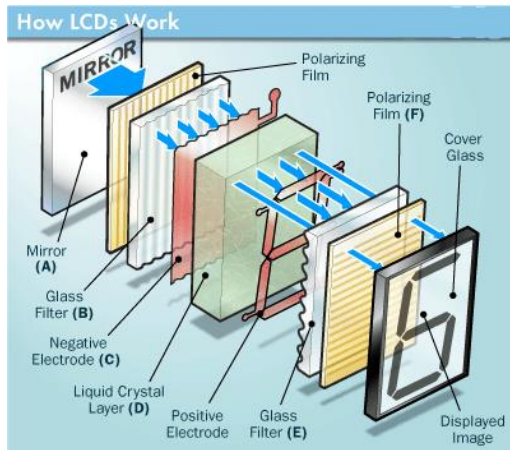


# **Polarizace**

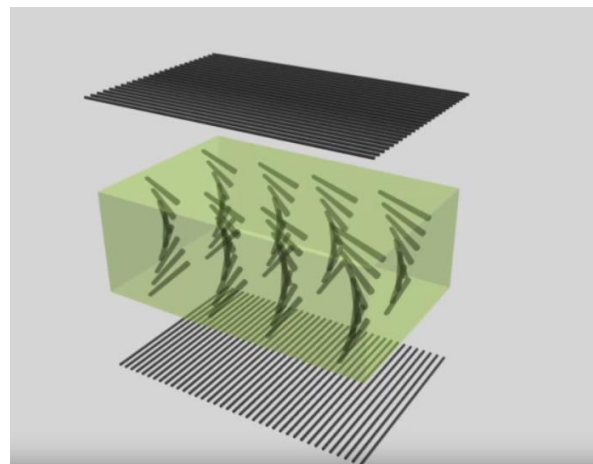
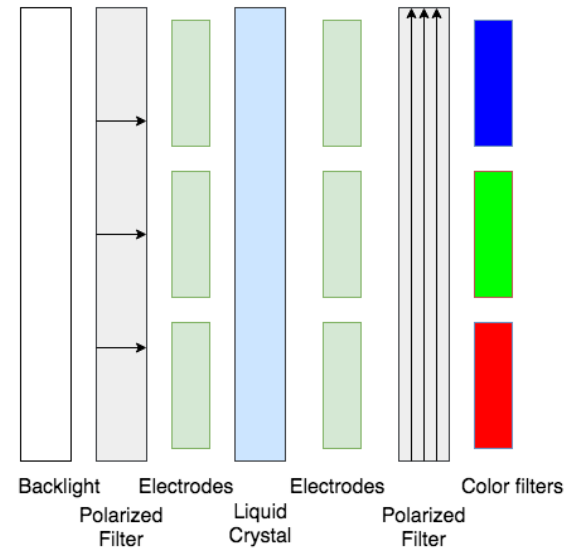
Proseminář z optiky

18.10.2017

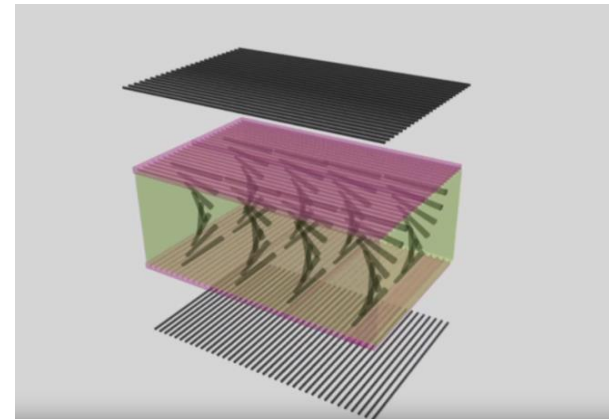
# Princip činnosti LCD monitoru



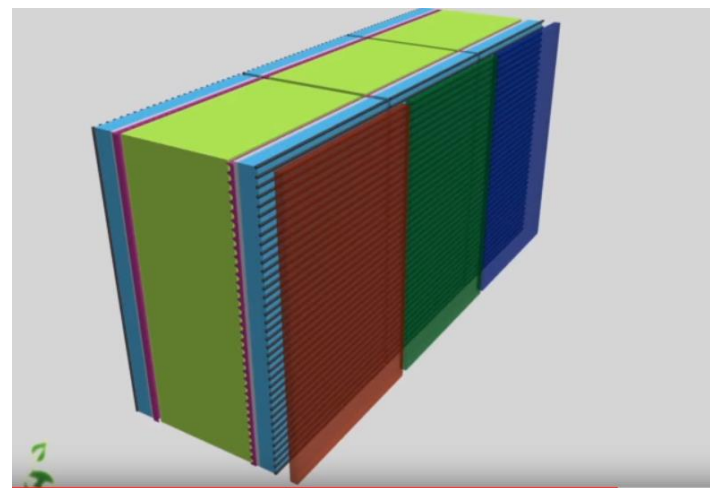
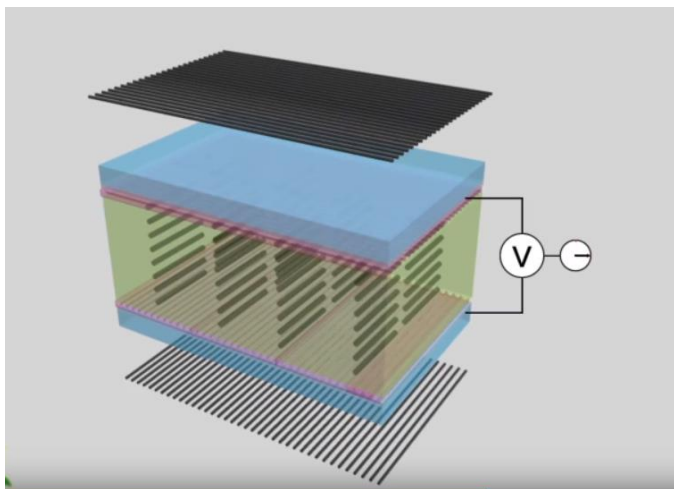
2 polarizátory navzájem kolmo orientované  
Mezi nimi LCD vrstva



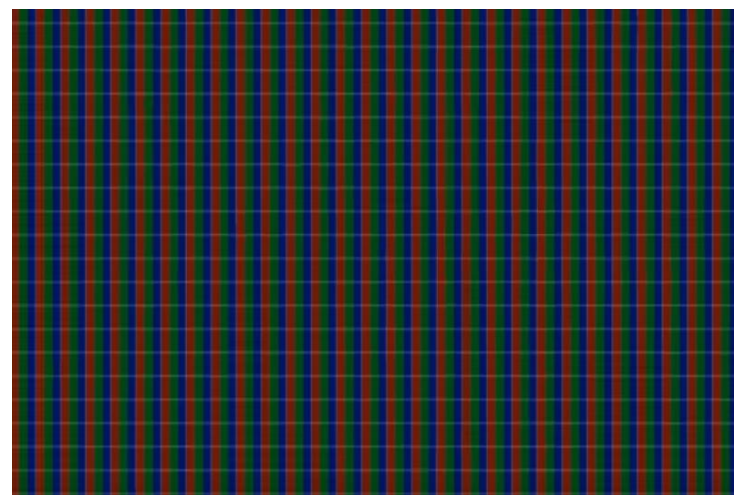
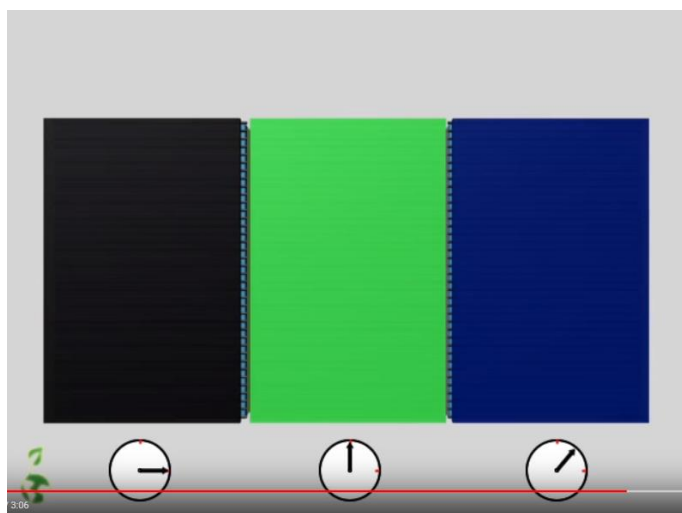
Molekuly tekutých krystalů se orientují podle drážek na elektrodách. Stáčí rovinu polarizace o 90 stupňů



Bez přiloženého napětí světlo prochází  
Po přiložení napětí se molekuly srovnají  
Po směru procházejícího proudu a světlo přestane  
procházet.



Barva pixelu se získá pomocí barevných filtrů. Napětím se reguluje intenzita světla procházejícího jednotlivými filtry.



# Mechanismy vnímání hloubky a vzdálenosti

Méně než 2m – Akomodace čočky oka

Méně než 20m – Binokulární konvergence čočky oka

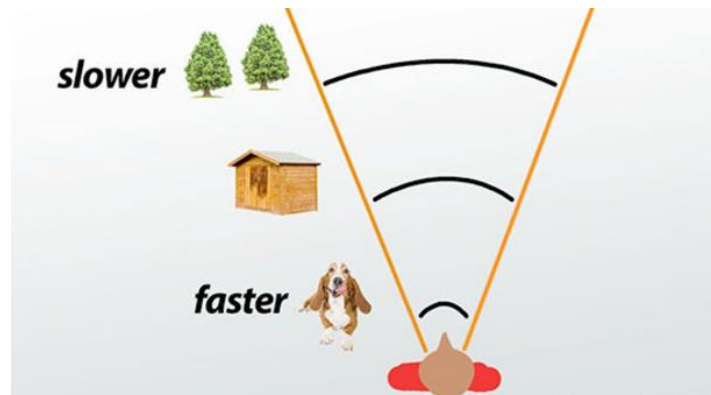
Méně než 100m – Binokulární paralaxa

Méně než 200m – paralaxa pohybu

# Monokulární vjemy vnímání hloubky

**Akomodace čočky oka** Když se oko snaží fokusovat optický systém na vzdálenější objekt, uvolní se svaly, které napínají čočku oka. Tím se změní její ohnisková vzdálenost. Informace o napětí svalů se přenesou do mozku, který to zpracuje jako informaci o změně vzdálenosti předmětu (do 2m).

**Paralaxa pohybu** je monokulární vjem, který způsobuje, že objekty které jsou blízko se zdánlivě pohybují rychleji než vzdálenější objekty. Paralaxa pohybu ovlivňuje, jak posuzujeme relativní vzdálenost.

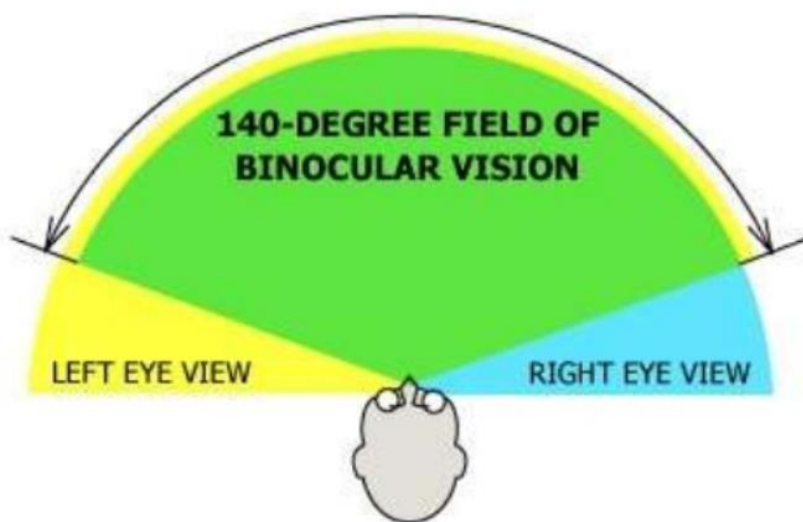


# Binokulární vidění

Mozek využívá několik triků, abychom viděli ve 3 dimenzích. Binokulární vidění je možné jen v části prostoru, kde se obrazy z obou očí překrývají.

**Binokulární vidění** znamená vidění oběma očima zároveň. Znamená to, že se obrazy vnímané simultánně oběma očima spojí v jeden a navíc nám umožňuje vnímat hloubku prostoru.

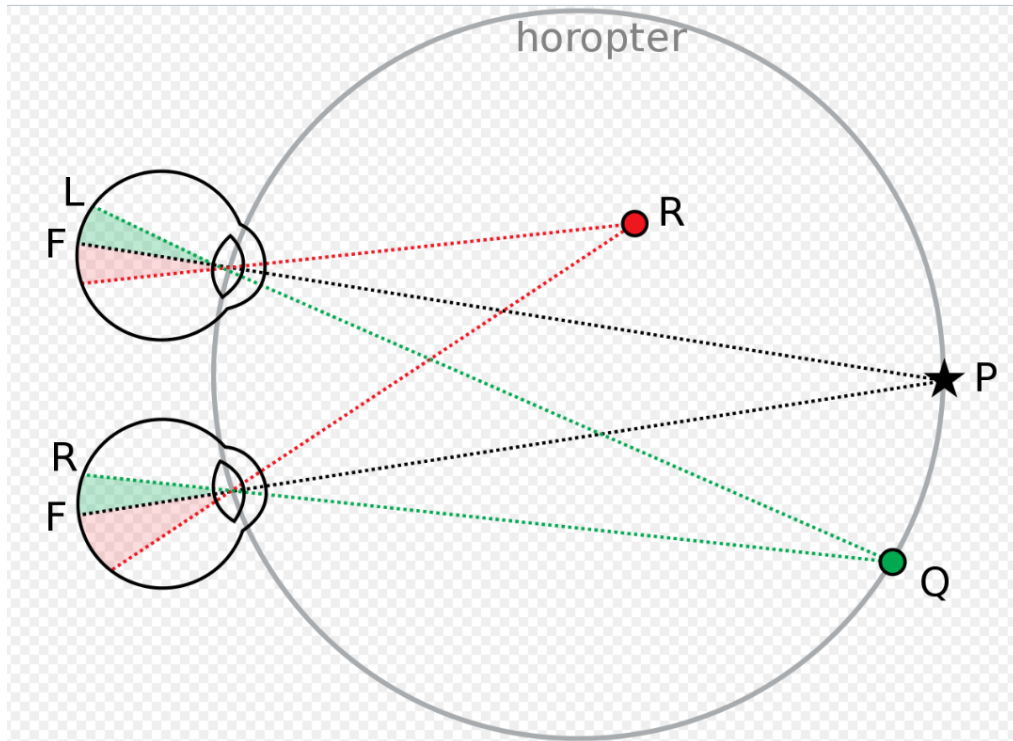
- simultánní vidění, tj. každé oko vnímá svůj obraz okolí
- fúze, tj. obraz okolí je vnímán oběma očima jako jeden vjem
- stereopse, tj. schopnost vytvořit hloubkový vjem, vzniká trojrozměrný obraz



Je-li objekt blízko, mozek odhadne vzdálenost podle míry konvergence paprsků vstupujících z objektu do očí.



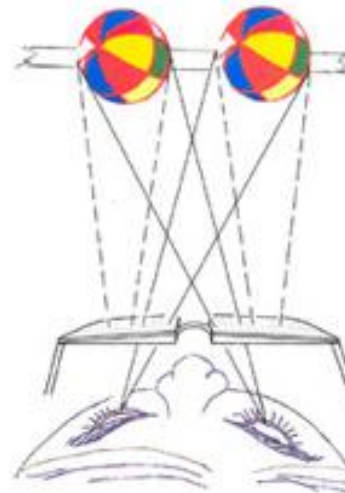
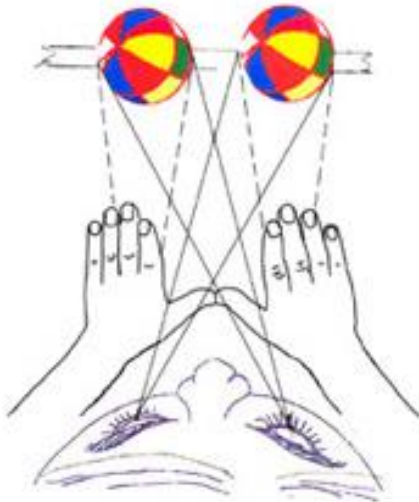
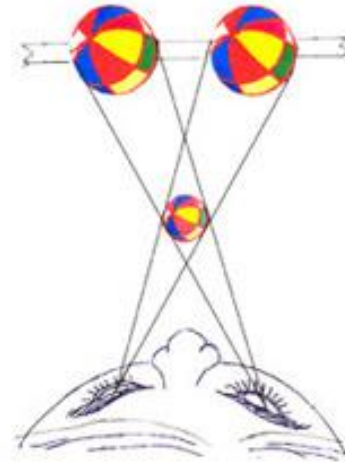
# Binokulární vidění



Mějme v prostoru bod P, na který je zaměřen zrak a který vytváří obrazy na sítnicích obou očí. Dále mějme bod Q v prostoru, který vytvoří taktéž obrazy na sítnicích obou očí. Tyto obrazy (L a R) jsou na sítnici ve stejné vzdálenosti od obrazů (F) bodu P. Všechny takové body, jejichž obrazy na sítnicích jsou stejně vzdálené, mají nulovou disparitu a vnímáme je ve stejné hloubce. Říkáme o nich, že leží na horopteru.

# Stereoskopie

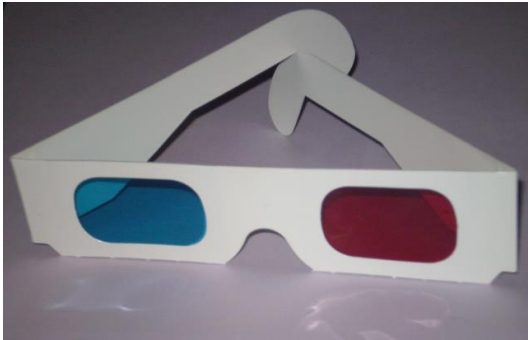
Pro správné vnímání prostoru lidskýma očima je potřeba pro každé oko dodat mírně odlišný obraz.



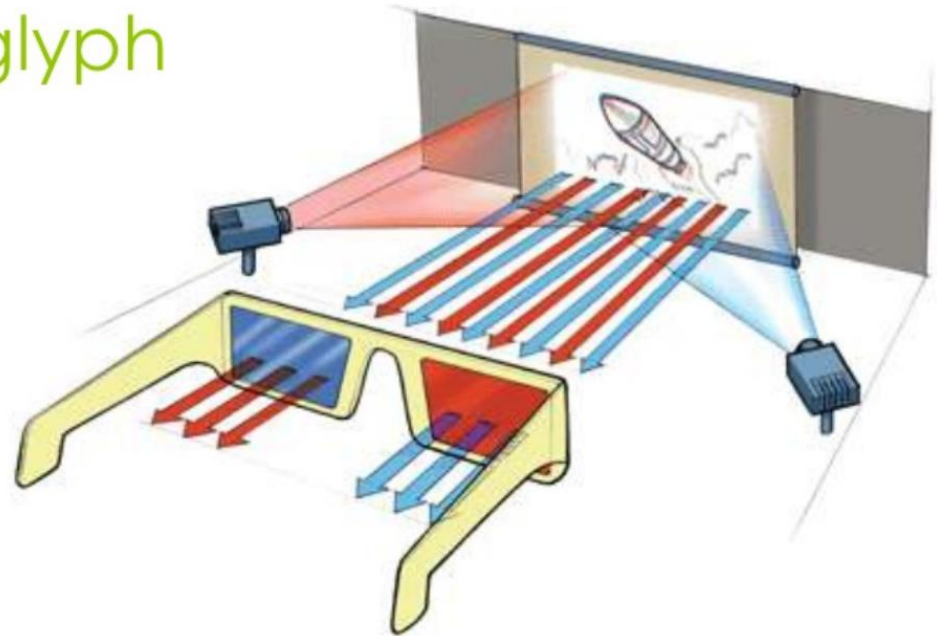


# Anaglyf

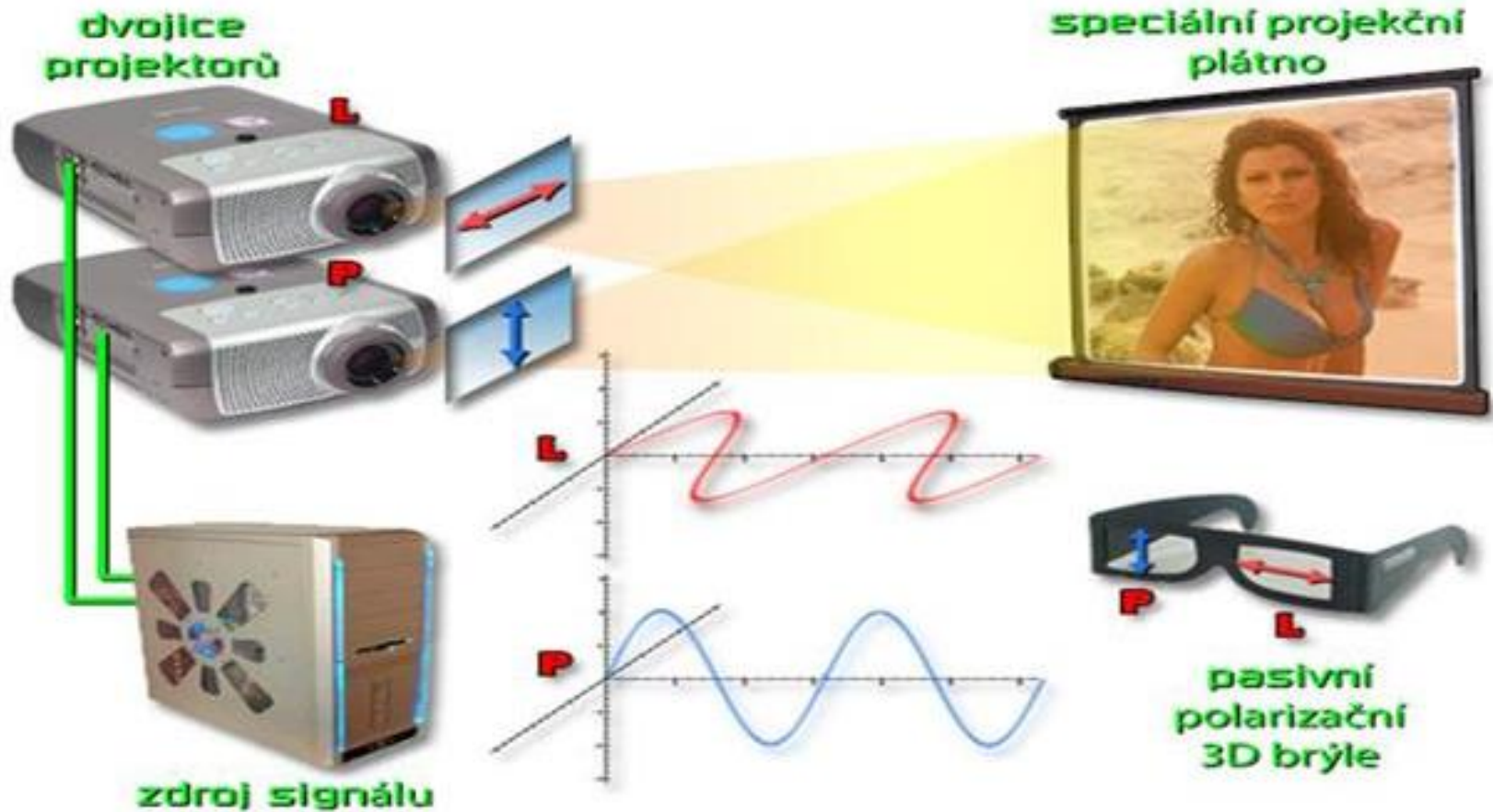
**Anaglyf** je jedna ze stereoskopických technik, která umožňuje uživateli prostorově vnímat obrazy, fotografie, grafy, filmy a podobná grafická díla. Tato poměrně dlouho známá metoda využívá rozložení obrazů pro levé a pravé oko na barevné složky (obvykle modrozelenou a červenou). Pro vytvoření anaglyfu je třeba mít k dispozici dva záběry jedné scény - pohled levým okem a pohled pravým okem a odpovídající software a hardware. Pro prohlížení anaglyfu je třeba použít speciální brýle s barevnými průzory - modrozeleným a červeným.



Anaglyph



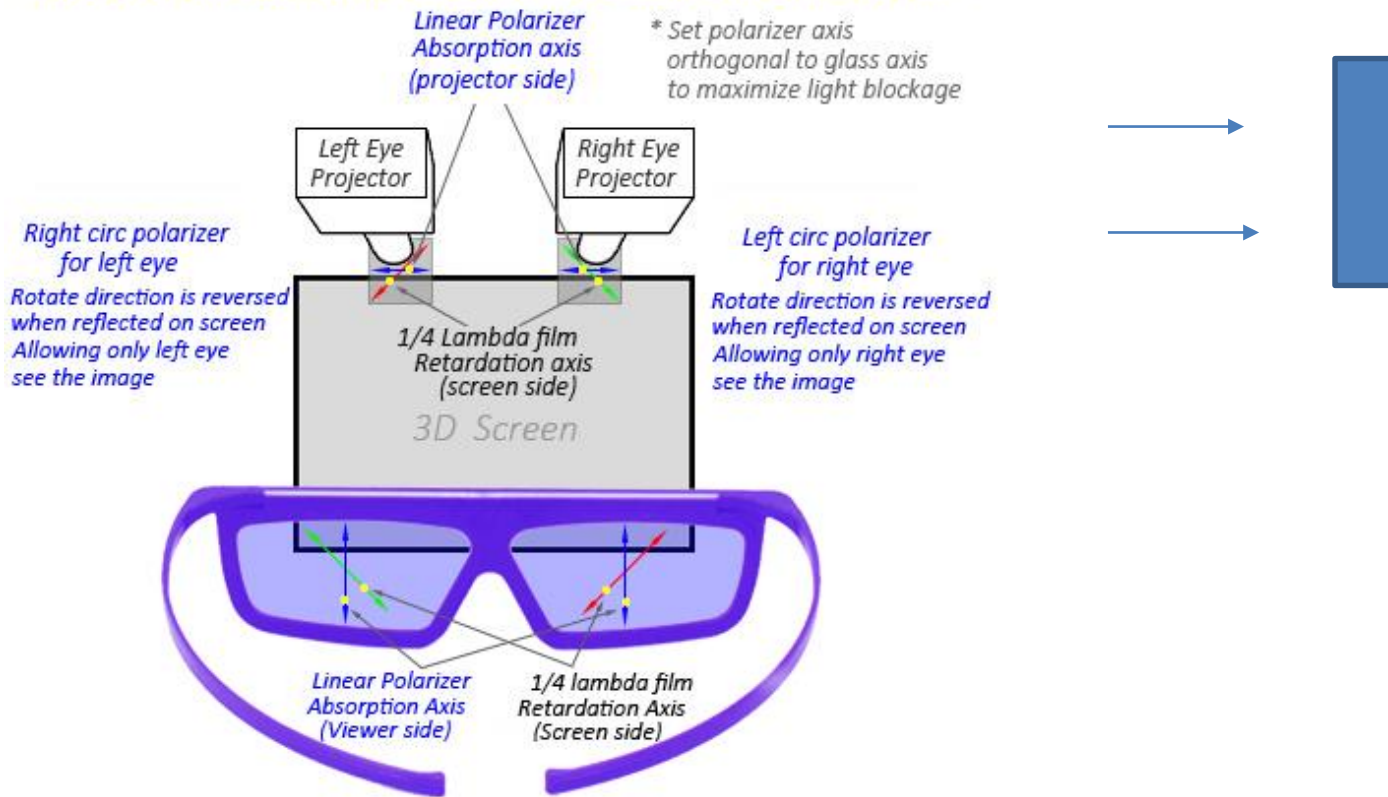
# Pasivní projekce (využití lineárně polarizovaného světla)



# Pasivní projekce (využití kruhově polarizovaného světla)

*Circular Polarizer 3D Glass - SA3D-CVI (Real-D type)*

*Absorption axis = Vertical on both eye / Right = Right Circ, Left = Left Circ*



# Pasivní a aktivní 3D projekce

- Pasivní 3D projekce
- Kamery jsou dvě vedle sebe a každá má svůj vlastní pásek. V kině se potom promítají oba pásy najednou ze dvou promítaček vedle sebe (pod sebou). Pravý a levý obraz je od sebe odlišen horizontální a vertikální polarizací, které zase rozdělí filtr na brýlích, většinou papírových. Tato metoda je levná, sledovat film může velké množství lidí, ale je potřeba dvě promítačky a speciální plátno.
- Aktivní 3D projekce
- kamera zvaná stereoskopická natáčí dva obrazy zároveň, čočky kamery jsou od sebe vzdáleny jako oči (cca 65mm). Obraz se střídavě zaznamenává na pásku jednou z levé čočky a potom z druhé čočky. Takže z 10 snímků je 5 levých a 5 pravých. V kinech se potom promítají na plátno dvojnásobnou rychlostí dva obrazy v jednom a pomocí brýlí, se obrazy rozdělí pro každé oko zvlášť, takže vidíme obraz trojrozměrně.

# Aktivní 3D projekce



Z jednoho zdroje - se přivádí 3D obraz do projektoru ve speciálním formátu. Datový tok je dvojnásobný, protože v sobě nese střídavě obrazy pro levé a pravé oko. 3D projektor obrazy zpracuje a korektně sekvenčně zobrazuje na projekční ploše. Pro oddělení obrazů se využívají aktivní 3D brýle. Brýle jsou dálkově řízeny signálem. LCD panel v brýlích střídavě zneprůhlední pravou očníci po dobu, kdy je promítán obraz pro levé oko a zcela analogicky se zakryje levá očníce po dobu projekce pravého obrazu.

# Dvojlom – základní koncepty

Dvojlomný materiál vykazuje závislost indexu lomu na polarizaci a směru šíření světla

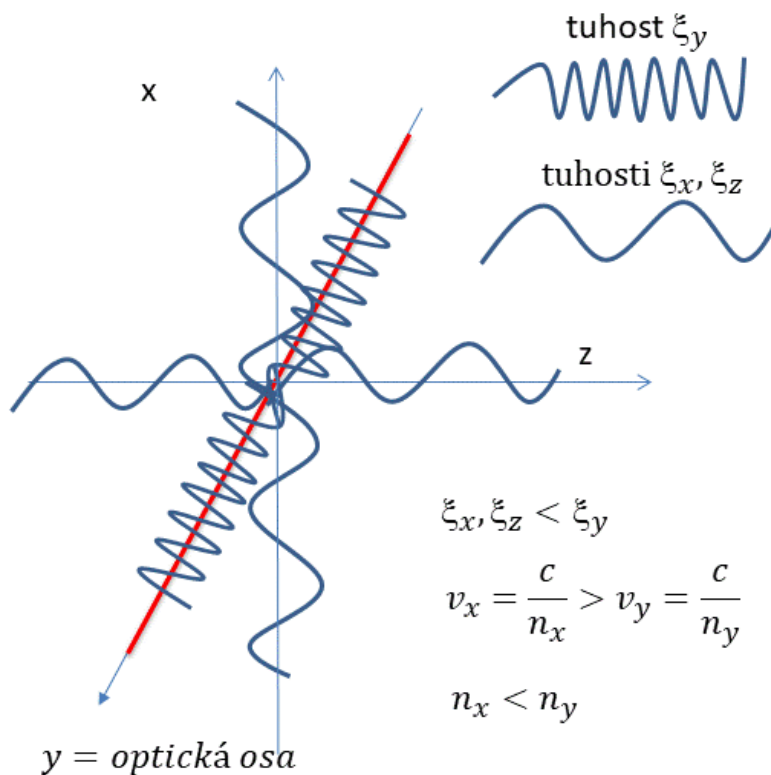
Dvojlom se dělí na kruhový a lineární

Dvojlom mohou vyvolat vnější pole a jejich gradienty

Přirozená optická aktivita se vztahuje na materiály, které vykazují dvojlom bez vnějších polí

# Lineární dvojlom

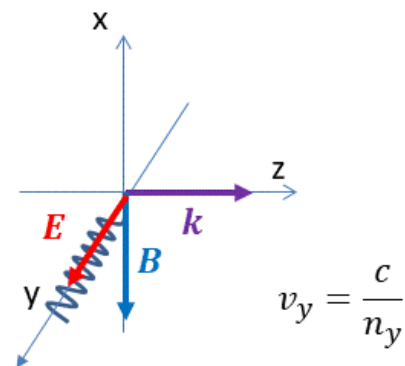
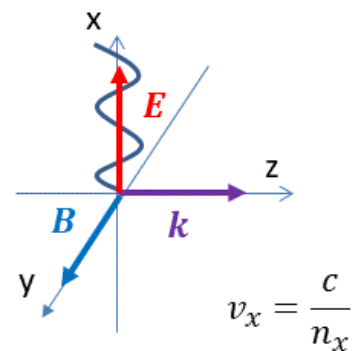
Jev, při kterém se látkou mohou šířit s vlastními indexy lomu lineárně polarizované vlny určitých, navzájem kolmých směrů polarizace



$$\xi_x, \xi_z < \xi_y$$

$$v_x = \frac{c}{n_x} > v_y = \frac{c}{n_y}$$

$$n_x < n_y$$



# Optická aktivita

**Optická aktivita** (též **optická otáčivost**, **optická stáčivost**) je schopnost některých látek (chirální) stáčet rovinu polarizovaného světla

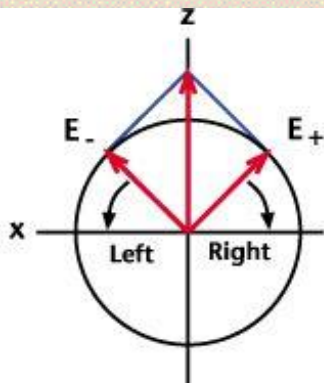
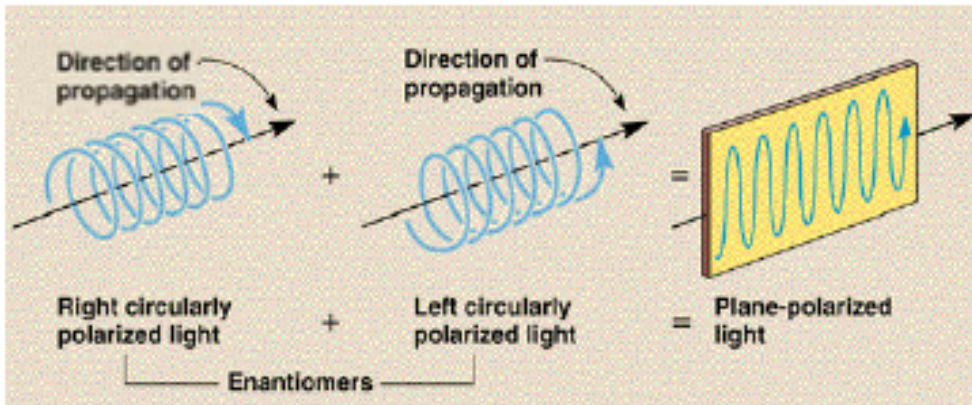
- **Opticky aktivní látky**
- Látky vyznačující se optickou aktivitou se označují jako **opticky aktivní**. Mezi opticky aktivní látky patří některé krystaly (např. křemen) a některé kapaliny (různé organické kapaliny, např. roztok cukru).
- Samotné stáčení polarizační roviny se označuje jako **rotační polarizace**. Pro rotační polarizaci platí tzv. Biotovy zákony



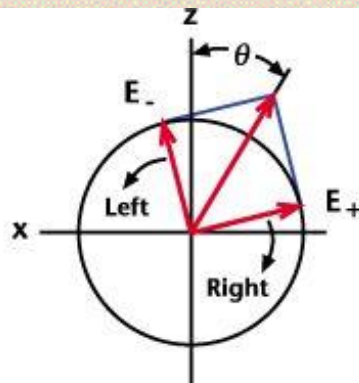
# Kruhový dvojlom

Látkou se šíří vlny, které mají vlastní indexy lomu vlny pravotočivě a levotočivě kruhově polarizovaného světla

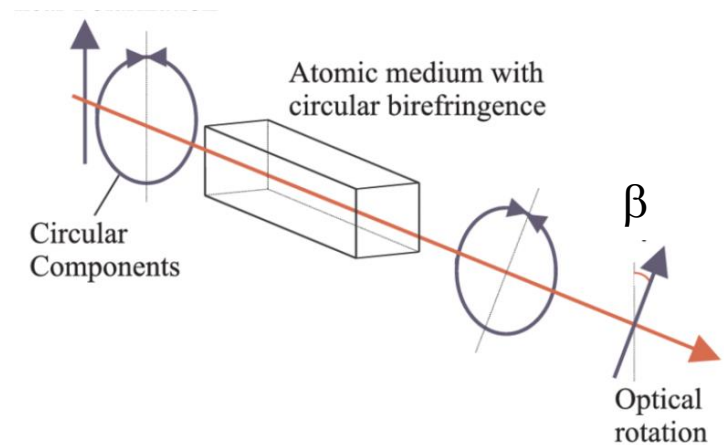
Když vstupuje lineárně polarizované světlo do opticky aktivního materiálu, rozloží se oscilující vektor  $E$  do dvou složek kruhově polarizovaného světla (levotočivé a pravotočivé) o stejné amplitudě. V důsledku různé rychlosti šíření obou složek (různý index lomu) daného vnitřní strukturou materiálu, dojde na výstupu se vzorku po opětovném složení obou kruhově polarizovaných složek k stočení roviny polarizace lineárně polarizovaného světla.



Incident light



Exiting light



$$\beta = \frac{\pi d(n_L - n_R)}{\lambda}$$

# Stručná historie optické aktivity



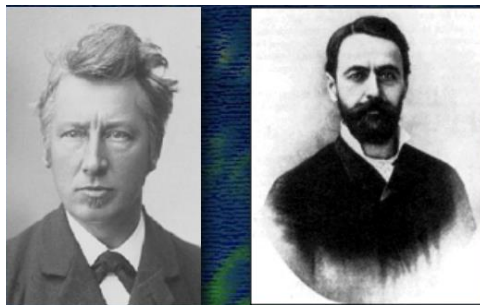
François Arago  
(1786-1853)

1810 D.F. Arago pozoroval stočení polarizovaného světla při průchodu destičkou křemene, které záviselo na vlnové délce  
Oeuvre completes, 10, 54 (1810)



Jean-Baptiste Biot  
(1774-1862)

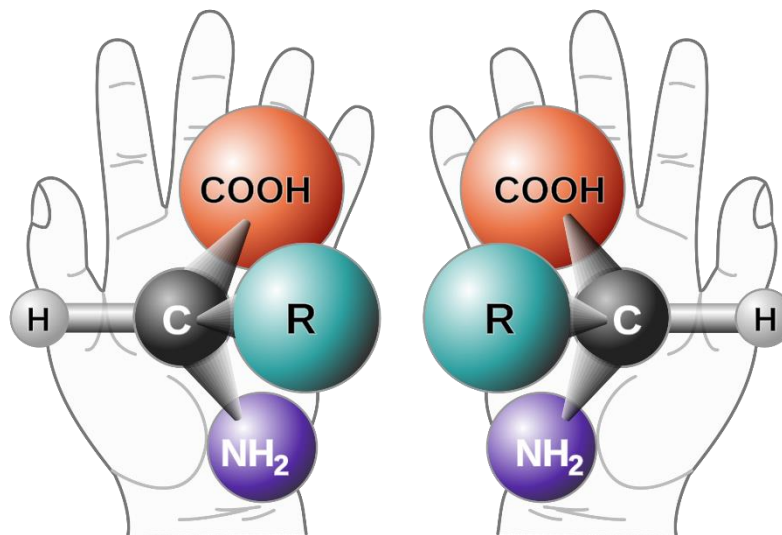
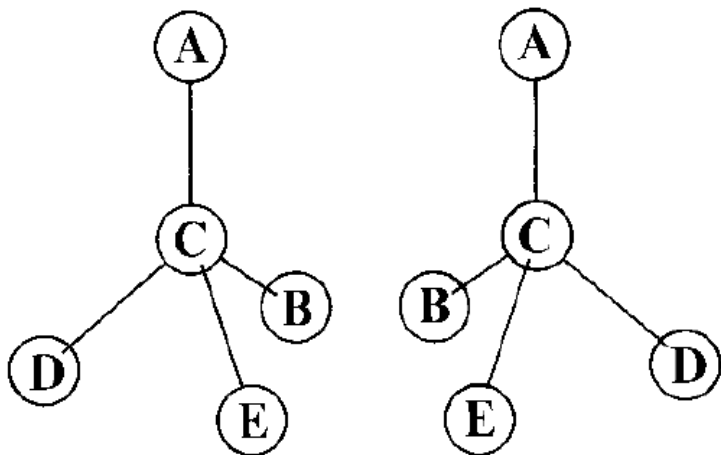
1811 J.B. Biot zjistil, že roztoky cukru vykazují stejný efekt a připsal to nějaké neznámé charakteristice jejich molekulární struktury  
(Mém. L'Institut, Class.Math.Phys. 12, 135 (1811))



1874 J.v.Hoff a A.Le Bel navrhli, že optická aktivita je důsledkem asymetrického uspořádání atomů v molekulách

# Optická aktivita - stereochemie

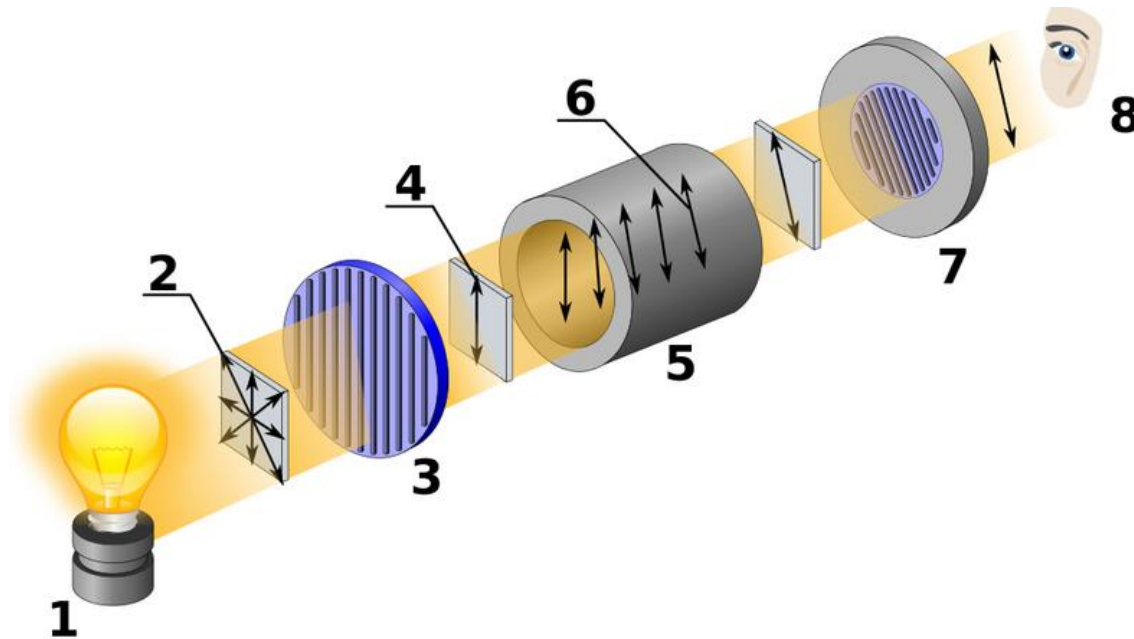
**Enantiomery** (nebo také **optické antipody**) jsou dvě látky, které mají stejný sumární vzorec i strukturní vzorec, prostorové uspořádání jejich molekuly jsou však zrcadlové obrazy a současně je nelze ztotožnit, jinými slovy mají se k sobě jako pravá a levá ruka (nemají rovinu symetrie)



Enantiomery jsou opticky aktivní látky schopné stáčet rovinu polarizace světla.

# Polarimetrie

Polarimetrie je analytická metoda založená na měření úhlu otočení roviny polarizovaného světla při průchodu přes roztok opticky aktivní látky. Na polarimetru se provede měření úhlu otočení roviny polarizovaného světla při průchodu polarizovaného záření přes vzorek



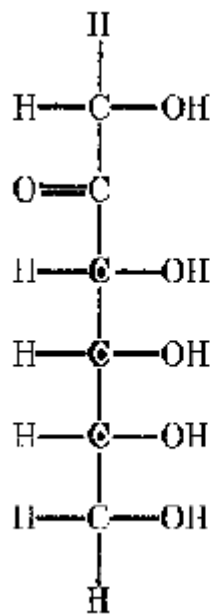
1 – Zdroj nepolarizovaného světla, 2 – zobrazení náhodné polarizace světla vystupujícího ze zdroje, 3 – Polarizátor, 4 - Lineárně polarizované světlo na výstupu z polarizátoru, 5,6 – opticky aktivní prostředí, 7 – Lineárně polarizované světlo se stočenou rovinou polarizace, 7 – Analyzátor, 8- Pozorovatel (detektor)

Specifická optická otáčivost je charakteristikou opticky aktivních látek; udává úhel otočení polarizovaného světla chemicky jednotnou kapalinou, jejíž hustota je 1g/ml, při tloušťce vrstvy roztoku 1dm, teplotě 20°C a vlnové délce záření odpovídající D-linii sodíkového světla

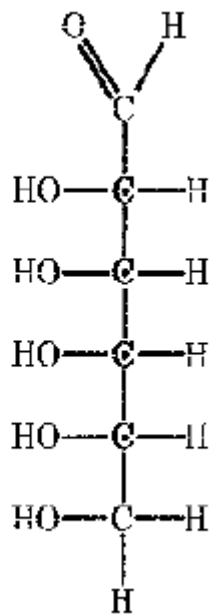
$$[\alpha]_D^{20} = \frac{1000 \cdot \alpha}{l \cdot c}$$

Opticky aktivní látka	$[\alpha]_D^{20}$
Kyselina glutamová	+31
Kyselina askorbová	+21
Kodein monohydrát	-144
Fruktóza	- 92
Sacharóza	+67
Glukóza	+53

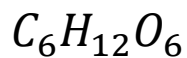
$[\alpha]_D^{20}$ - specifická optická otáčivost,  $\alpha$  - úhel otočení roviny polarizovaného světla [°],  $l$  – délka kyvety [dm],  $c$  – koncentrace měřeného roztoku [g/l]



Fruktóza  
(levotočivá)

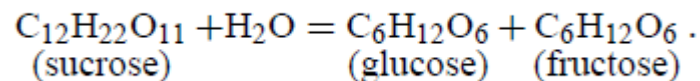


Glukóza  
(pravotočivá)



### Specifická otáčivost

Sucrose (cane/beet sugar)	+66.5	
Invert sugar	-19.4	
<i>d</i> -glucose (grape sugar, dextrose)	+112	+52.7
<i>l</i> -fructose (fruit sugar, laevulose)	-132	-92.4



Fruktóza je více opticky aktivní než glukóza,  
Směs obou cukrů ve stejném poměru  
je levotočivá

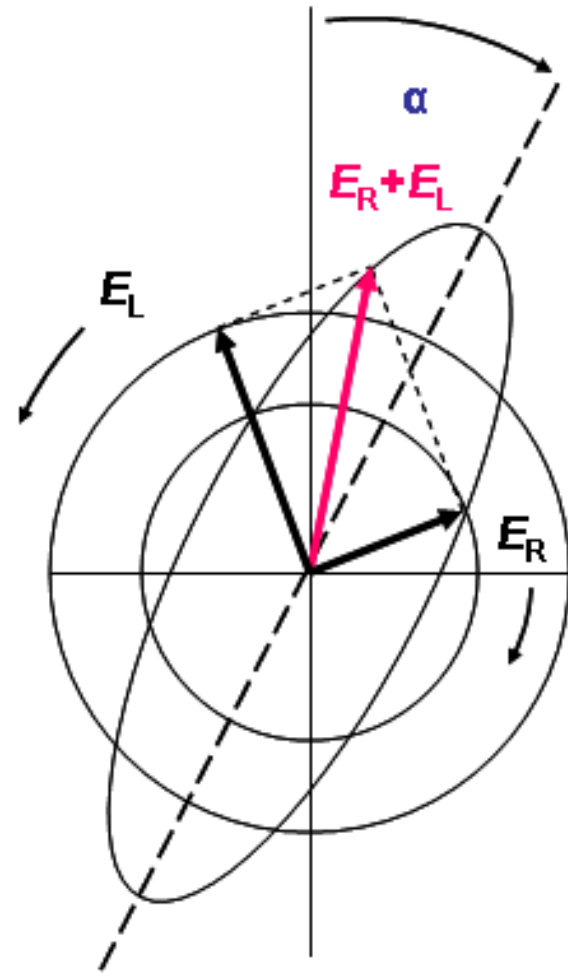
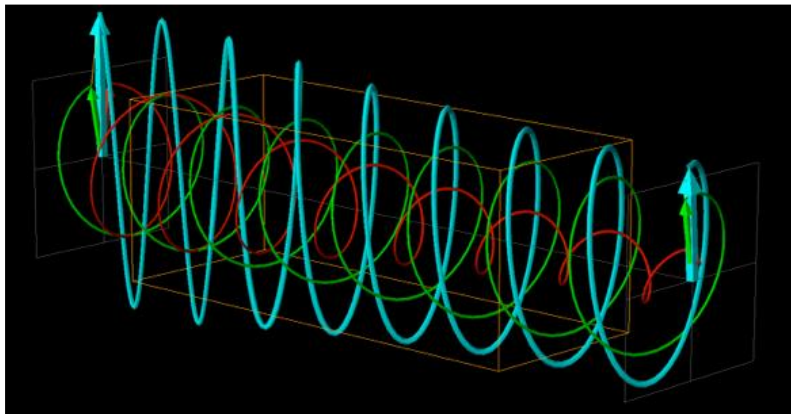
# Cirkulární dichroismus

- CD je rozdílná absorpance látky levo- a pravotočivého kruhově polarizovaného světla

$$\Delta A = A_L - A_R$$

$$\Delta A = (\Delta \varepsilon)cl$$

- Měří se CD spektrometrem
- Jev CD objevil Aimé Cotton 1896
- CD se používá např. k určování sek. struktury biomakromolekul, teploty tání makromolekul apod.



# Polarizace rozptylem

K polarizaci rozptylem dochází v případě interakce světla s částicemi mnohem menšími, než je vlnová délka světla.

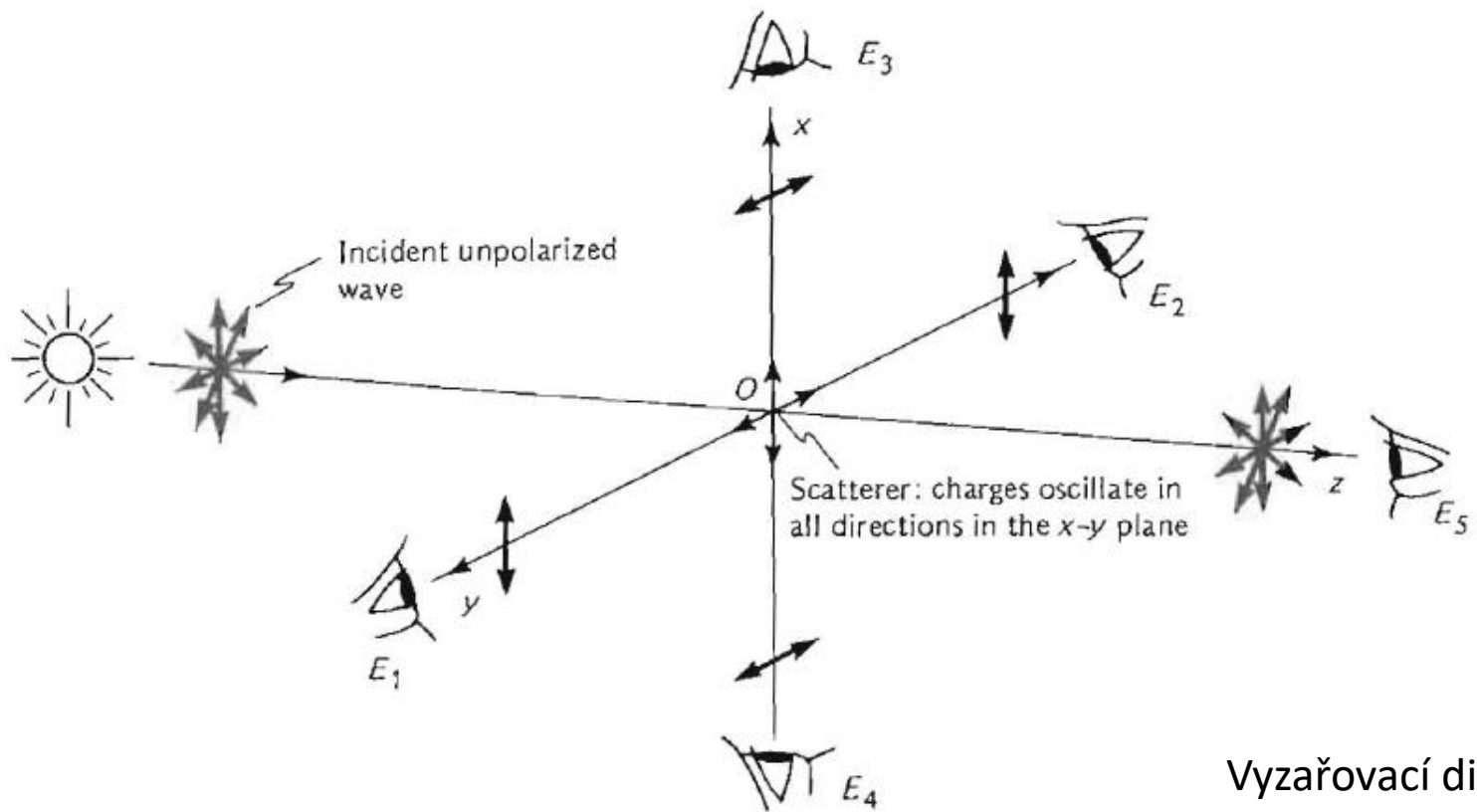
Částice nesmějí být pravidelně uspořádány (v tomto případě díky vzájemné interferenci vyzářené radiace postupuje látkou jen propuštěná rovinná vlna (viz Odraz a lom).

Např ve vzduchu dochází ke fluktuaci hustoty rozptylových center.

V těchto podmínkách je aktivní tzv. Rayleigho rozptyl

$$i_{\theta} = I_{\circ} \cdot \frac{\pi^2 \cdot \alpha^2}{\epsilon_0^2 \cdot \lambda^4} \cdot \frac{F(\theta)}{r^2}$$

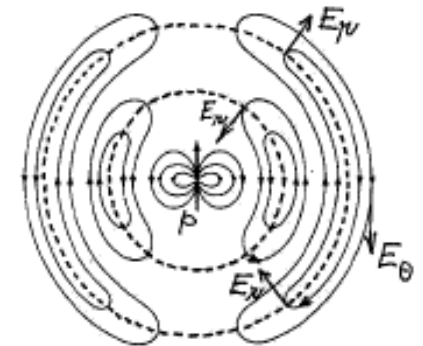




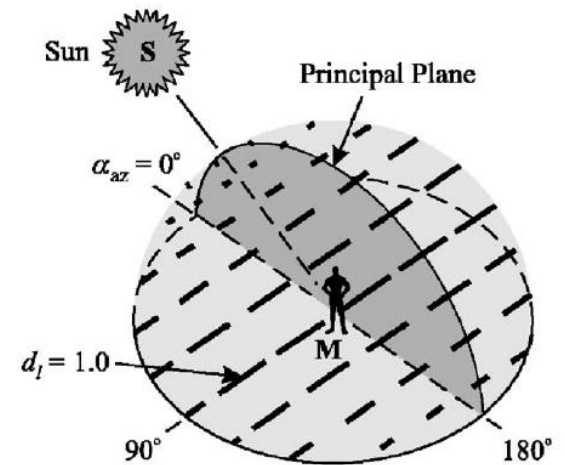
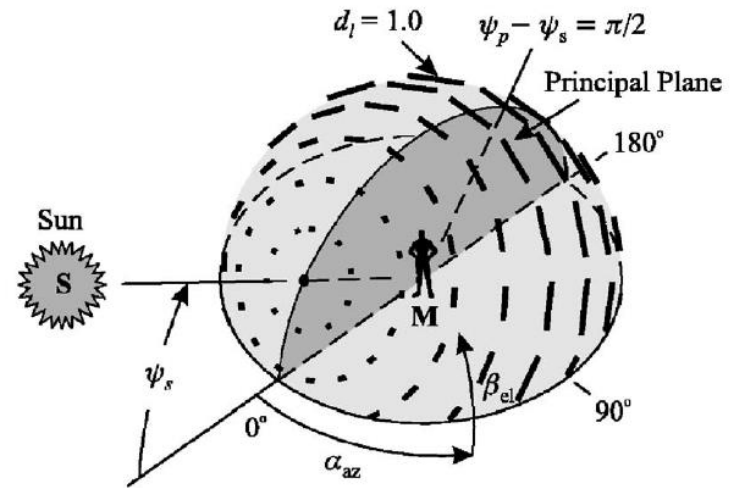
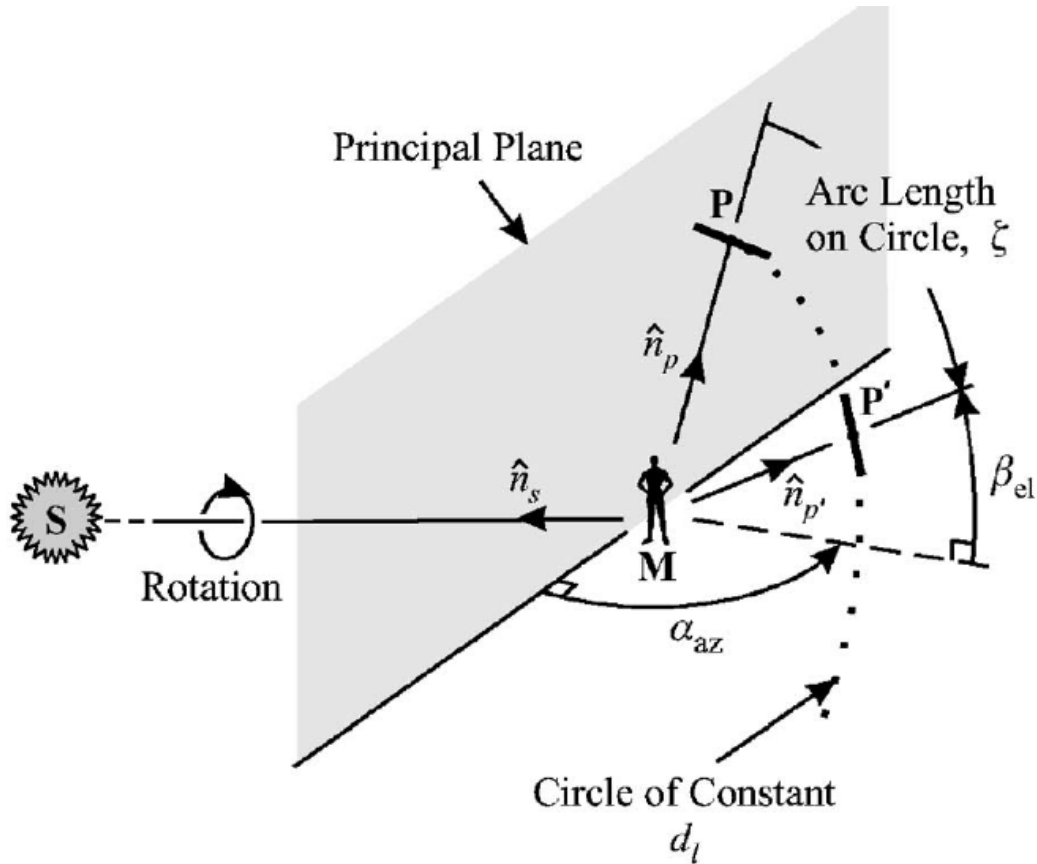
Vyzařovací diagram jednoho dipólu

Rozptylový objem obsahuje dipóly všech orientací. Dopadající nepolarizované světlo rozkmitá dipóly ve všech směrech v rovině  $xy$

Pozorovatel v závislosti na úhlu pohledu vůči rozptylovému objemu vidí světlo nepolarizované (ve směru  $z$ ),  
 Lineárně polarizované (v libovolném směru v rovině  $xy$ ) nebo  
 Částečně polarizované (při pohledu v obecném směru vzhledem k rozptylovému objemu)

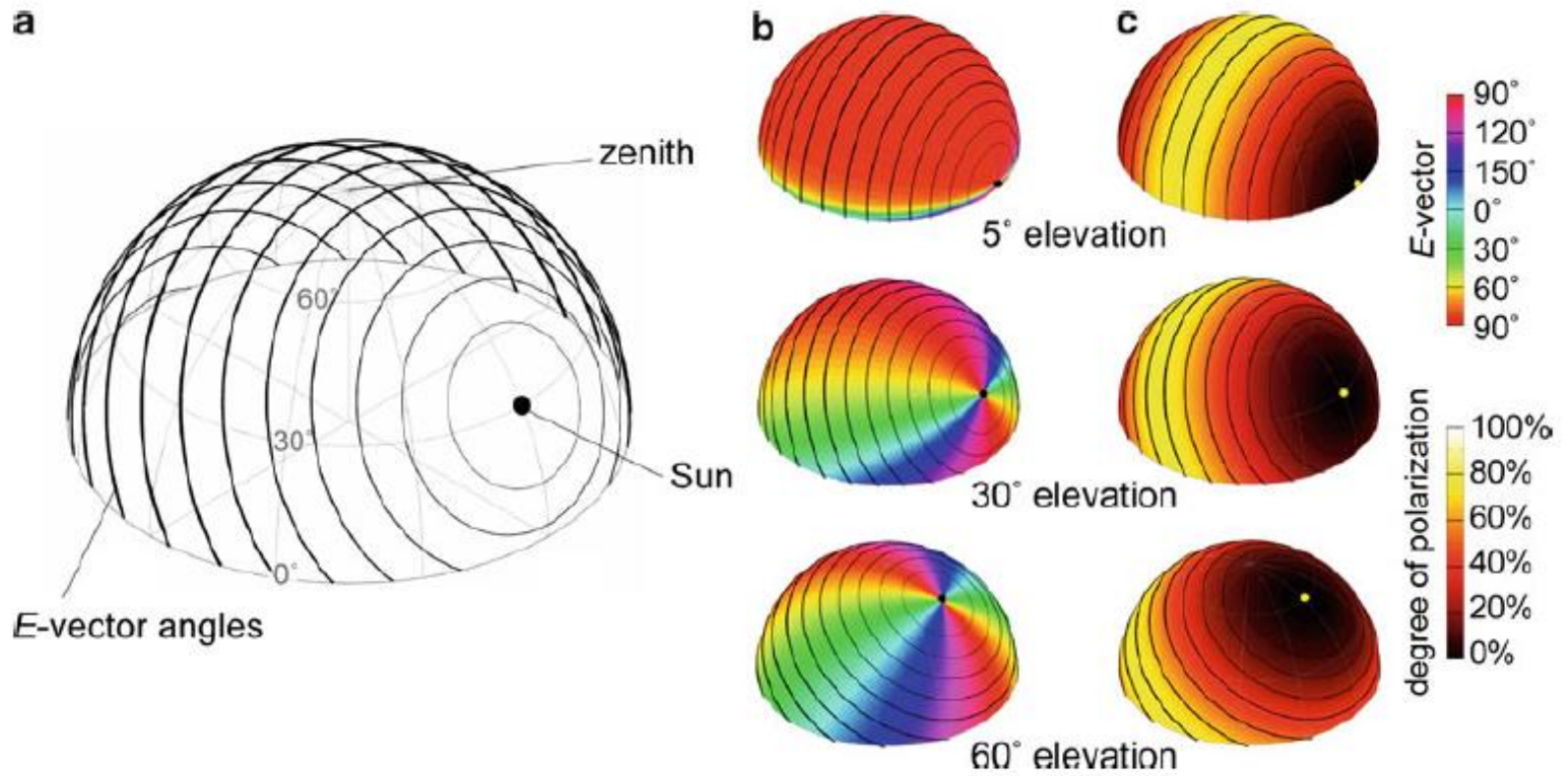


# Polarizace oblohy III

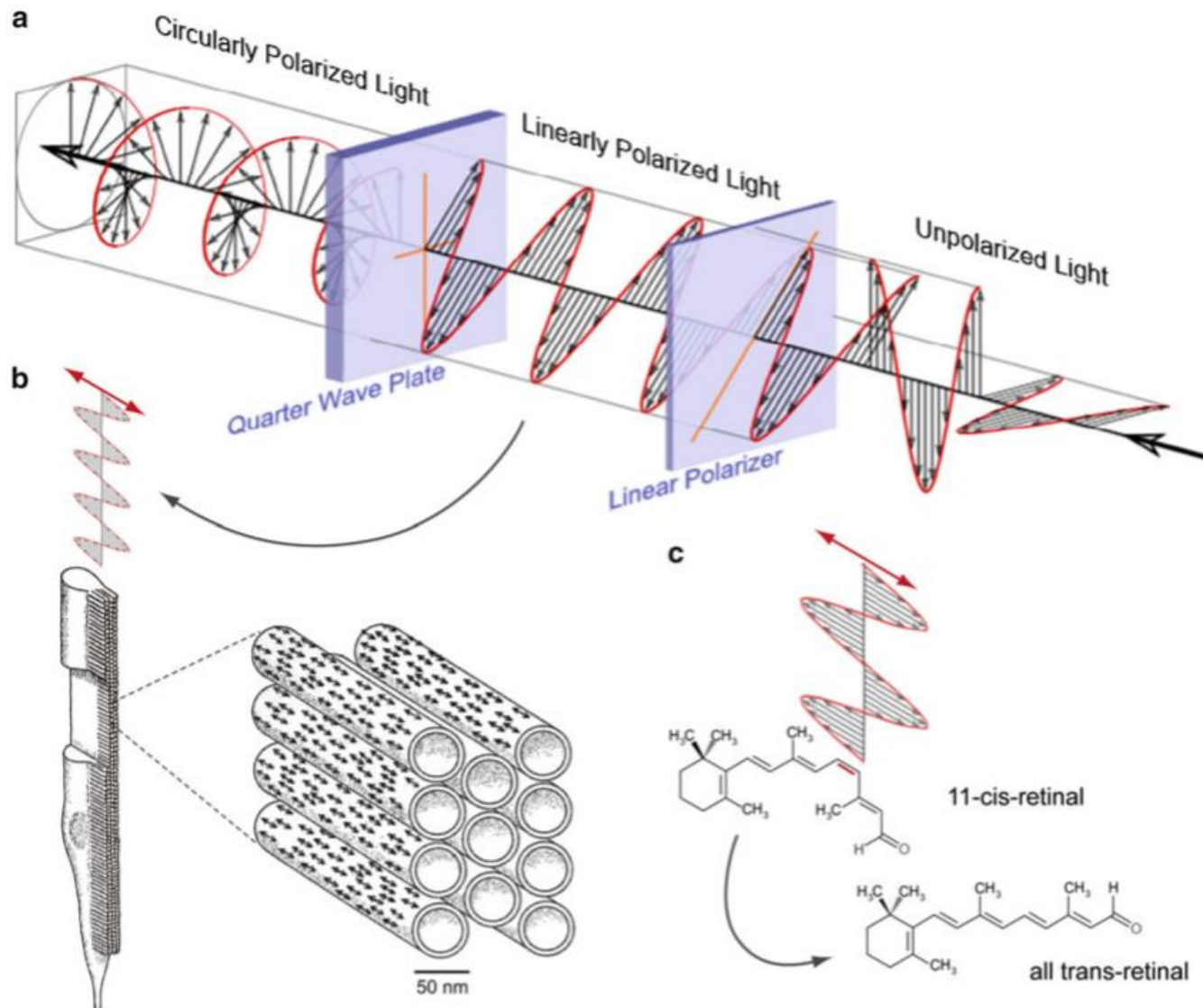


G.Smith, Am.J.Phys. 75(1), 2007

# Polarizace oblohy IV



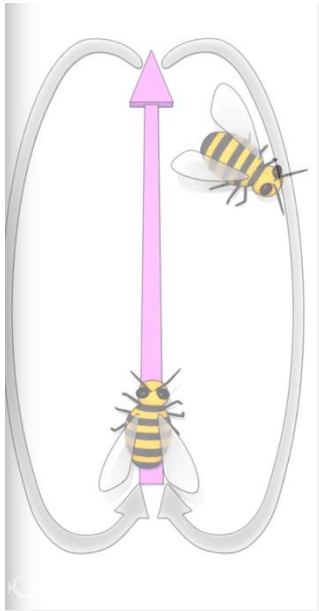
# Mechanismus polarizovaného vidění



# Využití polarizace oblohy k orientaci

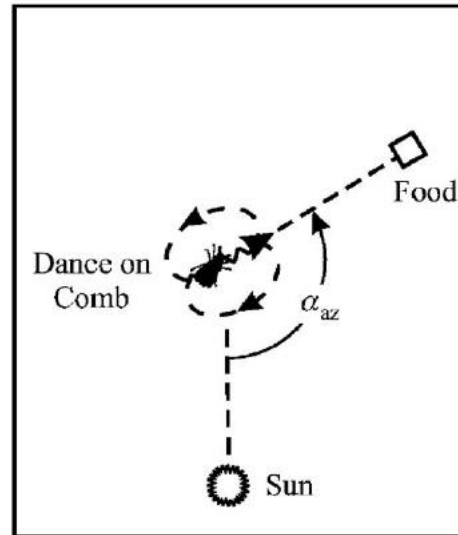
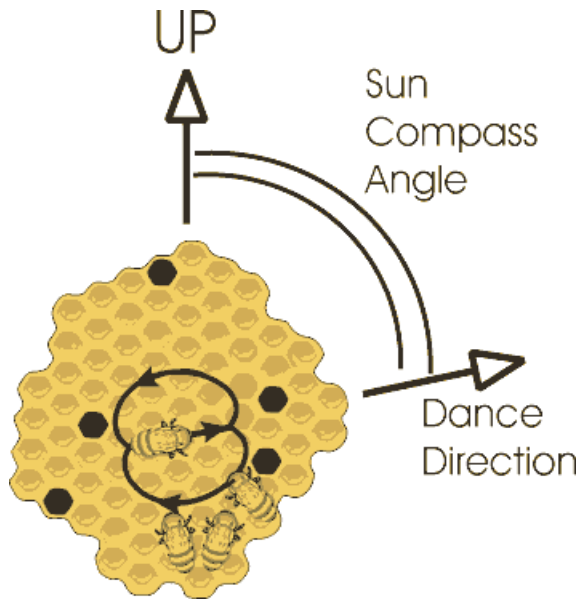
Vikingové – mořeplavba

Včely - sdělení o směru, kde se nachází potrava, orientace v prostoru v případě že není vidět slunce ale je vidět část oblohy

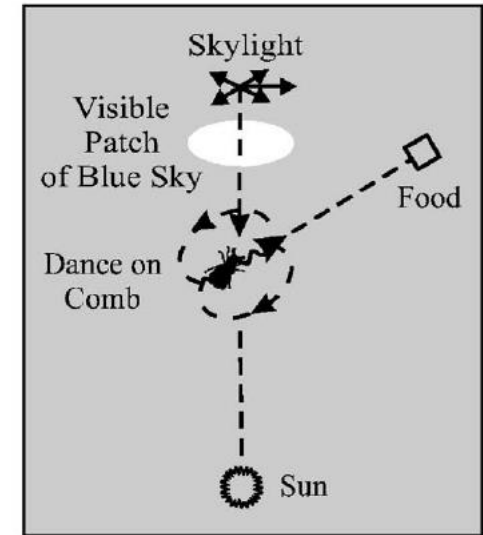


Směr pohybu vyjadřuje orientaci vůči slunci

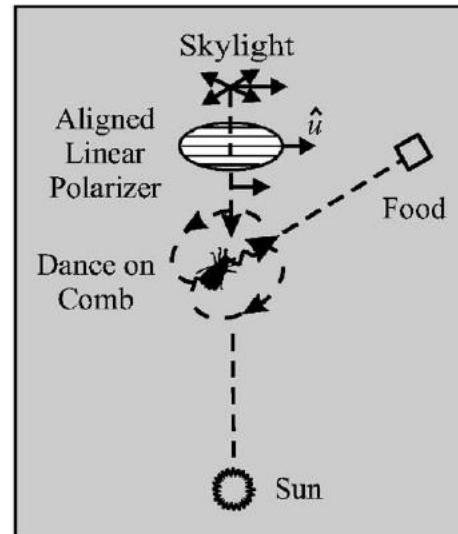
# Využití polarizace oblohy k orientaci



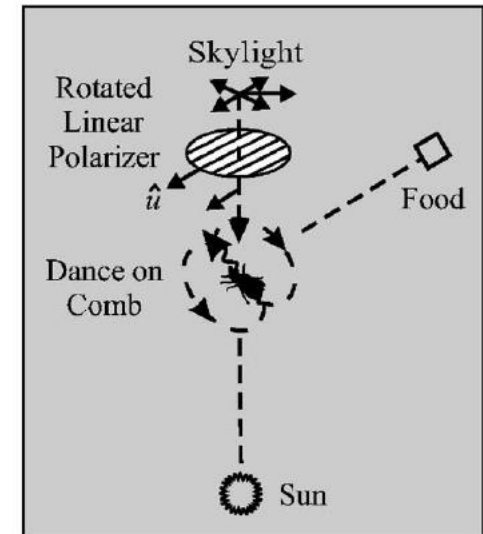
(a)



(b)

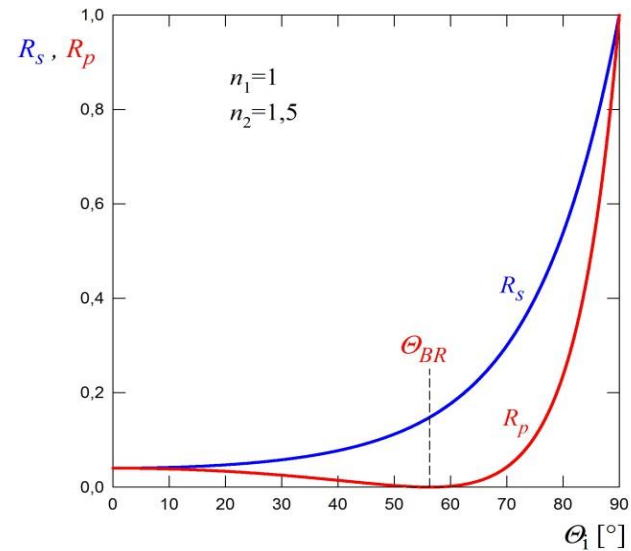
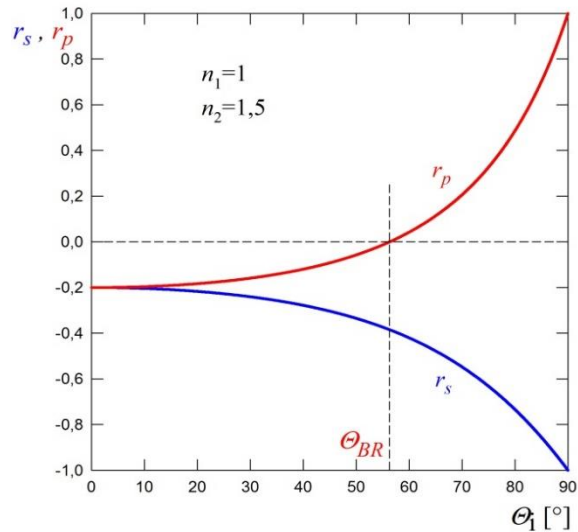


(c)

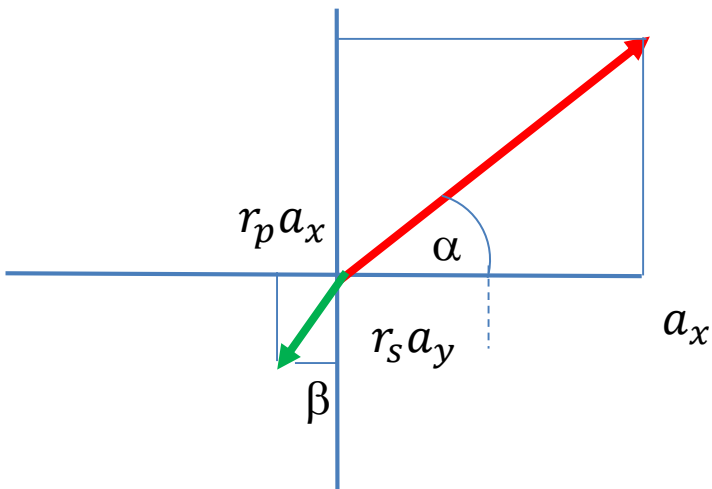


(d)

# Odraz na dielektriku (s vyloučením totálního odrazu)

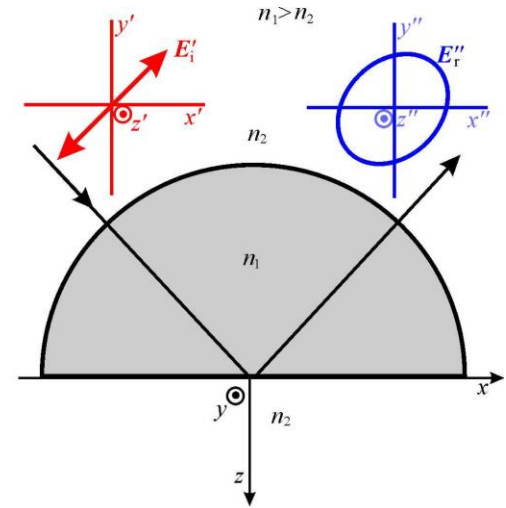
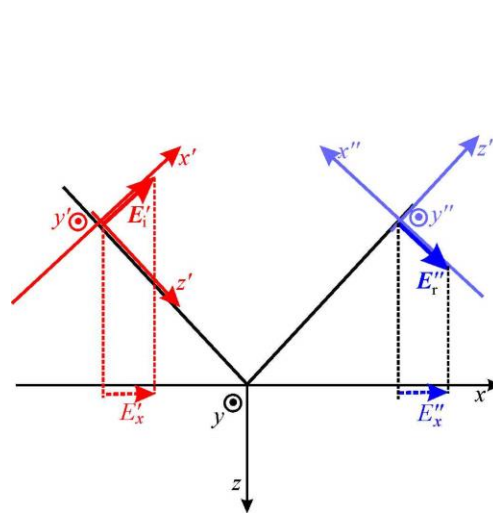
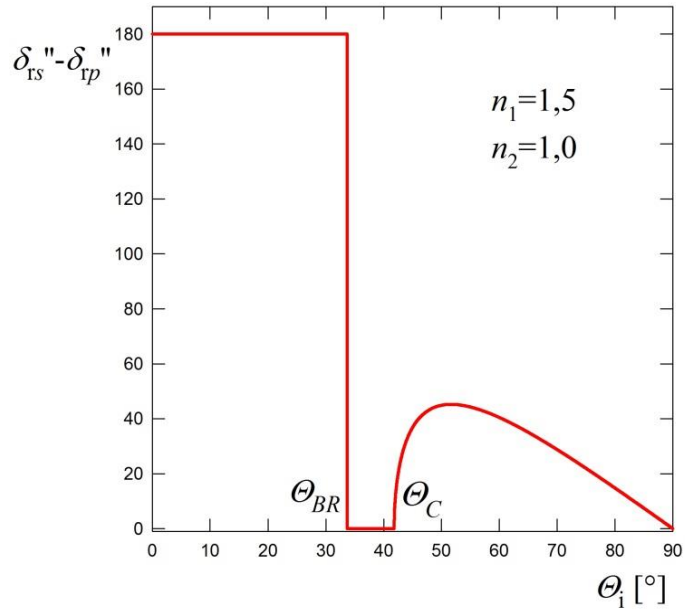


V případě odrazu na dielektriku dochází ke změnám amplitud elektrického Pole. Nedochozí k obecné změně fáze vln, může dojít ke změně fáze o  $\pi$ .



Schematické znázornění změny amplitudy elektrického pole lineárně polarizované vlny při odrazu na dielektriku. Odražená vlna je rovněž lineárně polarizovaná.

# Odraz na dielektriku (totální odraz)



Při totálním odrazu dochází k obecné změně fáze odražených vln polarizace s a p. Pro výsledný polarizační stav odraženého záření je podstatný fázový rozdíl obou složek. Odražená vlna je v tomto případě obecně elipticky polarizovaná. Podobná situace nastává při odrazu na absorbujícím (vodivém) prostředí



# Elipsometrie



Professor Paul Drude  
(1863 - 1906)

Lerbuch der Optik, 1900

Translated into English as  
the „Theory of Optics“ by  
Mann and Millikan in 1902

## XIV. Ueber Oberflächenschichten. I. Theil; von P. Drude.

(Aus den Gött. Nachr., vom 14. Juli 1886, für die Annalen bearbeitet  
vom Verfasser.)

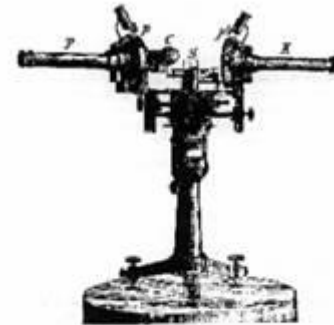
Die Jamin'sche Entdeckung, dass durchsichtige Medien  
in der Nähe der Polarisationswinkel linear polarisirtes Licht  
elliptisch polarisirt reflectiren, steht in Widerspruch mit den  
Lichttheorien von Fresnel, Neumann und Voigt. Wäh-  
rend in neuerer Zeit Hr. Wernicke<sup>1)</sup> diesen Umstand als  
einen Beweis gegen die Gültigkeit jener Theorien angesehen

1) W. Wernicke, Wied. Ann. 25. p. 302. 1885; 30. p. 452. 1887.

Phase measurement

→ 
$$\Delta = \frac{2\pi}{17,84} (C - 36,06),$$

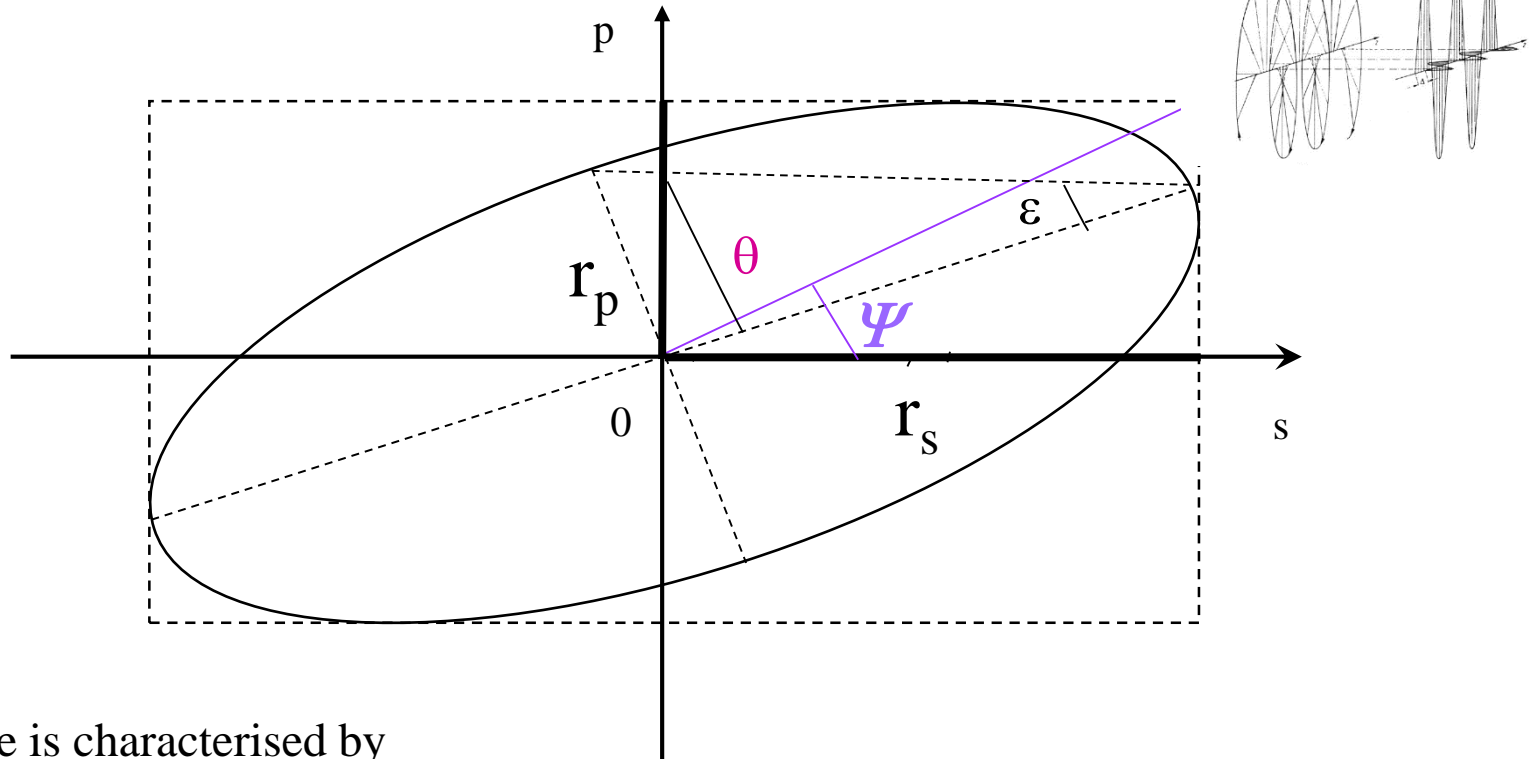
wenn  $C$  die vom Compensator gezeigte Zahl ist.



1900



- After reflection on the sample, the extremity of the electric field vector describes an ellipse



- This ellipse is characterised by

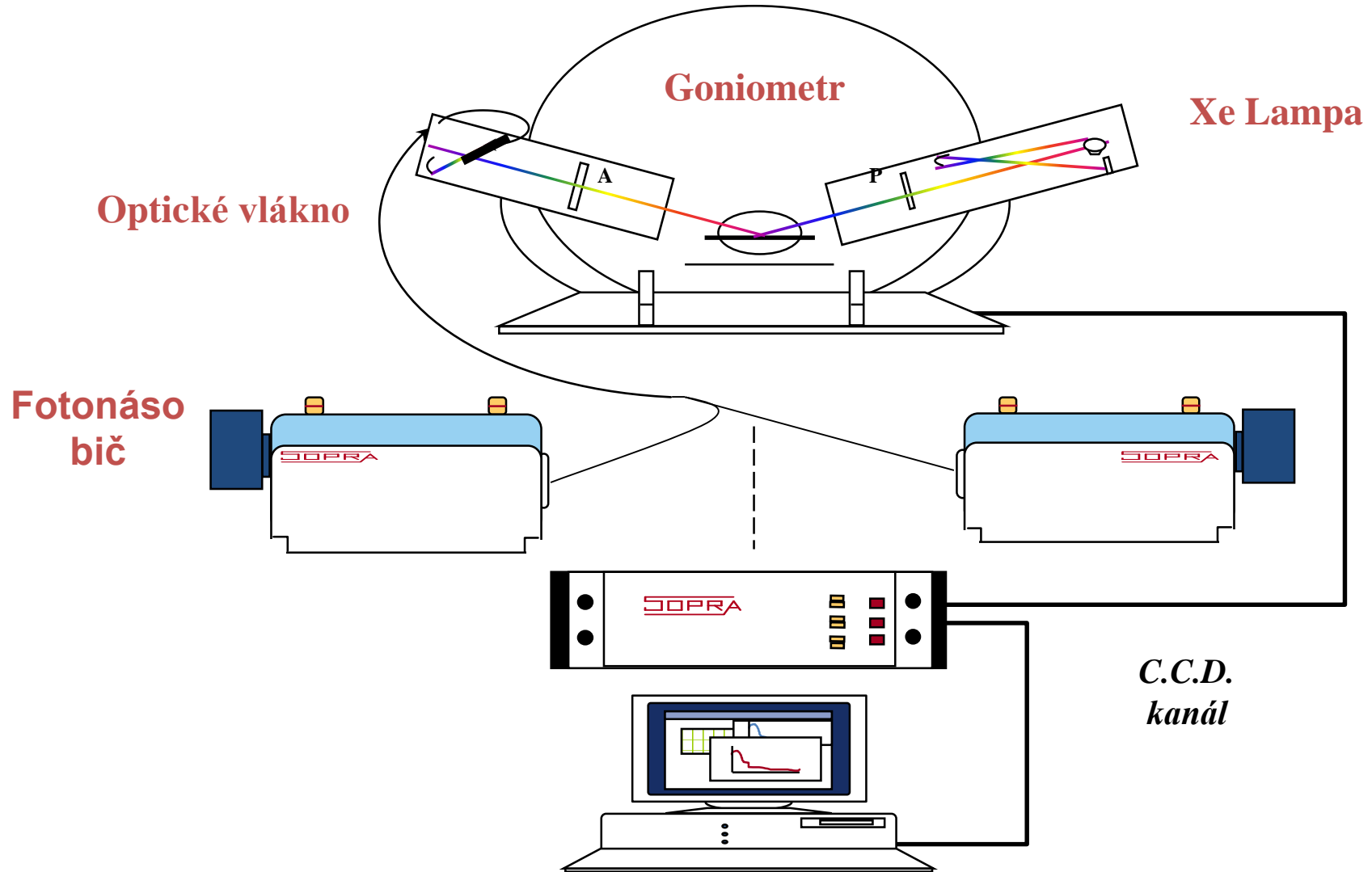
\*the ellipticity  $\tan \epsilon$  which is the ratio of the large axis to the small axis

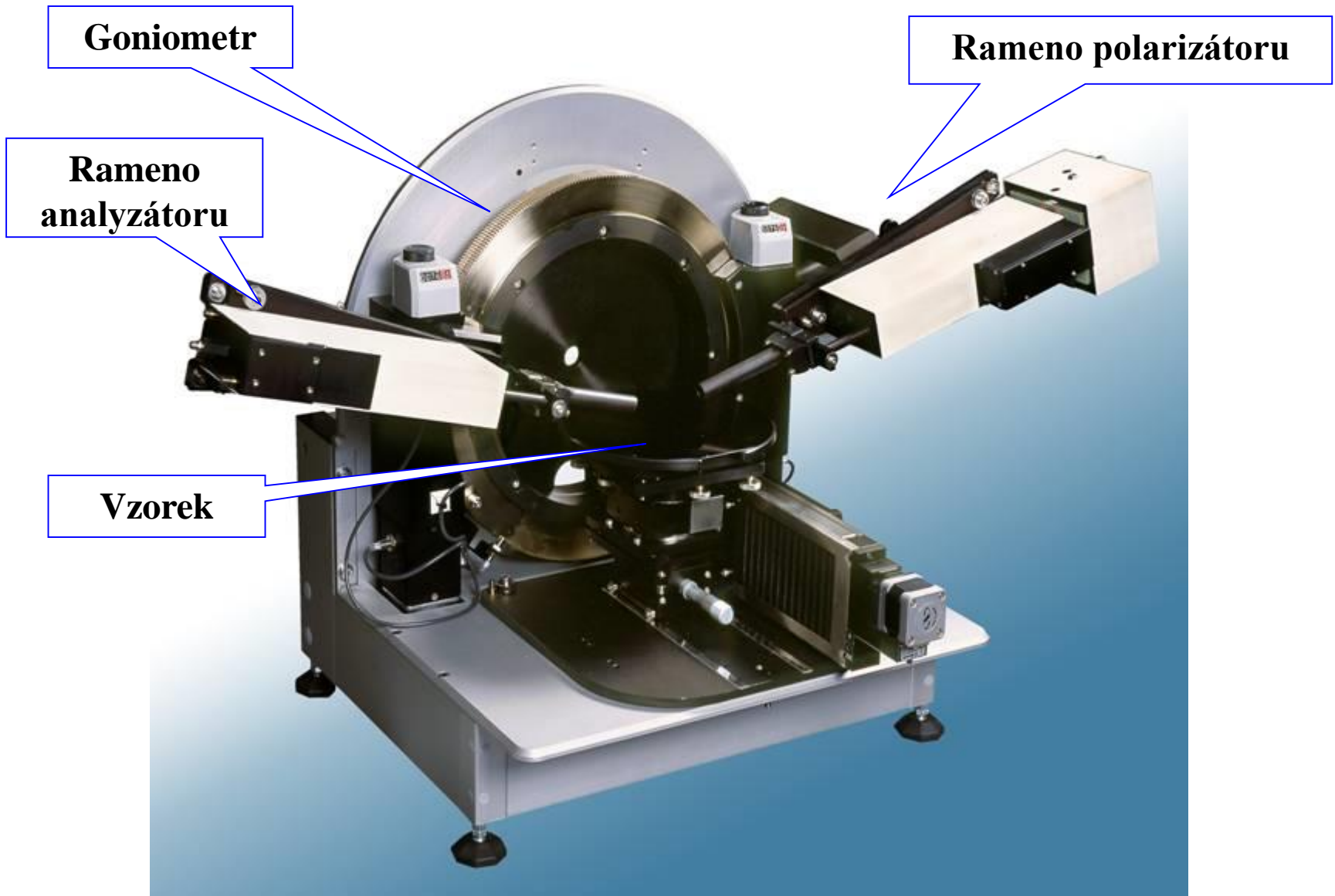
\*the angle of rotation  $\theta$  between the main axis and the P axis:

$$\sin 2\epsilon = \sin 2\psi \sin \Delta$$

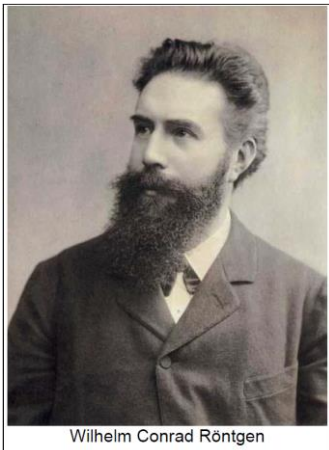
$$\tan 2\theta = \tan 2\psi \cos \Delta$$

# Spektroskopický elipsometr





# Lineární elektro-optický jev – Pockelsův jev



Aplikované elektrické pole  $E$  změní index lomu v materiálu tak, že se v něm šíří dvě lineárně polarizované vlny s navzájem kolnými polarizacemi různou rychlostí. Vzorek se chová jako fázová destička, jejíž fázový posun závisí lineárně na přiloženém elektrickém poli.



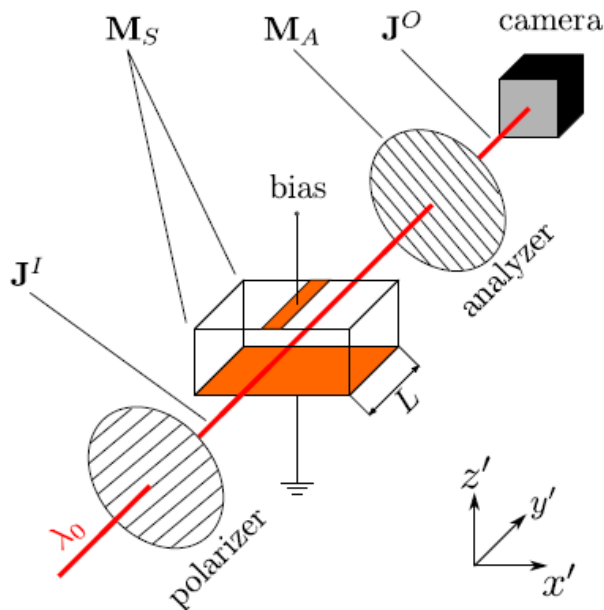
Friedrich Carl Alwin Pockels (1865 - 1913)

Ph.D. from Goettingen University in 1888

1900 - 1913 Prof. of theoretical physics in Heidelberg

## Objev

W.C.Röntgen, Ann.Phys. 18, 213 (1883)

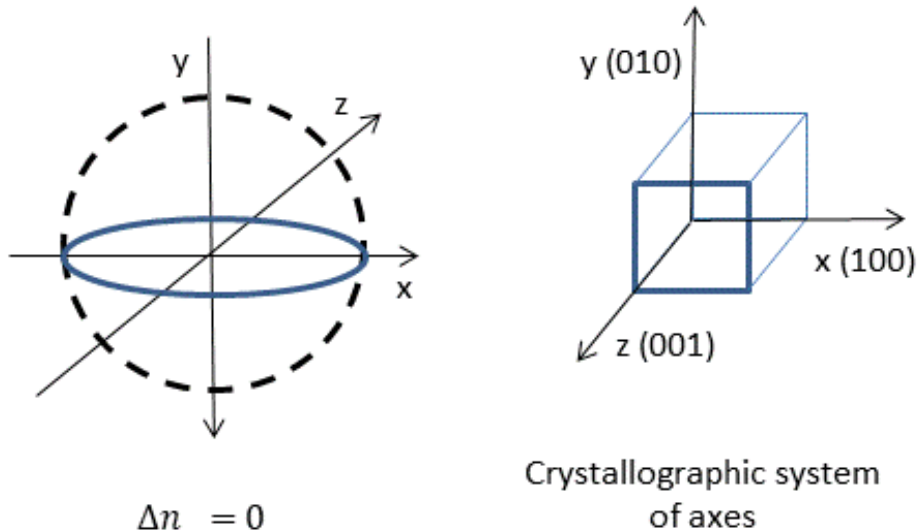


## Vysvětlení

F. Pockels, Abh. Gött. 39, 1 (1894)

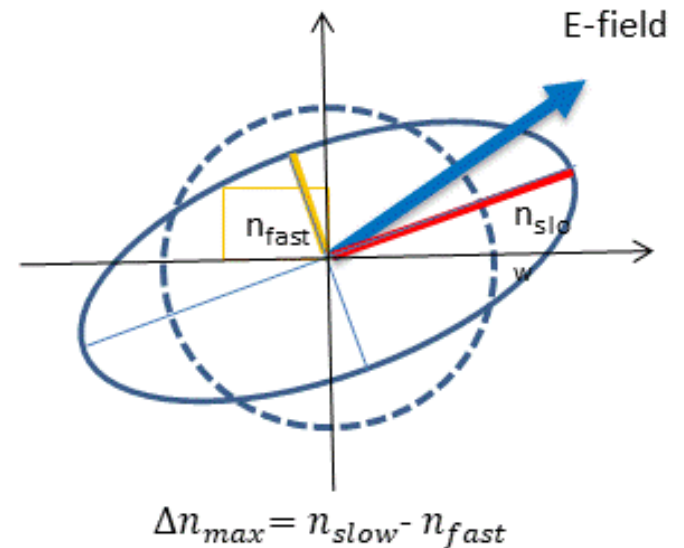
Vzorek vykazující Pockelsův jev, tzv. Pockelsova cela se využívá ke změně polarizačního stavu světla (známe  $E$ , měníme polarizaci) nebo ke studiu  $E$  (známe polarizační stav světla na vstupu a výstupu, vyhodnotíme  $E$ ).

Před aplikací elektrického pole



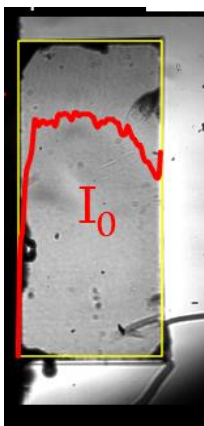
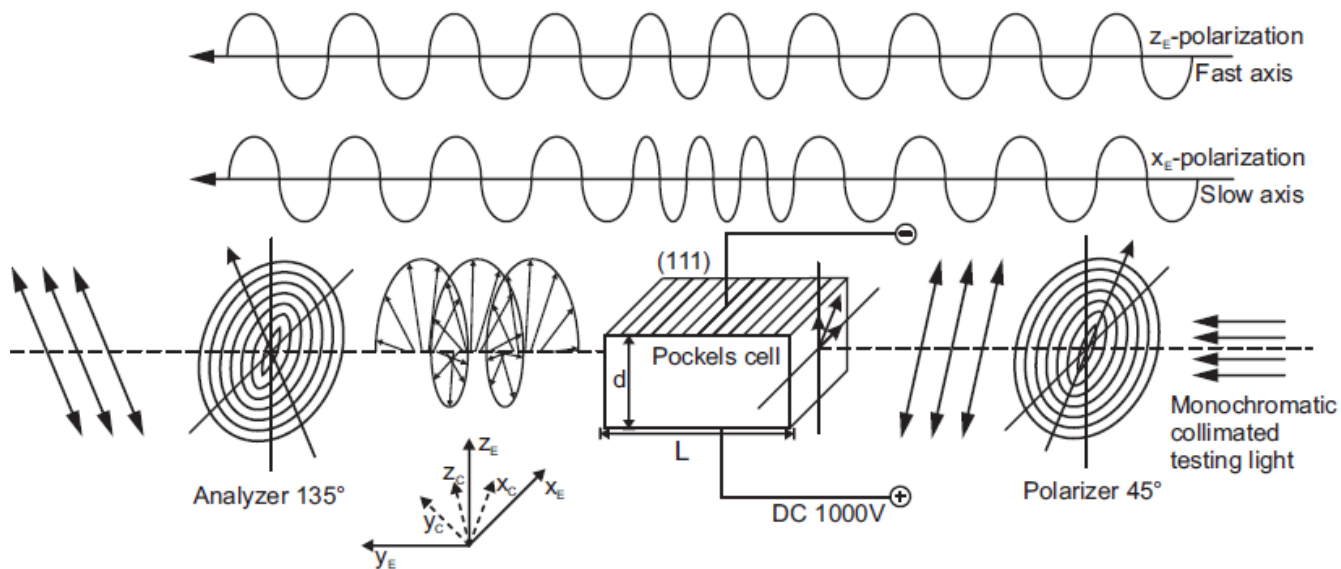
Index lomu nezávisí na směru.  
 Krystalem se šíří vlny navzájem  
 kolmých lineárních polarizací stejnou  
 rychlostí všemi směry

Po aplikaci elektrického pole



Index lomu závisí na směru.  
 Krystalem se šíří vlny navzájem  
 kolmých lineárních různými rychlostmi  
 danými směrem šíření vlny

# Pockelsův jev – příklad experimentu (CdTe)



Paralelní polarizátory



Zkřížené polarizátory

Fázové zpoždění

$$\Gamma = \frac{2\pi}{\lambda_0} \Delta n(E) L$$

Propustnost

$$T = \sin^2 \frac{\Gamma}{2}$$

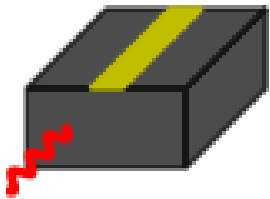
Profil elektrického pole může být spočítán z měření optické propustnosti.



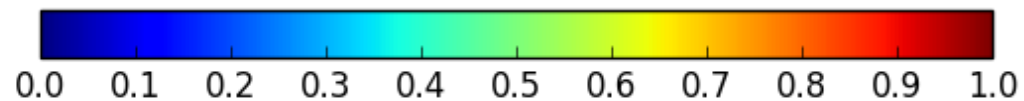
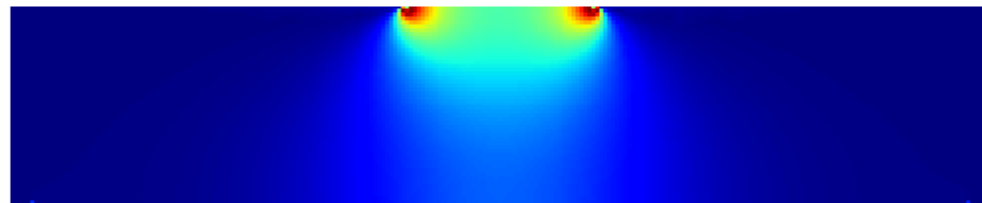
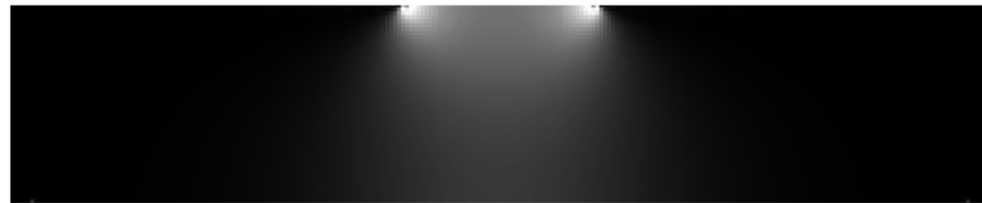
# Pockelsův jev – stanovení průběhu elektrického pole - experiment

U=500V

Katoda – proužek  
Anode – planární kontakt



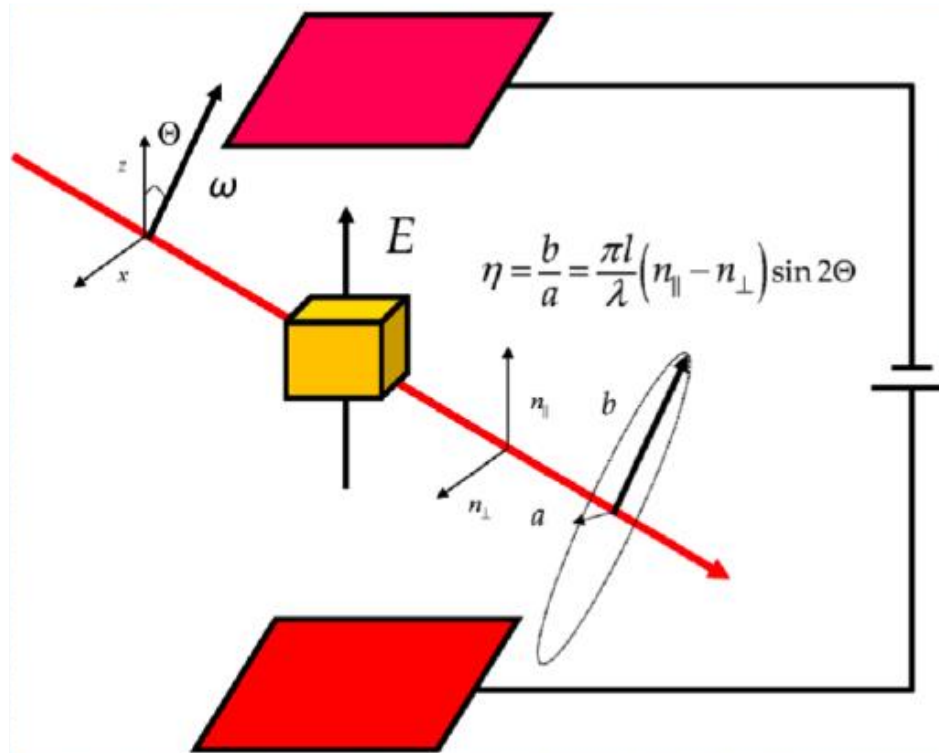
Transmittance (polarizer  $\beta = 45^\circ$  respect to the  $z'$  axis)



# Kerrův jev – kvadratický elektrooptický jev

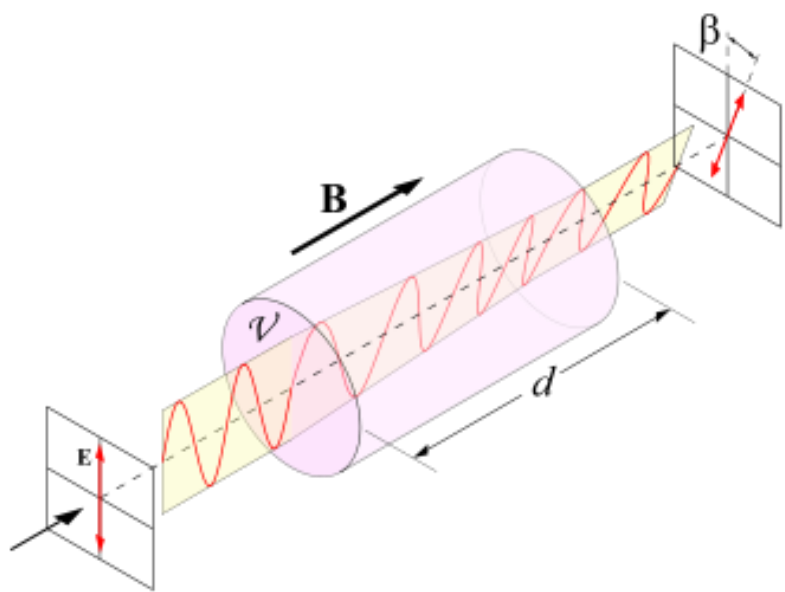
Fyzikální princip stejný jako u Pockelsova jevu, ale vektor polarizace je úměrný druhé mocnině  $E$

$$P \sim E^2$$



# Faradayův jev – kruhový dvojlom vyvolaný podélným magnetickým polem

V době objevu Faradayova jevu nebylo jasné, že světlo je elektromagnetické vlnění. Tento jev však **souvislost světla s elektrinou a magnetismem** jasně indikoval.



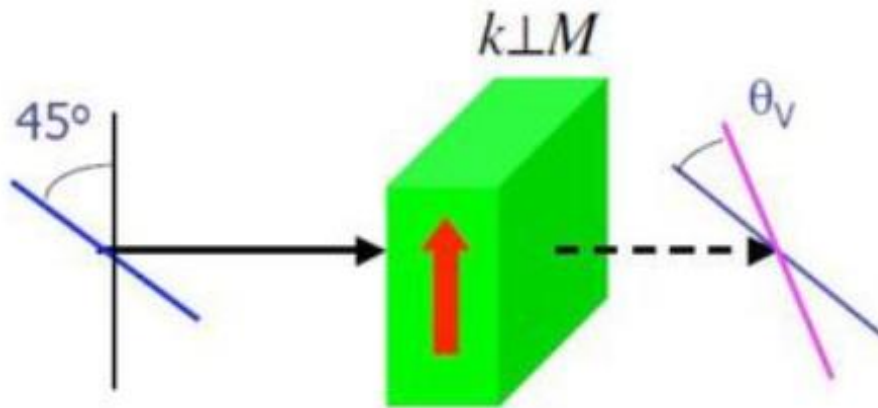
$$\beta = \nu B d$$

I have long held an opinion, almost amounting to conviction. . . that the various forms under which the forces of matter are made manifest have one common origin; or in other words, are so directly related and mutually dependent. . . This strong persuasion extended to the powers of light. . . and (I) have at last succeeded in *magnetizing and electrifying a ray of light.*

Faradayův jev je důsledkem tzv. kruhového dvojlomu, tedy různé rychlosti šíření levotočivého a pravotočivého kruhově polarizovaného světla. Tento jev je v některých látkách přítomen bez magnetického pole, v některých je indukován magnetickým polem orientovaným ve směru šíření světla.

# Magnetooptický Voigtův jev

Voigt effect (1899)



Woldemar Voigt  
(1850 – 1919)

➡ Very different from Faraday effect;  
Voigt effect is "quadratic" in  $M$

Změna polarizačního stavu světla při průchodu magnetickým materiálem

# Magnetooptický Kerrův jev

Změna polarizačního stavu světla při odrazu na magnetickém materiálu

