ELEKTROMAGNETICKÉ VLNĚNÍ

SVĚTLO

Elektromagnetické vlny

- budeme popisovat šíření el.-mag. vln v homogenním izotropním dielektriku, v němž se nenacházejí el. náboje ⇒ tedy hustoty náboje i proudu budou nulové, tj. $\varrho = 0$ i $\vec{J} = \vec{0}$
- tvar MR pak bude:

$$\oint_{C(S)} \vec{H} \cdot d\vec{l} = \frac{d}{dt} \int_S \vec{D} \cdot d\vec{S} \qquad \oint_{C(S)} \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0 \qquad \oint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = 0$$

- pomocí matematických úprav (věty o křivkových a plošných integrálech) lze z tohoto tvaru MR odvodit následující rovnice

$$\boxed{\nabla^2 \vec{E} - \varepsilon\mu \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0 \qquad \nabla^2 \vec{B} - \varepsilon\mu \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} = 0}$$

- toto jsou vlnové rovnice pro vektory $\vec{E}$ a $\vec{B}$ (tzn. platí pro každou jejich složku) ⇒ rychlost šíření vln získáme srovnáním rovnic s obecným tvarem vlnové rovnice (viz úvodní část) ⇒ pro rychlost el.-mag. vln získáme

$$\boxed{c = (\varepsilon\mu)^{-1/2}}$$

- ve vakuu bude: $c_0 = (\varepsilon_0\mu_0)^{-1/2} = 2,99\,792\,458 \cdot 10^8\ m \cdot s^{-1}$
- jedním z možných řešení těchto rovnic jsou monochromatické rovinné vlny ve tvaru

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = \vec{E}_0 \sin(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r})$$
$$\vec{B}(\vec{r}, t) = \vec{B}_0 \sin(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r})$$

kde $\vec{k}$ je vlnový vektor ($\vec{k} = \frac{\omega}{c} \vec{n}^0$, kde $\vec{n}^0$ je jednotkový vektor ve směru šíření vlny) - viz první část

- uvedené vlny jsou <u>lineárně polarizované</u>, což znamená, že vektory $\vec{E}$ a $\vec{B}$ kmitají ve stále stejné rovině, která nemění svoji orientaci v prostoru
- <u>poznámka</u>: roli výchylky zde hrají vektor el. intenzity $\vec{E}$

a mag. indukce $\vec{B}$ ⇒ protože zde však nedochází k žádnému vychylování HB, je zde vhodnější mluvit o <u>rozruchu</u>

- lze dokázat, že mezi vektory $\vec{k}$, $\vec{E_0}$ a $\vec{B_0}$ platí následující vztah

$$\vec{B_0} = \frac{1}{\omega}\,\vec{k} \times \vec{E_0}$$

⇒ vektory $\vec{E_0}$ a $\vec{B_0}$ jsou na sebe navzájem kolmé, a navíc kolmé i na směr šíření vlny (vektory $\vec{k}, \vec{E_0}, \vec{B_0}$ tvoří tzv. pravotočivý trojhran)

- z této rovnice plyne, že vektory $\vec{k}$ a $\vec{E_0}$ jednoznačně určují vektor $\vec{B_0}$ ⇒ el.-mag. vlnění se popisuje jen pro vektor $\vec{E}$

<u>Elektromagnetické spektrum</u>

- el.-mag. vlnění dělíme podle jeho vlnové délky (frekvence vlnění - viz vztah $\lambda = c/\nu$, kde ν je frekvence) do tzv. pásem (viz obrázek), která však nejsou nikterak striktně ohraničena a mohou se i překrývat
- mezi tzv. <u>optická záření</u> zařazujeme následující pásma
  a) infračervené záření A (IR-A) — $\lambda = 1400 - 760\,nm$
  b) světlo — $\lambda = 760 - 380\,nm$
  c) ultrafialové záření (UV) — $\lambda = 380 - 100\,nm$
- <u>světlo</u> je el.-mag. vlnění, které vyvolá u člověka zrakový vjem; lidské oko je nejcitlivější na vlnovou délku $\lambda_0 = 555\,nm$, což je žlutozelené světlo
- podobně jako pro mech. vlnění platí i pro el.-mag. vlnění Huygensův princip, odraz, lom a ohyb vlnění (viz příslušná část)
- pro el.-mag. vlnění zavádíme tzv. <u>absolutní index lomu</u>

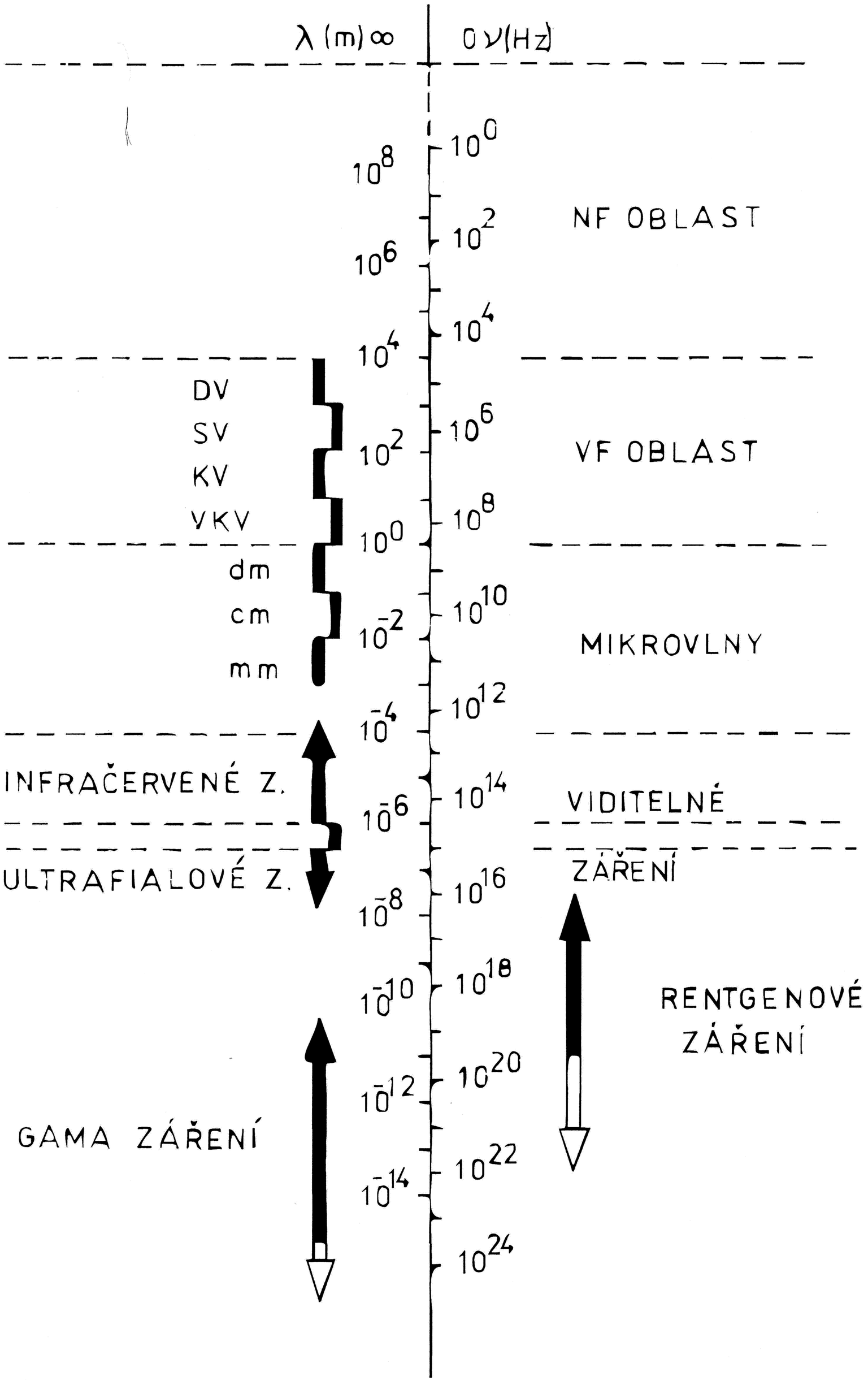
$$N = \frac{c_0}{c} = \sqrt{\varepsilon_r \mu_r}$$

c_0 ... rychlost vlnění ve vakuu
c ... —"— v daném prostředí

⇒ zákon lomu pak má tvar

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\alpha''} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{N_2}{N_1} = n_{12}$$

Elektromagnetické vlny



Vyzařování el.-mag. vln

- z MR lze odvodit, že el. náboj, který se pohybuje se zrychlením, vyzařuje el.-mag. vlnění
- tato, tzv. klasická teorie, dobře popisuje vyzařování vln anténami, v nichž elektrony v důsledku připojeného střídavého napětí konají kmitavý pohyb, čímž se pohybují se zrychlením, a dochází tak k vyzařování vln (viz obrázek)
- při popisu vyzařování atomů však klasická teorie selhává a musí být nahrazena teorií kvantovou

Záření osamocených atomů

- takovou soustavou je např. výboj v inertním plynu (např. v Ar) - viz vedení el. proudu v plynech
- nejčastěji se setkáváme s takovýmto zdrojem světla ve výbojkách či zářivkách (zde spektrum ovlivňuje ještě luminofor na její stěně)
- z kvantové teorie vyplývá, že elektrony v atomech se mohou stabilně vyskytovat jen na hladinách o přesně dané energii
- pokud je elektron na této hladině, nevyzařuje el.-mag. vlnění
- pro vodík jsou tyto energ. hladiny dány předpisem:

$$W_H \doteq -13{,}6\,\mathrm{eV} \cdot \frac{1}{n^2} \quad ; \quad n = 1, 2, 3, 4, \ldots$$

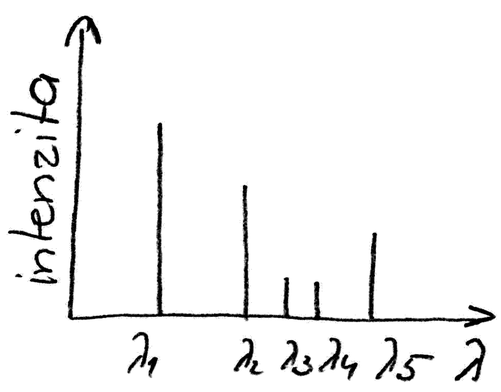
- elektron pak může vyzářit kvantum el.-mag. záření jedině, přechází-li v atomu z vyšší energ. hladiny W_2, na niž byl předtím excitován (např. srážkou s elektronem ve výboji), na hladinu nižší W_1, tj. $W_1 < W_2$
- frekvence vzniklého el.-mag. vlnění je pak

$$\nu = \frac{W_2 - W_1}{h}$$

h ... Planckova konstanta

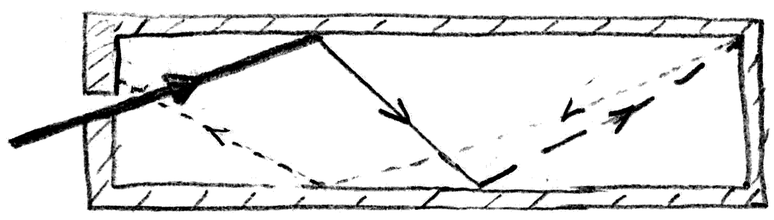
kde $h \doteq 6{,}626\,068\,96 \times 10^{-34}\ \mathrm{Js}$

- protože množina energ. hladin je diskrétní, vzniká při záření atomů diskrétní spektrum vln. délek (viz obr.)



Záření černého tělesa

- tělesa zahřátá na vysoké teploty též vyzařují el.-mag. vlnění (viz roztavená ocel, vlákno žárovky, rozpálená kamna atd.)
- <u>černé těleso</u> - těleso, které pohltí veškeré dopadající záření ⇒ záření, které z tělesa vychází, má příčinu v tepelném vyzařování
- černé těleso se realizuje vyhřívanou dutinou (tvar koule či válce) s malým vstupním otvorem (viz obrázek)
- záření, které otvorem vnikne, je pohlceno mnohacetnými odrazy na stěnách dutiny → záření vycházející z otvoru je pouze záření tepelné (vyzářené stěnami dutiny)



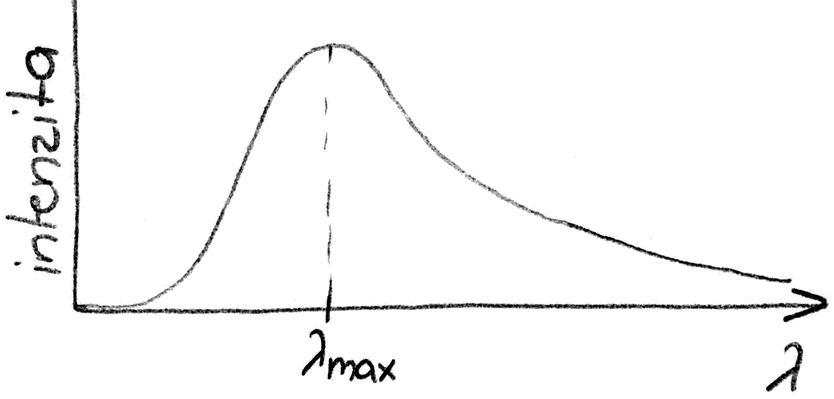
- vyzařování popsal Planck, přičemž zavedl představu, že pevné těleso sestává z velkého počtu oscilátorů, které mohou vyzařovat i přijímat el.-mag. vlnění po celých násobcích jisté dávky energie - tzv. kvantech
- na základě této představy odvodil správný průběh spektrální hustoty intenzity záření černého tělesa ve tvaru:

$$H_\lambda = \frac{C_1}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{\exp\left(\frac{C_2}{\lambda T}\right) - 1}$$

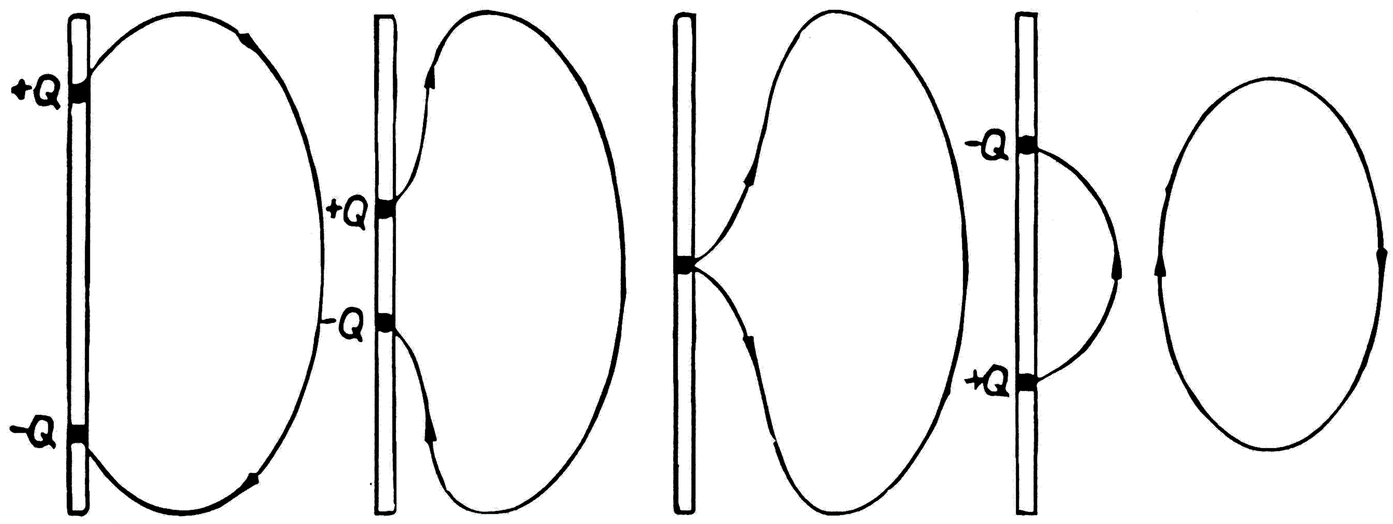
kde T je termodynamická teplota tělesa a konstanty C_1 a C_2 jsou rovny

$$C_1 = 2\pi hc^2 \quad \text{a} \quad C_2 = hc/k$$

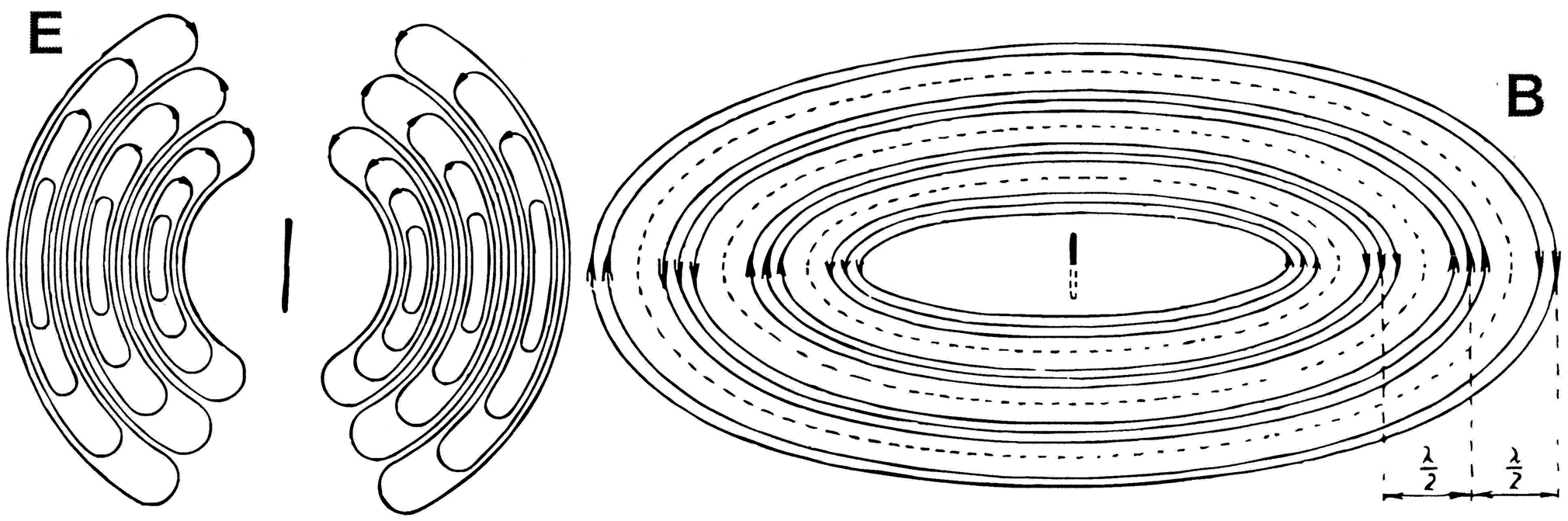
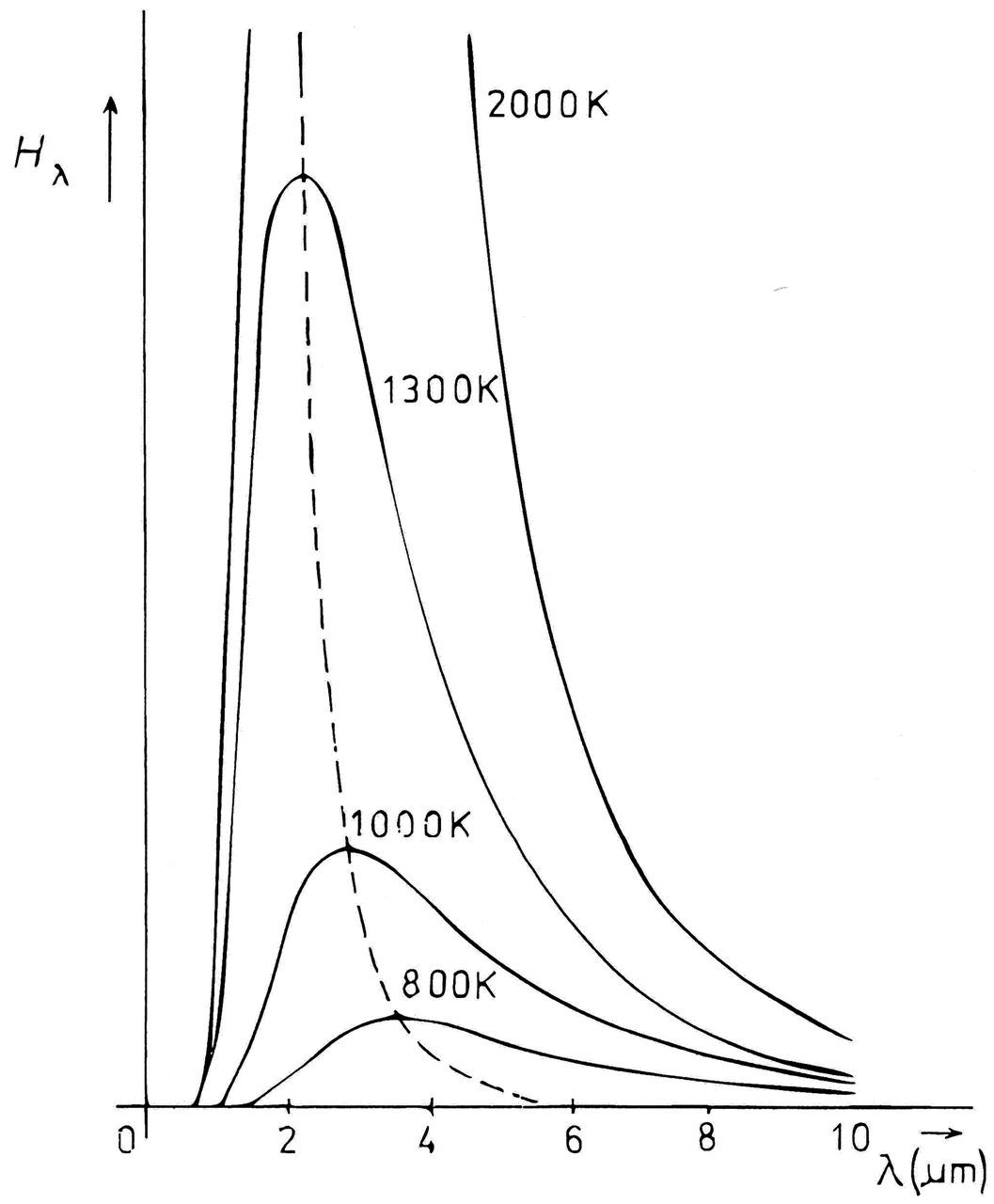
- tepelné záření má spojité spektrum (viz obrázek)



Vyzařování el.-mag. vln



Vznik elektrické siločáry kmitáním dipólu



Elektrické siločáry a magnetické indukční čáry v okolí kmitajícího dipólu