

1100-1BO15, rok akademicki 2018/19

# **OPTYKA GEOMETRYCZNA I INSTRUMENTALNA**

dr hab. Rafał Kasztelanic

- 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 nieznanego natury

Elektrodynamika – fala ELM

Optyka kwantowa - kwant



? ? ? ? - ?

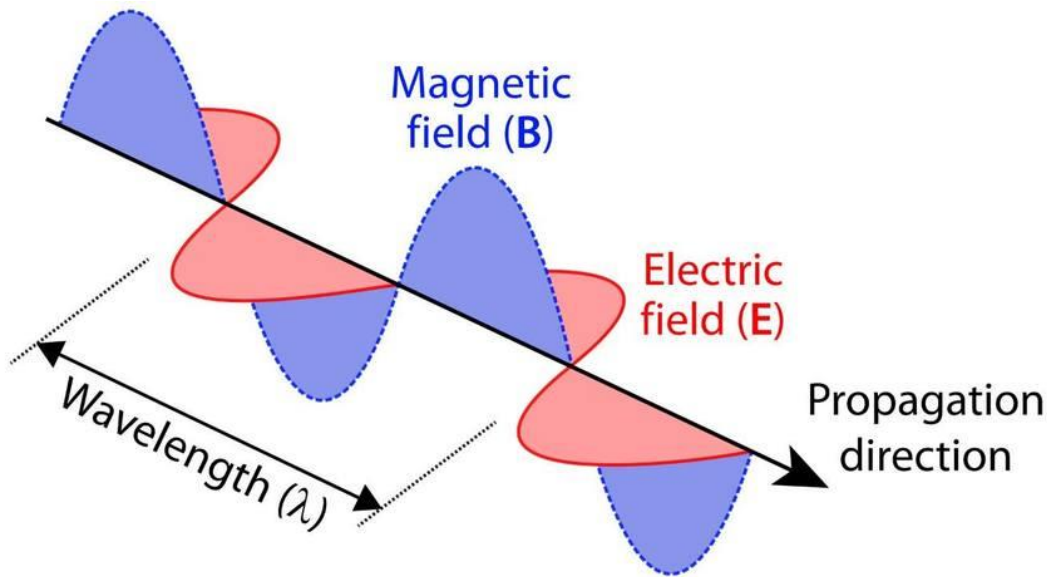
R.Jóźwicki: **Podstawy inżynierii fotonicznej**. Of.Wyd. PW, 2006

# Czym jest światło ?

## Światło jest falą elektromagnetyczną

Promieniowanie elektromagnetyczne ma charakter falowy

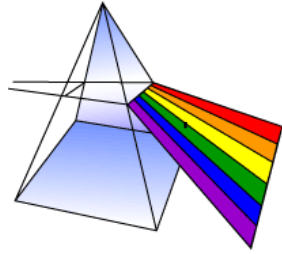
Fala elektromagnetyczna jest **falą poprzeczną**. Wektor pola **elektrycznego  $E$**  jest prostopadły do wektora pola **magnetycznego  $H$**  i oba są prostopadłe do **kierunku propagacji fali**



**Prędkość fali elektromagnetycznej w próżni  $c = 299792458$  m/s**

# Czym jest światło ?

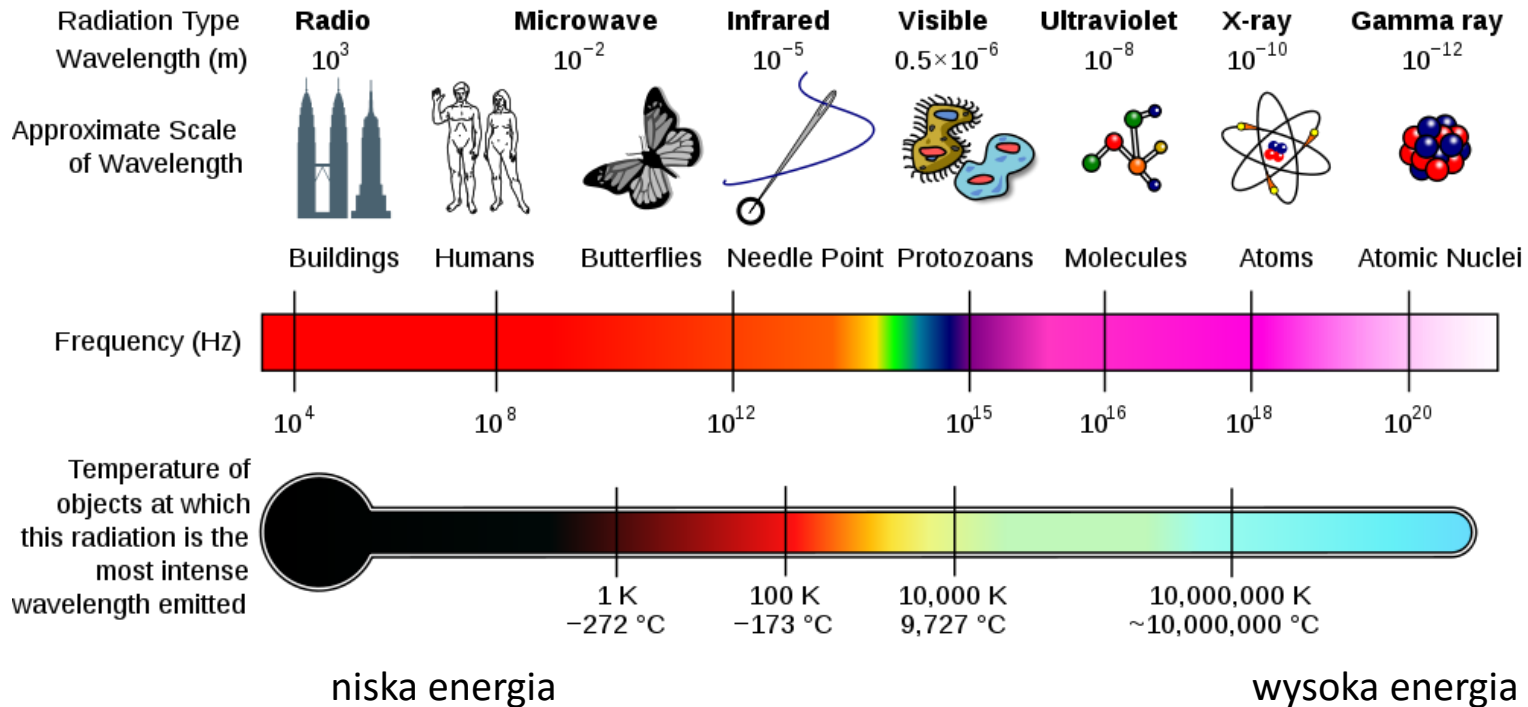
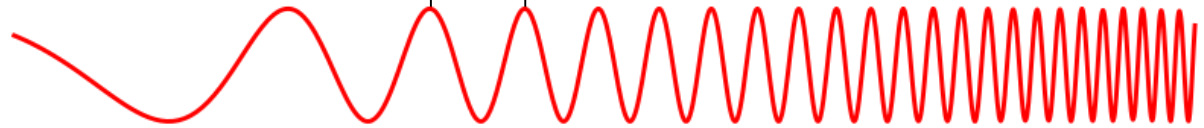
długość fali światła  $\lambda$  [m], i związana z nią częstość  $f$  [Hz = 1/s]:  $c = \lambda f$



fale długie  
niska częstość

$\lambda$

fale krótkie  
wysoka częstość



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

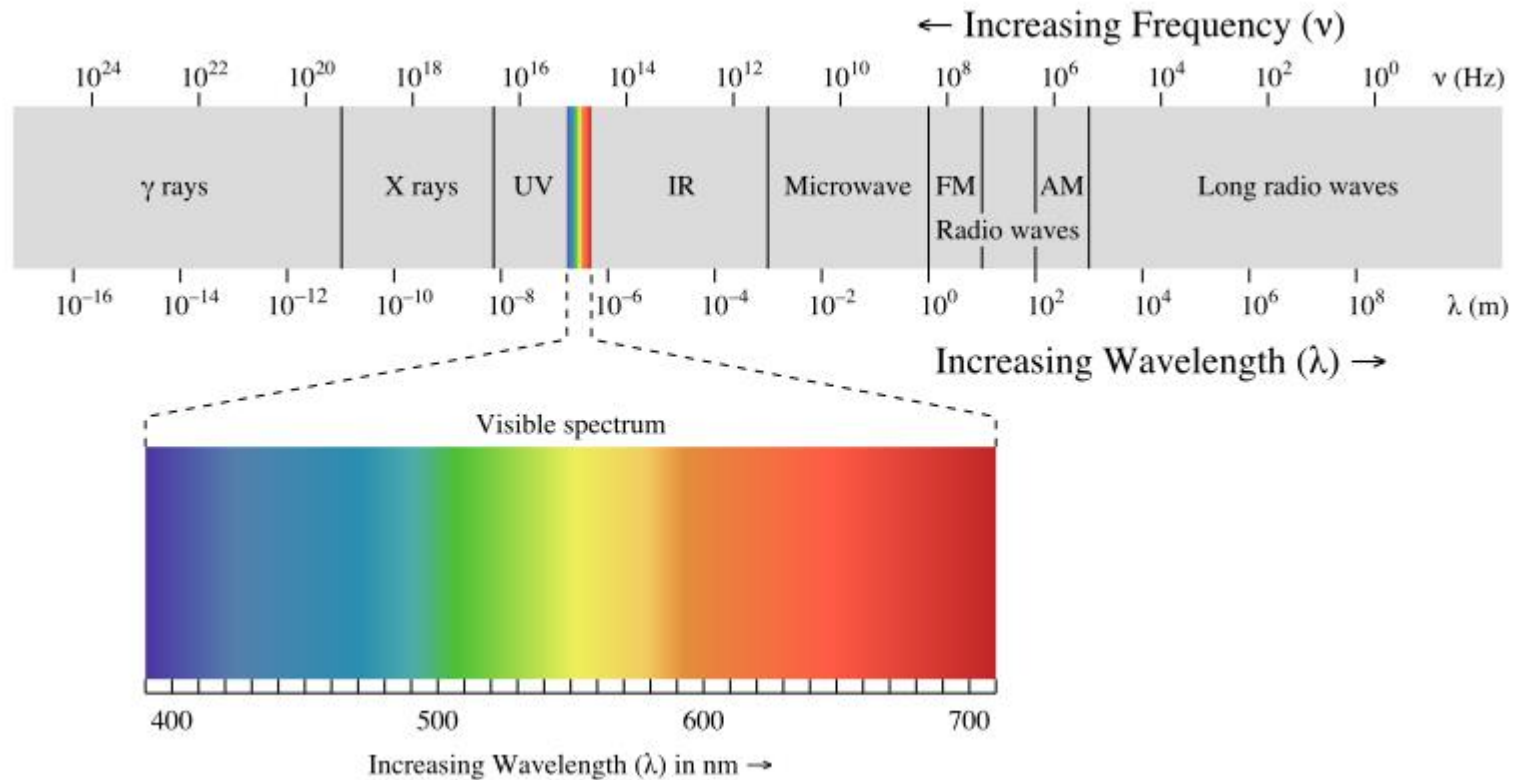
# Czym jest światło ?

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	$\mu\text{m}$	$10^{-6}$
nanometr	nm	$10^{-9}$
angstrem	Å	$10^{-10}$

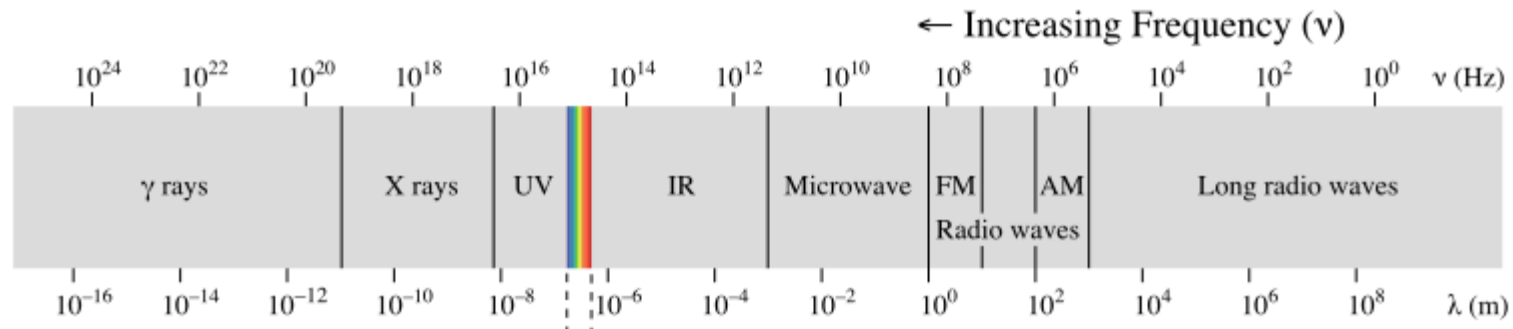
# Czym jest światło ?

Podział spektrum fali elektromagnetycznej



# Czym jest światło ?

## Podział spektrum fali elektromagnetycznej



## NADFIOLET – UV

Długość fali:  $\lambda = 10 \div 380$  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)



[pentax.org.pl](http://pentax.org.pl)

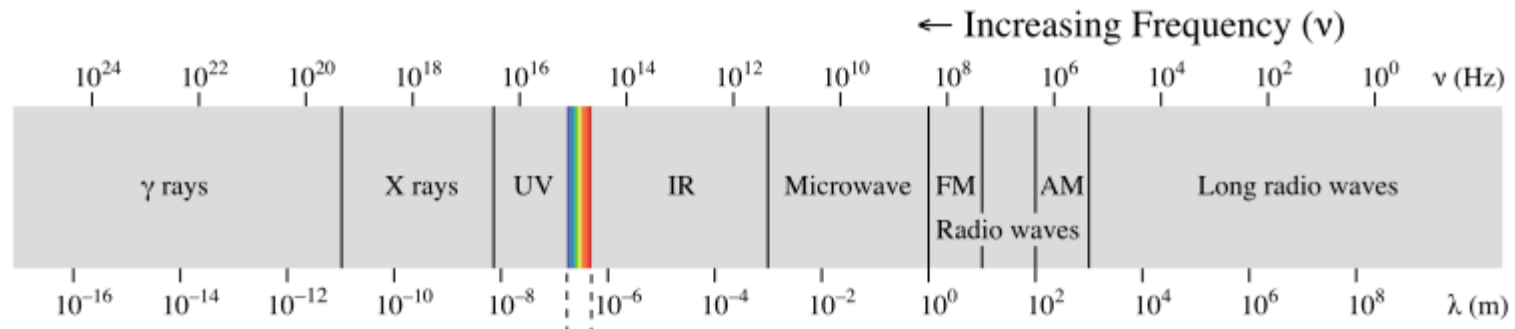


[atomfortheworld.blogspot.com](http://atomfortheworld.blogspot.com)



# Czym jest światło ?

Podział spektrum fali elektromagnetycznej



**ŚWIATŁO WIDZIALNE**      Długość fali:  $\lambda = 380 \div 760 \text{ nm}$  ( $789 \div 394 \text{ THz}$ )

**Fiolet:**  $\lambda = 380 \div 446 \text{ nm}$

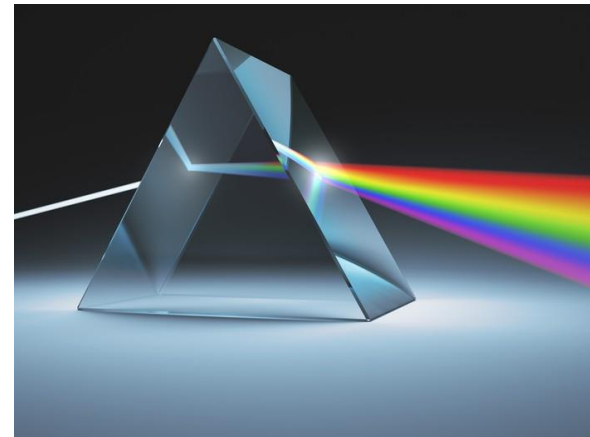
**Niebieski:**  $\lambda = 447 \div 500 \text{ nm}$

**Zielony:**  $\lambda = 500 \div 578 \text{ nm}$

**Żółty:**  $\lambda = 578 \div 592 \text{ nm}$

**Pomarańczowy:**  $\lambda = 592 \div 620 \text{ nm}$

**Czerwony:**  $\lambda = 620 \div 760 \text{ nm}$

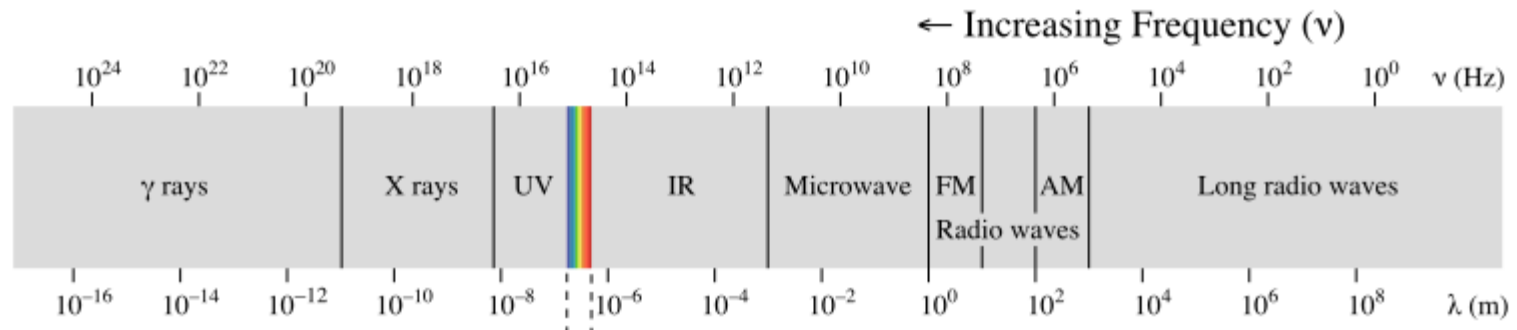


*pixers.pl*

Przykładem detektora czułego na światło widzialne jest ludzkie oko.

# Czym jest światło ?

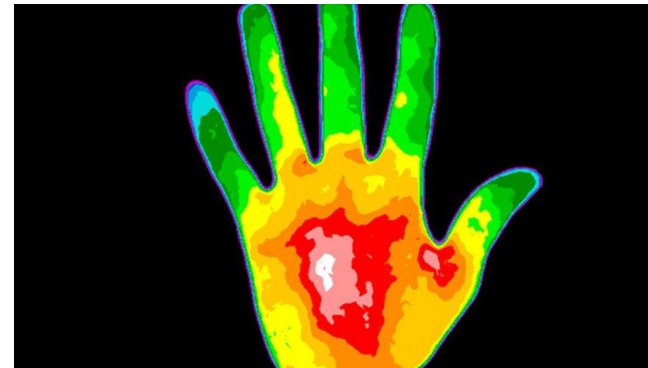
Podział spektrum fali elektromagnetycznej



## PODCZERWIENÍ

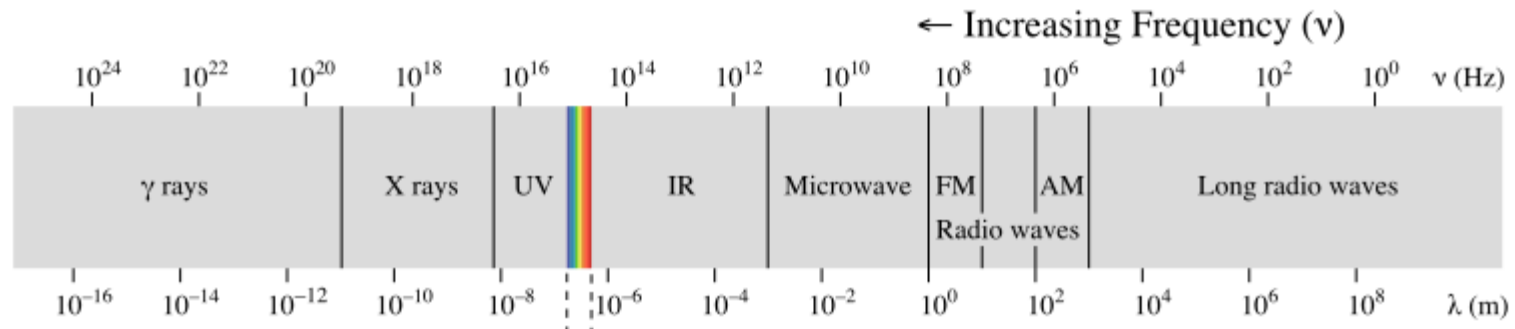
Długość fali:  $\lambda = 0,72 \div 100 \mu\text{m}$

Zakres jest ponad 100 razy większy niż dla światła widzialnego



# Czym jest światło ?

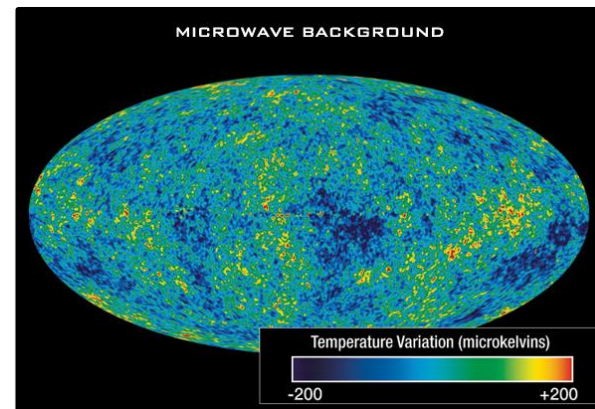
## Podział spektrum fali elektromagnetycznej



## MIKROFALE

**Długość fali:  $\lambda = 100 \mu\text{m} \div 1 \text{m}$**

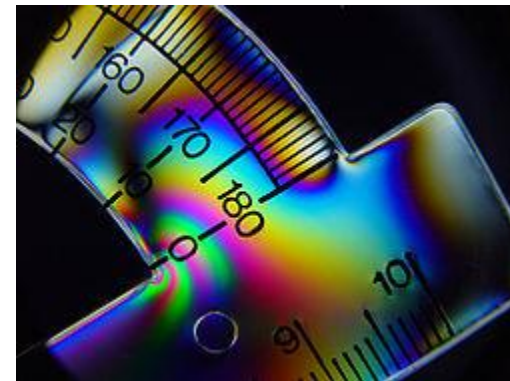
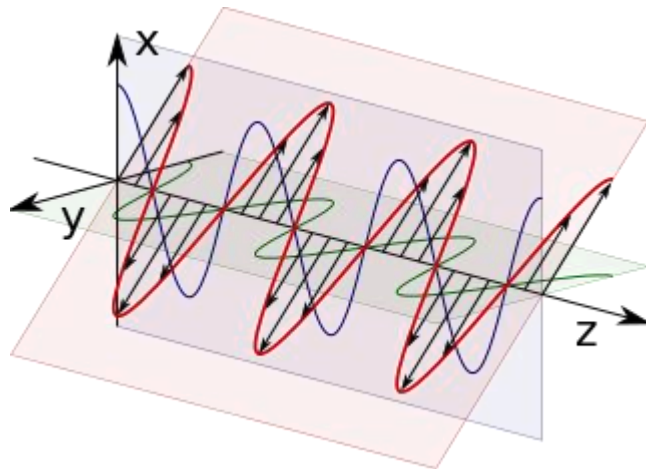
Nie jest tłumione przez parę wodną i wodę. Nadaje się do obserwacji powierzchni ziemi bez względu na pokrywą chmur.



# 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

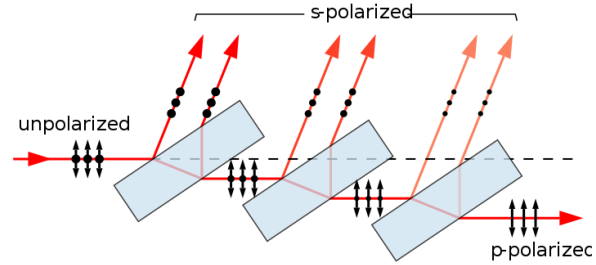


Polaryzacja wykorzystywana m.in. przy pomiarach naprężeń

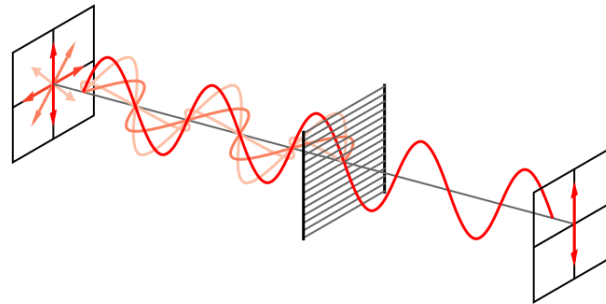
# Czym jest światło ?

## Polaryzacja światła

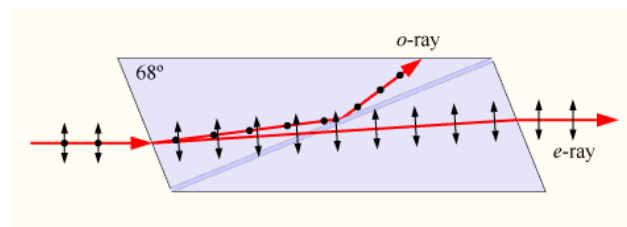
Polaryzacja przez odbicie (kąąt Brewstera)



Polaryzacja przez siatkę drutów (polaryzator)



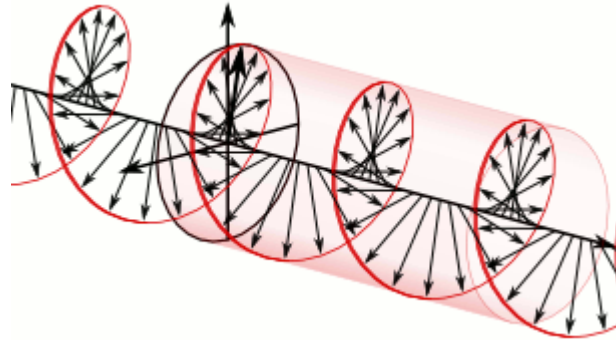
Polaryzacja w kryształach dwójłomnym



# Czym jest światło ?

## Polaryzacja światła

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



# 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  $h \approx 6,626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ .
- 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, <a href="#">księżyc Jowisza</a>	220 000
1729	James Bradley, <a href="#">aberracja światła</a>	301 000
1849	Hippolyte Fizeau, <a href="#">koło zębate</a>	315 000
1862	Léon Foucault, <a href="#">zwierciadło obrotowe</a>	298 000 ± 500
1907	Rosa i Dorsey, <a href="#">stałe EM</a>	299 710 ± 30
1926	Albert Michelson, <a href="#">zwierciadło obrotowe</a>	299 796 ± 4
1950	Essen i Gordon-Smith, <a href="#">wnęka rezonansowa</a>	299 792,5 ± 3,0
1958	K.D. Froome, <a href="#">radiointerferometria</a>	299 792,50 ± 0,10
1972	Evenson <i>et al.</i> , <a href="#">interferometria laserowa</a>	299 792,4562 ± 0,0011
1983	17th CGPM, <a href="#">definicja metra</a>	299 792,458 ( <b>dokładnie</b> )



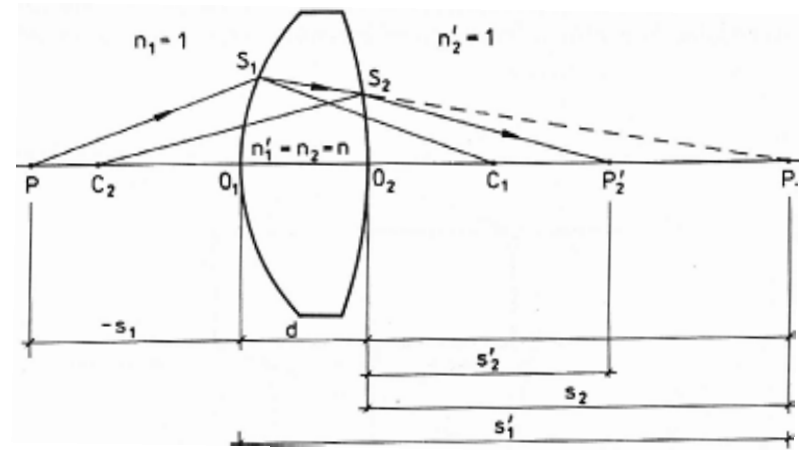
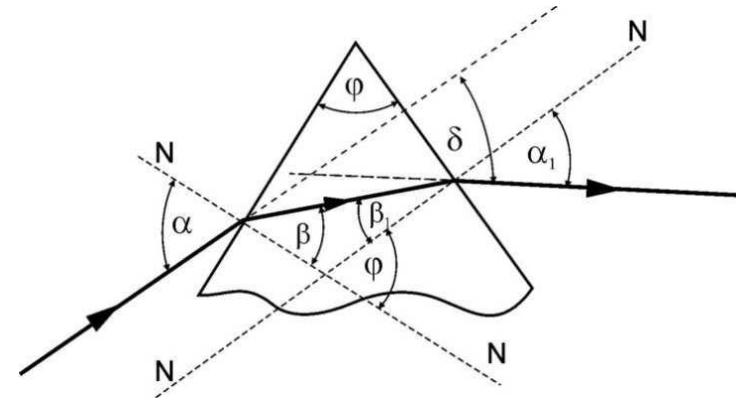
# Czym jest optyka ?

# 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

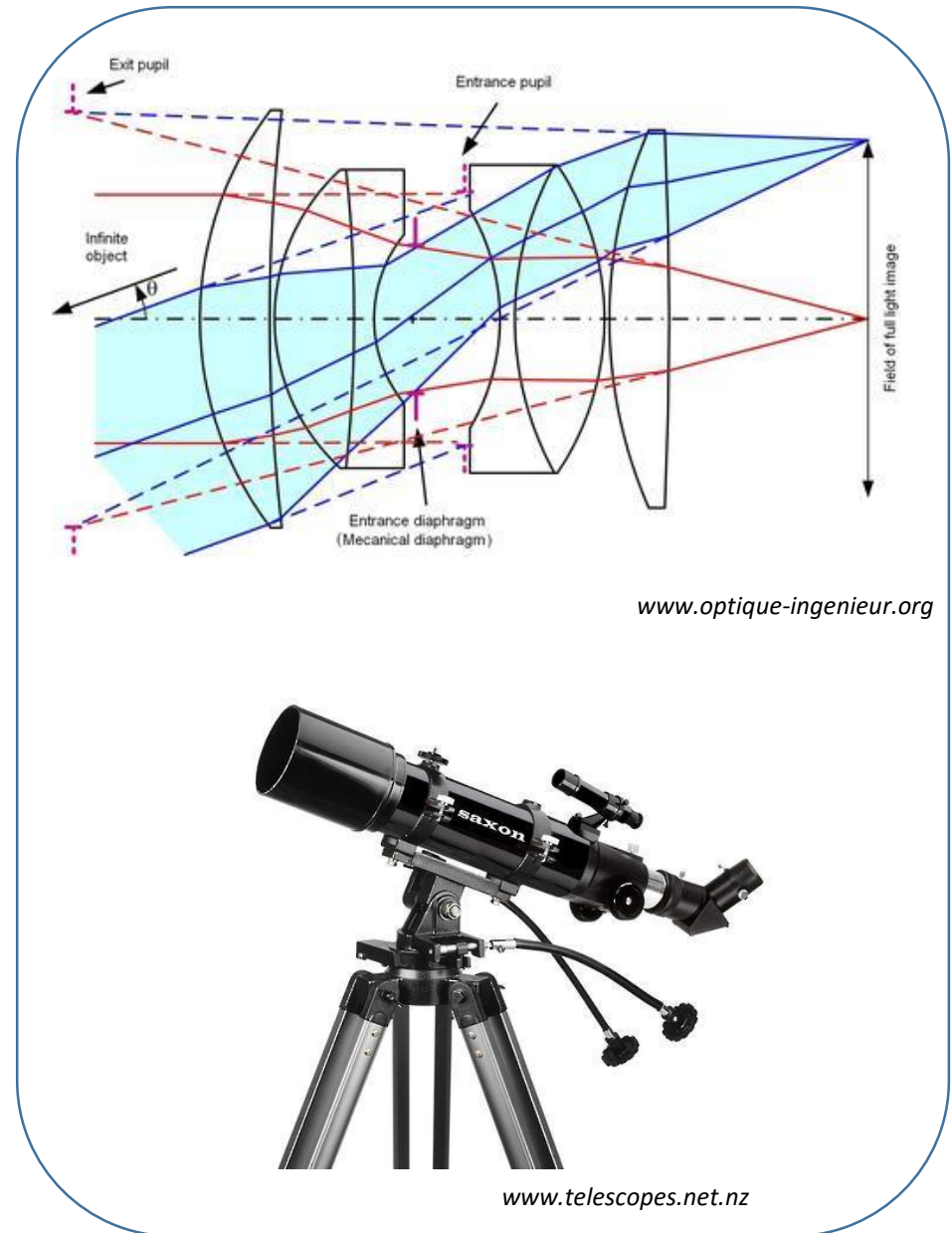
# Czym jest optyka ?

- 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



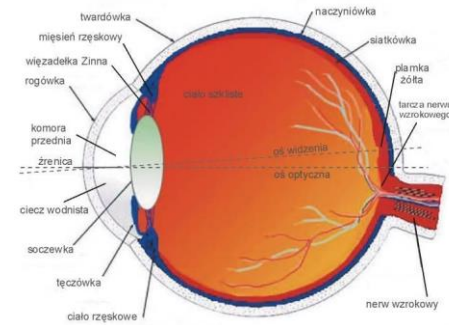
# Czym jest optyka ?

- 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

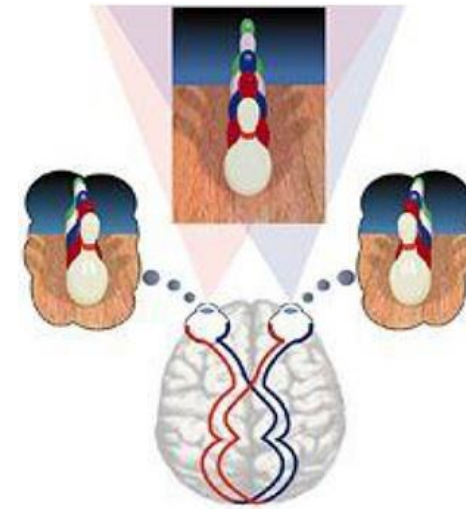


# Czym jest optyka ?

- 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](http://www.okulista.radom.pl)



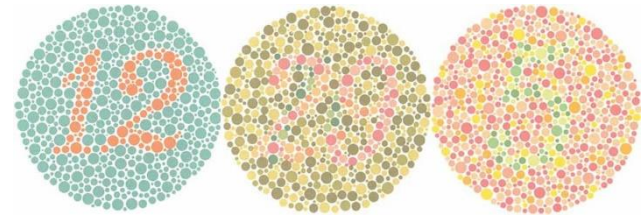
[psycholog-transportu.blogspot.com](http://psycholog-transportu.blogspot.com)

# 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
- 22 • optofluidyka



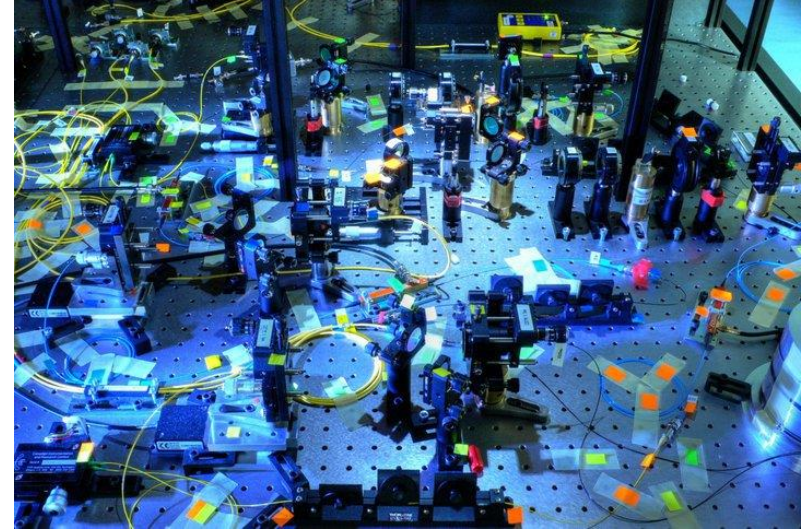
*optykbajer.pl*



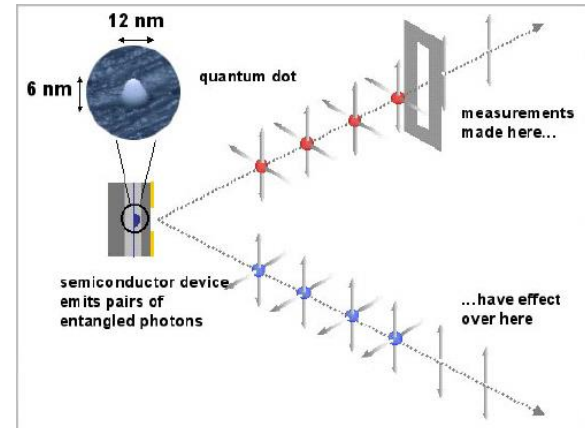
*alvarez-pts.pl/*

# 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



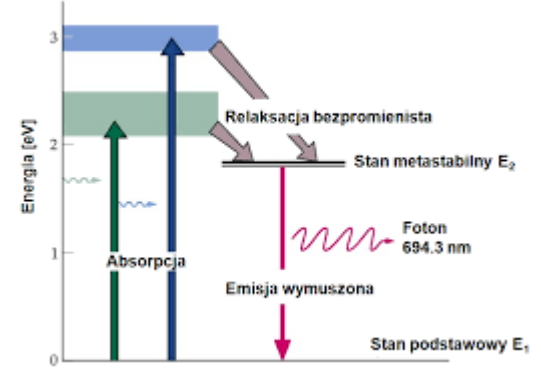
*quantum.opticsolomouc.org*



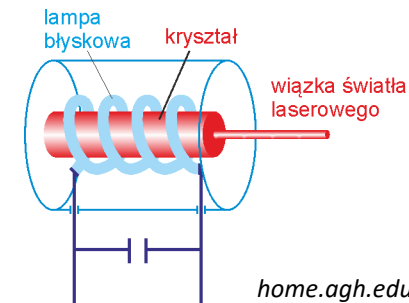
*icecoldscience.blogspot.com*

# 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*

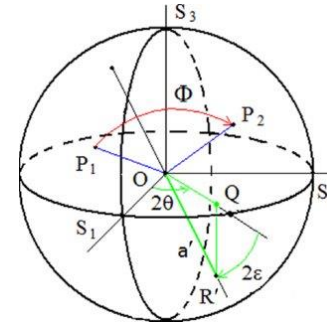


*www.fiztaszki.pl*

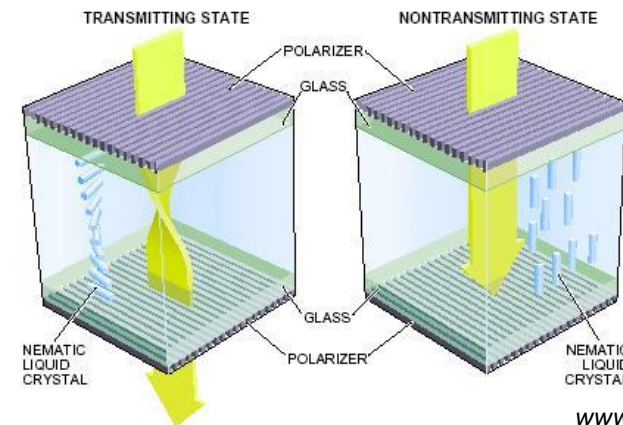


# Czym jest optyka ?

- 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)*



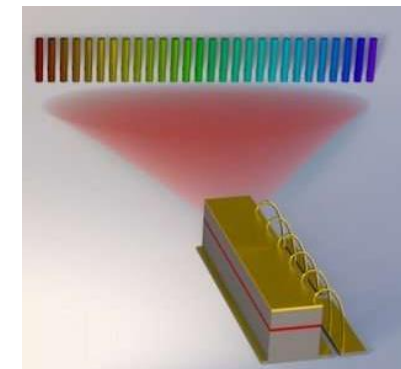
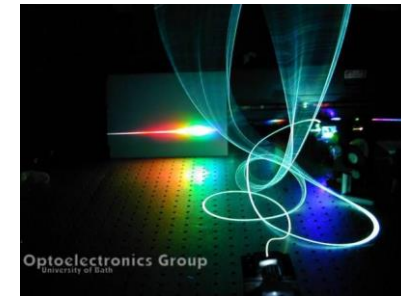
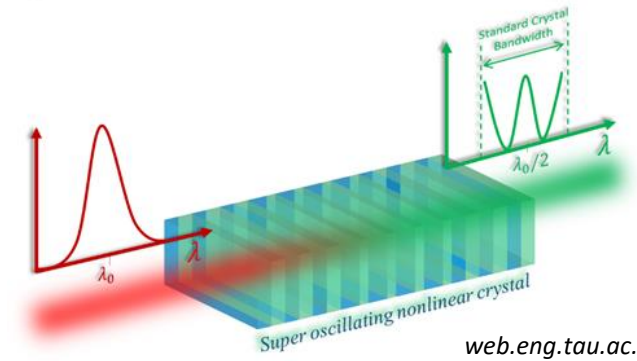
[www.ch.ic.ac.uk](http://www.ch.ic.ac.uk)



[www.touchscreenlcds.com](http://www.touchscreenlcds.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

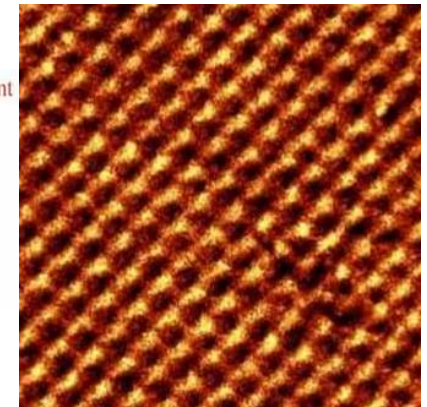
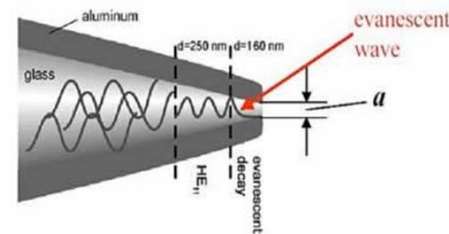


# Czym jest optyka ?

- 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



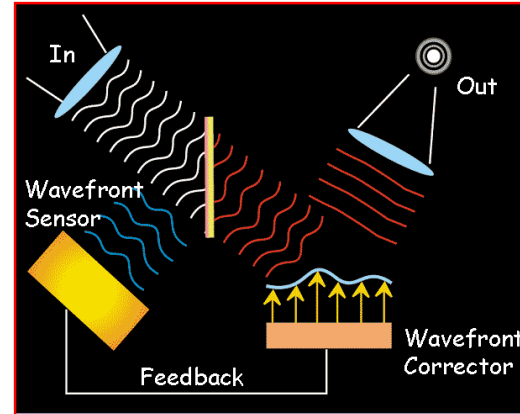
*goldenageofgaia.com*



*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](http://www.ast.cam.ac.uk)



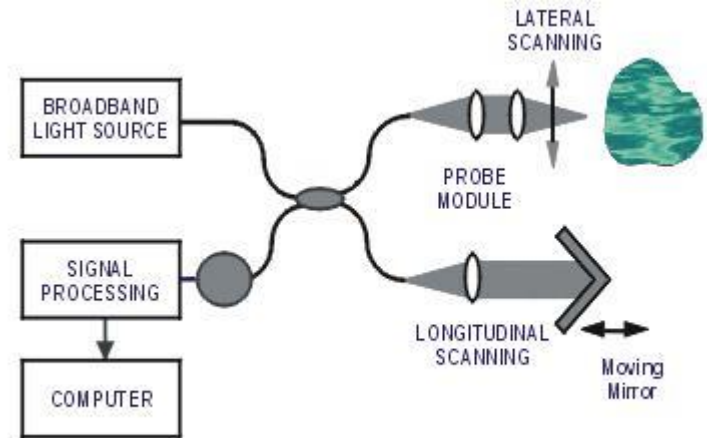
[www.cilas.com](http://www.cilas.com)



[newatlas.com](http://newatlas.com)

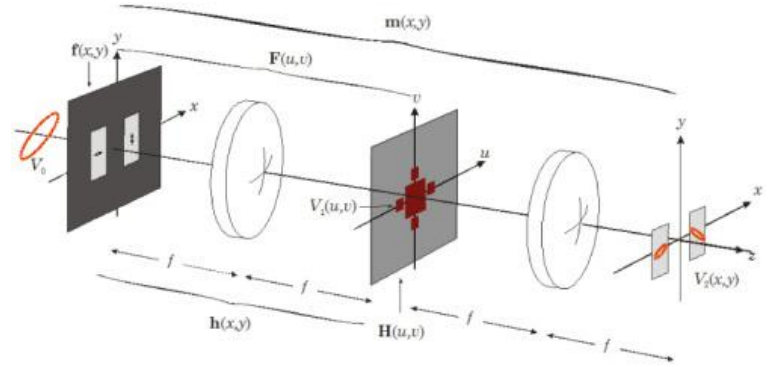
# Czym jest optyka ?

- 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

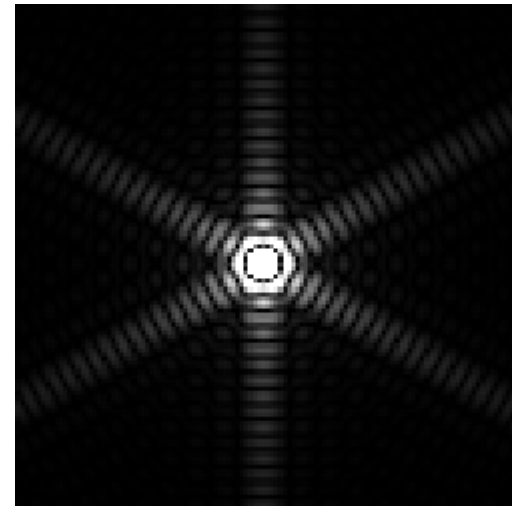


# Czym jest optyka ?

- 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



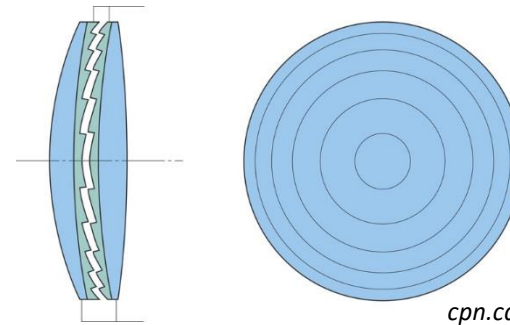
*I. Moreno, et al., Opt. Expr. 19(5) (2011)*



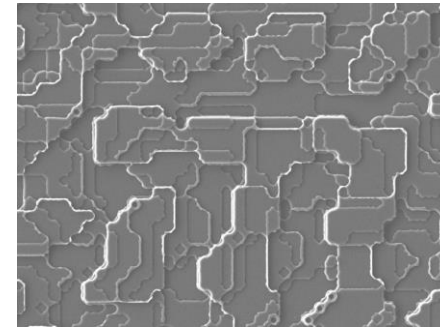
*astro.ucla.edu*

# Czym jest optyka ?

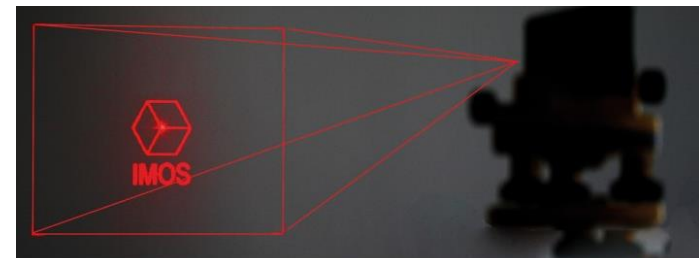
- optyka geometryczna
- optyka instrumentalna
- optyka widzenia
- optyka okularowa
- optyka kwantowa
- optyka laserów
- optyka kryształów
- optyka nieliniowa
- optyka pola bliskiego i pola dalekiego
- optyka adaptatywna
- optyka statystyczna
- optyka fourierowska
- **optyka dyfrakcyjna**
- holografia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



*cpn.canon-europe.com*



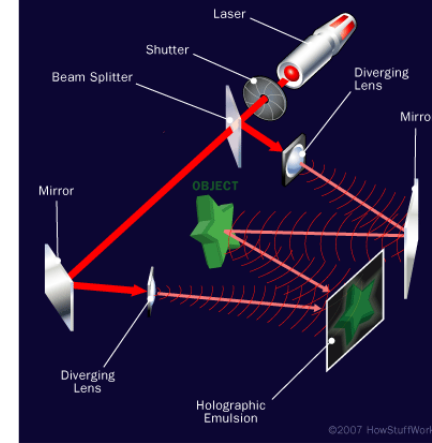
*opt.epfl.ch*



*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](http://www.pcworld.com.vn)



[www.youtube.com](http://www.youtube.com)

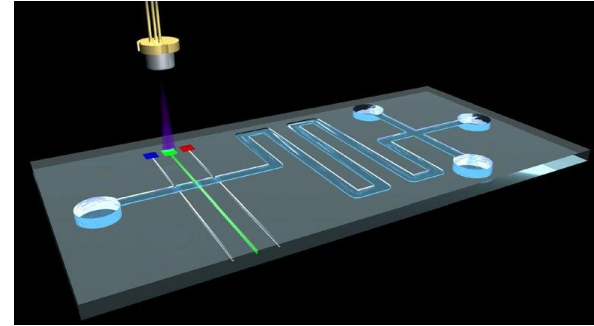


[www.youtube.com](http://www.youtube.com)

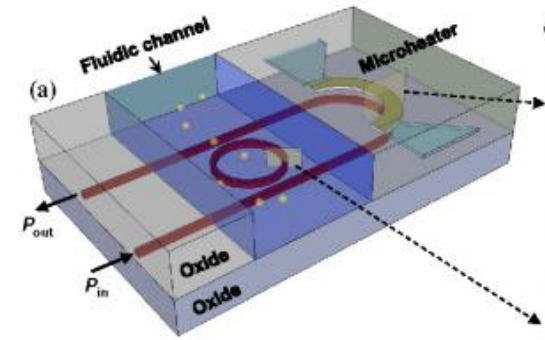


# Czym jest optyka ?

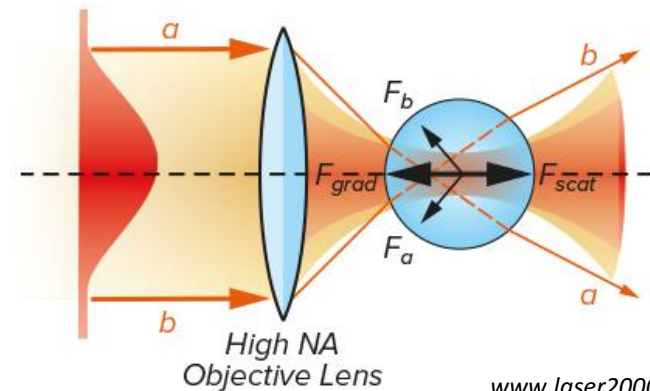
- optyka geometryczna
- optyka instrumentalna
- optyka widzenia
- optyka okularowa
- optyka kwantowa
- optyka laserów
- optyka kryształów
- optyka nieliniowa
- optyka pola bliskiego i pola dalekiego
- optyka adaptatywna
- optyka statystyczna
- optyka fourierowska
- optyka dyfrakcyjna
- holografia



[www.thepinsta.com](http://www.thepinsta.com)

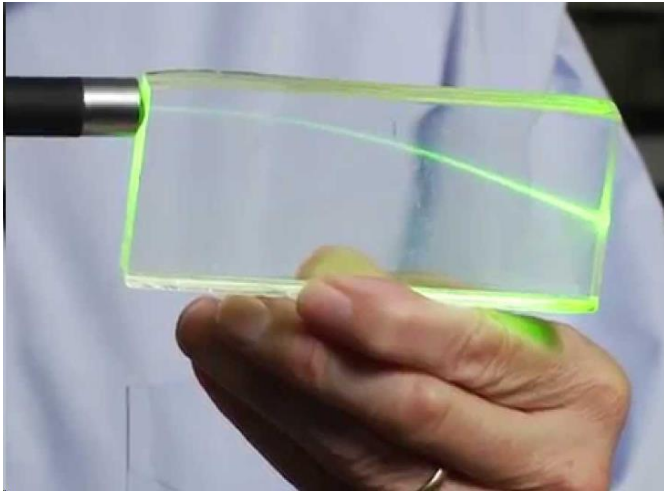


*M. Soltani, et. al., Opt. Expr. 20(20) (2012)*

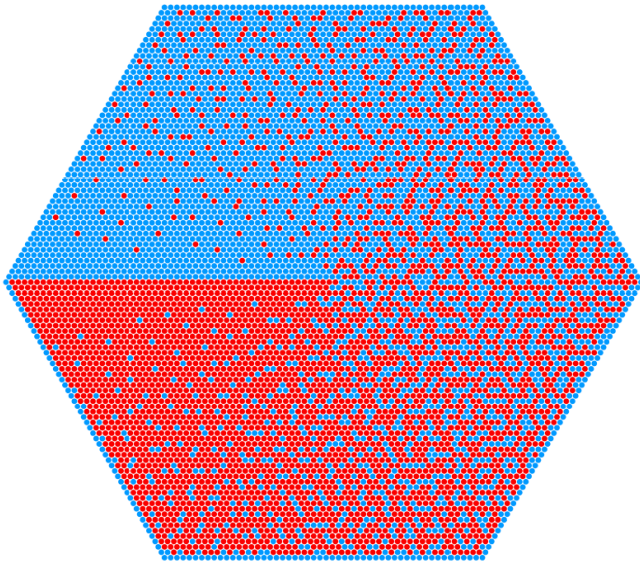


[www.laser2000.co.uk](http://www.laser2000.co.uk)

# Czym jest optyka ?

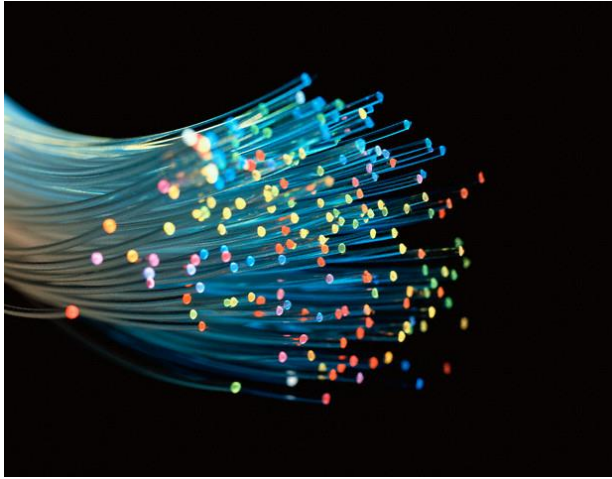


[www.youtube.com/watch?v=rrNjV3fh-4M](http://www.youtube.com/watch?v=rrNjV3fh-4M)

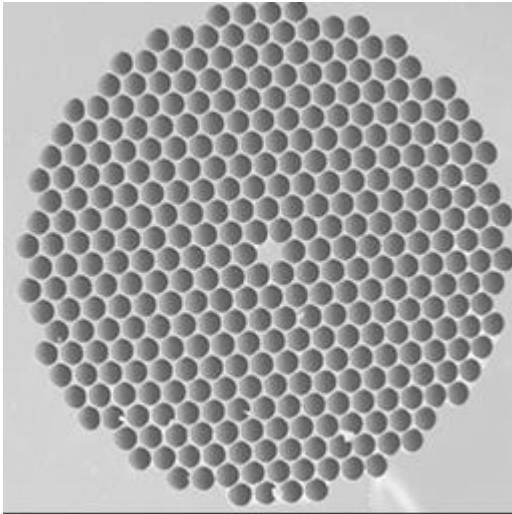


- **optyka gradientowa**
- optyka falowodowa
- optyka zintegrowana
- optyka cienkich warstw
- optyczne rozpoznawanie obrazów
- procesory optyczne
- optyczne sieci neuronowe
- optyka biologiczna
- mikrooptyka, nanooptyka
- fotonika
- plazmonika
- optyka ultraszybka
- radiometria, fotometria
- spektroskopia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

# Czym jest optyka ?



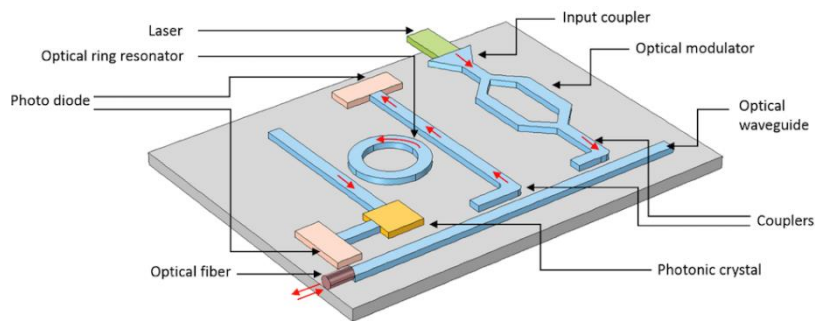
[www.feasa.ie](http://www.feasa.ie)



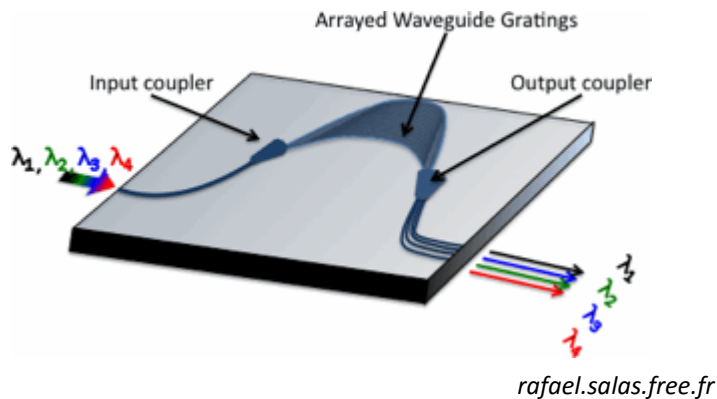
[www.iop.org](http://www.iop.org)

- 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](http://www.comsol.com)



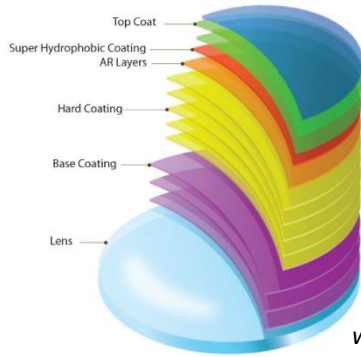
[rafael.salas.free.fr](http://rafael.salas.free.fr)

- 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

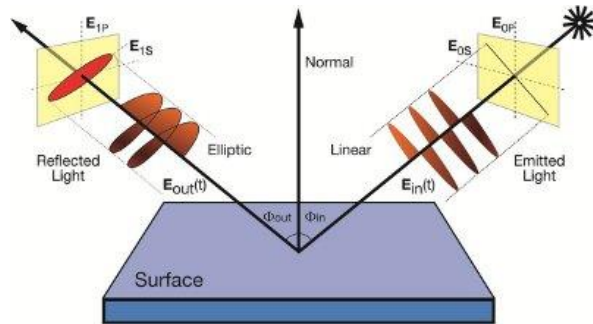
# Czym jest optyka ?



[www.allaboutvision.com](http://www.allaboutvision.com)



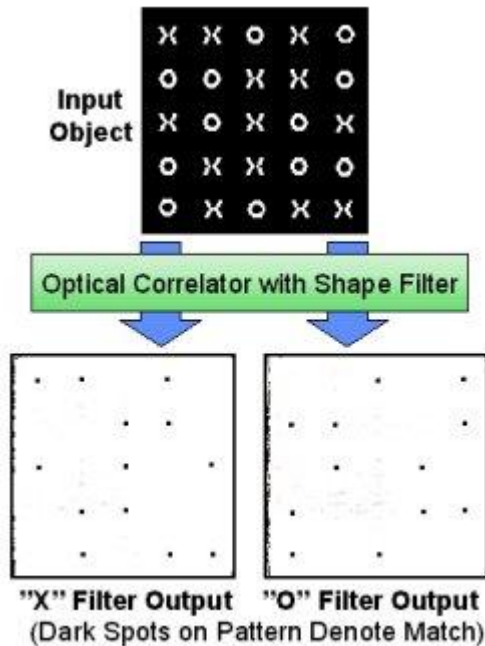
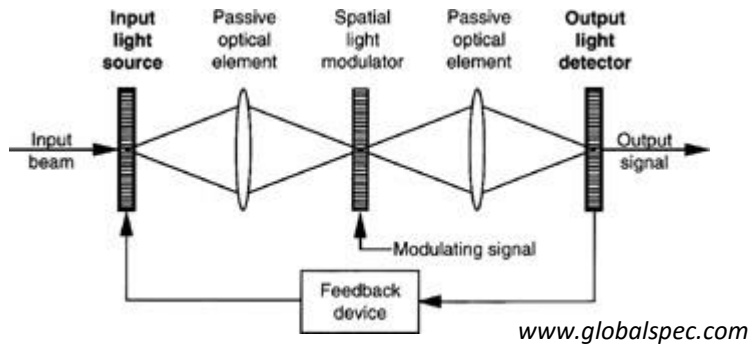
[www.kmarsoptical.com](http://www.kmarsoptical.com)



[www.americanlaboratory.com](http://www.americanlaboratory.com)

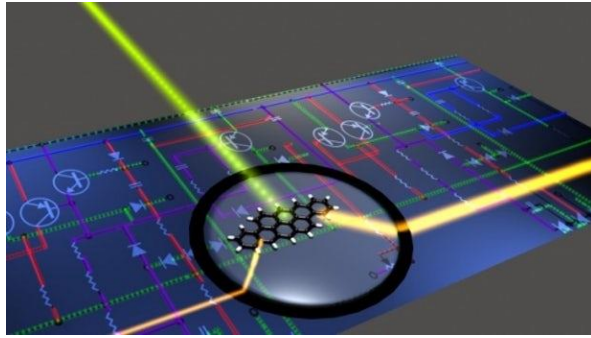
- optyka gradientowa
- optyka falowodowa
- optyka zintegrowana
- **optyka cienkich warstw**
- optyczne rozpoznawanie obrazów
- procesory optyczne
- optyczne sieci neuronowe
- optyka biologiczna
- mikrooptyka, nanooptyka
- fotonika
- plazmonika
- optyka ultraszybka
- radiometria, fotometria
- spektroskopia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

# Czym jest optyka ?

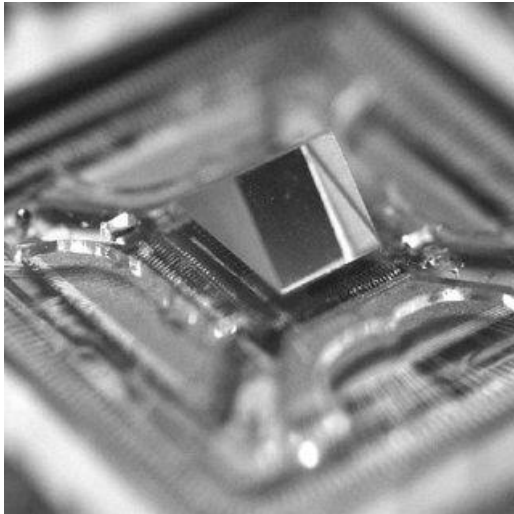


- optyka gradientowa
- optyka falowodowa
- optyka zintegrowana
- optyka cienkich warstw
- **optyczne rozpoznawanie obrazów**
- procesory optyczne
- optyczne sieci neuronowe
- optyka biologiczna
- mikrooptyka, nanooptyka
- fotonika
- plazmonika
- optyka ultraszybka
- radiometria, fotometria
- spektroskopia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

# Czym jest optyka ?



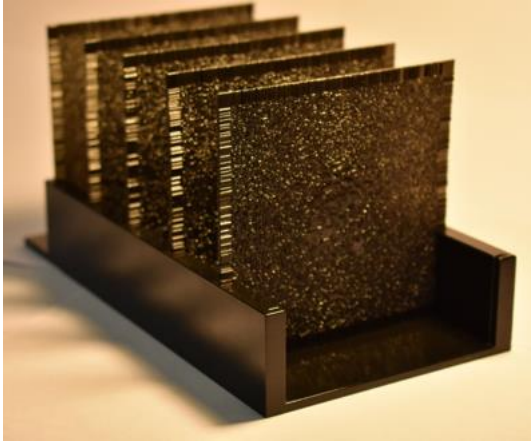
*newatlas.com*



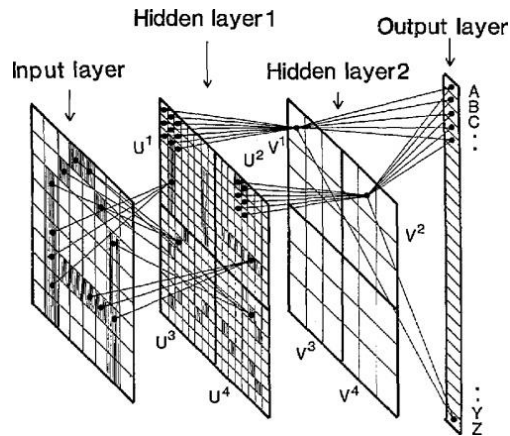
*Christof Debaes's, VUB*

- 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](http://www.theengineer.co.uk)

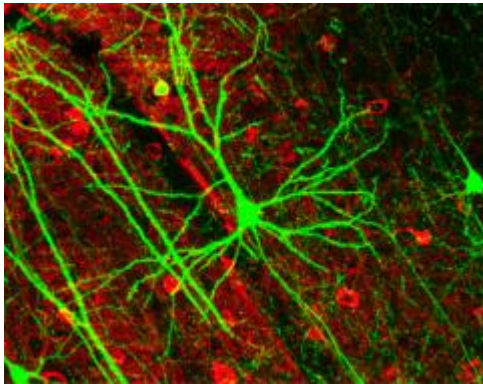


Y. Kuratomi *et al.*, *Appl. Opt.* 32(29) (1993)

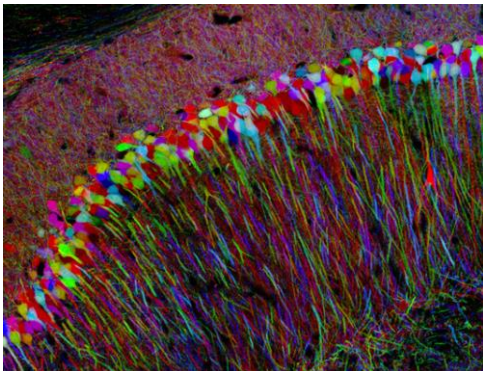
- optyka gradientowa
- optyka falowodowa
- optyka zintegrowana
- optyka cienkich warstw
- optyczne rozpoznawanie obrazów
- procesory optyczne
- **optyczne sieci neuronowe**
- optyka biologiczna
- mikrooptyka, nanooptyka
- fotonika
- plazmonika
- optyka ultraszybka
- radiometria, fotometria
- spektroskopia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



# Czym jest optyka ?



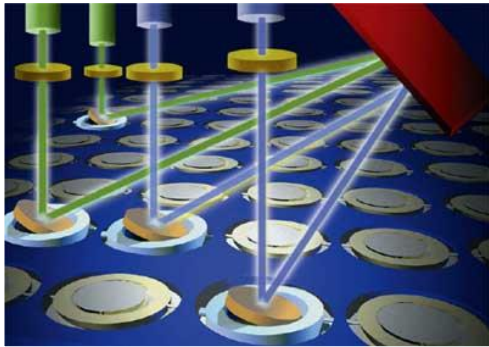
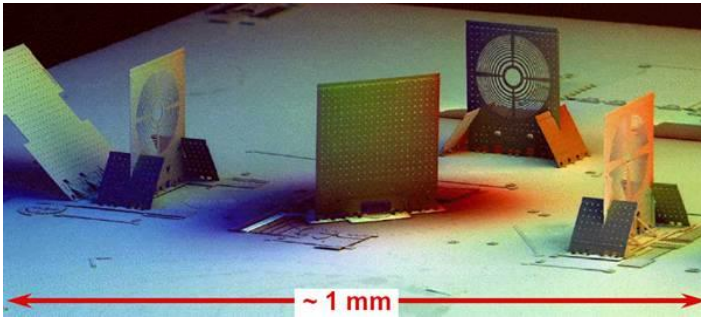
*medicalxpress.com*



*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

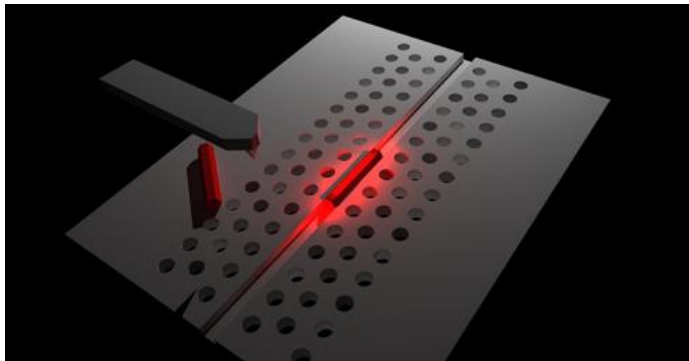
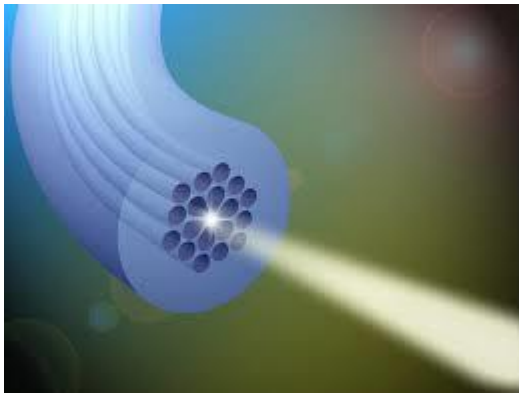
# Czym jest optyka ?



[www.smithsonianmag.com](http://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

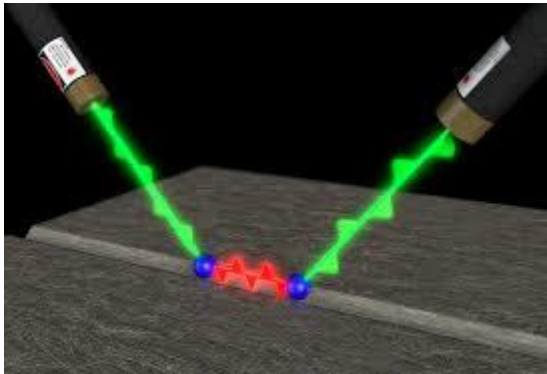
# Czym jest optyka ?



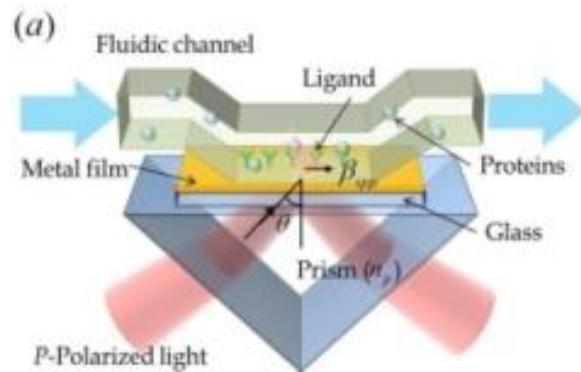
*phys.org*

- 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 ?



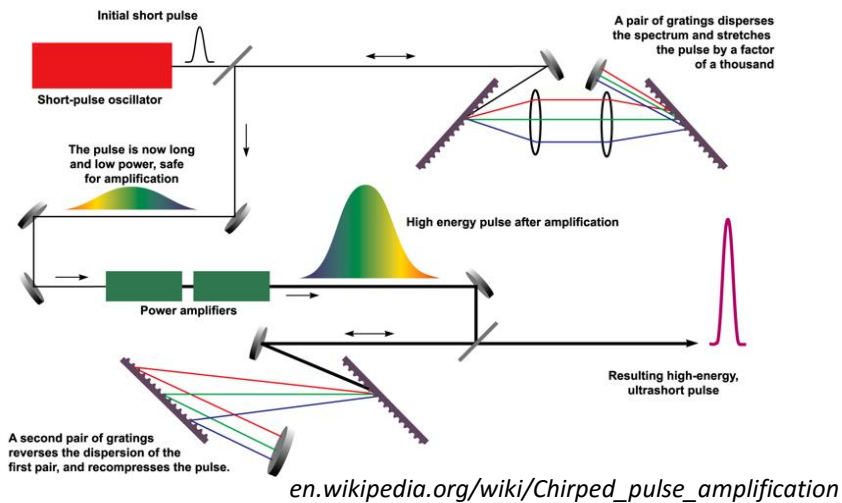
[www.uam.es](http://www.uam.es)



[openi.nlm.nih.gov](http://openi.nlm.nih.gov)

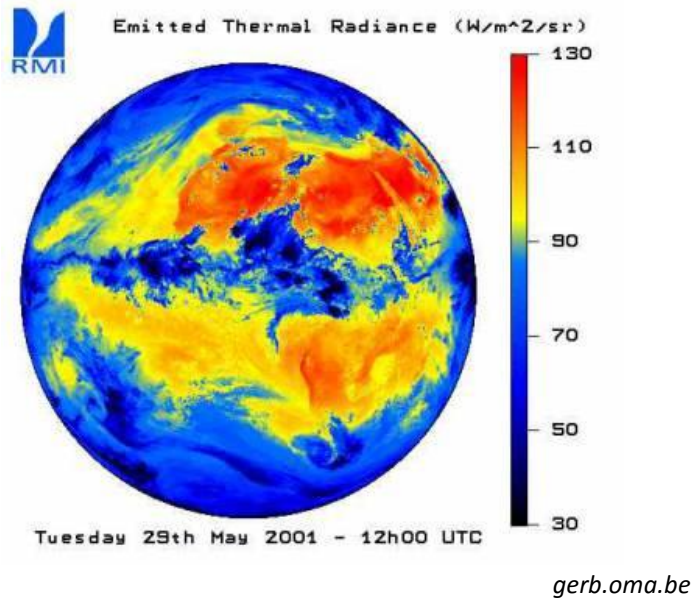
- optyka gradientowa
- optyka falowodowa
- optyka zintegrowana
- optyka cienkich warstw
- optyczne rozpoznawanie obrazów
- procesory optyczne
- optyczne sieci neuronowe
- optyka biologiczna
- mikrooptyka, nanooptyka
- fotonika
- **plazmonika**
- optyka ultrasonowa
- radiometria, fotometria
- spektroskopia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

# Czym jest optyka ?



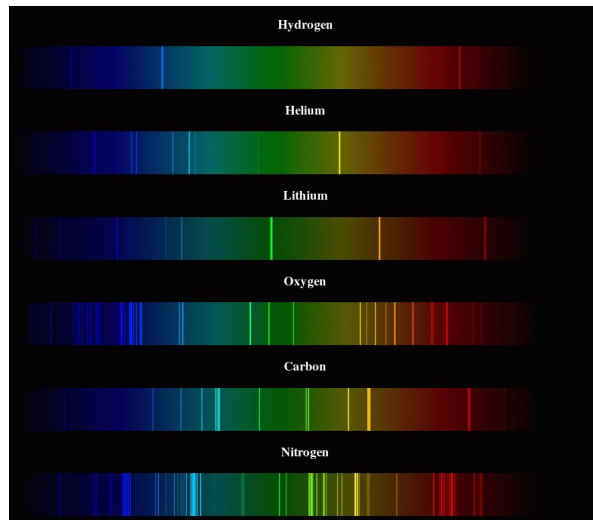
- optyka gradientowa
- optyka falowodowa
- optyka zintegrowana
- optyka cienkich warstw
- optyczne rozpoznawanie obrazów
- procesory optyczne
- optyczne sieci neuronowe
- optyka biologiczna
- mikrooptyka, nanooptyka
- fotonika
- plazmonika
- **optyka ultraszybka**
- radiometria, fotometria
- spektroskopia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

# Czym jest optyka ?



- optyka 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 ?



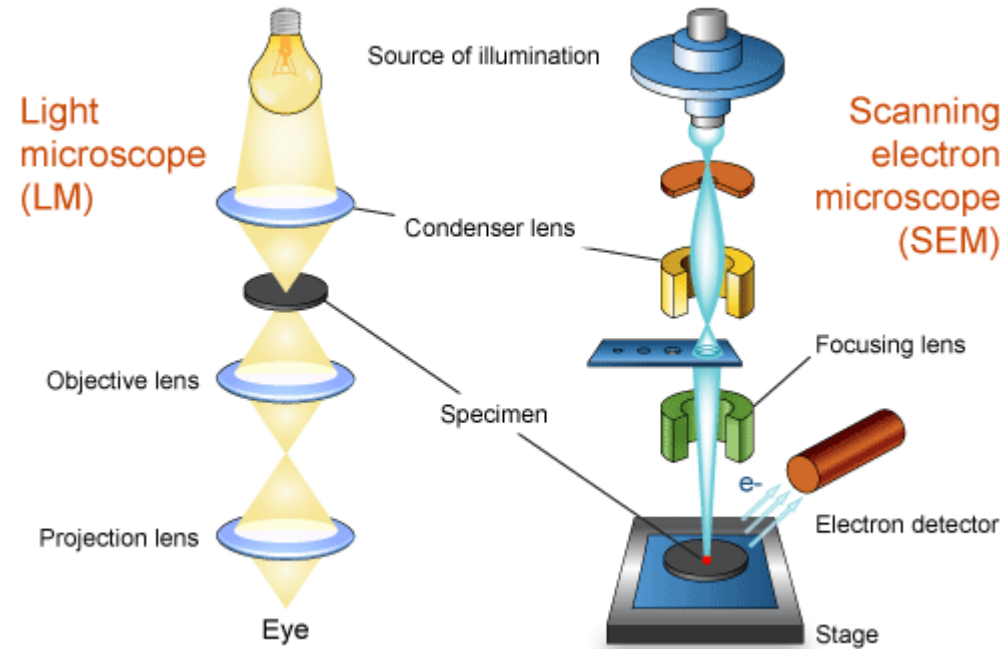
*[rgsenergy.com/how-solar-panels-work](http://rgsenergy.com/how-solar-panels-work)*

- 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**

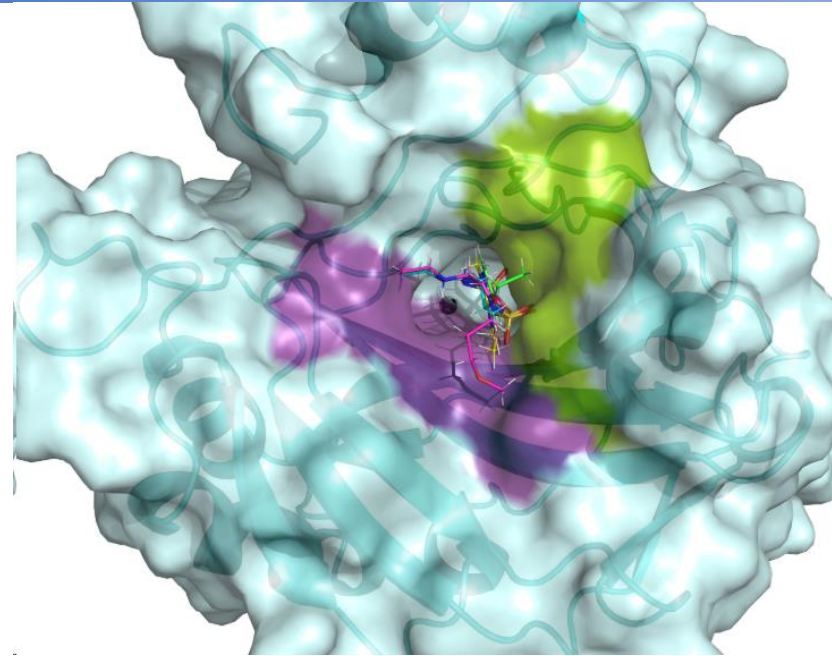


# Czym jest optyka ?

- optyka elektronowa
- optyka neutronowa
- optyka ultradźwięków



[microscopy.unimelb.edu.au](http://microscopy.unimelb.edu.au)



[phys.org/news/2018-02-neutron-glaucoma-drugs-clues-enzyme.html](http://phys.org/news/2018-02-neutron-glaucoma-drugs-clues-enzyme.html)



[wuxicansonic.en.made-in-china.com](http://wuxicansonic.en.made-in-china.com)



# Światło a materia - dielektryki

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



obrazFizyki<sup>pl</sup>

[www.obrazfizyki.pl](http://www.obrazfizyki.pl)



[www.radiozet.pl](http://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  $n = \sqrt{\epsilon_r \mu_r}$   
gdzie:  $\epsilon_r$  – względna przenikalność elektryczna ośrodka,  $\mu_r$  – 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