

Úloha V.5 ... opticko-relativistická

9 bodů; (chybí statistiky)

Určete, jaký fázový posun $\Delta\Phi$ vznikne přechodem laserového svazku s vlnovou délkou λ_0 přes skleněnou desku s klidovou tloušťkou h a s indexem lomu n , která se pohybuje ve směru svazku rovnoměrně rychlostí v , oproti případu, kdy je deska vůči zdroji i pozorovateli v klidu. Zajímá nás především první nenulový člen rozvoje podle rychlosti desky. *Dodo a optické praktikum.*

Nech sa zrkadlo pohybuje od zdroja. V okamžiku vniku svetla do dosky položíme

$$t = t' = 0, \quad x = x' = 0$$

V sústave pohybujúcej sa s doskou má svetlo vlnovú dĺžku vo vákuu danú relaticistickým Dopplerovým javom ako

$$\lambda = \lambda_0 \sqrt{\frac{c+v}{c-v}}.$$

Pri prechode doskou teda zmení fázu o

$$\Phi_1 = 2\pi \frac{hn}{\lambda} = 2\pi \frac{hn}{\lambda_0} \sqrt{\frac{c-v}{c+v}},$$

kde hn je optická dráha sklom. V okamihu opustenia skla bude v sústave spojenej so sklom $t'_1 = \frac{hn}{c}$, $x'_1 = h$, čo pomocou Lorentzovej transformácie prevedieme na čas a polohu v sústave spojenej so zdrojom

$$\begin{aligned} t_1 &= \gamma \left(\frac{hn}{c} + \frac{vh}{c^2} \right), \\ x_1 &= \gamma \left(h + \frac{vhn}{c} \right). \end{aligned}$$

Pre porovnanie uvažujeme prípad, keď doska stojí a cez ňu sa lúč dostane do miesta x_1 . Pri prejdení doskou dostaneme nábeh fáze

$$\Phi_2 = 2\pi \frac{hn}{\lambda_0},$$

a budeme sa nachádzať v mieste $x = h$. Musíme teda ešte vo vákuu prekonať vzdialenosť

$$x_1 - x = h \left(\gamma + \gamma \frac{vn}{c} - 1 \right),$$

ktorá nám dá nábeh fáze

$$\Phi_3 = 2\pi \frac{h}{\lambda_0} \left(\gamma + \gamma \frac{vn}{c} - 1 \right).$$

Celkovo pre rozdiel fáze máme

$$\Delta\Phi = \Phi_1 - \Phi_2 - \Phi_3 = 2\pi \frac{h}{\lambda_0} \left(n \sqrt{\frac{c-v}{c+v}} - n - \gamma - \gamma \frac{vn}{c} + 1 \right).$$

Zaujíma nás rozvoj tohto výrazu vo v/c . Postupne máme

$$\begin{aligned}\sqrt{\frac{c-v}{c+v}} &\approx 1 - \frac{v}{c} + \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2} \\ \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} &\approx 1 + \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2} \\ \Delta\Phi &\approx 2\pi \frac{h}{\lambda_0} \left(n \left(-\frac{v}{c} + \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2} \right) - \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2} - \frac{vn}{c} \right) = \pi \frac{h}{\lambda_0} (n-1) \frac{v^2}{c^2}.\end{aligned}$$

Môžeme vidieť, že pri bežných rýchlostiach sa efekt neprejavuje, a že bez dosky by sme dostali fázový rozdiel nulový.

Jozef Lipták
liptak.j@fykos.cz

Fyzikální korespondenční seminář je organizován studenty MFF UK. Je zastřešen Oddělením propagace a mediální komunikace MFF UK a podporován Ústavem teoretické fyziky MFF UK, jeho zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.

Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported.
Pro zobrazení kopie této licence navštivte <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.