

Inovace předmětu KBB/MIK

SVĚTELNÁ A ELEKTRONOVÁ

MIKROSKOPIE



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Rozvoj a internacionalizace chemických
a biologických studijních programů na Univerzitě
Palackého v Olomouci

CZ.1.07/2.2.00/28.0066

- **studijní kombinace:** MBB, I. roč.
- **přednášející:** RNDr. Pavla VÁLOVÁ
- **typ - semestr - rozsah:** A - L - 1/0
14.2. – 28.3. 2018 – po 2 hod.
- **ukončení:** kolokvium (zápočtový test)
- **kredity:** 2

Soukromý mail: valovapavla@centrum.cz

eva.jiskrova@upol.cz

Sylabus

1. Historie mikroskopování. Optické principy světelné mikroskopie. Konstrukce obrazu složeným mikroskopem, rozlišovací schopnost mikroskopu.
2. Základní součásti světelného mikroskopu - objektivy, okuláry a osvětlení.
3. **Exkurze:** Elektronová a atomární mikroskopie – pracoviště RCPTM (Regionální centrum pokročilých technologií a materiálů, areál Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého, Olomouc – Holice) (Mgr. Klára Čépe, Ph.D. a spol.)
Středa 28.2. 2018 13.15 - 14.30
4. Speciální mikroskopické metody (temné pole, fázový kontrast, polarizace, interference). Principy fluorescenční mikroskopie; základní fluorescenční metody.

Sylabus

5. Princip konfokálního mikroskopu. Různé typy mikroskopů (lupa, stereolupa, inverzní mikroskop, digitální mikroskop, mikroskopy atomárních sil - STM, ASM). Mikroskop jako mikromanipulační nástroj. Systémy pro zkvalitnění mikroskopického obrazu. Základy superrozlišovací mikroskopie.

6. Prezentace: **Nové směry ve světelné mikroskopii, mikroskopie s vysokým rozlišením**

Ing. Pavel Krist, Ph.D.; Carl Zeiss s.r.o., Praha

Středa 21.3. 2018 13.15 – 14.45

7. Kolokvium – zápočtový test

Středa 28.3. 2018 13.15 – MIK

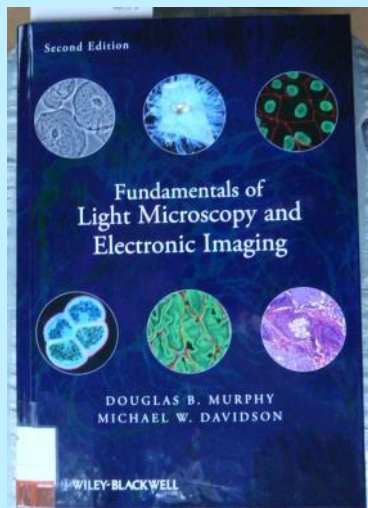
14.00 - CVMIK

Doporučená literatura

- **Hejtmánek, M. (2001):** Úvod do světelné mikroskopie. Skripta UP Olomouc.
- **Knoz, J., Opravilová, V. (1992):** Základy mikroskopické techniky. Skripta MU Brno.
- Přednášky – PŘF UP Olomouc, Katedra experimentální fyziky:
 - Kubínek, Roman: Moderní světelná a elektronová mikroskopie.
<http://fyzika.upol.cz/cs/system/files/download/vujtek/prezentace/kubinek/SMaEM.pdf>
 - Kubínek R., Vůjtek M., Mašláň M.: Mikroskopie skenující sondou.
<http://fyzika.upol.cz/cs/system/files/download/vujtek/prezentace/kubinek/SPM.pdf>
- **Kúš, P. a kol. (2008):** Moderná mikroskopia a digitálne zpracovanie obrazu. Skripta, Bratislava. ISBN: 978-80-89186-37-2
http://www.mikroskopia.sk/materials/skripta_mikroskopia.pdf
- **Matis, D. a kol. (2001):** Mikroskopická technika. Faunima, Bratislava.
- **Paleček, J. (1996):** Biologie buňky, I. Základy mikroskopické cytologie. Skripta UK Praha.
- **Ruzin, S.E. (1999):** Plant microtechnique and microscopy. Oxford University.
- www.olympusmicro.com
- <http://www.paru.cas.cz/lem/book/Podkap/3.0.html> (Elektronová mikroskopie)
- <http://biologie.upol.cz/mikroskopie>

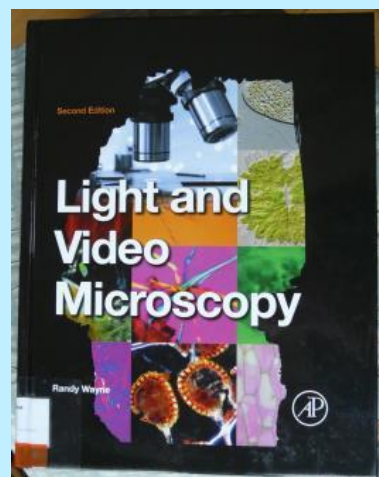
Nejnovější literatura

(k dispozici v místní knihovně)



Murphy D.B., Davidson, M.W. (2013):
Fundamentals of Light Microscopy and Electronic Imaging.
Wiley-Blackwell. Published 2013 by John Wiley & Sons, Inc.
Hoboken, New Jersey.

vč. rozsáhlého slovníku pojmů z mikroskopie na konci knihy



Randy O. Wayne (2014): **Light and Video Microscopy.**
Second Edition, Hardcover.

Doplňující literatura:

- Habrová, V. (1990): Mikroskopická technika. SPN, Praha.
- Jurčák, J. (1998): Základní praktikum z botanické mikrotechniky a rostlinné anatomie. Skripta UP Olomouc.
- Němec, B. a kol. (1962): Botanická mikrotechnika. Nakladatelství ČSAV, Praha.
- Lepil, O. (2013): Fyzika pro gymnázia. Optika. Prometheus, Praha, 4. přepracované vydání.
- Pazourek J. (1975): Pracujeme s mikroskopem. SNTL. Praha.
- Pazourková Z. (1986): Botanická mikrotechnika. Praha 1986, skripta UK Praha.
- Pazourková, Z., Pazourek, J. (1960): Rychlé metody botanické mikrotechniky. ČAZV, SZN Praha.
- Špaček, J. (2008): Svět pod mikroskopem. Grada, Praha.
- Kremer, Bruno P. (2013): Mikroskop zcela jednoduše. Aventium nakladatelství, s.r.o.
- Články z časopisu Vesmír

Internet:

- Učební texty Katedry Optiky UP Olomouc: Světelná mikroskopie. (doc. Roman Kubínek)
<http://apfyz.upol.cz/ucebnice/optmikro.html>
<http://apfyz.upol.cz/ucebnice/down/optmikro.pdf>
- Lékařská fakulta UP Olomouc: <http://biologie.upol.cz/mikroskopie/>
- Nebesářová J.: Elektronová mikroskopie pro biology.
<http://www.paru.cas.cz/lem/book/index.html>
- skripta: <http://www.mikroskopia.sk/page8.html> (slovensky)

<http://www.history-of-the-microscope.org>

Kurzy mikroskopie na <http://microscopy.duke.edu/> <http://microscopy.duke.edu/concepts.html>

Internetové adresy o mikroskopech různých firem:

Olympus: <http://www.olympus.cz;> <http://www.olympusmicro.com>

Olympus 2011 - <http://www.mujoympus.cz/data/20110209095419/body.htm>

Kniha o světelné mikroskopii na www:

Davidson and Abramowitz: Optical Microscopy Review Article

<http://olympus.magnet.fsu.edu/primer/opticalmicroscopy.html>

Příručka firmy Zeiss: <http://www.usask.ca/biology/scopes/MicroscopyBasics.pdf>

Nikon: <http://www.microscopyu.com>

Příručka firmy Nikon: http://www.are.cz/data/file/zakladni_metody_svetelne_mikroskopie.pdf

Odkazy na literaturu:

<http://lommicroscopy.weebly.com/basics-of-light-microscopy-and-optics.html>

Virtuální obrázky:

<http://www.olympusmicro.com/primer/java/>

<http://zeiss-campus.magnet.fsu.edu/tutorials/index.html>

Přednáška 1

Historie mikroskopování

Optické principy světelné mikroskopie

Pavla Válová, 2018

Historie objevu mikroskopu

název: z řec. *mikrós* = malý, *skopós* = pozorovatel *

vynález mikroskopu – **konec 16. stol.** (technický rozmach lidstva)

1625 - název mikroskop odvozený od názvu teleskop
(Giovanni Faber z Bambergu – papežský lékař)

Dřívější pozorování:

Řecko - **Aristofanes Athénský** (424-380? př. n. l.) - ve hře „Oblaka“
popis zranění paprskem slunce procházejícího skleněnou
koulí naplněnou vodou

Římská doba

- **filosof Seneca** (asi 4 př.n.l.-65 n.l.) - zvětšení písmen
pomocí skleněné koule naplněné vodou

- **Klaudius Ptolemaios** (asi 100-170 n.l.) – dílo „Optika“ -
poznatky o odraze paprsků a lomu paprsků skrz sklo

11. stol. - **Ibn al Haitham („Alhazen“)** (965-1039) - arabský fyzik a
matematik; dílo: „Pojednání o optice“ – zkoumá vlastnosti
světla (lom a odraz), čočky a zrcadla

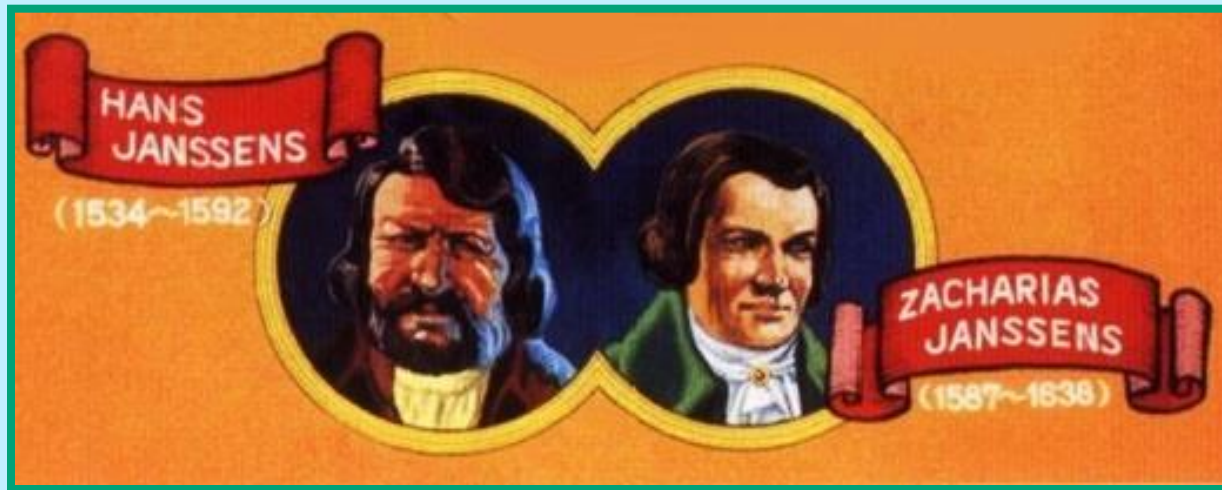
* viz Anna Černá: Mikroskop pod drobnohledem. Živa 5/2017, str. CXXVIII

Historie objevu mikroskopu

- **14 stol.** – zvládnutí techniky broušení čoček do brýlí (italští mniši)*

- **konec 16. stol.** – vynález mikroskopu

kolem roku 1590 - **Hans a Zacharias Janssenovi**
(Holandsko, otec a syn)



- konstrukce prvního použitelného mikroskopu (ze dvou čoček)
- čočky vypouklé i vyduté
- zvětšení mikroskopu 60x

*viz kniha a film „Jméno růže“ od Umberta Eca

16. stol.

Janssenův mikroskop

System dvou čoček

(tzv. kompaundní mikroskop)



délka 1,2 m

<http://www.microscopy.fsu.edu/primer/museum/>

<http://micro.magnet.fsu.edu/primer/museum/janssen.html>

<http://www.aps.org/publications/apsnews/200403/history.cfm>

■ 17. stol.

Galileo Galilei (1564-1642)

– italský astronom a matematik

1604-1609 – konstrukce dalekohledu

- použití složeného mikroskopu
nazvaného *occholino*
k vědeckým účelům (pozorování
oka mouchy)



Nejasnosti kolem vynálezu mikroskopu :

– z dobových zpráv není jasné, zda se jedná o mikroskop, jehož okulárem je spojka, nebo o dalekohled s rozptylkou (který používal Galileo)

■ 17. stol.

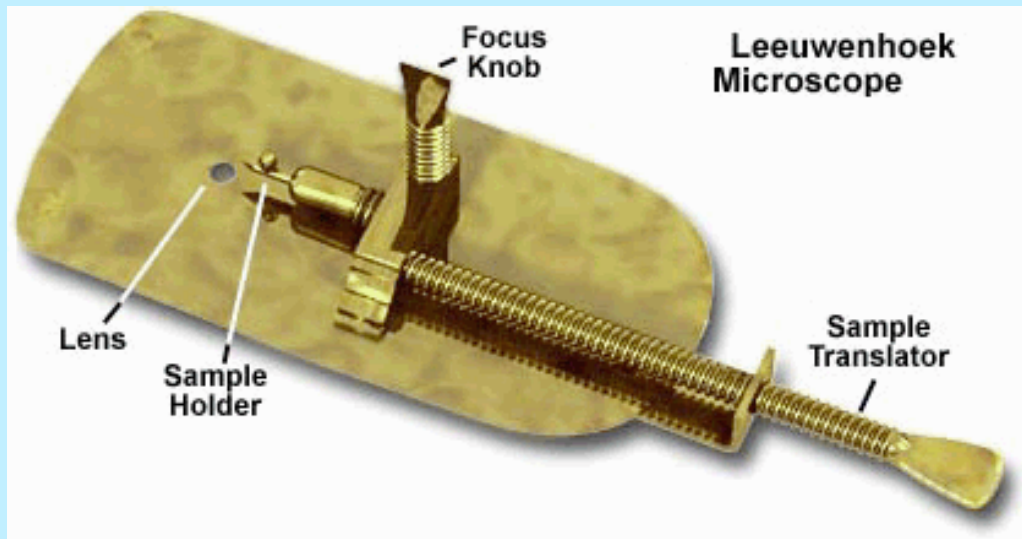
Anthony van Leeuwenhoek (1632-1723)

- obchodník s látkami v holandském Delftu
- sestrojil jednočočkový mikroskop
silný zvětšovací
efekt čočky
(až 270x)



- nejprve zkoumání struktury látek
později zkoumal listy, květiny, drobné organismy,
lidskou krev, kůži, vlasy ...
- první viděl a popsal krevní buňky, chování lidských spermíí
- výroba asi 250 mikroskopů

Jednočočkový Leeuwenhoekův mikroskop



<http://biologimediacentre.com/wp-content/uploads/2011/01/image2.png>



První světelné mikroskopy

17. stol.



Simple Sliding Rod Microscope (circa 1640s)



Giuseppe Campani Turned Ivory Monocular Microscope (circa 1662)



English Tripod Microscope by John Yarwell (circa 1680s)

Italský původ

Anglický původ

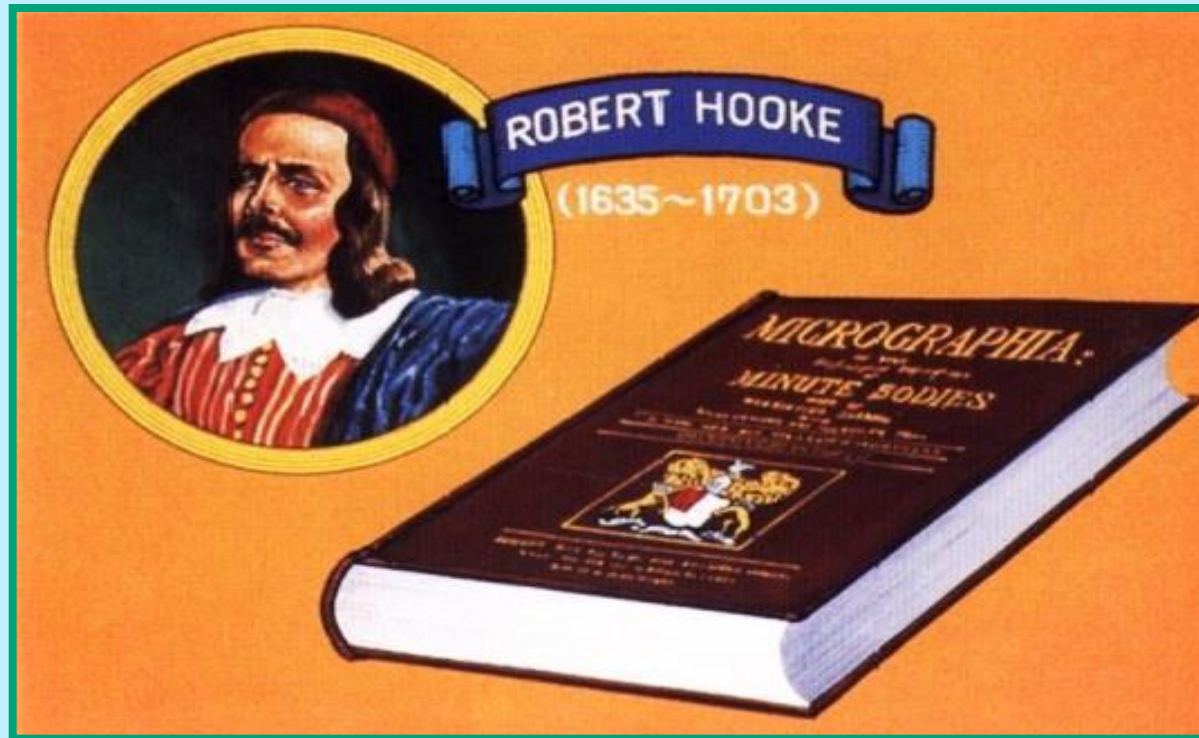
Jednočočkový mikroskop

Dvoučočkové mikroskopy

■17. stol.

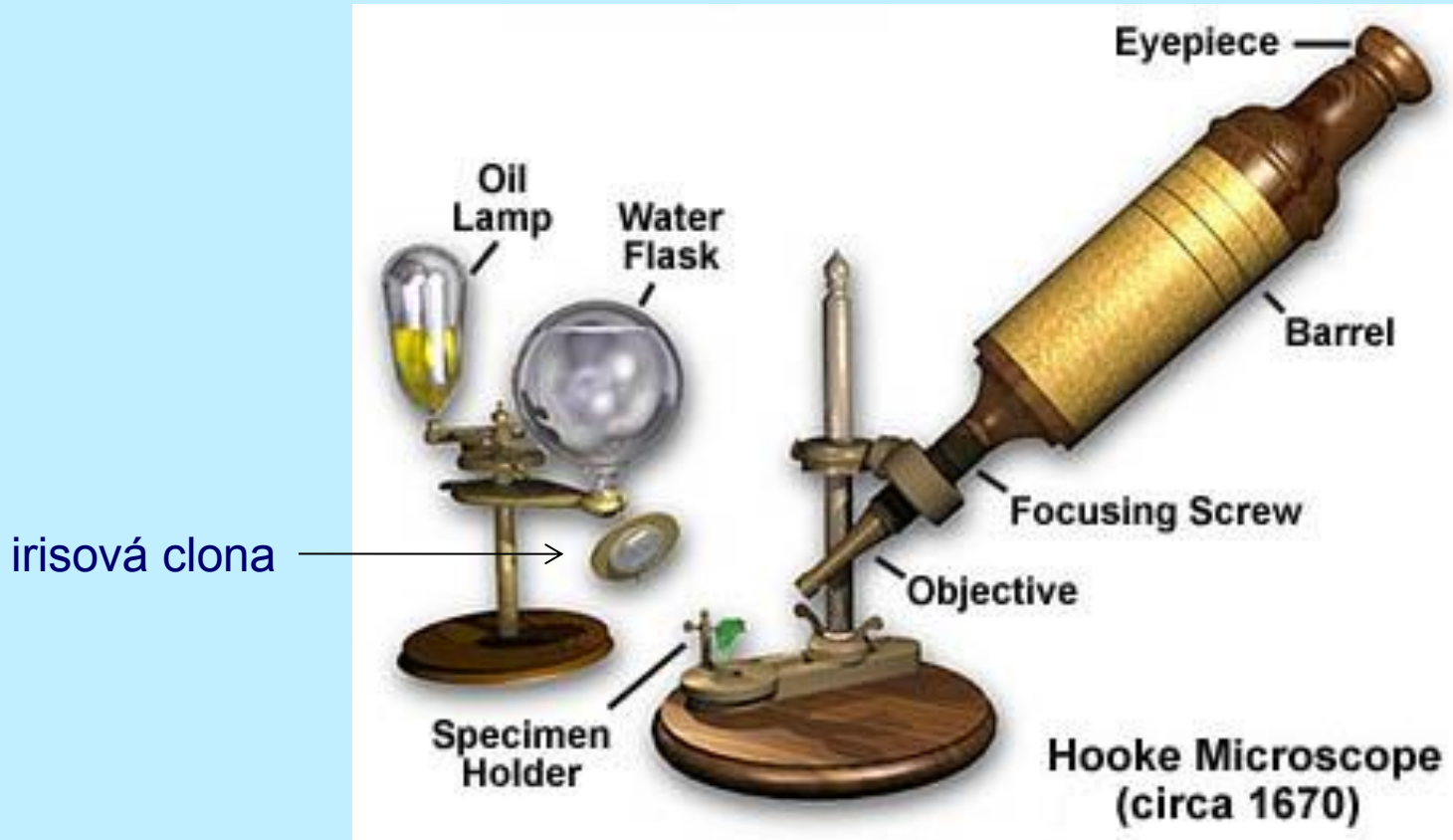
Robert Hook (1635-1703) [húk]

– anglický fyzik, chemik, geolog, astronom ...



– používal zakoupený složený mikroskop s více čočkami (tzv. kompaudní) vylepšený o kvalitní osvětlení

Hookův mikroskop



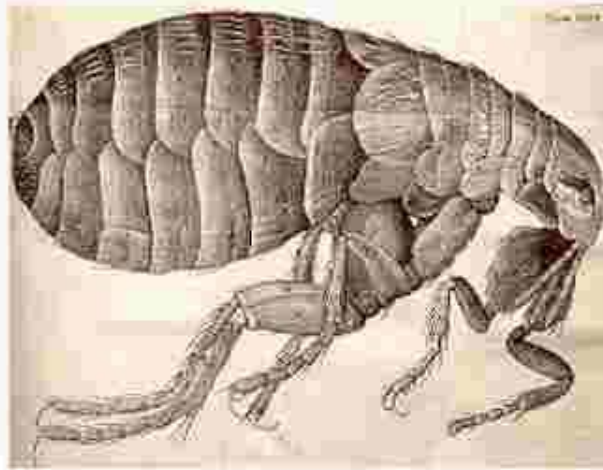
- vylepšení osvětlení, použití irisové clony

- zkoumání slabých plátek korku z korkovníku

 **živé látky jsou tvořeny buňkami**

- 1665 - kniha „*Micrographia*“

mikroskopické pozorování rostlinných pletiv, živočišných objektů a struktur minerálů



MICROGRAPHIA:

OR SOME
Physiological Descriptions
OF
MINUTE BODIES
MADE BY
MAGNIFYING GLASSES
WITH
OBSERVATIONS and INQUIRIES thereupon.

By *R. HOOKE*, Fellow of the ROYAL SOCIETY

Non paginis, sed quatuor centis. Pars I. 1665.
Non solum ab uno, sed ab octo. Pars II. 1665.



LONDON, Printed by *J. Martyn*, and *J. Allestry*, Printers to the
ROYAL SOCIETY, and are to be sold at their Shop at the *Gate* in
S. Paul's Church-yard. M DC LXV.

Micrographia: or some Physiological Descriptions of Minute Bodies made by Magnifying Glasses with Observations and Inquiries thereupon. London, 1665.

Rok vydání 1665

■ 17. stol.

Leeuwenhoek, Hook

Angličan **Henry Power** (1626–1668) – jako první (1663) publikoval pozorování mikroskopem

Marcello Malpighi (1628–1694)

italský lékař

zakladatel mikroskopické anatomie

- objev krevních kapilár savců (1661)

- malphigické trubice hmyzu

■ 18. stol.

– mikroskopy přežily jako "hračka" pro zábavu anglických gentlemanů zajímajících se o tajemství přírody

■ 19. stol.

zač. 19. stol. – **Dollond, Lister, Amici** - vynález
achromatického objektivu

– do té doby používání jednočočkového mikroskopu, (dvoučočkový mikroskop podával značně zkreslený obraz)

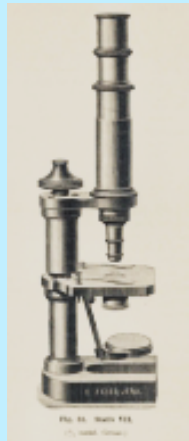
Význační vědci 19. stol. používající k svým pozorováním mikroskop:

Robert Brown (1773-1858) - objev jádra (1831)

Luis Pasteur (1822-1895) (francouzský mikrobiolog)
- objev kvasinek

Robert Koch (1843-1910) (německý lékař a mikrobiolog)
- objev původců tuberkulózy a cholery

Jan Evangelista Purkyně (1787-1869) (český fyziolog)
- 1825 popsal jádro u živočišné buňky (lupa)
od r. 1832 používá kvalitní mikroskop



Microscope
stand VII

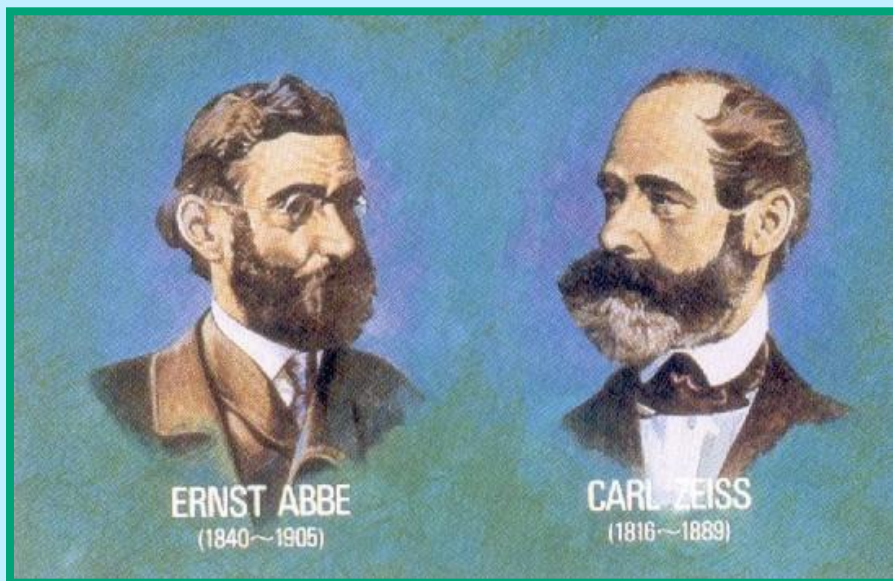
■ 19. stol. – další vývoj mikroskopů

Carl Zeiss – průmyslová výroba mikroskopů (firma Zeiss)

Ernst Karl Abbe – teoretická studia optických principů

Otto Schott – výzkum optického skla

August Köhler – kvalitní osvětlení

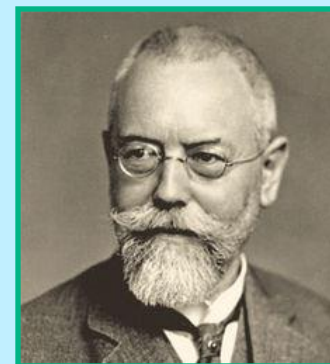


Ernst Abbe
(1840-1905)

Carl Zeiss
(1816-1888)



Otto Schott
(1851-1935)



August Köhler
(1866-1948)

19. stol.

Mikroskopy 19. století



**Bausch & Lomb
Simple Binocular
Dissecting
Microscope
(circa 1903)**



**Designed for medical students
in the late 19th Century, this
Wenham-style binocular micro-
scope, designed and built by
Henry Crouch typifies advance-
ments of the period.**



20. stol.



BX60 (Olympus)



**Konfokální mikroskop
A1R (Nikon)**

21. stol.



Laserový fluorescenční mikroskop „Light Sheet“

Centrum regionu Haná pro biotechnologický a zemědělský výzkum; Oddělení buněčné biologie

21. stol.



Digitální holografický mikroskop firmy Lyncée Tec

Důležitá data při rozvoji moderní světelné mikroskopie

1847 - **Zahájení výroby mikroskopů** firmou Carl Zeiss v Jeně

1903 - **Ultramikroskop** (Richard Zsigmondy, **NC* 1925**)

1911 - **Fluorescenční mikroskop** (Carl Reichert)

1935 - **Fázový kontrast** (Fritz Zernike, **NC 1953**)

1955 - **Diferenciální interferenční kontrast (DIC – Nomarski)**

1968 - **Rastrovací tandemový konfokální mikroskop (TSCM)**

1978 - **Laserový konfokální rastrovací mikroskop**

1994 - **Princip STED mikroskopie (S. W. Hell, NC 2014)**

(**Stimulated Emission Depletion** – redukce fluorescence stimulovanou emisí)

po roce 2000 - **rozvoj tzv. superrozlišovací mikroskopie**

2006 - **Super-resoluční fluorescenční mikroskop (Eric Betzig, Stefan W. Hell a William E. Moerner; NC za chemii 2014)**

* NC = Nobelova cena

30. léta 20. století

– hranice vývoje optického (paprskového) mikroskopu

(hranice rozlišení světelného mikroskopu je díky velikosti délky světla 0,2 μm)

- další zvětšování pozorovaných objektů na jiném principu
- místo světelného paprsku elektronový paprsek (= tok rychlých elektronů)
- místo skleněné čočky magnetická čočka

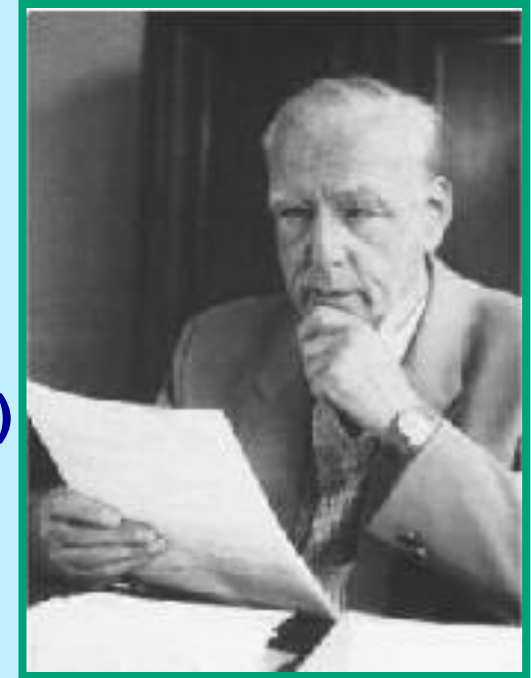
1931 - Ernst Ruska, Max Knoll

první elektronový mikroskop
tzv. prozařovací, transmisní EM

(TEM – Transmission Electron Microscope)
- originální zvětšení 1 000 - 250 000x

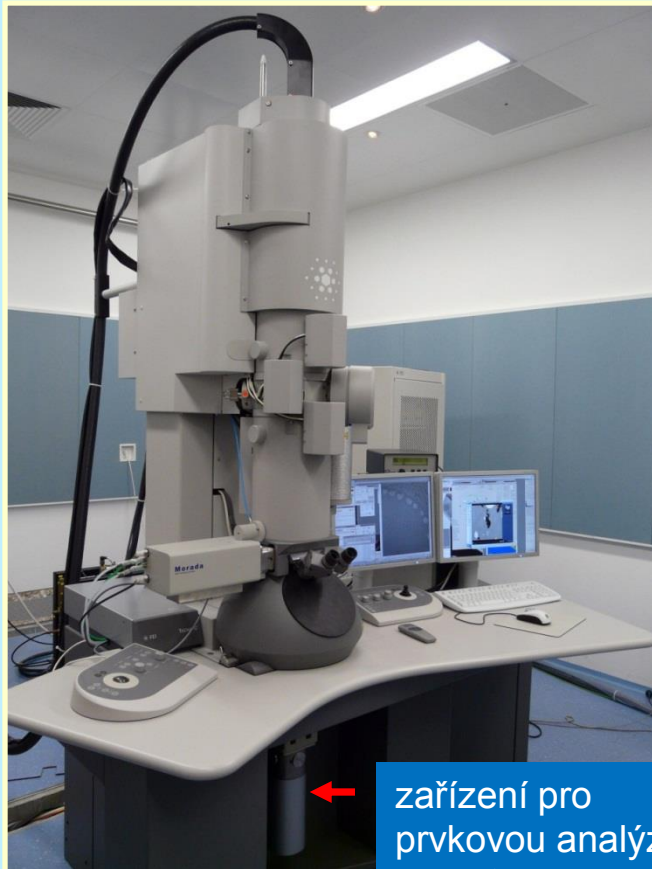
1942 - rastrovací EM

(SEM – Scanning Electron Microscope)
- postupné bombardování vzorku elektrony
- zvětšení až 30 000x



Ernst Ruska
(1906-1988)

EM ÚMG AV ČR Praha-Krč



zařízení pro
prvkovou analýzu
vzorků



200 kV (λ el. = 0,0025 nm)
RS: 0,1 nm
prvková analýza vzorků

FEI – TECHNAIG²TEM + kryzozařízení



Enviromentální rastrovací elektronový mikroskop Aquasem II

Brněnští vědci z Ústavu přístrojové techniky AV ČR (ÚPT) a Mendelovy univerzity představili novou metodu pozorování rostlinných vzorků v jejich přirozeném stavu (za využití kryoprotektiv).

Více na <http://e-svet.e15.cz/technika/cesti-vedci-posunuli-hranice-elektronove-mikroskopie-1174818>



Mgr. Klára Čépe, Ph.D.

Vysokorozlišovací transmisní elektronový mikroskop schopný nahlédnout do struktury materiálů až na úrovni atomů a současně přesně zmapovat jejich chemické složení.



Regionální centrum pokročilých materiálů (RCPTM)

Odd. uhlíkové nanostruktury,
PřF UP OL

TEM TITAN
FEI Company



Regionální centrum pokročilých materiálů (RCPTM)

Odd. uhlíkové nanostruktury, PŘF UP OL



**Transmisní elektronový
mikroskop Jeol**



**Vysokorozlišovací transmisní
elektronový mikroskop TITAN (FEI)**

Neoptické mikroskopy:

1981

Řádkovací tunelový mikroskop

(STM – Scanning Tunnelling Microscope)

- mapování povrchu pomocí pohybu vodivého hrotu nad vodivým povrchem sledovaného materiálu

1986

Mikroskop atomárních sil

(AMF – Atomic Force Microscope)

- skenování povrchu materiálu pomocí hrotu zavěšeném na pružném výkyvném raménku, který je přitahován elektrostatickými a Van der Walsovými silami

Rozlišení: v řádech pikometrů (10^{-12} m) – rozeznání struktur jednotlivých atomů

Optické principy světelné mikroskopie

Reichl, J. Všetička, M.: *Encyklopedie fyziky* [online]. ©2006-2014 [vid 2014]. Dostupné z:
<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/431-optika>

Lepil, O. (2013): Fyzika pro gymnázia. Optika. Prometheus, Praha, 4. přepracované vydání.

Murphy D.B., Davidson, M.W. (2013): Fundamentals of Light Microscopy and Electronic Imaging. Willey-Blackwell. Published 2013 by John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey.

S v ě t l o

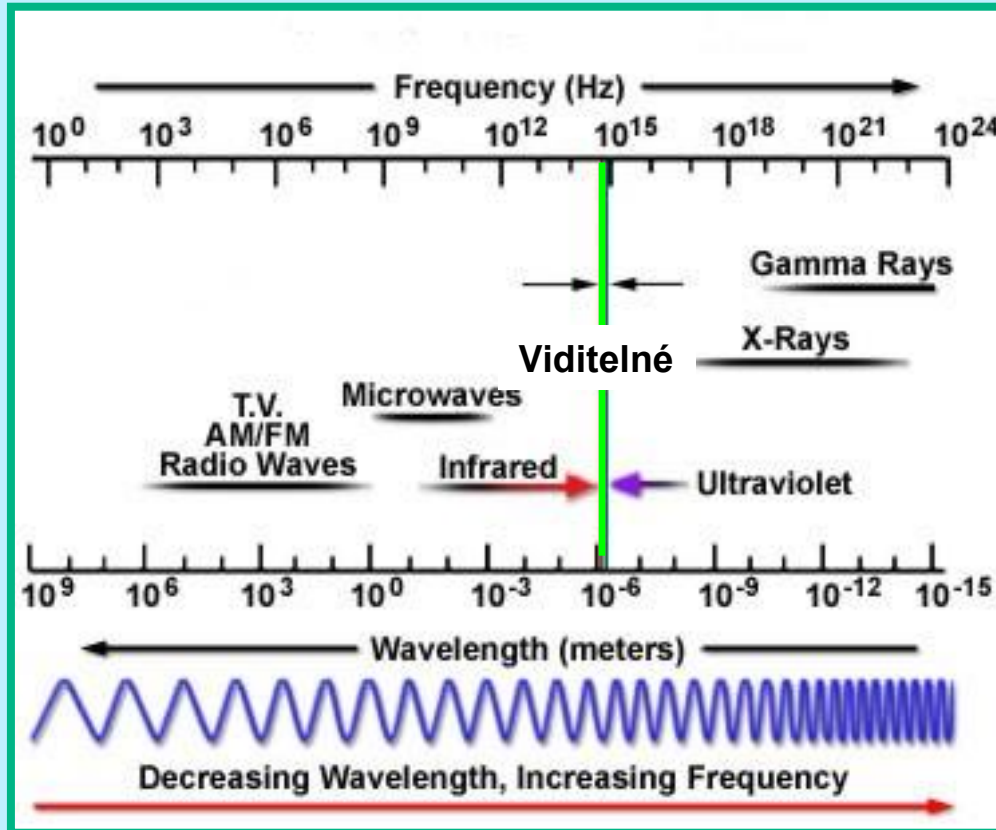
= část rozsáhlé oblasti elektromagnetického záření,
kterou vnímáme zrakem

Rozhlasové a rádiové vlny	250 km - 1 mm
Infračervené záření	0,5 mm - 0,8 μm
Světlo (viditelné záření)	0,8 μm - 0,4 μm*
Ultrafialové záření	0,4 μm - 0,1 μm
Röntgenovo záření (X-paprsky)	15 nm - 0,005 nm
γ -záření	pod 0,0001 nm

* Přibližné hodnoty – individuální vlastnosti zraku různých lidí

Světlo

= část rozsáhlé oblasti elektromagnetického záření,
kterou vnímáme zrakem



→ se zkracující se vlnovou délkou se zvyšuje frekvence (energie)

Jodopsin

= zrakový pigment citlivý na barvu nacházející se v čípcích

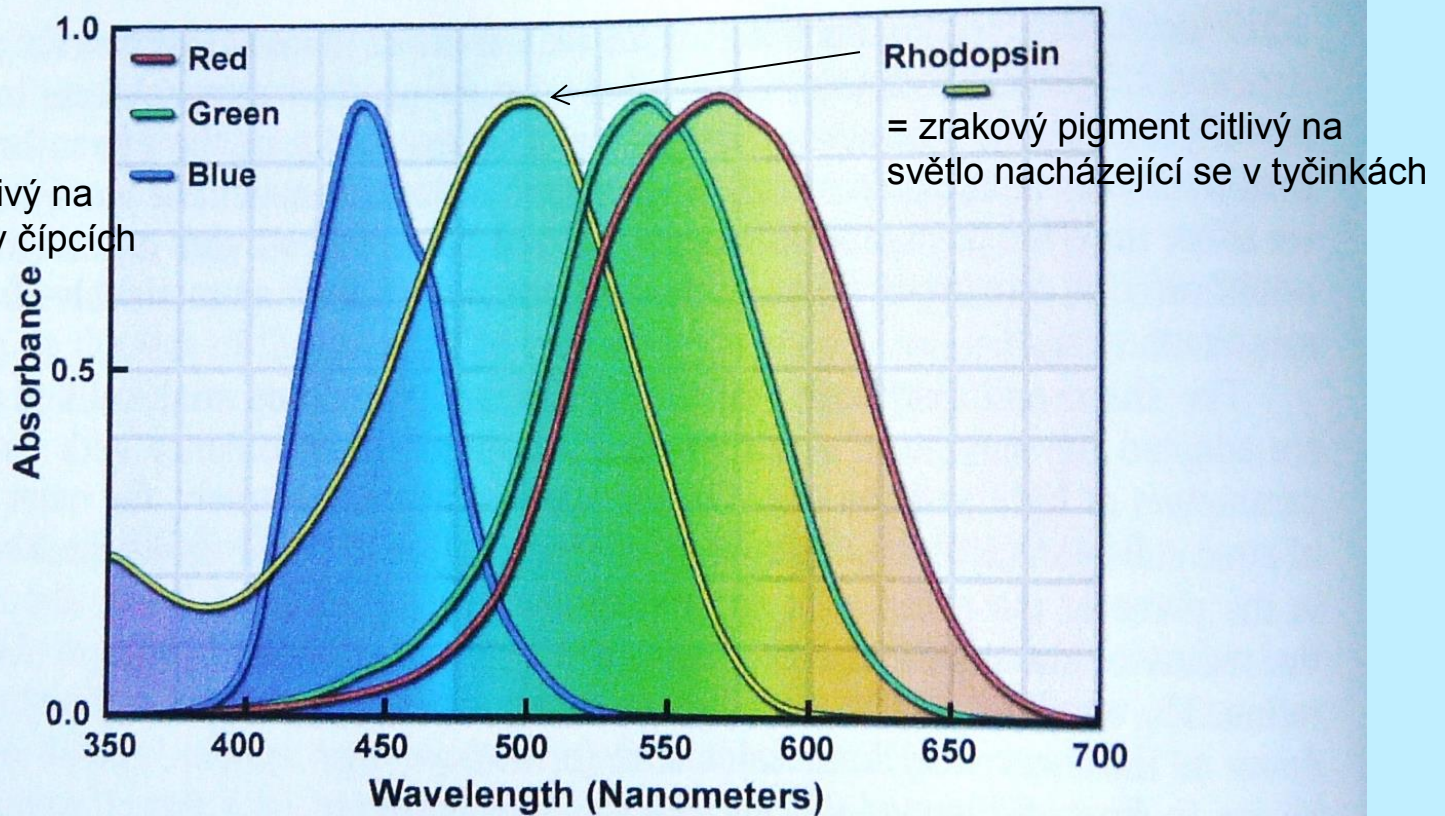


Figure 2.8

Absorption difference spectra of the four human visual pigments. The pigments show maxima in the red, green, and blue regions of the visual spectrum. The values are close to those measured for rod and cone cells *in vivo* and confirm Maxwell's theory for RGB-based color vision over a century ago.

Vlnové délky světla a relativní citlivost oka

Murphy D.B., Davidson, M.W. (2013): Fundamentals of Light Microscopy and Electronic Imaging. Willey-Blackwell. Published 2013 by John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey.

S v ě t l o

= příčné vlnění

postupné kmitání

jednotlivých vedle sebe

ležících bodů

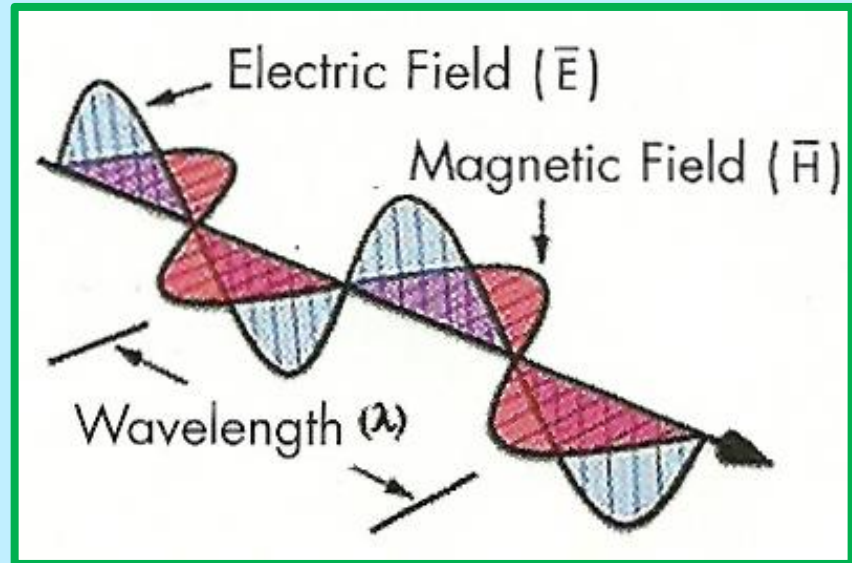


Schéma světla jako elektromagnetické vlny

Duální charakter světla – vlnění i proud částic (fotonů)

Vlnový model světla:

vlna **elektrická** a **magnetická**

(elektromagnetická vlna je tvořena oscilujícím elektrickým a magnetickým polem na sebe kolmých a nesoucích vpřed energii)

Pro účinky světla v mikroskopu je důležitá **vlna elektrická**.

Elektrická vlna - sinusoida

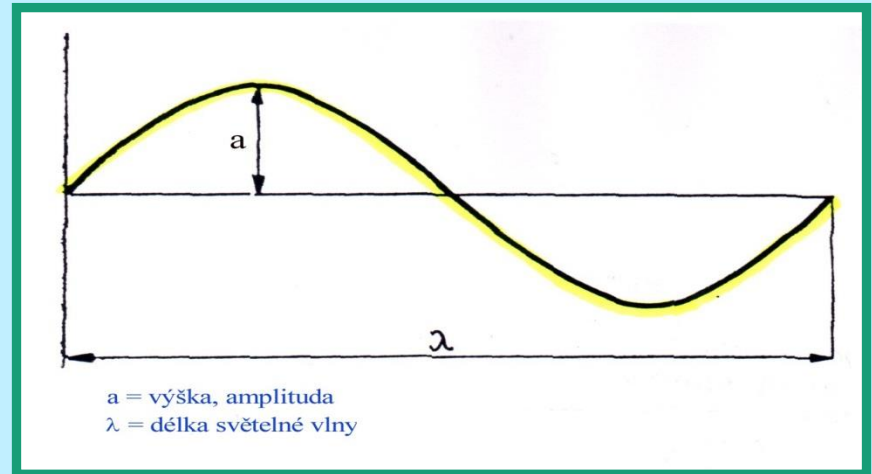
Charakterizována dvěma veličinami:

λ - vlnová délka

(v oblasti svět. záření
v rozmezí od 380 do 780 nm)
určuje barvu světla

a - amplituda

nejvyšší hodnota
určuje intenzitu světla



Pazourek, 1975.

Z hlediska vlnové délky rozlišujeme:

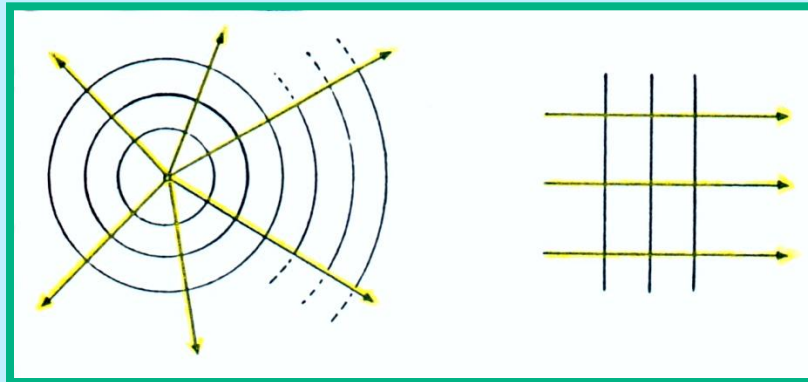
polychromatické x monochromatické světlo

(selekce pomocí barevných filtrů → jednotná vlnová
délka; světlo zelené, červené ...)

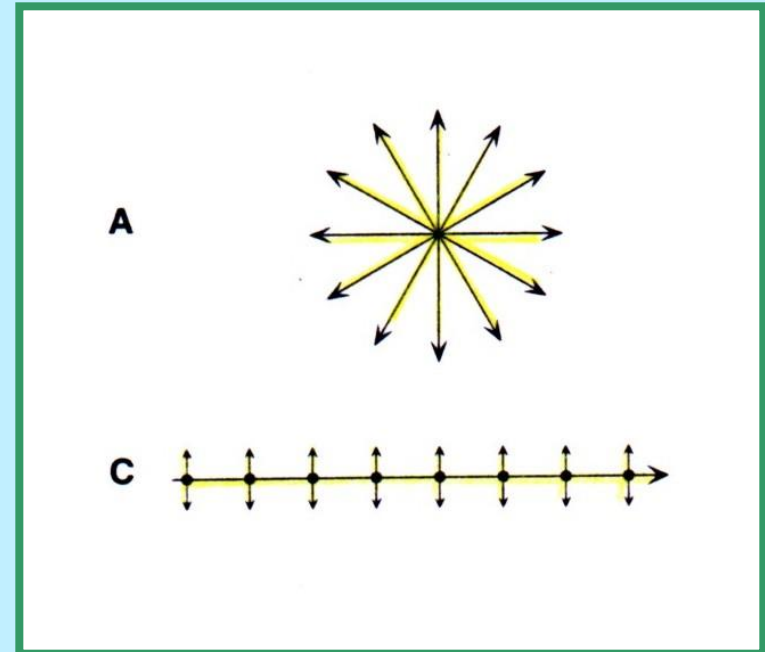
Vlastnosti světla:

Rovnoměrné šíření světla ze zářícího bodu na všechny strany → vlnová plocha tvaru koule

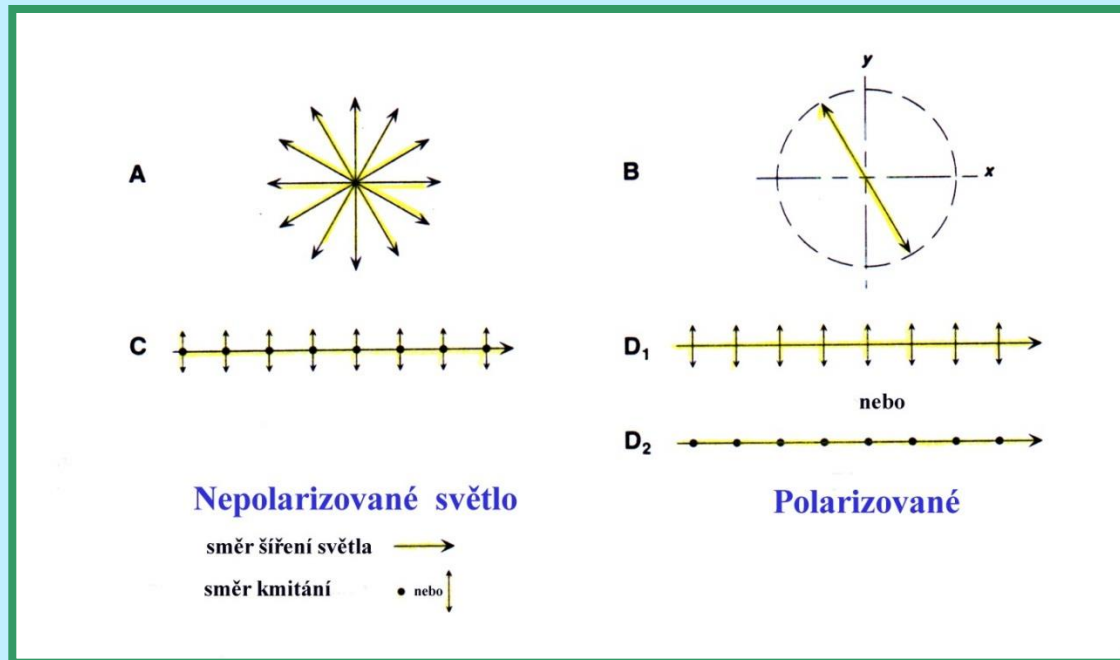
Paprsek – směr, kterým se vlnění šíří a který je kolmý na vlnoplochu



Pazourek, 1975.



- paprsek nepolarizovaný (A, C) – kmitá v každém místě a v průběhu času ve všech možných směrech kolmých na směr šíření paprsku
- paprsek polarizovaný (B, D₁, D₂) - kmitá v jedné rovině, přičemž rovina kmitů (vlnění) jednoho z nich je kolmá k rovině kmitů druhého

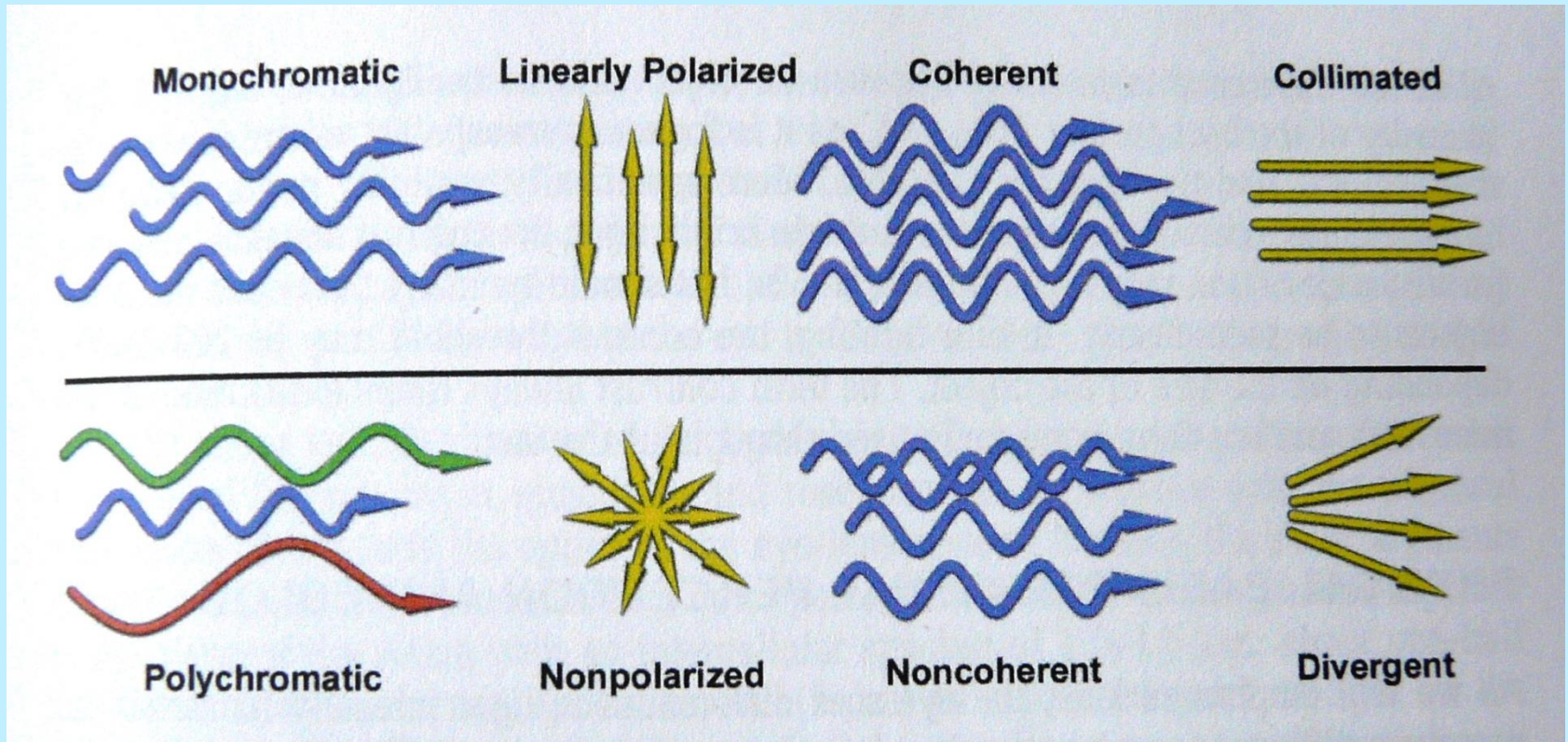


Pazourek, 1975.

Polarizované světlo viz:

<https://www.youtube.com/watch?v=gP751qpm4n4>

Osm různých vlnových forem světla (znázorňujících různou kvalitu světla)



Murphy D.B., Davidson, M.W. (2013): Fundamentals of Light Microscopy and Electronic Imaging. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey.

Odraz a lom světelných paprsků v prostředích různé hustoty

Důležitá charakteristika prostředí:

index lomu* (n) (= optická hustota prostředí)

$$n = \frac{c}{v}$$

c = rychlost světla ve vakuu (stejná pro všechny λ)

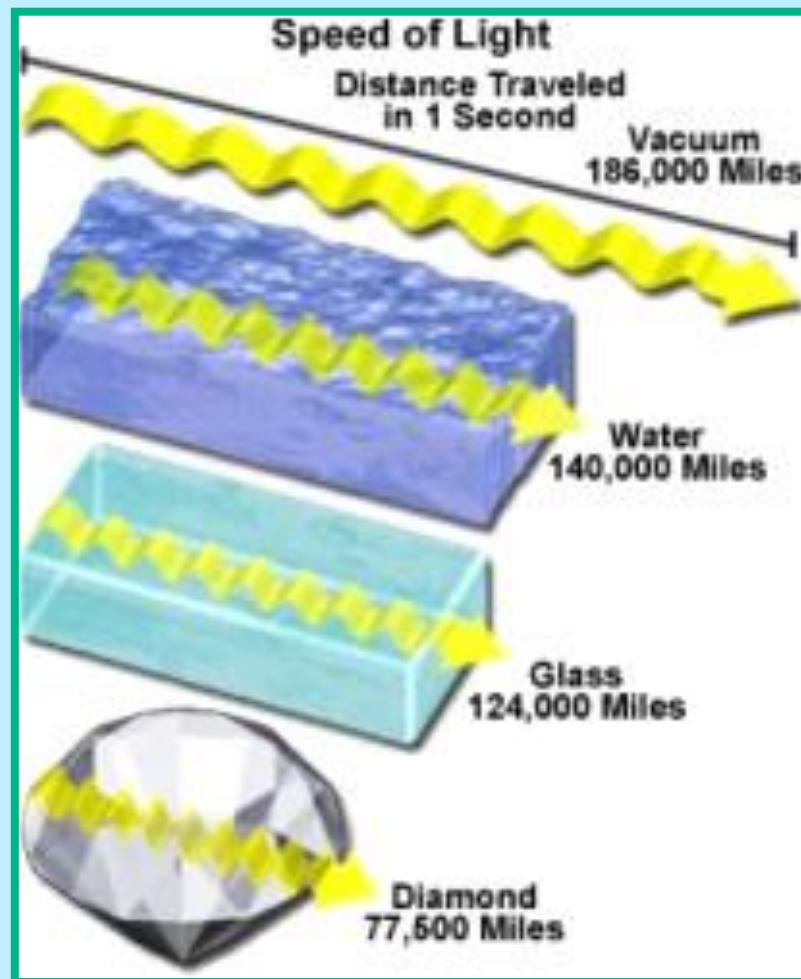
v = rychlost světla určité vlnové délky ve zkoumané látce

* zde **absolutní index lomu**

(bezrozměrná fyzikální veličina, jeho jednotka je 1)

Rychlost světla (c) určité vlnové délky v různých prostředích

C ve vakuu
= 300 000 km/s



Index lomu (n) některých látek:

vzduch (vakuum)	1,00	(vzduch: 1,0002718)
voda	1,33	
plexisklo	1,40 – 1,52	
křemenné sklo	1,45	(čočka z křemene z Ninive – 7. stol. př.n.l.)
běžné sklo	1,51	
cedrový olej	1,51	
imerzní olej Olympus ...	1,516;	pro fluorescenci 1,404
kanadský balzám	1,50	
krystal NaCl	1,54	
korunové sklo	1,45 – 1,56	(sodno-draselné, bezolovnaté)
flintové sklo	1,62 – 1,80	(olovnaté)
diamant	2,42	

Index lomu je vždy větší než 1,00

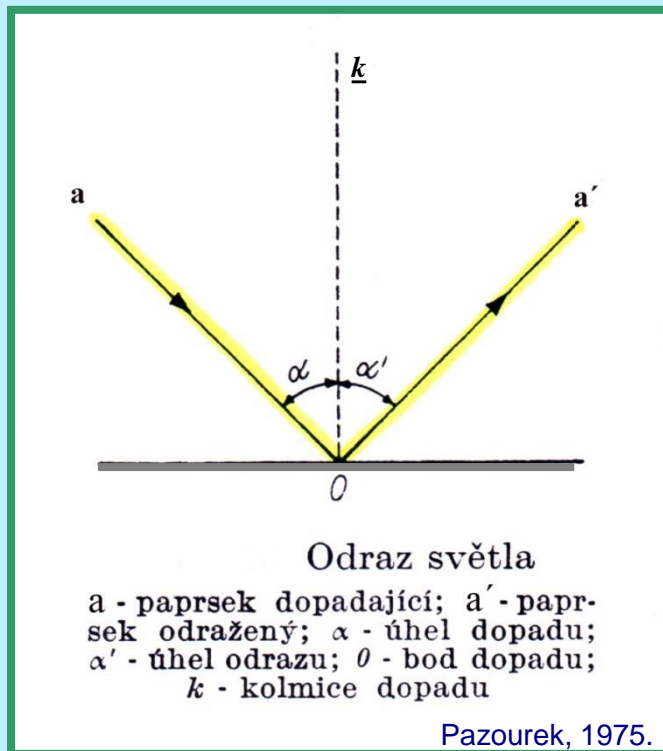
oční čočka 1,406
sklivec 1,336

Odraz a lom paprsku

Odraz světla rovným zrcadlem (reflexe)

Zákony:

1. Paprsek dopadající, kolmice dopadu a paprsek odražený leží v jedné rovině
2. Úhel odrazu se rovná úhlu dopadu



Důležité pro mikroskopii (astronomii):

- není závislost na vlnové délce světla (λ)
- na rozdíl od lomu paprsků se světelné paprsky se odrážejí stejně

Lom světla (refrakce)

Zákony:

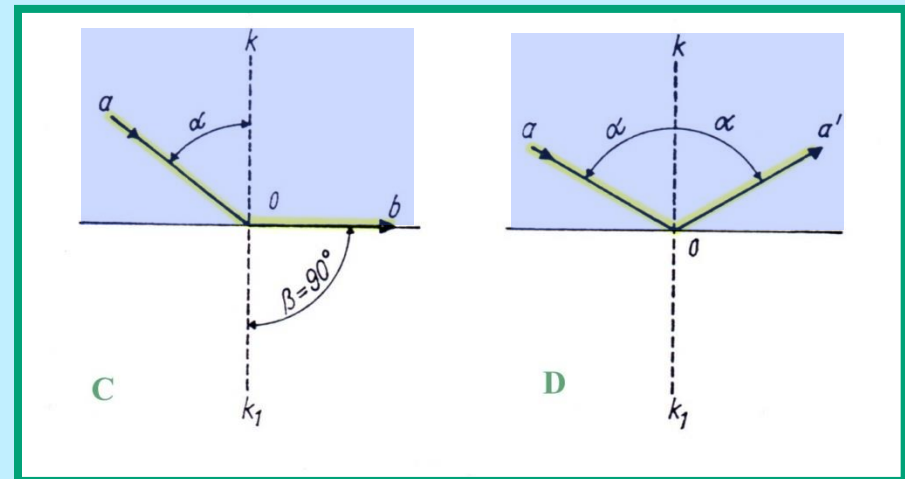
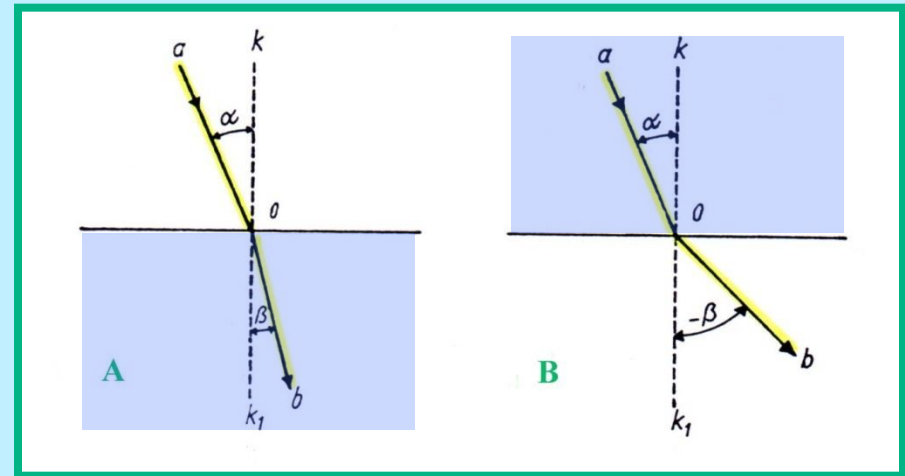
1. Paprsek dopadající, kolmice lomu a paprsek lomený leží v téže rovině

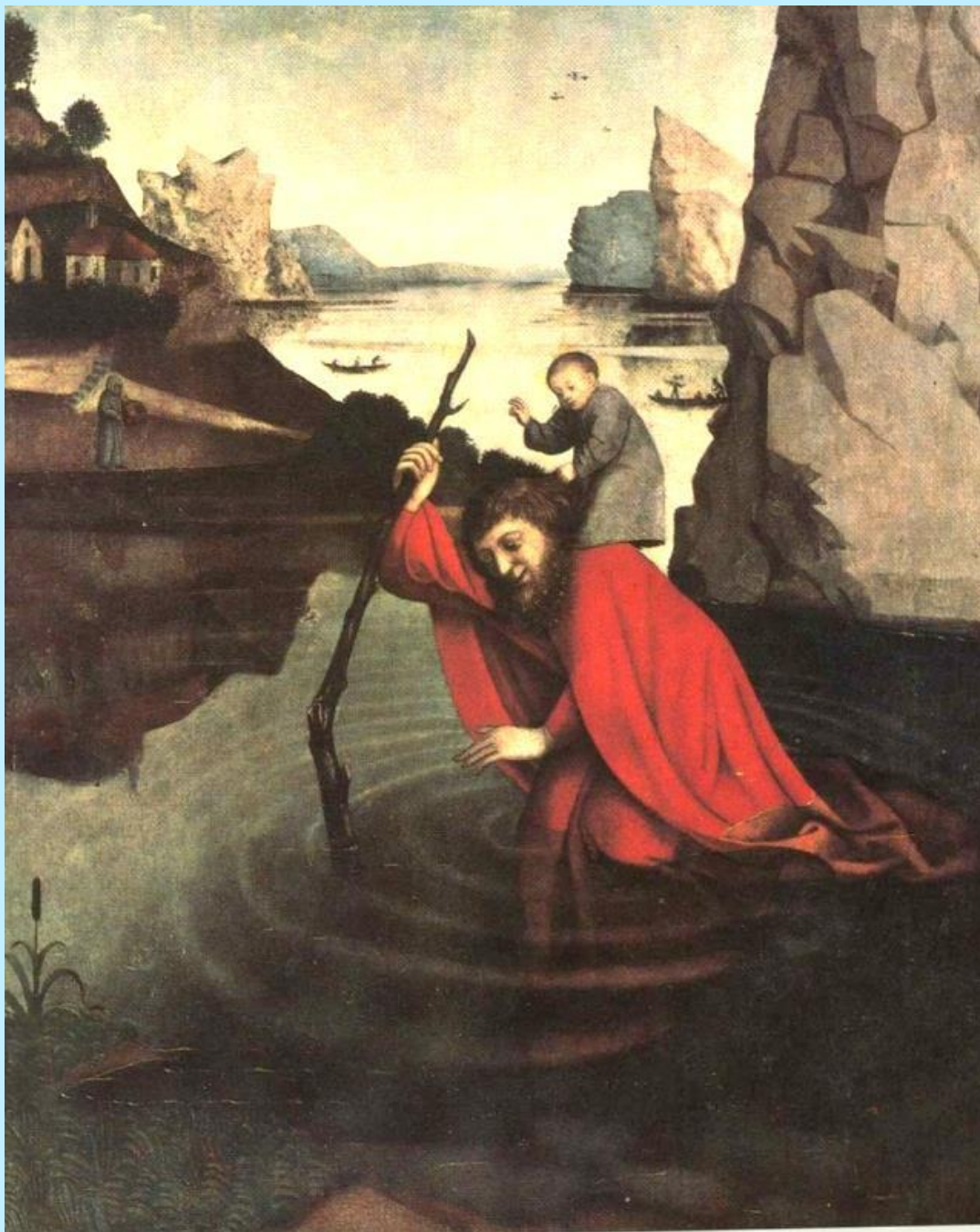
2. Při přechodu z prostředí opticky řidšího do prostředí opticky hustšího se paprsek láme ke kolmici (A)

a z prostředí opticky hustšího do prostředí opticky řidšího se láme od kolmice (B)

(C a D) – úplný odraz při tzv. mezním úhlu dopadu paprsku v případě lomu od kolmice (B)

(viz Nikol, odrazné hranoly, světlovodné vlákno nebo fluorescenční metoda TIRFM – totální odraz exitačního záření)





Svatý Kryštof od švýcarského malíře Konrada Witze

(kolem 1400–1446)

Witz byl jedním z prvních malířů, který namaloval přesný způsob odrazu světla na vodě.

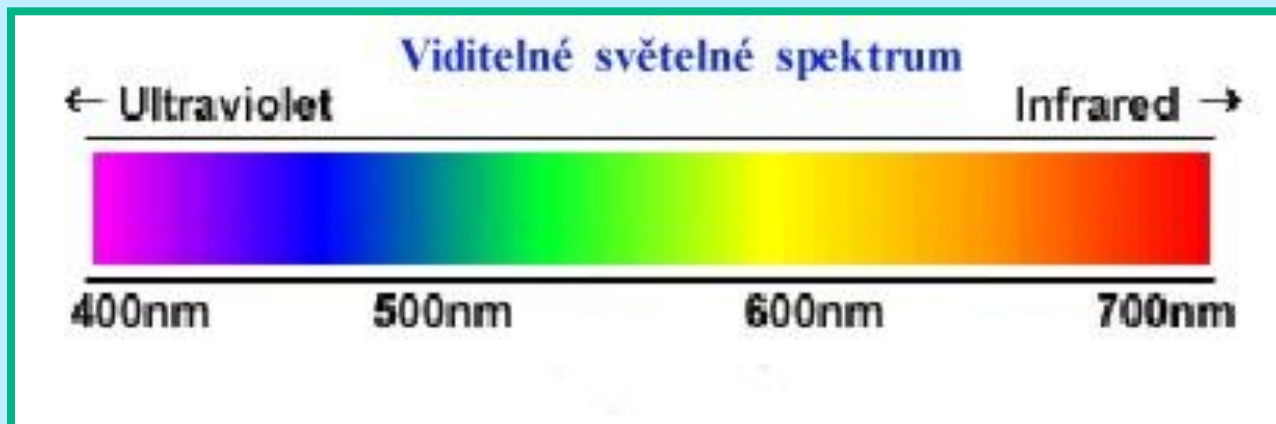
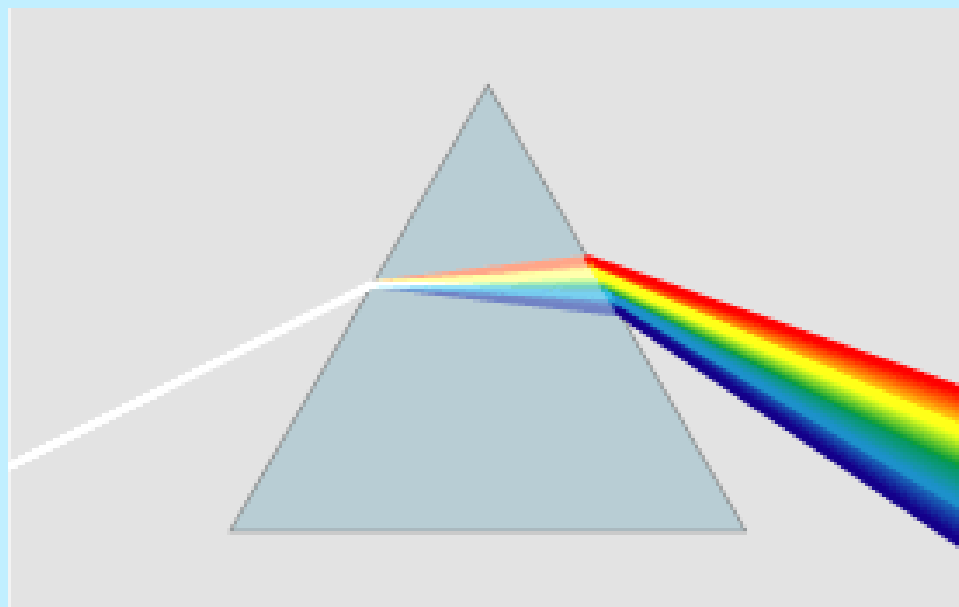
Disperze (rozklad) světla

= důsledek závislosti rychlosti světla v látkách na frekvenci světla

$$(\lambda = c / f)$$

světlo různých barev (λ) se láme různě

(červené se lomí méně než modré)



Příklad disperze (rozkladu) světla

D u h a :

Jeden z mnoha
optických
jevů (fotometeorů)
v atmosféře



Primární a sekundární duha. Severní Čechy. Foto Pavla Válová, 2010.

Lom světla a dějiny



Malé halo (22°) (viz 1), vedlejší slunce (2) a horní a dolní halový sloup (3) vznikající odrazem a lomem světelných paprsků na krystalcích ledu.

http://tmagazine.blogs.nytimes.com/2012/11/26/halo-effect/?_r=0

Rok 312 n.l. - před bitvou byzantského císaře **Konstantina I.** (272-337) s konkurenčním císařem Maxentiem u bran Říma (tzv. bitva u Milvijského mostu) se na obloze objevily tři zářící kříže (halový sloup, parhélia a parhelický oblouk). Konstantin bitvu proti přesile vyhrál, sjednotil říši a povolil v ní vyznávat křesťanství.

Ohyb (difrakce) a interference světla





Rozklad světla na CD - světlo žárovky

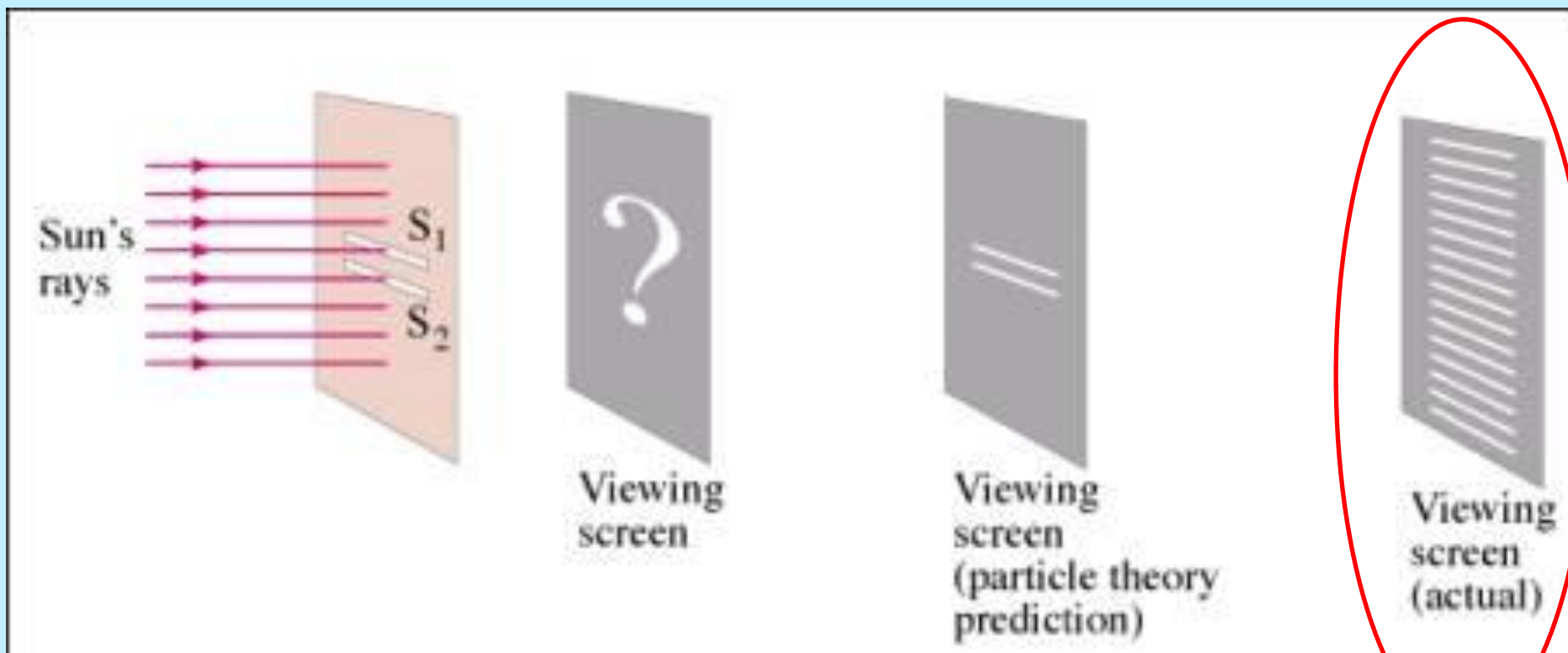
Foto Pavla Válová, Bukovany, 2015.



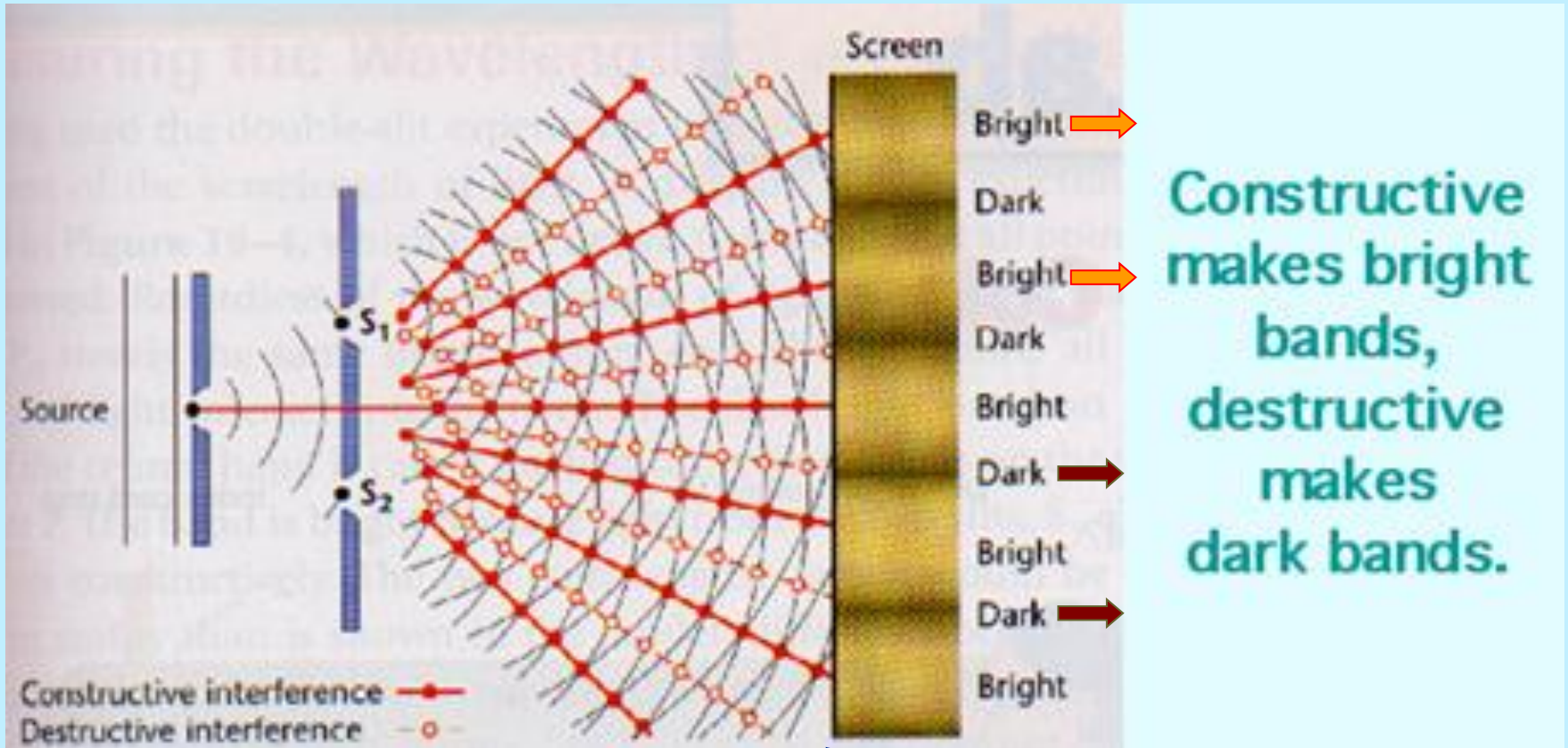
Rozklad bílého světla na mřížce
Pevnost poznání, Olomouc, 2015

Foto Pavla Válová, Olomouc, 2015.

Ohyb (difrakce) a interference světla



Ohyb (difrakce) a interference



Difrakční obrazec obsahuje světlá a tmavá místa, která se střídají - světlá místa nazýváme maxima a tmavá minima.

Interference světla

= skládání světelných vln

Předpoklad: světlo musí být **koherentní**

Podmínka koherence:

- paprsky musí mít stejnou frekvenci
- paprsky musí být navzájem rovnoběžné
- paprsky musí mít na sobě nezávislý dráhový (fázový) rozdíl

**Vznik koherentního záření
rozdělením světla:**

- buď odrazem pomocí zrcadel
- nebo lomem pomocí hranolů



Foto Pavla Válová, Praha, 15.1. 2016.

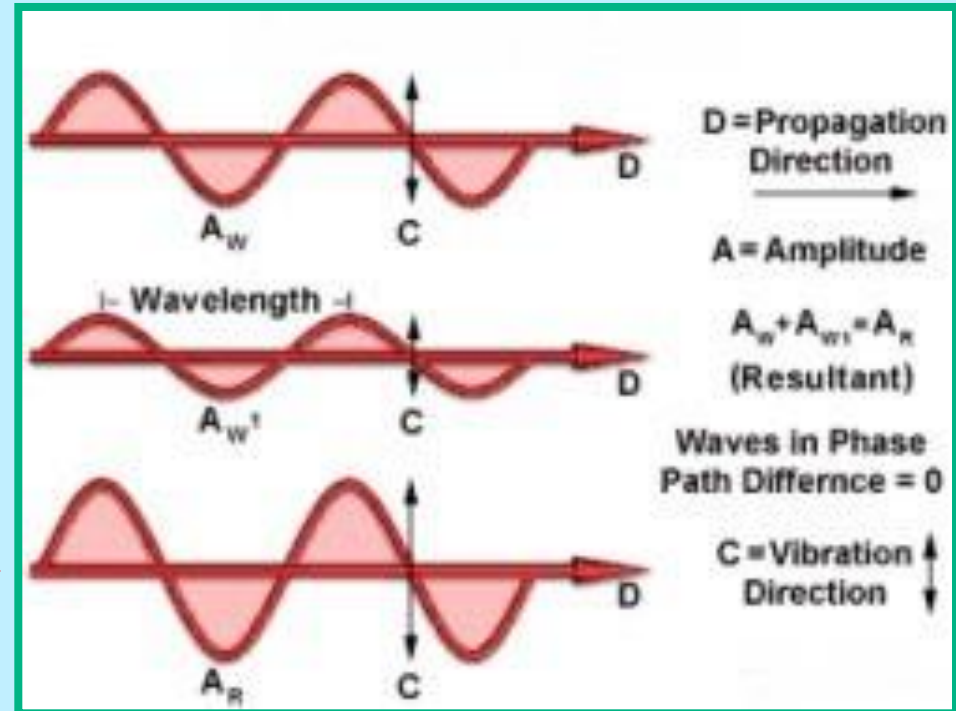
Interference světla

stejný způsob
vlnění

(fáze je vzájemně
posunuta o sudé
násobky $\lambda/2$)

vznik interferenčního
maxima →

(konstruktivní interference)

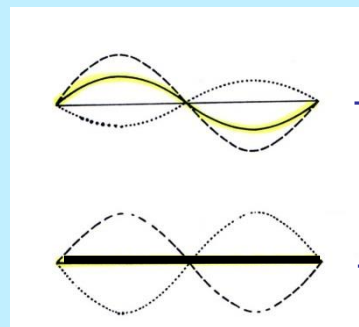
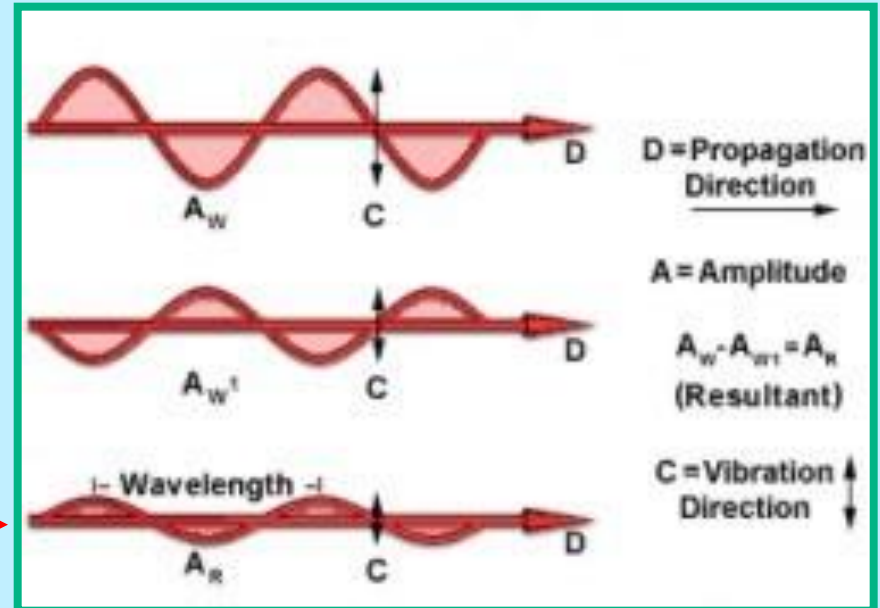


Interference světla

asynchronní vlnění
(vzájemně posunutá fáze
o liché násobky $\lambda/2$)

**vznik interferenčního
minima**

(destruktivní interference)



* Interference dvou vrstev elektromagnetického záření u Slunce

Čočky – základní součásti mikroskopu



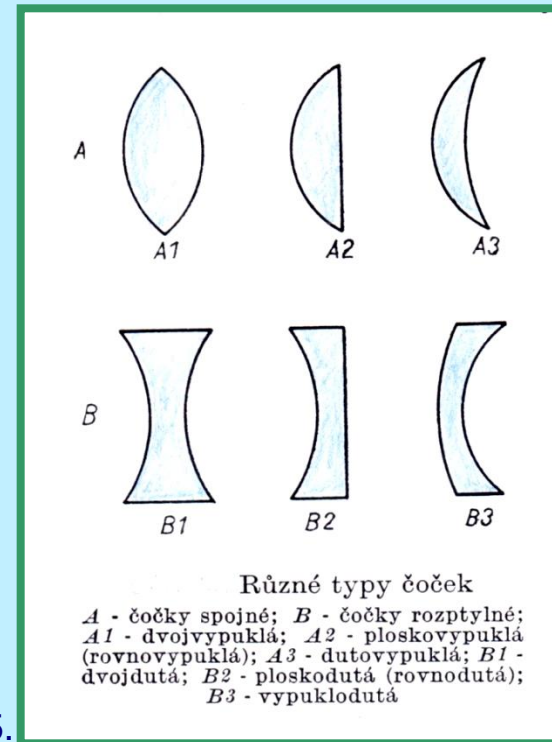
= průhledná (nejčastěji skleněná) tělesa, omezená vypuklými nebo vydutými kulovitými plochami, lišící se od svého okolí odlišným indexem lomu

Základní typy čoček:

spojky (vypuklé neboli konvexní)



rozptylky (vyduté, konkávní)



Pazourek, 1975.

Důležité charakteristiky čočky *

Optická osa (o) prochází středem čočky

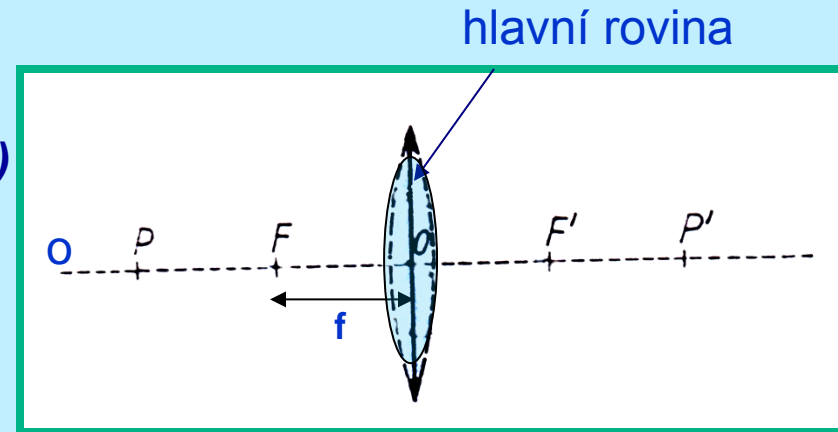
Ohnisko (F) - bod do kterého se soustředí paprsky probíhající rovnoběžně s optickou osou

- 2 ohniska - *předmětové ohnisko (F)*
obrazové ohnisko (F')

- **ohnisková vzdálenost (f)**

vzdálenost ohniska od hlavní roviny, proložené středem čočky

- **dvojnásobná ohnisková vzdálenost (P, P')**



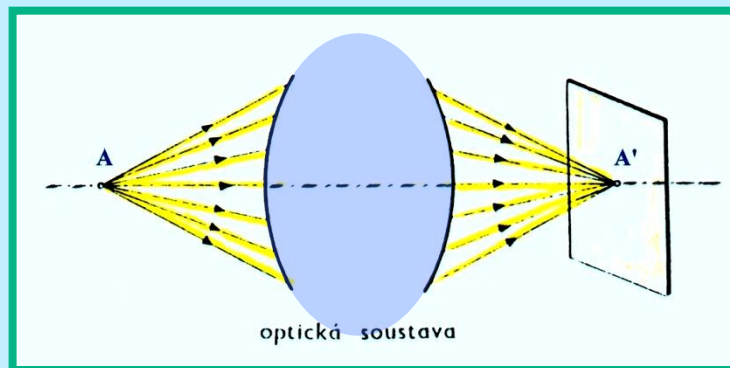
Pazourek, 1975.

Obrazový prostor - prostor, v němž vzniká obraz

* V případě velmi tenké čočky

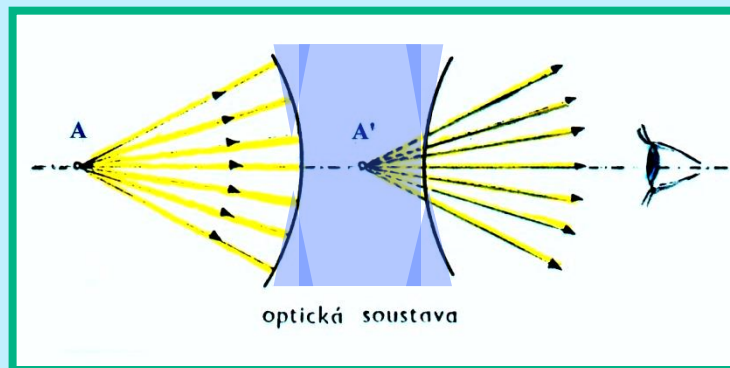
Obraz skutečný a neskutečný

- Obraz za optickou soustavou
→ obraz **s k u t e č n ý**



A – předmět, A' - obraz předmětu

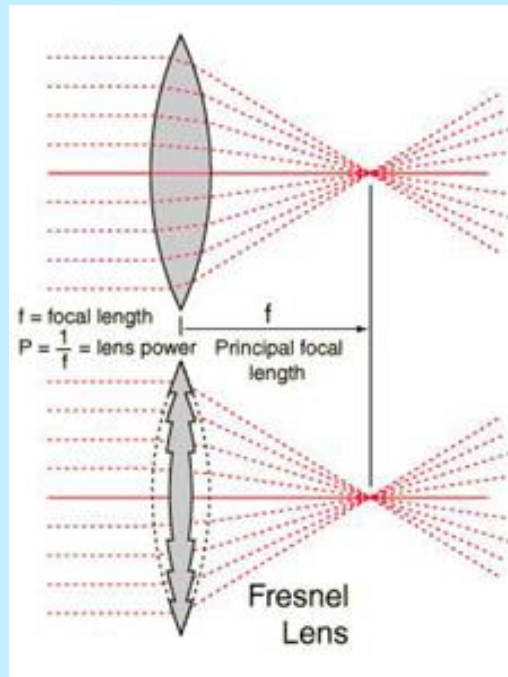
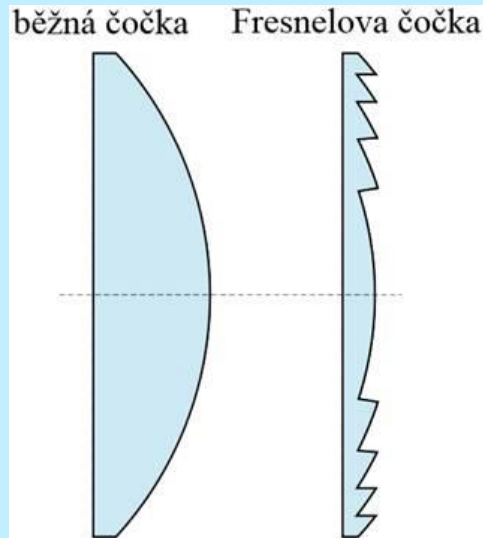
- Obraz před soustavou
→ obraz **n e s k u t e č n ý**
(zdánlivý, virtuální)



Upraveno podle Pazourek, 1975.

- Skutečný obraz je možné zachytit na stínítko nebo na fotografickou desku, neskutečný nikoliv.

Fresnelova čočka [frenelova]



čočka na majáku

- plochý tvar (zachovány pouze části, které mění směr chodu světelných paprsků)
- výrazně nižší hmotnost při zachování podobných parametrů

Využití: infračidla pohybu, semaforey, světlomety (majáky) a reflektory (světla aut, divadelních a filmových osvětlovacích zařízení), zpětné projektory, sluneční kolektory; na základě tohoto principu také výroba 3D displejů k mobilním telefonům a televizím

Čočky v budoucnosti:

Pokus o výrobu tzv. dokonalé čočky

Prototyp - upravené tzv. Maxwellovo rybí oko

- paprsky světla se v něm pohybují po kružnicích a na rozdíl od běžných čoček se při zobrazení využijí všechny paprsky
- superčočky využívají geometrie k tomu, aby se světlo soustředilo do oblasti menší, než je jeho vlnová délka

(zatím se neví, jak do čočky vyhovujícím způsobem dovést světlo)

Využití v budoucnu:

mimo jiné v **pozorování živých buněk při velkém zvětšení pomocí obyčejného světla bez jejich narušení**

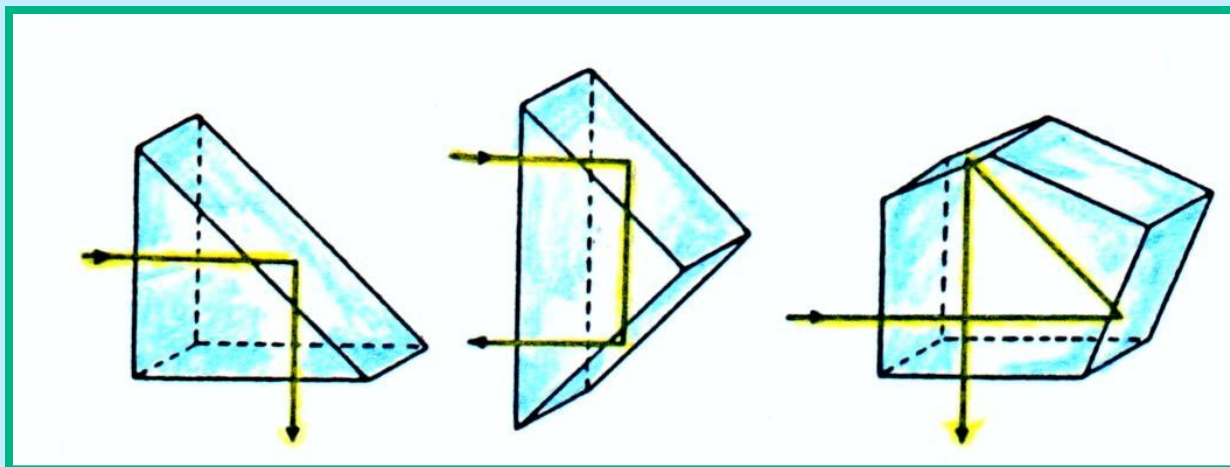
Více viz Plášek, J.: Mikroskopy se superčočkami. <http://www.vesmir.cz> | Vesmír 91: 531, září 2012.

Hranoly

- doplňky optických systémů
- většinou tvar rovnostranného trojúhelníka
- využívají úplného odrazu

Funkce:

- změna chodu paprsků pod různými úhly
- rozdvojení paprsků



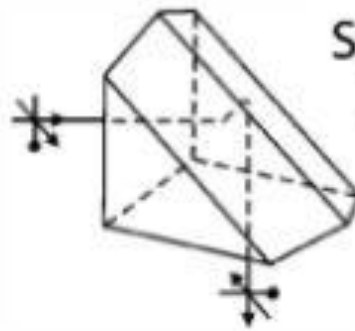
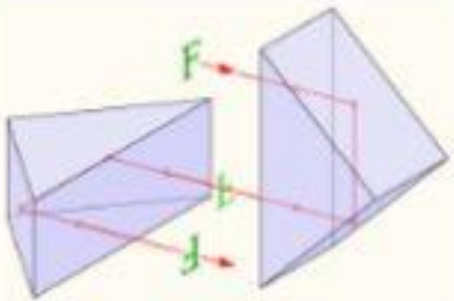
Pazourek, 1975.

Různé typy odrazných hranolů

Hranoly

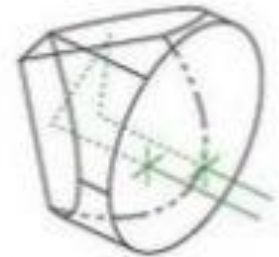
Různé typy hranolů

Pravoúhlý
hranol

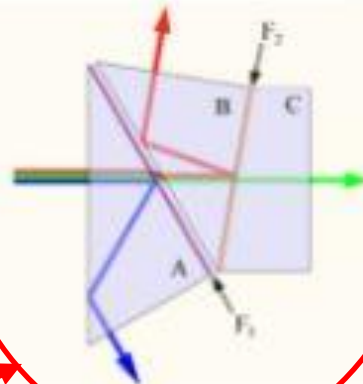


Střežový
hranol

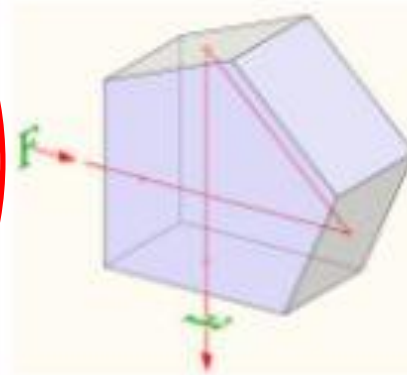
Koutový
odražeč



Dělicí hranol

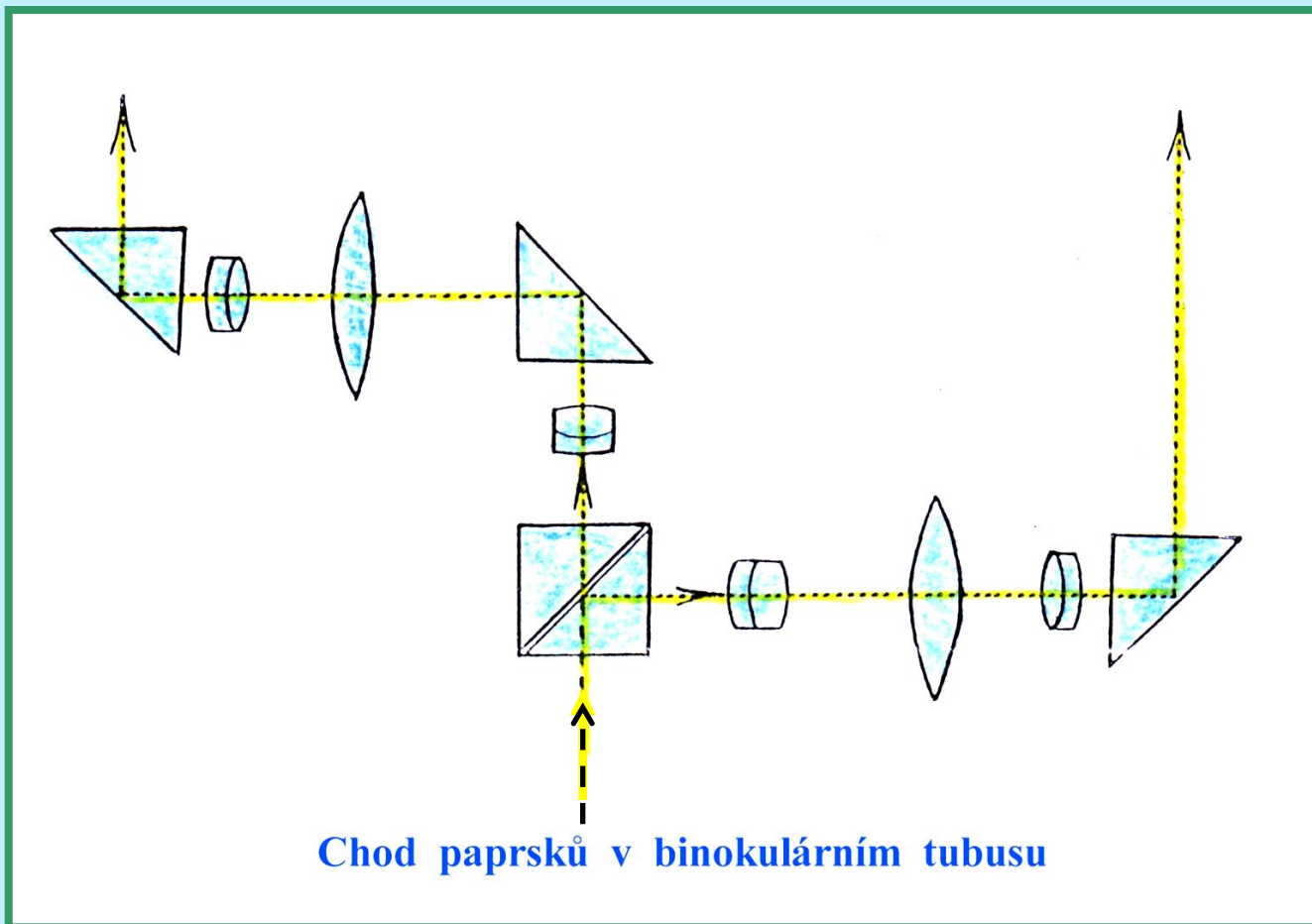


Pentagonální
hranol



Viz dichroické zrcadlo
u fluorescenčního mikroskopu

Chod paprsků v binokulárním tubusu

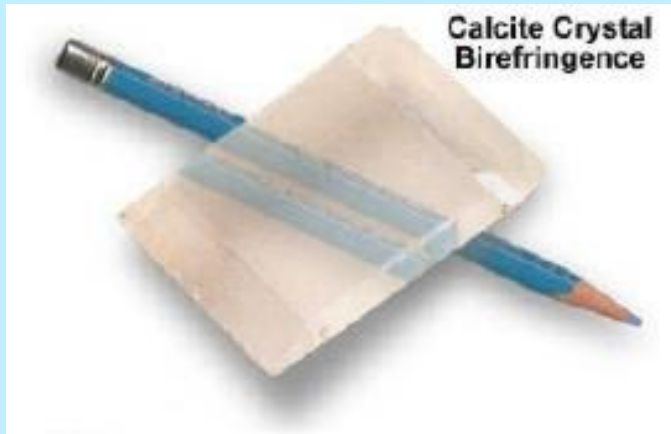


Pazourek, 1975.

Nikol = hranol z islandského vápence

→ polarizace světla

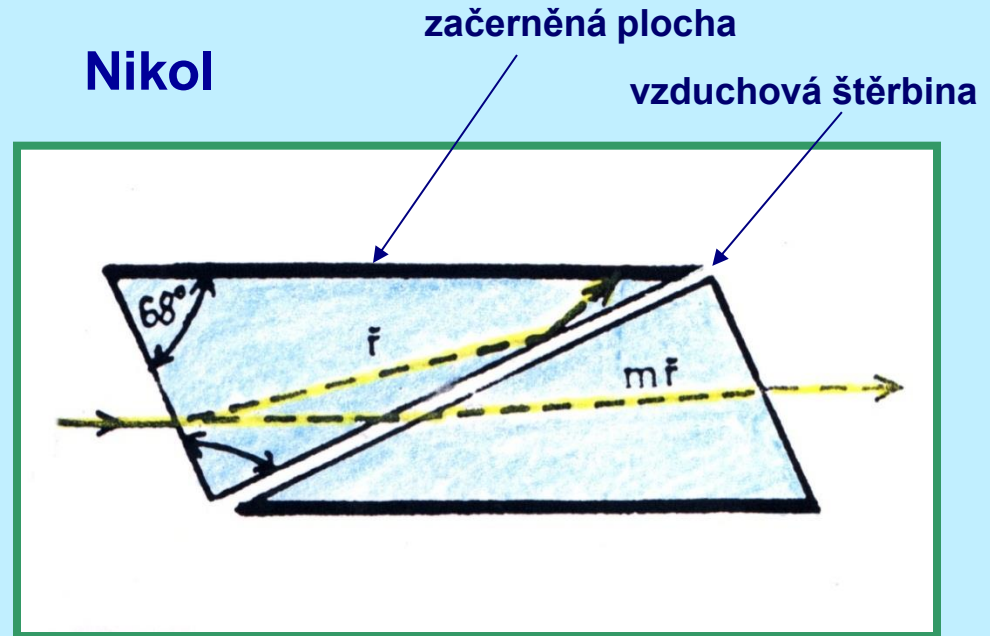
Dvojlomný vápencový krystal



- rychlost světla je v různých směrech různá
- úhel paprsku řádného a mimořádného je odlišný

(u Vikingů - sluneční kámen sólarsteinn)

Nikol



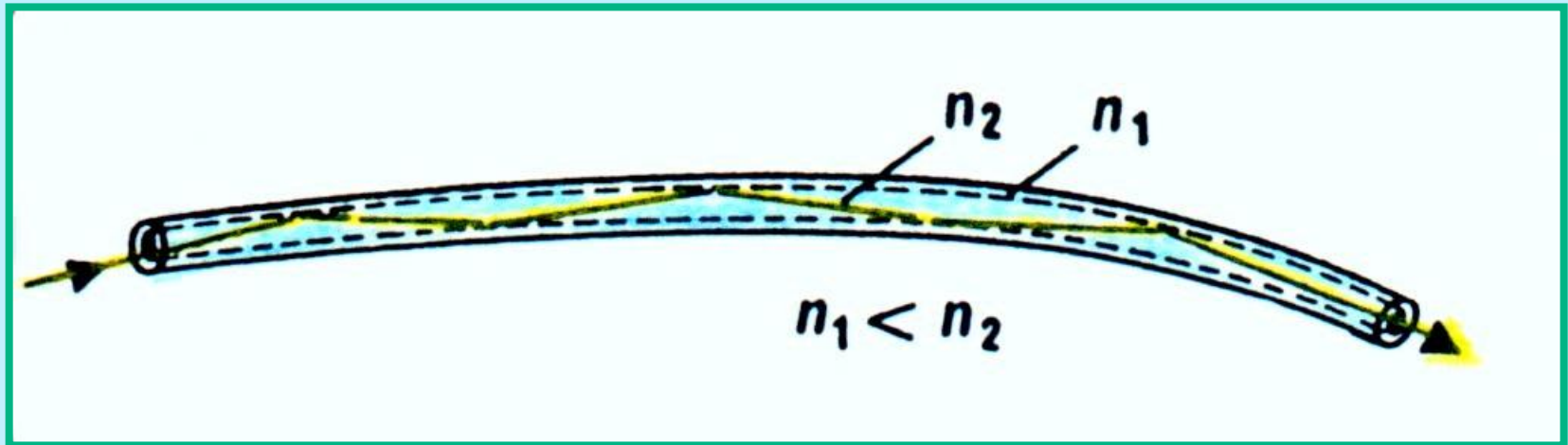
Pazourek, 1975.

- ř** – paprsek řádný (zaniká na začerněné ploše)
- mř** – paprsek mimořádný (lineárně polarizovaný, využit k osvětlení)

Světlovodná vlákna

Princip: úplný odraz paprsku

- uvnitř skleněného vlákna je opticky hustší prostředí
- nutnost dostatečně silného světelného zdroje



Pazourek, 1975.

Chod paprsků ve světlovodném vláknu

Široké využití v praxi: optické kabely – přenos signálů ve sdělovací technice, světlovody umožňující vést denní světlo, vedení světla u stereolup, endoskopů, ...