

Drahé kovy a drahé kameny

Semestr: podzim 2024

► Přednášející: Doc. Jan Cempírek, Ústav geologických věd





Vlastnosti drahých kamenů



Minerál vs. hornina vs. drahý kámen

Drahý kámen: přírodní minerál, hornina, nebo organická látka, které lze použít do šperků, nebo ozdobných předmětů, ceněný protože je **estetický, vzácný v přírodě, a odolný**.

Minerál – chemický prvek nebo sloučenina, obvykle krystalická, která vznikla jako výsledek **geologických procesů**.

Hornina – agregát (shluk) minerálů vzniklý geologickými procesy.



Výjimky z definice minerálu:

- Minerály metamiktní (rozbité radiací) a amorfní (bez pevné vnitřní struktury) (pokud lze jasně definovat chem. složení)
- Rtuť (*ale ne voda ani ropa*)
- Biogenní minerály/horniny – pouze pokud jsou přetvořeny geol. procesy (vápenec vs. korál, guáno vs. sediment s mikro-krytaly apatitu).

→ minerály jsou přírodní (geo- platí i pro extraterestrické procesy), s definovaným chemickým složením (ale ne neměnným), s vnitřní strukturou.

→ velká část drahých kamenů jsou minerály, ale ne všechny minerály jsou drahými kameny

→ některé drahé kameny mohou být horniny (jadeit, nefrit) a organické látky (jantar, perly)

Horniny

- Jednotný systém je klíčový pro tvorbu geologických map (ČR, Evropy, světa), mezinárodní korelace a výzkumy, ...

Na PC si zkuste interaktivní mapu ČR

<https://mapy.geology.cz/geocr50/>

The screenshot displays the 'Geovědní mapy 1 : 50 000' interface on a web browser. The main map shows a geological map of Brno, with various colored regions representing different geological units. The interface includes a search bar, a scale bar, and a metadata table.

Informace o prvku

Atributy	
Číslo mapového listu	2441
Legenda ID	12
Pořadí	16
Geneze	deluviální
Horninový typ	sediment nezpevněný
Hornina	píščito-hlinitý až hlinito-píščitý sediment
Soustava	Český masiv - pokryvné útvary a postvariské magmatity
Oblast	kvartér
Region	
Regionální jednotka	
Subregionální jednotka	
Éra	KENOZOIKUM
Útvar	KVARTÉR
Oddělení	
Stupeň	
Podstupeň	
Vývoj	
Souvrství	
Vrstvy	
Třediční název	
Texture horniny	
Mineralní složení	pestré
Zrnitost horniny	píščito-hlinitá až hlinito-píščitá
Barva horniny	různá

Horniny GeoČRS0 (2)

Číslo mapového listu	Legenda ID	Pořadí	Geneze	Horninový typ	Hornina	Soustava	Oblast
2441	12	16	deluviální	sediment nezpevněný	píščito-hlinitý až hlinito-píščitý sediment	Český masiv - pokryvné útvary a postvariské mag...	kvartér
2441	477	440	turbidity	sediment zpevněný	slepence	Český masiv - krystalinikum a prevariské paleozoi...	moravs

Definice minerálů a hornin

Minerály

- ▶ IMA – Commission on New Minerals, Nomenclature, and Classification (CNMNC) schvaluje a publikuje od roku 1959 „List of Minerals“
- ▶ informace přejímány do externích databází (MinDat, Webmineral, Athena Mineralogy)

Snadné vyhledávání

- ▶ podle jména nebo lokality
<https://www.mindat.org/>
- ▶ podle složení
<https://www.mindat.org/chemsearch.php>

4Fun: najděte svůj oblíbený minerál a podívejte se na jeho fotografie.

<https://www.mindat.org/>



mindat.org

About Support Us Photos Discussions Search Learn More Search mindat.org Go

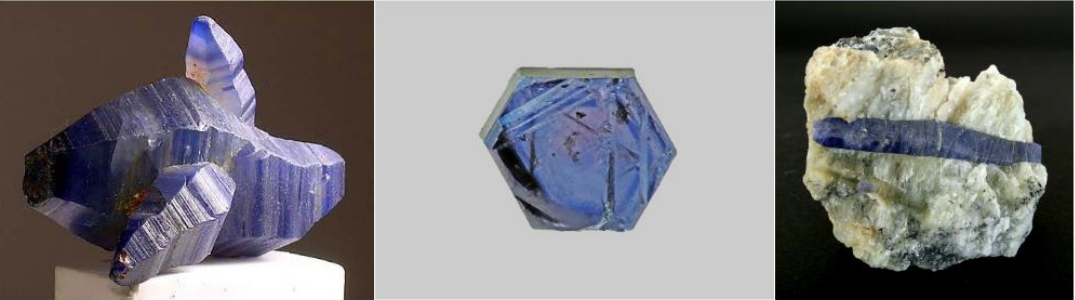
Quick Links : The Mindat Manual The Rock H. Currier Digital Library Mindat Newsletter [Free Download]

Corundum

A valid IMA mineral species - grandfathered

This page kindly sponsored by Eric D. Fritzscht

Photos of Corundum (3121)



Sapphire
Gem gravels, Ratnapura, Ratnapura District, Sabaragamuwa Province, Sri Lanka

Sapphire
Grand Etang alluvial deposits, Andelot River watershed, Saint-Didier-la-Forêt, Vichy, Allier, Auvergne-Rhône-Alpes, France

Sapphire, etc.
Mogok Township, Pyin-Oo-Lwin District, Mandalay Region, Myanmar

Hide all sections Show all sections

About Corundum

Formula: Al_2O_3

As a Commodity: Alumina

Colour: Colourless, blue, red, pink, yellow, grey, golden-brown

Lustre: Adamantine, Vitreous, Pearly

Hardness: 9

Specific Gravity: 3.98 - 4.1

Crystal System: Trigonal

Member of: Hematite Group

Name: Named "corinvindum" in 1725 by John Woodward and derived from the Sanskrit, kuruvinda ("Ruby"). Richard Kirwan used the current spelling "corundum" in 1794. Known by many names in ancient times: adamant, sapphire, ruby, hyacinthos, asteria, etc.

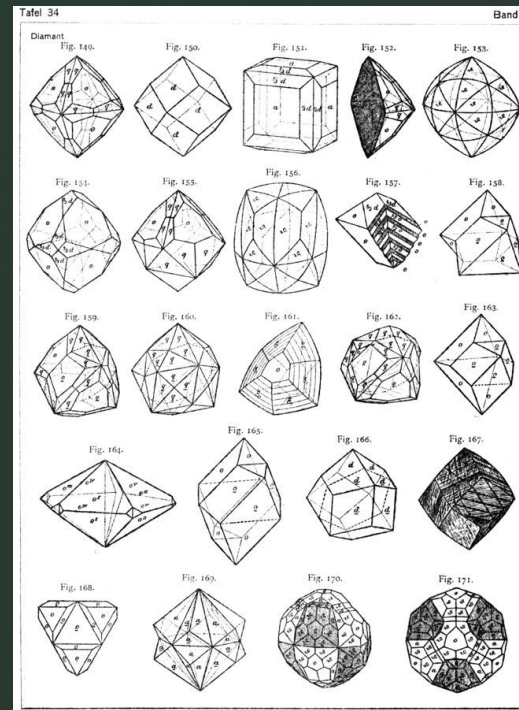
Struktura pevných látek

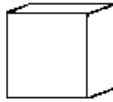

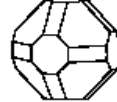
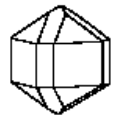


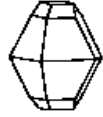

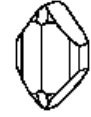
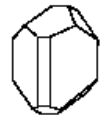

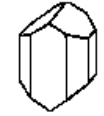
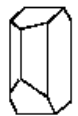
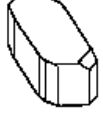



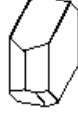

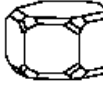




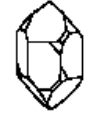
- krystalické: 6 krystalových soustav
 - kubická
 - tetragonální
 - hexagonální (+trigonální)
 - kosočverečná (ortorhombická)
 - monoklinická
 - triklinická

- amorfní (např. opál, sklo)

Do objevu RTG záření a vnitřní struktury látek byla symetrie tvaru krystalů jeden z hlavních diagnostických znaků.

(Goldschmidt V., 1913: Atlas der Krystallformen)



1. Cubic					
	cube	octahedron	Galena		
2. Tetragonal					
	Cassiterite	Zircon	Scheelite		
3. Orthorhombic					
	Sulfur	Barytes	Olivine		
4. Monoclinic					
	Wolframite	Gypsum	Augite	Orthoclase	
5. Triclinic					
	Chalcanthite	Kyanite	Axinite	Rhodonite	Albite
6. Hexagonal					
	Beryl	Apatite	Zincite		
7. Trigonal					
	rhombohedron	Calcite	Corundum	Quartz	

Krystalové tvary



- vnější tvar, symetrie, a růstové zóny podstatným způsobem ovlivňují využití

Hustota

Uvádí se v g/cm^3

Závisí na struktuře:

C: grafit (2,2) < diamant (3,5)

SiO₂: křemen (2,65) < coesit (2,9) << stišovit (4,3)

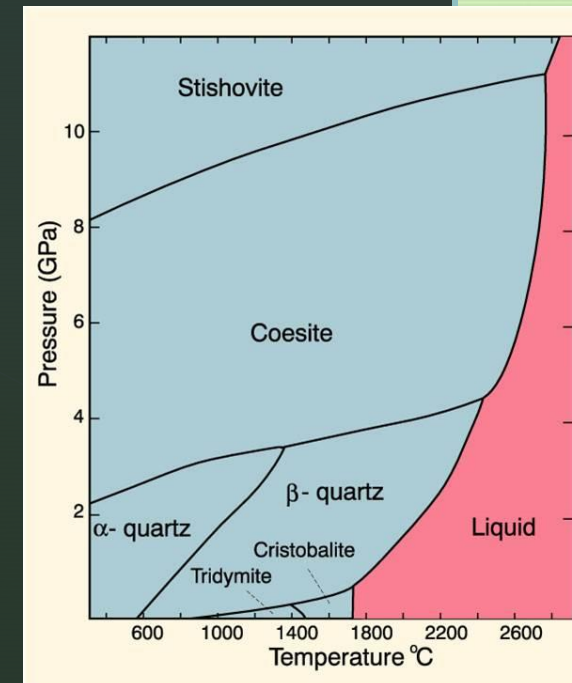
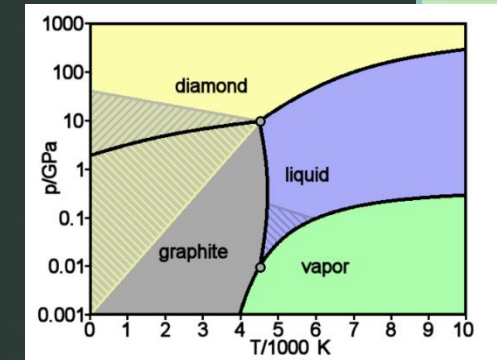
Ve stejné struktuře závisí na typu atomů:

Olivín - $(\text{Fe}, \text{Mg})_2\text{SiO}_4$:

fayalit (4,4) >> forsterit (3,27)



Materiál	Hustota (g/cm^3)
Voda	1,0
Křemen	2,7
Fluorit	3,2
Moissanit	3,22
Diamant	3.5
Safír	4
Pyrit	5
Magnetit	5,2
Galenit	7,5
Nikl	8,8
Měď	8,9
Stříbro	10,5
Zlato	19,3



Unce, trojská unce a karáty

- Britské/Imperiální jednotky
ounce - 28 g (16 oz. = 1 pound)
- Trojské váhy
troy ounce ~31.1 grams
(12 troy oz. = 1 troy pound)
- Karát (en: Karat) – jednotka ryzosti,
24K = čistý kov (především Au, Pt)
- Karát (en: Carat) – jednotka hmotnosti,
1 karát = 0,2 g

(Carob = Rohovník obecný, karob)



Carat before 1907

Location	mg
Cyprus	187
unknown	188.6
Brazil	192.2
Egypt	195
Ambonia	197
Florence	197.2
	205
International carat Batavia , Borneo, Leipzig	
South Africa (1)	205.304
London-New York (1)	205.303
Spain	205.393
London-New York (2)	205.409
Berlin	205.44
Paris, East India	205.5
South Africa (2)	205.649
Amsterdam	205.7
Lisbon	205.75
Frankfurt (on Main)	205.77
Vienna	206.13
Venice	207
Madras	207.353
unknown	213
Bucharest	215
Livorno	215.99

Elektrická a tepelná vodivost

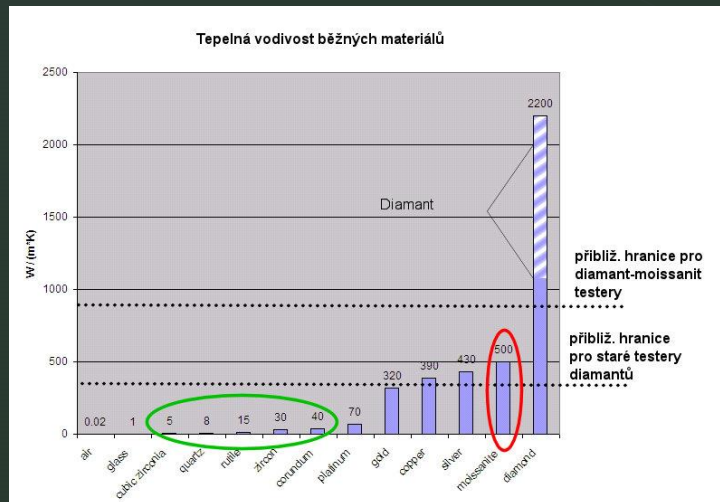
- schopnost látky vést elektřinu nebo teplo

Materiál	Tepelná vodivost (W.m⁻¹.K⁻¹)
Vzduch	0.025
Voda	0.6
Sklo	1.1
Led	2
Safír	34
Olovo	35.3
Platina	70
Zlato	318
Měď	380
Stříbro	429
Moissanit	300 - 500
Diamant	>1000

Materiál	Elektrická vodivost (Siemens * 1000000)
Diamant	<0.0000000001 (dopant B ji může zvýšit)
Moissanit	Obecně velmi nízká v závislosti na dopantech
Většina minerálů	<0.00001
Voda	0.005
Platina	9
Hliník	38
Zlato	45
Měď	59
Stříbro	63

Elektrická a tepelná vodivost

- přímé využití pro testování diamantů
- v 90. letech výroba syntetického moissanitu (SiC)
 - nutné úpravy diamond-testerů



SYNTHETIC MOISSANITE: A NEW DIAMOND SUBSTITUTE

By Kurt Nassau, Shane F. McClure, Shane Elen, and James E. Shigley

A new diamond imitation, synthetic moissanite (silicon carbide), is now being produced by C3 Inc. in near-colorless form for jewelry purposes. With refractive indices of 2.648 and 2.691, a dispersion of 0.104, a hardness of 9½ on the Mohs scale, and a specific gravity of 3.22, synthetic moissanite is much closer to diamond in overall appearance and heft than any previous diamond imitation. The thermal properties of synthetic moissanite are also so close to those of diamond that the thermal probes currently on the market react to synthetic moissanite as if it were "diamond." This new material can be readily separated from diamond on the basis of its anisotropic optical character, which produces a doubling in the appearance of facet junctions. A new instrument manufactured by C3 Inc. solely to distinguish synthetic moissanite from diamond was also examined for this study.

To the long list of diamond simulants currently available in the jewelry market, a new one has been added: synthetic moissanite. As typically happens with the introduction of a synthetic or simulant, there is considerable concern in the jewelry trade about this diamond imitation and its identification. One particular problem with synthetic moissanite is that its thermal properties are so close to those of diamond that it passes as "diamond" when tested with a thermal probe.

This article reports on the examination of several samples of near-colorless synthetic moissanite (figure 1), both to characterize this material and to determine how it can be identified by standard gem-testing methods. The authors also evaluate a testing instrument developed by C3 Inc., which is intended to be used in conjunction with a thermal probe to distinguish this new simulant from diamond.

BACKGROUND

Diamond Imitations. All diamond imitations known to date have significant deficiencies. For example, synthetic spinel, colorless sapphire, and YAG (yttrium aluminum garnet) are much less brilliant than diamond. Synthetic rutile and strontium titanate are much too soft and display too much dispersion ("fire"). GGG (gadolinium gallium garnet) and CZ (cubic zirconia) have very high specific gravities, and the latter is somewhat brittle. Synthetic moissanite, by contrast, has gemological properties that are generally closer to those of diamond (table 1).

Silicon Carbide. Since it was first manufactured a century ago, silicon carbide (SiC) has played an important industrial role as an abrasive. The growth of single crystals of silicon carbide has been studied for many years for two possible end uses: as a semiconductor material, and as a diamond substitute in jewelry. In fact, the promise of synthetic moissanite as a diamond imitation has been described several times in the gemological and related literature. Some of these publications included enthusiastic descriptions of faceted colored material (usually blue to green) and premature claims that

ABOUT THE AUTHORS

Dr. Nassau, retired from his position as Distinguished Scientist at AT&T Bell Laboratories, is now a freelance writer, consultant, and expert witness living in Lebanon, New Jersey. He is on the Board of Directors of C3 Inc. Mr. McClure is manager of Identification Services at the GIA Gem Trade Laboratory, Carlsbad, California. Mr. Elen is a research technician, and Dr. Shigley is director, at GIA Research, Carlsbad.

Please see acknowledgments at end of article. *Gems & Gemology*, Vol. 33, No. 4, pp. 260-275 © 1997 Gemological Institute of America

Vlastnosti drahých kamenů

- složení a struktura – určují fyzikální vlastnosti (hustota, el. a term. vodivost, tvrdost, štěpnost,...)

- odolnost: struktura → tvrdost, štěpnost

- atraktivita: barva, index lomu, disperze světla, pseudochromatismus (moonstone, labradorit,...)

- vzácnost:
 - snadnost získávání - hustota
 - stabilita v povrchových podmínkách
 - výskyt v specifických typech ložisek

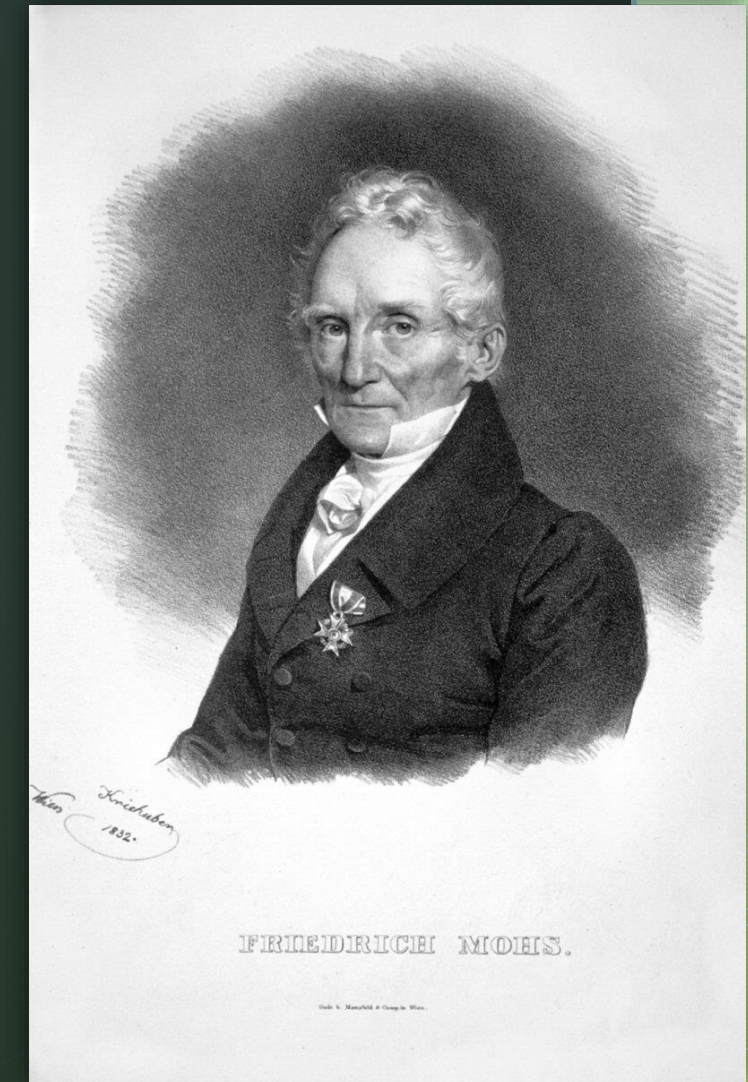
Tvrđost

Jedna z nejstarších metod.

Relativní stupnici tvrdosti sestavil v roce 1812 Friedrich Mohs (1773-1839) na příkladu minerálů, které seřadil podle stoupající tvrdosti:

- | | |
|-------------|-------------|
| 1. mastek | 6. ortoklas |
| 2. sádrovec | 7. křemen |
| 3. kalcit | 8. topaz |
| 4. fluorit | 9. korund |
| 5. apatit | 10. diamant |

Nevýhoda – různá tvrdost v různých směrech.

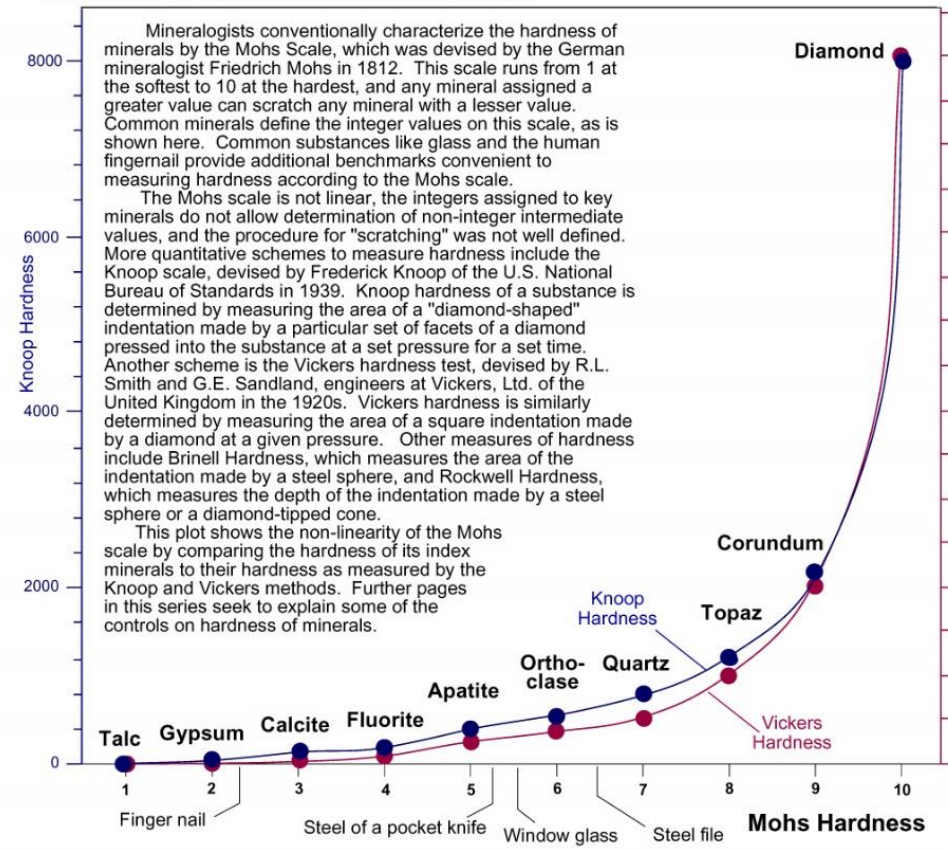


Tvrđost

Absolutní tvrđost – měření pomocí přesně definovaných diamantových hrotů, měří se rozměry vrypu pod daným tlakem za daný časový interval.

Railsback's *Some Fundamentals of Mineralogy and Geochemistry*

Hardness of minerals I: the Mohs scale



A Knoop indenter:

 A Vickers indenter:

 Original literature:
 Mohs Hardness: Mohs, F., 1822, *Grundriß der Mineralogie* (two volumes, 1822 and 1824): Dresden, Arnoldschen Buchhandlung (translated to English by Wilhelm Ritter von Haidinger as *Treatise on Mineralogy* in 1825 and published by Constable & Co. Ltd. of Edinburgh).
 Vickers Hardness: Smith, R.L., and Sandland, G.E., 1925, Some notes on the use of a diamond pyramid for hardness testing: *J. Iron St. Inst.*, v. 111, p. 285-294.
 Knoop Hardness: Knoop, F., Peters, C.G., and Emerson, W.B., 1939, A sensitive pyramidal-diamond tool for indentation measurements: *Journal of Research of the National Bureau of Standards*, v. 23, p. 39-61 (see esp. Table 8).
 Other sources:
 University of Maryland Center for Advanced Life Cycle Engineering, ~2005, *Material Hardness*: www.calce.umd.edu/general/Facilities/Hardness_ad.htm#3.6.2.
 Archae Solenhofen, 2003, *Rock properties and their importance to stoneworking, carving, and lapidary working of rocks and minerals by the ancient Egyptians*: www.geocities.com/unforbidden_geology/rock_properties.htm
 LBR HardnessTrends29 1/2009

Štěpnost

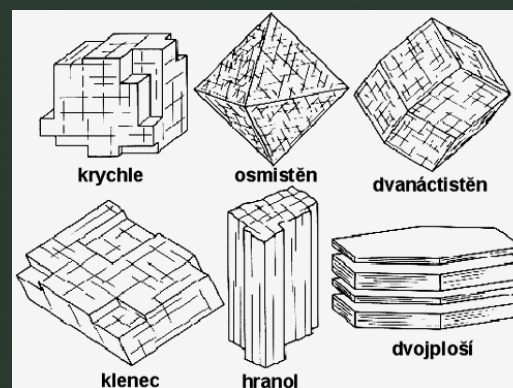
- podstatná vlastnost při zpracování drahých kamenů
- určena směry, ve kterých je soudržnost krystalové struktury minimální



halit,
galenit

kalcit

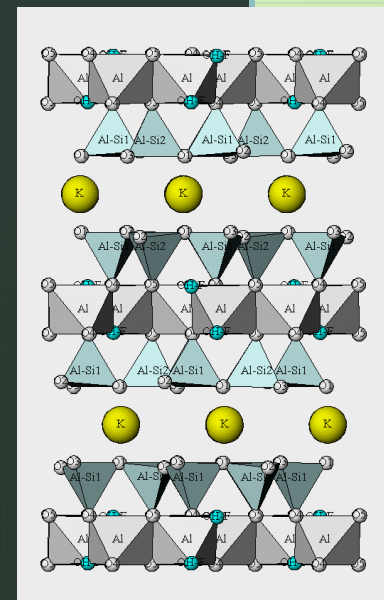
diamant,
fluorit



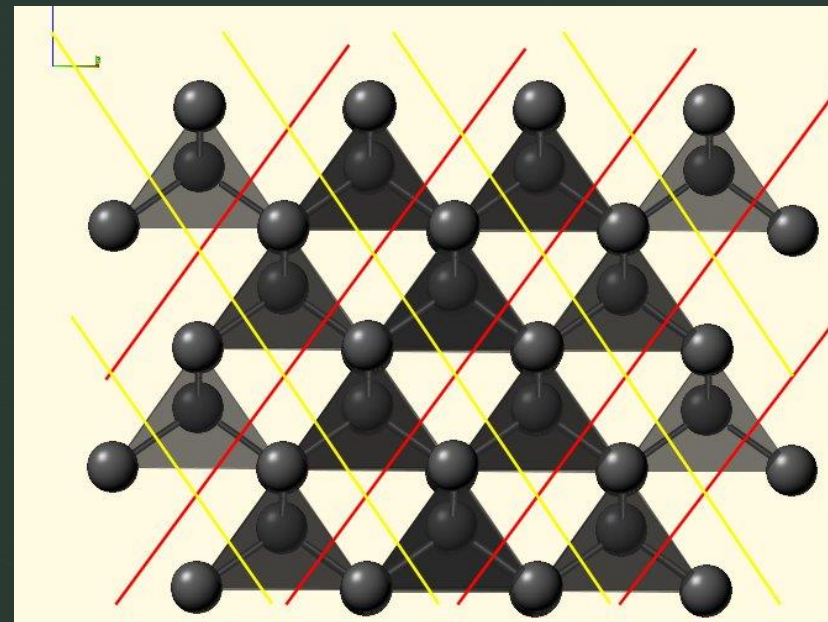
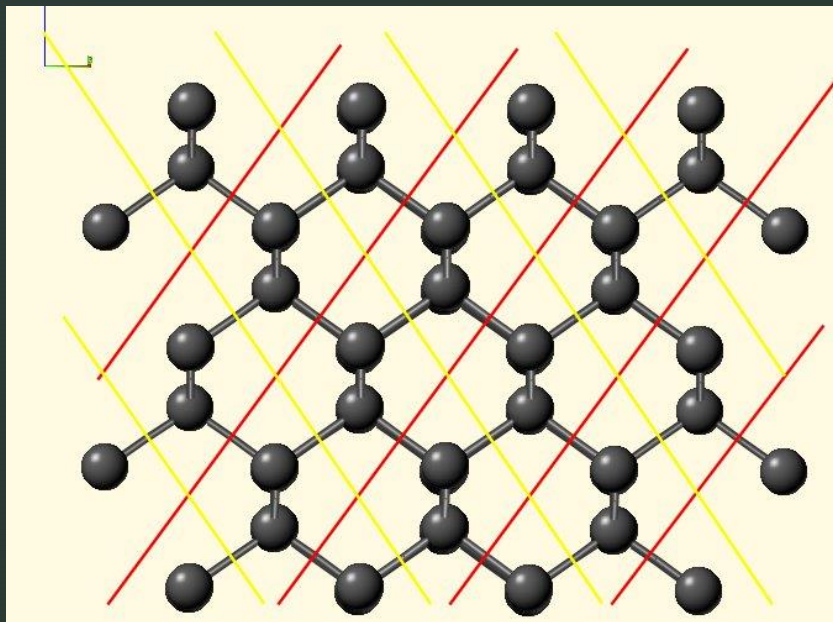
pyroxen,
amfibol

sfalerit

slídy



Štěpnost diamantu

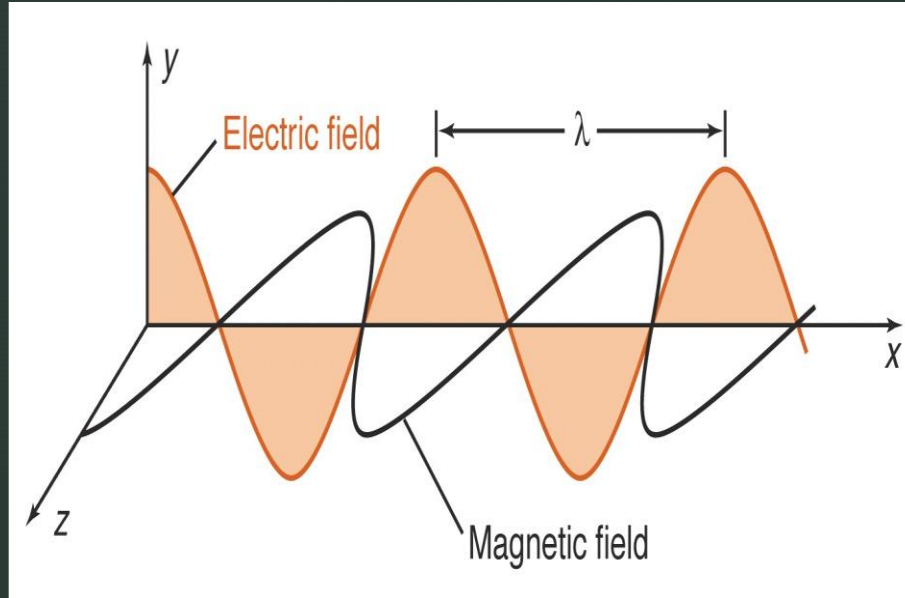


Štěpnost kolmo na vazbu C-C (nejsou zde jiné vazby).

Vlastnosti drahých kamenů

- složení a struktura – určují fyzikální vlastnosti (hustota, el. a term. vodivost, tvrdost, štěpnost,...)
- odolnost: struktura → tvrdost, štěpnost
- atraktivita: barva, index lomu, disperze světla, pseudochromatismus (moonstone, labradorit,...)
- vzácnost:
 - snadnost získávání - hustota
 - stabilita v povrchových podmínkách
 - výskyt v specifických typech ložisek

Barva a světlo

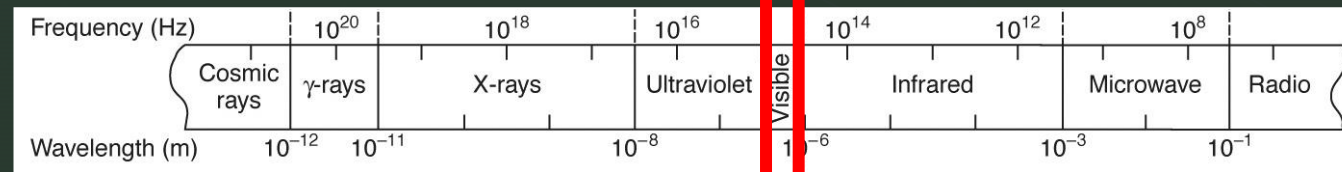


Světlo se chová jako

- částice (foton)
 - elektromagnetická vlna, elektrický vektor je kolmý na vektor magnetické části
- Světlo má ve vakuu konstantní rychlost c .

vlnová délka $\lambda = c \cdot T$

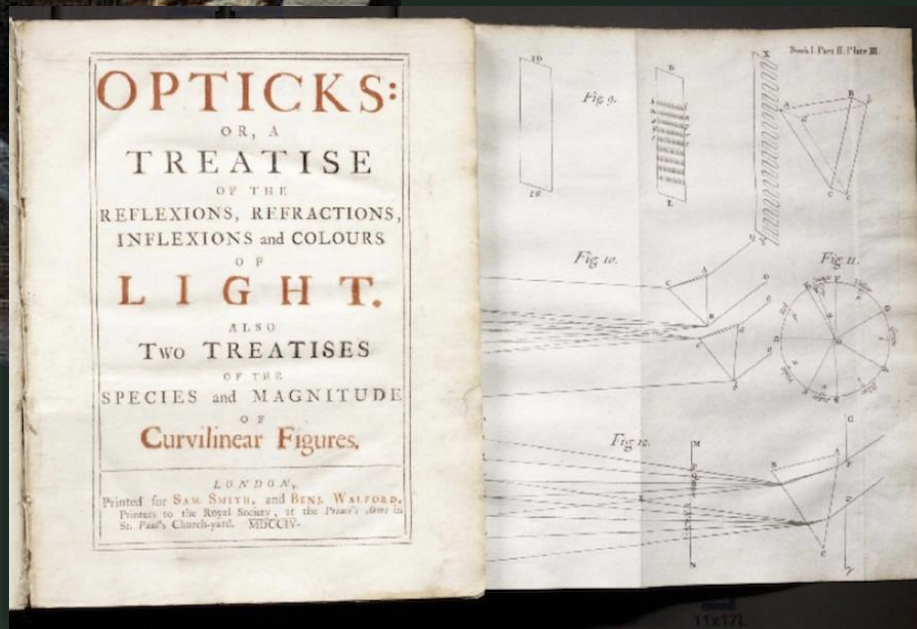
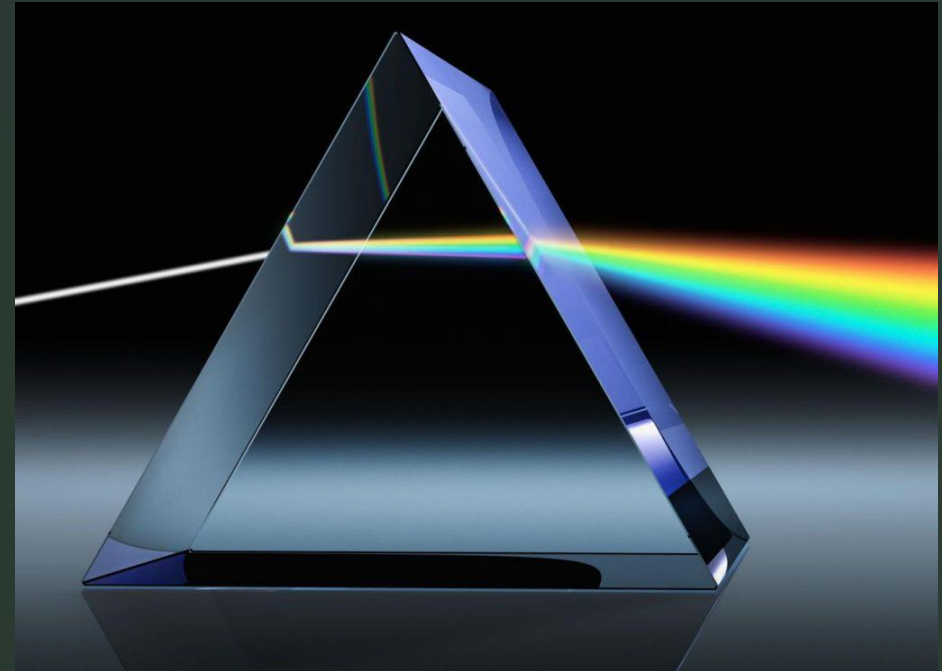
frekvence (počet vln za sekundu) $\nu = 1 / T = c / \lambda$



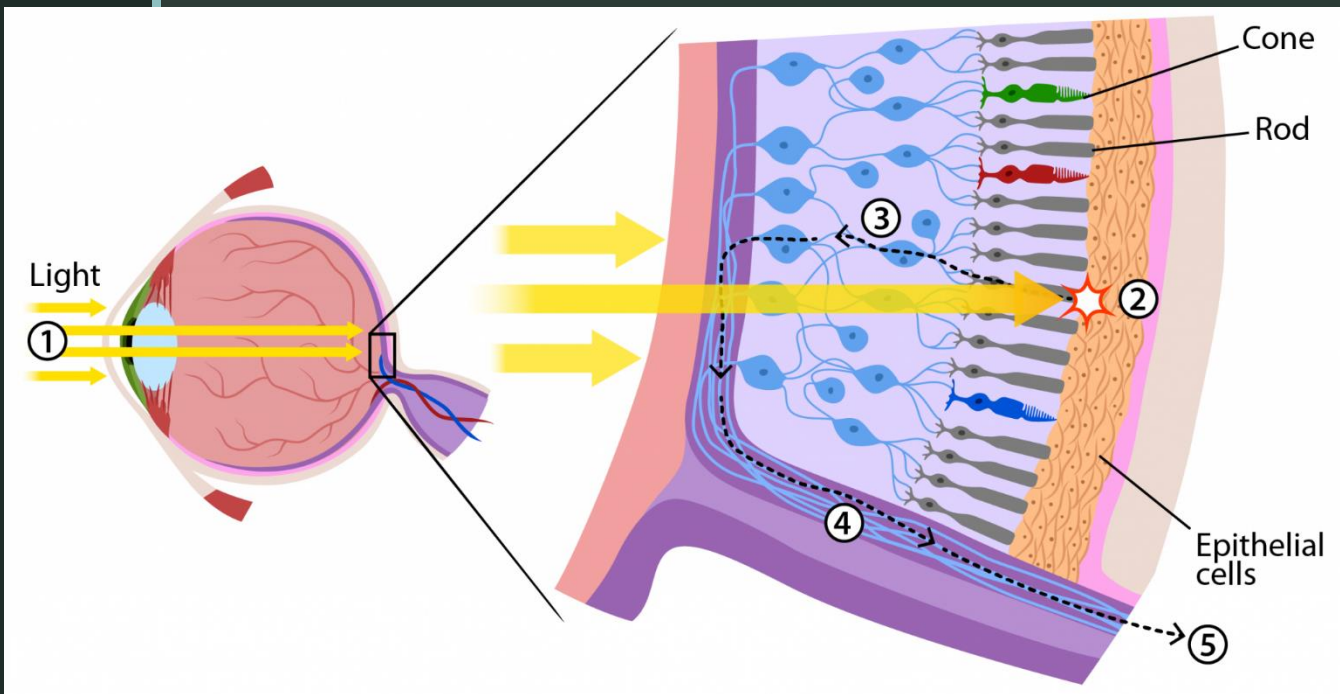
Barva



1660 I. Newton:
experiment se
skleněným hranolem a
rozklad bílého světla na
7 barev

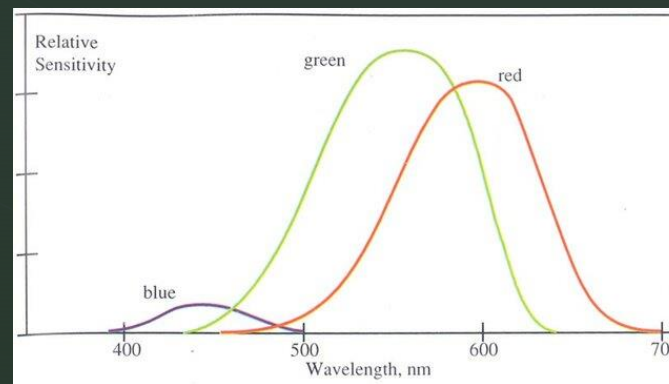
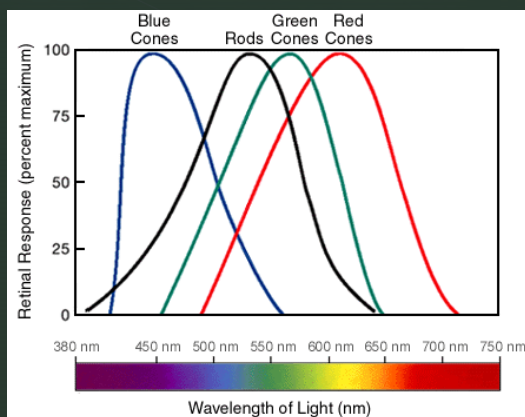
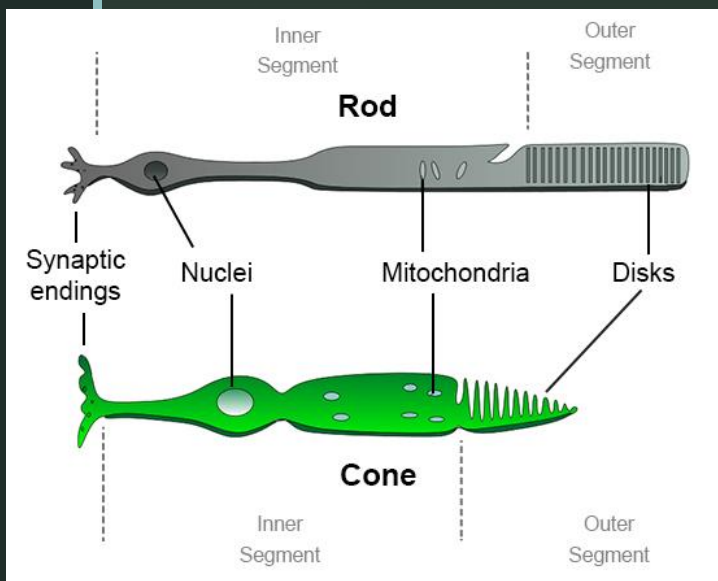


Sir Isaac Newton
Opticks, or, A treatise of the
reflections, refractions,
inflexions and colours of
light...
London, 1704



Vnímání barev

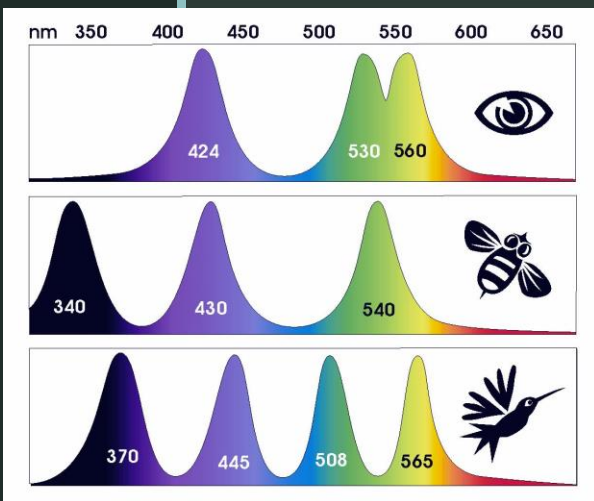
- ~100 milionů tyčinek, protein rhodopsin – vnímání kontrastů, důležité při nízké intenzitě světla, (max. citlivost pro ~500 nm) = černobílé vidění
- ~6 milionů čípků, protein photopsin – vysoká intenzita světla, specializované pro R G B (max. citlivost pro ~550 nm)



<https://askabiologist.asu.edu/rods-and-cones>

<https://weeklysiencequiz.blogspot.com/2013/01/violet-skies-are-for-birds.html>

Vnímání barev u hmyzu a ptáků



<https://www.jolyon.co.uk/2020/07/garden-flowers-in-bee-vision/>
<https://brilliantstarmagazine.org/articles/bees>
<https://nativebeeology.com/2015/01/03/a-bees-eye-view-of-the-garden/>
<https://www.boredpanda.com/human-vs-bird-vision/>

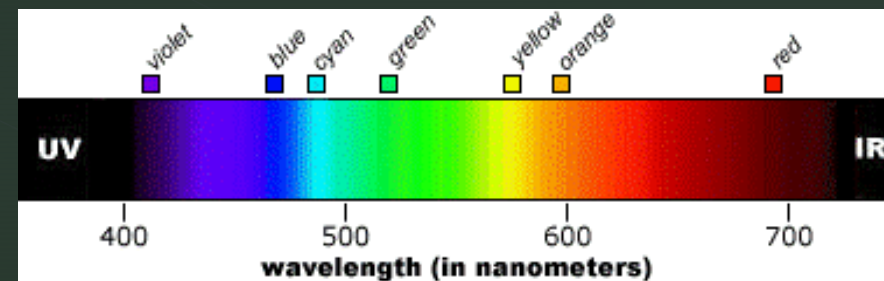
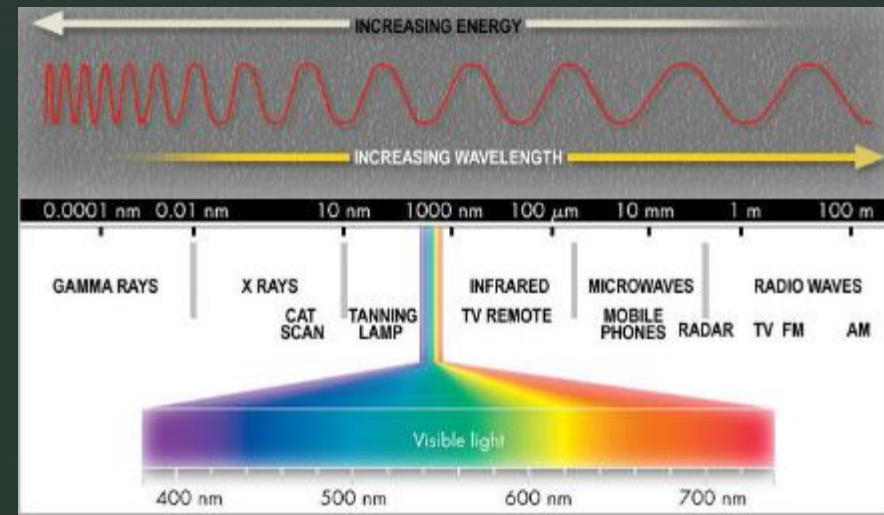
Barva a světlo

Lidské oko zachytí jen velmi malou část elektromagnetického spektra (vlnové délky mezi 350 a 750 nm).

Většina moderních **jazyků** rozlišuje 13-15 barev: černou, bílou, červenou, oranžovou, žlutou, zelenou, modrou, hnědou, šedou,, růžovou a fialovou (světle modrá, světle fialová – tyrkysová, lila).

Ve viditelném spektru rozlišujeme 7 základních barev:

Barva	Rozsah vlnových délek
červená	~ 625–800 nm
oranžová	~ 590–625 nm
žlutá	~ 565–590 nm
zelená	~ 520–565 nm
tyrkysová (azurová)	~ 500–520 nm
modrá	~ 430–500 nm
fialová (purpurová, nachová)	~ 400–430 nm



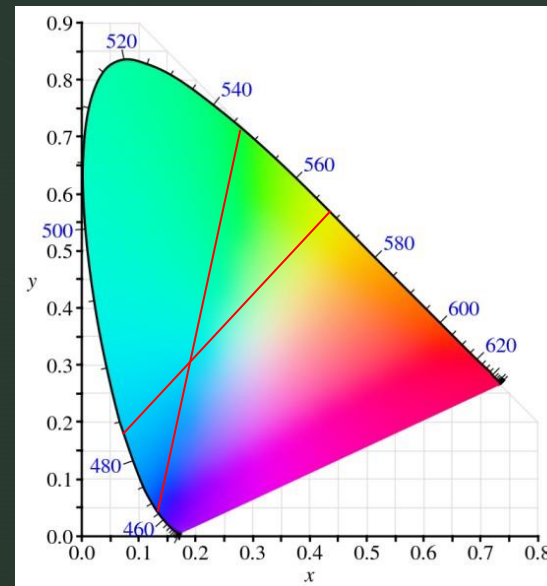
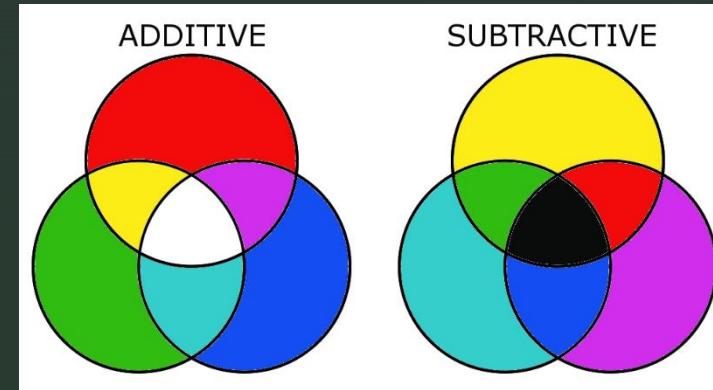
Viditelná část elektromagnetického spektra

Barva a světlo

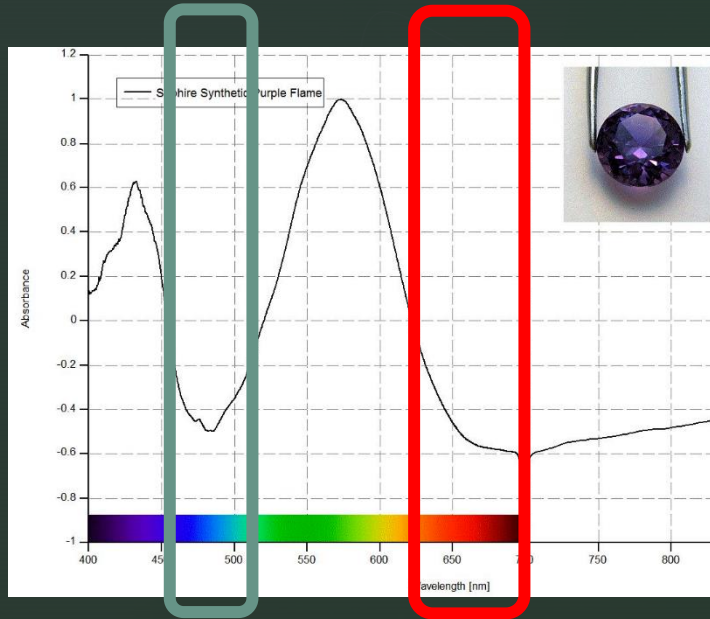
Ostatní barvy lze vytvořit jejich
mícháním:

aditivní míchání barev – např. světlo
na bílém plátně – barvy přidávají svojí
část spektra k výsledné barvě. Míchání
barev = zpracování barev mozkiem.

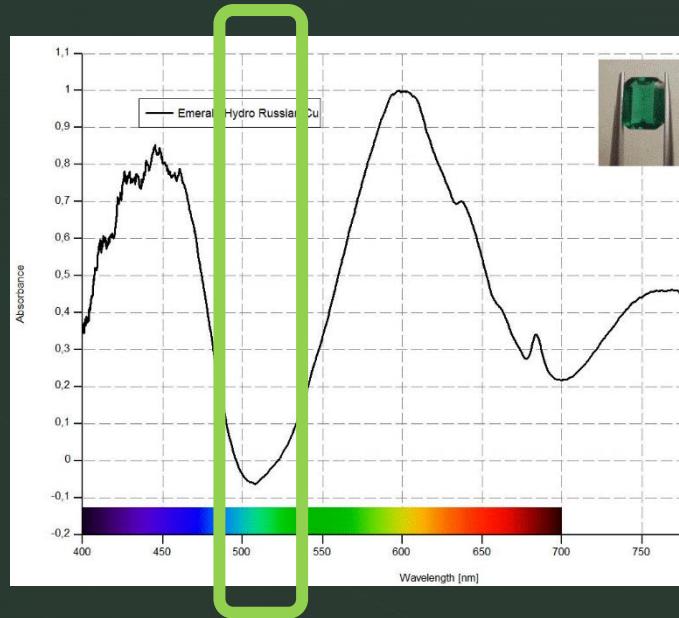
substraktivní míchání barev –
smíchání pigmentů, vrstvení
barevných filtrů – pigmenty způsobují
absorbci části spektra a ta je
odstraněna z výsledného spektra
(=absorbce v minerálech).



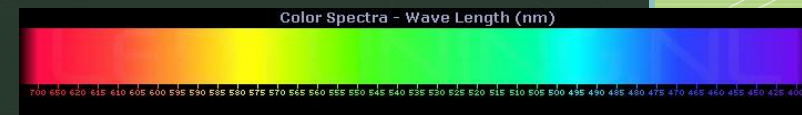
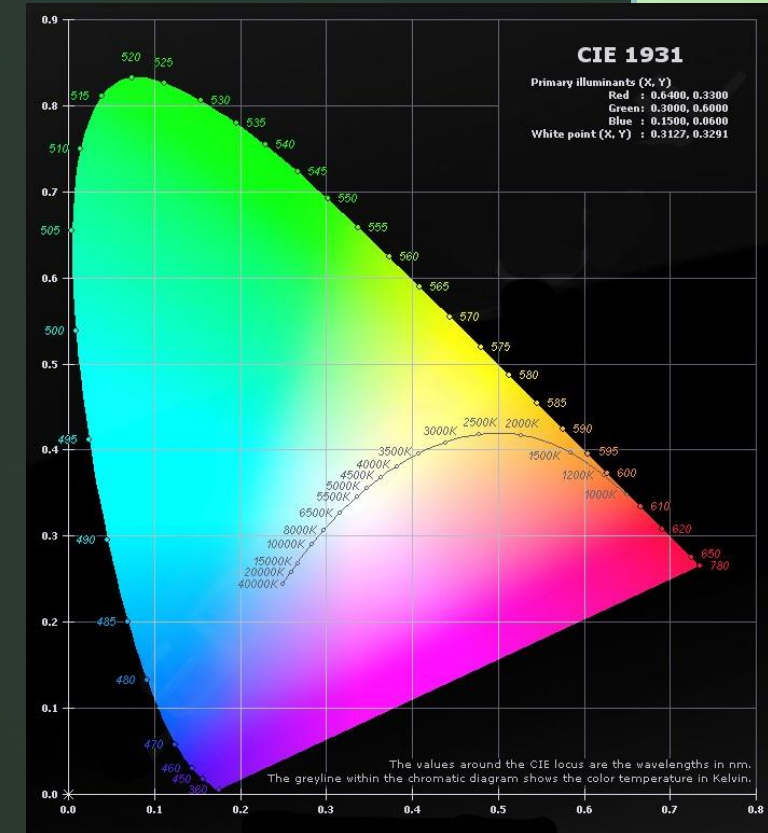
Barva – absorpce



Absorbce světla v safíru



Absorbce světla ve smaragdu



Barva – zdroje světla

Různé zdroje světla – různá intenzita jednotlivých částí spektra.

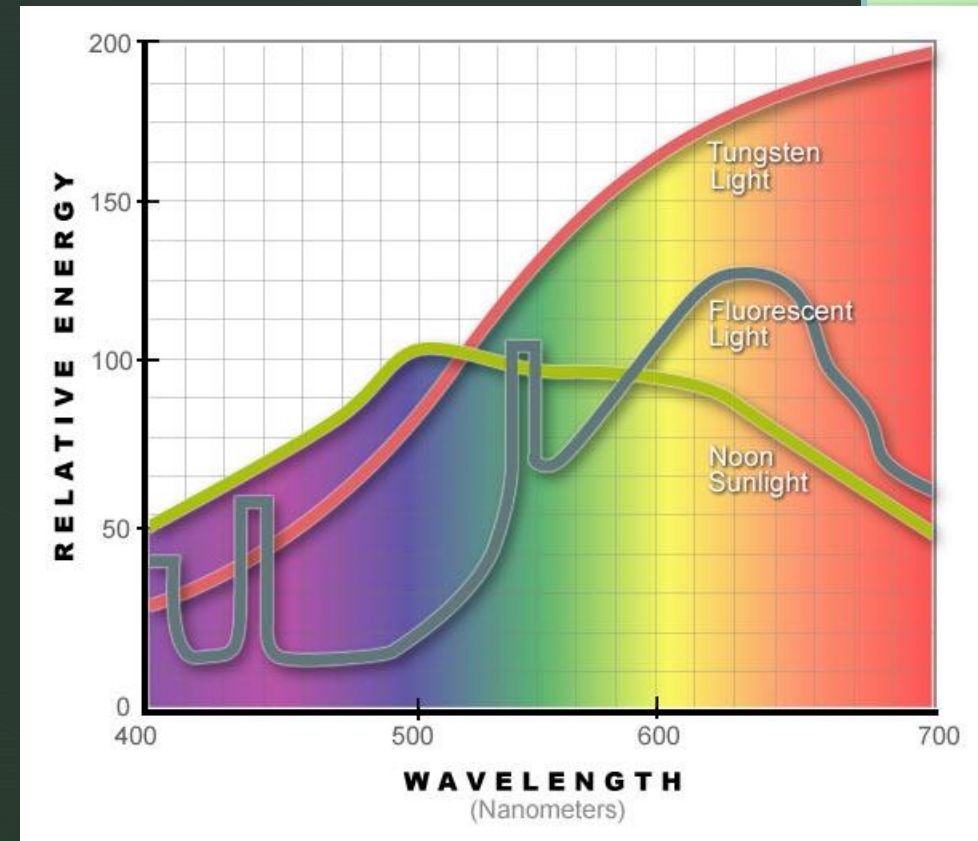
Spektrální křivky vyzážené energie

- sluneční světlo
- žárovka
- „studená bílá“ zářivka

Často speciální osvětlení v obchodech – zelenina, oblečení, šperky



Efekt změny barvy (**alexandritový efekt**) – typická u chryzoberylu: zelená/modrá barva ve slunečním světle a oranžová/červená barva v umělém. (Smithsonian Inst.)



Barva - pleochroismus

- různá barva v závislosti na směru pohledu (krystalografickém směru)
- lze snadno rozlišit v polarizovaném světle
- **dichroskop** – umožňuje snadno pozorovat pleochroismus na brusech



cordierit



tanzanit



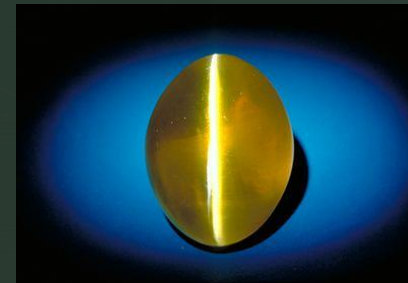
tanzanit

<https://youtu.be/ze9VmcTtf48>

Rozptyl na inkluzích

- **asterismus**
 - krystalograficky orientované inkluze, např. rutil v korundu/granátu
- **chatoyance/y (efekt kočičího oka)**
 - (kočičí oko – typicky chryzoberyl, tygří oko – riebeckitový asbest v Qtz)
 - jednosměrně orientované vláknité inkluze (Rt, amfibol, dutinky, ...), především v chryzoberylu, ale i v aktinolitu, apatitu, berylu, křemeni,...
- **avanturescence**
 - orient. destičkovité inkluze, např. hematit v plagioklasu (sluneční kámen - „sunstone“) nebo muskovit v avanturínu (avanturescence)

Všechny efekty vyniknou nejlépe v **kabošonech (půlkulatý brus)**.



Chatoyance v chryzoberylu (Smithsonian, Inst.)

Chatoyance v křemeni a apatitu (geology.com)

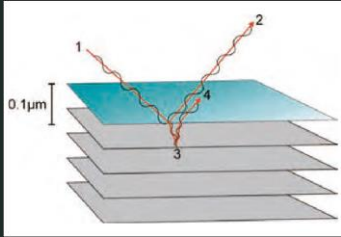


plagioklas - sunstone (Smithsonian, Inst.)



Avanturín – křemen s inkluzemi muskovitu

<http://www.gemselect.com/aventurine/aventurine-362321.php>



Iridescence - rozptyl na orientované mřížce (difrakce/interference)

Interference = rozptyl světla na pravidelných vrstvách o tloušťce blízké jeho vlnové délce (součet intenzit při shodě fází světla specifické vlnové délky)

Rozptyl světla na rovinách dvojčatění:

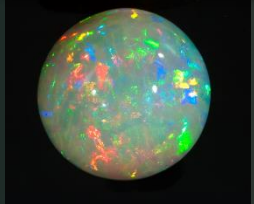
- adulariscence (moonstone - měsíček)
- labradorescence (labradorit)

Rozptyl světla na rovinách sub-mikroskopických kuliček:

- opalescence: **drahý opál** = kuličky SiO_2 (200-350 nm) v pravidelných intervalech – barva závisí na velikosti kuliček v různých částech kamene.

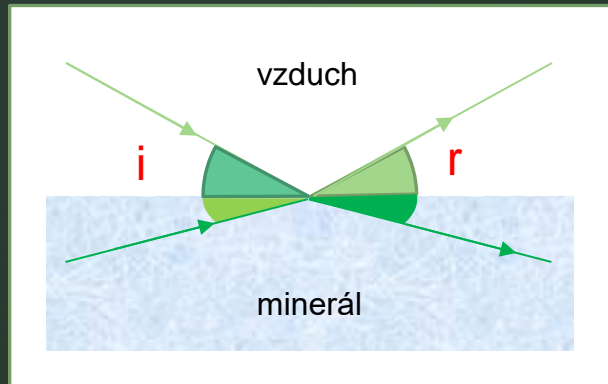


Labradorit – objev českých bratří



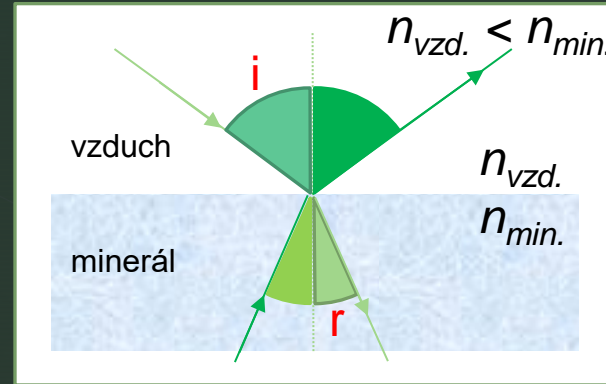
Světlo - Index lomu a kritický úhel

Odraz světla



Při odrazu světla je je úhel dopadajícího i odraženého paprsku stejný.

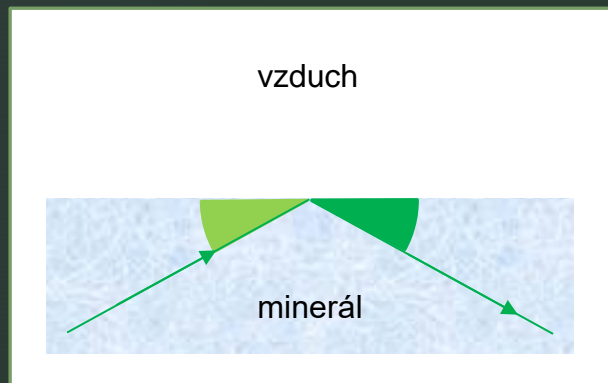
Lom světla



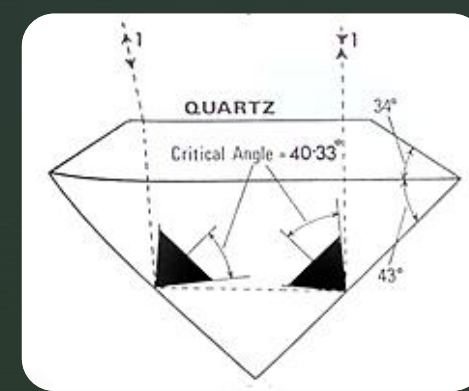
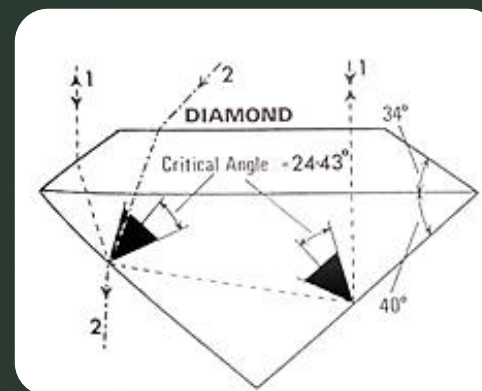
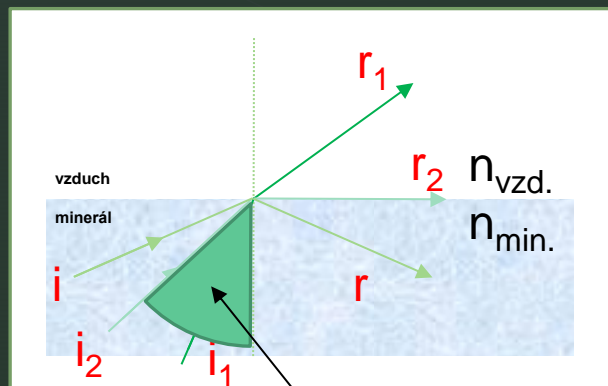
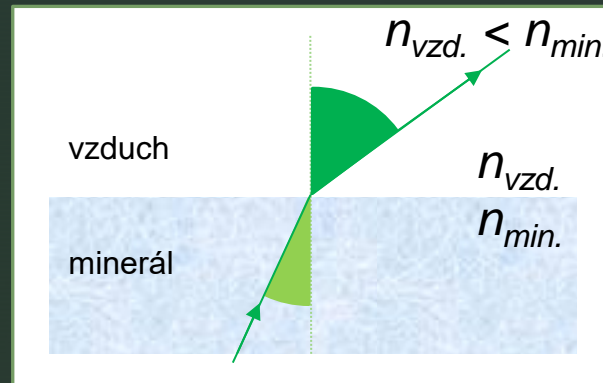
Při lomu světla je je úhel paprsku v opticky hustším prostředí menší.

Světlo - Index lomu a kritický úhel

Odraz světla



Lom světla



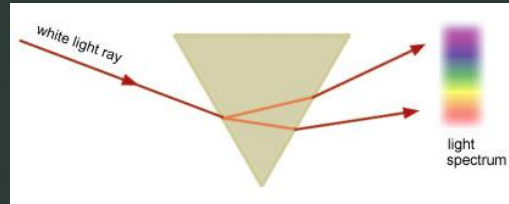
Kritický úhel – při vyšších úhlech ($i > i_2$) se již světlo odráží zpět do minerálu

S vyšším n je kritický úhel menší → minerály s vyšším n odráží (v závislosti na brusu) více světla zpět do minerálu.

Kritický úhel - demo

- https://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light_all.html

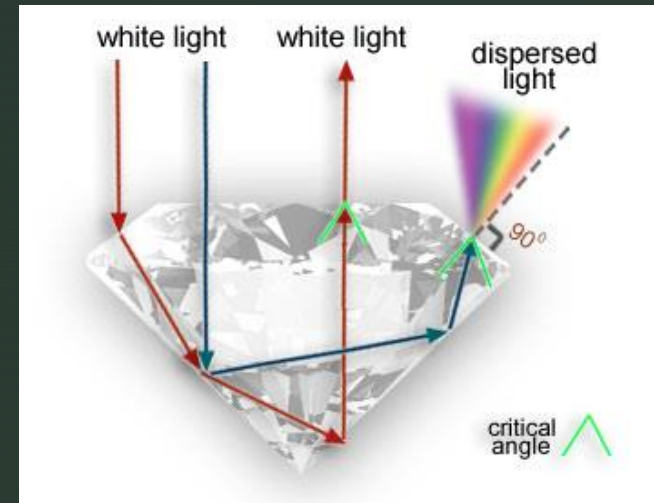
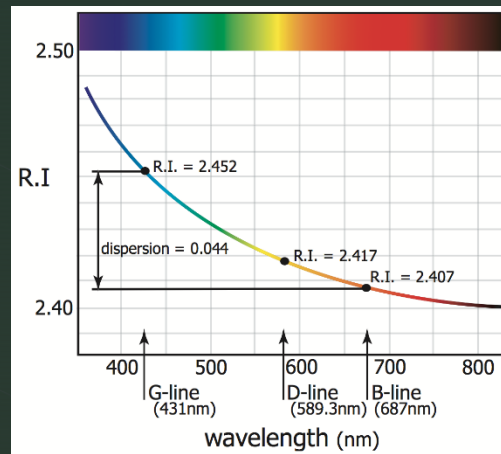




Disperze světla

Index lomu není stejný pro všechny vlnové délky světla

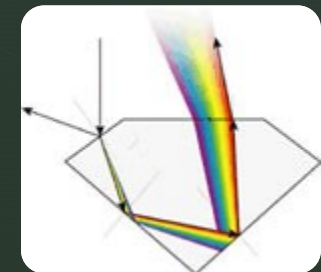
a) různé části viditelného spektra („barvy“) se lomí pod různými úhly
(= **disperze světla**)



Brus DK je možné navrhnout tak, aby vracel max. množství světla s maximální disperzí světla.



→ výsledný brus má ideálně mít jasný, jiskřivý vzhled.



Disperze světla u hlavních DK

Nízká disperze		Střední disperze		Vysoká disperze		Velmi vysoká d.	
Fluorit	0,007	Iolit	0,017	Zirkon	0,038	Moissanit	0,104
Křemenné sklo	0,010	Danburit	0,017	Pb-sklo	0,041	Sfalerit	0,156
Křemen	0,013	Turmalín	0,017	Diamant	0,044	SrTiO ₃	0,190
Apatit	0,013	Kunzit	0,017	Benitoit	0,044	Rutil	0,280
Beryl	0,014	Korund	0,018	Titanit	0,051		
Chrysoberyl	0,015	Spinel	0,020	Cerussit	0,055		
		Peridot	0,020	Cr-granát	0,057		
		Spessartin	0,027	Kubický ZrO ₂	0,066		
		YAG	0,028				

Disperze světla



Disperze světla v diamantu a jeho syntetických náhradách.



Základní tvary brusů diamantu.



broušený kalcit (1800 ct.) $n = 1,48 / 1,65$
(Smithsonian Institution)



největší broušený cerussit (898 ct, ~5 cm)
„Light of the Desert“ $n=1,8 - 2,07$
(Royal Ontario Museum)



Disperze světla
v rutilu (TiO_2)

Diamanty

