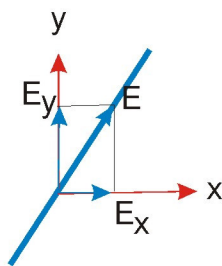


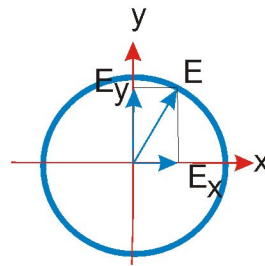
Polaryzacja – własność fali poprzecznej (światło). Fala spolaryzowana oscyluje w wybranym kierunku, niespolaryzowana oscyluje we wszystkich kierunkach jednakowo. Polaryzacja światła wiąże się wyłącznie z wektorem pola elektrycznego.

Umieszczone tutaj ilustracje przedstawiają zmiany położenia punktu dla fali mechanicznej lub wektora pola elektrycznego dla fali elektromagnetycznej (czarny) w czasie oraz jego składowych rzutowanych na dwie prostopadłe osie (czerwony/lewy oraz granatowy/prawy) ustawione pod kątem prostym do płaszczyzny czoła fali. Na dole każdego wykresu kolorem fioletowym oznaczono ruch elementu drgającego.

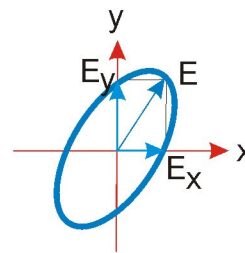
Polaryzacja liniowa



Polaryzacja kołowa



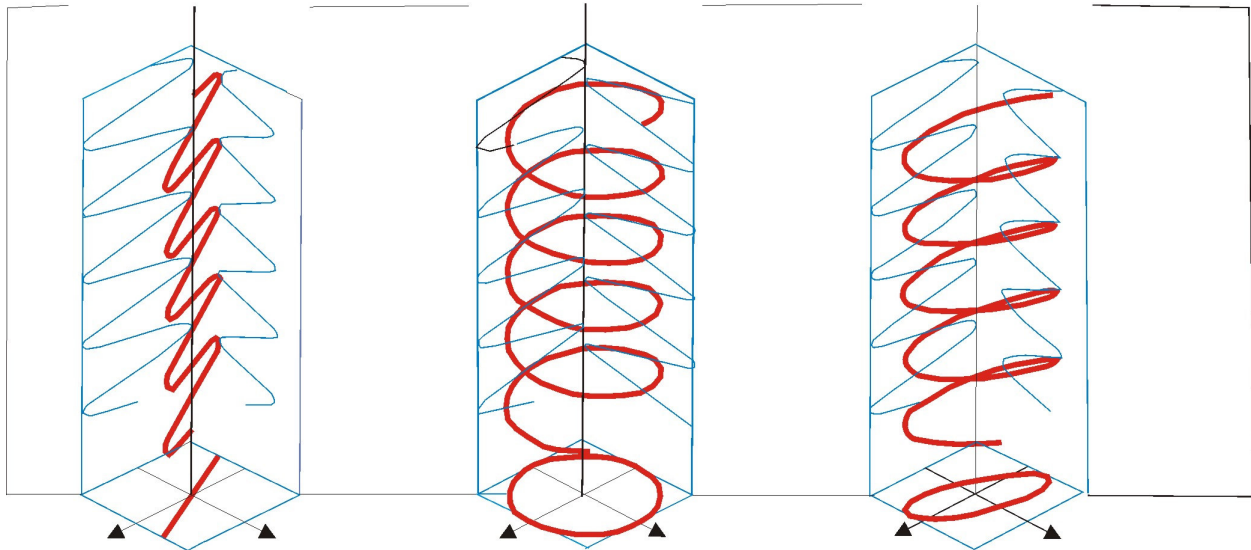
Polaryzacja eliptyczna



Polaryzacja liniowa

Polaryzacja kołowa

Polaryzacja eliptyczna



Przypadek po lewej, to **polaryzacja liniowa**, drganie odbywa się wzdłuż linii prostej. Każde drganie można przedstawić jako sumę drgań wzdłuż osi X i Y. W przypadku polaryzacji liniowej drgania składowe są w fazie lub w przeciwfazie (180°). Stosunek amplitud drgań składowych określa kierunek drgania, a tym samym i polaryzację. Brak jednej ze składowych odpowiada polaryzacji wzdłuż osi. W polaryzacji liniowej przemieszczenie (natężenie pola elektrycznego) punktu w każdym cyklu przechodzi dwa razy przez zero.

Przypadek środkowy ilustruje **polaryzację kołową**. Drganie to odpowiada ruchowi po okręgu. Można je rozłożyć na dwa drgania o jednakowych amplitudach ale o fazach przesuniętych

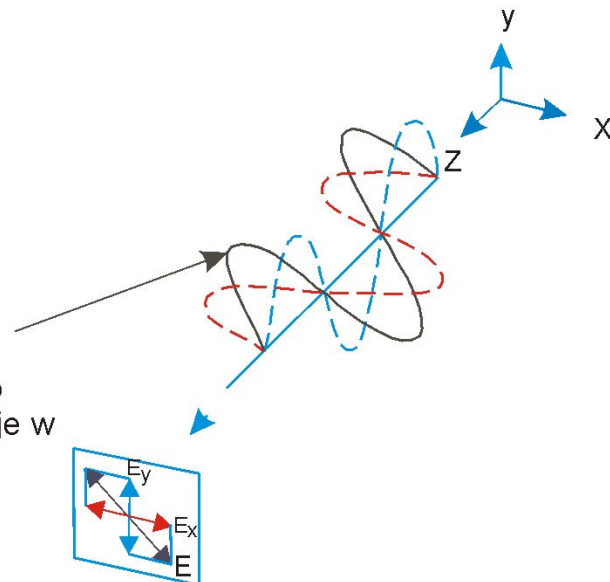
dokładnie o 90° lub 270° (-90°). W zależności do tego, czy fazy są przesunięte o 90° czy 270° , mówi się o **polaryzacji kołowej prawoskrętnej** lub **polaryzacji kołowej lewoskrętnej**. Wynika to z faktu, że wektor wychylenia może obracać się albo w lewo albo w prawo. W polaryzacji kołowej przemieszczenie (natężenie pola elektrycznego) ma zawsze taką samą wartość, zmienia się tylko kierunek przemieszczenia.

Trzeci rysunek przedstawia **polaryzację eliptyczną**, która jest uogólnieniem polaryzacji kołowej. Ruch ciała wytwarzającego drganie odbywa się po elipsie. Drganie to rozkłada się, podobnie jak w polaryzacji kołowej, na drgania o fazie przesuniętej o 90° lub 270° ale drgania składowe mają różne amplitudy. Polaryzacja eliptyczna może być wyrażona jako złożenie polaryzacji liniowej i kołowej.

Polaryzacja liniowa

Superpozycja 2 fal płaskich, (te same amplitudy, częstości i kierunki propagacji)

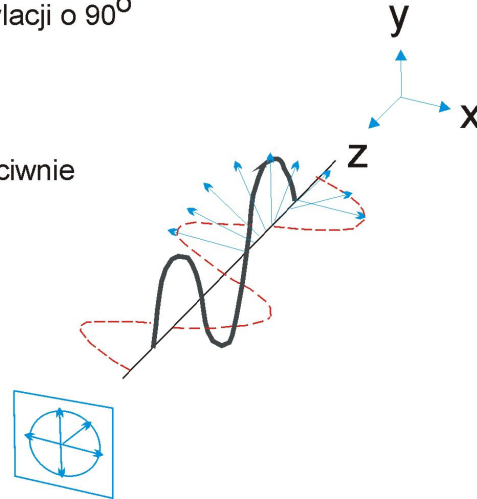
Wynik superpozycji:
fala spolaryzowana liniowo
(wektor elektryczny oscyluje w tej samej płaszczyźnie)



Polaryzacja kołowa

Składowe E_x i E_y mają przesuniętą fazę oscylacji o 90°

Wypadkowe pole E obraca się przeciwnie do ruchu wskazówek zegara



Sposoby polaryzacji

Falę spolaryzowaną można uzyskać poprzez:

- selektywną emisję – źródło fali wykonuje drgania w jednym kierunku,
- selektywne pochłanianie – ośrodek przez który przechodzi fala pochłania falę o jednym kierunku polaryzacji, a przepuszcza o przeciwnej,
- pojedyncze rozproszenie – rozproszenie w kierunku prostopadłym tworzy falę spolaryzowaną,
- odbicie od ośrodka przezroczystego,
- dwójłomność (podwójne załamanie).

1. Selektowna emisja

Fala elektromagnetyczna, której jednym ze składników jest pole elektryczne, powstaje w wyniku zmian tego pola. Zmiany te powstają w wyniku przyspieszania ładunku elektrycznego. Natężenie pola elektrycznego, a tym samym i jego zmiany, w powstającej fali ma kierunek taki sam jak natężenie pola elektrycznego wytwarzającego falę i rozchodzi się w przestrzeni.

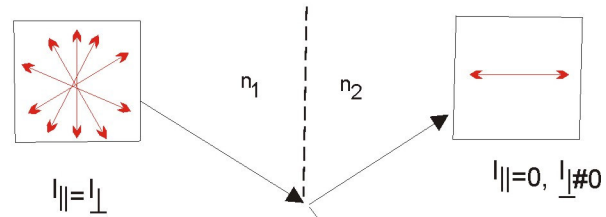
Pojedynczy dipol, np. dipolowa antena radiowa zasilana prądem przemiennym lub pobudzony do drgań elektron, promieniuje we wszystkich kierunkach, ale nie jednakowo silnie. Natężenie promieniowania w wybranym kierunku jest proporcjonalne do rzutu prostokątnego dipola na płaszczyznę prostopadłą do wybranego kierunku.

Polaryzacja fal radiowych

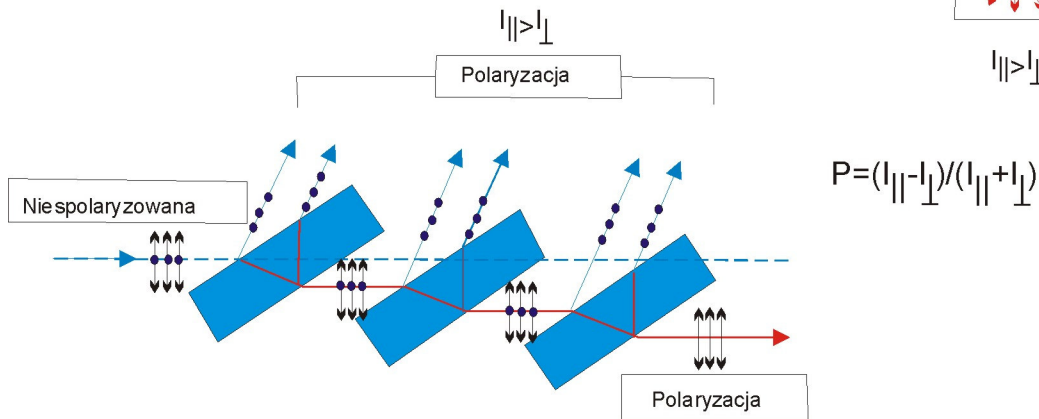
Antena w postaci dipola wytwarza falę radiową spolaryzowaną zgodnie z ustawieniem dipola. Radiofonia na falach długich i średnich używa polaryzacji pionowej (zmiany natężenia pola elektrycznego mają pionowy kierunek) ze względu na wykorzystanie pionowego masztu jako

anteny. Telewizja w transmisji naziemnej używa polaryzacji poziomej, tak by można było odbierać jedną anteną wszystkie stacje telewizyjne (były wyjątki). Służby techniczne pracujące na zakresie fal decymetrowych, by ograniczyć wzajemne zakłócenia telewizji i służb stosują polaryzację pionową.

1. Polaryzacja przez odbicie (kąć Brewstera)



2. Polaryzacja przez załamania (kąć Brewstera)



W telewizji satelitarnej różną polaryzację stosuje się do zwiększenia liczby kanałów dostępnych w tym samym paśmie.

Antena wytwarzająca falę spolaryzowaną kołowo składa się z dwóch dipoli ustawionych prostopadle i zasilanych drganiem z przesunięciem fazowym o 90 stopni.

Fale radiowe w wyniku wielokrotnego rozproszenia tracą swoją polaryzację.

Promieniowanie cieplne

Promieniowanie cieplne, w tym także świecenie rozgrzanych ciał, powstaje w wyniku przypadkowych ruchów cząsteczek i dlatego światło emitowane przez rozgrzane ciała nie jest spolaryzowane.

Inne źródła

Niektóre źródła promieniowania elektromagnetycznego, w których kierunek drgań cząstek naładowanych (np. elektronów) jest wymuszony, wytwarzają światło spolaryzowane – np.

znajdujące się w silnym polu elektrycznym lub magnetycznym cząstki o anizotropowej budowie, cząstki ustawione oddziaływaniem międzycząsteczkowym wytwarzają promieniowanie spolaryzowane. Linie spektroskopowe światła powstającego w polu magnetycznym, jeżeli pole magnetyczne wpływa na poziomy energetyczne, również są spolaryzowane. Na podobnej zasadzie spolaryzowane jest promieniowanie synchrotronowe.

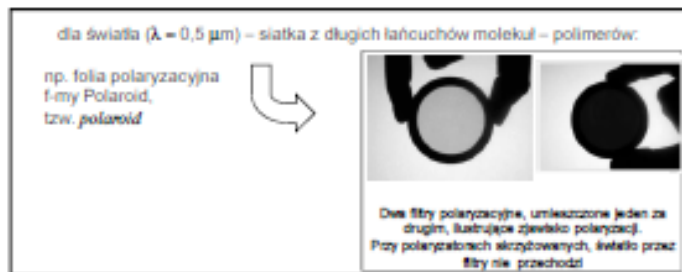
Jeżeli drgania cząstek nie są wymuszone w danym kierunku, lecz tylko uprzywilejowane, to polaryzacja emitowanego światła jest częściowa.

Zjawiska te stosuje się w astronomii do badania pól magnetycznych w miejscu emisji lub pochłaniania promieniowania.

Dichroizm – selektywna absorpcja

Folia polaryzacyjna:

folia z tworzywa sztucznego rozciągana podczas produkcji w jednym kierunku, następnie naklejona na szkło. Rozciąganie układa równolegle cząsteczki tworzywa sztucznego. Tak ułożone cząsteczki pochłaniają światło w kierunku osi cząsteczek, a przepuszczają światło w kierunku prostopadłym.



2. Selekttywne pochłanianie

Gdy w przestrzeni, w której rozchodzi się fala drgania w jednym z kierunków są tłumione, a w prostopadłym do niego nie są, to fala rozchodząc się w tym ośrodku utraci drgania w jednym kierunku, czyli ulegnie polaryzacji.

Przykładem takiego ośrodka dla fali elektromagnetycznej może być drabinka z drutów, czyli układ cienkich równoległych drutów przewodzących prąd elektryczny. Średnica drutów i odległość między nimi musi być porównywalna z długością fali. Układ taki pochłania fale, których drgania wektora elektrycznego są równoległe do drutów, a przepuszcza fale o drganiach prostopadłych do drutów. Układy takie buduje się dla fal radiowych i mikrofal. Układy dla fal krótszych (podczerwień, światło widzialne) też są zbudowane w ten sposób, lecz rolę drutów przejmują odpowiednio ułożone cząsteczki związków chemicznych. Polaryzator liniowy zwany polaroidem wykonuje się poprzez rozciąganie w trakcie produkcji folii wykonanej z odpowiedniego tworzywa sztucznego, w wyniku czego powstaje układ równoległe ułożonych cząsteczek pochłaniających fale elektromagnetyczne drgające w jednym kierunku.

3. Pojedyncze rozproszenie fali

Cząstka rozpraszająca pochłania falę elektromagnetyczną wytwarzając drgania ładunków cząstki (zazwyczaj elektronów). Drgania te mogą być przedstawione jako złożenie dwóch prostopadłych kierunków, które są prostopadłe do kierunku rozchodzenia się fali. Kierunki te można wybrać dowolnie – najlepiej, jeżeli jeden z nich jest zawarty w płaszczyźnie utworzonej przez punkty źródło – cząstka rozpraszająca – obserwator. Drganie to może wywołać falę elektromagnetyczną, jej amplituda jest proporcjonalna do rzutu wektora wywołującego drganie tak jak widzi go obserwator. Jeżeli źródło – cząstka rozpraszająca – obserwator tworzą kąt prosty, to rzut wektora w kierunku obserwatora jest zerowy. Oznacza to, że fala elektromagnetyczna rozproszona pod kątem prostym nie zawiera fali w tej płaszczyźnie czyli jest spolaryzowana liniowo w kierunku prostopadłym do płaszczyzny źródło – cząstka rozpraszająca – obserwator. Fala (światło) rozproszona w innym kierunku jest częściowo spolaryzowana.

Zjawisko to odpowiada za:

- polaryzację błękitu nieba,
- częściową polaryzację tęczy i halo,

Analizując polaryzację światła rozproszonego można określić kąt rozproszenia, czyli określić kierunek padania światła na gaz rozpraszający. Własności te są stosowane w astronomii.

Wielokrotne rozproszenie

Rozproszenie światła w wyniku wielokrotnego rozproszenia w tym rozproszenia w ośrodku składającym się z dwóch substancji przezroczystych, niszczy polaryzację światła.

4. Odbicie od ośrodka przezroczystego

Gdy światło pada na granicę ośrodków przezroczystych pod takim kątem (kąt Brewstera), że promień odbity tworzy z promieniem załamany kąt 90° , to światło odbite jest całkowicie spolaryzowane liniowo, a światło przechodzące jest spolaryzowane częściowo. Zjawisko polaryzacji przez odbicie zostało odkryte w 1809 r. przez Malusa.

Pochłonięcie światła o polaryzacji zgodnej z polaryzacją światła odbitego umożliwia redukcję odbłasków od powierzchni wody, szyby itp. stosowane jest w fotografii i astronomii.

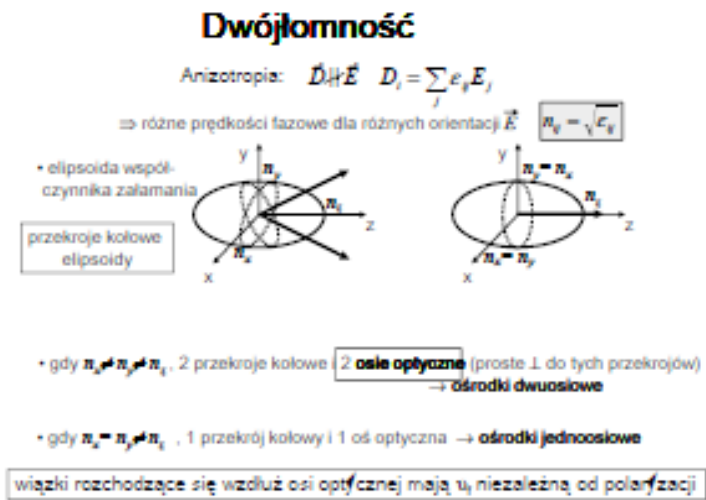
Na tej zasadzie działa okienko Brewstera stosowane w laserach wytwarzających światło spolaryzowane. Lasery pozbawione tego okienka wytwarzają światło niespolaryzowane.

Dla innych kątów padania światła, światło odbite jest częściowo spolaryzowane. Im kąt padania bardziej różni się od kąta Brewstera, tym stopień polaryzacji światła odbitego jest mniejszy.

Odbicie od metalu

Odbicie światła od powierzchni metalu nie polaryzuje światła niespolaryzowanego, ale zmienia stan polaryzacji odbitego pod kątem światła, np. światło spolaryzowane liniowo po odbiciu od gładkiej powierzchni metalowej zmienia polaryzację na eliptyczną, a przy odpowiednim kącie na kołową.

Zmiana polaryzacji wynika z tego, że składowa elektryczna promieniowania równoległa do powierzchni metalu odbija się w nim bliżej powierzchni od składowej prostopadłej, odbijającej się głębiej, ta różnica w miejscu odbicia wywołuje różnicę w czasie przebiegu składowych polaryzacji wywołując przesunięcie fazowe obu składowych, co zmienia parametry elipsy polaryzacji.



5. Dwójłomność

Gdy światło pada na niektóre substancje, rozdziela się na dwie wiązki o prostopadłych polaryzacjach liniowych. Zjawisko to, zwane podwójnym załamaniem lub dwójłomnością, wykorzystuje się do otrzymywania wiązki światła spolaryzowanego w pryzmacie Nicola.

Światło padając prostopadle na substancje dwójłomne, w których oś optyczna jest równoległa do powierzchni na którą pada światło, nie rozdziela się, ale jego składowe poruszają się z różnymi prędkościami. Zjawisko to wykorzystywane jest do zmiany polaryzacji światła w płytkach ćwierćfalowych i płytkach półfalowych. Uzyskanie przez substancję dwójłomności w kierunku przyłożonego pola nosi nazwę Efekt Pockelsa i stosowane jest do uzyskiwania sterowanych napięciem elektrycznym płytek n-falowych zwanych komórkami Pockelsa.

Wiele substancji przezroczystych, które w normalnych warunkach nie są dwójłomne, pod wpływem pola elektrycznego lub magnetycznego stają się dwójłomne. Zjawisko to na cześć odkrywcy nosi nazwę efektu Kerra i znalazło zastosowanie do modulacji światła polem elektrycznym w przyrządach zwanych komórkami Kerra.

Skręcenie kierunku polaryzacji

Wiele substancji organicznych (np. sacharoza rozpuszczona w wodzie) zmienia kierunek polaryzacji światła przechodzącego przez roztwór. Zjawisko to zwane aktywnością optyczną jest stosowane do rozpoznawania cukrów, a także do określania stężenia cukru w soku buraczanym.

Aktywność optyczną wykazują te związki organiczne których cząsteczki zawierają asymetryczny atom węgla, tzn. atom węgla związany z czterema różnymi podstawnikami. Cząsteczki takie mogą występować w dwóch formach, zwanych enancjomerami, będących wzajemnie swymi odbiciami lustrzanymi. Enancjomery skręcają płaszczyznę polaryzacji przechodzącego światła w przeciwnych kierunkach. Z tego powodu mieszanina zawierająca równe ilości obydwu enancjomerów (tzw. mieszanina racemiczna) nie skręca płaszczyzny polaryzacji.

Filtry polaryzacyjne



Animacja doświadczenia z dwoma filtrami polaryzującymi, umieszczonymi jeden za drugim, ilustrująca zjawisko polaryzacji

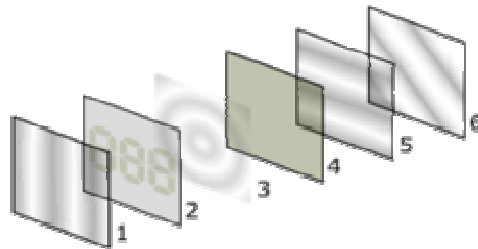


Zdjęcie wykonane z filtrem polaryzacyjnym (po lewej) i bez filtra (po prawej)

Aby uzyskać światło spolaryzowane można wykorzystać filtr polaryzacyjny. Ma on zdolność do przepuszczania tylko fal świetlnych o polaryzacji liniowej. Kierunek tej polaryzacji jest stały i ściśle związany z konstrukcją filtra. Jeżeli przepuści się światło niespolaryzowane przez dwa takie filtry i zacznie je obracać, to światło na zmianę będzie przygasać oraz rozbłyskać. Kiedy dwa filtry polaryzacyjne są ustawione tak, że przepuszczają tylko fale oscylujące w prostopadłych płaszczyznach, to światło nie przechodzi. Jeżeli płaszczyzny polaryzacji są takie same, to efekt jest taki jak dla jednego filtra.

Filtry polaryzacyjne są stosowane np. w okularach przeciwsłonecznych, gdzie zmniejszają jasność nieba w słoneczny dzień, blokują spolaryzowane światło odbite od poziomych płaszczyzn (co jest szczególnie ważne przy kierowaniu samochodem) i zwiększają kontrastowość obrazu. Filtry tego rodzaju są też stosowane w fotografii, gdzie zapobiegają pojawianiu się blików na zdjęciach.

Wyświetlacze



Schemat wyświetlacza LCD – 1-polaryzator pionowy, 2 i 4- szyba z przezroczystymi elektrodami, 3-ciekły kryształ, 5-polaryzator poziomy, 6-powierzchnia odbijająca

Polaryzacja jest praktycznie wykorzystywana w wyświetlaczach ciekłokrystalicznych (LCD). Ciekły kryształ, do którego przyłożono napięcie elektryczne, powoduje zmianę płaszczyzny polaryzacji przechodzącego przez niego światła. Jeżeli połączony zostanie szereg ciekłych kryształów oddziałujących z różnymi długościami promieniowania, to można w ten sposób uzyskać obraz kolorowy. Zmiana polaryzacji światła odnosi się tylko do promieni biegnących prostopadłe do płaszczyzny ekranu. W efekcie obraz z wyświetlacza LCD staje się niewyraźny, gdy patrzy się na niego z boku. Ludzkie oko nie dostrzega polaryzacji i dlatego ekran może zawierać filtry polaryzacyjne.

Projektory obrazu trójwymiarowego

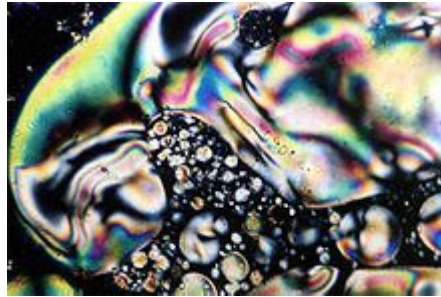
Kolejnym praktycznym wykorzystaniem zjawiska polaryzacji jest technika projekcji na dużym ekranie dla wielu widzów jednocześnie, stosowana m.in. w kinach IMAX. Kamera IMAX posiada dwa obiektywy i rejestruje równocześnie dwa obrazy. Ich osie optyczne są przesunięte względem siebie o odległość zbliżoną do rozstawu ludzkich oczu (lub inną odległość w przypadku efektów specjalnych). Projektor także jest podwójny. Równocześnie wyświetlane są dwa obrazy, każdy z nich przez swój obiektyw, wyposażony w filtr polaryzacyjny. Jeden filtr obrócony jest względem drugiego o 90° (tradycyjny układ płaszczyzn polaryzacji "V" zastąpiono w systemie IMAX układem "L"). Widz zakłada specjalne okulary wyposażone w filtry polaryzacyjne. Płaszczyzny polaryzacji w okularze lewym i prawym są ustawione analogicznie do filtrów w projektorze, dzięki czemu do każdego oka widza dociera tylko jeden, przeznaczony dla niego obraz. W efekcie jedno oko widzi film wyświetlany przez lewy projektor, a drugie przez prawy i do mózgu widza dociera taki sam obraz, jak gdyby osobiście znajdował się na planie filmowym. Zdolność człowieka do widzenia stereoskopowego powoduje, że pojawia się wrażenie głębi. Ekran stanowi jakby okno, przez które widoczna jest sfilmowana scena, przy czym pewne obiekty mogą "wychodzić" przed ekran, powodując szczególnie silne i niecodzienne odczucia.

Filtr polaryzacyjny jest używany w kinie IMAX, bo ma małą masę i nie utrudnia oglądania pokazu filmowego.

Defektoskopia

Jeżeli jakiś przezroczysty materiał jest anizotropowy, to często powoduje zmiany polaryzacji przechodzącego przez niego światła. Jest tak w przypadku kryształów, jednak źródłem anizotropii może być również występowanie naprężeń wewnątrz materiału. Zjawisko to można wykorzystać w defektoskopii (wczesnym wykrywaniu uszkodzeń maszyn). Inne zastosowanie to badanie prototypów. Model części urządzenia wykonany z przezroczystego materiału i może zostać poddany próbom wytrzymałościowym. Odpowiedni układ optyczny pozwala na obserwację charakterystycznych prążków wyznaczających linie naprężeń wewnątrz materiału. Technikę tę wykorzystuje się w elastooptyce.

Mikroskop polaryzacyjny



Zdjęcie tekstury ciekłego kryształu

Para dwóch filtrów polaryzacyjnych jest podstawą działania tych mikroskopów. Korzystając z własności światła spolaryzowanego wytwarzanego przez różne kryształy możliwe jest rozróżnianie ich rodzajów. Mineralodzy korzystają z mikroskopów polaryzacyjnych, w których poszczególne ziarna kryształów mieniają się różnymi kolorami. Obserwacja wielobarwnych tekstur tworzonych w mikroskopie polaryzacyjnym przez ciekłe kryształy umożliwia szybkie ustalenie ich rodzaju. Niektóre roztwory związków chemicznych posiadających tzw. aktywność optyczną mają zdolność do zmiany płaszczyzny polaryzacji przechodzącego przez nie światła. Można to wykorzystać do oznaczenia stężenia związku w próbce, a także ustalenia ich tzw. czystości optycznej.

Radioastronomia i radary

Spolaryzowane liniowo wiązki fal radiowych wykorzystywane są w technice radarowej. Fale radiowe odbijają się w różny sposób w zależności od długości fali, kształtu oraz skutecznej powierzchni odbicia obiektu. Jeśli długość fali jest dużo mniejsza od wielkości obiektu, to ten przypadek można przyrównać z odbiciem wiązki światła padającej na zwierciadło. Natomiast jeśli długość fali jest znacznie większa od długości obiektu, wtedy w odbiciu decydują własności falowe promieniowania, z których wynika prawo rozpraszania Rayleigha. **Rozpraszanie Rayleigha** (od nazwiska Lorda Rayleigha) to rozpraszanie światła na cząsteczkach o rozmiarach mniejszych od długości fali rozpraszanego światła.

Występuje przy rozchodzeniu się światła w przezroczystych ciałach stałych i cieczach, ale najbardziej efektywnie objawia się w gazach. Rozpraszanie Rayleigha na cząsteczkach atmosfery jest przyczyną błękitnego koloru nieba. Rayleigh przyjął, zgodnie z założeniami fizyki klasycznej, że rozpraszanie następuje w wyniku pobudzenia do drgań w rozpraszającym ciele cząstki obdarzonej ładunkiem elektrycznym, drgająca cząstka (zazwyczaj elektron) zachowuje się tak jak dipol (antena dipolowa) wypromieniowując energię pobudzenia jako falę elektromagnetyczną o tej samej częstotliwości jaka ją pobudziła, zależnie od kierunku względem dipola, najwięcej w kierunku prostopadłym do dipola, a wcale w kierunku wzdłuż dipola. Współczynnik odbicia zależy silnie od wielkości obiektu oraz od polaryzacji. W przypadku porównywalnych długości fali elektromagnetycznej oraz oświetlanego obiektu może dojść do zjawiska rezonansu. Pierwsze radary używały fal radiowych o dużej długości (metrowe i dłuższe) i w konsekwencji otrzymywano nieprecyzyjny sygnał odpowiedzi, podczas gdy we współczesnych urządzeniach używa się fale decymetrowe i krótsze, dzięki czemu można wykrywać oraz określać parametry obiektów o stosunkowo małej powierzchni. Pręty czy paski o długości równej połowie długości fali wykonane z przewodzącego prąd materiału, takie jak paski metalowej folii rozrzucone przez samolot w celu uniknięcia namierzenia przez wiązkę radarową rakiety, bardzo dobrze odbijają padające na nie promieniowanie, rozpraszając je w kierunku różnym od tego, na jakim znajduje się źródło sygnału. Wielkość powierzchni, jaką obiekt odbija padające na niego promieniowanie jest opisywana przez tzw. skuteczną powierzchnię odbicia. W radioastronomii obserwacja polaryzacji światła pozwala określić, czy zostało ono rozproszone przed dotarciem do teleskopu.

Zoologia

Niektóre zwierzęta mają zdolność do postrzegania polaryzacji światła. Wykorzystują ją do określania kierunku w przestrzeni. Płaszczyzna liniowej polaryzacji światła rozproszonego przez atmosferę (niebo) jest prostopadła do kierunku, z którego świeci Słońce. Z tej własności światła korzystają niektóre owady, m.in. pszczoły. Mózg pszczoły rejestruje odległość oraz azymut względem Słońca na trasie jaką pokonuje ona wracając z nektarem do gniazda. W środku owad rozpoczyna specjalny taniec, którym przekazuje te informacje innym pszczołom, dzięki czemu mogą one łatwo odnaleźć bogate źródło pożywienia.

Polaryzacja jest postrzegana także przez ośmiornice, kałamarnice oraz mątwy. Zwierzęta te wykorzystują spolaryzowane światło do komunikacji. Ich ciała pokrywają wzory widoczne tylko przez filtry polaryzacyjne. Niektóre głowonogi mają też zdolność do dynamicznych zmian tych wzorów. W ten sposób mogą przekazywać sobie sygnały godowe lub odstraszać napastników.

Polaryzacja światła jest widoczna również dla oczu ptaków. Oprócz nawigacji ptaki używają uzyskane w ten sposób informacje do poszukiwania prądów wznoszących, pozwalających im na szybowanie bez wydatkowania energii.