الاهتزازة الاصلية م - ح ، وبين المستوى الرئيسي للوح الكوارتزي بالحرف θ ، فان الزاوية بين م - ح و م - ص (شكل د) تكون θ ، وتكون مساوية الزاوية بين اتجاه محصلة المركبتين المذكورتين عند خروجهما من الوجه الآخر للوح (وهو الاتجاه م - ك) وبين م - ص . واذن تكون الاهتزازة في الضوء النافذ من النصف الكوارتزي قد أميل بالنسبة الى اتجاه الاهتزازة الاصلية بزاوية قدرها θ . ويسمى اللوح الكوارتزي

الذى يكون سمكه بالقدر الذى يجعل فرق المسير بين المركبتين مساوياً نصف الطول الموجى ،
« باللوح النصف الموجى »^(١) ، ويعرف أيضاً « بلوح لوران »

أما الاهتزازة فى الضوء النافذ خلال النصف الزجاجى فلا يتغير اتجاهها ، وفائدة وجود
اللوّح الزجاجى أن يكون سمكه بالقدر الذى يجعل شدة الضوء النافذ منه مساوية شدة الضوء
النافذ من اللّوح الكوارتزى ، فتكون شدة الضوء النافذ من نصفي القرص الشفاف د واحدة
فاذا فرضنا أولاً أن المادة الفعالة التى تدير مستوى الاستقطاب ، ليست موجودة ، وأدير
المحلل حتى يكون مستواه الرئيسى عمودياً على مـ ص ، أو موازياً له ، فإن المحلل ينفذ فى الوضع
الاول من الاهتزازة مـ ح ، النافذة من النصف الزجاجى المركبة العمودية على مـ ص وكذلك
من الاهتزازة مـ ك النافذة من النصف الكوارتزى المركبة العمودية على مـ ص ، وتكون
المركبتان متساويتين ، وتكون شدة ما ينفذه من الضوء الواقع عليه من نصفي القرص واحدة .
أما فى الوضع الثانى فإن المحلل ينفذ من الاهتزازتين المذكورتين المركبة الموازية للمستقيم مـ ص ،
وتكون شدة ما ينفذه من الضوء الواقع عليه من نصفي القرص واحدة أيضاً . واذا يظهر فى
الحالتين نصفاً المجال مضيئين بشدة واحدة ، فاذا أدير المحلل بزاوية صغيرة عن أحد هذين
الوضعين زادت شدة الاستضاءة فى أحد النصفين وقلت فى الآخر . ويلاحظ أنه اذا كانت زاوية
الواقعة بين اتجاه الاهتزازة النافذة من النصف الزجاجى وبين مـ ص أقل من ٥° درجة ،
ويمكن تغييرها على حسب الارادة بادارة المستقطب ، فإن المركبة التى ينفذها المحلل من كل من
الاهتزازتين عند ما يكون مستواه الرئيسى عمودياً على المستقيم مـ ص تكون أصغر اتساعاً من
المركبة التى ينفذها عند ما يكون مستواه الرئيسى موازياً لهذا المستقيم ، أى تكون شدة الاستضاءة
فى كل من نصفي المجال فى الوضع الاول أصغر منها فى الوضع الثانى وعند المضاهاة بين شدتى
الاستضاءة فإن من السهل على الانسان أن يدرك ما بينهما من التفاوت الصغير اذا كانت الشدتان
صغيرتين . ولذلك يفضل عملياً أن يهيا المحلل بحيث يظهر نصفاً المجال مضيئين بشدة واحدة
ولكنها صغيرة

فاذا وضعت الانبوبة التي تحتوى على المادة الفعالة فى موضعها المبين بالشكل ، فانها تدير مستوى الاستقطاب ، فيدور الاتجاهان م- ح و م- ك ، مع بقاء الزاوية بينهما ثابتة ، فى اتجاه حركة عقرب الساعة أو عكسها ، فلا تكون مركبتا الاهتزازة اللتان ينفذهما المحلل فى وضعه السابق متساويتين ، فيظهر أحد نصفي المجال أكثر ضياء من الآخر ، فاذا أدير المحلل أمكن جعلهما متساوي الضياء ويتضح هذا بالرجوع الى شكل (٣٠٤) فاذا فرضنا أن كلا من الاتجاهين م- ح و م- ك قد أدير فى عكس اتجاه حركة عقرب الساعة بزاوية ح- م- ح =



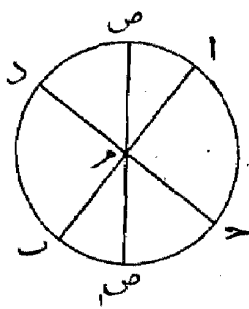
(شكل ٣٠٤)

ك- م- ك ، فان مركبتى الاهتزازتين م- ح و م- ك فى الاتجاه العمودى على م- ص أى فى الاتجاه م- س الموازى للمستوى الرئيسى للمحلل ، لا تكونان متساويتين . فاذا رسم م- ص بحيث تكون زاوية ص- م- ص مساوية ح- م- ح ، ورسم م- س عمودياً على م- ص فان مركبتى م- ح و م- ك فى الاتجاه الموازى للمستقيم م- س ، تكونان متساويتين ، أى اذا أدير المستوى الرئيسى للمحلل من وضعه الأول حتى يصير موازياً للمستقيم م- س ، فان مركبتى الاهتزازة اللتين ينفذهما فى هذا الوضع تكونان متساويتين ، وتكون الزاوية س- م- س التي يدار خلالها المحلل حتى يعود الضياء فى نصفي المجال الى حالته الأولى هي المقابلة لزاوية دوران مستوى الاستقطاب

ولاستعمال الجهاز تضاء فتحة المجمع بضوء ذى لون واحد ، وهو الذى يكون سمك اللوح الكوارتزى بالنسبة الى طوله الموجى بالقدر المناسب . ويهياً التلسكوب الصغير م (شكل ٣٠٣) حتى يرى القرص المستدير د أو بالأحرى الحد الفاصل بين نصفيه واضحاً جلياً . ثم توضع الأنبوبة ه مملوءة بالماء المقطر ويدار المحلل و ، حتى يظهر نصف المجال مضيئاً بشدة واحدة بحيث تكون هذه الشدة صغيرة ليست كبيرة . ثم تملأ الأنبوبة بالسائل أو المحلول الفعال وتوضع مكانها ، ويدار المحلل حتى تعود شدة نصفي المجال الى حالتها الأولى ، فتكون الزاوية التي يدار خلالها المحلل مساوية زاوية دوران مستوى الاستقطاب أو يمكن استخراج قيمة هذه الزاوية منها كما أوضحنا فى البند السابق

٣٣٤ - المقياس ذو الكوارتز الشنائي

يستعمل في هذا المقياس قرص شفاف مركب من نصفين أحدهما من الكوارتز الأيمن والآخر من الكوارتز الأيسر ، مقطوعين بحيث يكون المحور الضوئي في كل عمودياً على السطح فاذا وقع عمودياً على هذا القرص ضوء مستقطب ، أدير مستوى الاستقطاب في الضوء النافذ من أحد النصفين جهة اليمين ، وفي الضوء النافذ في الآخر ، جهة اليسار ، بمقدار يتوقف على سمك اللوح وعلى الطول الموجي للضوء . فاذا جعل سمك اللوح الكوارتزي السمك المناسب بحيث تبلغ زاوية الدوران قائمة بالنسبة الى ضوء من الجزء الأوسط من الطيف (الجزء الأصفر مثلاً) ، وفرضنا أن اتجاه الاهتزازة في الضوء المستقطب الواقع على القرص هو a ب (شكل ٣٠٥) وكان الضوء أبيض ، وكان النصف الأيمن من القرص يدير مستوى الاستقطاب



في اتجاه حركة عقرب الساعة ، والنصف الأيسر يديره في عكس اتجاه حركة عقرب الساعة ، فان اتجاه الاهتزازة في الضوء الأصفر يتحول من جراء نفوذه في النصف الأيمن الى الاتجاه الموازي للمستقيم $م - ح$ ، ويتحول من جراء نفوذه في النصف الأيسر الى الاتجاه الموازي للمستقيم $م - د$ ،

حيث يكون المستقيم $د - م - ج$ عمودياً على $ا - ب$ وأما اتجاه الاهتزازة (شكل ٣٠٥)

في الأضواء ذات الألوان الأخرى فيدور بمقدار أقل من هذا أو أكبر وفقاً للقانون الثالث من قوانين « بيو » . فاذا أنفذ الضوء النافذ من القرص خلال منشور نكل محلل وكان مستواه الرئيسي عمودياً على الاتجاه $ح - د$ ، بحيث يمنع نفوذ الاهتزازة الموازية للمستقيم $ح - د$ ، امتنع نفوذ الضوء من الجزء الأوسط من الطيف ، ونفذت الى حد ما الأضواء الأخرى ، فيظهر كل من نصفي المجال بذلك اللون الخاص الذي أطلقنا عليه اسم « النقبة المحسوسة » (بند ٣٢٦) . أما اذا أدير المحلل قليلاً عن وضعه هذا ، تحولت النقبة المحسوسة في أحد النصفين الى الحمرة ، وفي الآخر الى الزرقة

ويسمى اللوح الكوارتزي المركب من نصفين بالكيفية المذكورة « باللوح الكوارتزي

وبوساطته يتيسر تهيئة المحال في وضع يمكن تحديده تحديداً دقيقاً . ويلاحظ أن مستواه الرئيسي في هذا الوضع يكون موازياً للاتجاه ا ب ، أى لاتجاه الاهتزازة في الضوء المستقطب الواقع على اللوح الكوارتزي المذكور . ويوضع هذا اللوح اما بين المستقطب والمادة الفعالة ، أى موضع اللوح النصف الموجي د (شكل ٣٠٣) ، أو بين المادة الفعالة وبين المحال . فاذا هي المحلل قبل وضع المادة الفعالة بحيث يظهر نصفاً المحال بتلك النقبة المحسوسة ، ثم وضعت المادة الفعالة ، وأدير المحلل في اتجاه الدوران الحادث بفعل المادة الفعالة ، حتى تعود النقبة المحسوسة الى النصفين ، أمكن ايجاد زاوية الدوران بفعل المادة الفعالة

٣٣٥ - ظاهرة فرداي - الدوران المغناطيسي

كشف فرداي سنة ١٨٤٥ أن الاجسام المتشابهة الخواص في جميع الاتجاهات ، كالزجاج مثلاً ، تكتسب من جراء وجودها في مجال مغناطيسي شديد ، خاصة ادارة مستوى الاستقطاب عند ما ينفذ فيها الضوء المستقطب في اتجاه خطوط القوة في المجال المغناطيسي . ولبيان ذلك يستخدم مغناطيسي كهربائي شديد ، ويكون مقوراً كما هو مبين تخطيطياً بشكل (٣٠٦) فاذا وضع قبل امرار التيار في ملفات المغناطيسي الكهربائي لوح من الزجاج مثل ا بين قطبي المغناطيس ،

وأنفذت حزمة متوازية من أشعة ضوء ذر لون واحد خلال منشور نكل ب يستعمل



(شكل ٣٠٦)

كمستقطب بحيث تنفذ خلال اللوح الزجاجي الى منشور نكل آخر - يستعمل كمحلال ، وكان المستوى الرئيسي للمحلال عمودياً على المستوى الرئيسي للمستقطب امتنع نفوذ الضوء من المحلل ، ولكن اذا مر التيار الكهربائي في ملفات المغناطيس شوهد أن المحلل ينفذ بعض الضوء . فاذا قطع التيار امتنع نفوذ الضوء مرة أخرى . واذا أمر التيار وشوهد نفوذ بعض الضوء من المحلل ثم أدير المحلل ، فانه يأخذ وضعاً خاصاً يمتنع فيه نفوذ الضوء منه بالرغم من وجود

المجال المغناطيسى . ويدل ذلك على أن اتجاه الاهتزازة في الضوء المستقطب النافذ خلال كتلة الزجاج في اتجاه خطوط القوة ، يدور بزاوية معينة بفعل المجال المغناطيسى . وإذا أعيدت التجربة بحيث يخترق الضوء المستقطب اللوح الزجاجى في اتجاه عمودى على خطوط القوة شوهد أن الدوران لا يحدث

وتسمى الظاهرة « ظاهرة فرداى » ^(١) ، تعرف أيضاً « بالدوران المغناطيسى » ^(٢) ، وهى تختلف عن دوران مستوى الاستقطاب بفعل المواد الفعالة ، فاتجاه الدوران في هذه المواد يتوقف على اتجاه نفاذ الضوء فيها كما سبق ذكره عند تعريف الدوران الايمن والدوران الايسر . أما في ظاهرة فرداى ، فاتجاه الدوران في المادة الواحدة يتوقف لا على اتجاه الضوء ، وإنما على اتجاه خطوط القوة في المجال المغناطيسى ، بحيث اذا انعكس المجال دون أن ينعكس اتجاه الضوء ، انعكس تبعاً لذلك اتجاه الدوران . كما أنه اذا نفذ الضوء المستقطب خلال المادة ذهاباً في اتجاه خطوط القوة ثم عكس بطريقة ما ، بحيث ينفذ خلال المادة اياباً في استقامة خطوط القوة ولكن في الاتجاه المضاد لها ، فالدوران ذهاباً واياباً يكون في اتجاه واحد نظراً لأن اتجاه خطوط القوة لم يتغير ، فيتضاعف الدوران

وقد دلت التجارب على أن اتجاه الدوران المغناطيسى في بعض المواد يختلف عنه في الآخر . فاذا نظر في اتجاه خطوط القوة وكان الدوران في اتجاه حركة عقرب الساعة سمي موجباً واذا كان في الاتجاه المضاد سمي سالباً . أو اذا اعتبر المجال المغناطيسى حادثاً بفعل تيار كهربائى مار في ملف لولبى فالدوران الذى ينطبق اتجاهه على اتجاه هذا التيار يسمى موجباً ، والدوران الذى في الاتجاه المضاد يسمى سالباً

وأجريت تجارب عدة لاختبار حدوث هذه الظاهرة في المواد المختلفة ، ودلت التجارب على أن الظاهرة عامة تحدث في الأجسام الصلبة والسائلة والغازات اذا ما كانت شدة المجال المغناطيسى كبيرة بالقدر المناسب ، وان الظاهرة أشد ظهوراً في المواد الشديدة الحرف للاشعة الضوئية ، أى التى يكون معامل انكسار الضوء فيها كبيراً كالزجاج الصخرى ، وثانى كبريتورالسربون . وان من

المواد ما يحدث فيها الدوران الموجب كالماء والزجاج وثاني كبريتور الكربون والبنزين والاكسجين وغشاء شفاف من الحديد أو النيكل أو الكوبلت ، ومنها ما يحدث فيها الدوران السالب كأملاح الحديد وكرومات البوتاسيوم وثاني كروماته

وإذا رمز لشدة المجال المغناطيسي بالحرف Q ولسمك المادة بالحرف s ولزاوية الدوران بالحرف h فإن نتائج التجارب تدل على أن

$$h = Q \cdot s$$

حيث يكون s مقداراً ثابتاً للمادة الواحدة ويعرف « بثابت ثرديه » ^(١) وهو مقدار يتناسب عكسياً ومربع الطول الموجي بالتقريب (إلا إذا كانت للمادة مناطق امتصاص ، إذ يشذ المقدار عن الانقياد الى هذا التناسب عند هذه المناطق وبالقرب منها) كما أن المعادلة المذكورة آنفاً لا تنطبق في حالة الأغشية الرقيقة من الحديد أو النيكل أو الكوبلت ، حيث لا تكون زاوية الدوران متناسبة وشدة المجال المغناطيسي . وقد وجد في حالة الحديد أن زاوية الدوران تتناسب وشدة التغطس وانها تبلغ نهاية عظمى عند ما تبلغ شدة التغطس نهايتها العظمى ^(٢)

٣٣٦ — تعليل حدوث الدوران المغناطيسي

إذا فرضنا أن الاهتزازة المستقيمة تتحلل الى مركبتين مستديرتين متساويتين ومتساويتين المدة ولكنهما في اتجاهين متضادين ، وفرضنا أن سرعتي انتقالهما خلال المادة الموضوعة في المجال المغناطيسي في استقامة خطوط القوة مختلفتان ، فإنه يحدث بينهما اختلاف في الطور من جراء نفوذهما خلال المادة ، فيحصلان عند خروجهما منها اهتزازة مستقيمة في اتجاه يميل بزاوية على اتجاه الاهتزازة المستقيمة الأصلية ، فيمكن على النمط الذي اتبعه فرسنل لتعليل دوران مستوى الاستقطاب في البلورات الفعالة ، تعليل الدوران المغناطيسي أيضاً ، ولكن الأخذ بهذه النظرية

(١) Verdet's Constant

(٢) تعرف شدة التغطس بشدة القطب في وحدة المساحات وهي تزداد تبعاً لزيادة المجال المغطس أو المؤثر ولكنها لا تناسب وایاه ، وتبلغ نهاية عظمى حيث يصير الحديد مشبعاً ولايزداد بعده مهما زادت شدة المجال المؤثر

يتطلب بيان أن سرعة انتقال الضوء المستقطب استقطاباً دائرياً خلال المادة الموضوعة في مجال مغناطيسي، سرعة انتقاله في استقامة خطوط القوة تختلف تبعاً لاختلاف اتجاه الاهتزازة المستديرة في الاستقطاب الدائري، أي أن معامل انكسار الضوء المستقطب استقطاباً دائرياً عند نفوذه في استقامة خطوط القوة يكون بالنسبة إلى الضوء الذي اتجاه اهتزازته المستديرة في اتجاه حركة عقوب الساعة، غيره بالنسبة إلى الضوء الذي اتجاه اهتزازته المستديرة مضاد لذلك. وقد أجرى « ريفي »^(١) و « بكرل »^(٢) كل على حدته، تجارب حصل فيها، باستخدام ضوء مستقطب استقطاباً دائرياً على هذب تداخل، وجعل فيها إحدى الحزمتين المتداخلتين تخترق كتلة من الزجاج، موضوعة بين قطبي مغناطيس كهربائي، فدلّت تجاربهما على أن الهذب تتحول عن مواضعها عند مرور التيار في ملفات المغناطيس، وأن اتجاه التحول ينعكس إذا عكس اتجاه الاهتزازة المستديرة في الضوء المستقطب. فتحقق بذلك الفرض الذي تقوم عليه النظرية

٣٣٧ - ظاهرة تاكر

(أولاً) الظاهرة الكهربائية

كشف « كر »^(٣) في سنة ١٨٧٥ أن للجال الكهربائي تأثيراً في الخواص الضوئية للعازلات الشفافة، المتشابهة الخواص في جميع الاتجاهات، كالزجاج وزيت الزيتون مثلاً. واتخذ في تجاربه كتلة من الزجاج، قور فيها في استقامة واحدة وفي اتجاهين متضادين، خرقين طويلين غير متصلين، وجعل سمك الزجاج الفاصل بينهما ربع البوصة، ثم أوج فيهما سلكين متصلين بطرفي ملف رمكرف، ووضع كتلة الزجاج بين منشوري نكل، أحدهما مستقطب والآخر محلل، بحيث ينفذ الضوء خلال كتلة الزجاج فيما بين طرفي السلكين في اتجاه عمودي عليهما، وهياً المنشورين بحيث يكون مستواهما الرئيسيان متعامدين، فيمنع المحلل نفوذ الضوء منه. فشهد عند تشغيل ملف رمكرف أن الضوء ينفذ من المحلل، وأن المحلل لا يمنع نفوذ الضوء منه كيفما أدير. ويدل ذلك على أن نفاذ الضوء المستقطب استقطاباً استوائياً خلال كتلة الزجاج،

وهى موضوعة فى مجال كهربائى يجعل الضوء يتحول بوجه عام الى ضوء مستقطب استقطاباً اهليلجياً ، أى أن كتلة الزجاج تكتسب بفعل المجال الكهربائى خاصية احدث الانكسار المزدوج ، فتتحلل الاهتزازة المستقيمة الى مركبتين تتقلان بسرعتين مختلفتين وتحصلان عند خروجهما اهتزازة تكون بوجه عام اهليلجية . ودلت تجاربه على أن الظاهرة تعدم ، أو تكاد تعدم ، عند ما يكون اتجاه الاهتزازة فى الضوء المستقطب استوائياً النافذ خلال الزجاج ، موازياً لاتجاه المجال الكهربائى بين طرفى السلكين ، أو عمودياً عليه ، وانها تباعغ غايتها فى الوضوح عند ما ينفذ الضوء فى اتجاه عمودى على المجال الكهربائى ويميل اتجاه الاهتزازة بزاوية قدرها ٤٥ درجة على اتجاه المجال ، وانها تستغرق مدة من الزمن فلا تحدث عند أول تشغيل الملف ، أى لا تحدث فجأة عند أول احدث المجال الكهربائى ، بل تستغرق ما يقرب من ثلاثين ثانية قبل أن تبلغ غايتها . وتسمى هذه الظاهرة « الظاهرة الكهربائية لسكر » (١)

(ثانياً) الظاهرة المغناطيسية

اذا سقط على سطح معدنى عاكس شعاع من الضوء المستقطب استقطاباً استوائياً ، أمكن بالتجربة بيان أن الشعاع المنعكس يكون مستقطباً استقطاباً اهليلجياً ، الا اذا كان اتجاه الاهتزازة فى الشعاع الساقط فى مستوى السقوط ، أو عمودياً عليه ، ففي هاتين الحالتين يظل الشعاع المنعكس مستقطباً استقطاباً استوائياً ، ويظل اتجاه الاهتزازة كما كان . وهذا يدل على أنه يحدث عند الانعكاس عن السطح المعدنى اختلاف فى الطور ، وان الاختلاف فى حالة الاهتزازة العمودية على مستوى السقوط غيره فى حالة الاهتزازة الموازية له حتى اذا كان اتجاه الاهتزازة فى الضوء الساقط لا ينطبق على أحد هذين الاتجاهين ، تحللت الاهتزازة الى مركبتين احدهما فى مستوى السقوط والاخرى عمودية عليه ويحدث عند الانعكاس اختلاف فى الطور بينهما ، فيحصلان اهتزازة تكون بوجه عام اهليلجية

وفى سنة ١٨٧٧ كشف « كر » أنه اذا كان اتجاه الاهتزازة فى الشعاع الساقط المستقطب استقطاباً استوائياً فى مستوى السقوط أو عمودياً عليه . ولكنه يسقط على سطح قطب مصقول

لمغناطيس كهربائي شديد . فان اتجاه الاهتزازة في الشعاع المنعكس يكون مائلا بزاوية صغيرة على اتجاه الاهتزازة الأصلية^(١). أى أن الانعكاس في هذه الحالة يكون مقروناً بدوران مستوي الاستقطاب في حين أنه اذا قطع التيار عن ملفات المغناطيس الكهربائي فالانعكاس لا يكون مقروناً بهذا الدوران

ويسمى هذه الظاهرة « الظاهرة المغناطيسية لكر »^(٢)

٣٣٨ - الانكسار المزدوج الحادث عن الانفعال

قد يكتسب الوسط الشفاف المتشابه الخواص في جميع الاتجاهات ، خاصة الانكسار المزدوج بفعل الانفعال الحادث عن اجهاد ميكانيكي واقع عليه . ويمكن بيان ذلك بتجربة يستعمل فيها جهاز بسيط كالبيان بشكل (٣٠٧) يتركب من مكبس صغير ، تكبس بوساطته كتلة



من الزجاج . فاذا وضعت كتلة الزجاج بين منشور نكل مستقطب وآخر محلل ، وكان مستوئهما الرئيسيان متعامدين ، ثم كبست كتلة الزجاج ، شوهد نفوذ الضوء من المحلل ، حتى اذا بطل الانفعال^(٣) بازالة الاجهاد ، عاد المحلل الى عدم انفاذ الضوء . وعند ما يكون الاجهاد شداً بسيطاً أو ضغطاً بسيطاً فان كتلة الزجاج تعمل عمل بلورة أحادية المحور ، ويكون اتجاه الشد أو الضغط مقابلاً للمحور الضوئي . فاهتزازة

الضوء المستقطب استقطاباً استوائياً تتحلل الى مركبتين مستقيمتين تنتقلان (شكل ٣٠٧) خلال الزجاج بسرعتين مختلفتين ، فيحدث بينهما اختلاف في الطور ، وتحصلان عند الخروج اهتزازة تكون بوجه عام اهليلجية ، فيتحول بفعل الزجاج ، الاستقطاب الاستوائي الى استقطاب اهليلجي . واختلاف الطور يختلف باختلاف الطول الموجي ، واذن الضوء الذي ينفذه المحلل عند ما يكون الضوء الساقط على المستقطب أبيض ، يكون ملوناً

(١) الشعاع المنعكس في هذه الحالة يوجد في الحقيقة مستقطباً استقطاباً اهليلجياً ، ولكن نسبة طول المحور الاقصي لاهليلج الاهتزازة الى طول المحور الاطول صغيرة ، فيعتبر الضوء بوجه تقريبي مستقطباً استقطاباً استوائياً

(٢) The Kerr Magnetic Effect

(٣) من الجائز أن يكتسب الزجاج انفعالا مستمراً ، اذا تجاوز الاجهاد حداً معيناً

وأجرى « تندال » تجربة اتخذ فيها لوحاً مستطيلاً من الزجاج ، طوله ستة أقدام ، وعرضه بوصتان وسمكه ربع البوصة ، وجعله مثبتاً عند منتصفه ، ووضعه بين منشوري نكل بحيث ينفذ الضوء خلال اللوح في سبيله من المنشور المستقطب الى المنشور المحلل ، وجعل المستويين الرئيسيين للمنشورين متعامدين وأنفذ خلال المستقطب منهما ضوءاً أبيض . فاذا ذلك اللوح الزجاجي بقطعة مبلولة من القماش اهتزازاً طويلاً ، محدثاً عند منتصفه عقدة . والعقدة هي الموضع الذي يبلغ عنده بالتوالي كل من التضاضط والتخاغل نهايته العظمى . فاذا كان الجزء الأوسط من اللوح هو الواقع بين المنشورين ، أنفذ المحلل ضوءاً ذا لون معين عند حدوث الاهتزازة ، ويمنع نفوذ الضوء عند وقوفها . والضوء النافذ عند حدوث الاهتزازة متقطع ليس مستمر ، لأن اللوح يعود الى حالته الطبيعية في كل مرة يتحول فيها التضاضط الى تخاغل أو التخاغل الى تضاضط ، ولكن نظراً لاستمرار تأثير الشبكية برهة بعد انقطاع الضوء ، يبدو الضوء المتقطع كأنه مستمر . ويمكن باستخدام مرآة دائرة التحقق من أنه متقطع

وكما أن الزجاج الحادث فيه الانفعال يحول الضوء المستقطب استوائياً الى ضوء مستقطب اهليلجيا فهو يحول الضوء المستقطب اهليلجيا الى ضوء مستقطب استوائياً اذا وقع عليه اجهاد مناسب وتطبق الظاهرة لبيان الانفعالات الموجودة في الزجاج ، كالانفعالات الحاصلة من جراه تسخينه الى درجات عالية ثم تبريده تبريداً غير منتظم . ومن أمثلة ذلك حبات الزجاج التي يطلق عليها اسم « قطرات الأمير روبرت »^(١) . ويمكن صنعها باسقاط قطرات من الزجاج المنصهر في الماء ، ففكرات الزجاج التي لا تنهش في أثناء هذه العملية يكون فيها انفعال مستمر ، وتكون لها خاصة احداث الانكسار المزدوج

وتطبق الظاهرة لدراسة كيفية توزيع الاجهادات والانفعالات في القضبان ، وهي مسألة في فن الهندسة لها أهمية كبرى ، ولا يمكن حلها رياضياً الا في الحالات البسيطة جداً . والفكرة الأساسية تتلخص في صنع نموذج من الجسم الذي تقع عليه الاجهادات ، ويصنع من « الزيلونيت »^(٢) وهو وان كان أقل شفافاً من الزجاج ، فانه أكثر منه قبولاً للانضغاط .

وبوضع النموذج بحيث ينفذ خلاله ضوء مستقطب استقطاباً استوائياً. وللحصول على هذا الضوء تهباً عدة مصابيح كهربائية خلف لوح نصف شفاف ، ويستقطب الضوء النافذ من اللوح بعكسه عند سطح لوح اسود من الزجاج . فيمرر هذا الضوء المستقطب بالانعكاس خلال النموذج ، وينظر اليه خلال منشور نكل (محلل) موضوع بحيث يكون مستواه الرئيسي منطبقاً على مستوى الاستقطاب . فأجزاء النموذج الخالية من الانفعال تظهر مظلمة ، والأجزاء الحادث فيها الانفعال تظهر ملونة ، ويختلف لونها تبعاً لاختلاف قدر الانفعال فيها . فاذا ضوئية الألوان بالألوان الحادثة في قضيب يقع عليه اجهاد بسيط معلوم ، أمكن التوصل الى معرفة الاجهادات والانفعالات في النموذج