Ladislav Dunajský

K otázke fázových posuvov na rozhraniach

Matematicko-fyzikálny časopis, Vol. 12 (1962), No. 4, 309--311

Persistent URL: http://dml.cz/dmlcz/126332

K OTÁZKE FÁZOVÝCH POSUVOV NA ROZHRANIACH

LADISLAV DUNAJSKÝ, Nitra

Úvod

Otázkou fázových posuvov na rozhraniach zaoberal sa autor týchto riadkov v [1]. V tomto článku, podobne ako v práci Škľarevského v [2], príslušné podmienky pre maximum prepustného svetla sa neodvádzali, ale sa len ukázalo, ako sa tieto vzťahy [rovnice (1) a (2) tohto článku] transformujú, ak použijeme iný tvar amplitúdového koeficientu odrazu ako (3).

Formulácia problému

Podmienka pre maximum svetla prepusteného tenkou vrstvou ZnS ($n = 2{,}4$) usadenou na Ag ($\boldsymbol{n}_3 = n_3 - i\kappa_3 = 0{,}16 - i3{,}67$), pričom prvým prostredím je vzduch ($n_1 = 1$), je tvaru (prípad A):

$$2n_2d_2 - \frac{\delta_{23}}{2\pi} = m\lambda, \tag{1}$$

kde d_2 je hrúbka vrstvy, λ vlnová dĺžka svetla vo vákuu a m interferenčný rád (celé číslo).

Pre maximum prepusteného svetla vrstvou ZnS z dvoch strán postriebrenou (t. j. $\boldsymbol{n}_1 = \boldsymbol{n}_3$) platí podmienka (prípad B):

$$2n_2d_2 - \frac{\delta_{23}}{\pi} = m\lambda. \tag{2}$$

Fázový posuv δ_{23} sa určí zo vzťahu:

$$r_{23}\,e^{i\delta_{23}} = \frac{n_2 - \boldsymbol{n}_3}{n_2 + \boldsymbol{n}_3} \tag{3}$$

Hodnota δ_{23} sa pre zjednodušenie ďalších výpočtov zaokrúhľuje na arc 120°. Z rovníc (1) a (2) dostaneme pre optické hrúbky vrstvy vzťahy:

$$n_2d_2 = \frac{3m+1}{6}\lambda, \tag{4}$$

$$n_2d_2 = \frac{3m+2}{6}\lambda. \tag{5}$$

Odvodenie podmienok

Priepustnosť vrstvy je daná vzťahom (porov. napríklad [3]):

(6) $$\tau = \frac{n_3}{n_1} \frac{t_{12}t_{23}}{1 + r_{12}^2 r_{23}^2 + 2r_{12}r_{23}\cos(2x - \delta_{12} - \delta_{23})},$$

kde

$$x = \frac{2\pi}{\lambda} n_2 d_2 .$$

Rovnaký vzťah platí, ak použijeme amplitúdový koeficient odrazu s opačným znamienkom ako (3). Príslušné fázové posuvy budeme označovať ako δ^-.

Podmienka pre maximum priepustnosti znie:

(7) $$2x - \delta_{12} - \delta_{23} = (2m + 1)\pi .$$

V prípade A je $\delta_{12} = \pi$ a $\delta_{23} = \text{arc } 120°$; $\delta_{12}^- = 0$ a $\delta_{23}^- = \text{arc } 300°$. Po úprave vidíme, že pri použití δ a δ^- dostaneme pre optickú hrúbku vzťah (4).*

V prípade B je $\delta_{12} = \text{arc } 300°$ a $\delta_{23} = \text{arc } 120°$, $\delta_{12}^- = \text{arc } 120°$ a $\delta_{23}^- = \text{arc } 300°$. Po úprave oboch dostaneme vzťah (5).*

Ak namiesto $\boldsymbol{n}_3 = n_3 - \boldsymbol{i}\kappa_3$ používame $\boldsymbol{n}_3 = n_3 + \boldsymbol{i}\kappa_3$ (t. j. komplexne združený výraz), pre priepustnosť vrstvy dostaneme vzťah (porov. napr. [4]):

(8) $$\tau = \frac{n_3}{n_1} \frac{t_{12}t_{23}}{1 + r_{12}^2 r_{23}^2 + 2r_{12}r_{23}\cos(2x + \delta_{12}^* + \delta_{23}^*)},$$

kde sme príslušné fázové posuvy označili hviezdičkou.

Rovnaké vzťahy platia aj pri použití fázových posuvov δ^{-*}.

Podmienka pre maximum priepustnosti znie:

(9) $$2x + \delta_{12}^* + \delta_{23}^* = (2m + 1)\pi .$$

V prípade A je $\delta_{12}^* = \pi$, $\delta_{23}^* = \text{arc } 240°$; $\delta_{12}^{-*} = 0$ $\delta_{23}^{-*} = \text{arc } 60°$. V prípade B je $\delta_{12}^* = \text{arc } 60°$, $\delta_{23}^* = \text{arc } 240°$; $\delta_{12}^{-*} = \text{arc } 240°$ a $\delta_{23}^{-*} = \text{arc } 60°$. Na základe týchto hodnôt zo vzťahu (9) dostaneme pre optickú hrúbku rovnaké výsledky ako predtým.

Súhrn

Problematikou fázových posuvov sa zaoberal autor tohto článku v [1]. V tomto článku sa nadväzuje na výsledky článku [1]. Na základe vzorcov pre priepustnosť svetla, ktoré vyplývajú z Maxwellových rovníc a ich hraničných podmienok pri použití rôznych druhov fázových posuvov, odvodili sa podmienky pre maximum

* Interferenčné rády majú, pravda, iné poradové čísla.

prepusteného svetla. Z týchto podmienok dostaneme rovnaké hodnoty pre hrúbku tenkých vrstiev pri použití ktoréhokoľvek druhu fázových posuvov. Tým je znovu dokázané, že pri dôslednom používaní ani jeden druh fázového posuvu nevedie k protirečeniam. K podobnému záveru prichádza i Sokolov v [5].

LITERATÚRA

[1] Dunajský L., Mat.-fyz. časopis 11 (1961), 203.
[2] Škľarevskij I. N., ŽTF 26 (1956), 333.
[3] Vašíček A., *Optics of thin films*, Amsterdam 1960, 325
[4] Born M., Wolf E., *Principles of optics*, London 1959, 627.
[5] Sokolov A. V., *Optičeskije svojstva metallov*, Moskva 1961, 45.

Došlo 28. 9. 1961.

Katedra matematiky a fyziky
Vysokej školy poľnohospodárskej
v Nitre

К ВОПРОСУ О ФАЗОВЫХ СООТНОШЕНИЯХ НА ГРАНИЦАХ РАЗДЕЛА

Ладислав Дунайски

Резюме

Настоящая статья является продолжением результатов статьи [1]. На основании формул для прозрачности, вытекающих из уравнений Максвелла и их граничных условий при использовании различных видов фазовых сдвигов, были выведены условия для максимума пропущенного света. Из этих условий получаем одинаковые значения для толщины тонких слоев при использовании любого из видов фазовых сдвигов. Тем самым снова показано, что при последовательном использовании ни один из видов фазового сдвига не приводит к противоречиям. К аналогичному заключению приходит также Соколов в [5].