

Proseminář z Optiky

7.10.2021

Záření Hertzova dipólu

Informace

- NOFY010 – Proseminář z optiky
 - Čtvrtek 10:40 - 12:10, posluchárna F2
 - Rozsah 0/2 Z, kredity za zápočet: 2
 - Podmínky pro zápočet:
 - docházka – povoleny 4 absence
 - prezentace vybraného tématu – rozdělení do skupin a vypracování tématu ve skupině (společná prezentace nebo random určení prezentujícího)
 - 12 témat – zapsaných 40 studentů → skupiny $8 \times 3 + 4 \times 4$

Web semináře: <http://morp.cz/course/proseminar-z-optiky/>
<http://fu.mff.cuni.cz/semicond/people/downloads/>

- Online výuka / osobní účast?
 - Pokud se situace zhorší, studenti budou informováni a výuka se přesune na Zoom nebo MS Teams
 - Studentské prezentace budou vyžadovány i při online výuce

Informace

- Harmonogram přednášek:

- 30.9.2021 - 1.přednáška: **Úvod a představení semináře** (Jakub Zázvorka)

Rozdělení skupin pro prezentace témat

- 7.10.2021 - 2.přednáška: **Zdroje záření a vyzařování Hertzova dipólu** (Jakub Zázvorka)
- 14.10.2021 - 3.přednáška: **Kruhová polarizace** (Jakub Zázvorka)
- 21.10.2021 - 4.přednáška: **Totální odraz a evanescentní vlna** (Jakub Zázvorka)
- 4.11.2021 - 5. přednáška: **Optické jevy v atmosféře** (Jan Franc)
- 11.11.2021 - 6. přednáška: **Barvy** (Lukáš Nádvorník)
- 18.11.2021 - 7. přednáška: **Interference a difrakce I** - Fresnelův integrál (Jakub Zázvorka)
- 25.11.2021 - 8. přednáška: **Interference a difrakce II** – Babinetův princip (Jakub Zázvorka)
- 2.12.2021 - 9.přednáška: **Interference a difrakce III** – Interference, antireflexní vrstvy (Jakub Zázvorka)
- 9.12.2021 - 10. přednáška: Prezentace studentských témat
- 16.12.2021 - 11. přednáška: **Optické experimenty historického významu pro fyziku** (Jan Franc)
- 6.1.2021 - 12. přednáška: týden předtermínů - dohoda se studenty zda přednášku zrušit nebo se dá využít na dohánění restů nebo na experimenty: scintilátory, holografie, Pockelsův jev a další.

Informace

- **Témata studentských prezentací a přibližné termíny prezentací:**

1. *Optické filtry (21.10)*
absorpční, interferenční a dichroický
-Vojtasová, Kasáček, Mezzer, Benešová
2. *Optické vady (4.11)*
Koma, astigmatismus, aberace, zkreslení, barevná vada
- Toman, Mikloš, Doucha
3. *Bílá LED a detekce záření (11.11)*
Princip, typy, teplota, Bayerova maska, CCD
- Matúš, Kománek, Jurenka
4. *Optická aktivita (18.11)*
- Dizov, Průša, Hale
5. *Optická vlákna a využití ke komunikaci (2.12)*
Typy, solarizace, telekomunikace
- Anderle, Plšek, Herman
6. *Princip (konfokální) mikroskopie (2.12)*
7. *3D projekce (9.12)*
Aktivní, pasivní, anaglyf
- Sanitrák, Šmál, Sitko
8. *Fotovoltaický jev (9.12)*
- Novák, Trachta, Kraus
9. *Negativní index lomu (9.12)*
materiály, vlastnosti, použití
- Kamenářová, Jesenský, Divila
10. *Princip laseru a využití (9.12)*
tiskárny a čárové kódy
- Vácha, Krátký, Šrámek
11. *LIGO a LISA - detekce gravitačních vln (9.12.)*
Michelsonův interferometr, přesnost
- Šmahlík, Krtouš
12. *Holografie jako bezpečnostní prvek (16.12)*
- Nováková, Holudička, Šrejbr

Informace

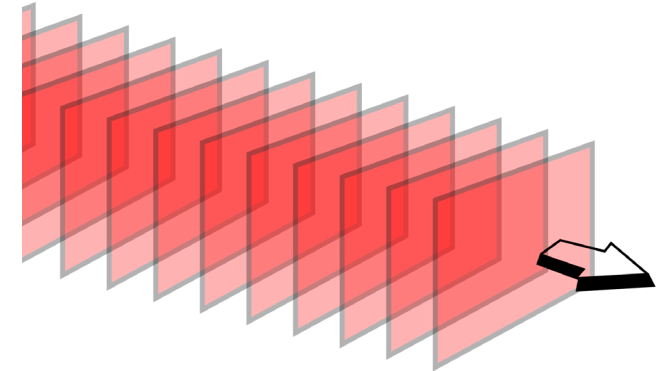
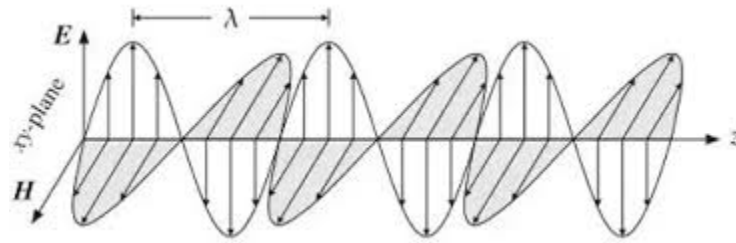
- Zdroje pro proseminář a přednášku:
 - Skripta: <http://fu.mff.cuni.cz/semicond/people/downloads/>
 - Born, Wolf – Principles of Optics
 - Haliday – Fyzika – Kapitoly 34-37
- <https://optics.byu.edu/textbook>
- Petr Malý – Optika

Rovinná vlna, kulová vlnoplocha

- Elektromagnetické záření musí splňovat Maxwellovy rovnice:
 - Řešením rovnice je rovinná vlna

$$E(\vec{r}, t) = E_0 \cos(\mathbf{k} \cdot \mathbf{r} - \omega t) = \text{Re} \left(E_0 e^{i(\mathbf{k} \cdot \mathbf{r} - \omega t)} \right)$$

Vlnoplochy jsou roviny v závislosti na prostoru a času



Rovinná vlna, kulová vlnoplocha

V případě skalární aproximace vlnové rovnice

tedy, že bude záležet jenom na vzdálenosti r a ne na úhlech od vztažných os – převod do sférických souřadnic

$$\nabla^2 \psi(r, t) = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \psi(r, t)}{\partial t^2}$$

Řešením je skalární, kulově symetrická vlna se středem v $r = 0$
speciálním případem je harmonická kulová vlna

$$\psi(r, t) = \frac{A}{r} \cos(kr - \omega t) = \operatorname{Re} \left(\frac{A}{r} e^{i(kr - \omega t)} \right)$$

Rovinná vlna, kulová vlnoplocha

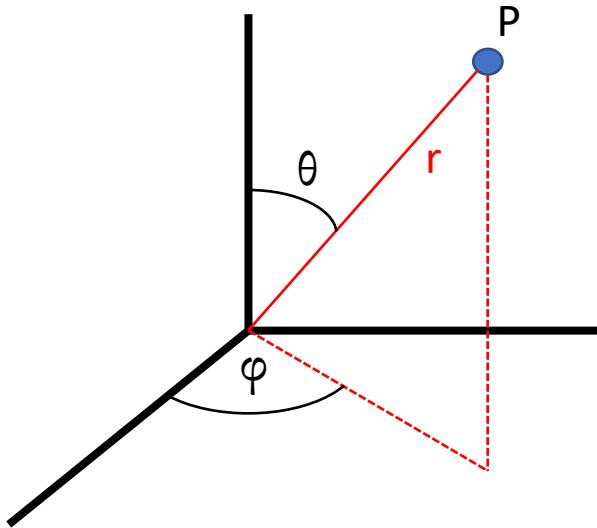
- Existuje kulová vlna?
 - Ne tak docela, je to řešení aproximace. Kulová symetrie není slučitelná s vektorovým charakterem polí E a B v celém prostoru.
 - Nicméně v omezeném prostoru ji můžeme použít.
 - Bývá pak doplněna o parabolickou aproximaci.
- Dobře aproximuje jeden zdroj záření, a to Hertzův dipól.

Rovinná vlna, kulová vlnoplocha

Hertzův dipól

oscilující náboje na trajektorii úsečky

urychlený a zpomalený náboj vyvolá vlnění



vypočítání složek elektrického pole a magnetické indukce na tabuli

Rovinná vlna, kulová vlnoplocha

vypočítání složek elektrického pole a magnetické indukce na tabuli

Cheat Sheet:

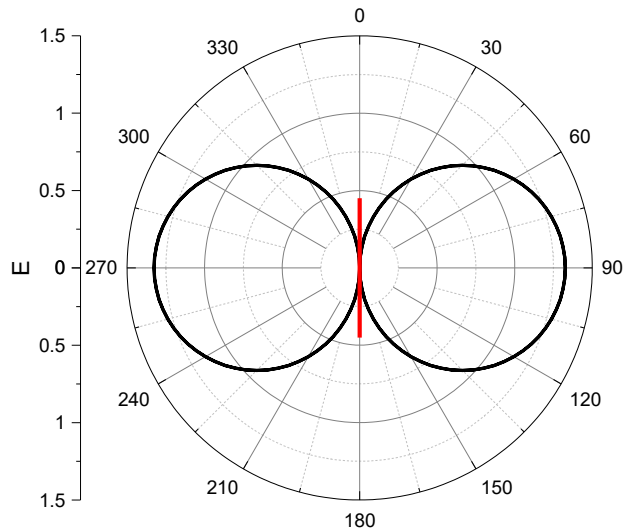
$$\begin{aligned}\nabla \times A = & \frac{1}{r \cdot \sin \theta} \left(\frac{\partial}{\partial \theta} (A_\varphi \sin \theta) - \frac{\partial A_\theta}{\partial \varphi} \right) \cdot \hat{r} \\ & + \frac{1}{r} \left(\frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial A_r}{\partial \varphi} - \frac{\partial}{\partial r} (r A_\varphi) \right) \cdot \hat{\theta} \\ & + \frac{1}{r} \left(\frac{\partial}{\partial r} (r A_\theta) - \frac{\partial A_r}{\partial \theta} \right) \cdot \hat{\varphi}\end{aligned}$$

Rovinná vlna, kulová vlnoplocha

Vyzařovací diagram:

úhlové rozdělení veličin popisujících vyzařování elmag. pole

Složka elektrické intenzity E_θ



$$\mathbf{H} = \frac{I_0 \Delta z}{4\pi} ik \left(1 + \frac{1}{ikr} \right) \frac{e^{-ikr}}{r} \sin \theta \cdot \hat{\boldsymbol{\varphi}}$$

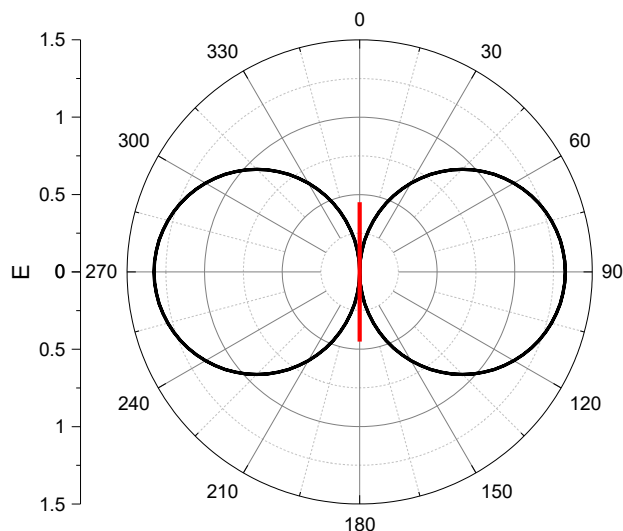
$$\mathbf{E} = \frac{I_0 \Delta z}{2\pi} \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} \left(\frac{1}{r} - \frac{i}{kr^2} \right) \frac{e^{-ikr}}{r} \cos \theta \cdot \hat{\mathbf{r}} + \frac{I_0 \Delta z}{4\pi} i\omega\mu \left(1 + \frac{1}{ikr} - \frac{1}{k^2 r^2} \right) \frac{e^{-ikr}}{r} \sin \theta \cdot \hat{\boldsymbol{\theta}}$$

Rovinná vlna, kulová vlnoplocha

Vyzařovací diagram:

úhlové rozdělení veličin popisujících vyzařování elmag. pole

Složka elektrické intenzity E_θ



$$\mathbf{H} = \frac{I_0 \Delta z}{4\pi} ik \left(1 + \frac{1}{ikr} \right) \frac{e^{-ikr}}{r} \sin \theta \cdot \hat{\boldsymbol{\phi}}$$

$$\mathbf{E} = \frac{I_0 \Delta z}{2\pi} \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \left(\frac{1}{r} - \frac{i}{kr^2} \right) \frac{e^{-ikr}}{r} \cos \theta \cdot \hat{\mathbf{r}} + \frac{I_0 \Delta z}{4\pi} i\omega\mu \left(1 + \frac{1}{ikr} - \frac{1}{k^2 r^2} \right) \frac{e^{-ikr}}{r} \sin \theta \cdot \hat{\boldsymbol{\theta}}$$

Přiblížení dalekého pole:

$$kr \gg 1$$

Členy s mocninami

kr ve jmenovateli půjdou v nule

→ oblast záření

Přiblížení blízkého pole:

$$kr \ll 1$$

Členy s mocninami

kr ve jmenovateli převládnou

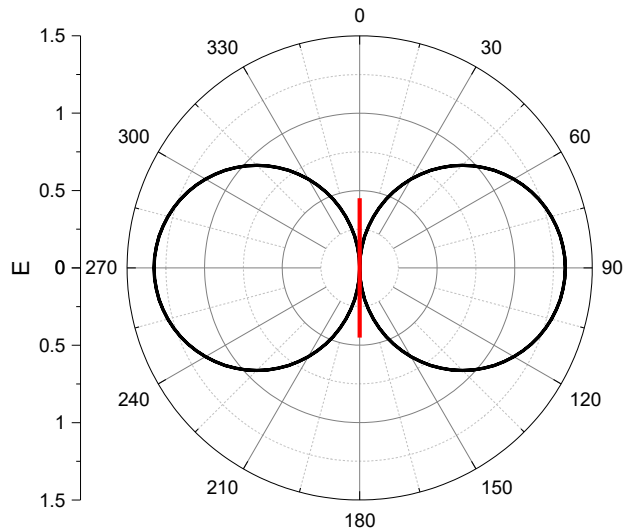
Hranice asi ve 2% vlnové délky

Rovinná vlna, kulová vlnoplocha

Vyzařovací diagram:

úhlové rozdělení veličin popisujících vyzařování elmag. pole

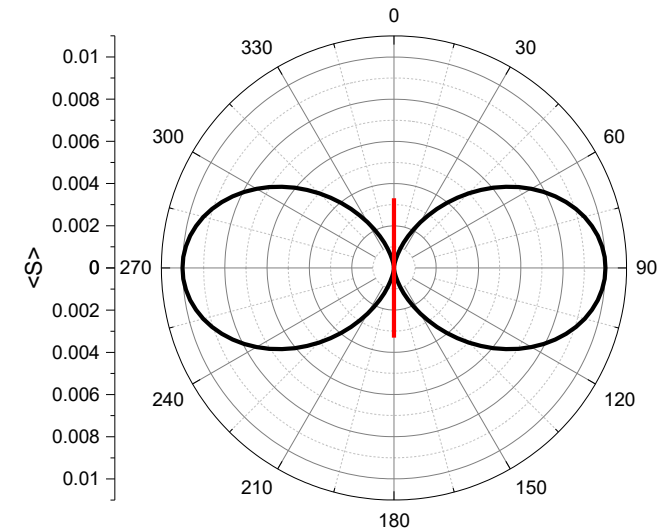
Složka elektrické intenzity E_θ



Výpočet Poyntingova vektoru
v dalekém poli

$$\langle S \rangle = \frac{I_0^2 (\Delta z)^2 \omega \mu_0 k \sin^2 \theta}{2(4\pi)^2 r^2} \cdot \hat{r}$$

Poyntingův vektor – šíření energie

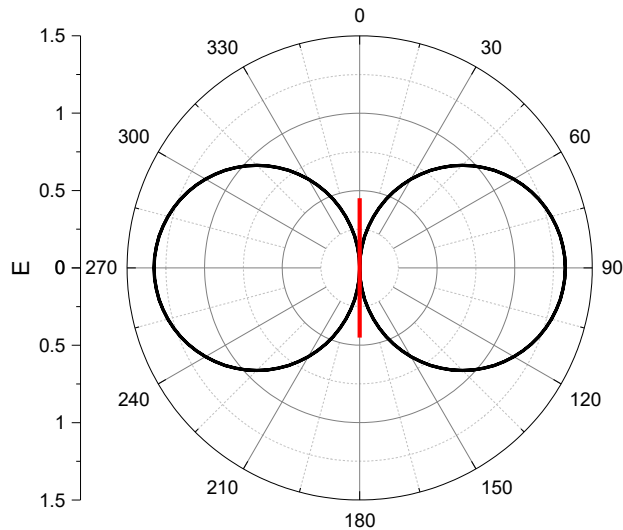


Rovinná vlna, kulová vlnoplocha

Vyzařovací diagram:

úhlové rozdělení veličin popisujících vyzařování elmag. pole

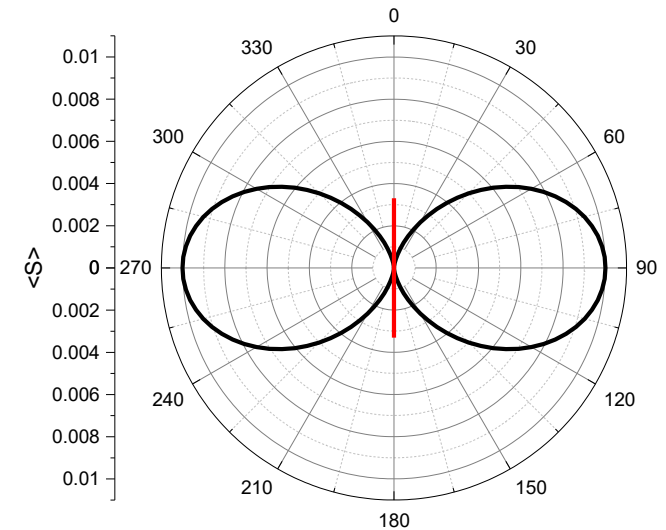
Složka elektrické intenzity E_θ



Dipol oscilující s frekvencí ω

$$\langle S \rangle = \frac{\mu_0 p_0^2}{32\pi^2} \frac{\omega^4 \sin^2 \theta}{c r^2} \hat{r}$$

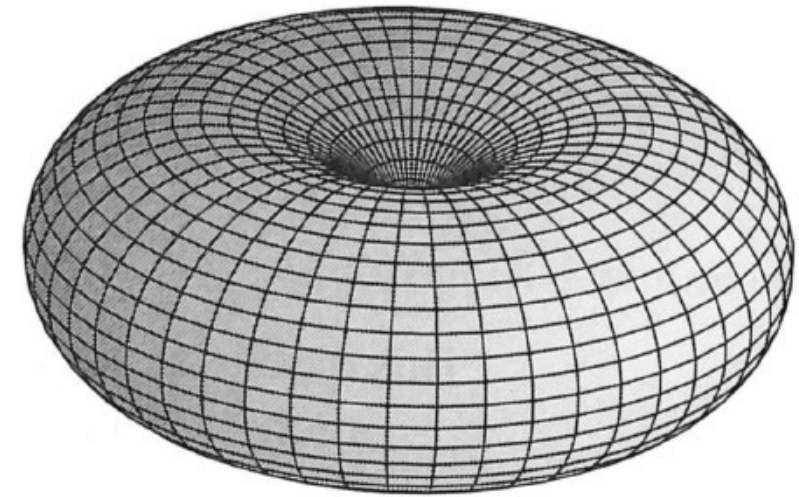
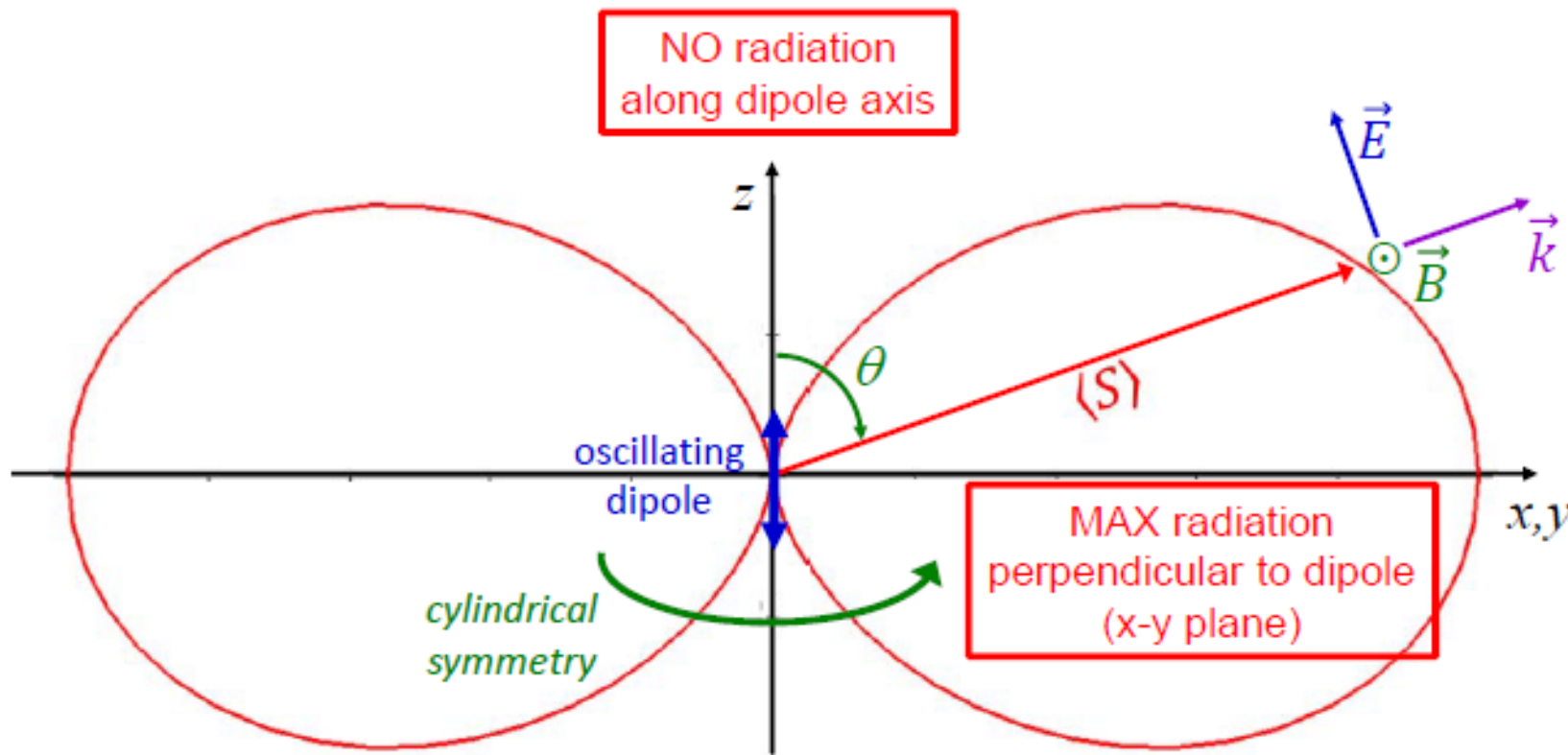
Poyntingův vektor – šíření energie



Rovinná vlna, kulová vlnoplocha

Vyzařovací diagram:

úhlové rozdělení veličin popisujících vyzařování elmag. pole

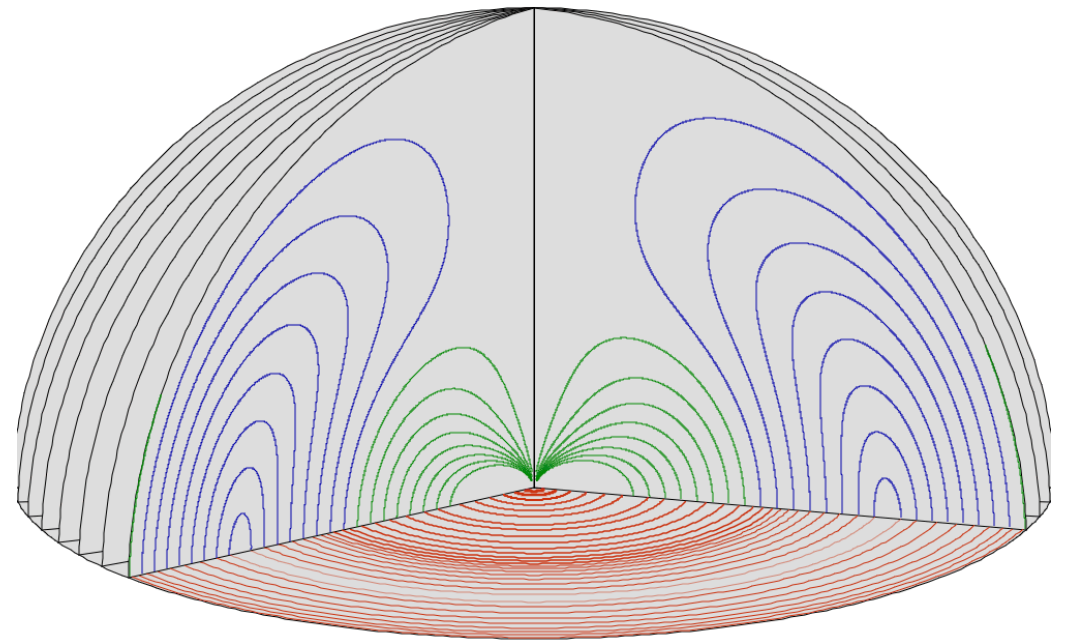
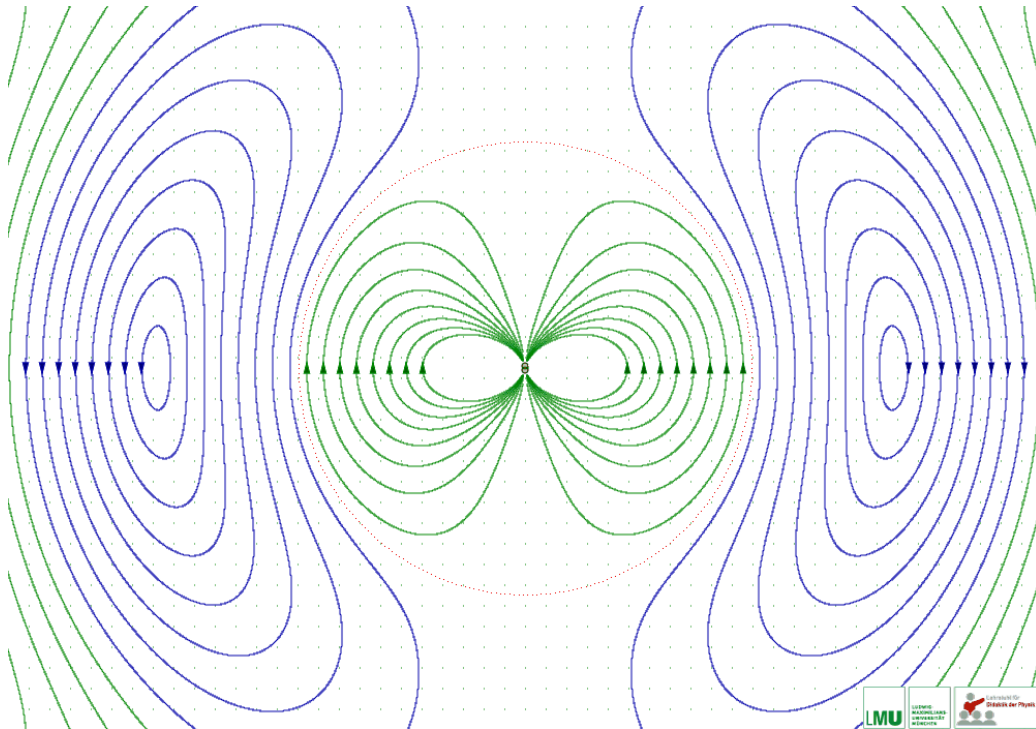


[Figure 11.4, *Introduction to Electrodynamics*, by D. Griffiths, 4th Ed.]

Rovinná vlna, kulová vlnoplocha

Znázornění vyzařovacího diagramu:

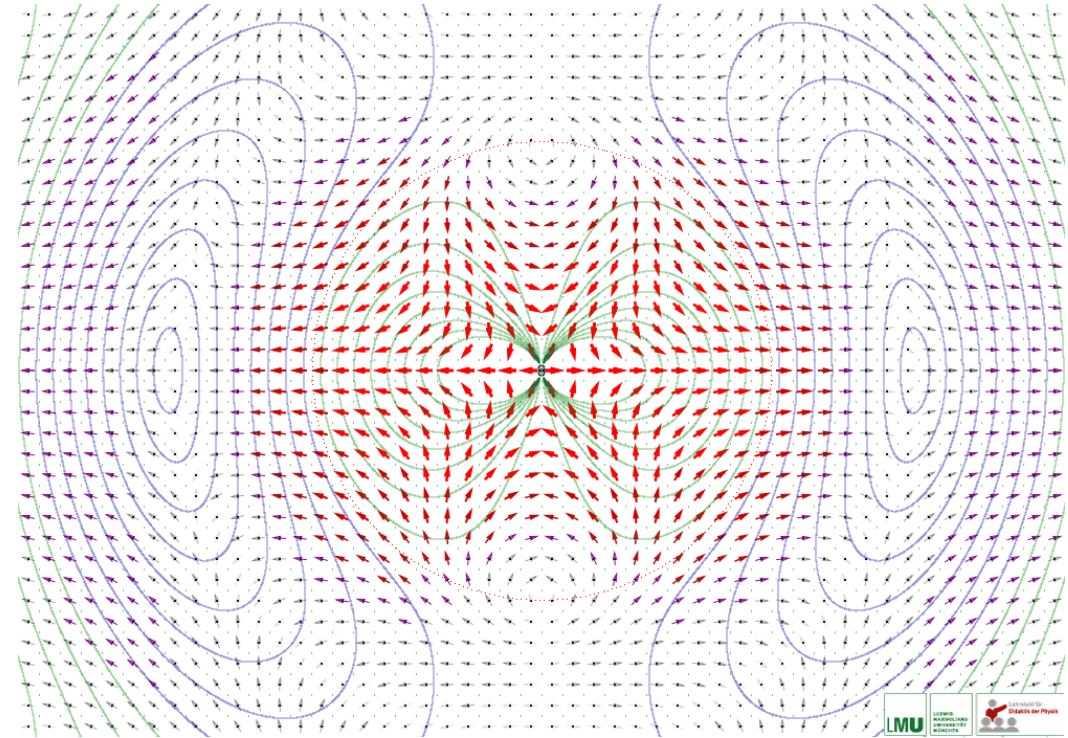
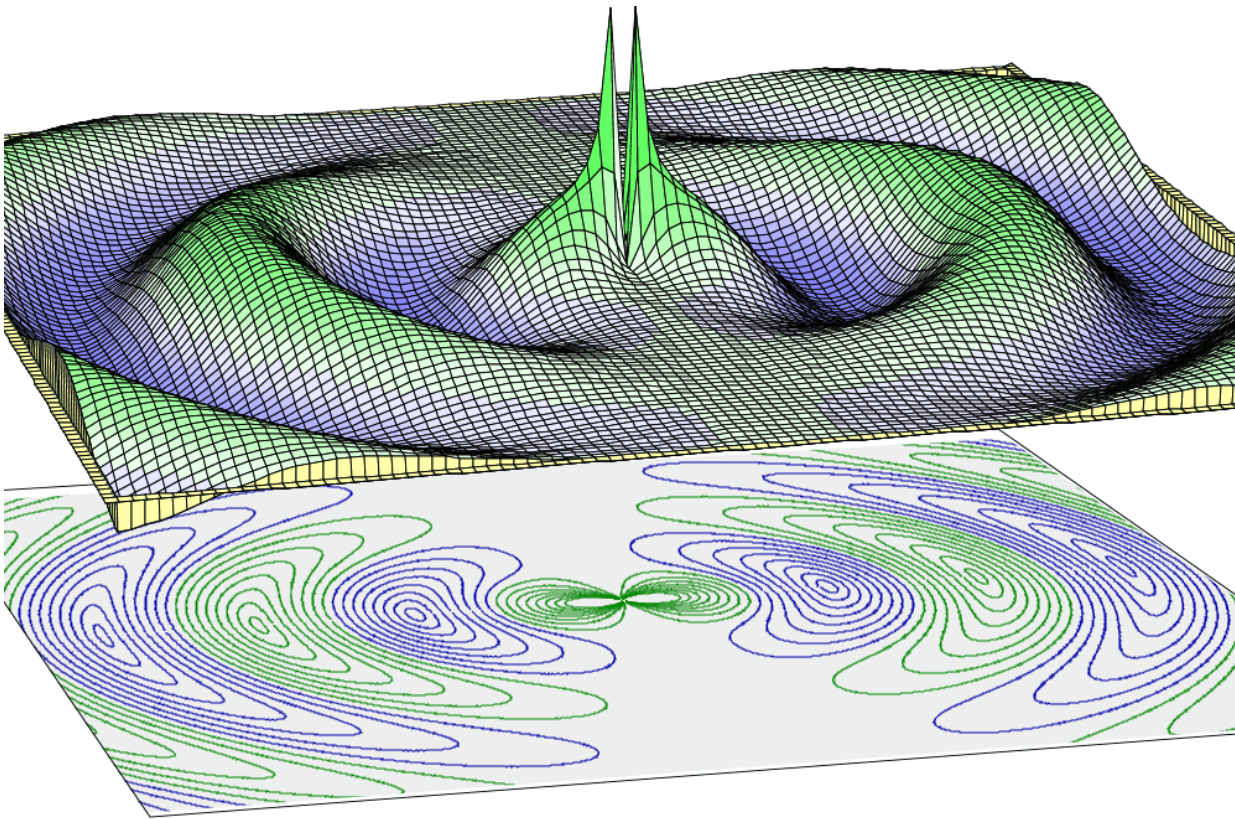
<http://www.didaktikonline.physik.uni-muenchen.de/programme/dipolstr/DipoleRadiation.html#>



Rovinná vlna, kulová vlnoplocha

Znázornění vyzařovacího diagramu:

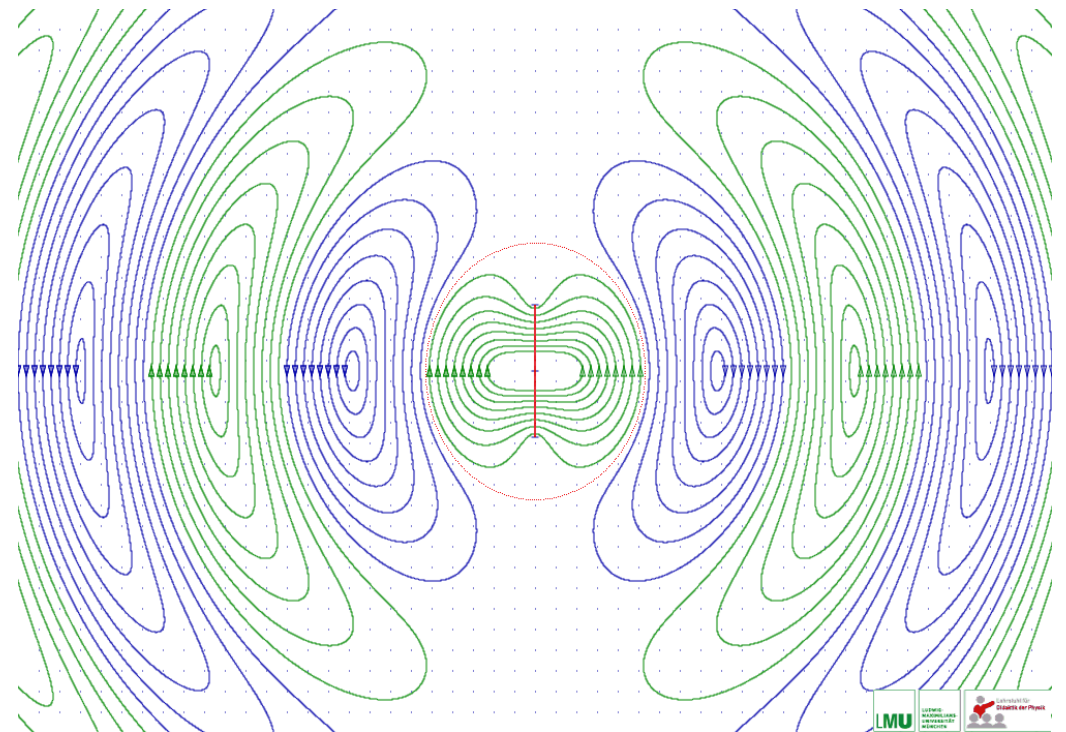
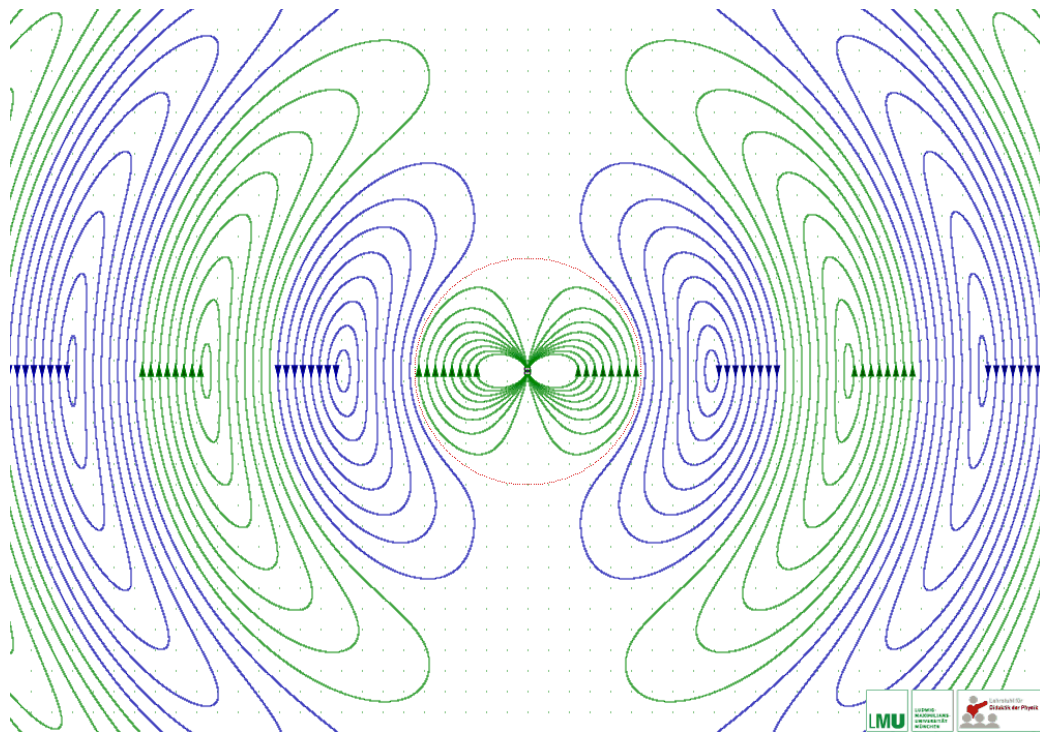
<http://www.didaktikonline.physik.uni-muenchen.de/programme/dipolstr/DipoleRadiation.html#>



Rovinná vlna, kulová vlnoplocha

Znázornění vyzařovacího diagramu:

<http://www.didaktikonline.physik.uni-muenchen.de/programme/dipolstr/DipoleRadiation.html#>



Rovinná vlna, kulová vlnoplocha

Zdroje:

https://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/vf-elektronika/02_4.html

<https://engineering.purdue.edu/wcchew/ece604f19/Lecture%20Notes/Lect25.pdf>

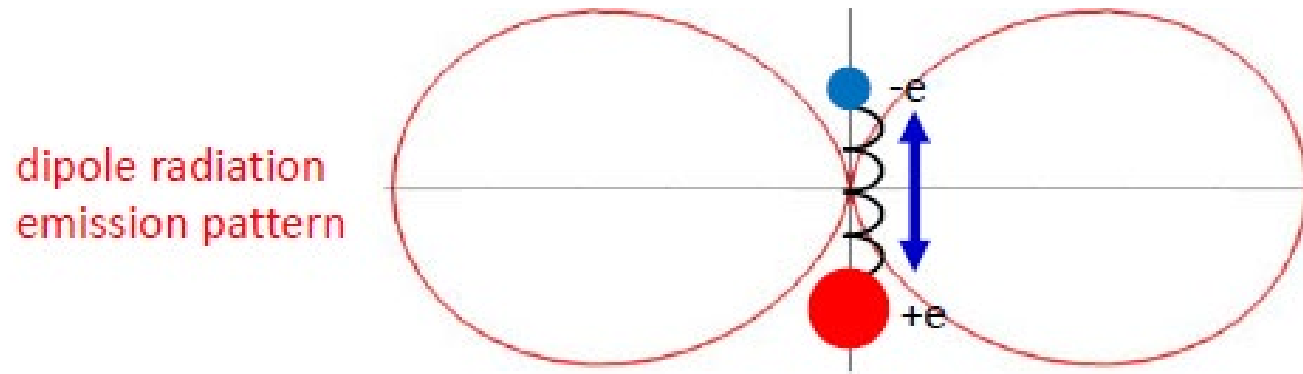
<http://farside.ph.utexas.edu/teaching/em/lectures/node94.html>

<https://www.waves.utoronto.ca/prof/svhum/ece422/notes/05-dipole.pdf>

<http://www.damtp.cam.ac.uk/user/tong/em/el5.pdf>

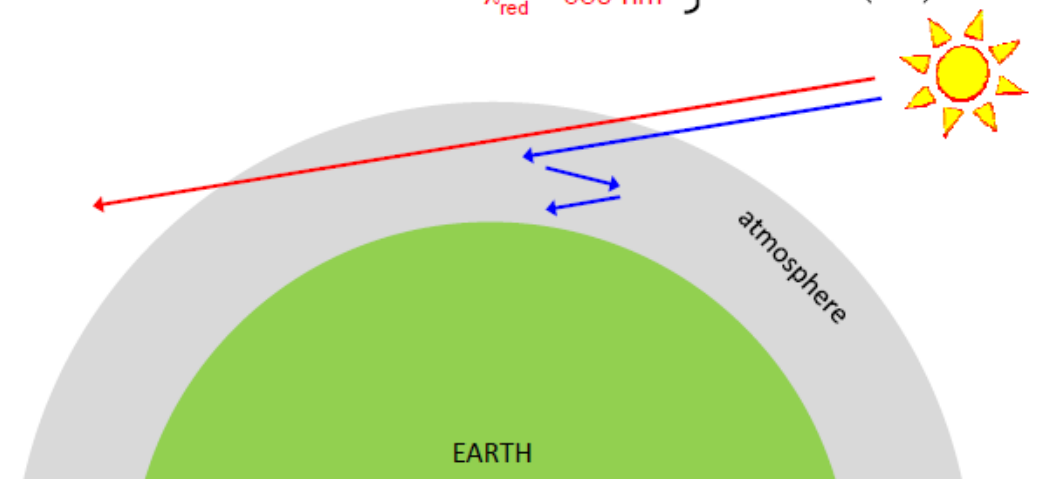
Rovinná vlna, kulová vlnoplocha

Excitovaný atom se chová jako elektrický dipól a vyzařuje záření



Závilost na $\omega^4 \Rightarrow \frac{1}{\lambda^4}$
→ rozptyl v atmosféře

$$\text{Intensity} \propto \omega^4 \propto \frac{1}{\lambda^4} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} \lambda_{\text{blue}} = 450 \text{ nm} \\ \lambda_{\text{red}} = 650 \text{ nm} \end{array} \right\} \frac{I_{\text{blue}}}{I_{\text{red}}} = \left(\frac{650}{450} \right)^4 \approx 4.3$$

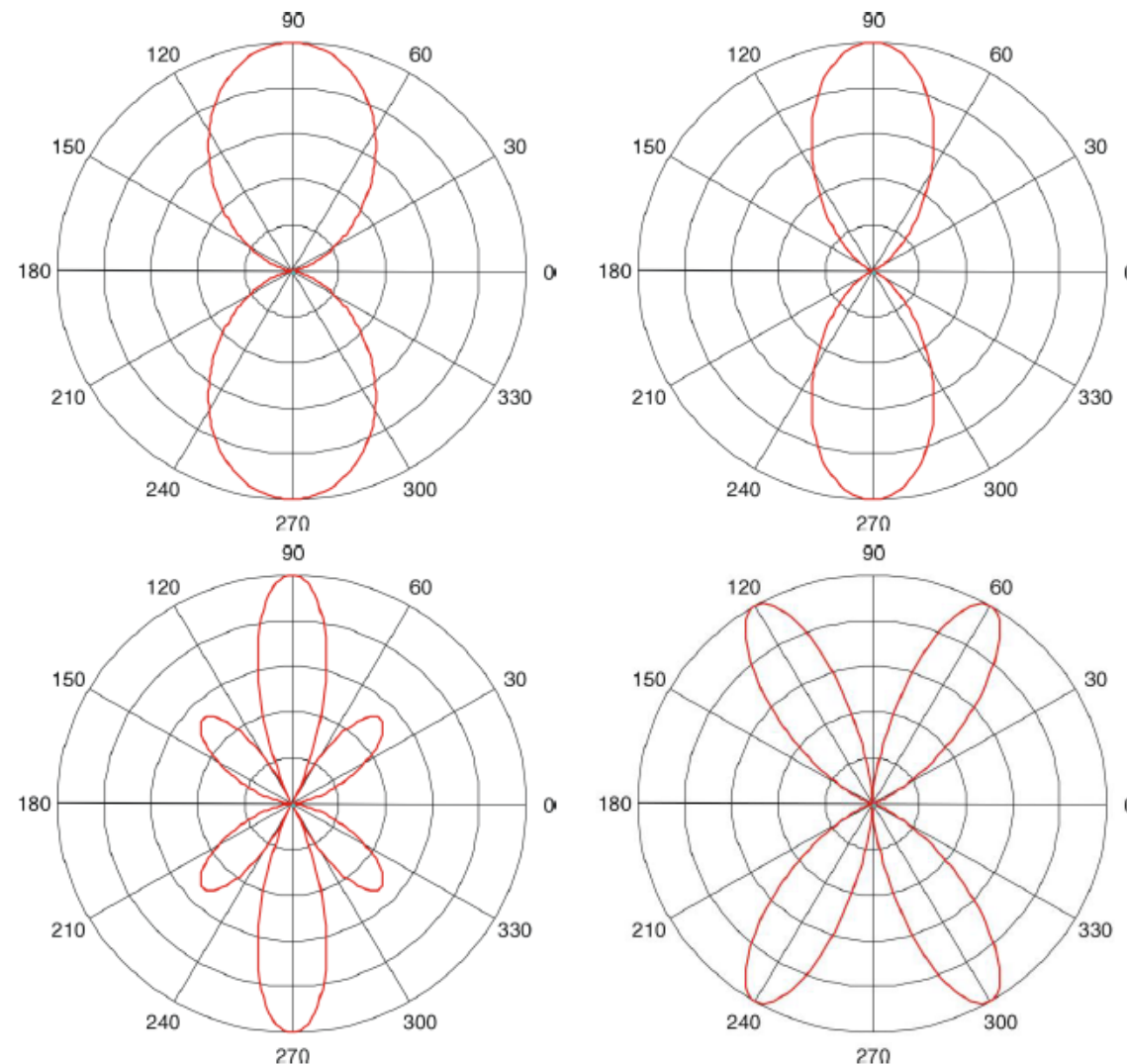


Rovinná vlna, kulová vlnoplocha

Předpoklad byla malá délka dipólu:
při překročení délky $\lambda/2$
se začnou objevovat boční
laloky

Označení tedy $\lambda/2$ nebo $\lambda/4$
antény

Můžeme zavést funkci záření
antény



Obr. 8.7 Směrové charakteristiky symetrického dipólu
 $l/\lambda = 0,25$ (vlevo nahoře), $l/\lambda = 0,50$ (vpravo nahoře)
 $l/\lambda = 0,70$ (vlevo dole), $l/\lambda = 1,00$ (vpravo dole).

Záření

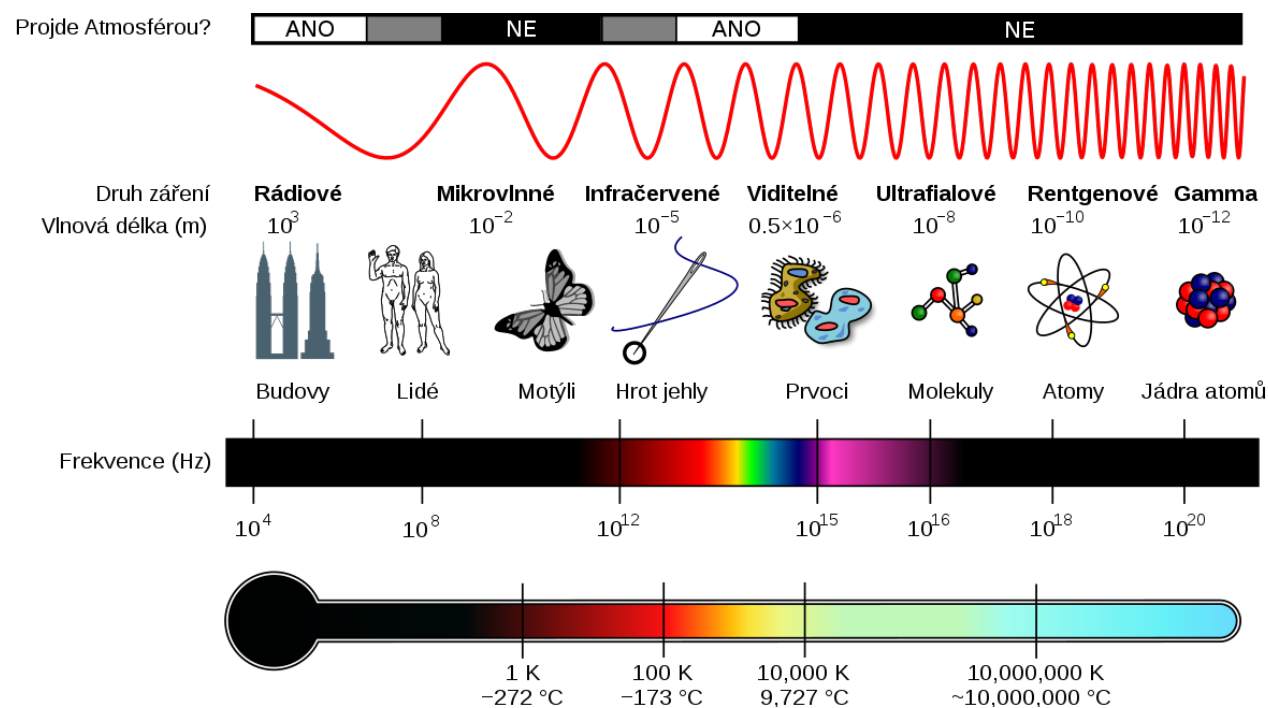
- Emise energie ve formě vlnění nebo částic

Charakteristika:

- Vlnová délka, frekvence
- Teplota zdroje
(vyzařování černého tělesa)

- Ionizující a neionizující

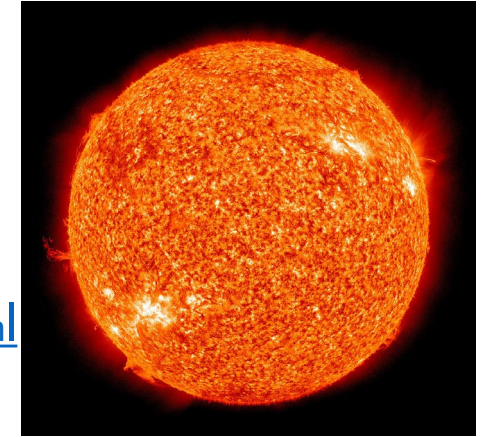
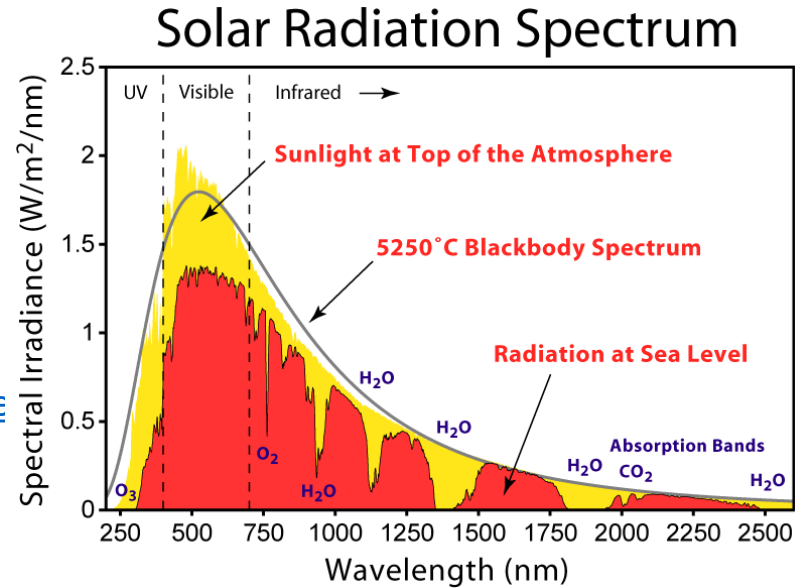
- Umělé nebo přírodní zdroje



Zdroje záření

- Tepelné zdroje:
 - Záření černého tělesa
- Sluneční záření

<http://www.didaktikonline.physik.uni-muenche>



[en.html](#)

Lidé a všechny věci



Zdroje záření

- Umělé zdroje:

- Žárovka a halogenová žárovka

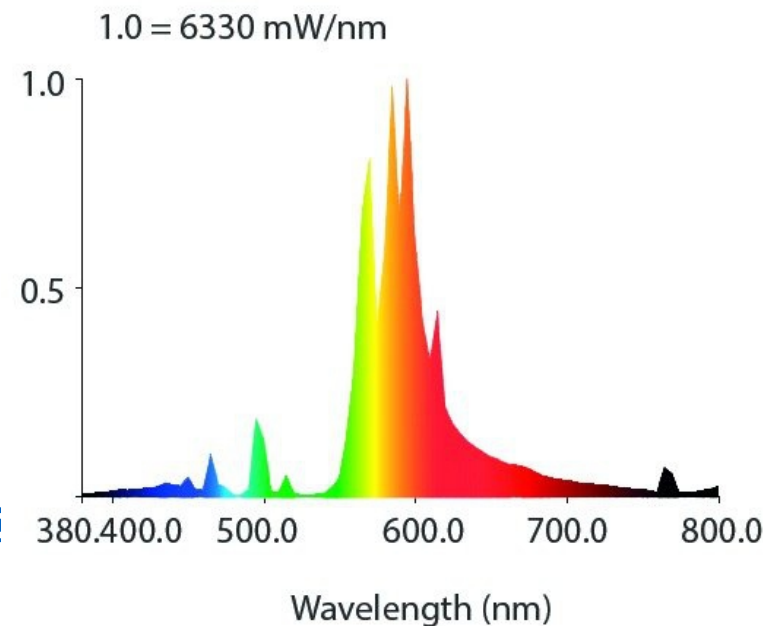
- Žhavený drát wolframu v baňce naplněné inertním plynem (a halogenem)
 - Široké použití v laboratorní technice kvůli spojitému a širokému spektru



- Luminiscenční zdroje

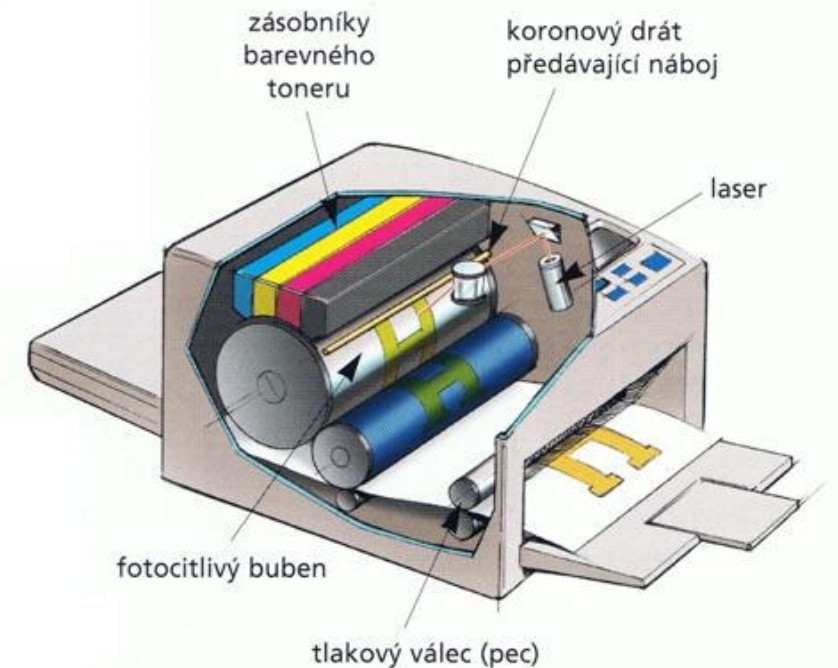
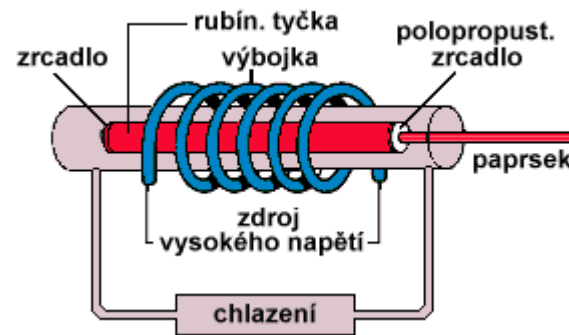
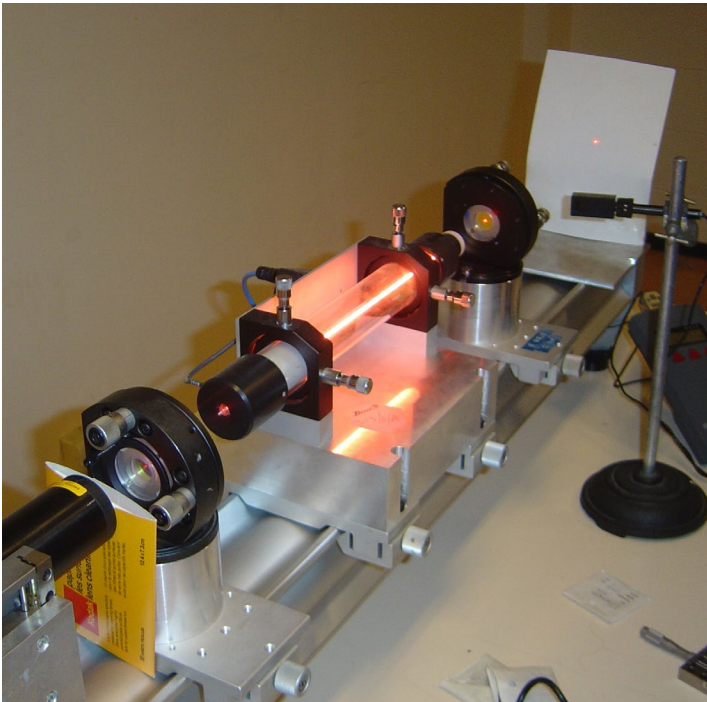
- Ionizace plynů nebo excitace elektronů a následné vyzáření energie po přechodu zpět stavu s nižší energií
 - LED, výbojky, zářivky
 - Typicky užší spektrum s výraznými píky intenzity záření

http://www.didaktikonline.physik.uni-muenchen.de/London2019/html_lokal/spectrometer/st:



Zdroje záření

- Umělé zdroje:
 - LASERy
 - Využití tzv. excitace a inverze populace (více v přednášce z optiky)
 - Úzké spektrum, záření tzv. koherentní a monochromatické
 - Zdroj pro laboratorní účely – dynamika, přesné měření vzdálenosti atd.



Zdroje záření

- Ionizující záření:

- Záření α (jádra helia), β (urychlené elektrony nebo pozitrony) ,
 γ (vysokoenergetické záření)
- Rentgenové záření
- Neutronové záření

- Zdroje:

- Radioizotopy – přírodní a umělé
- Urychlovače částic – cyklotrony, synchrotrony
- Jaderný reaktor

