1100-1BO15, rok akademicki 2020/21

OPTYKA GEOMETRYCZNA I INSTRUMENTALNA

dr hab. Rafał Kasztelanic

Wykład 1

OPTYKA GEOMETRYCZNA i INSTRUMENTALNA – program ogólny

- Czym jest światło ?
- Czym jest optyka ?
  - różne optyki
- Światło a materia
  - dielektryki
  - współczynnik załamania
  - dyspersja
  - metale
  - rozpraszanie, absorpcja
- Propagacja światła
- Wergencja
- Załamanie i odbicie światła
  - płytka płasko równoległa
  - pryzmaty
  - zwierciadła
  - soczewka cienka
    - skupiająca
    - rozpraszająca
  - soczewka gruba
    - punkty główne
    - płaszczyzny główne
    - punkty węzłowe
- Układy soczewek
  - przesłony, luki, źrenice
- Aberracje optyczne
- Optyka falowa
- Głębia ostrości
- Rozdzielczość
- Przyrządy optyczne
  - lupa
  - Luneta
    - Keplera
    - Galileusza
  - Mikroskop
  - Układy idealne a rzeczywiste

Czym jest światło ?

Historyczny rozwój optyka → fotonika

Optyka geometryczna - promień świetlny

Optyka falowa - fala nieznanej natury

Elektrodynamika – fala ELM

Optyka kwantowa - kwant

? ? ? ? - ?

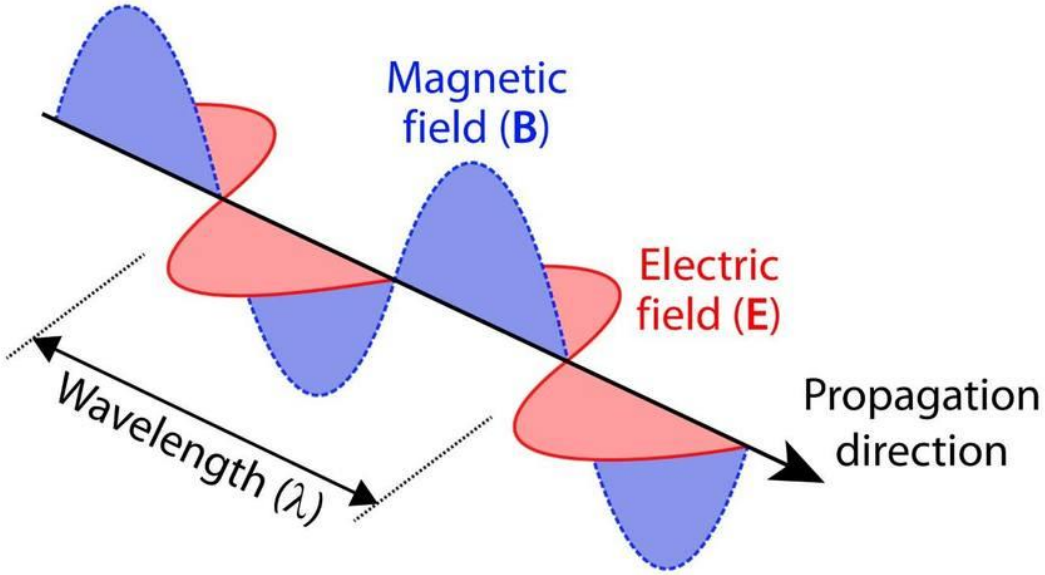
R.Jóźwicki: Podstawy inżynierii fotonicznej. Of.Wyd. PW, 2006

Czym jest światło ?

Światło jest falą elektromagnetyczną

Promieniowanie elektromagnetyczne ma charakter falowy

Fala elektromagnetyczna jest falą poprzeczną. Wektor pola elektrycznego *E* jest prostopadły do wektora pola magnetycznego *H* i oba są prostopadłe do kierunku propagacji fali

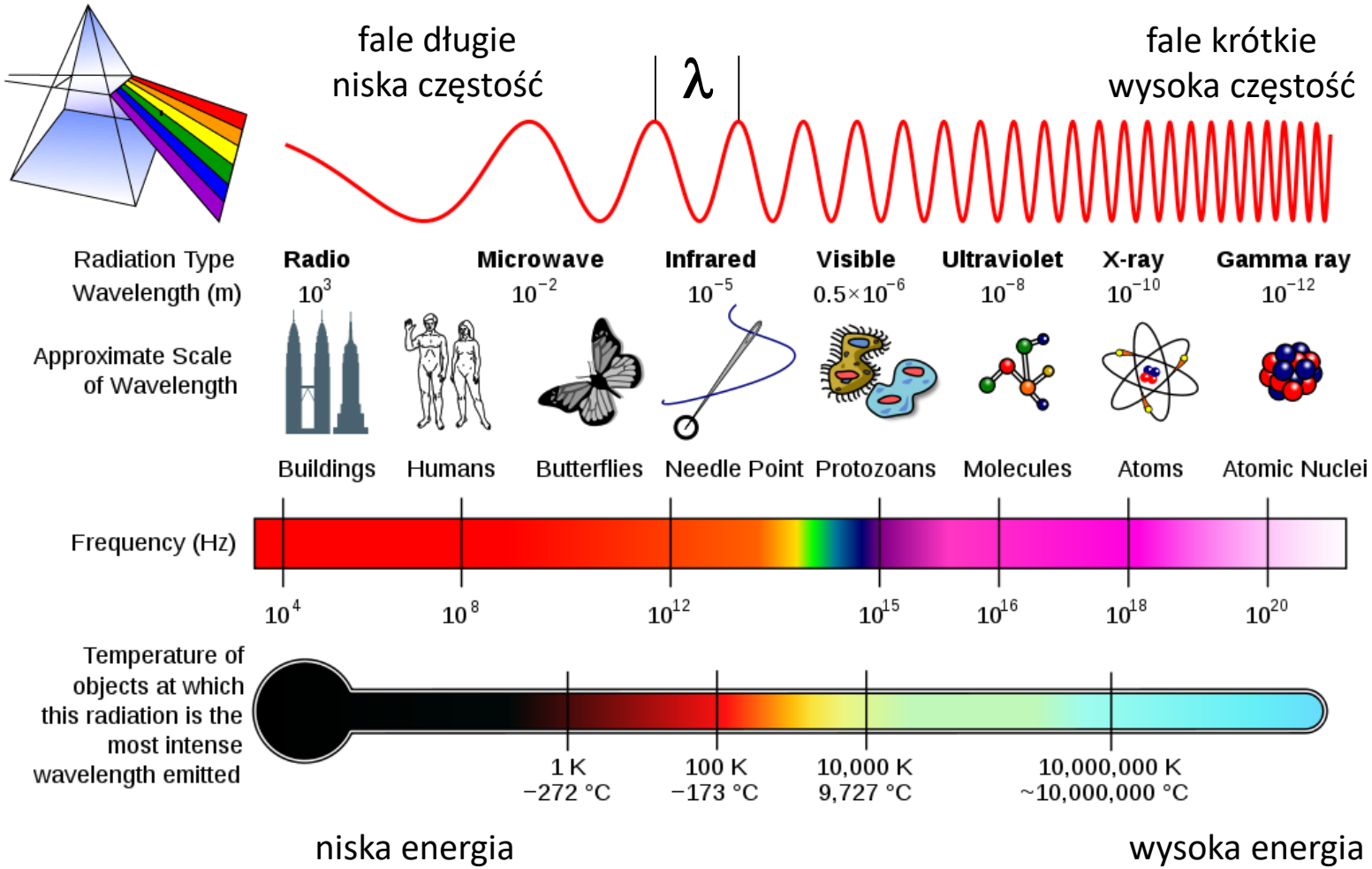


Prędkość fali elektromagnetycznej w próżni c = 299792458 m/s

V. Geert, AARGNews. 55 (2017)

Czym jest światło ?

długość fali światła λ [m], i związana z nią częstość *f* [Hz = 1/s]: $c = \lambda f$



Energia: $E = \frac{hc}{\lambda}$

commons.wikimedia.org

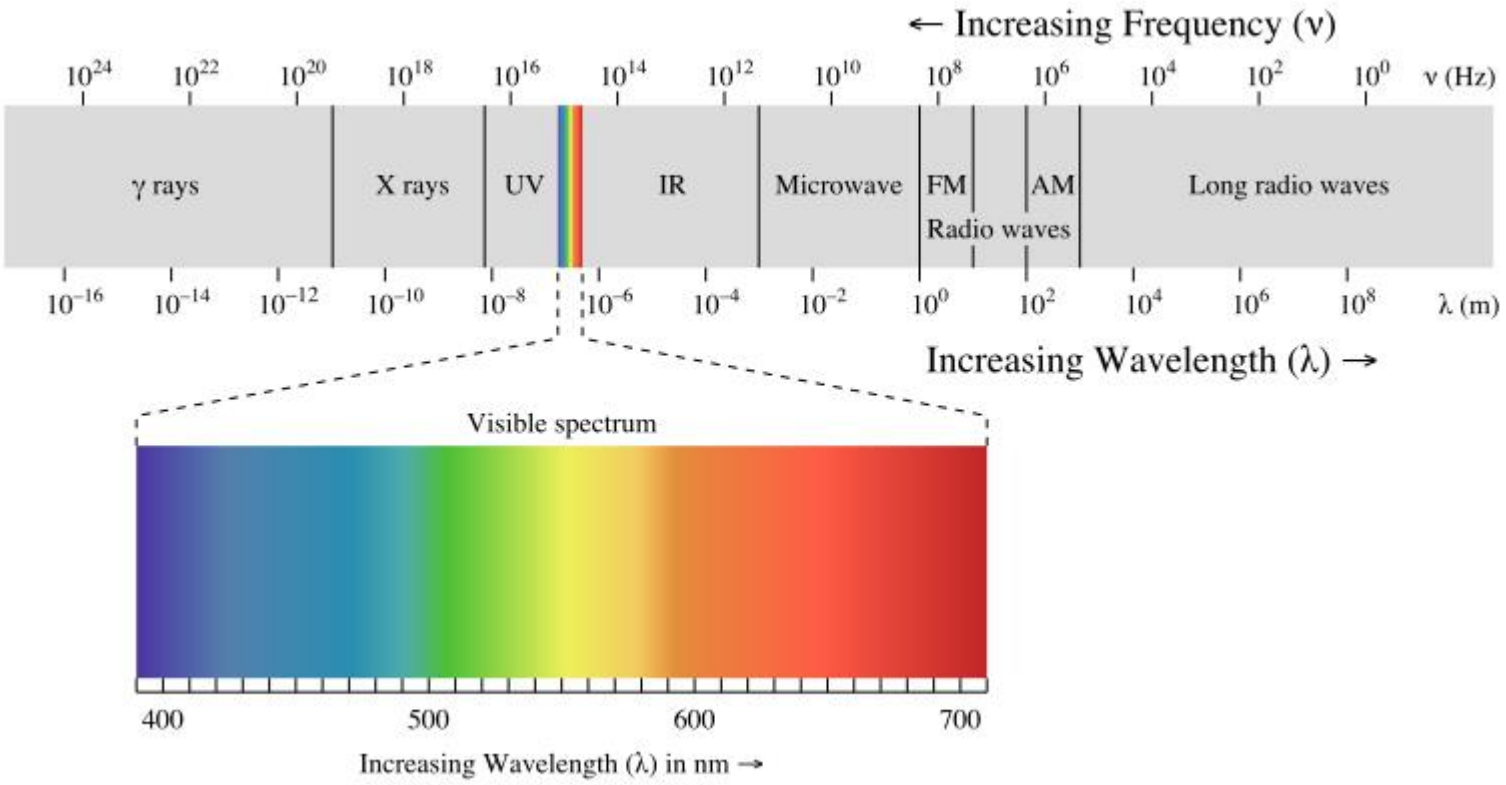
Czym jest światło ?

Jednostki długości używane dla fali elektromagnetycznej:

nazwa	symbol	mnożnik
kilometr	km	10^{3}
decymetr	dm	10^{-1}
centymetr	cm	10^{-2}
milimetr	mm	10^{-3}
mikrometr	µm	10^{-6}
nanometr	nm	10^{-9}
angstrem	Å	10^{-10}

Czym jest światło ?

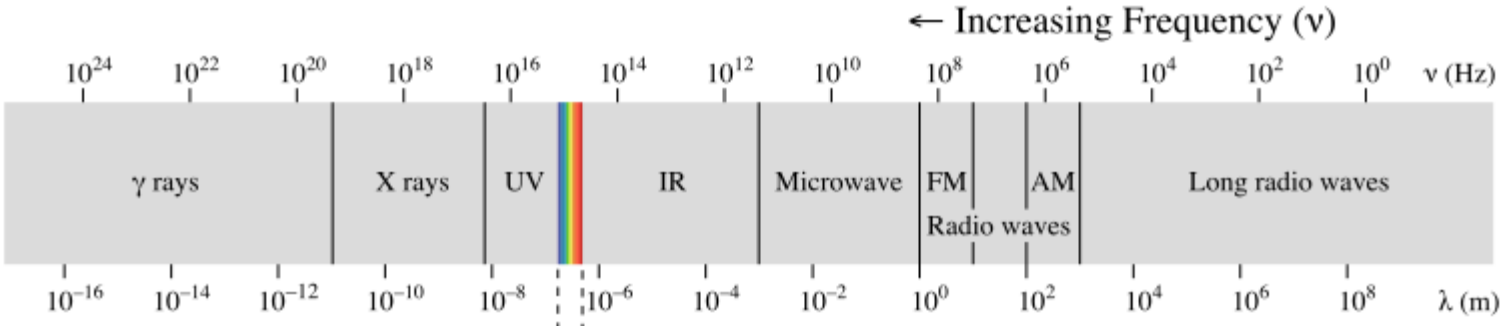
Podział spektrum fali elektromagnetycznej



wikipedia.org

Czym jest światło ?

Podział spektrum fali elektromagnetycznej



NADFIOLET – UV

Długość fali: λ = 10 ÷ 380 nm

Część materiałów pod wpływem oświetlenia UV świeci w zakresie światła widzialnego – fotoluminescencją

Gdy szybko zanika (10^{-8} s) – fluorescencja (biologia, skały)

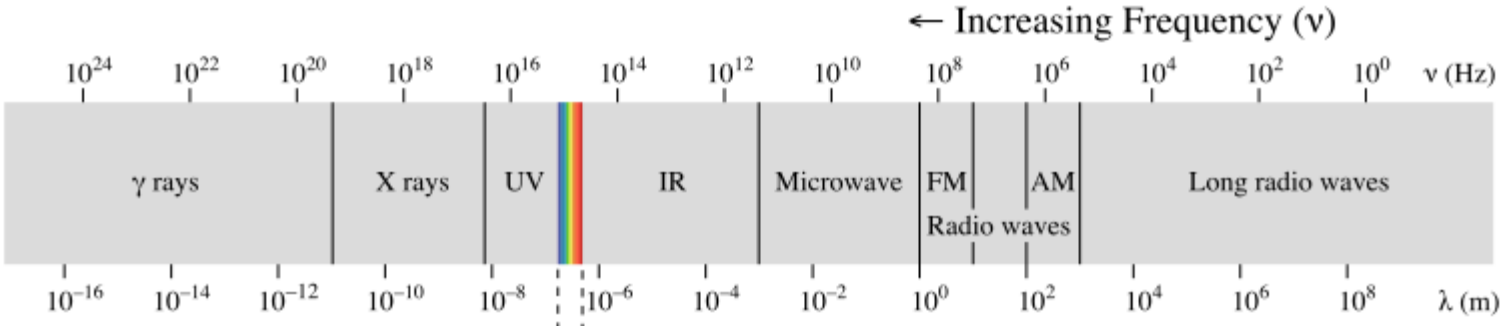
Gdy wolno zanika – fosforescencja (zegarek)

atomfortheworld.blogspot.com

pentax.org.pl

Czym jest światło ?

Podział spektrum fali elektromagnetycznej



ŚWIATŁO WIDZIALNE **Długość fali: λ = 380 ÷ 760 nm (789 ÷ 394 THz)**

Fiolet: λ = 380 ÷ 446 nm

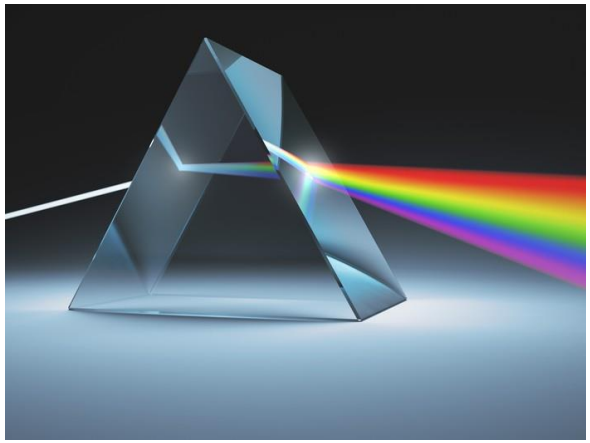
Niebieski: λ = 447 ÷ 500 nm

Zielony: λ = 500 ÷ 578 nm

Żółty: λ = 578 ÷ 592 nm

Pomarańczowy: λ = 592 ÷ 620 nm

Czerwony: λ = 620 ÷ 760 nm

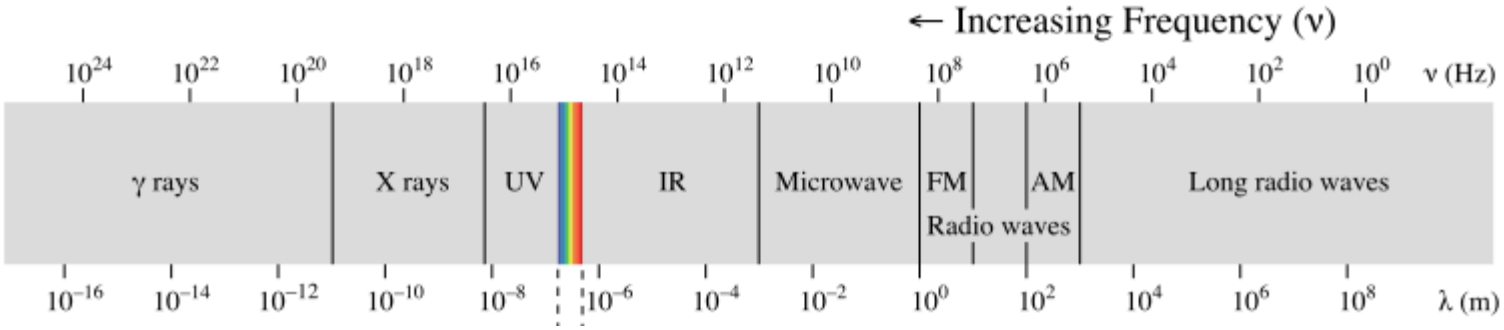


pixers.pl

Przykładem detektora czułego na światło widzialne jest ludzkie oko.

Czym jest światło ?

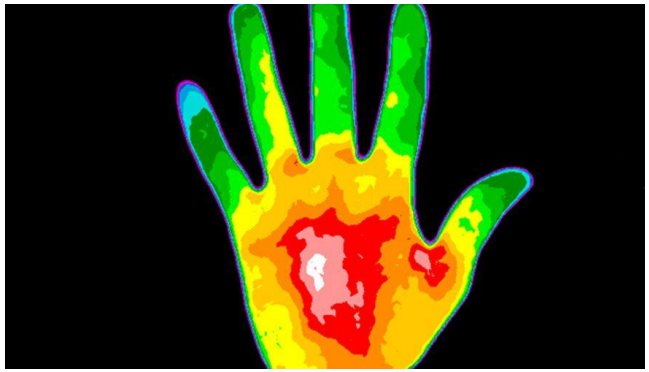
Podział spektrum fali elektromagnetycznej



PODCZERWIEŃ

Długość fali: λ = 0,72 ÷ 100 µm

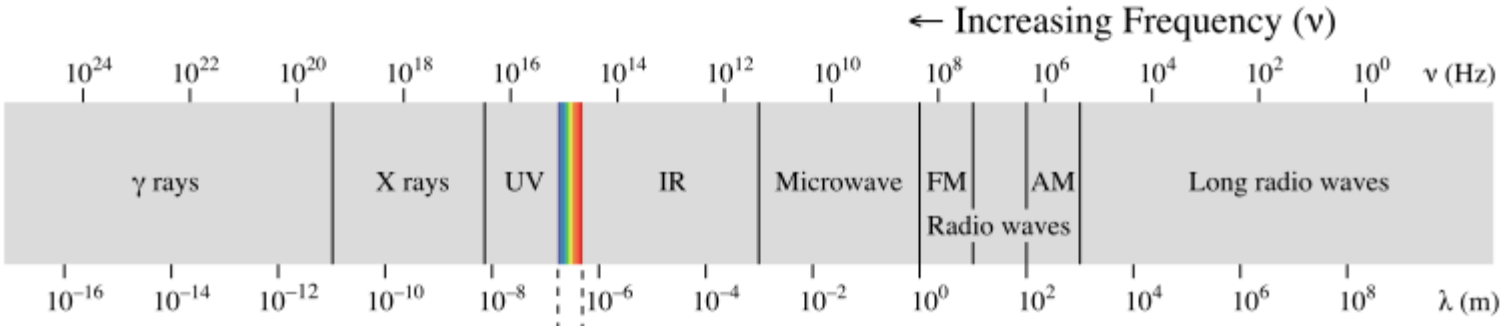
Zakres jest ponad 100 razy większy niż dla światła widzialnego



sciencing.com

Czym jest światło ?

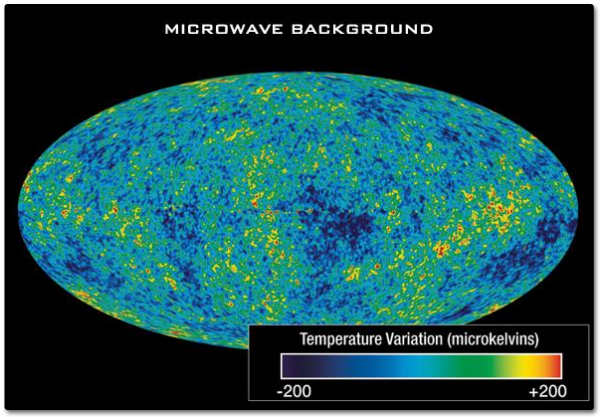
Podział spektrum fali elektromagnetycznej



MIKROFALE

Długość fali: λ = 100 µm ÷ 1 m

Nie jest tłumione przez parę wodną i wodę. Nadaje się do obserwacji powierzchni ziemi bez względu na pokrywę chmur.

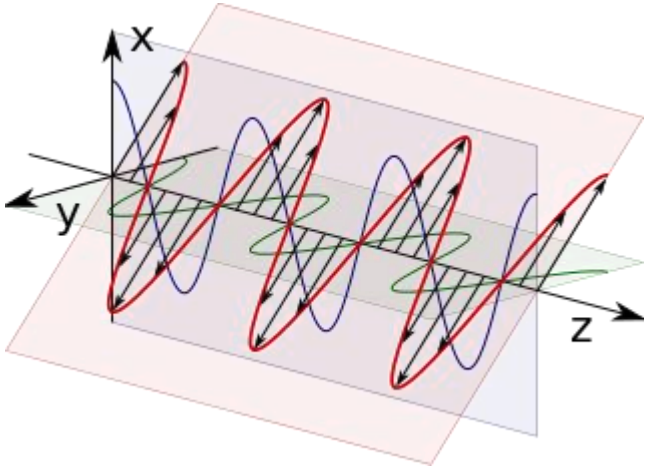


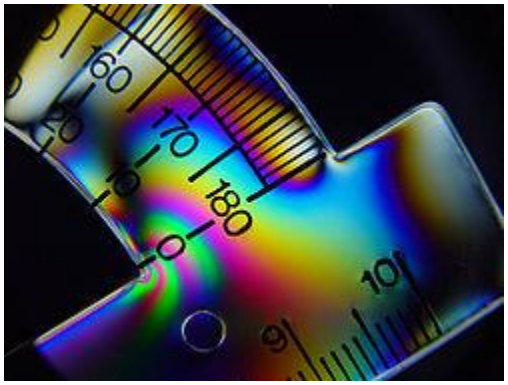
science.nasa.gov

Czym jest światło ?

Polaryzacja światła

- W przypadku typowych źródeł światła (termicznych, wyładowczych, itp.) wektor pola elektrycznego drga w różnych kierunkach prostopadłych do kierunku propagacji. Mówimy, że światło jest **niespolaryzowane**
- Przy **polaryzacji liniowej** drgania wektora pola **E** odbywają się w określonej płaszczyźnie, w kierunku prostopadłym do kierunku rozchodzenia się fali





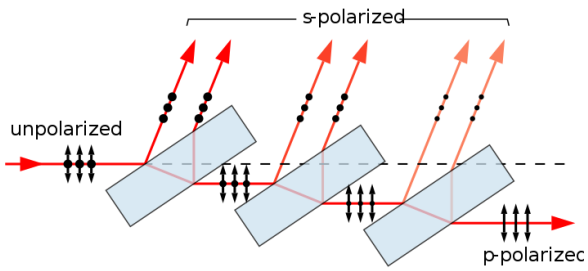
Polaryzacja wykorzystywana m.in. przy pomiarach naprężeń

pl.wikipedia.org

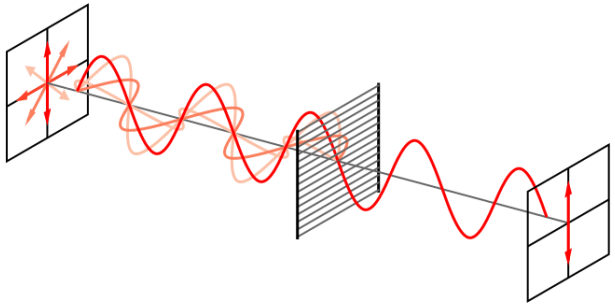
Czym jest światło ?

Polaryzacja światła

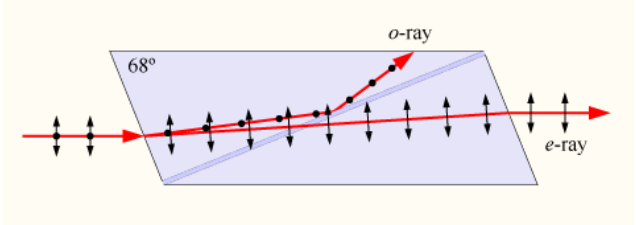
Polaryzacja przez odbicie (kąt Brewstera)



Polaryzacja przez siatkę drutów (polaryzator)



Polaryzacja w krysztale dwójłomnym

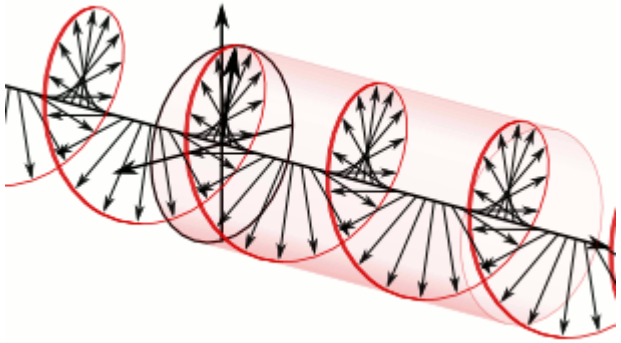


pl.wikipedia.org

Czym jest światło ?

Polaryzacja światła

- Przy **polaryzacji kołowej (eliptycznej)** wektor pola **E** zatacza okrąg (elipsę)



pl.wikipedia.org

Czym jest światło ?

Dualizm korpuskularno-falowy

- W pewnych sytuacjach światło może być traktowane jak strumień cząstek (kwantów, fotonów) o energii zależnej od częstotliwości, w innych zaś jak fala.
- Energia kwantu światła jest wprost proporcjonalna do częstotliwości, stałą proporcjonalności jest stała Plancka $h \approx 6{,}626 \times 10^{-34}\ J{\cdot}s$.
- Energia kwantu $E = h\nu = hc/\lambda$.
- Im mniejsza długość fali tym większa energia kwantu światła (UV jest bardziej „energetyczne” niż IR).

Czym jest światło ?

Prędkość światła

Kiedy	Kto	Ile [km/s]
1675	Rømer i Huygens, księżyce Jowisza	220 000
1729	James Bradley, aberracja światła	301 000
1849	Hippolyte Fizeau, koło zębate	315 000
1862	Léon Foucault, zwierciadło obrotowe	298 000 ± 500
1907	Rosa i Dorsey, stałe EM	299 710 ± 30
1926	Albert Michelson, zwierciadło obrotowe	299 796 ± 4
1950	Essen i Gordon-Smith, wnęka rezonansowa	299 792,5 ± 3,0
1958	K.D. Froome, radiointerferometria	299 792,50 ± 0,10
1972	Evenson *et al.*, interferometria laserowa	299 792,4562 ± 0,0011
1983	17th CGPM, definicja metra	299 792,458 (dokładnie)

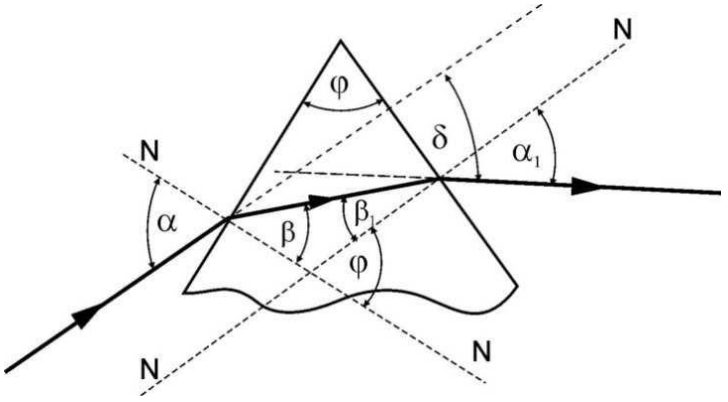
Czym jest optyka ?

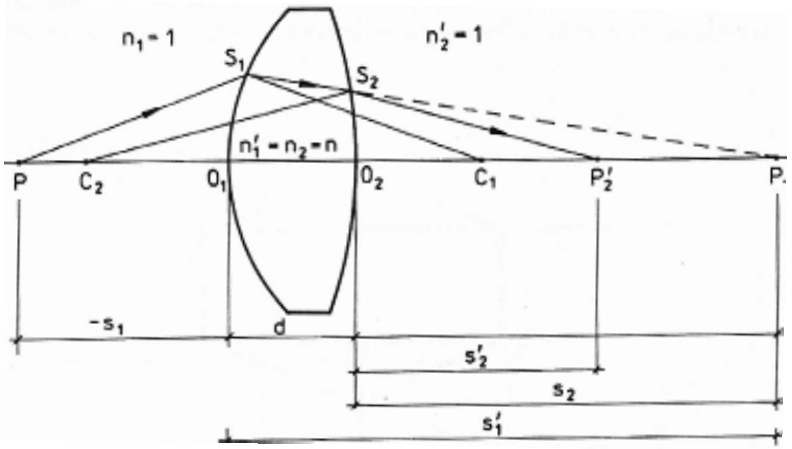
Czym jest optyka ?

- optyka geometryczna
- optyka instrumentalna
- optyka widzenia
- optyka okularowa
- optyka kwantowa
- optyka laserów
- optyka kryształów
- optyka nieliniowa
- optyka pola bliskiego i pola dalekiego
- optyka adaptatywna
- optyka statystyczna
- optyka fourierowska
- optyka dyfrakcyjna
- holografia
- optofluidyka
- optyka gradientowa
- optyka falowodowa
- optyka zintegrowana
- optyka cienkich warstw
- optyczne rozpoznawanie obrazów
- procesory optyczne
- optyczne sieci neuronowe
- optyka biologiczna
- mikrooptyka, nanooptyka
- fotonika
- plazmonika
- optyka ultraszybka
- radiometria, fotometria
- spektroskopia
- fotowoltaika

Czym jest optyka ?

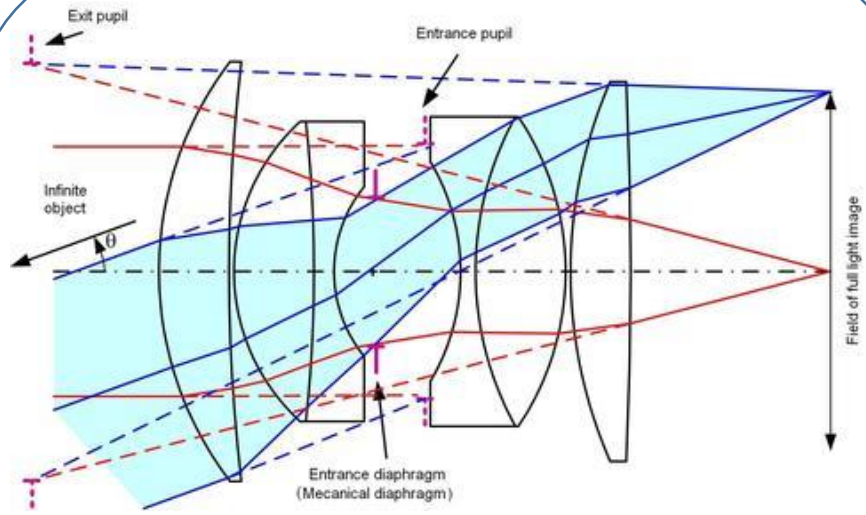
- optyka geometryczna
- optyka instrumentalna
- optyka widzenia
- optyka okularowa
- optyka kwantowa
- optyka laserów
- optyka kryształów
- optyka nieliniowa
- optyka pola bliskiego i pola dalekiego
- optyka adaptatywna
- optyka statystyczna
- optyka fourierowska
- optyka dyfrakcyjna
- holografia
- optofluidyka





Czym jest optyka ?

- optyka geometryczna
- optyka instrumentalna
- optyka widzenia
- optyka okularowa
- optyka kwantowa
- optyka laserów
- optyka kryształów
- optyka nieliniowa
- optyka pola bliskiego i pola dalekiego
- optyka adaptatywna
- optyka statystyczna
- optyka fourierowska
- optyka dyfrakcyjna
- holografia
- optofluidyka

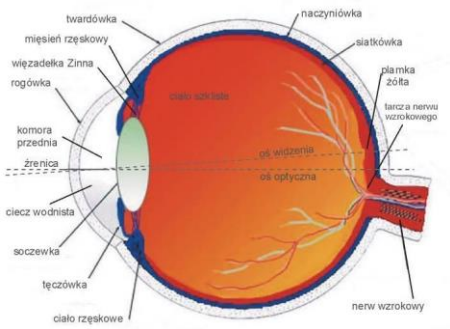


www.optique-ingenieur.org

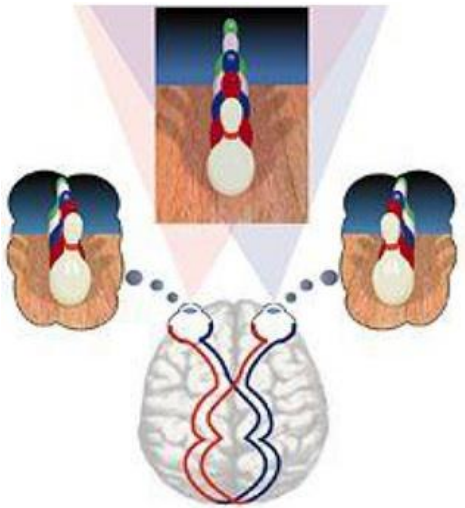
www.telescopes.net.nz

Czym jest optyka ?

- optyka geometryczna
- optyka instrumentalna
- optyka widzenia (fizjologiczna)
- optyka okularowa
- optyka kwantowa
- optyka laserów
- optyka kryształów
- optyka nieliniowa
- optyka pola bliskiego i pola dalekiego
- optyka adaptatywna
- optyka statystyczna
- optyka fourierowska
- optyka dyfrakcyjna
- holografia
- optofluidyka



www.okulista.radom.pl

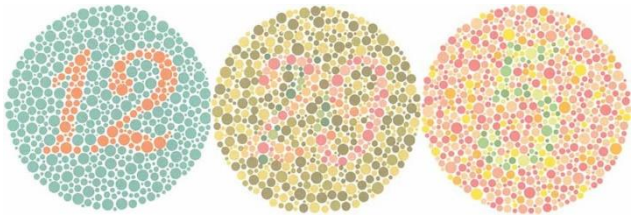


psycholog-transportu.blogspot.com

Czym jest optyka ?

- optyka geometryczna
- optyka instrumentalna
- optyka widzenia (fizjologiczna)
- optyka okularowa
- optyka kwantowa
- optyka laserów
- optyka kryształów
- optyka nieliniowa
- optyka pola bliskiego i pola dalekiego
- optyka adaptatywna
- optyka statystyczna
- optyka fourierowska
- optyka dyfrakcyjna
- holografia
- optofluidyka

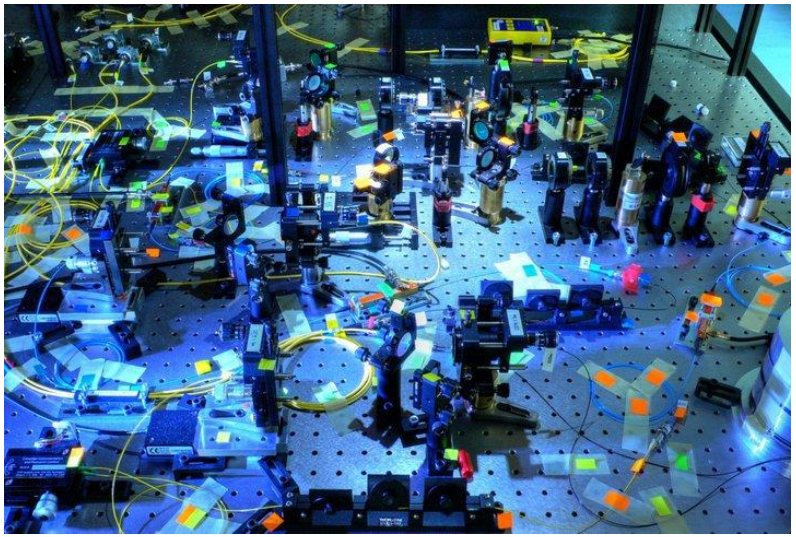
optykbajer.pl



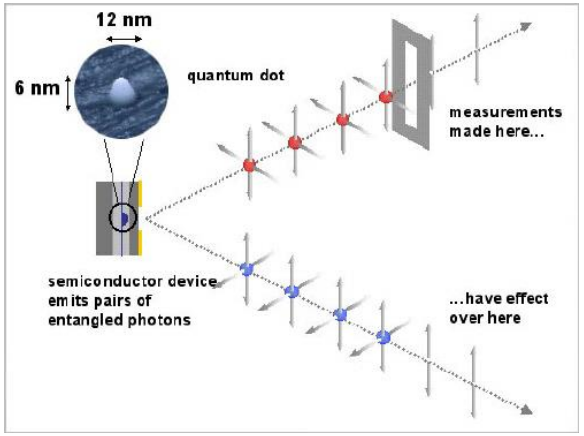
alwarez-pts.pl/

Czym jest optyka ?

- optyka geometryczna
- optyka instrumentalna
- optyka widzenia
- optyka okularowa
- optyka kwantowa
- optyka laserów
- optyka kryształów
- optyka nieliniowa
- optyka pola bliskiego i pola dalekiego
- optyka adaptatywna
- optyka statystyczna
- optyka fourierowska
- optyka dyfrakcyjna
- holografia
- optofluidyka



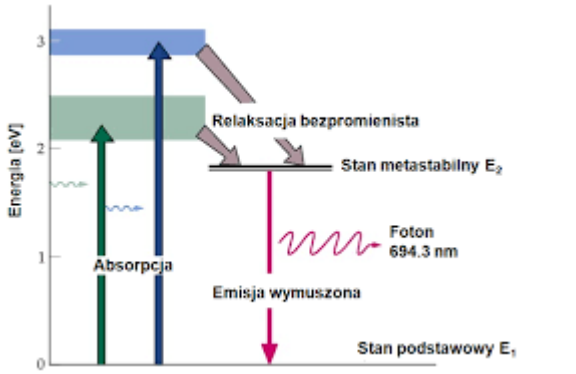
quantum.opticsolomouc.org



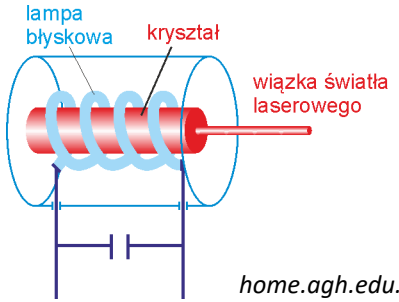
icecoldscience.blogspot.com

Czym jest optyka ?

- optyka geometryczna
- optyka instrumentalna
- optyka widzenia
- optyka okularowa
- optyka kwantowa
- optyka laserów
- optyka kryształów
- optyka nieliniowa
- optyka pola bliskiego i pola dalekiego
- optyka adaptatywna
- optyka statystyczna
- optyka fourierowska
- optyka dyfrakcyjna
- holografia
- optofluidyka



cmf.p.lodz.pl

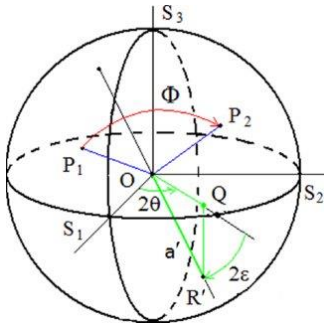


home.agh.edu.pl

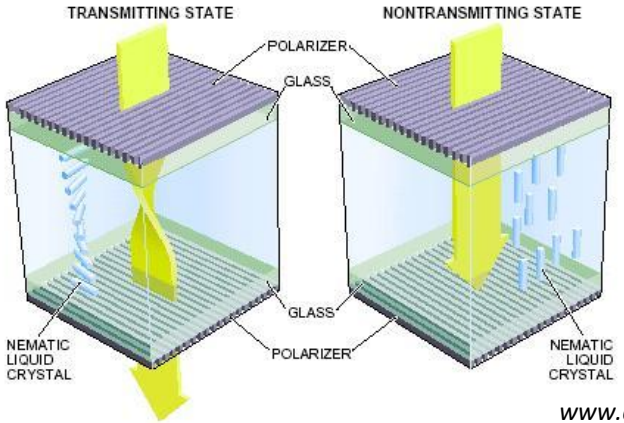
www.fiztaszki.pl

Czym jest optyka ?

- optyka geometryczna
- optyka instrumentalna
- optyka widzenia
- optyka okularowa
- optyka kwantowa
- optyka laserów
- optyka kryształów (ciekłe kryształy)
- optyka nieliniowa
- optyka pola bliskiego i pola dalekiego
- optyka adaptatywna
- optyka statystyczna
- optyka fourierowska
- optyka dyfrakcyjna
- holografia
- optofluidyka



Li, Changsheng, Appl. Optics. 47 (2008)

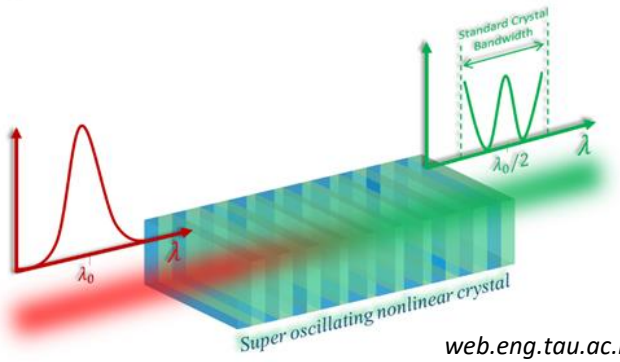


www.ch.ic.ac.uk

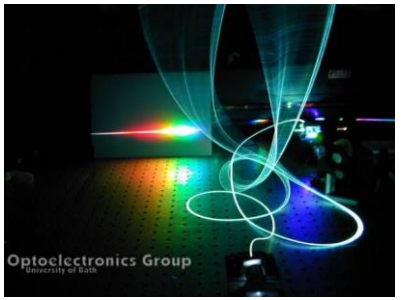
www.touchscreenlcddisplays.com

Czym jest optyka ?

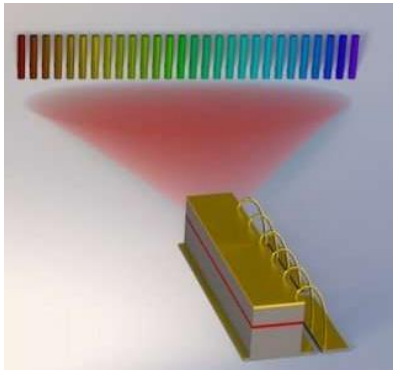
- optyka geometryczna
- optyka instrumentalna
- optyka widzenia
- optyka okularowa
- optyka kwantowa
- optyka laserów
- optyka kryształów
- optyka nieliniowa
- optyka pola bliskiego i pola dalekiego
- optyka adaptatywna
- optyka statystyczna
- optyka fourierowska
- optyka dyfrakcyjna
- holografia
- optofluidyka



web.eng.tau.ac.il



pl.pinterest.com

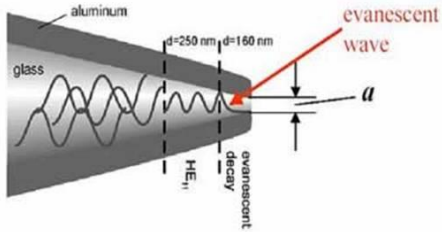


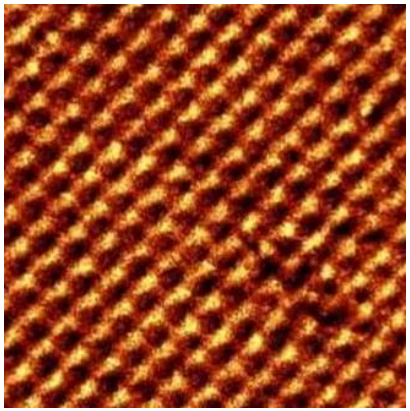
phys.org

Czym jest optyka ?

- optyka geometryczna
- optyka instrumentalna
- optyka widzenia
- optyka okularowa
- optyka kwantowa
- optyka laserów
- optyka kryształów
- optyka nieliniowa
- optyka pola bliskiego i pola dalekiego
- optyka adaptatywna
- optyka statystyczna
- optyka fourierowska
- optyka dyfrakcyjna
- holografia
- optofluidyka

goldenageofgaia.com

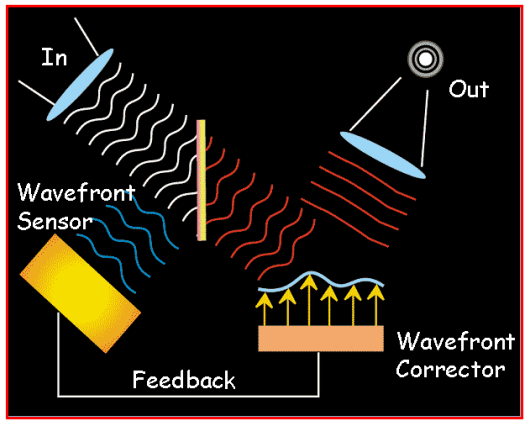




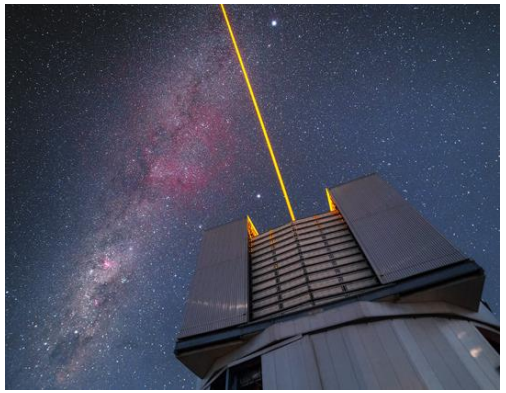
www.azonano.com

Czym jest optyka ?

- optyka geometryczna
- optyka instrumentalna
- optyka widzenia
- optyka okularowa
- optyka kwantowa
- optyka laserów
- optyka kryształów
- optyka nieliniowa
- optyka pola bliskiego i pola dalekiego
- optyka adaptatywna
- optyka statystyczna
- optyka fourierowska
- optyka dyfrakcyjna
- holografia
- optofluidyka



www.ast.cam.ac.uk

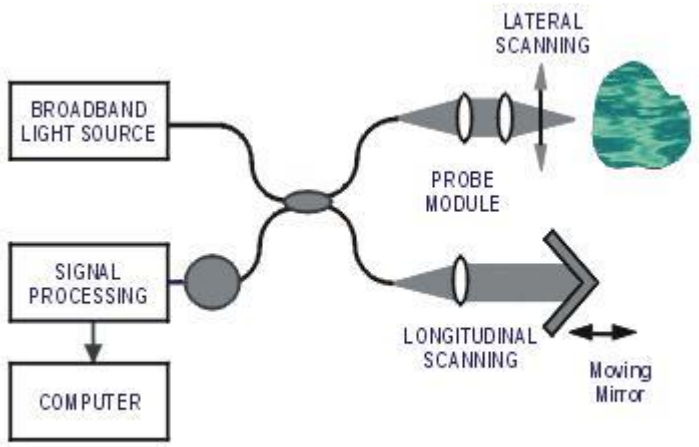


www.cilas.com

newatlas.com

Czym jest optyka ?

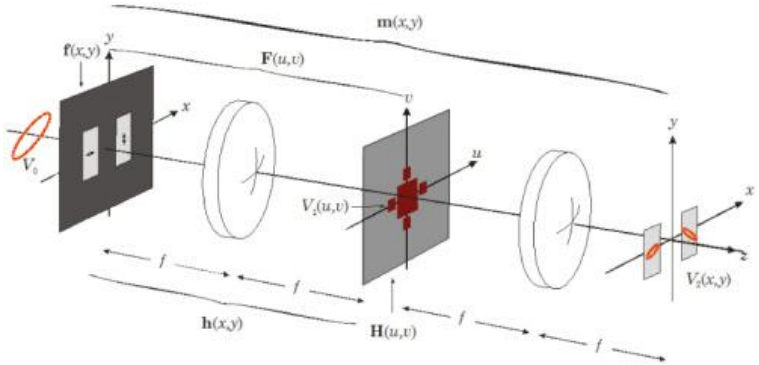
- optyka geometryczna
- optyka instrumentalna
- optyka widzenia
- optyka okularowa
- optyka kwantowa
- optyka laserów
- optyka kryształów
- optyka nieliniowa
- optyka pola bliskiego i pola dalekiego
- optyka adaptatywna
- optyka statystyczna
- optyka fourierowska
- optyka dyfrakcyjna
- holografia
- optofluidyka



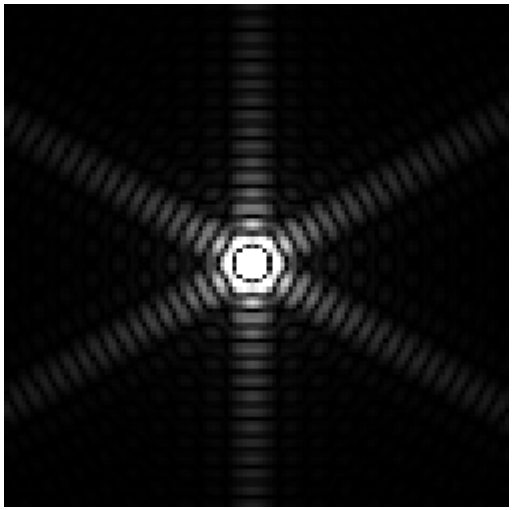
ocw.mit.edu

Czym jest optyka ?

- optyka geometryczna
- optyka instrumentalna
- optyka widzenia
- optyka okularowa
- optyka kwantowa
- optyka laserów
- optyka kryształów
- optyka nieliniowa
- optyka pola bliskiego i pola dalekiego
- optyka adaptatywna
- optyka statystyczna
- optyka fourierowska
- optyka dyfrakcyjna
- holografia
- optofluidyka



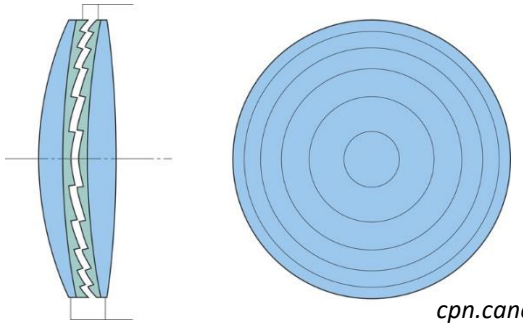
I. Moreno, at al., Opt. Expr. 19(5) (2011)



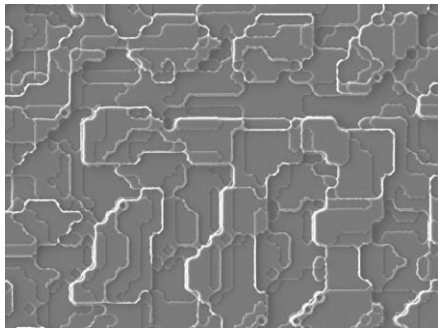
astro.ucla.edu

Czym jest optyka ?

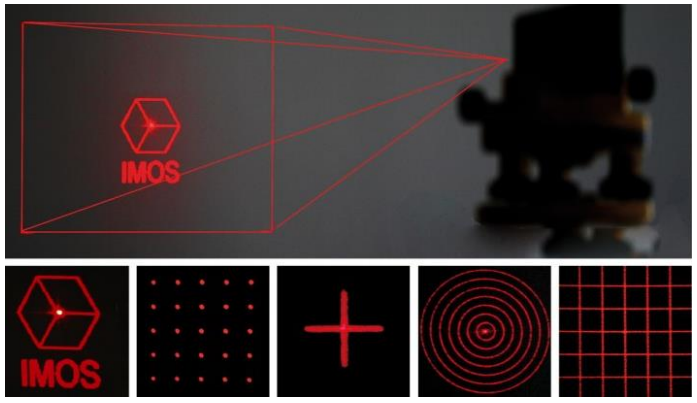
- optyka geometryczna
- optyka instrumentalna
- optyka widzenia
- optyka okularowa
- optyka kwantowa
- optyka laserów
- optyka kryształów
- optyka nieliniowa
- optyka pola bliskiego i pola dalekiego
- optyka adaptatywna
- optyka statystyczna
- optyka fourierowska
- optyka dyfrakcyjna
- holografia
- optofluidyka



cpn.canon-europe.com



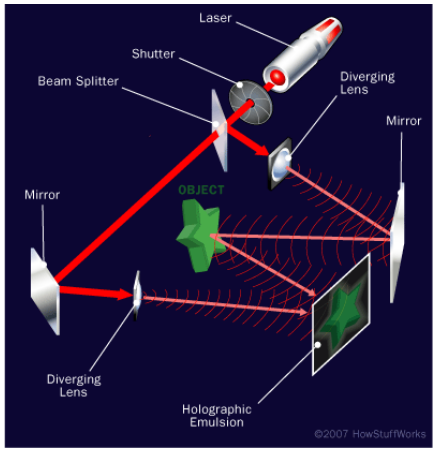
opt.epfl.ch



www.imos-gubela.com

Czym jest optyka ?

- optyka geometryczna
- optyka instrumentalna
- optyka widzenia
- optyka okularowa
- optyka kwantowa
- optyka laserów
- optyka kryształów
- optyka nieliniowa
- optyka pola bliskiego i pola dalekiego
- optyka adaptatywna
- optyka statystyczna
- optyka fourierowska
- optyka dyfrakcyjna
- holografia
- optofluidyka



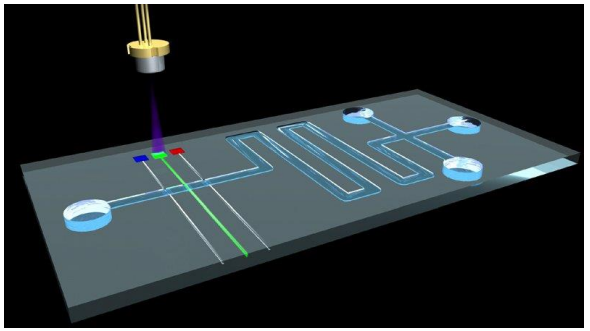
www.pcworld.com.vn

www.youtube.com

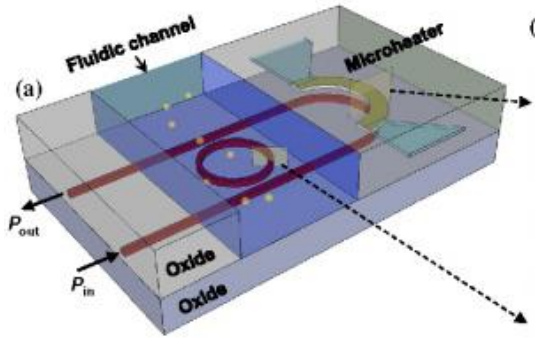
www.youtube.com

Czym jest optyka ?

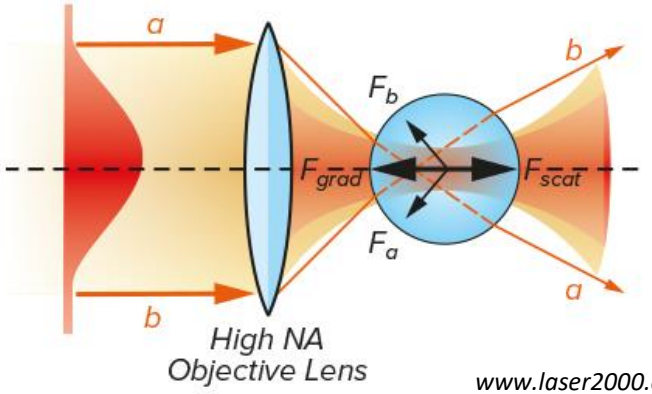
- optyka geometryczna
- optyka instrumentalna
- optyka widzenia
- optyka okularowa
- optyka kwantowa
- optyka laserów
- optyka kryształów
- optyka nieliniowa
- optyka pola bliskiego i pola dalekiego
- optyka adaptatywna
- optyka statystyczna
- optyka fourierowska
- optyka dyfrakcyjna
- holografia
- optofluidyka



www.thepinsta.com

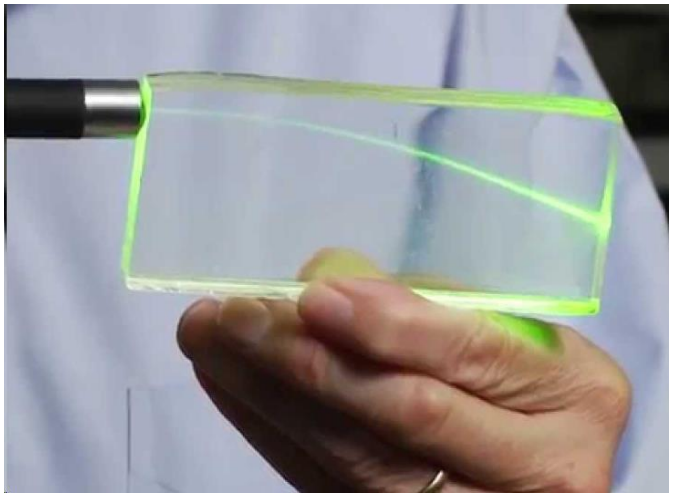


M. Soltani, at. al., Opt. Expr. 20(20) (2012)

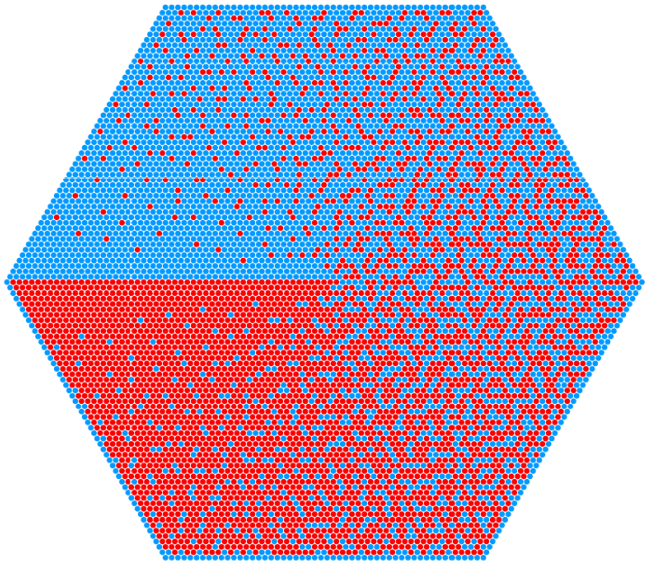


www.laser2000.co.uk

Czym jest optyka ?

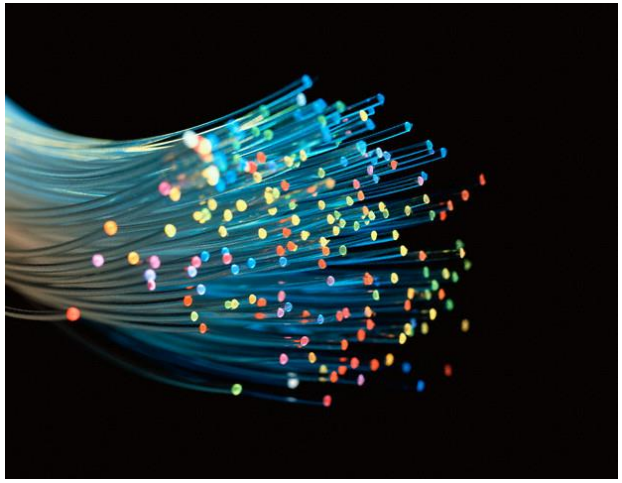


www.youtube.com/watch?v=rnNjV3fh-4M

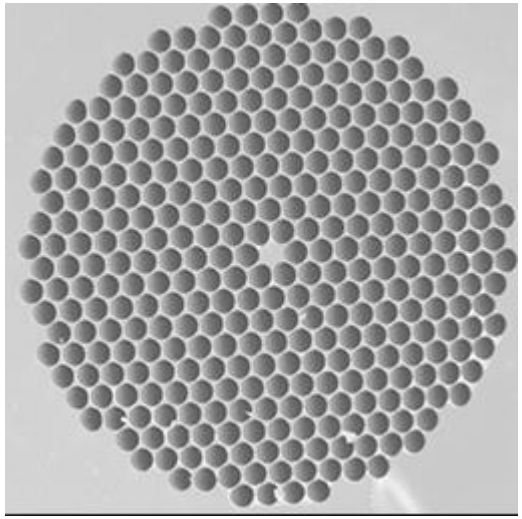


- optyka gradientowa
- optyka falowodowa
- optyka zintegrowana
- optyka cienkich warstw
- optyczne rozpoznawanie obrazów
- procesory optyczne
- optyczne sieci neuronowe
- optyka biologiczna
- mikrooptyka, nanooptyka
- fotonika
- plazmonika
- optyka ultraszybka
- radiometria, fotometria
- spektroskopia
- fotowoltaika

Czym jest optyka ?



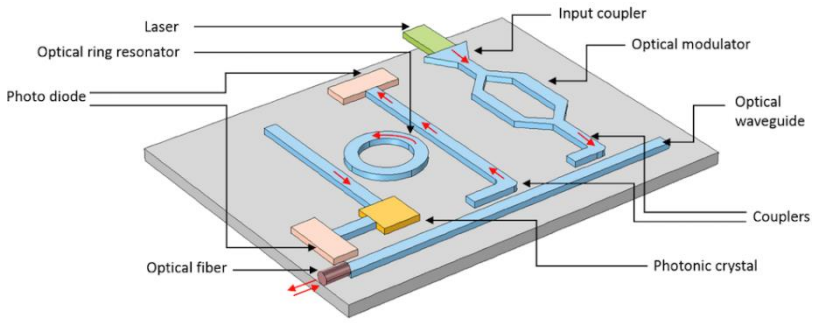
www.feasa.ie



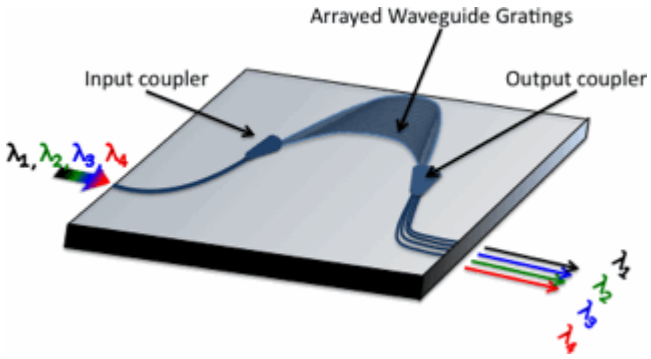
www.iop.org

- optyka gradientowa
- optyka falowodowa
- optyka zintegrowana
- optyka cienkich warstw
- optyczne rozpoznawanie obrazów
- procesory optyczne
- optyczne sieci neuronowe
- optyka biologiczna
- mikrooptyka, nanooptyka
- fotonika
- plazmonika
- optyka ultraszybka
- radiometria, fotometria
- spektroskopia
- fotowoltaika

Czym jest optyka ?



www.comsol.com

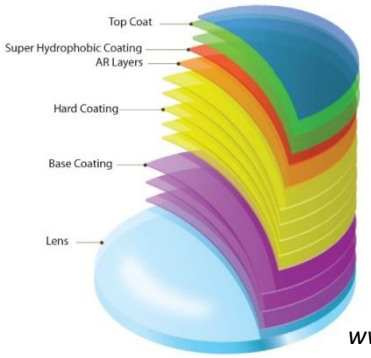


rafael.salas.free.fr

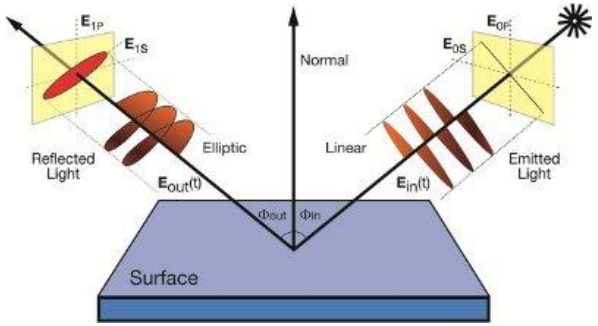
- optyka gradientowa
- optyka falowodowa
- optyka zintegrowana
- optyka cienkich warstw
- optyczne rozpoznawanie obrazów
- procesory optyczne
- optyczne sieci neuronowe
- optyka biologiczna
- mikrooptyka, nanooptyka
- fotonika
- plazmonika
- optyka ultraszybka
- radiometria, fotometria
- spektroskopia
- fotowoltaika

Czym jest optyka ?

www.allaboutvision.com



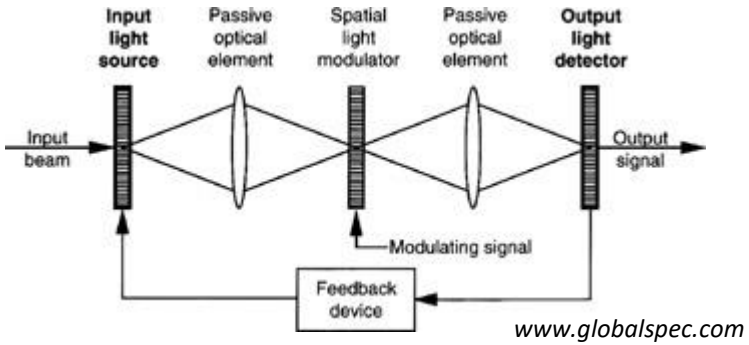
www.kmarsoptical.com



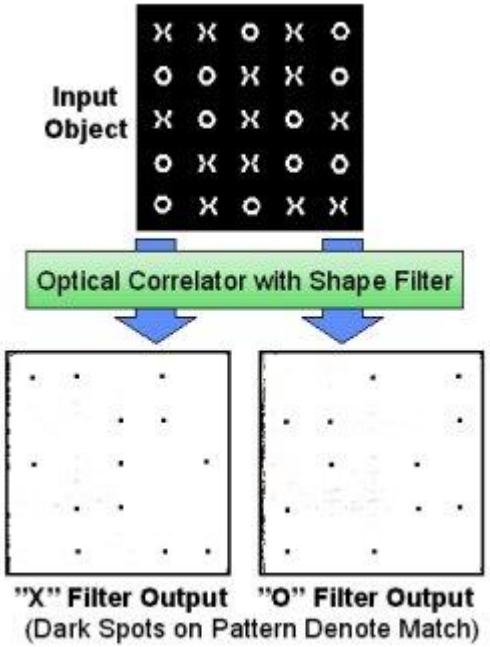
www.americanlaboratory.com

- optyka gradientowa
- optyka falowodowa
- optyka zintegrowana
- optyka cienkich warstw
- optyczne rozpoznawanie obrazów
- procesory optyczne
- optyczne sieci neuronowe
- optyka biologiczna
- mikrooptyka, nanooptyka
- fotonika
- plazmonika
- optyka ultraszybka
- radiometria, fotometria
- spektroskopia
- fotowoltaika

Czym jest optyka ?



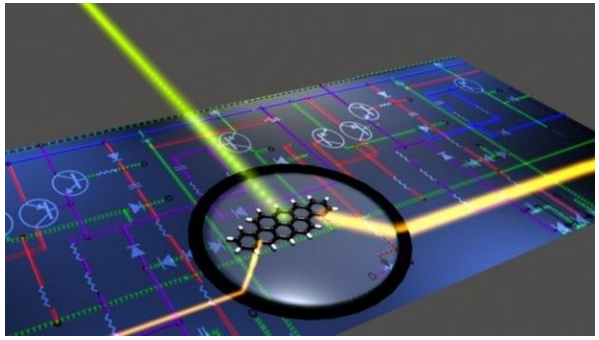
www.globalspec.com



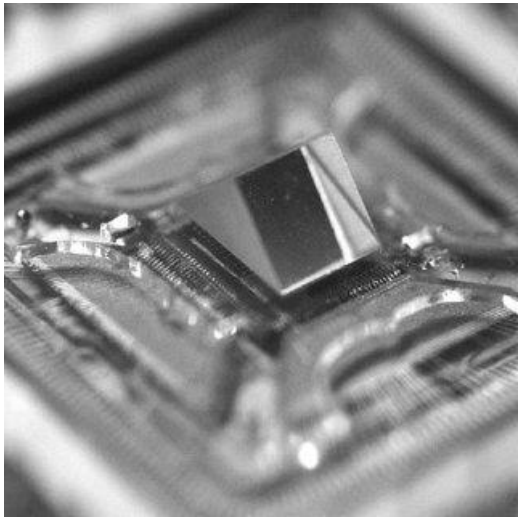
technet.pnnl.gov

- optyka gradientowa
- optyka falowodowa
- optyka zintegrowana
- optyka cienkich warstw
- optyczne rozpoznawanie obrazów
- procesory optyczne
- optyczne sieci neuronowe
- optyka biologiczna
- mikrooptyka, nanooptyka
- fotonika
- plazmonika
- optyka ultraszybka
- radiometria, fotometria
- spektroskopia
- fotowoltaika

Czym jest optyka ?



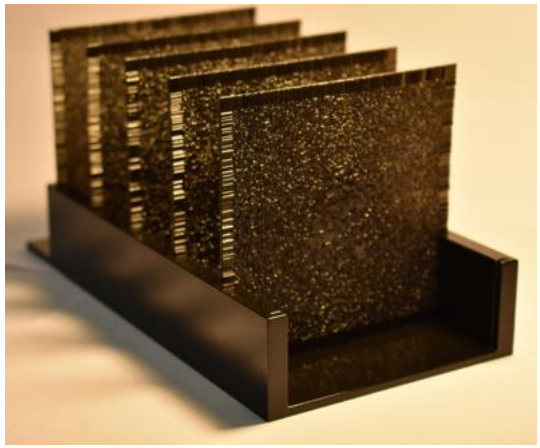
newatlas.com



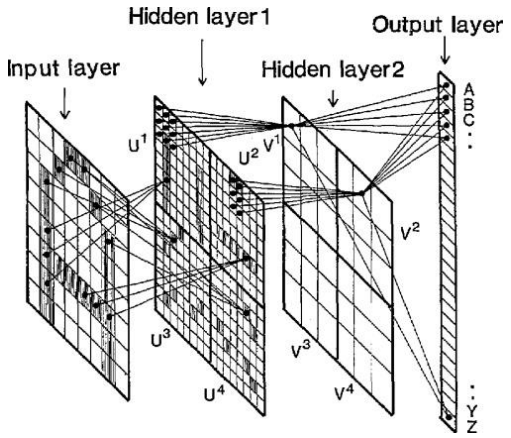
Christof Debaes's, VUB

- optyka gradientowa
- optyka falowodowa
- optyka zintegrowana
- optyka cienkich warstw
- optyczne rozpoznawanie obrazów
- procesory optyczne
- optyczne sieci neuronowe
- optyka biologiczna
- mikrooptyka, nanooptyka
- fotonika
- plazmonika
- optyka ultraszybka
- radiometria, fotometria
- spektroskopia
- fotowoltaika

Czym jest optyka ?



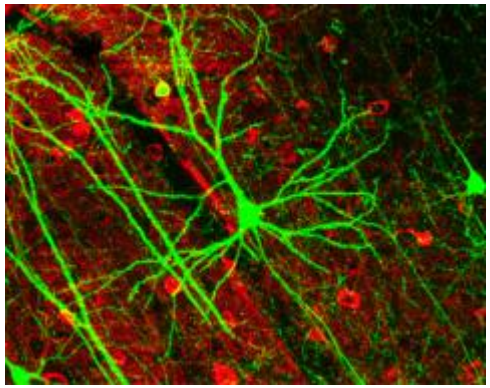
www.theengineer.co.uk



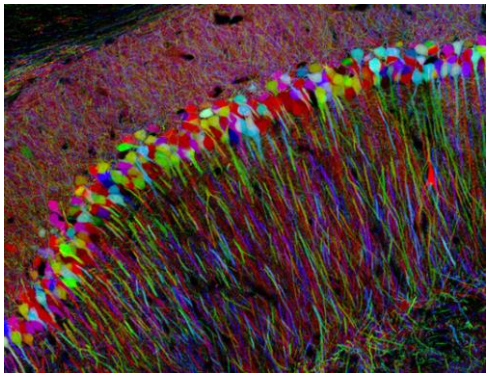
Y. Kuratomi at.al., Appl. Opt. 32(29) (1993)

- optyka gradientowa
- optyka falowodowa
- optyka zintegrowana
- optyka cienkich warstw
- optyczne rozpoznawanie obrazów
- procesory optyczne
- optyczne sieci neuronowe
- optyka biologiczna
- mikrooptyka, nanooptyka
- fotonika
- plazmonika
- optyka ultraszybka
- radiometria, fotometria
- spektroskopia
- fotowoltaika

Czym jest optyka ?



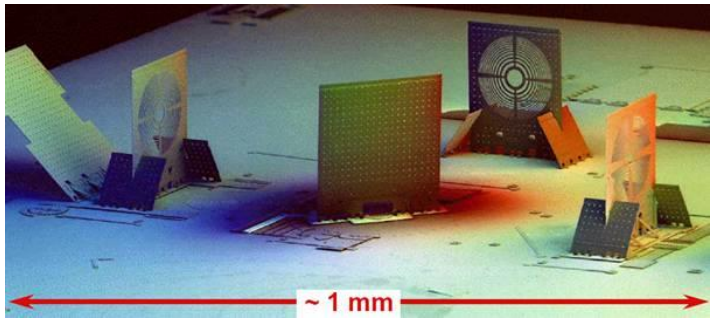
medicalxpress.com

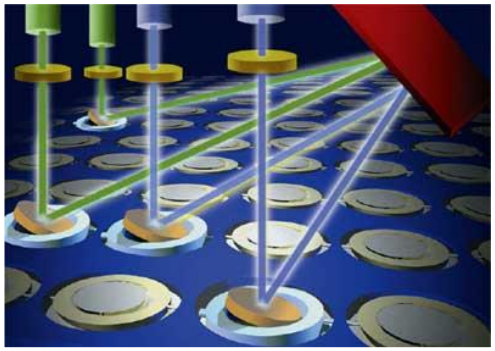


www.tumblr.com

- optyka gradientowa
- optyka falowodowa
- optyka zintegrowana
- optyka cienkich warstw
- optyczne rozpoznawanie obrazów
- procesory optyczne
- optyczne sieci neuronowe
- optyka biologiczna (opto-genetyka)
- mikrooptyka, nanooptyka
- fotonika
- plazmonika
- optyka ultraszybka
- radiometria, fotometria
- spektroskopia
- fotowoltaika

Czym jest optyka ?

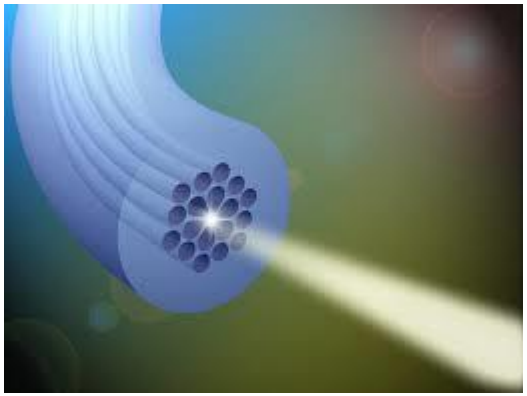


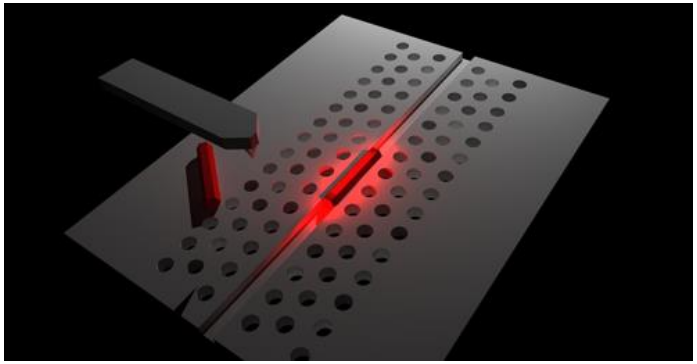


www.smithsonianmag.com

- optyka gradientowa
- optyka falowodowa
- optyka zintegrowana
- optyka cienkich warstw
- optyczne rozpoznawanie obrazów
- procesory optyczne
- optyczne sieci neuronowe
- optyka biologiczna
- mikrooptyka, nanooptyka
- fotonika
- plazmonika
- optyka ultraszybka
- radiometria, fotometria
- spektroskopia
- fotowoltaika

Czym jest optyka ?

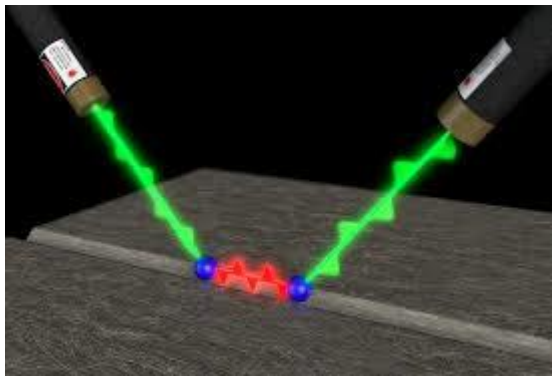




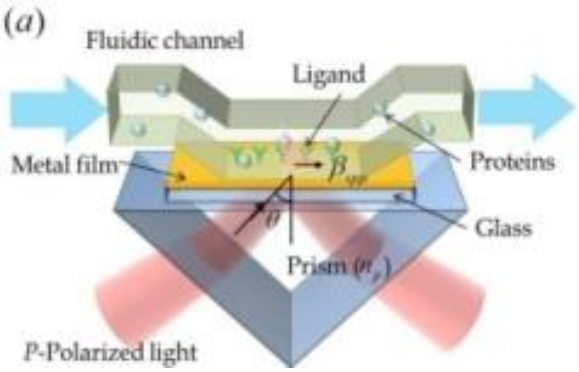
phys.org

- optyka gradientowa
- optyka falowodowa
- optyka zintegrowana
- optyka cienkich warstw
- optyczne rozpoznawanie obrazów
- procesory optyczne
- optyczne sieci neuronowe
- optyka biologiczna
- mikrooptyka, nanooptyka
- fotonika
- plazmonika
- optyka ultraszybka
- radiometria, fotometria
- spektroskopia
- fotowoltaika

Czym jest optyka ?



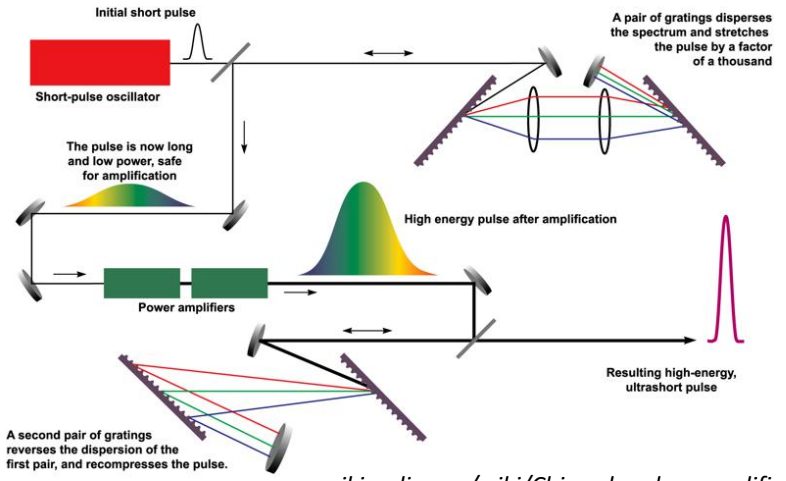
www.uam.es



openi.nlm.nih.gov

- optyka gradientowa
- optyka falowodowa
- optyka zintegrowana
- optyka cienkich warstw
- optyczne rozpoznawanie obrazów
- procesory optyczne
- optyczne sieci neuronowe
- optyka biologiczna
- mikrooptyka, nanooptyka
- fotonika
- plazmonika
- optyka ultraszybka
- radiometria, fotometria
- spektroskopia
- fotowoltaika

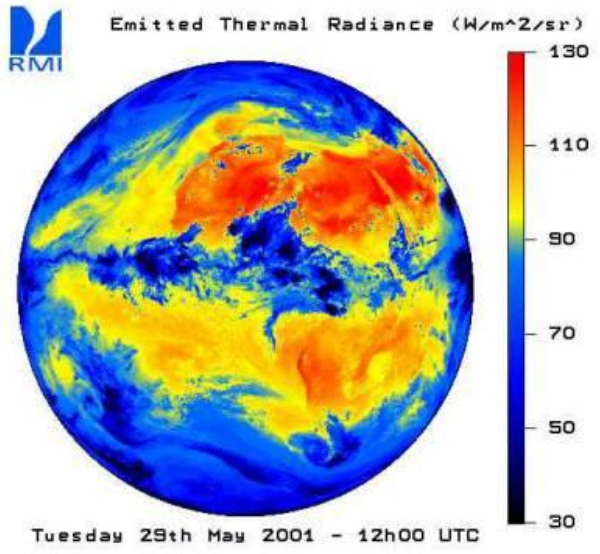
Czym jest optyka ?



en.wikipedia.org/wiki/Chirped_pulse_amplification

- optyka gradientowa
- optyka falowodowa
- optyka zintegrowana
- optyka cienkich warstw
- optyczne rozpoznawanie obrazów
- procesory optyczne
- optyczne sieci neuronowe
- optyka biologiczna
- mikrooptyka, nanooptyka
- fotonika
- plazmonika
- optyka ultraszybka
- radiometria, fotometria
- spektroskopia
- fotowoltaika

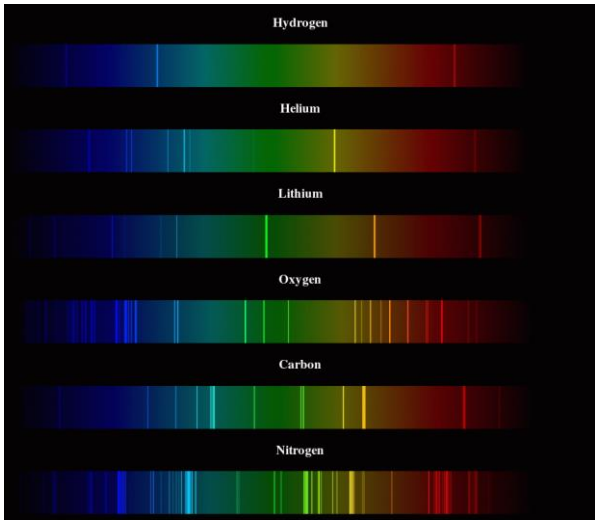
Czym jest optyka ?



gerb.oma.be

- optyka gradientowa
- optyka falowodowa
- optyka zintegrowana
- optyka cienkich warstw
- optyczne rozpoznawanie obrazów
- procesory optyczne
- optyczne sieci neuronowe
- optyka biologiczna
- mikrooptyka, nanooptyka
- fotonika
- plazmonika
- optyka ultraszybka
- radiometria, fotometria
- spektroskopia
- fotowoltaika

Czym jest optyka ?



www.astro.rug.nl

- optyka gradientowa
- optyka falowodowa
- optyka zintegrowana
- optyka cienkich warstw
- optyczne rozpoznawanie obrazów
- procesory optyczne
- optyczne sieci neuronowe
- optyka biologiczna
- mikrooptyka, nanooptyka
- fotonika
- plazmonika
- optyka ultraszybka
- radiometria, fotometria
- spektroskopia
- fotowoltaika

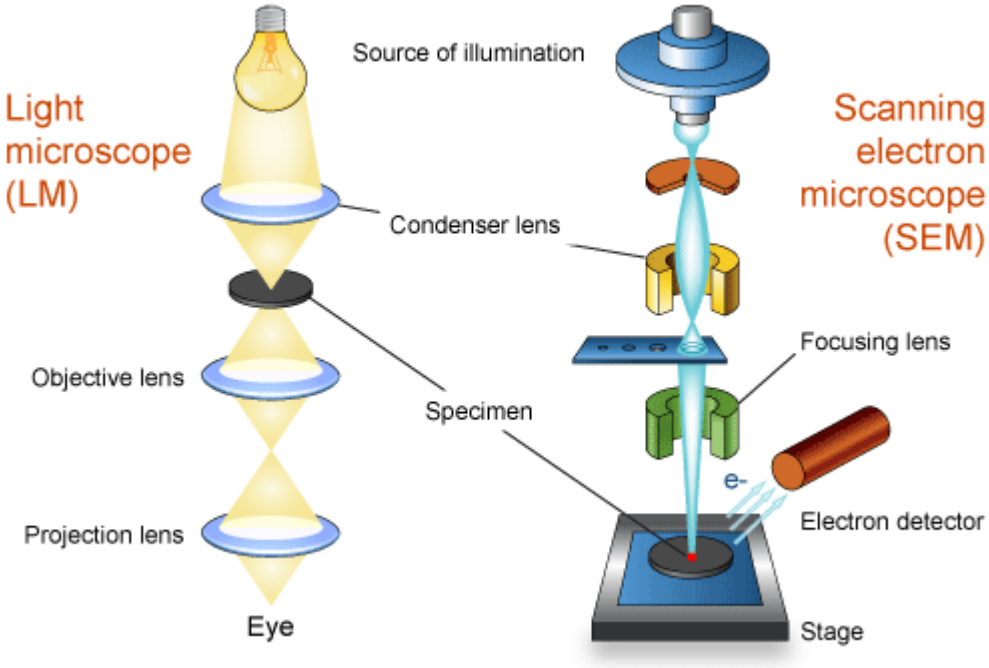
Czym jest optyka ?

rgsenergy.com/how-solar-panels-work

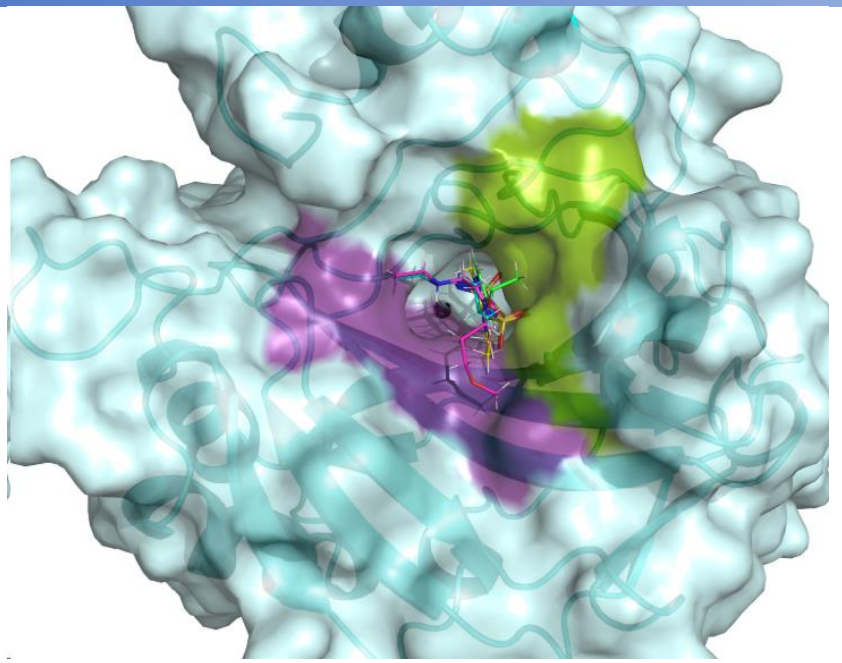
- optyka gradientowa
- optyka falowodowa
- optyka zintegrowana
- optyka cienkich warstw
- optyczne rozpoznawanie obrazów
- procesory optyczne
- optyczne sieci neuronowe
- optyka biologiczna
- mikrooptyka, nanooptyka
- fotonika
- plazmonika
- optyka ultraszybka
- radiometria, fotometria
- spektroskopia
- fotowoltaika

Czym jest optyka ?

- optyka elektronowa
- optyka neutronowa
- optyka ultradźwięków



microscopy.unimelb.edu.au



phys.org/news/2018-02-neutron-glaucoma-drugs-clues-enzyme.html

wuxicansonic.en.made-in-china.com

Światło a materia

Światło a materia - dielektryki

- ciało gazowe, ciekłe lub stałe niebędące przewodnikiem prądu elektrycznego
- charakteryzuje się współczynnikiem załamania n>1
- wykazuje dyspersje
- przezroczyste (zależy od długości fali)

www.obrazfizyki.pl

www.radiozet.pl

Światło a materia – współczynnik załamania światła

- szybkość z jaką światło propaguje się w materii (dielektrykach) jest zależna od „siły” oddziaływania z naładowanymi molekułami tworzącymi medium
- bezwzględny współczynnik załamania n jest miarą szybkości propagacji, zdefiniowany jako $n = c/v$, gdzie v jest szybkością propagacji w medium
- względny współczynnik załamania to stosunek współczynnika załamania materiału do współczynnika załamania innego materiału, zwykle powietrza $n = n_2/n_1$
- lub, stosunek prędkości fazowej fali w ośrodku odniesienia do prędkości fazowej fali w danym ośrodku $n = v_1/v_2$
- współczynnik załamania może być wyznaczony bezpośrednio $n = \sqrt{\varepsilon_r \mu_r}$

  gdzie: ε_r – względna przenikalność elektryczna ośrodka, μ_r – względna przenikalność magnetyczna ośrodka.
- współczynnik n jest praktycznie zawsze większy niż 1
- w większości typowych materiałów przezroczystych, współczynnik załamania jest izotropowy, czyli niezależny od kierunku propagacji
- Istnieją materiały izotropowe, dwójłomne
- może być zależny od położenia (np. soczewka oka, soczewka gradientowa)

Światło a materia - współczynnik załamania światła

ośrodek	wsp. załamania
próżnia	1
hel	1,000035
powietrze (1013 hPa, 20°C)	1,0003
woda	1,33
lód	1,310
alkohol etylowy	1,37
heksan	1,38
dwusiarczek węgla	1,63
jodek metylu	1,74
topiony kwarc	1,46
szkło crown	1,50-1,54
szkło flint	1,66
chlorek sodu	1,53
diament	2,417
rutyl	2,616; 2,903
plexiglas	1,489
krzem	~4