



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Człowiek – najlepsza inwestycja

FENIKS

Wykłady z pokazami, UJK, cz. III b

Natura światła

Marek Pajek

*Instytut Fizyki
Uniwersytet Humanistyczno-Przyrodniczy
Jana Kochanowskiego w Kielcach*

(pisemna wersja dwugodzinnego wykładu plenarnego z pokazami
z III semestru zajęć)

Film z wykładu: www.feniks.ujk.edu.pl/index.php/pol/Multimedia/Filmy/UJK



- długofalowy program odbudowy, popularyzacji i wspomagania fizyki w szkołach w celu rozwijania podstawowych kompetencji naukowo - technicznych, matematycznych i informatycznych uczniów

Projekt współfinansowany jest ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Część B – druga godzina wykładu z pokazami

Polaryzacja

Gdy fala elektromagnetyczna ma ściśle określony w przestrzeni kierunek pola elektrycznego, nazywamy ją falą spolaryzowaną liniowo. Światło emitowane przez typowe źródła światła (świeczka, żarówka) jest niespolaryzowane, co oznacza że pole elektryczne poszczególnych fal (fotonów) może przyjmować dowolny kierunek w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku rozchodzenia się światła (pamiętamy że światło jest falą poprzeczną!). Laser emituje światło silnie spolaryzowane liniowo, a kierunek wektora elektrycznego jest zdeterminowany przez ustawienie zwierciadeł w laserze. Możemy się o tym przekonać umieszczając w wiązce światła laserowego tzw. **polaryzator światła** - urządzenie przepuszczające fale o pewnym wybranym kierunku pola elektrycznego (polaryzacji) i jednocześnie wygaszające fale mające pole elektryczne zorientowane w kierunku prostopadłym. Takim polaryzatorem może być np. cienka przezroczysta folia, zbudowana z długich cząsteczek organicznych (tzw. polimerów) ustawionych równolegle do siebie. Folia taka łatwo przepuszcza światło spolaryzowane w jednym kierunku, a bardzo silnie tłumi światło spolaryzowane w kierunku prostopadłym. Obracając taki polaryzator w wiązce światła spolaryzowanego możemy silnie zmieniać intensywność światła przepuszczonego przez polaryzator, w szczególności doprowadzając do całkowitego jego wygaszenia w przypadku, gdy polaryzator jest zorientowany prostopadle do kierunku polaryzacji wiązki. Obracając polaryzator w wiązce światła laserowego obserwujemy prawie całkowite wygaszenie światła przepuszczonego w pewnych położeniach polaryzatora, co świadczy o silnej polaryzacji badanego światła laserowego.

Dysponując **dwoma polaryzatorami** możemy łatwo zademonstrować, jak wytworzyć światło spolaryzowane ze światła niespolaryzowanego. Pierwszy z polaryzatorów „wybiera” ze światła niespolaryzowanego tylko jeden kierunek pola elektrycznego, a więc polaryzuje światło. Możemy to stwierdzić obserwując intensywność światła przepuszczonego przez drugi polaryzator. Wygaszenie światła w przypadku skrzyżowania (względny kąt 90°) polaryzatorów potwierdza fakt polaryzacji światła.

Światło może być również spolaryzowane poprzez jego odbicie od powierzchni. W szczególności, silna polaryzacja zachodzi dla pewnego specyficznego kąta padania światła, zwanego kątem Brewstera, kiedy to **wiązka odbita jest całkowicie spolaryzowana**. Możemy się o tym przekonać, obserwując światło odbite przez obracany polaryzator. Zjawisko polaryzacji światła przy odbiciu wykorzystujemy w konstrukcji filtrów polaryzacyjnych do aparatów fotograficznych lub okularów przeciwsłonecznych w celu zmniejszenia niepożądanych efektów związanych z obserwacją światła odbitego. Takie efekty można łatwo zademonstrować, próbując czytać **tekst umieszczony pod szklaną płytą** przy silnym świetle odbitym od tej płyty. Światło to praktycznie uniemożliwia odczytanie tekstu. Możemy jednak wygasić to światło, które jest silnie spolaryzowane (!), odpowiednio ustawionym polaryzatorem. Umożliwia to łatwe odczytanie tekstu pod szybą, który staje się zupełnie wyraźny.

Dyfrakcja i interferencja

Zjawiskami charakterystycznymi dla fal, w tym dla światła, są dyfrakcja i interferencja. Demonstrowana wcześniej **dyfrakcja światła na szczelinie**, w wyniku której zamiast punktowego obrazu laserowej wiązki światła na ekranie obserwujemy jej rozciągnięty obraz liniowy, jest dowodem falowej natury światła. Podobne efekty dyfrakcyjne można zaobserwować gołym okiem patrząc na źródło światła przez wąskie szczeliny lub otworki, na przykład patrząc na słońce przez gęstą firankę (uwaga, firanka musi być na prawdę gęsta, aby nie uszkodzić wzroku!). Przy stopniowym zmniejszaniu w dyskutowanym pokazie szerokości szczeliny, rozciągnięty oraz liniowy obraz staje się w pewnym momencie przerywanym obrazem dyskretnym, składającym się z wielu punktów, co świadczy o interferencji światła ugiętego. Zgodnie z zasadą Huygensa, czoło fali świetlnej po dotarciu do szczeliny wytwarza w każdym jej punkcie nową falę kolistą. Fale te, interferując ze sobą, dają na ekranie obraz interferencyjny o charakterystycznej, oscylującej intensywności. Warto zauważyć, że warunkiem powstania obrazu interferencyjnego jest stała w czasie różnica faz (lub dróg optycznych) obu fal, co można zapewnić używając światło spójne, lub też uginając światło niespójne na rozciągniętych przeszkodach (szczelinie lub układzie szczelin), które wytwarzają z kolei stałą w czasie różnicę faz między interferującymi falami, zmieniającą się wraz z obranym kierunkiem obserwacji.

Wyraźny obraz powstający w wyniku dyfrakcji i interferencji światła można zaobserwować posługując się **siatką dyfrakcyjną**, będącą układem równoległych rys/szczelin położonych bardzo blisko siebie (kilkanaście do tysiąca linii na milimetr). W tym wypadku dyfrakcja na każdej szczelinie powoduje zwiększenie liczby fal ugiętych, które następnie interferują. W efekcie intensywność fali w maksimum interferencyjnym znacznie wzrasta (kwadratowo z liczbą szczelin). Położenie maksimów interferencyjnych jest jednoznacznie związane z długością fali i odległością szczelin na siatce dyfrakcyjnej (tzw. stała siatki dyfrakcyjnej). W związku z tym siatka dyfrakcyjna jest doskonałym narzędziem do precyzyjnego wyznaczania długości fal świetlnych. Można to łatwo zademonstrować, wytwarzając obraz dyfrakcyjny na **siatce oświetlanej światłem czerwonym i zielonym**. Większe odchylenie maksimów światła czerwonego świadczy o większej długości fali dla tej barwy w porównaniu ze światłem zielonym.

Zjawisko interferencji światła znajduje bardzo szerokie zastosowanie w precyzyjnych urządzeniach służących do pomiaru długości fal lub odległości, zwanych interferometrami. Jednym z tego typu urządzeń, które demonstrujemy na pokazie, jest słynny **interferometr Michelsona-Morleya**. Przy pomocy tego urządzenia obalona została eksperymentalnie koncepcja „eteru” – nieważkiej substancji wypełniającej Wszechświat, w której hipotetycznie miały się rozchodzić fale elektromagnetyczne, w szczególności światło. Zgodnie z hipotezą „eteru”, światło emitowane ze źródła poruszającego się względem eteru powinno się poruszać szybciej względem układu związanego z „eterem” (co jest istotą koncepcji tzw. przestrzeni absolutnej). Zatem obserwując interferencję dwóch promieni światła od odległej gwiazdy, które biegną w interferometrze w kierunku gwiazdy i kierunku prostopadłym, można by zaobserwować zmianę obrazu interferencyjnego wywołaną zmianą prędkością światła względem eteru. Takiego efektu jednak nie zaobserwowano, co potwierdziło założenia Einsteina o nieistnieniu przestrzeni

absolutnej („eteru”) i stałości prędkości światła względem każdego układu poruszającego, jawiącej się jako fundamentalna stała przyrody. Postulaty te legły u podstaw szczególnej teorii względności Einsteina.

Interferometr Michelsona-Morleya demonstrowany jest na wykładzie w pokazie czułości tego precyzyjnego przyrządu na niezwykle małe zmiany odległości położenia zwierciadeł, rzędu długości fali, a więc jedynie setek nanometrów. Te niewielkie zmiany długości drogi optycznej wywołują „drastyczne” zmiany obrazu interferencyjnego. W pokazie tym wykorzystujemy czerwone światło lasera do wytworzenia **koncentrycznego układu pierścieni interferencyjnych**.

Odbicie i załamanie

Dyfrakcja i interferencja światła tłumaczy znane zjawiska załamania i odbicia światła na granicy dwóch ośrodków materialnych, w których światło rozchodzi się z różnymi prędkościami. W istocie traktując granice ośrodków jako układ punktów, na których zachodzi dyfrakcja, można pokazać, że dla promienia odbitego maksimum interferencyjne pojawia się wtedy, gdy kąt padania jest równy kątowi odbicia (prawo odbicia), a dla promienia załamanego, gdy stosunek sinusów kątów padania i załamania jest stałą określoną przez prędkości światła w obu ośrodkach (prawo załamania). Wymienione prawa stanowią podstawę działania wielu prostych przyrządów optycznych (**zwierciadła, soczewki, pryzmaty**).

Prawa te demonstrujemy wykorzystując laserowy układ równoległych wiązek światła, które pokazują w szczególności zjawisko całkowitego odbicia wewnętrznego oraz zawracanie kierunku biegu światła w kuli, co znajduje praktyczne zastosowanie w produkcji „**świecących**” **odblaskiem materiałów**. Wykorzystując wiązki dwóch kolorów można dodatkowo zademonstrować, posługując się pryzmatem, zależność współczynnika załamania od długości fali (koloru) i w konsekwencji istotę rozszczepienia światła białego w pryzmacie. Wyjaśnia to też naturę **powstawania tęczy**.

Omawiane zjawisko całkowitego wewnętrznego odbicia wykorzystywane jest do „przewodzenia” wiązki światła uwięzionego w materii. Demonstrujemy to pokazując, jak światło lasera biegnie (nie uciekając „na boki”) w **powyginanym przecie szklanym**. Znajduje to ważne praktycznie zastosowanie w światłowodach (pokaz **kolorowej lampy światłowodowej**).

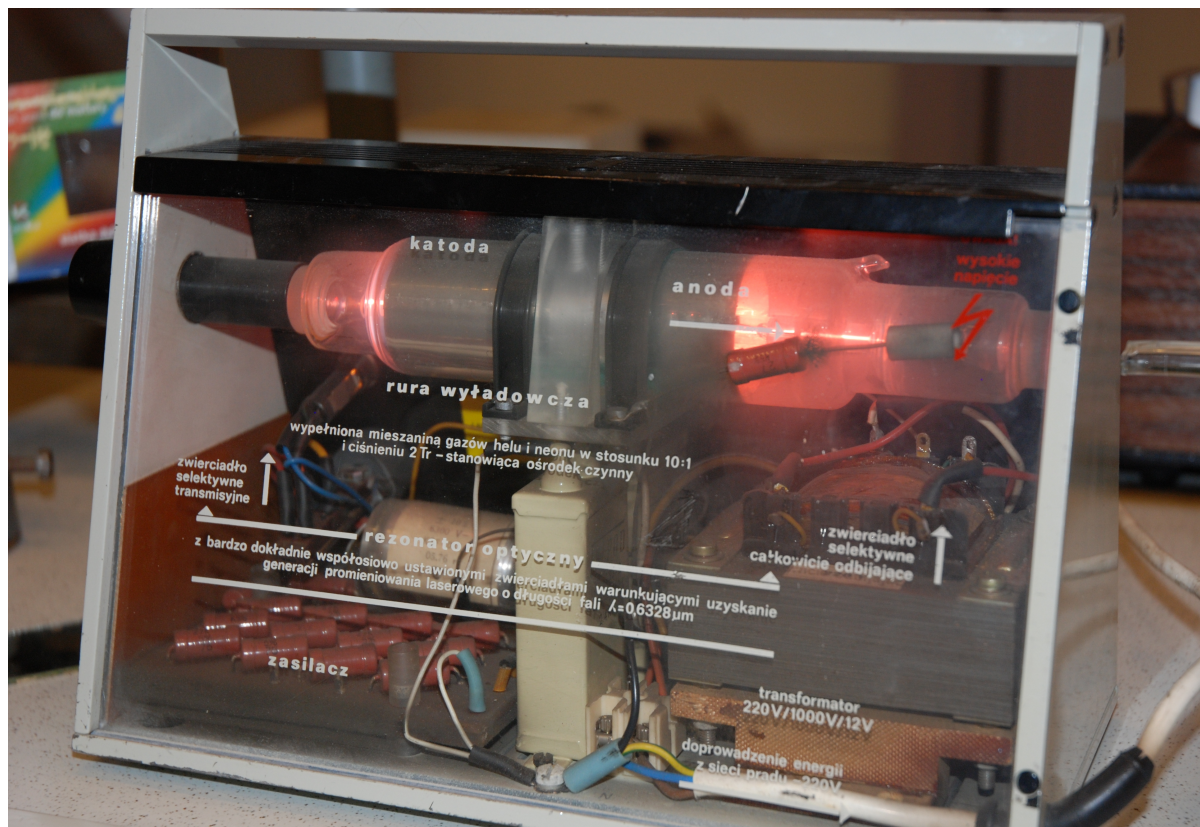
Kolory

Obserwując **rozszczipienie światła na pryzmacie** dochodzimy do wniosku, że światło białe jest mieszaniną różnych barw pojawiających się w kolorowej tęczy. Jeśli tak jest, to odwrotnym procesie składania barw powinniśmy wytworzyć światło białe. W istocie, **nakładając na siebie światło czerwone, niebieskie i zielone** – które wytwarzamy stosując filtry odpowiednich kolorów – obserwujemy na ekranie białą plamę. Działanie zastosowanych filtrów kolorowych jest proste: przepuszczają one tylko jedną barwę, ponieważ inne barwy są w nich po prostu silnie absorbowane!

Zrozumienie istoty kolorów jako wrażeń towarzyszących odbieraniu przez oko fal elektromagnetycznych o różnych długościach fali pozwala wyjaśnić naturę powstawania kolorów w przyrodzie. W szczególności, możemy zrozumieć dlaczego niebo jest niebieskie a chmury białe. Kolory te wynikają z własności rozpraszania światła widzialnego na cząsteczkach powietrza: na małych cząsteczkach tlenu (O_2) lub azotu (N_2) najsilniej rozpraszają się fale najkrótsze, a więc niebieskie. W rezultacie w atmosferze jest bardzo dużo „zbłąkanych” niebieskich fotonów, które docierają do nas ze wszystkich stron. Natomiast na większych kropelkach wody (zawartej w chmurach) fale o różnych długościach rozpraszają się z grubsza tak samo. W wyniku tego światło rozproszone na chmurze pozostaje białe, tak, jak tarcza oświetlającego Ziemię słońca. Możemy teraz z kolei zrozumieć, dlaczego słońce o zachodzie jest czerwone. Otóż gdy słońce znajduje się nisko nad horyzontem, jego promienie muszą pokonać długą drogę w atmosferze ziemskiej zanim dotrą do obserwatora. Ponieważ najsilniej rozpraszają się najkrótsze fale niebieskie, są one „usuwane” z drogi promieni. W efekcie w promieniach zachodzącego słońca pozostają fale najdłuższe – czerwone.

Wykaz pokazów

- 1) Demonstracja spójności fal z pomocą dwóch długich sprężyn
- 2) Budowa lasera helowo-neonowego jako źródła światła spójnego
- 3) Polaryzacja światła laserowego
- 4) Falownica, interferencja i dyfrakcja fal na powierzchni wody
- 5) Dyfrakcja na pojedynczej i podwójnej szczelinie, obraz interferencyjny
- 6) Dyfrakcja i interferencja światła laserowego po przejściu przez szczelinę oraz siatkę dyfrakcyjną
- 7) Porównanie obrazu dyfrakcyjnego lasera światła zielonego i czerwonego
- 8) Interferometr Michelsona-Morleya
- 9) Optyka geometryczna: odbicie, zwierciadło wklęsłe i wypukłe,
- 10) Załamanie światła, pryzmat, soczewka wklęsła i wypukła
- 11) Całkowite wewnętrzne odbicie, światłowód, „jeź” z włókien światłowodowych
- 12) Rozszczepienie światła białego na poszczególne barwy z pomocą siatki dyfrakcyjnej
- 13) Składanie barw podstawowych, uzyskanych z pomocą filtra zielonego, czerwonego i niebieskiego
- 14) Polaryzacja światła, dwa polaryzatory, polaryzacja światła odbitego od szyby
- 15) Obserwacja oświetlanego plakatu pod szybą bez i z użyciem polaryzatora



Demonstracyjny laser helowo-neonowy



Świecąca kula plazmowa



Lampa światłowodowa



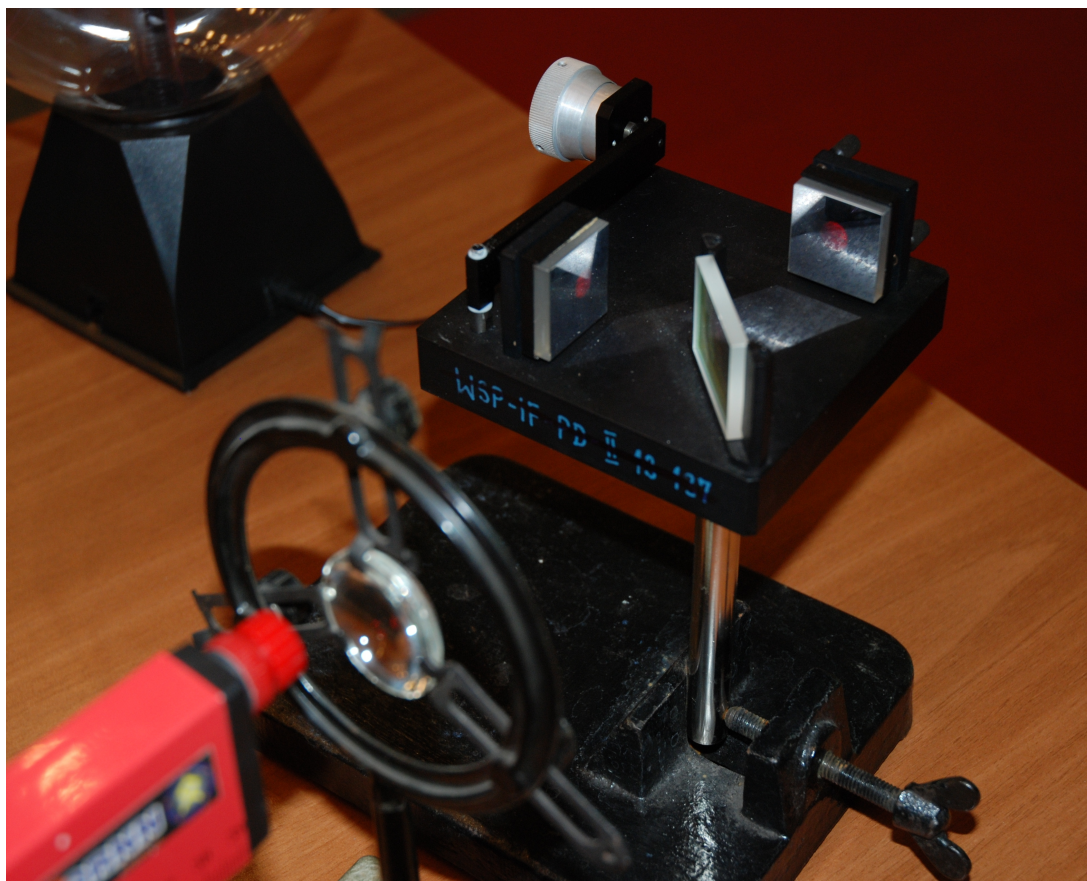
Światło najlepiej widać po ciemku



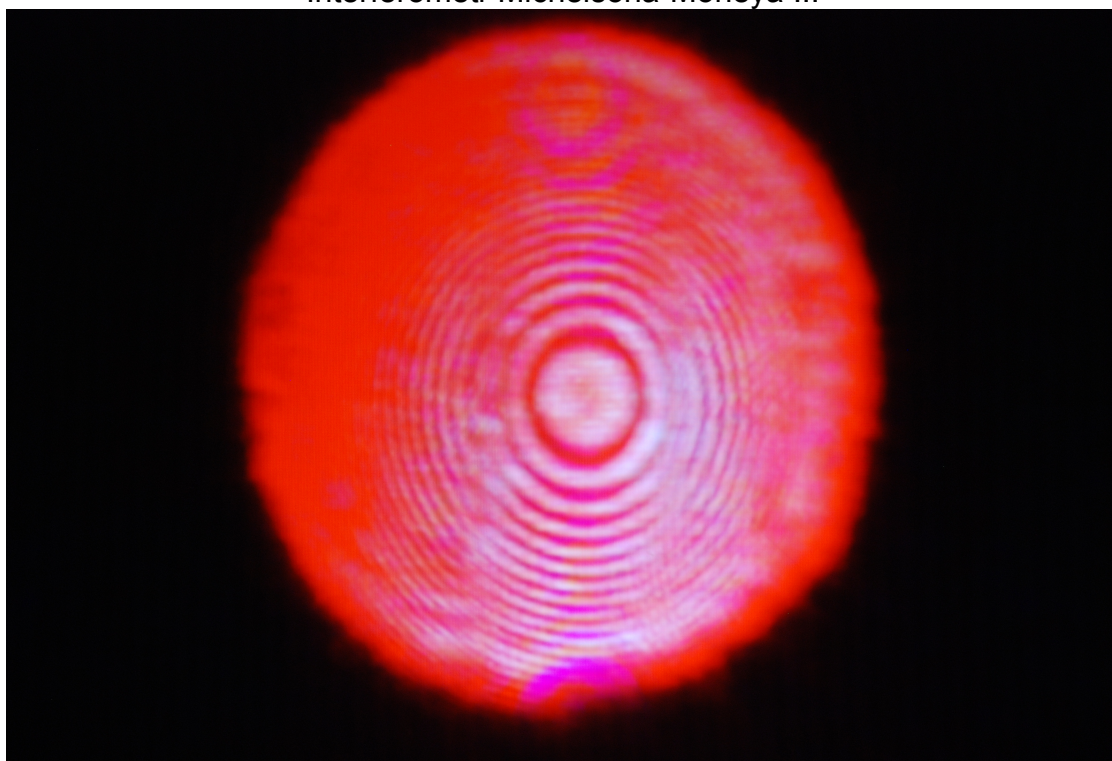
Świat widziany przez okulary z siatka dyfrakcyjną wydaje się weselszy!



W trakcie wykładu



Interferometr Michelsona-Morleya ...



... i uzyskany obraz interferencyjny



Po zajęciach



Zabawa z kula plazmową zawsze intryguje....