

Wstęp do Optyki i Fizyki Materii Skondensowanej

Część I: Optyka, wykład 2

wykład: Piotr Fita
pokazy: Andrzej Wysmołek
ćwiczenia: Anna Grochola, Barbara Piętka

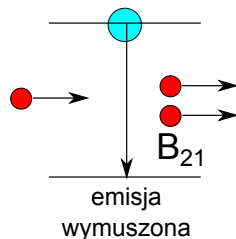
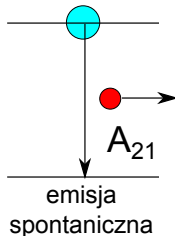
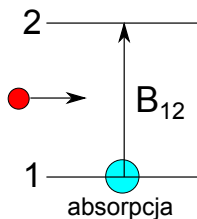
Wydział Fizyki
Uniwersytet Warszawski

2015/16

Plan

- 1 Współczynniki Einsteina
- 2 Widmo światła
- 3 Podstawy spektroskopii
- 4 Spektroskopia w zastosowaniach

Absorpcja i emisja światła



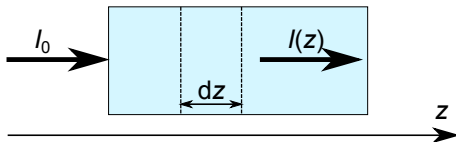
Relacje między współczynnikami Einsteina:

$$B_{12} = B_{21}$$

$$\frac{A_{21}}{B_{21}} = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3}$$

(Wyprowadzenie - na ćwiczeniach)

Prawo Lamberta - Beera

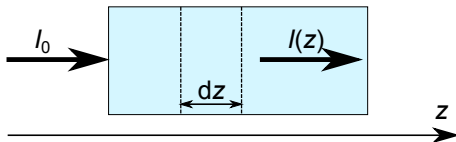


$$\frac{dI(\nu_0)}{dz} = -\epsilon(\nu_0)c_0I(\nu_0)$$

$$I(\nu_0, z) = I_0(\nu_0)e^{-\epsilon(\nu_0)c_0z} = I_0(\nu_0)e^{-\alpha(\nu_0)z}$$

(Wyprowadzenie - na tablicy)

Prawo Lamberta - Beera



$$\frac{dI(\nu_0)}{dz} = -\epsilon(\nu_0)c_0I(\nu_0)$$

$$I(\nu_0, z) = I_0(\nu_0)e^{-\epsilon(\nu_0)c_0z} = I_0(\nu_0)e^{-\alpha(\nu_0)z}$$

(Wyprowadzenie - na tablicy)

Natężenie światła

Pole elektryczne fali E-M:

$$E(t) = E_0(t)e^{i\omega_0 t}$$

- $E_0(t)$ – wolnozmiennie
- $e^{i\omega_0 t}$ – szybkozmiennie

Natężenie światła:

$$I(t) = \frac{1}{2}c\epsilon_0|E(t)|^2 = \frac{1}{2}c\epsilon_0|E_0(t)|^2$$

Widmo światła

Rozkład pola elektrycznego na fale płaskie:

$$E(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{E}(\omega) e^{i\omega t} d\omega$$

Amplitudy spektralne:

$$\tilde{E}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} E(t) e^{-i\omega t} dt$$

Widmo = ile mocy (energii) przypada na przedział częstości $d\omega$ w okolicy częstości ω

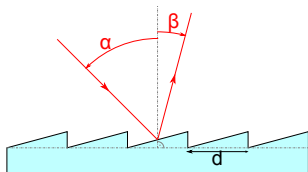
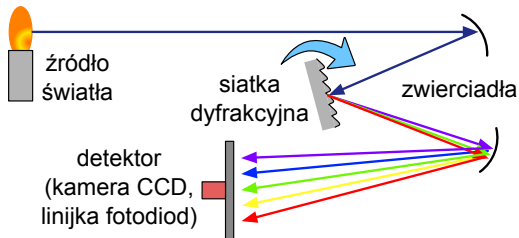
$$\tilde{I}(\omega) \sim |\tilde{E}(\omega)|^2$$

(Natężenie światła: $I(t) \sim |E(t)|^2$)

(Szczegóły na tablicy)

Pomiar widma światła

Spektrometr siatkowy



[Wikimedia Commons]

Interferencja konstruktywna:

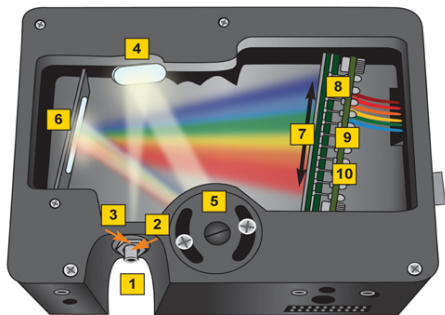
$$d(\sin \alpha - \sin \beta) = m\lambda$$

m - rząd interferencji

Pomiar widma światła

Spektrometr siatkowy

Praktyczna realizacja miniaturowego spektrometru
(Ocean Optics)

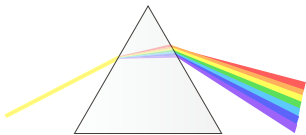


[Ocean Optics]



Pomiar widma światła

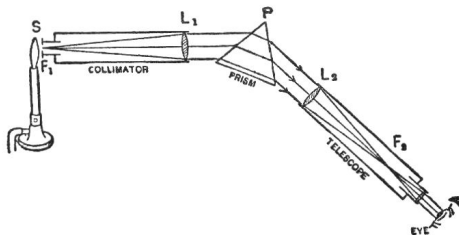
Spektrometr pryzmatyczny



Współczynnik załamania pryzmatu zależy od długości fali

$$n = n(\lambda)$$

Dlaczego? O tym na kolejnych wykładach



[Wikimedia Commons]

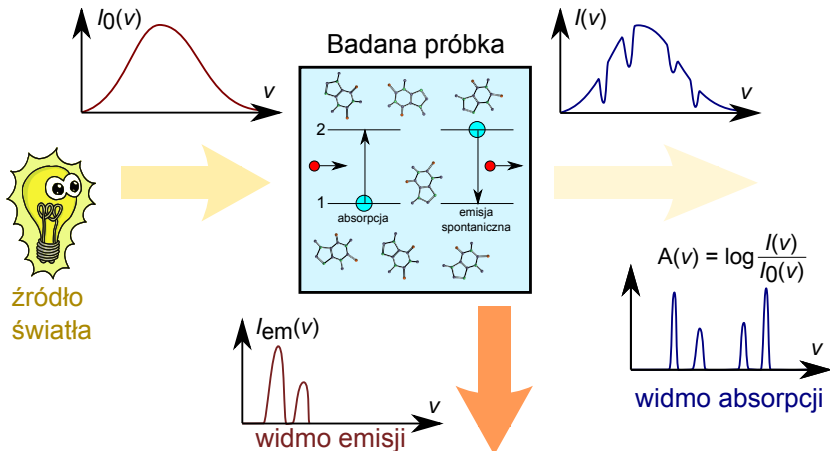


[<http://vuihocly.freevnn.com>]

Jednostki w spektroskopii

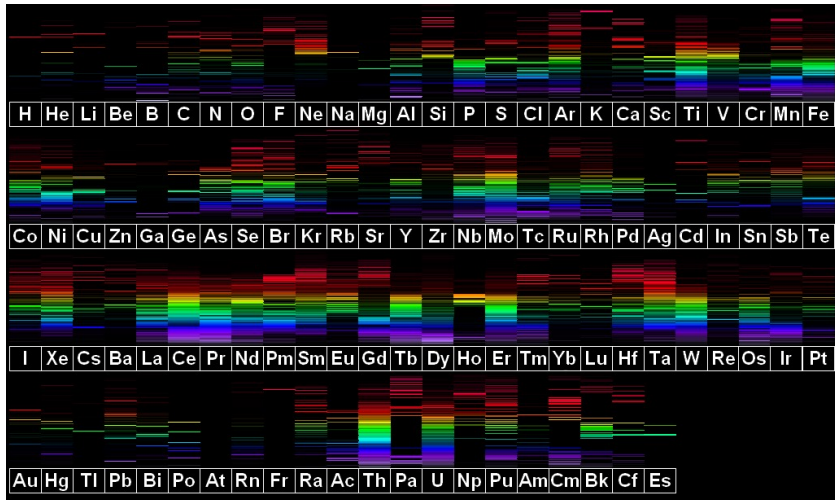
- Częstość kołowa: ω [1/s]
- Częstotliwość: $\nu = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$ [Hz]
- Długość fali: $\lambda = \frac{c}{\nu}$ [μm , nm]
- Energia: $\mathcal{E} = h\nu$ [J, eV, meV]
- Liczba falowa: $\tilde{\nu} = \frac{1}{\lambda}$ [cm^{-1}]

Spektroskopia emisyjna i absorpcyjna



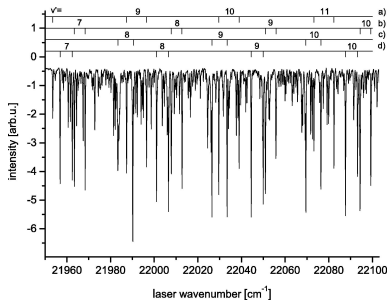
Badania struktury energetycznej

Źródło informacji o budowie materii



Spektroskopia absorpcyjna

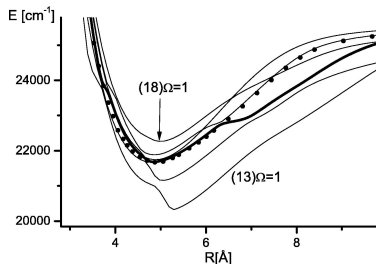
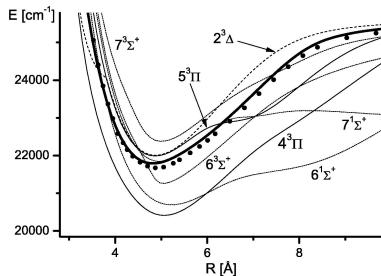
Badania struktury energetycznej



↑ A portion of the polarisation spectrum of KCs recorded with circularly polarised pump laser beam [...]

→ The IPA potential curve of the $4^1\Pi$ state in KCs (circles) [...]

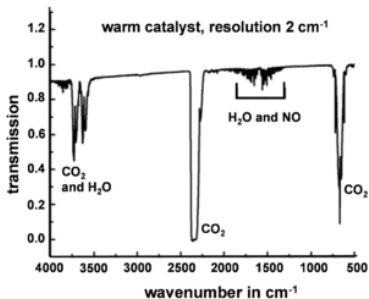
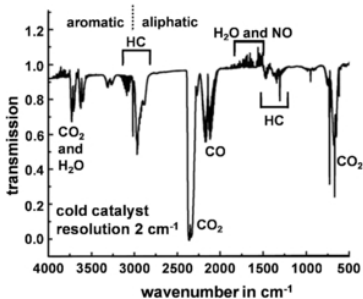
[J. Szczepkowski, A. Grochola, W. Jastrzębski, P. Kowalczyk, Chem. Phys. Lett. **576**, 10 (2013)]



Spektroskopia absorpcyjna

Analiza składu gazów

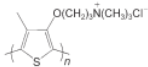
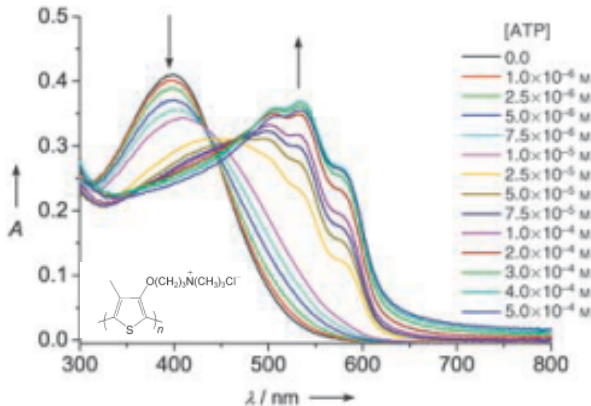
Analiza spalin silnika samochodowego



K.-P. Mollmann, M. Vollmer 2013 Eur. J. Phys. 34. S123

Spektroskopia absorpcyjna

Sensory chemiczne

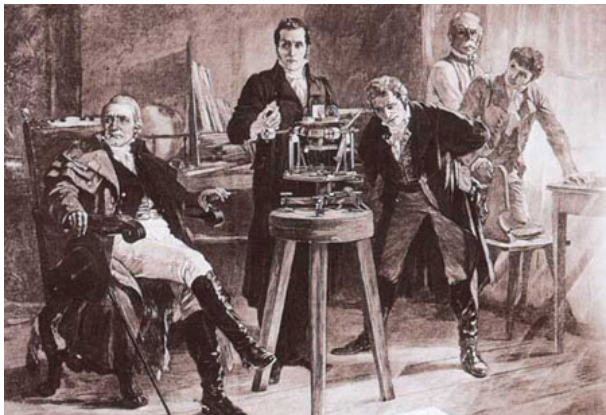


Zmiana widma cząsteczki-sensora w roztworze wodnym ze wzrostem stężenia ATP

[C. Li et al. Chem., Int. Ed., 2005, 44, 6371]

Spektroskopia w astronomii

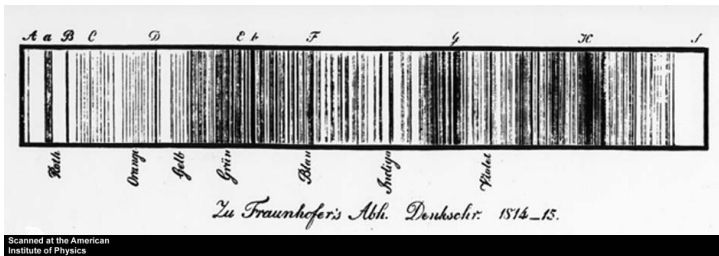
Badanie atmosfer gwiazd



Fraunhofer i jego spektroskop zbudowany w 1814 roku
[<http://www.jvfg-cham.de>]

Spektroskopia w astronomii

Badanie atmosfer gwiazd

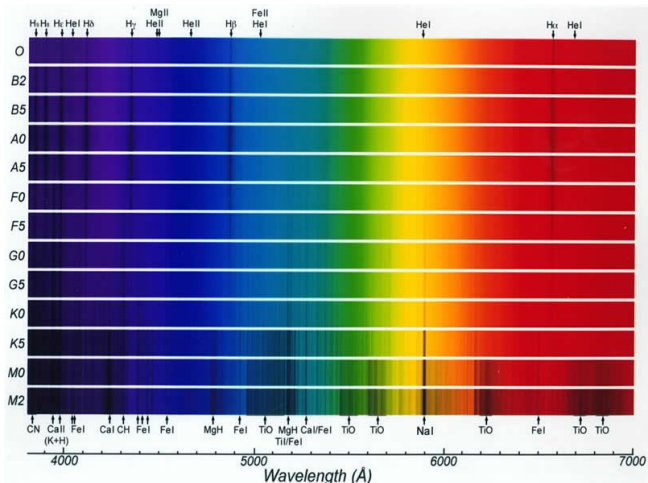


Widmo Słońca opisane przez Fraunhofera

[American Institute of Physics]

Spektroskopia w astronomii

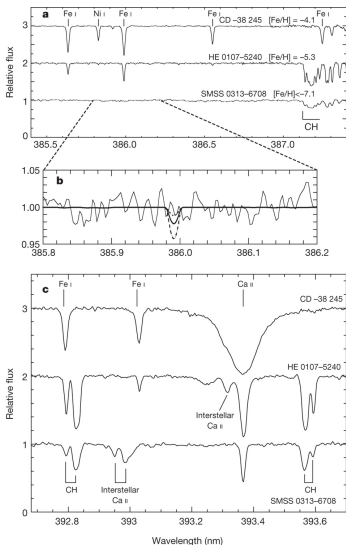
Typy widmowe gwiazd



[<http://astrocosmosci.files.wordpress.com>]

Spektroskopia w astronomii

Oznaczenie wieku gwiazd



The spectrum of SMSS 0313-6708 shows an absence of detectable Fe I lines (a) and is dominated by molecular features of CH (c). Panel b shows the vicinity of what should be one of the strongest iron lines in the UV/optical wavelength region.

Brak linii absorpcyjnych żelaza pozwolił stwierdzić, że jest to najstarsza znana obecnie gwiazda

[S. C. Keller et al, Nature 2014, 09.02.2014]

Spektroskopia w astronomii

Badanie składu gazu międzygwiazdowego

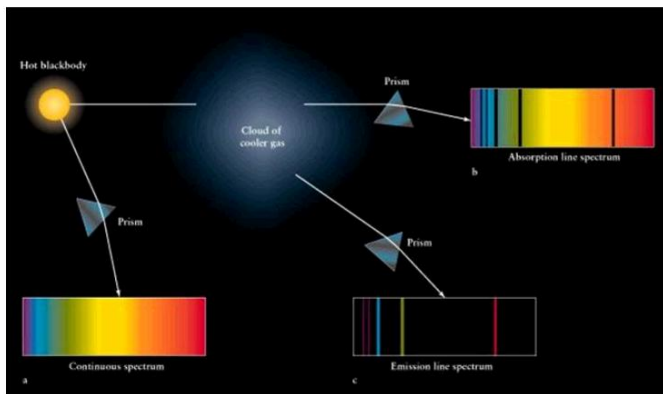
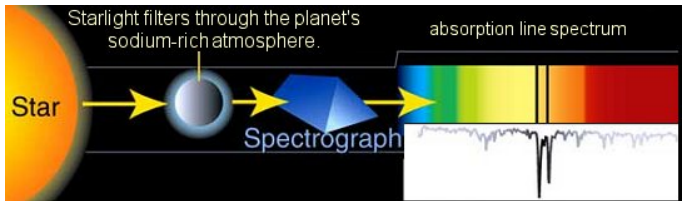


Fig: Emission & Absorption spectrum

[tutorvista.com]

Spektroskopia w astronomii

Badanie składu atmosfery planety pozasłonecznej

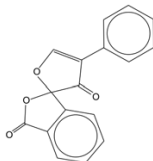


[NASA]

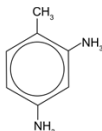
Zastosowania spektroskopii fluorescencyjnej

Detekcja śladowych ilości substancji

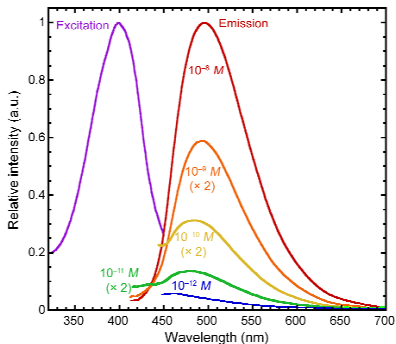
Wykrywanie materiałów wybuchowych



Fluorescamine



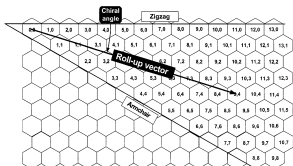
2,4-DAT



Excitation and emission spectra of 2,4-DAT + fluorescamine at various dilutions, blank-subtracted, and all bandpasses = 10 nm.

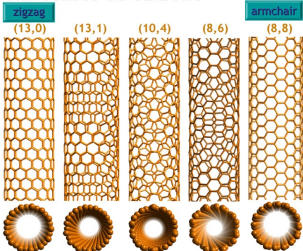
Zastosowania spektroskopii fluorescencyjnej

Charakteryzacja materiałów – nanorurki węglowe

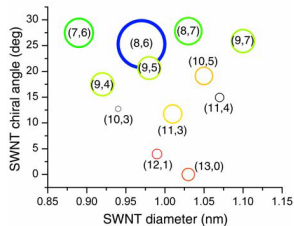
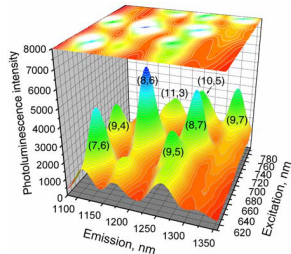


[United States Patent 7074310]

Nanotubos de carbono



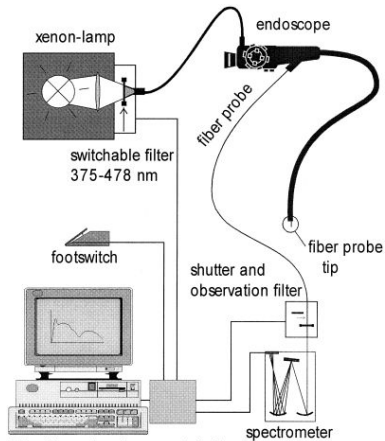
[Cecilia Noguez, <http://www.fisica.unam.mx>]



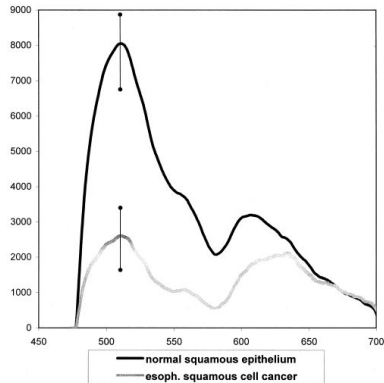
[Horiba Jobin-Yvon]

Zastosowania spektroskopii fluorescencyjnej

Medycyna - identyfikacja nowotworów

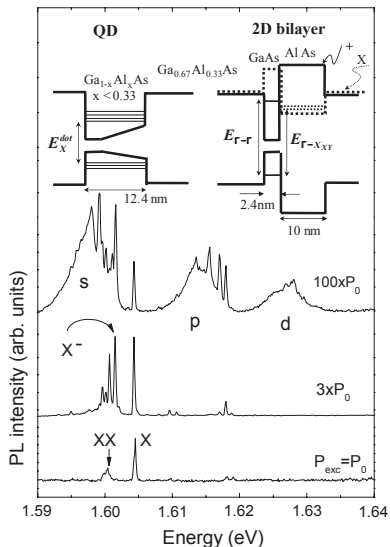


Porównanie widm tkanki zdrowej i nowotworowej:



[B. Mayinger, Am. J. Gastroenterol. 96, 2616 (2001)]

Luminescencja w ciele stałym

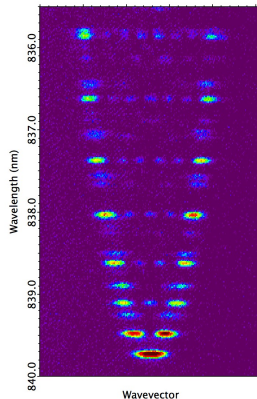
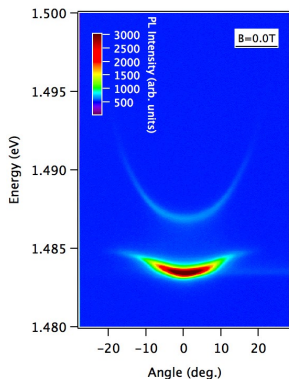


Fotoluminescencja kropki kwantowej dla różnej liczby ekscytonów w kropce kwantowej. X – pojedynczy ekscyton, XX – dwa związane ekscytony, X^- – trion = dwa elektrony + dziura. s,p,d – kolejne powłoki w kropce kwantowej oznaczane analogicznie do stanów wzbudzonych atomu wodoru.

[B. Piętka et al, Phys. Rev. B 87, 035310 (2013)]

Luminescencja w ciele stałym

Widma luminescencji polarytonów ekscytonowych



Polaryton ekscytonowy = foton silnie sprzężony z ekscytonem w mikrowęzce półprzewodnikowej. W wyniku sprzężenia dostajemy górny i dolny polaryton (górny o wyższej i dolny o niższej energii). Na widmach widoczna jest luminescencja dla różnych kątów emisji (pędów polarytonu). [B. Piętka]