

6. Rozptyl světla

6.1. Záření urychleného náboje

6.2. Záření emitované dipólem

6. Rozptyl světla

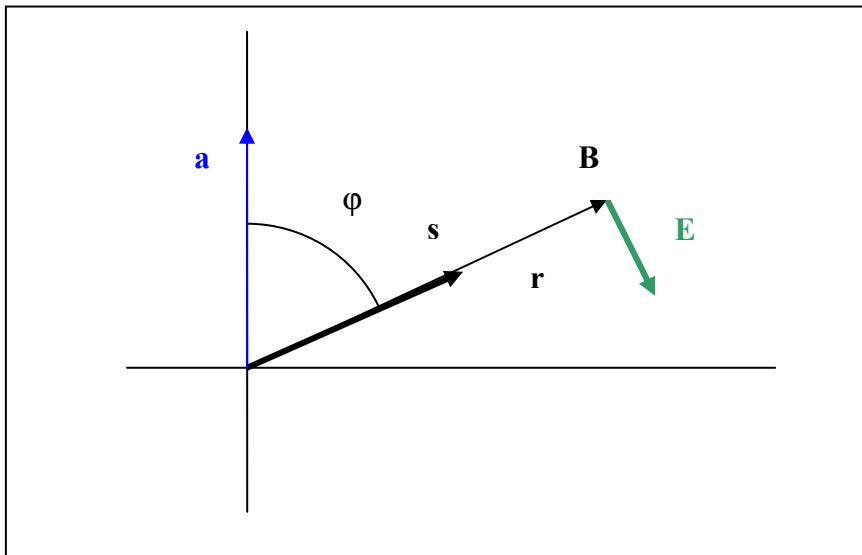
Uvedeme jen základy teorie rozptylu světla i když je to kapitola poměrně široká a s řadou aplikací, které zahrnují rozptyl na částicích různého tvaru, v různých prostředích, studium rozptylu na drsných rozhraních atd.

Základem je teorie elektromagnetického pole. Prochází-li vodičem stacionární elektrický proud, pak je v okolí stacionární magnetické pole. Při změně proudu se změní magnetické pole a současně vznikne elektrické pole. To je základem vzniku elektromagnetického záření, jednoduchým příkladem je anténa vysilače. Z mikroskopického pohledu si můžeme představit, že elektron se rozkmitá vlivem dopadajícího záření a současně se tak stane zdrojem záření.

6.1. Záření urychleného náboje

Pro intenzitu elektrického pole v případě záření pohybujícího se náboje q se zrychlením a platí pro vzdálenosti $r \gg \lambda$

$$\mathbf{E} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 c^2 r} [\mathbf{s} \times (\mathbf{s} \times \mathbf{a})] \quad (6.1.1)$$



Obr. 6.1.1 Vektory elmag. pole pro náboj se zrychlením a .

Kde $\mathbf{r} = r\mathbf{s}$ (viz obr. 6.1.1) a pro velikost E máme

$$E = \frac{qa \sin(\varphi)}{4\pi\epsilon_0 c^2 r} \quad (6.1.2)$$

Ze M.r.4 a pro $\mathbf{k} = 2\pi\mathbf{s}/\lambda = \omega c^{-1} \mathbf{s}$ dostaneme

$$\mathbf{H} = -\epsilon_0 c (\mathbf{s} \times \mathbf{E}) \quad (6.1.3)$$

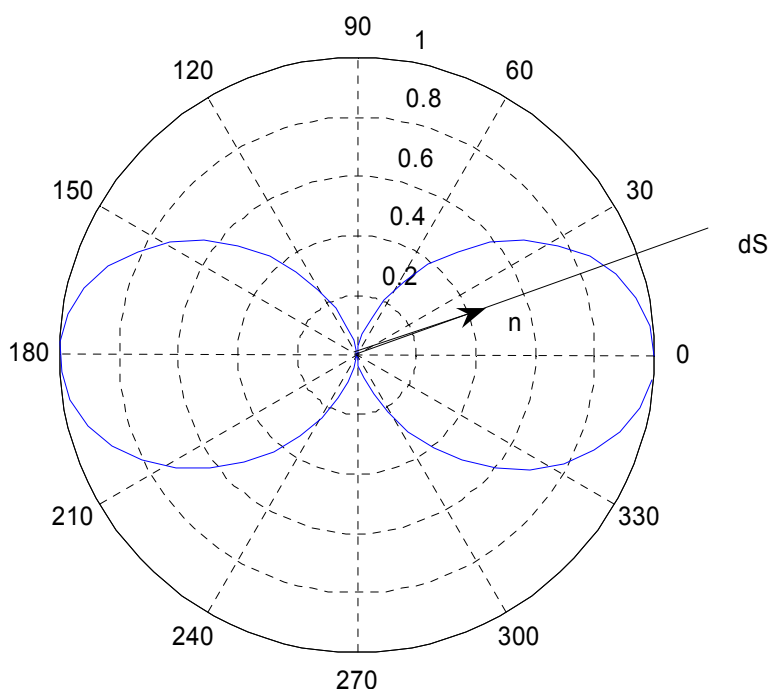
Pro tok energie přes plošku ds

$$d\mathbf{S} = (\mathbf{E} \times \mathbf{H}) ds = \epsilon_0 c [\mathbf{E} \times (\mathbf{s} \times \mathbf{E})] ds = \epsilon_0 c E^2 \mathbf{s} ds \quad (6.1.4)$$

s využitím úpravy pro vektorový součin (Appendix) a podmínky transversibility. Pak po dosazení z (6.2.2)

$$d\mathbf{S} = \frac{sq^2 a^2}{16\pi^2 \epsilon_0 c^3 r^2} \sin^2(\varphi) ds \quad (6.1.5)$$

Závislost toku energie na úhlu φ je na polárním diagramu na obr.6.1.2.



Obr. 6.1.2. Závislost toku energie na úhlu φ .

V polárních souřadnicích $ds = r^2 \sin(\varphi) d\varphi d\vartheta$ a pro celkový tok

$$S = 8 \int_0^{\pi/2} d\vartheta \int_0^{\pi/2} \frac{q^2 a^2}{16\pi^2 \epsilon_0 c^3} \sin^3(\varphi) d\varphi = \frac{q^2 a^2}{6\pi \epsilon_0 c^3} \quad (6.1.6)$$

To je tzv. „brzdné záření“. Odvození je pro malé rychlosti, kdy $v \ll c$. Pro relativistický případ, kdy v se blíží rychlosti světla c je polární diagram mnohem protáhlejší. Jedná se zpravidla o tzv. synchrotronové záření, často využívané jako zdroj záření s mimořádnými vlastnostmi pro vědecké i praktické účely.

6.2. Záření emitované dipólem

Pro atom nebo molekulu je někdy vhodná představa jednoduchého dipólu. Pro dipólový moment ve směru z platí

$$\mathbf{p} = q\mathbf{z} \quad (6.2.1)$$

kde \mathbf{z} je výchylka z těžiště nábojů. Pod vlivem vnějšího pole se dipól rozkmitá s frekvencí ω , pak

$$\mathbf{p} = qz_0 \cos(\omega t) \quad (6.2.2)$$

Kde $\mathbf{z} = z_0 \cos(\omega t)$, pro zrychlení

$$\mathbf{a} = -z_0 \omega^2 \cos(\omega t) \quad (6.2.3)$$

pro elektrické pole ze vztahu (6.1.1)

$$\mathbf{E} = -\frac{q\omega^2}{4\pi\epsilon_0 c^2 r} [\mathbf{s} \times (\mathbf{s} \times \mathbf{z}_0)] \cos(\omega t) \quad (6.2.4)$$

A stejným postupem jako pro samotný náboj dostaneme pro tok energie

$$d\mathbf{S} = \frac{sq^2 z_0^2 \omega^4}{16\pi^2 \epsilon_0 c^3 r^2} \sin^2(\varphi) \cos^2(\omega t) ds \quad (6.2.5)$$

Pro střední časovou hodnotu

$$\langle d\mathbf{S} \rangle = \frac{1}{2} \frac{sq^2 z_0^2 \omega^4}{16\pi^2 \epsilon_0 c^3 r^2} \sin^2(\varphi) ds \quad (6.2.6)$$

Po integraci přes povrch koule

$$\langle \mathbf{S} \rangle = \frac{q^2 z_0^2 \omega^4}{12\pi\epsilon_0 c^3} \quad (6.2.7)$$

Současně platí

$$\mathbf{p} = \epsilon_0 \alpha \mathbf{E} = \epsilon_0 \alpha E_0 \cos(\omega t) = qz_0 \cos(\omega t) \quad (6.2.8)$$

Po dosazení do (6.2.7)

$$\langle \mathbf{S} \rangle = \frac{\epsilon_0 \alpha^2 \omega^4 E_0^2}{12\pi c^3} \quad (6.2.9)$$

To je vztah pro celkovou intenzitu rozptýleného světla. Pro tok energie $d\mathbf{S}$ je velmi důležitá úměra

$$\langle d\mathbf{S} \rangle \approx \frac{\omega^4 \sin^2(\varphi)}{r^2} \quad (6.2.10)$$

Jedná se o tzv. Rayleighovo rozptýlení. Např. vlivem závislosti $d\mathbf{S}$ na ω^4 je obloha modrá.

Je zřejmé, že rozptýlené záření má i polarizační vlastnosti, ale nebudeme se tím podrobněji zabývat.