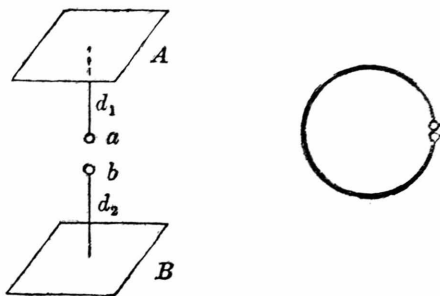


oscilátora (obr. 7.2a) vzniká len slabé elektromagnetické vlnenie, lebo magnetické pole je v ňom sústredené vnútri indukčnej cievky a pole elektrické vnútri kondenzátora. Z uzavretého oscilátora dostaneme otvorený, keď dosky jeho kondenzátora od seba čo najviac vzdialíme, ako je to naznačené na obr. 7.2b. Elektrické pole otvoreného oscilátora vyplňuje celé jeho okolie, takže otvorený oscilátor sa lepšie hodí na vysielanie elektromagnetických vln.

Hertzov oscilátor sa skladal z dvoch kovových guľôčok *a* a *b* (obr. 7.3), ktoré boli pripojené k svorkám sekundárneho vinutia induktora, takže medzi nimi mohli preskakovať elektrické iskry, ktoré predstavovali krátkodobé vodivé spojenie obidvoch guľôčok. Guľôčky boli spojené s kovovými doskami *A* a *B*, predstavujúcimi otvorený kondenzátor, pomocou drôťkov *d*<sub>1</sub> a *d*<sub>2</sub>, ktoré zastupovali indukčnú cievku. Pri každom preskočení elektrickej iskry vzniklo v okolí oscilátora tlmené elektromagnetické vlnenie, v ktorom elektrické siločiarly pretínali vodorovnú rovinu súmernosti oscilátora kolmo, zatiaľ čo siločiarly magnetické boli s ňou všade rovnobežné. Existenciu tohto vlnenia dokazoval Hertz pomocou svojho



Obr. 7.3.

elektromagnetického rezonátora, ktorý mal tvar do kruhu stočeného drôtu, prerušeného na jednom mieste veľmi krátkym iskrištom (obr. 7.3). Keď sa rezonátor držal v takej polohe, že jeho rovina splývala s osou otvoreného oscilátora, preskakovali v jeho iskrišti elektrické iskry.

**7.3. Poyntingov žiarivý vektor.** Pomocou Maxwellových rovníc odvodil Poynting výraz vyjadrujúci smer a hustotu prúdenia energie v elektromagnetickom poli, ktorý sa dnes nazýva *Poyntingovým žiarivým vektorom*.

Podľa Maxwella hustota energie v elektromagnetickom poli sa rovná súčtu jej hustôt pripadajúcich na elektrickú a magnetickú časť poľa, ktoré sú určené vzorcami (1.14.4) a (6.4.4). Celková energia vnútri uzavretej plochy, ktorá sa nachádza v elektromagnetickom poli, jestvujúcim v izotropnom prostredí, je preto

$$\begin{aligned}
 U &= \int u \, d\tau = \int (u_e + u_m) \, d\tau = \frac{1}{2} \int (\mathbf{E} \cdot \mathbf{D} + \mathbf{H} \cdot \mathbf{B}) \, d\tau = \\
 &= \frac{1}{2} \int (\epsilon E^2 + \mu H^2) \, d\tau
 \end{aligned}$$

Derivovaním tohto výrazu podľa času, keď súčasne prizeráme aj k Maxwellovým rovniciam, postupne dostávame:

$$\begin{aligned} \frac{dU}{dt} &= \int \left( \epsilon \mathbf{E} \cdot \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \mu \mathbf{H} \cdot \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} \right) d\tau = \int \left( \mathbf{E} \cdot \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} + \mathbf{H} \cdot \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \right) d\tau = \\ &= \int \mathbf{E} \cdot (\text{rot } \mathbf{H} - \mathbf{i}) d\tau - \int (\mathbf{H} \cdot \text{rot } \mathbf{E}) d\tau = \\ &= \int (\mathbf{E} \cdot \text{rot } \mathbf{H} - \mathbf{H} \cdot \text{rot } \mathbf{E}) d\tau - \int (\mathbf{i} \cdot \mathbf{E}) d\tau \end{aligned}$$

alebo, keďže úplne všeobecne je

$$\begin{aligned} \text{div}(\mathbf{b} \times \mathbf{a}) &= \nabla \cdot (\mathbf{b} \times \mathbf{a}) = (\nabla \times \mathbf{b}) \cdot \mathbf{a} - (\nabla \times \mathbf{a}) \cdot \mathbf{b} = \mathbf{a} \cdot \text{rot } \mathbf{b} - \mathbf{b} \cdot \text{rot } \mathbf{a} \\ \frac{dU}{dt} &= \int \text{div}(\mathbf{H} \times \mathbf{E}) d\tau - \int (\mathbf{i} \cdot \mathbf{E}) d\tau = - \int (\mathbf{E} \times \mathbf{H}) \cdot d\mathbf{S} - \int \rho i^2 d\tau \end{aligned}$$

kde  $d\mathbf{S}$  je elementárny plošný vektor a  $\rho$  znamená špecifický odpor.

Podľa tohto výsledku strata elektromagnetickej energie za jednotku času vnútri uzavretej plochy, ktorú sme si v elektromagnetickom poli boli pevne zvolili, je

$$- \frac{dU}{dt} = \int (\mathbf{E} \times \mathbf{H}) \cdot d\mathbf{S} + \int \rho i^2 d\tau \quad (1)$$

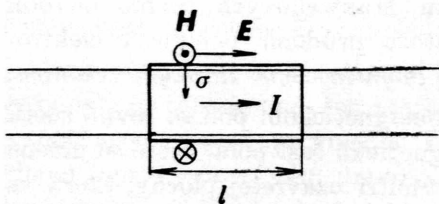
Keď od celkovej straty  $N = - \frac{dU}{dt}$  odčítame jej časť, ktorá sa za jednotku času mení na energiu tepelnú a ktorá je daná integrálom  $N_2 = \int \rho i^2 d\tau$ , dostaneme stratu, ktorá vo vákuu alebo v hmotnom prostredí, aké máme na mysli ( $\epsilon = \text{const}$ ,  $\mu = \text{const}$ ), môže byť zapríčinená len prúdením energie cez povrch uzavretej plochy. Táto strata je  $N_1 = \int (\mathbf{E} \times \mathbf{H}) \cdot d\mathbf{S}$ .

Podľa tohto výsledku hľadaný Poyntingov vektor je

$$\boldsymbol{\sigma} = \mathbf{E} \times \mathbf{H} \quad (2)$$

Overíme si výsledok (2) na jednoduchom názornom príklade. Majme na mysli drôt s kruhovým prierezom  $q = \pi r^2$ ,

v ktorom je s časom sa nemeniaci prúd  $I$ . Podľa Ohmovho zákona  $\mathbf{i} = \kappa \mathbf{E}$  v drôte aj tesne pri jeho povrchu je potom elektrické pole intenzity, ktorej abs. hodnota je  $E = \rho i = \rho \frac{I}{\pi r^2}$ . Zo vzorca  $\oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{s} = I$ , keď ho použijeme na kružnicu drôt tesne obopínajúcu, vyplýva, že tesne pri povrchu drôtu je



Obr. 7.4.

magnetické pole intenzity  $H = \frac{I}{2\pi r}$ . Podľa obr. 7.4 vektor  $\sigma$  na povrchu drôtu smeruje do drôtu, takže jeho vtok do úseku drôtu dĺžky  $l$  je:

$$-\oint (\mathbf{E} \times \mathbf{H}) \cdot d\mathbf{S} = \rho \frac{I}{\pi r^2} \cdot \frac{I}{2\pi r} \cdot 2\pi r l = \rho i^2 \pi r^2 l = \rho i^2 q l$$

Podľa tohto výsledku vtok elektromagnetickej energie do úseku drôtu sa rovná súčasne v drôte vznikajúcemu Joulovmu teplu, čo súhlasí s rovnicou (1), lebo za ustáleného stavu úbytok elektromagnetickej energie v drôte sa rovná nule.

## 8. ZÁKLADY ŠPECIÁLNEJ TEÓRIE RELATIVITY

**8.1. Historický úvod.** Fyzikálne pojmy a veličiny možno rozdeľovať do skupín podľa ich rôznych vlastností. Jedno také delenie je napr. delenie na množstvá a stavy. Iné, podľa súvislosti fyzikálnych veličín s priestorom, je ich delenie na skaláry, vektory a tenzory. Na tomto mieste nás bude zaujímať možnosť rozdeľovať fyzikálne veličiny na *absolútne a relatívne* veličiny.

Absolútnou sa nazýva fyzikálna veličina, ktorá charakterizuje vec alebo jav, ktorých sa týka, bez ohľadu na iné objekty alebo súčasne prebiehajúce iné deje. Naproti tomu relatívna veličina vyjadruje súvis vecí niekedy na pohľad od seba aj nezávislých.

Dejiny fyziky nás poučujú o tom, že o niektorých fyzikálnych veličinách, ktoré sa pôvodne považovali za absolútne, sa neskoršie ukázalo, že majú význam len relatívny. V staroveku a ešte aj v stredoveku aj pohyb telies sa napr. považoval za absolútny dej. Tak to bolo až do čias Galileiho a Newtona, ktorí sa pri štúdiu rozličných mechanických dejov presvedčili, že mechanické deje sa odohrávajú vzhľadom na všetky tzv. *inerciálne súradnicové sústavy* podľa rovnakých zákonov. Preto hovoriť o rovnomernom a priamočiarom translačnom mechanickom pohybe o sebe nemá zmyslu.

Napriek tomu sa snaha o zachovanie absolútneho významu každého pohybu udržala vo fyzike až do začiatku XX. storočia. V druhej polovici minulého storočia sa tým rozumel pohyb vzhľadom na všadeprítomný a všetky telesá prenikajúci *svetelný éter*, ktorý mal byť nositeľom vtedy objaveného elektromagnetického a tým aj svetelného vlnenia. Keby totiž jestvoval svetelný éter, pozorovaním optických javov bolo by zásadne možné odhaliť aj mechanický pohyb vzhľadom na svetelný éter a ten považovať za absolútny. Avšak všetky pokusy dokázať existenciu svetelného éteru, v ktorom sa svetlo malo šíriť vo všetkých smeroch rovnakou rýchlosťou, stretávali sa s neúspechom. Naopak, rôzne veľmi starostlivo vykonané pokusy, pri ktorých sa používalo