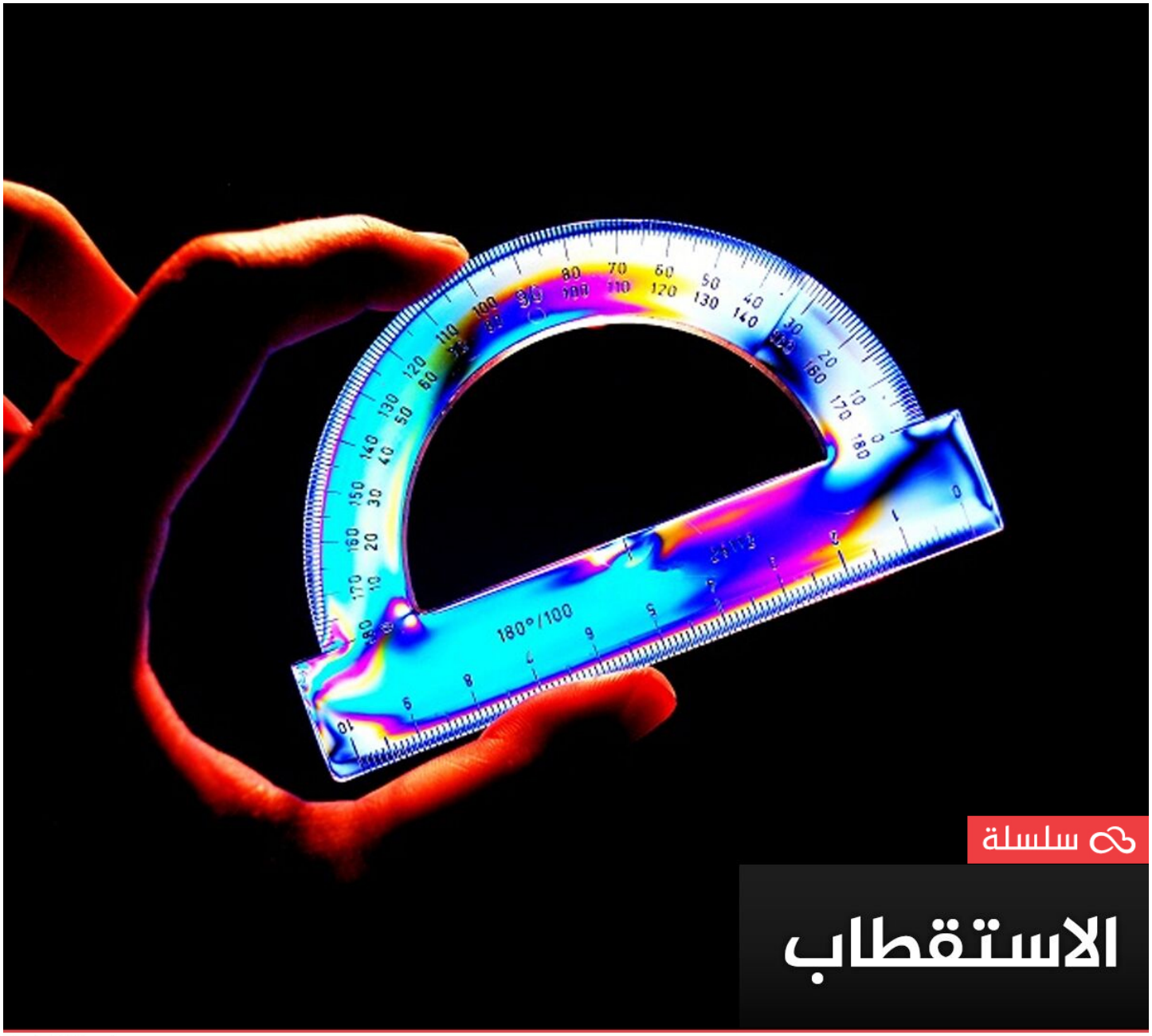
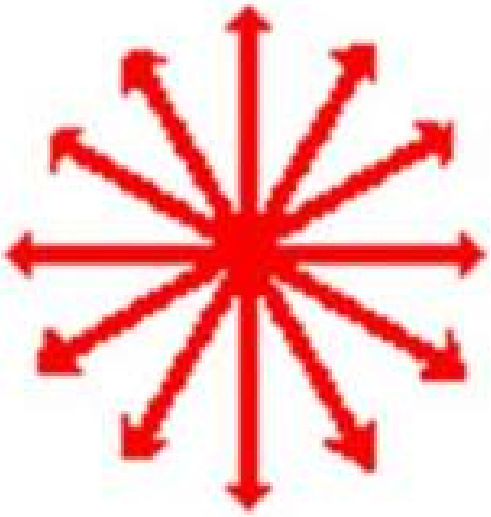
الاستقطاب

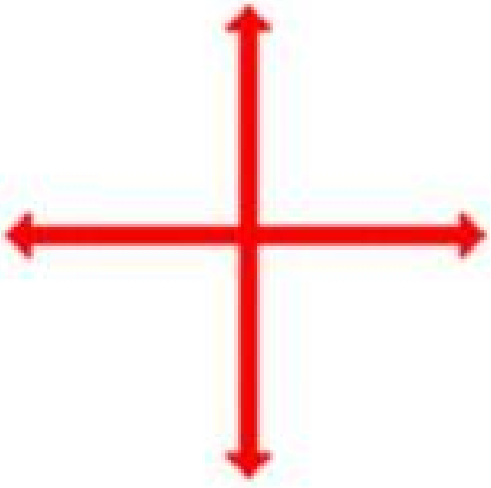


الأمواج الضوئية هي أمواج كهرومغناطيسية، تنتقل في فراغ الفضاء الخارجي. تنتُج الأمواج الضوئية عن الشحنات الكهربائية المهتزة. طبيعة هذه الأمواج الكهرومغناطيسية تقع خارج نطاق الفيزياء المدرسية، ويكفي القول أن الموجة الكهرومغناطيسية هي موجة عرضية تتألف من مكونين: كهربائي ومغناطيسي.

من المعروف أن الموجة الضوئية
تهتز في جميع الاتجاهات



عمومًا يمكن أن تعقب الموجة
الضوئية موجة تهتز في مستويين
أحدهما عمودي والآخر أفقي.



شكل 1

لقول أن الموجة الكهرومغناطيسية هي موجة عرضية تتألف من مكونين: كهربائي ومغناطيسي. تختلف الطبيعة العرضية للموجة الكهرومغناطيسية تمامًا عن أي نمط آخر من الأمواج التي تتناولها دروس الفيزياء. لنفترض أننا نستخدم لعبة النابض، لنمذجة سلوك موجة كهرومغناطيسية، عندما تتجه الموجة الكهرومغناطيسية نحوك، ستلاحظ حدوث اهتزازات النابض على أكثر من مستوى واحد للاهتزاز. في الواقع، هذا يختلف تمامًا عما كنت ستلاحظه لو كنت تنظر على طول النابض وأنت تشاهده يتجه نحوك، إذ أن اضطراب وشائع أو لفات النابض سيحدث للأمام والخلف مع اقترابه، حيث تحدث هذه الاهتزازات على مستوى واحد في الفراغ. فاضطرابات النابض يمكن أن تهتز للأعلى أو الأسفل، يمينًا أو يسارًا. مع ذلك، وبغضّ النظر عن اتجاه اهتزازها، فإنها ستتحرك على طول الاتجاه الخطي نفسه.

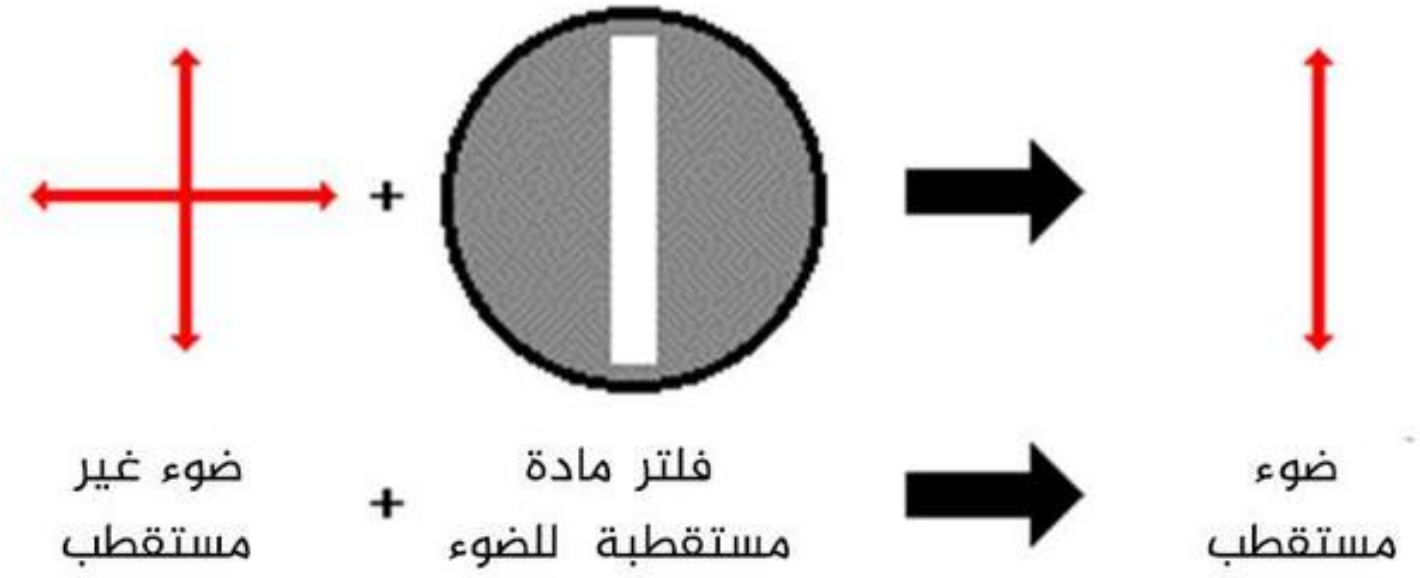
إذا كان النابض عبارة عن موجة كهرومغناطيسية، عندها ستحصل الاهتزازات على مستويات عدة. وبخلاف موجة النابض المعتادة، تحدث الاهتزازات الكهربائية والمغناطيسية لموجة كهرومغناطيسية على مستويات عدة. يشار إلى الموجة الضوئية التي تهتز على أكثر من مستوىً على أنها ضوء غير مستقطب **unpolarized light**. على سبيل المثال، الضوء الصادر عن الشمس أو عن مصباح في غرفة الصف أو عن لهب شمعة، هو ضوء غير مستقطب. تنشأ مثل هذه الأمواج الضوئية عن شحنات كهربائية تهتز في اتجاهات مختلفة، وبالتالي تنشأ عنها الأمواج الكهرومغناطيسية التي تهتز باتجاهات مختلفة. من الصعب تصور هذا المفهوم للضوء غير المستقطب، ولكن إجملاً من المفيد تصور الضوء غير المستقطب كموجة لها ما يعادل نصف اهتزازاتها على المستوى الأفقي ونصف اهتزازاتها على المستوى العمودي.

من الممكن تحويل الضوء غير المستقطب إلى ضوء مستقطب **polarized light**. وأمواج الضوء المستقطب، هي أمواج ضوئية تحدث الاهتزازات فيها في مستوى واحد. عملية تحويل الضوء غير المستقطب إلى ضوء مستقطب تدعى "الاستقطاب" **polarization**. هناك طرق مختلفة لاستقطاب الضوء. الطرق الأربع التي تناولتها هذه الصفحة هي:

- الاستقطاب بالتحويل.
- الاستقطاب بالانعكاس.
- الاستقطاب بالانكسار
- الاستقطاب بالانتثار.

الاستقطاب باستخدام فلتر استقطاب Polaroid Filter:

توظف الطريقة الأكثر شيوعًا لاستقطاب الضوء استخدام فلتر من مادة مستقطبة للضوء. تصنع الفلاتر المستقطبة من مواد خاصة تستطيع حجب أحد مستويي اهتزاز الموجة الكهرومغناطيسية. (تذكر أن مفهوم مستويي الاهتزاز أو الاتجاهين، هو فقط تبسيط يساعدنا على تصوّر الطبيعة الموجية للأمواج الكهرومغناطيسية). تعمل المادة المستقطبة كجهاز يُقصي نصف الاهتزازات لدى انتقال الضوء عبر الفلتر. عند انتقال الضوء غير المستقطب عبر الفلتر، فإنه ينبثق بنصف الكثافة وباهتزازات على مستوى واحد، إنه ينبثق كضوء مستقطب.



شكل 2

يستطيع فلتر الاستقطاب استقطاب الضوء، بسبب التركيب الكيميائي لمادة الفلتر. يمكن اعتبار أن الفلتر مؤلف من سلسلة جزيئية طويلة تصطف داخل الفلتر في اتجاه واحد. أثناء تصنيعه، تُمدّد هذه السلاسل عبر الفلتر، حيث تصطف كل جزيئة ـ فرضًا ـ بالاتجاه الأفقي (قدر الإمكان). عندما يصطدم الضوء غير المستقطب بالفلتر فإنه يمتص الجزء ذي الاتجاه الأفقي من الأمواج. والقاعدة العامة، هي أن الاهتزازات الكهرومغناطيسية التي يوازي اتجاهها صف الجزيئات، هي التي تُمتص.

اصطفاف هذه الجزيئات يعطي الفلتر محور استقطاب **polarization axis**، ويمتد محور الاستقطاب على طول الفلتر ويسمح فقط بعبور اهتزازات الأمواج الكهرومغناطيسية الموازية للمحور. ويعترض الفلتر سبيل أي اهتزازات عمودية على محور الاستقطاب. وبذلك يكون للفلتر ذو الجزيئات طويلة السلاسل المصطفة أفقيًا محورَ استقطاب عمودي. فلتر كهذا، سيعترض كل الاهتزازات الأفقية ويسمح بعبور الاهتزازات العمودية (شاهد الشكل أعلاه). من ناحية أخرى، سيكون لفلتر استقطاب ذو سلاسل جزيئية طويلة مصطفة عموديًا محور استقطاب أفقي، وهذا الفلتر سيعترض سبيل كل الاهتزازات العمودية ويسمح بانتقال الاهتزازات الأفقية.



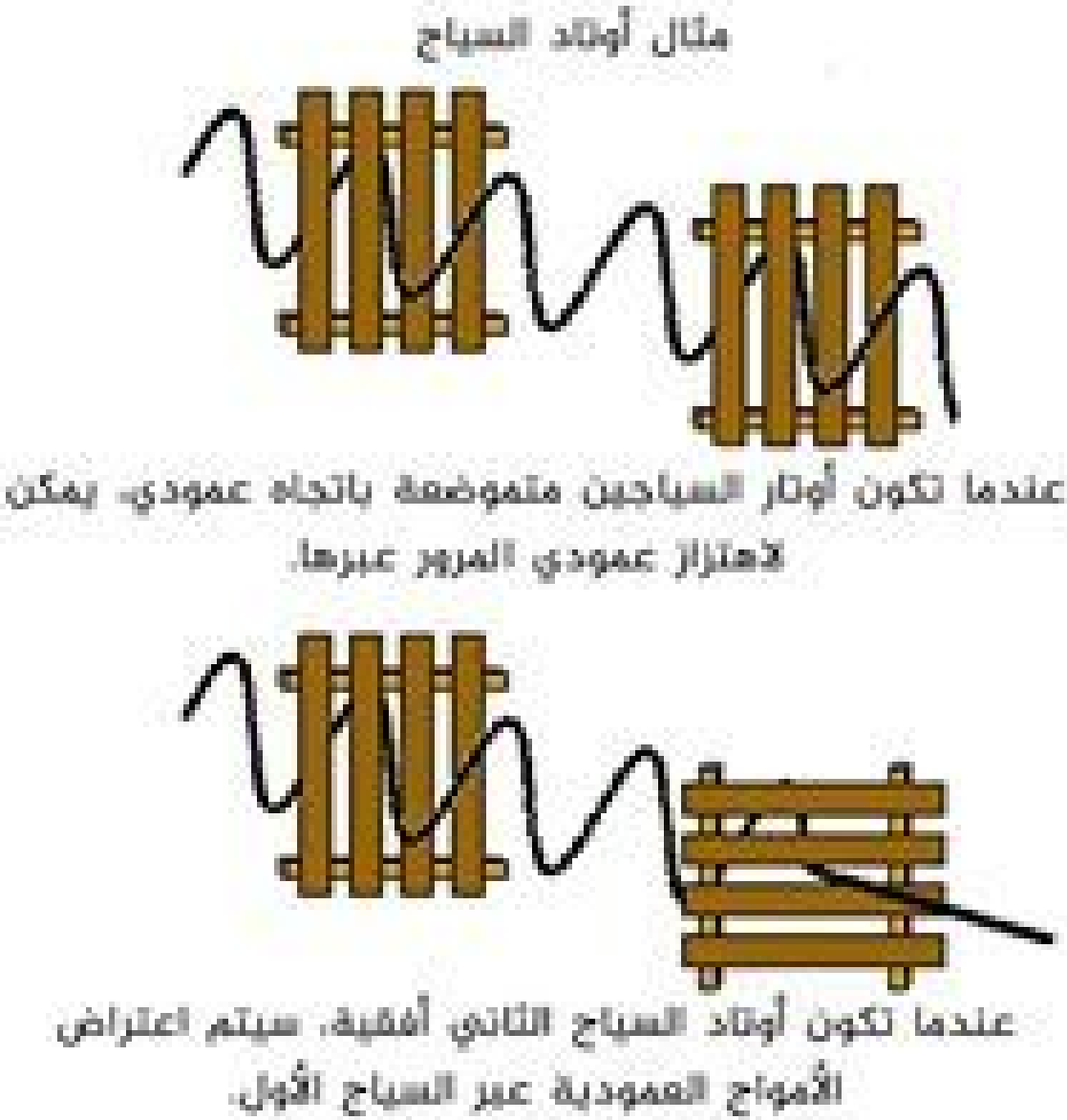
شكل 3

غالبًا ما توضح طريقة استقطاب الضوء باستخدام فلتر الاستقطاب في صف الفيزياء بمختلف الوسائل التوضيحية. تستخدم الفلاتر للنظر عبرها وإظهار الأجسام. ولا تغير الفلاتر مقاييس أو أشكال الأجسام، بل تعمل فقط على إنتاج صورة باهتة للجسم طالما حُجب نصف الضوء المار عبرها. غالبًا ما يوضع زوج من الفلاتر بلصق الجانب الخلفي لكل منهما بالأخر، لعرض الأجسام عبر النظر من خلال اثنين من الفلاتر. وبتدوير الفلتر الثاني، يمكن إيجاد الاتجاه الذي يتم فيه اعتراض كل الضوء من الجسم ولا يعود مرئيًا أبدًا عند عرضه عبر الفلترين. ما الذي جرى؟ في هذا المثال، استُقطب الضوء لدى مروره عبر الفلتر الأول، ومن الممكن أن تكون الاهتزازات العمودية هي التي عبرت فقط. هذه الاهتزازات العمودية تم اعتراضها فيما بعد بواسطة الفلتر الثاني، لأن فلتر الاستقطاب يصطف باتجاه أفقي. وبما أنك لا تستطيع رؤية المحاور في الفلتر، فستعرف أن المحاور متعامدة على بعضها البعض، لأنه بهذا التوجه، يتم اعتراض كل الضوء. وبذلك، وعن طريق استخدام اثنين من الفلاتر، يستطيع المرء حجب الضوء الساقط على المجموعة. ويحدث ذلك فقط عندما تُدور محاور الاستقطاب بحيث تصبح متعامدة على بعضها البعض.



شكل 4

غالبًا ما يستخدم تشبيه السياج الخشبي لشرح كيفية عمل هذه الأمثلة من الفلاتر المزدوجة، حيث يمكن للسياج الخشبي أن يسلك سلوكًا مستقطبًا، بتحويل موجة غير مستقطبة لحبل ما إلى موجة تهتز على مستوي واحد. ستسمح الفراغات بين أوتاد السياج بمرور الاهتزازات الموازية للفراغات عبرها، في حين تمنع مرور الاهتزازات المتعامدة مع الفراغات. ومن الواضح أن الاهتزاز العمودي لن يتاح له عبور فراغ أفقي. إذا صُفّت أوتاد سياجين بحيث تُوجَّه الأوتاد في السياجين باتجاه عمودي، عندها ستعبر الاهتزازات العمودية من السياجين. من ناحية أخرى، إذا صفت أوتاد السياج الثاني أفقياً، عندها سيعترض السياج الثاني سبيل الاهتزازات العمودية التي عبرت السياج الأول. وهذا مصوَّر في الرسم البياني أدناه.



شكل 5

بنفس الطريقة، يقوم فلترا استقطاب موجهين ـ بحيث تتعامد محاور الاستقطاب فيهما ـ بحجب الضوء بأكمله. لقد كان هذا تأمل هادئ وجميل، ولم يكن من الممكن شرحه باستخدام وجهة النظر الجسيمية للضوء.

الاستقطاب بالانعكاس:

من الممكن، أيضًا، أن يخضع الضوء غير المستقطب للاستقطاب عن طريق الانعكاس عن سطح غير معدني. وتعتمد الدرجة التي يحدث عندها الاستقطاب على الزاوية التي يسقط بها الضوء على السطح (الزاوية بين الأشعة الضوئية والسطح) وعلى المادة التي يُصنع منها السطح. تعكس السطوح المعدنية الضوء بمختلف الاتجاهات الاهتزازية. مثل هذا الضوء المنعكس غير مستقطب. ومع ذلك، تعكس

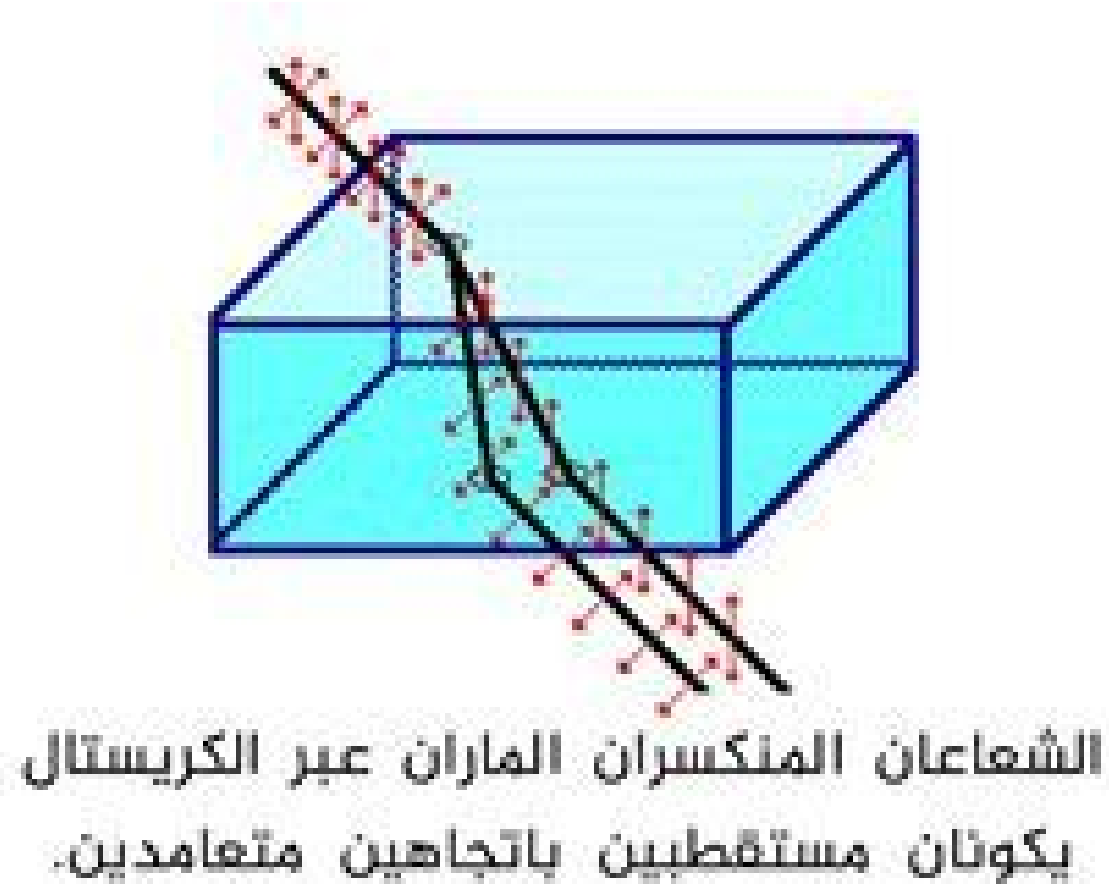
الأسطح غير المعدنية، مثل إسفلت الطرقات والحقول الثلجية والماء، الضوء بطريقة تكون فيها تراكيز كبيرة من الاهتزازات على مستويات موازية للسطح العاكس. بالنسبة لشخص يشاهد الأجسام عن طريق الضوء المنعكس عن أسطح غير معدنية، فإنه سيشاهد توهجًا، إذا كان مقدار الاستقطاب كبيرًا. هذا التوهج مألوف لصيادي الأسماك، إذ إنه يمنعهم من مشاهدة الأسماك في الماء. الضوء الذي ينعكس عن سطح البحيرة مستقطب جزئيًا في الاتجاه الموازي لسطح الماء. ويعلم صيادو الأسماك أن استخدام النظارات الشمسية، التي تقلل التوهج، مع محاور الاستقطاب المناسبة، يسمح باعتراض بعض من هذا الضوء المستقطب جزئيًا. وبحجب مستوى الضوء المستقطب، ينخفض التوهج ويتمكن الصياد من رؤية الأسماك تحت المياه بسهولة أكبر.



شكل 6

الاستقطاب بالانكسار:

وقد يحدث الاستقطاب بانكسار الضوء، أيضًا. إذ أنه يحدث عند عبور الأشعة الضوئية من مادة إلى مادة أخرى. عند السطح بين المادتين، يغير الشعاع طريقه، فكتسب الشعاع المنكسر قدرًا من الاستقطاب. وغالبًا ما يحدث الاستقطاب على مستوي عمودي على السطح.



شكل 7

في معظم الأحيان، يوضح استقطاب الضوء المنكسر في صف الفيزياء، باستخدام بلورة خاصة تعمل بعمل بلورة مضاعفة الانكسار. كريستال أيسلندا **Iceland Spar** (مجموعة متنوعة شفافة من الكالسيت، تُظهر الانكسار المضاعف القوي)، وهو شكل نادر نوعًا ما من فلز الكالسيت، يكسر الضوء الساقط إلى مسارين مختلفين. ينقسم الضوء إلى حزمتين عند دخوله إلى البلورة. ومن ثم، إذا شُهد الجسم عبر النظر من خلال الكريستال، فستُرى صورتين. الصورتان هما نتيجة للانكسار المضاعف للضوء. كلا الحزمتين الضوئيتين المنكسرتين مستقطبتين، واحدة في اتجاه موازٍ للسطح وأخرى في اتجاه متعامد معه. وبما أن هذه الأشعة المنكسرة مستقطبة باتجاهين متعامدين، فمن الممكن استخدام فلتر استقطاب، لحجب أحدى الصورتين تماماً. إذا اصطف محور استقطاب الفلتر عمودياً على مستوي الضوء المستقطب، فسيحجب الفلتر الضوء بالكامل، بينما تبقى الصورة الثانية واضحة. وإذا دُر الفلتر بزاوية 90 في أي من الاتجاهين، فستعود الصورة الثانية للظهور، بينما تختفي الصورة الأولى. الآن، هذه مشاهدة منظمة ليس من الممكن أن تشاهد أبدًا، لو أن الضوء لا يبدي سلوكًا موجيًا.

شاهد ذلك:

في المثال التوضيحي في الفيديو أدناه، كتبت كلمة **PHUN** على لوح زجاجي، على غرار ألواح العرض المدرسية. توضع عينة من الكريستال فوق الكلمة **PHUN**. ستُشاهد صورتين واهيتين للكلمة **PHUN** في الثواني الأولى من الفيلم. تكسر البلورة الضوء الذي يعبرها على نحو مضاعف. وفي الثانية الثامنة، يُوضع فلتر استقطاب فوق البلورة وتُدار. عندما تدور البلورة، تتلاشى إحدى الصورتين بالتناوب

إلى الداخل والخارج، ويصبح الضوء المار عبر البلورة مستقطبًا. وعند تدوير الفلتر، فإنه يحجب ويسمح بعبور أحد مساري الضوء بالتناوب. النتيجة، هي إمكانية رؤية صورتي الكلمة **PHUN**، صورة واحدة في وقت ما. شيء رائع.

الاستقطاب بالانتثار:

يحدث الاستقطاب، أيضًا، بانتثار الضوء عند عبوره وسط ما. عند اصطدام الضوء بذرات مادة، فغالباً ما يجعل إلكترونات هذه الذرات تهتز. فيما بعد، تُنتج هذه الالكترونات المهتزة أمواجها الكهرومغناطيسية الخاصة، التي تشع إلى الخارج في كل الاتجاهات. تصطدم هذه الأمواج المتولدة الجديدة بالذرات المجاورة، فتجبر إلكتروناتها على الاهتزاز عند نفس التردد الأصلي. ثم تُنتج هذه الإلكترونات المهتزة أمواجاً كهرومغناطيسية أخرى تشع ثانية في كل الاتجاهات. تتسبب عملية إمتصاص وإعادة إصدار الأمواج الضوئية هذه في انتشار الضوء حول الوسط. (عملية الانتثار تلك، هي السبب في زرقة سمائنا، وهو موضوع سيناقش لاحقًا). هذا الضوء المنتثر مستقطب جزئيًا. ويشاهد الاستقطاب بالانتثار عندما يمر الضوء عبر غلافنا الجوي. تنتج الأضواء المنتثرة توهجًا في السماوات. ويدرك المصورون أن هذا الاستقطاب الجزئي للضوء المنتثر ينتج عنه صوراً تتميز بسماء باهتة. ومن الممكن تصحيح هذه المشكلة بسهولة، باستخدام فلتر استقطاب. عند تدوير الفلتر، يُحجب الضوء المستقطب جزئيًا وينخفض التوهج. السر الفوتوغرافي وراء التقاط خلفية من سماء زرقاء زاهية لمقدمات جميلة يكمن في فيزياء الاستقطاب وفي الفلاتر.

تطبيقات الاستقطاب:

إلى جانب استخدامها في النظارات الشمسية، التي تخفض التوهج، فإن للاستقطاب استخدامات كثيرة أخرى. في الصناعة، تستخدم فلاتر المادة المستقطبة للضوء لإجراء اختبارات تحليل الإجهاد على البلاستيك الشفاف. لدى مرور الضوء عبر البلاستيك، يستقطب كل لون من الضوء المرئي في اتجاهه الخاص. إذا وضعت مثل هذه القطعة البلاستيكية بين صفيحتي استقطاب، فسيظهر نمط غني بالألوان. عند تدوير الصفيحة العلوية، يتغير نمط اللون عندما تُحجب الألوان الجديدة وتنتقل الألوان التي حُجبت سابقًا. هناك مثال توضيحي فيزيائي مألوف، يتضمن وضع منقلة بلاستيكية بين صفيحتي مادة مستقطبة للضوء، ومن ثم وضعهما أعلى مقدمة جهاز إسقاط. من المعروف أن الإجهاد الهيكلي في البلاستيك يُلاحظ في المواقع التي توجد فيها كميات كبيرة من الحزم الضوئية. وعادة ما يكون هذا الموقع من الإجهاد هو المكان الأكثر احتمالًا لحدوث الخلل البنيوي. ربما وددت لو أن كان هناك تحليل إجهاد أكثر دقة يُجرى على حافظة القرص المدمج الذي اشتريته.

يستخدم الاستقطاب، أيضًا، في الصناعة الترفيهية، لإنتاج وعرض الأفلام ثلاثية الأبعاد. الأفلام ثلاثية الأبعاد، في الحقيقة، هي عبارة عن فيلمين يُعرضان في نفس الوقت عبر جهازي عرض. يُصور الفيلمان من موقعي كاميرا مختلفان قليلًا. فيما بعد، يعرض كل فيلم على حدة على شاشة معدنية من جوانب مختلفة بالنسبة للجمهور. ويُعرض الفيلم عبر فلتر استقطاب. من الممكن أن يكون محور الاستقطاب في فلتر الاستقطاب المستخدم لجهاز العرض الموضوع في الجانب الأيسر مصطفًا بشكل أفقي، في حين أنه من الممكن أن يكون محور فلتر الاستقطاب المستخدم لجهاز العرض الموضوع في الجهة اليمنى أن يكون مصطفًا بشكل عمودي. وبالتالي، ينتج لدينا فيلمان مختلفان قليلًا يتم إسقاطهما على الشاشة. يتشكل كل فيلم من الضوء الذي يستقطب باتجاه متعامد مع الفيلم الآخر. ويرتدي المشاهدون، فيما بعد، نظارات لها فلترا استقطاب. ولكل فلتر محور استقطاب مختلف –أحدهما عمودي والآخر أفقي، ونتيجة هذا الترتيب لأجهزة الإسقاط والفلاتر، هو مشاهدة العين اليسرى للفيلم الذي يُعرض عبر جهاز الإسقاط الأيمن، في حين تشاهد العين اليمنى الفيلم الذي يُسقط من جهاز العرض الأيسر.

شاهد ذلك:

لدينا نموذج من استقطاب الضوء يوفر بعض الدعم الأساسي للطبيعة الموجية للضوء. سيكون من الصعب للغاية شرح ظاهرة الاستقطاب باستخدام وجهة النظر الجسيمية للضوء. يحدث الاستقطاب فقط لموجة عرضية. لهذا السبب، يعد الاستقطاب سبباً إضافياً لنظرة العلماء للضوء على أنه يسلك سلوكًا موجيًا. شاهد ذلك: رسم لمنطاد الهواء الساخن على صفيحة زجاجية. تضاف بعد ذلك شرائط السلوفان إلى هذا النموذج في هذا النموذج يتألف كل قطاع من البالون من شريط يصطف بشكل مختلف تماماً عن القطاعات المجاورة. استخدمت سكين للهواة لإزالة تداخلات الشرائط بحذر الحاصلة بين كل قطاع وما يجاوره من القطاعات. لشرائط السلوفان القدرة على تدوير محور الاستقطاب لأطوال موجية (من الألوان) للكميات المختلفة من الضوء المستقطب.

في المثال التوضيحي، يوضع فلتر استقطاب فوق الصفيحة الزجاجية من نمط لوح صفي أمام العارض. يصبح الضوء مستقطباً لدى مروره عبر فلتر استقطاب ستقوم القطاعات المختلفة من الزجاج المخطط بتدوير محاور الاستقطاب لأطوال الموجات المختلفة لمختلف كميات الضوء. يوضع فلتر ثاني فوق الزجاج المخطط. يسمح الفلتر الثاني بمرور الأطوال الموجية (للألوان) للضوء الذي ينتظم فيه محور الاستقطاب مع المحور الناقل في الفلتر، تحجب أطوال موجية أخرى. وهكذا، تُظهِر قطاعات مختلفة ألوانًا مختلفةً عند النظر إليها من كلا الفلترين.

- التاريخ: 2016-07-03
- التصنيف: اسأل فلكي أو عالم فيزياء

#الاستقطاب #الأمواج الضوئية #الاستقطاب بالانعكاس #الاستقطاب بالانكسار #الاستقطاب بالانتثار

المصادر

- physics classroom

المساهمون

- ترجمة
  - نجوى بيطار
- مُراجعة
  - ريم المير أبو عجيب
- تحرير
  - أنس الهود
  - أسماء إسماعيل
- تصميم
  - نادر النوري
- نشر
  - سارة الراوي