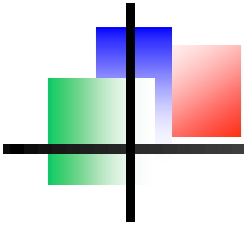


Podstawy Fizyki IV

Optyka z elementami fizyki współczesnej

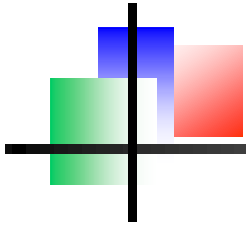
wykład 21, 14.05.2012.

wykład:	Czesław Radzewicz
pokazy:	Radosław Chrapkiewicz, Filip Ozimek
ćwiczenia:	Ernest Grodner



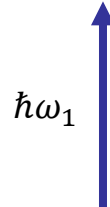
Wykład 20 - przypomnienie

- modulacja światła: modulacja amplitudy i fazy
- efekt elasto-optyczny
- efekty elektro-optyczne
 - komórka Pockelsa: podłużna, poprzeczna
 - modulacja fazy i amplitudy przez komórkę Pockelsa
 - komórka Kerra
- efekt akusto-optyczny
 - reżim Ramana-Natha
 - reżim Bragga
- komórka ciekłokrystaliczna
- efekt Faradaya
- izolator optyczny

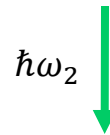


jak światło oddziałuje z materią

Język obrazkowy, który będziemy stosowali:



foton (kwant energii z fali EM o częstości ω_1) jest anihilowany. Foton znika a jego energię, pęd i moment pędu przejmuje materia.



foton (kwant energii z fali EM o częstości ω_2) wytwarzany - kreowany. Energię, pęd i moment pędu dostarcza materia.

rozpraszanie:

anihilacji fotonu towarzyszy natychmiastowa kreacja innego.

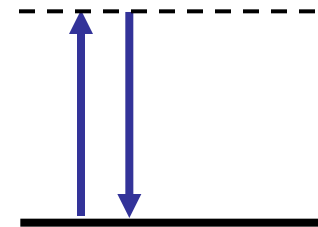
luminescencja, fluorescencja, fosforescencja:

foton jest pochłaniany a jego energia zwiększa energię wewnętrzną atomu, cząsteczki, etc.
po pewnym czasie może nastąpić wyświecenie innego fotonu

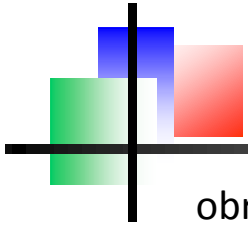
absorpcja

materiał pochłania foton ale nie wyświeca innego, energia przetworzona na ciepło

przykład: rozpraszanie Rayleigha

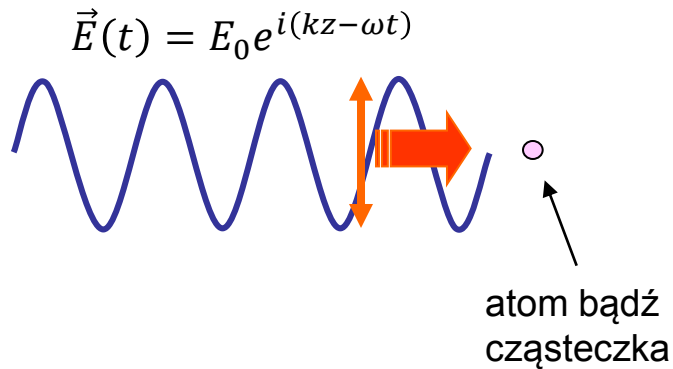


rozpraszanie elastyczne



rozpr. Rayleigha na atomach i cząsteczkach

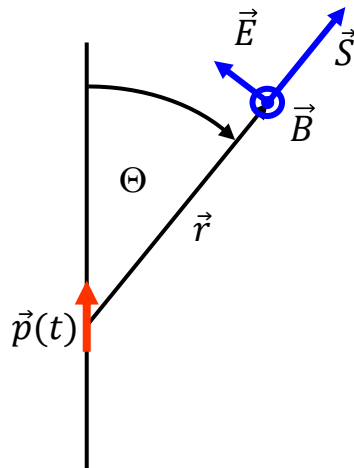
obraz fizyczny zjawiska



z wykładu 3. wiemy, że pole elektryczne fali indukuje elektryczny moment dipolowy drgający z częstością fali wymuszającej

$$\vec{p} = \alpha \epsilon_0 \vec{E}$$

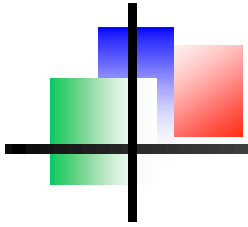
gdzie α oznacza polaryzowalność atomu bądź cząsteczki



również z wykładu 3. wiemy, że drgający dipol elektryczny emituje falę EM z częstością taką jak częstość drgań dipola

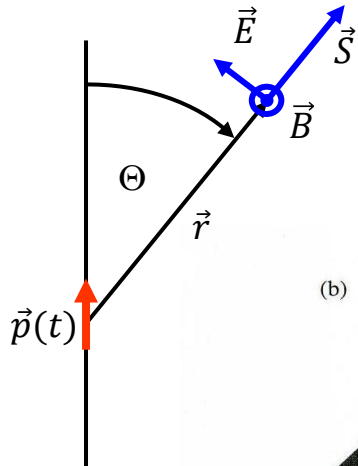
$$E(\vec{r}, t) = \frac{p_0 k^2 \sin \Theta \cos(kr - \omega \tau)}{4\pi \epsilon_0 r}$$

$$\tau = t - r/c$$

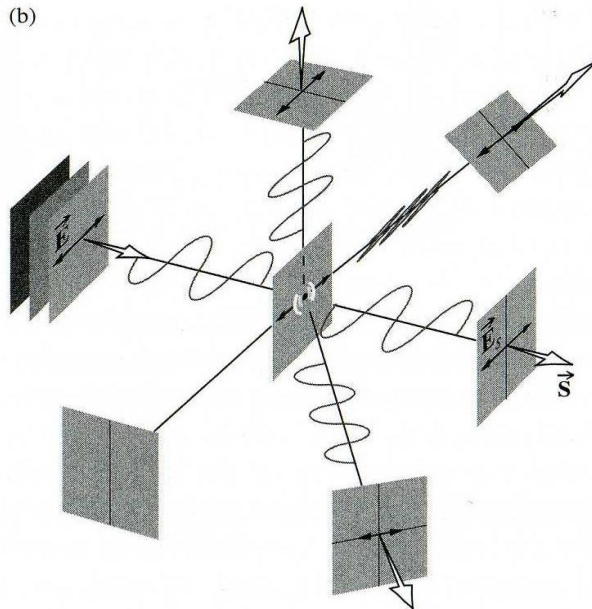


polaryzacja światła w rozpr. Rayleigha

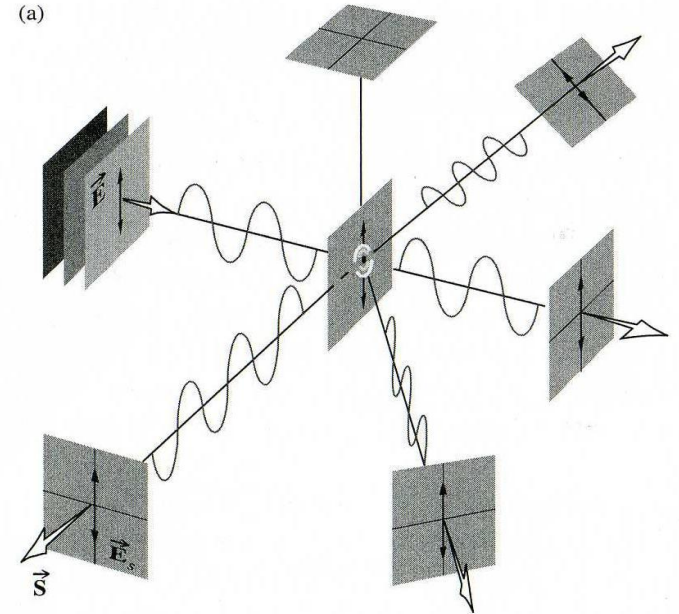
Pole $\vec{E}$ zawsze w płaszczyźnie rozpiętej przez wektory $\vec{p}$ i $\vec{r}$



(b)

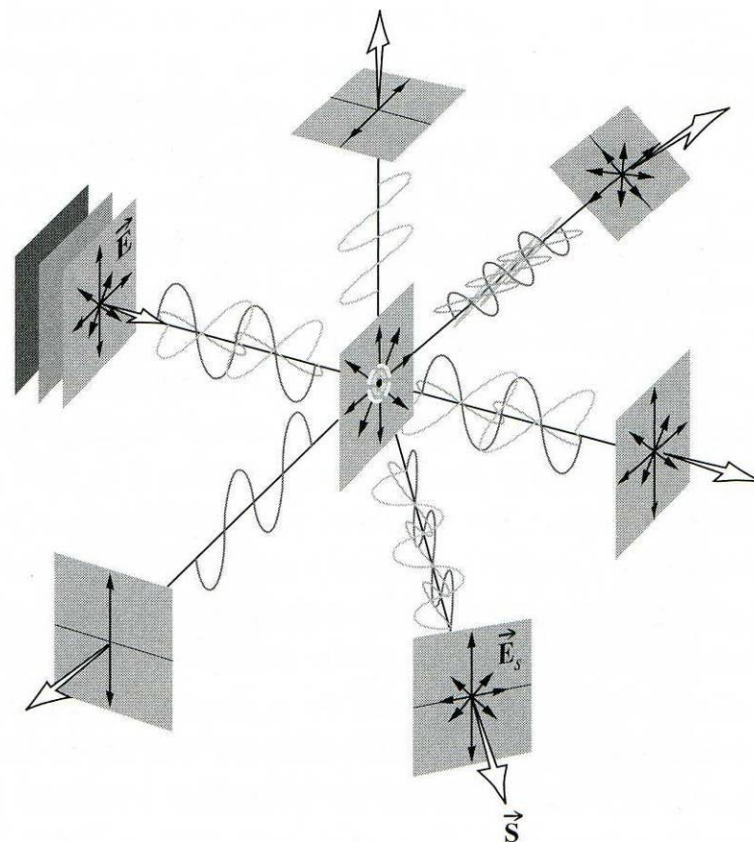
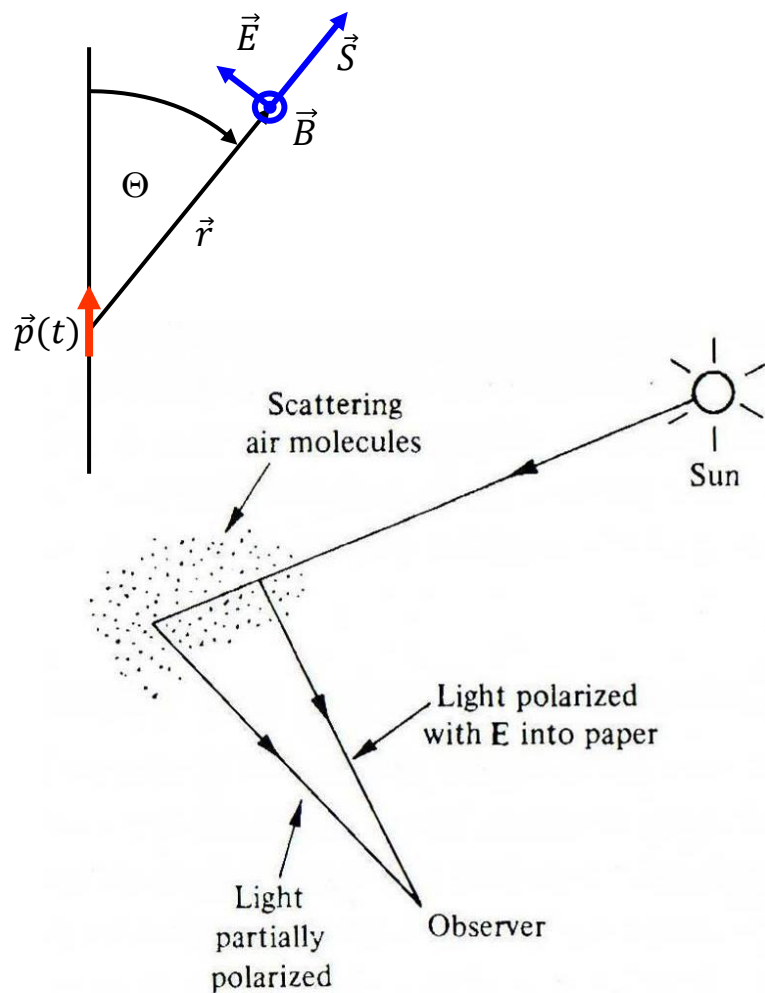


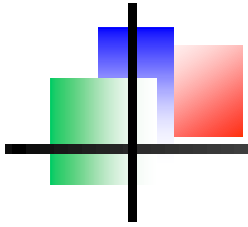
(a)



polaryzacja światła przez rozpr. Rayleigha

Pole $\vec{E}$ zawsze w płaszczyźnie rozpiętej przez wektory $\vec{p}$ i $\vec{r}$



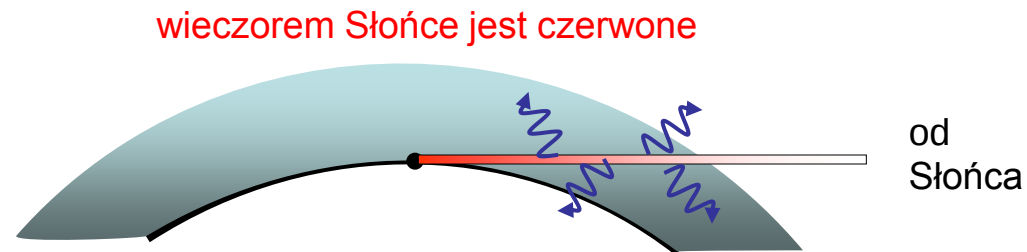
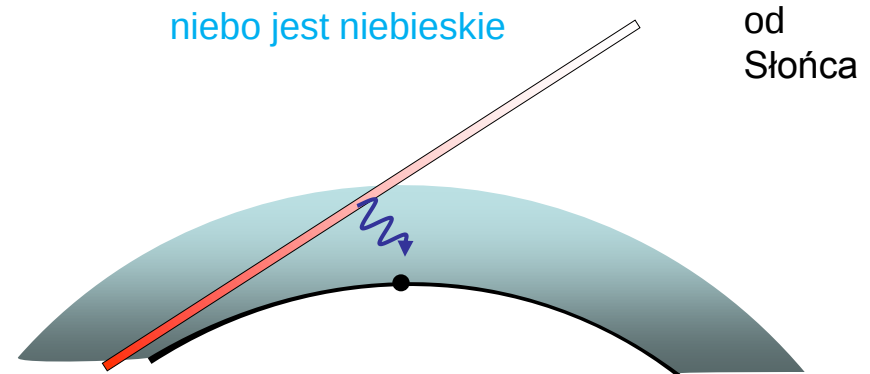
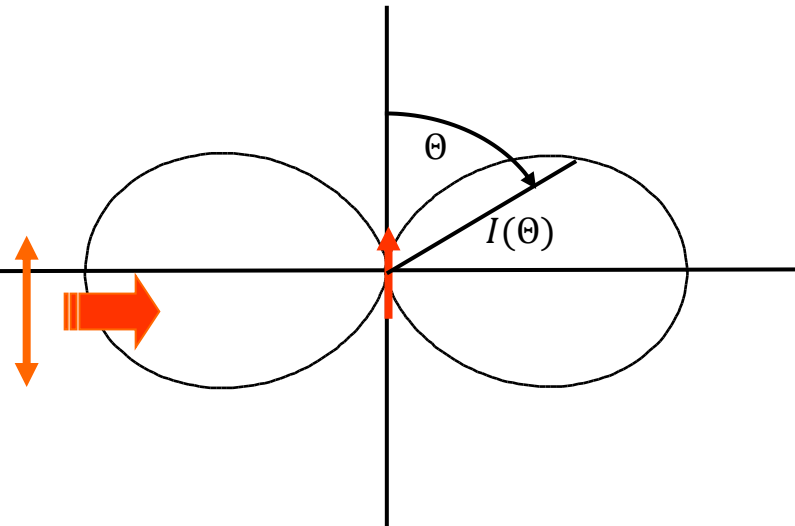


rozpr. Rayleigha w atmosferze ziemskiej

dla dipola elektrycznego:

$$\text{natężenie: } I(\Theta) = \frac{p_0^2 \omega^4}{32\pi c^3 \epsilon_0} \frac{\sin^2 \Theta}{r^2}$$

$$\text{i moc: } P = \frac{p_0^2 \omega^4}{12\pi c^3 \epsilon_0}$$

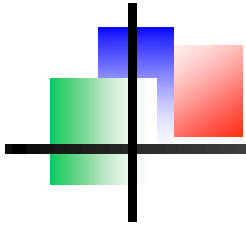


$$I \propto \frac{1}{\lambda^4}$$

przyjmując za granice obszaru widzialnego 0.4-0.7μm mamy:

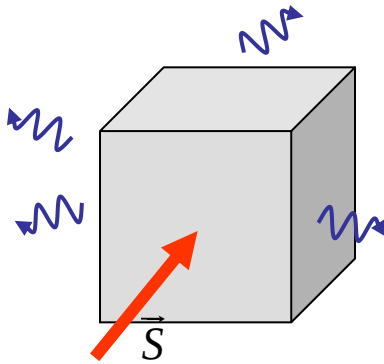
$$\frac{I_{blue}}{I_{red}} \cong 9.4$$

światło niebieskie jest rozpraszane dużo mocniej niż czerwone



rozpr. Rayleigha, małe ciśnienie

Rozważamy sześcian o jednostkowych wymiarach. Wewnątrz sześcianu jest N atomów/cząsteczek



wykład 2: wektor Poyntinga

$$S = \frac{1}{2} c \epsilon_0 E_0^2$$

moc tracona przez jeden atom:

$$P = \frac{p_0^2 \omega^4}{12\pi c^3 \epsilon_0} = \frac{\alpha^2 E_0^2 \omega^4}{12\pi c^3 \epsilon_0}$$

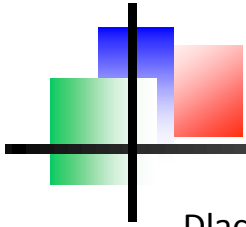
Mała gęstość gazu, w obszarze spójności światła rozpraszanego
Znajduje się średnio mniej niż jeden atom. Każdy atom
(cząsteczka) rozprasza niezależnie od innych
- sumujemy natężenia fal rozproszonych.

zmiana natężenia:

$$\frac{dS}{dz} = -NP = -\frac{SN\alpha^2\omega^4}{6\pi c^4} = -\frac{S}{z_0}$$
$$z_0 = \frac{6\pi c^4}{N\alpha^2\omega^4}$$

$$S(z) = S_0 e^{-z/z_0}$$

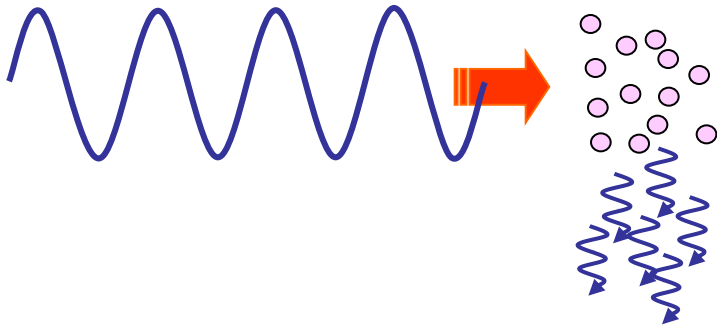
w atmosferze ziemskiej $z_0 \cong 60\text{km}$



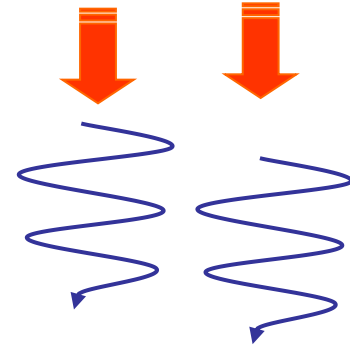
rozpr. Rayleigha, duże ciśnienie

Dlaczego szczyty górskie nie są czerwone?

odległość między atomami $\ll \lambda$



w obszarze spójności fali mamy bardzo dużo centrów rozpraszających. Sumujemy poła rozproszone przez poszczególne centra.



Dla dowolnego atomu zawsze możemy znaleźć inny, który rozprasza z fazą przesuniętą p. Te dwa sygnały odejmują się.
Efekt końcowy: bardzo małe natężenie fali rozproszonej.

uwaga: **fluktuacje gęstości gazu są źródłem fali rozproszonej**

niebo, 1

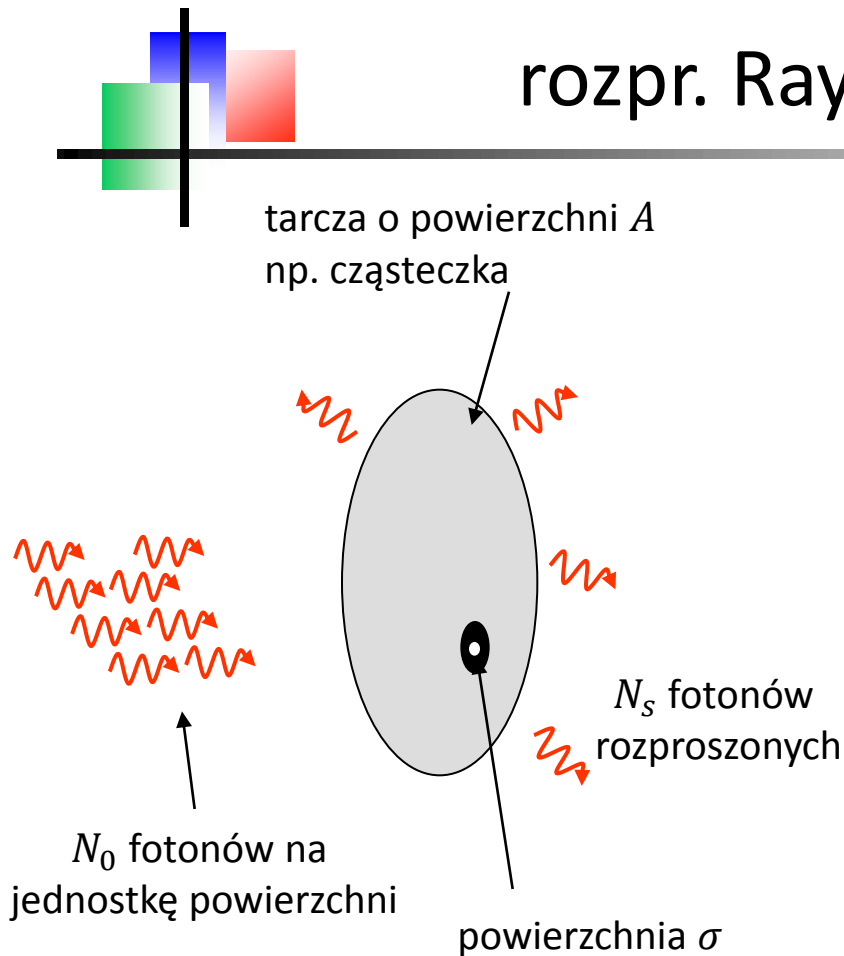


niebo, 2



uwaga: kurz, aerozole, etc.

rozpr. Rayleigha – inny obrazek



liczba fotonów trafiających w tarczę

$$N = N_0 A$$

Liczba rozproszonych fotonów jest
proporcjonalna do strumienia fotonów

$$N_s = \sigma N_0$$

równość ta definiuje przekrój czynny na
rozproszenie.

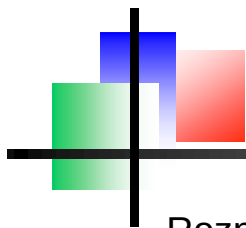
Zauważmy, że

$$\sigma = \frac{N_s}{N_0} = \frac{N_s}{N} A$$

Zatem przekrój czynny to nie jest powierzchnia
figury powstałej wskutek rzutowania obiektu
rozpraszającego na płaszczyznę prostopadłą do
kierunku wiązki światła.

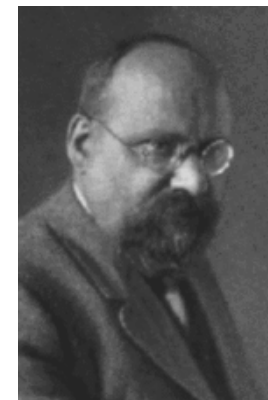
W optyce, fizyce atomowej i molekularnej
zwyczajowo stosuje się jednostki cm^2 .

Uwaga: wszystkie wielkości na tej stronie są albo wycałkowane po
impulsie światła albo podane na jednostkę czasu

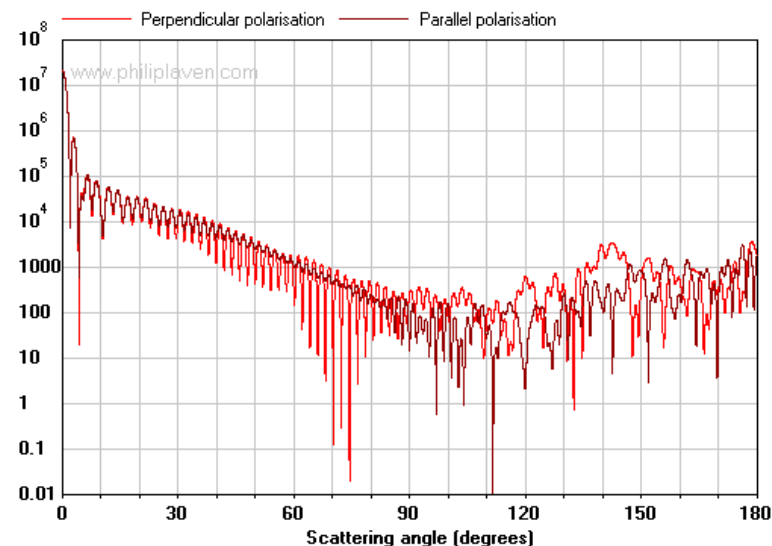
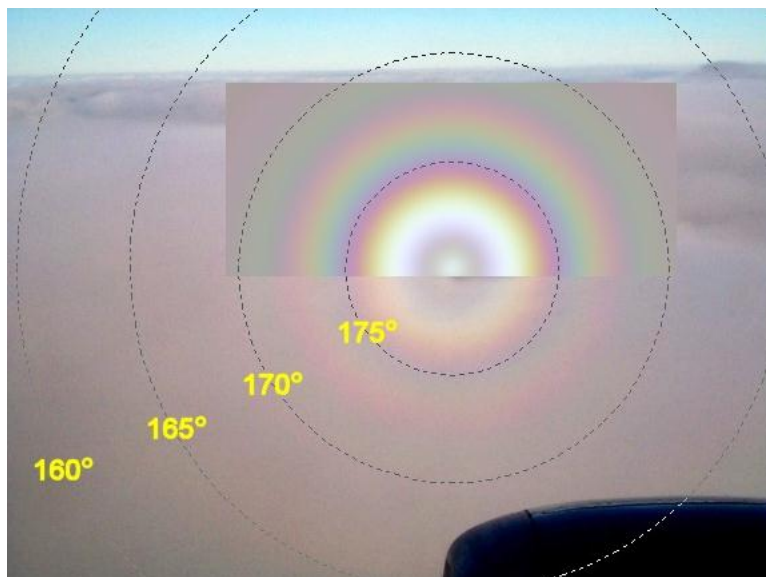
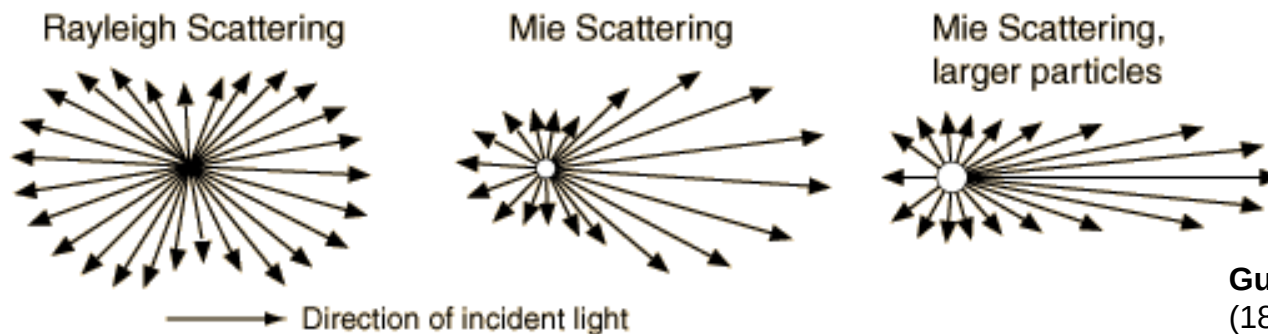


Rozpraszanie Mie

Rozpraszanie elastyczne na sferach (dielektryk, metal);
rozmiary sfer porównywalne z długością fali



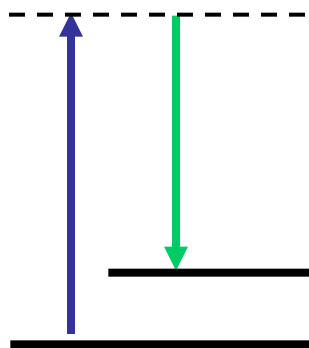
Gustav Adolf Feodor Wilhelm Ludwig Mie
(1869 –1957)



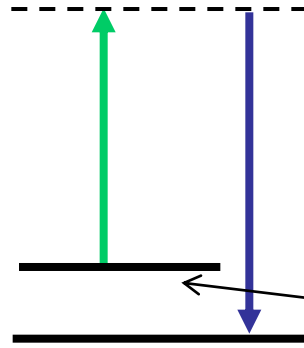
kropla wody 10 μm , $\lambda=0.65 \mu\text{m}$, dwie polaryzacje

Rozpraszanie Ramana

rozpraszanie nieelastyczne w cząsteczkach



Stokes



anty-Stokes

poziomy
oscylacyjne



Chandrasekhara Venkata Raman
(1888 - 1970)

załóżmy, że drgania normalne jąder atomowych dają wkład do polaryzowalności cząsteczki

$$\alpha(t) = \alpha_0 + \sum_n \alpha_n \cos(\Omega_n t)$$

$$p(t) = \alpha(t) E_0 \cos(\omega t)$$

$$= \alpha_0 \cos(\omega t) + \frac{E_0}{2} \sum_n \alpha_n \cos[(\omega - \Omega_n)t] + \frac{E_0}{2} \sum_n \alpha_n \cos[(\omega + \Omega_n)t]$$

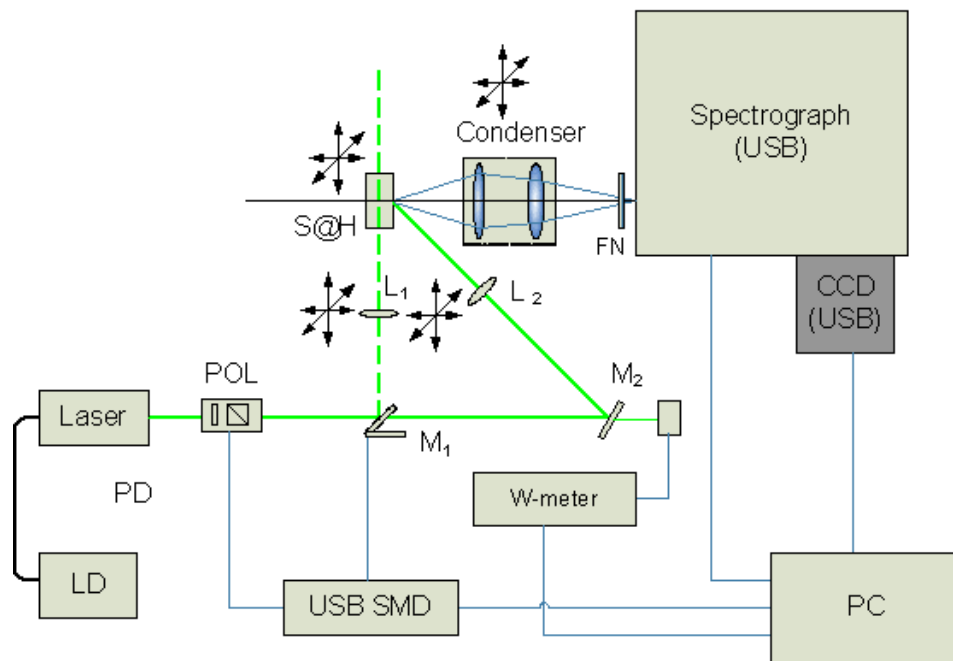
Stokes

anty-Stokes

typowo: $\sigma_R \cong 10^{-30} \text{cm}^2$

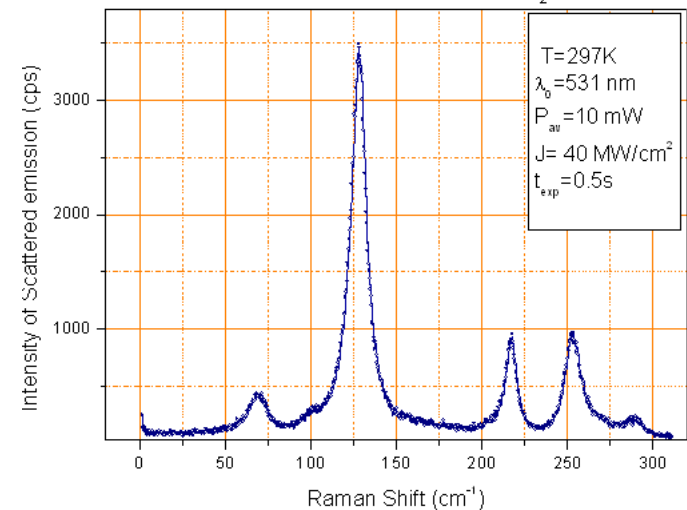
Ramanowski „odcisk palca” cząsteczki
(ang. Raman fingerprint of a molecule)

spektroskopia ramanowska, 1

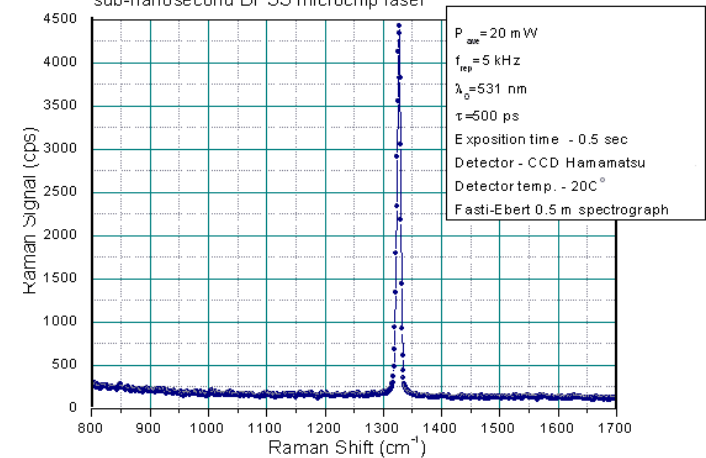


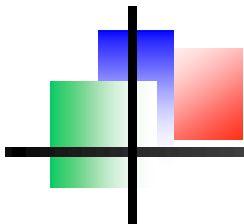
STANDA

Raman Scattering Spectrum of TeO₂ Crystals

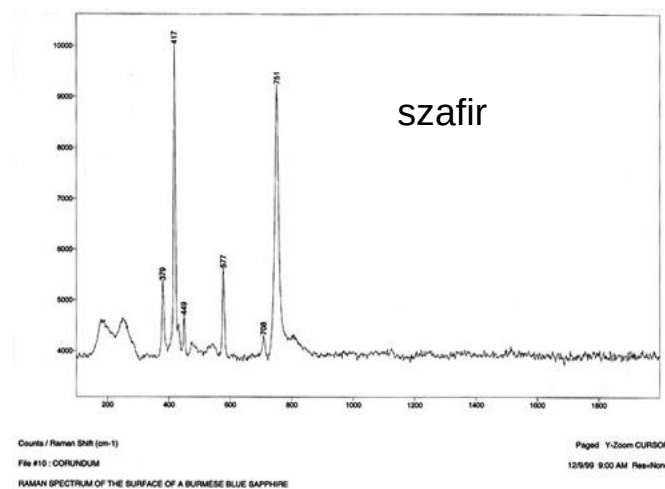
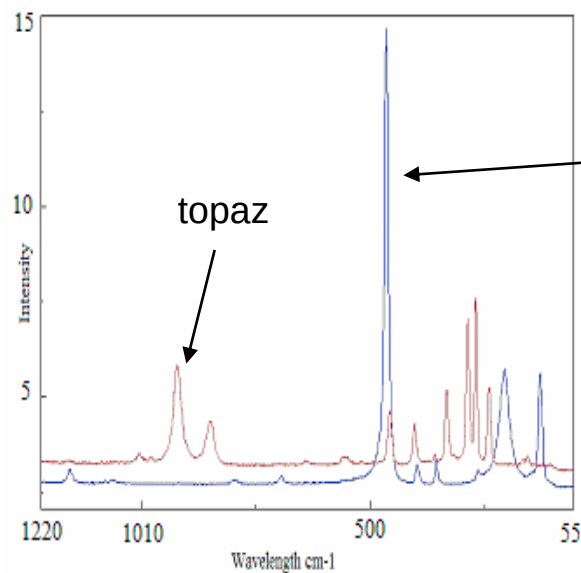
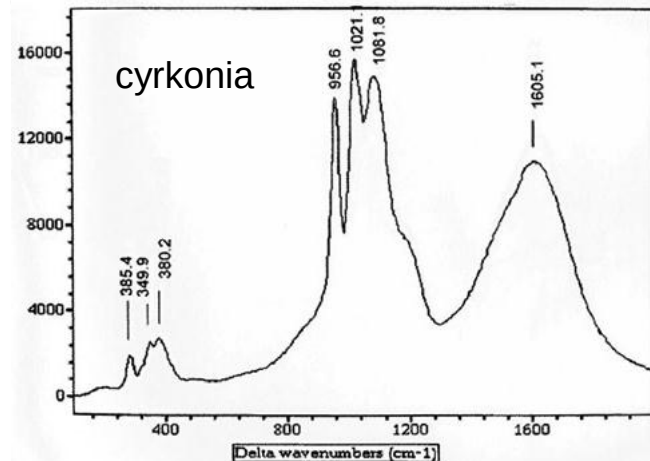
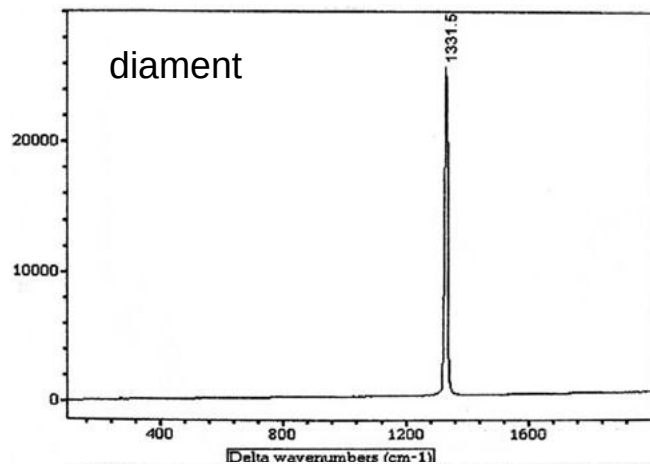


Raman spectra of diamond induced by sub-nanosecond DPSS microchip laser





spektroskopia ramanowska, 2



mikroskopia ramanowska, 1

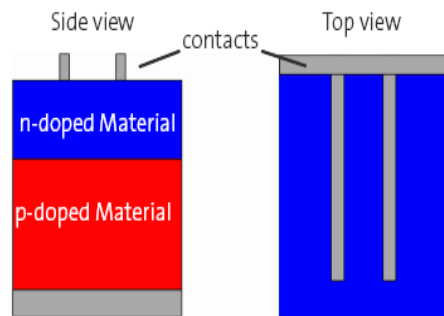
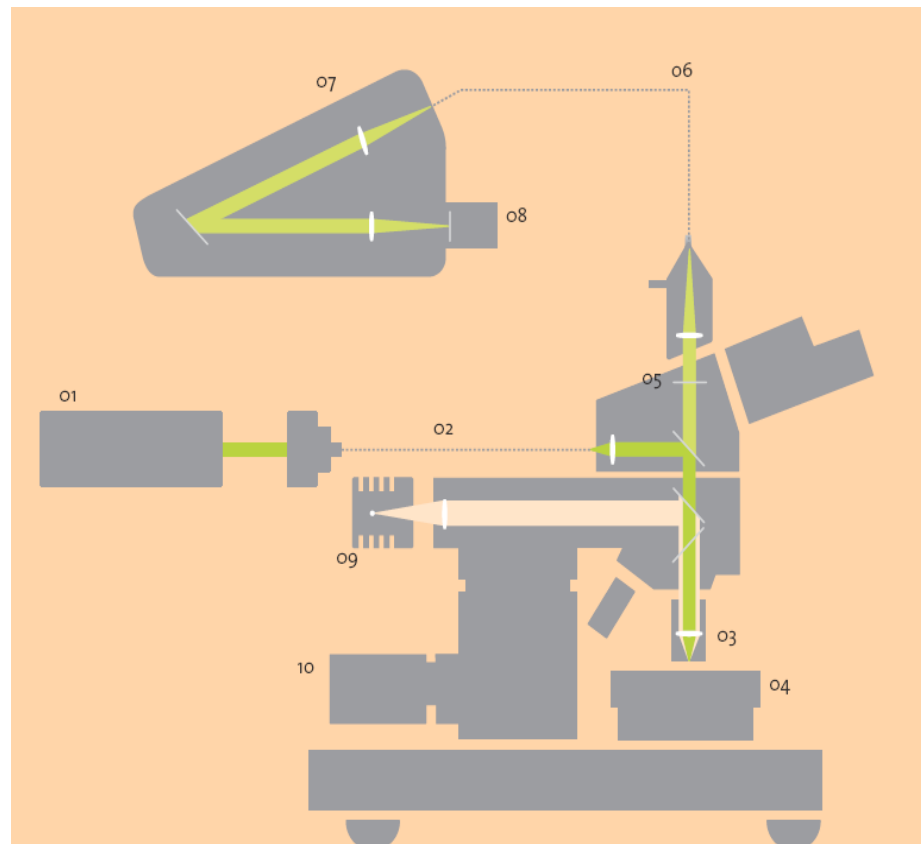


Fig. 1: Typical set-up of a solar cell.

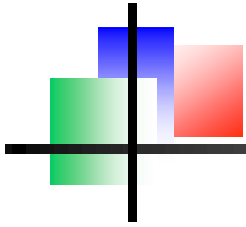
laserowe drążenie otworów
do dolnej elektrody



alpha300 R Beam Path

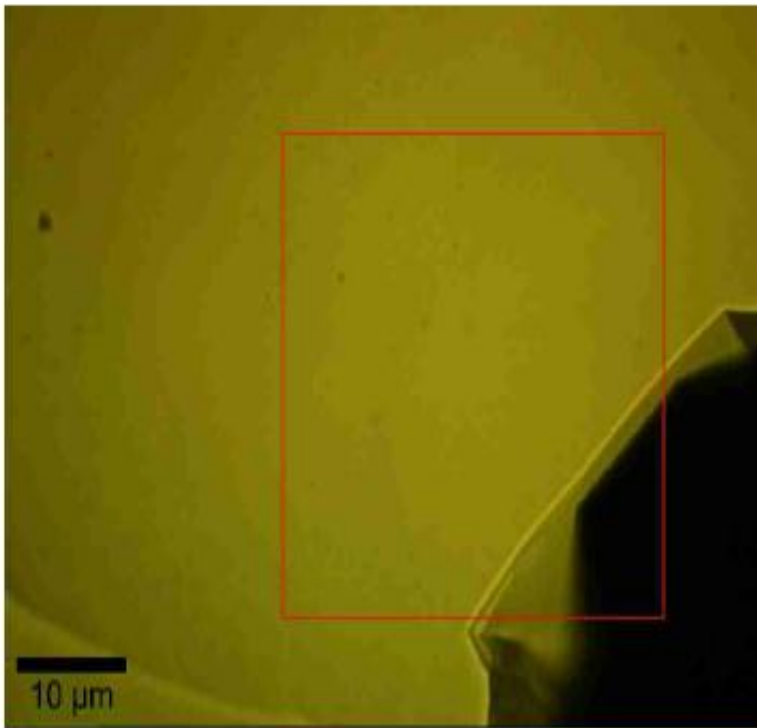
- 01. laser
- 02. single mode fiber
- 03. objective
- 04. scan table
- 05. filter

- 06. multi mode fiber
- 07. lense based spectroscopy system UHTS 300
- 08. CCD detector
- 09. white light illumination
- 10. Z-stage for focusing

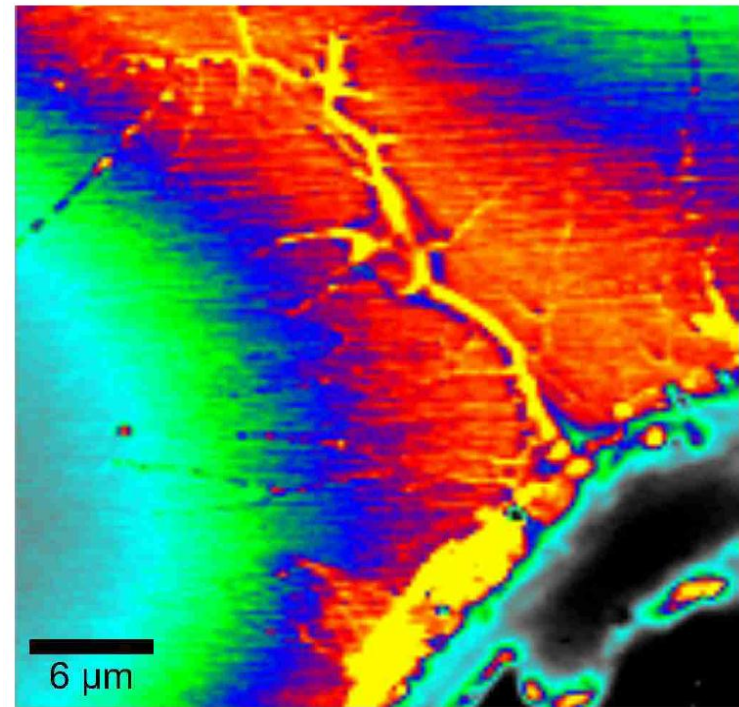


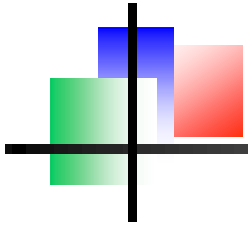
mikroskopia ramanowska, 2

obraz z mikroskopu optycznego



obraz z mikroskopu ramanowskiego

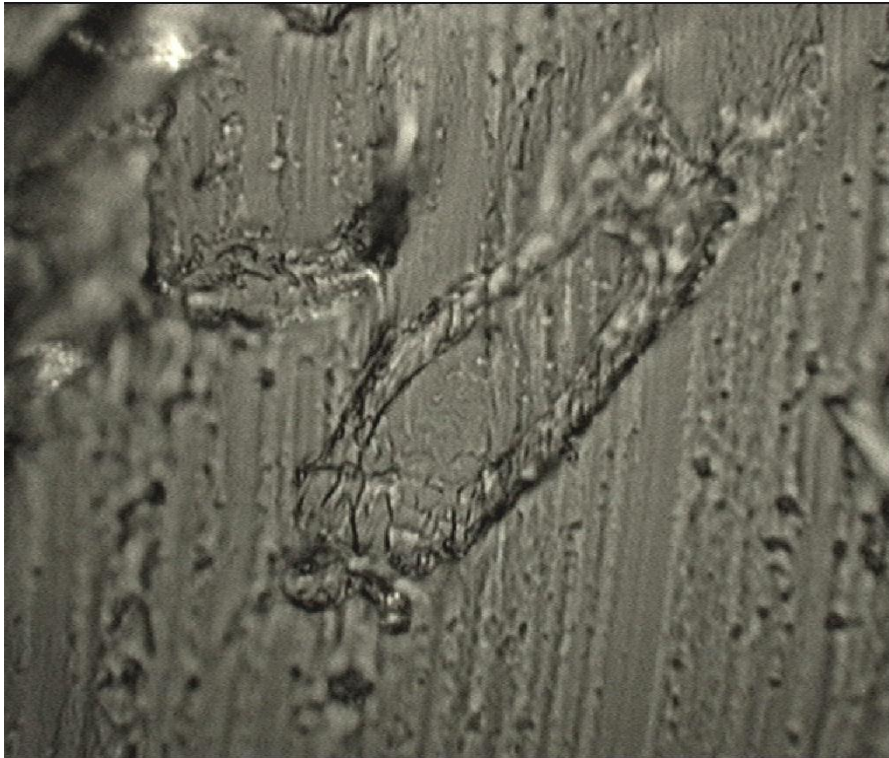




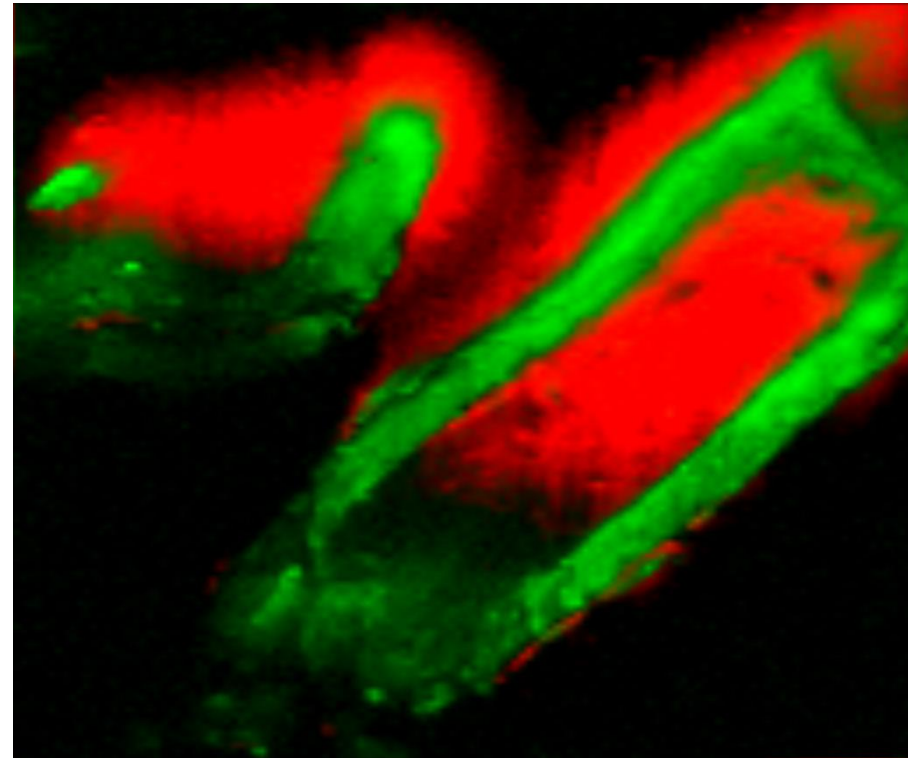
mikroskopia ramanowska, 3

drewno potraktowane preparatem grzybobójczym

obraz z mikroskopu optycznego



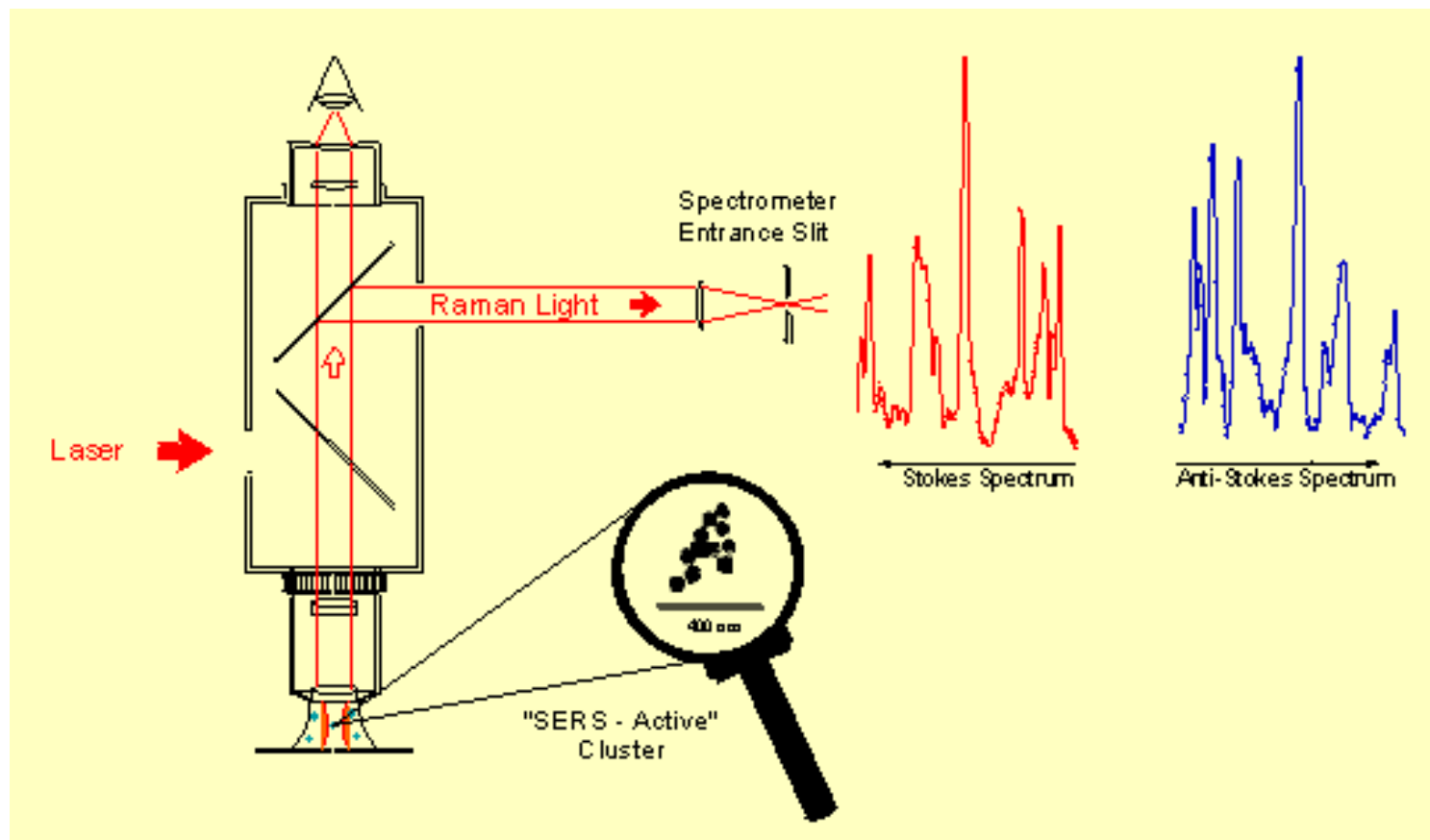
obraz z mikroskopu ramanowskiego



40x40 mm

mikroskopia ramanowska, 4

Obserwacja pojedynczych cząsteczek w rozpraszaniu ramanowskim



$$\sigma_R \cong 10^{-16} \text{cm}^2$$

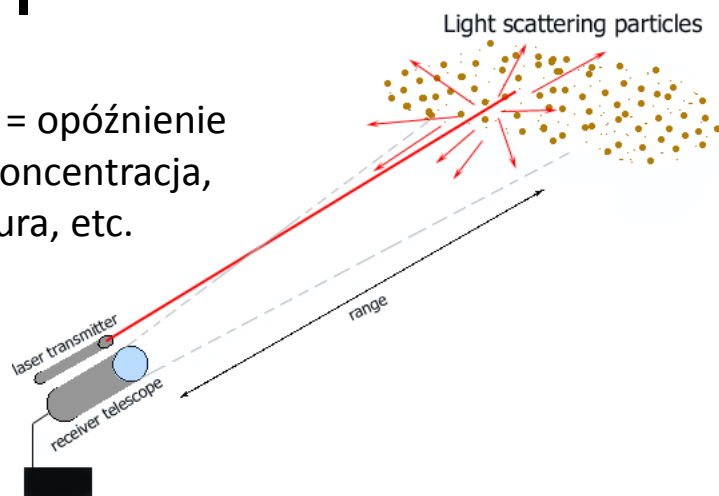
Surface
Enhanced
Raman
Spectroscopy

nanocząsteczki (złoto, srebro) + plazmony

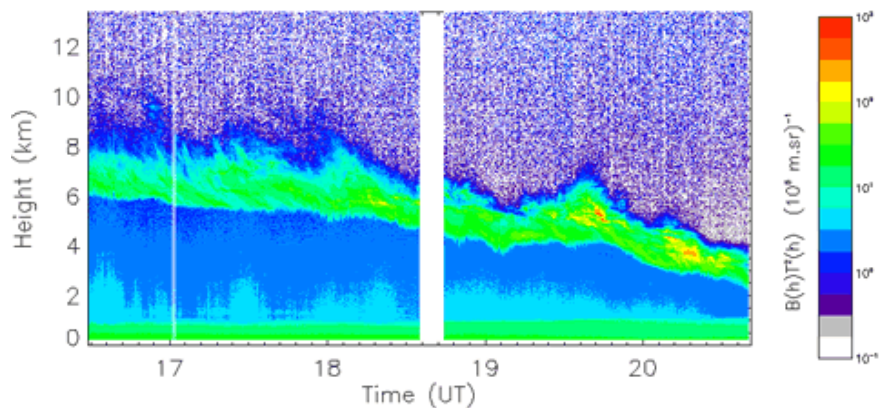
Lidar ramanowski

idea

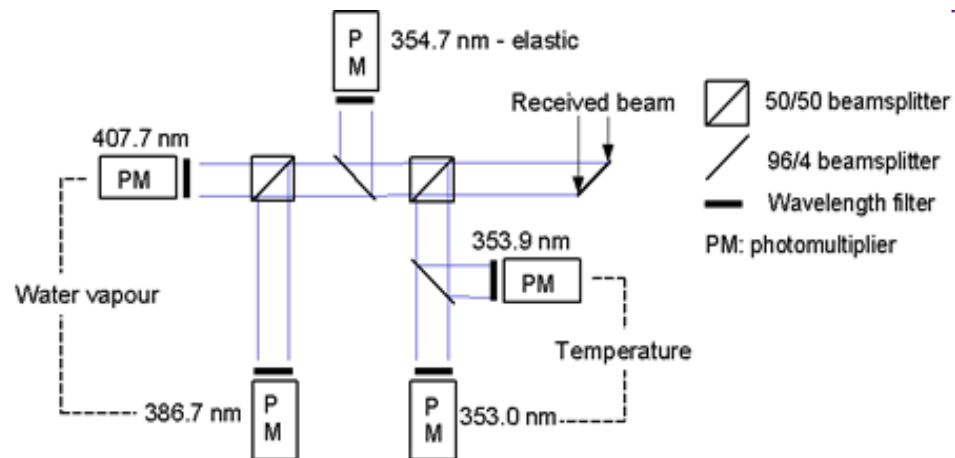
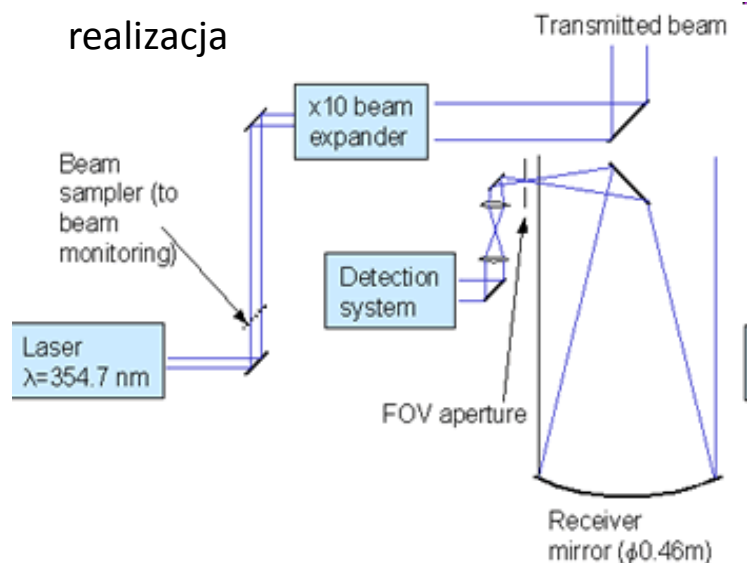
odległość = opóźnienie
sygnał = koncentracja,
temperatura, etc.

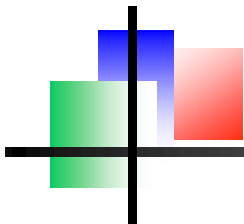


Wynik: koncentracja H_2O



realizacja

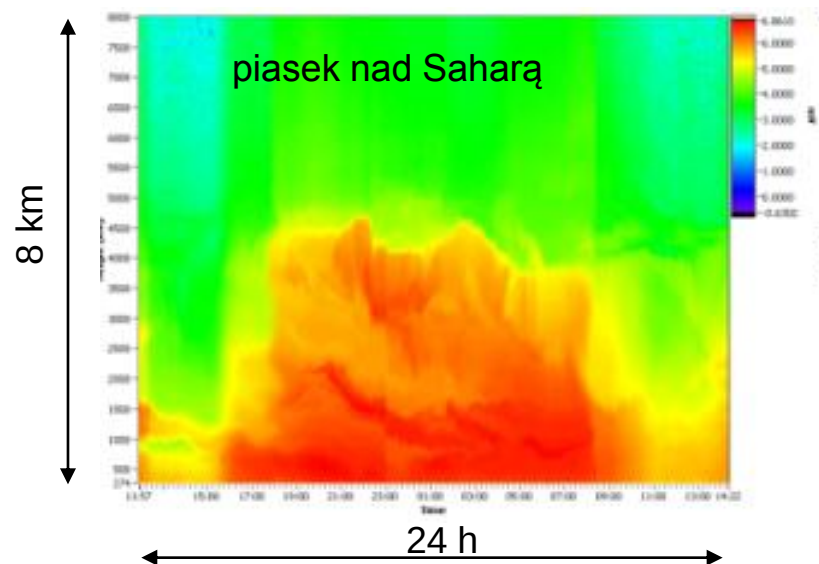




komercyjny lidar ramanowski

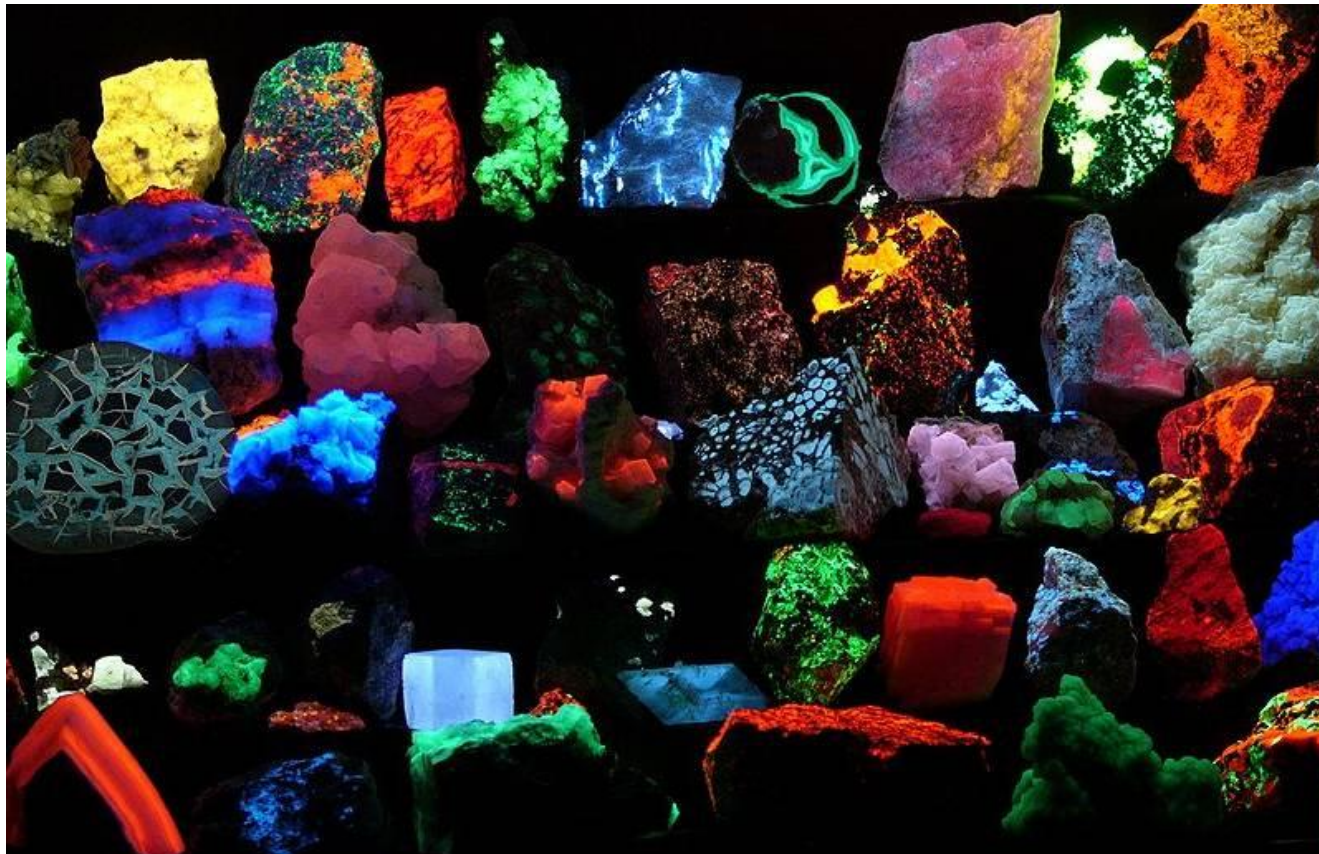


Measurement range	0.2 to 15 km
Temporal resolution	Down to 12 s
Spatial resolution	7.5 m
Laser source	Q-Switched Nd:YAG : 355 nm, 532 nm, 1064 nm
Energy per pulse	20 - 60 mJ
Repetition rate	10 to 20 Hz
Pulse duration	7 to 9 ns
Eye safety option	Optional for 355 nm up to 30 mJ
Telescope diameter	Cassegrainian 200 mm
Detection channels	Up to 5 PMT with simultaneous analog and photon counting



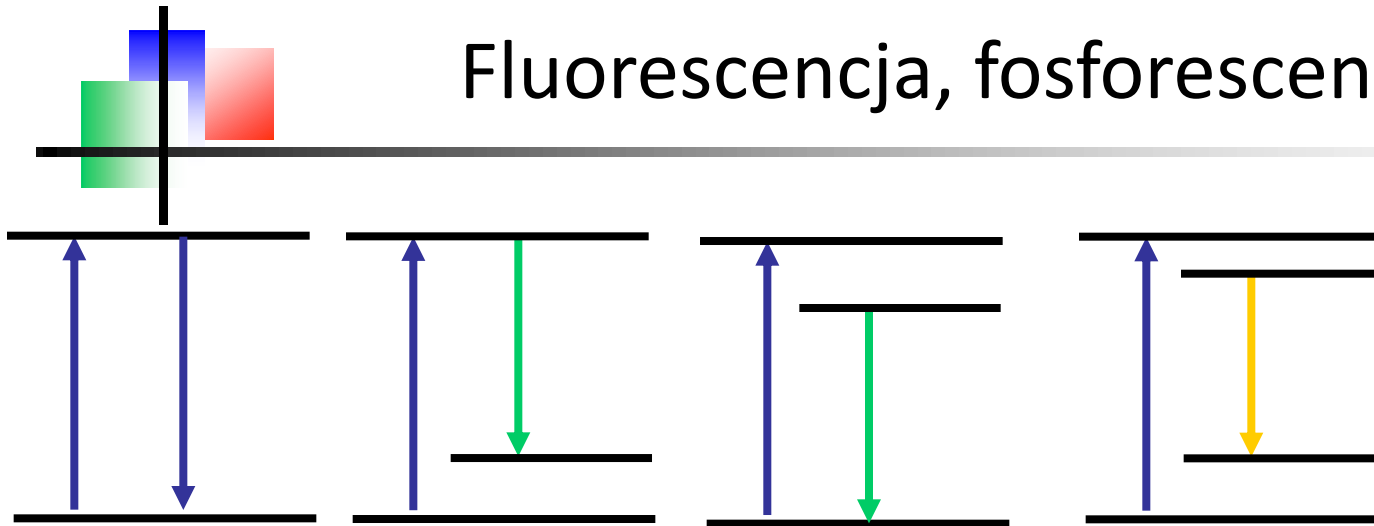
<http://www.kippzonen.com>

Fluorescencja, fosforescencja, 1



minerały w świetle ultrafioletowym

Fluorescencja, fosforescencja, 2



Wydajność kwantowa fluorescencji

$$\eta = \frac{N_e}{N_a}$$

N_e - liczba wyemitowanych fotonów

N_a - liczba zaabsorbowanych fotonów

Zanik fluorescencji

$$I(t) = I_0 e^{-t/\tau}$$

τ - czas życia stanu wzbudzonego

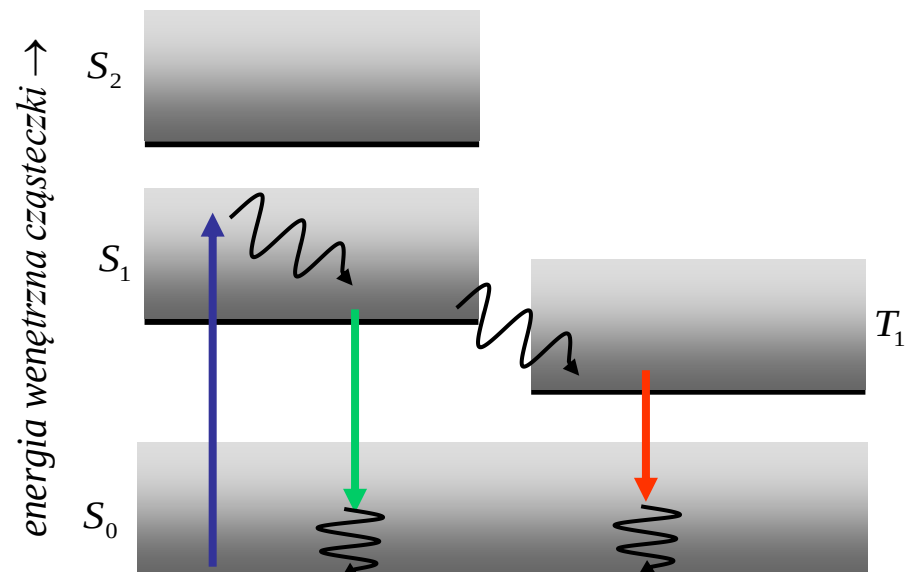
Typowa fluorescencja – ns

Fosforescencja – sekundy, nawet godziny



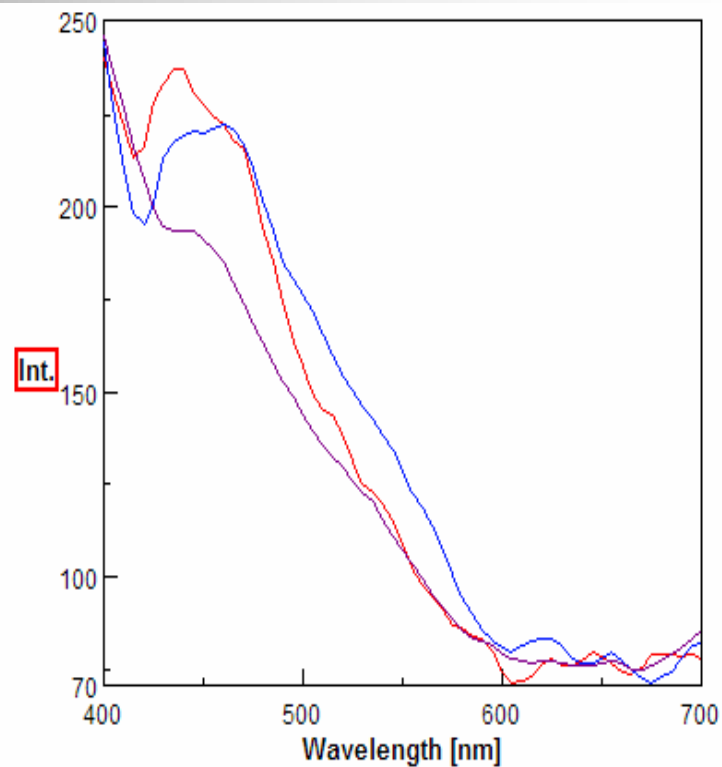
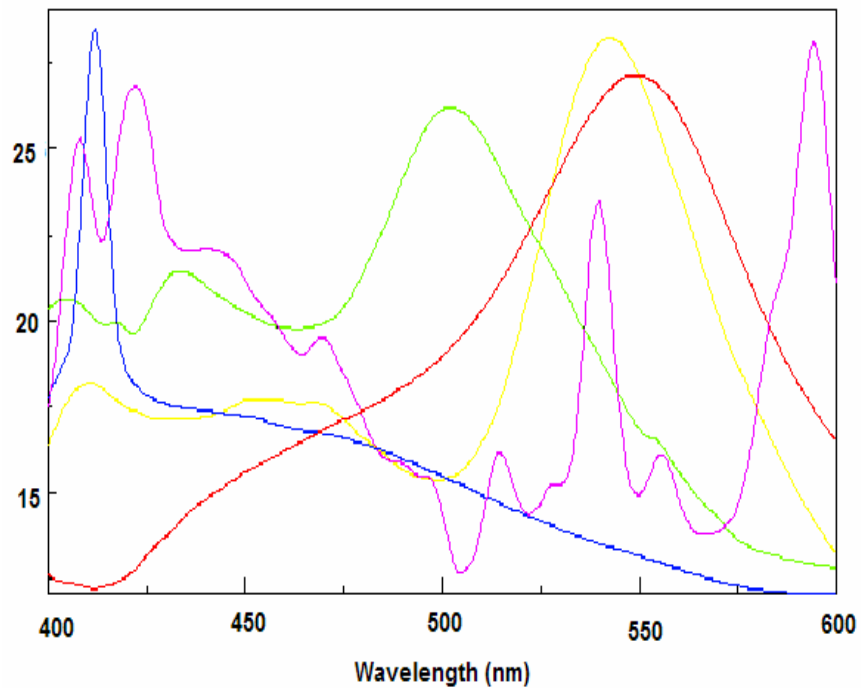
Aleksander Jabłoński
1898-1980

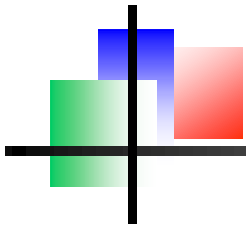
diagram Jabłońskiego



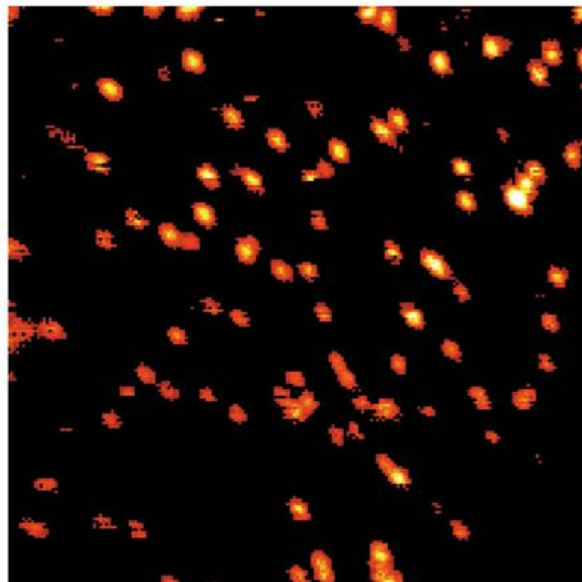
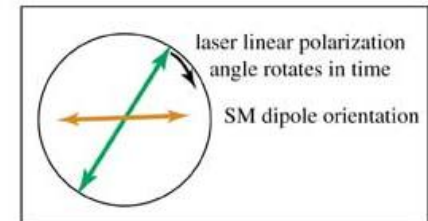
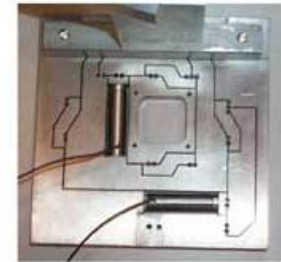
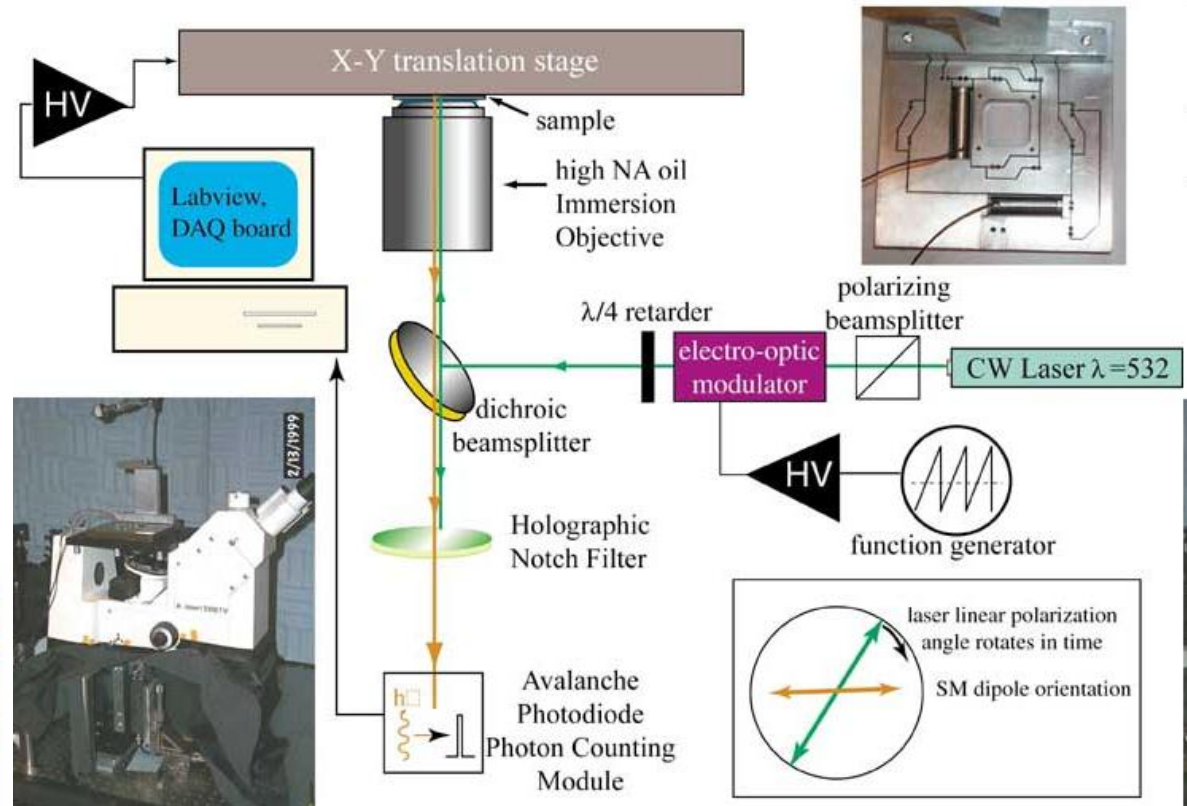
Fluorescencja

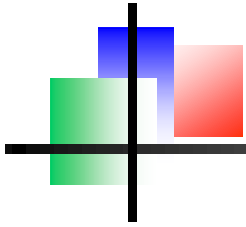
Banknoty Rezerwy Federalnej USA (dolary)



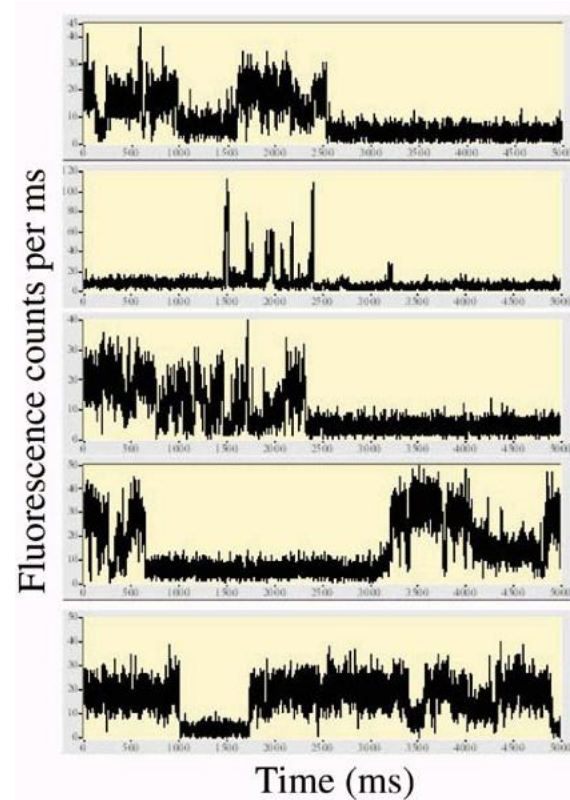
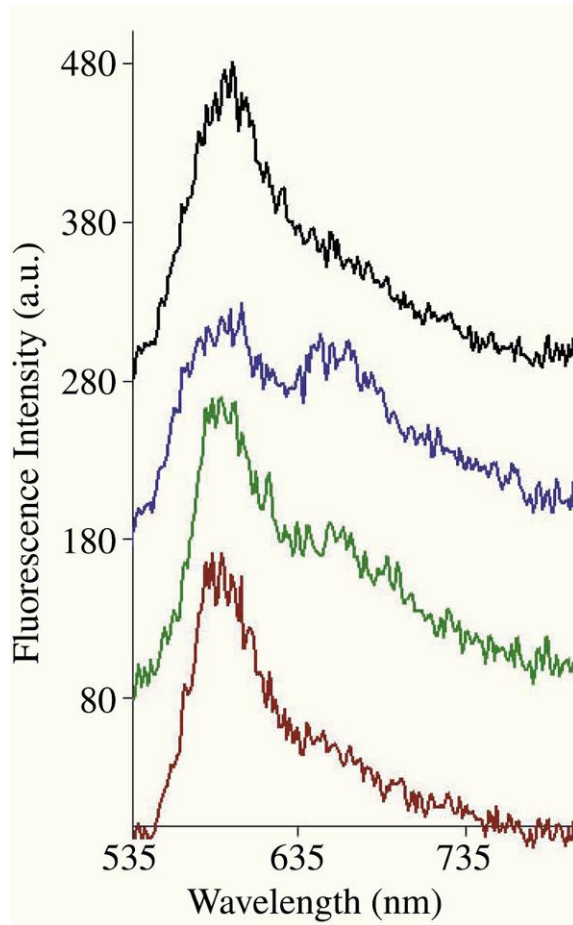


fluorescencja – pojedyncze cząsteczki, 1





fluorescencja – pojedyncze cząsteczki, 2



fosforescencja

