



OS EFEITOS DE GOOS-HÄNCHEN E IMBERT-FEDEROV

THALYTA T. MARTINS



SUMÁRIO

- Introdução
- Cálculo dos desvios
- Medição experimental do efeito de Goos-Hänchen
- Conclusão



1947

Goos e Hänchen
descobrem o
deslocamento lateral





1947

Goos e Hänchen
descobrem o
deslocamento lateral



1948

Artmann explica o
efeito: relação com a
polarização da luz



1947

Goos e Hänchen
descobrem o
deslocamento lateral

1973

Deslocamento de
GH proposto para
reflexão e
transmissão parciais



1948

Artmann explica o
efeito: relação com a
polarização da luz



1947

Goos e Hänchen descobrem o deslocamento lateral

1973

Deslocamento de GH proposto para reflexão e transmissão parciais



1948

Artmann explica o efeito: relação com a polarização da luz

2009

Verificação experimental para desvio angular de GH



1947

Goos e Hänchen descobrem o deslocamento lateral

1955

Federov prevê deslocamento transversal

1973

Deslocamento de GH proposto para reflexão e transmissão parciais



1948

Artmann explica o efeito: relação com a polarização da luz

2009

Verificação experimental para desvio angular de GH



1947

Goos e Hänchen descobrem o deslocamento lateral

1955

Federov prevê deslocamento transversal

1973

Deslocamento de GH proposto para reflexão e transmissão parciais



1948

Artmann explica o efeito: relação com a polarização da luz

1972

Imbert calculou deslocamento transversal

2009

Verificação experimental para desvio angular de GH



1947

Goos e Hänchen descobrem o deslocamento lateral

1955

Federov prevê deslocamento transversal

1973

Deslocamento de GH proposto para reflexão e transmissão parciais



1948

Artmann explica o efeito: relação com a polarização da luz

1972

Imbert calculou deslocamento transversal

2006

Tratamento teórico final para deslocamentos de GH e IF

2009

Verificação experimental para desvio angular de GH



1947

Goos e Hänchen descobrem o deslocamento lateral

1955

Federov prevê deslocamento transversal

1973

Deslocamento de GH proposto para reflexão e transmissão parciais

2008

Verificação experimental para desvio angular de IF



1948

Artmann explica o efeito: relação com a polarização da luz

1972

Imbert calculou deslocamento transversal

2006

Tratamento teórico final para deslocamentos de GH e IF

2009

Verificação experimental para desvio angular de GH

TEORIA: CÁLCULO DOS DESLOCAMENTOS

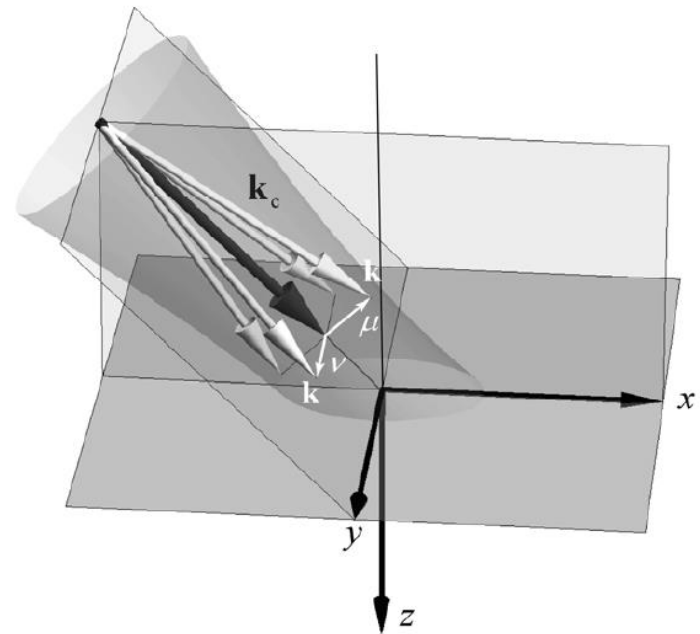
Podemos escrever o vetor de onda:

$$\mathbf{k}^a = \mathbf{k}_c^a + \boldsymbol{\chi}^a$$

com $\boldsymbol{\chi}^a = k^a (\mu^a \mathbf{u}_x^a + \nu^a \mathbf{u}_y^a)$

Sistemas de coordenadas utilizados:

- Sistema de referência do laboratório
- Sistema de referência do feixe
- Sistema de coordenadas esféricas para TM e TE



Superposição de ondas planas. Fonte: [1].

Campo elétrico dos feixes $a = i, r, t$:

$$|\tilde{\mathbf{E}}^a\rangle_B = \hat{U}_\theta(\theta^a, \mathbf{k}^a) |\tilde{\mathbf{E}}(\mathbf{k}^a)\rangle_B$$

Sem deflexões:

$$\hat{U}_\theta(\theta^a, \mathbf{k}^a) = \hat{R}_y(\theta^a) \hat{R}_z(\phi^a) \hat{R}_y(-\theta^a)$$

Com deflexões:

$$\hat{U}_\theta(\theta^a, \mathbf{k}^a) = \hat{R}_y(\theta^a + \mu^a) \hat{R}_z(v^a / \sin \theta^a) \hat{R}_y(-\theta^a)$$

A transformação será:

$$\hat{U}_\theta(\theta^a, \mathbf{k}^a) = \begin{pmatrix} 1 & v^a \cot \theta^a & -\mu^a \\ -v^a \cot \theta^a & 1 & -v^a \\ \mu^a & v^a & 1 \end{pmatrix}$$

Os feixes secundários são obtidos aplicando a matriz de Fresnel-Jones:

$$|\tilde{\mathbf{E}}^a\rangle_{\perp S} = \hat{F}^a |\tilde{\mathbf{E}}\rangle_{\perp S}$$

Sem deflexões:

$$\hat{F}^a = \begin{pmatrix} f_p^a & 0 \\ 0 & f_s^a \end{pmatrix}$$

Com deflexões:

$$\hat{F}^a = \begin{pmatrix} f_p^a \left(1 + \mu \frac{\partial \ln f_p^a}{\partial \theta} \right) & 0 \\ 0 & f_s^a \left(1 + \mu \frac{\partial \ln f_s^a}{\partial \theta} \right) \end{pmatrix}$$

O campo elétrico final é dado por:

$$|\tilde{\mathbf{E}}^a)_{\perp B} = \hat{T}_{\perp}^a |\tilde{\mathbf{E}})_{\perp B}$$

com

$$\hat{T}_{\perp}^a = \hat{U}_{\theta\perp}^{\dagger}(\theta^a, \chi^a) \hat{F}^a(\theta, \chi) \hat{U}_{\theta\perp}(\theta, \chi) = \begin{pmatrix} f_p^a(1 + \mu\chi_p^a) & f_p^a \nu \gamma_p^a \\ -f_s^a \nu \gamma_s^a & f_s^a(1 + \mu\chi_s^a) \end{pmatrix}$$

Introduzimos as quantidades:

$$\chi_{p,s}^a = \frac{\partial \ln f_{p,s}^a}{\partial \theta}, \gamma_{p,s}^a = \left(1 - \gamma^{a-1} \frac{f_{s,p}^a}{f_{p,s}^a} \right) \cot \theta$$

PARA UM FEIXE GAUSSIANO

$$|\tilde{\mathbf{E}})_{\perp B} = |\tilde{\mathbf{e}})_{\perp B} G(\mu, \nu), G(\mu, \nu) = \frac{w_0^2}{2\pi} \exp \left[-(kw_0)^2 \frac{\mu^2 + \nu^2}{a} \right]$$

Calculamos os desvios a partir dos valores esperados...

$$\langle X^a, Y^a \rangle = Q^{a-2} \left\langle \tilde{\mathbf{E}}^a \left| i \frac{\partial}{\partial k_{X,y}^a} \right| \tilde{\mathbf{E}}^a \right\rangle_{B\perp} \quad \langle P_{X,y}^a \rangle = Q^{a-2} \langle \tilde{\mathbf{E}}^a | k_{X,y}^a | \tilde{\mathbf{E}}^a \rangle_{B\perp}$$

Reflexão e transmissão parciais

$$\sin \theta < n$$

Goos-Hänchen

$$\langle X^a \rangle = 0$$

$$\langle P_X^a \rangle = \frac{\gamma^a}{k w_0^2} \frac{\partial \ln Q^a}{\partial \theta}$$

Imbert-Federov

$$\langle Y^a \rangle = -\frac{\bar{\sigma}}{2k} \frac{f_p^{a2} \gamma_p^a + f_s^{a2} \gamma_s^a}{Q^{a2}}$$

$$\langle P_y^a \rangle = \frac{\bar{\rho}}{k w_0^2} \frac{f_p^{a2} \gamma_p^a - f_s^{a2} \gamma_s^a}{Q^{a2}}$$

Reflexão total

$$\sin \theta > n$$

Goos-Hänchen

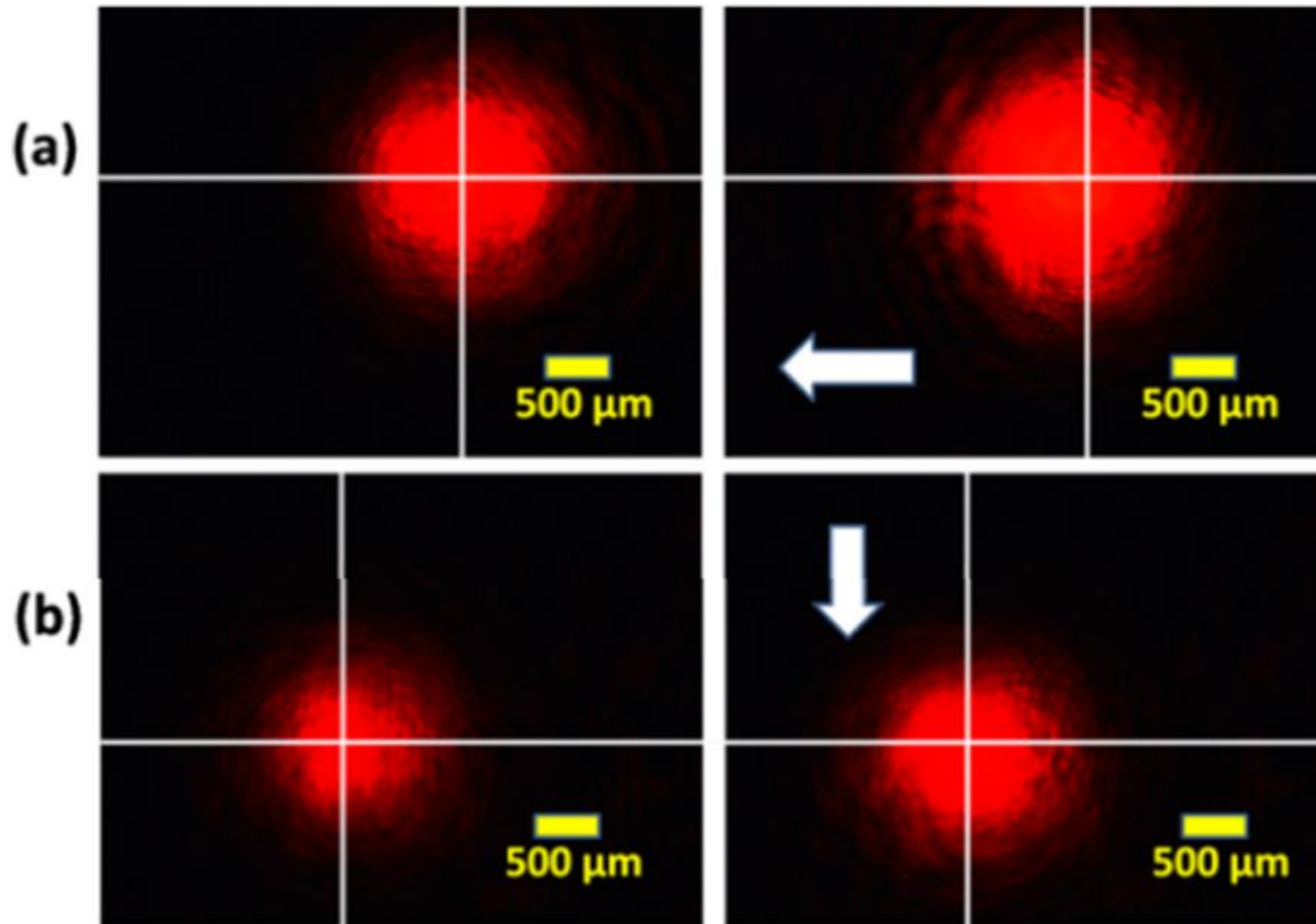
$$\langle X^{tot r} \rangle = \frac{1}{k} (|E_X|^2 \text{Im } \chi_p^r + |E_Y|^2 \text{Im } \chi_s^r)$$

$$\langle P_X^{tot r} \rangle = 0$$

Imbert-Federov

$$\begin{aligned} \langle Y^{tot r} \rangle &= -\frac{1}{2k} (\bar{\sigma} \text{Re} (\gamma_p^r + \gamma_s^r) + \bar{\rho} \text{Im} (\gamma_p^r \\ &\quad - \gamma_s^r)) \end{aligned}$$

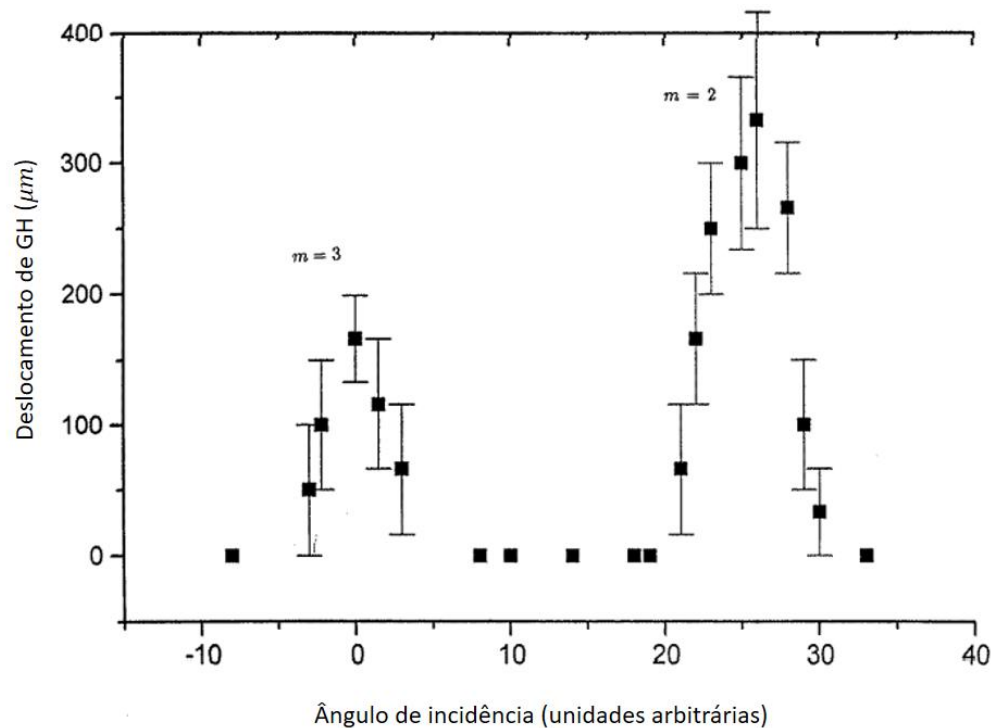
$$\langle P_y^a \rangle = 0$$



Deslocamento GH longitudinal em reflexão parcial ao longo da direção x em (a) e IF transversal ao longo da direção y em (b).

Fonte: [2].

EXPERIMENTO: DETECÇÃO DO EFEITO GH POR RESSONÂNCIA EM FILMES DIELÉTRICOS



Deslocamento de GH observado para feixe de He-Ne (TE), com comprimento de onda de 633 nm em função do ângulo de incidência. Utilizada uma camada de $5,9 \mu m$ de SiO_2 ($n_{SiO_2} = 1,45$) evaporada em um prisma ($n_p = 1,78$). Ângulo de incidência próximo do ângulo crítico. Os picos correspondem a $m = 2$ e $m = 3$. Fonte: [3].



CONCLUINDO...



That's all Folks!

REFERÊNCIAS

1. K. Bliokh e A. Aiello. Goos–hänchen and imbert–fedorov beam shifts: an overview. *Journal of Optics*, 15(1):014001, 2013.
2. S. Goswami e S. Dhara e M. Pal e A. Nandi e P.K. Panigrahi e N. Ghosh. Optimized weak measurements of goos–hänchen and imbert–fedorov shifts in partial reflection. *Optics express*, 24(6):6041–6051, 2016.
3. F. Goos e H.L. Hänchen. Neumessung des strahlversetzungseffektes bei totalreflexion. *Annalen der Physik*, 440(3-5):251–252, 1949.
4. K. Artmann. Berechnung der seitenversetzung des totalreflektierten strahles. *Annalen der Physik*, 437(1-2):87–102, 1948.
5. F.I. Fedorov. K teorii polnogo otrazheniya. *Doklady Akademii Nauk SSSR*, 105(3):465–468, 1955.

6. C. Imbert. Calculation and experimental proof of the transverse shift induced by total internal reflection of a circularly polarized light beam. *Physical Review D*, 5(4):787, 1972.
7. J.W. Ra e H.L. Bertoni e L.B. Felsen. Reflection and transmission of beams at a dielectric interface. *SIAM Journal on Applied Mathematics*, 24(3):396–413, 1973.
8. R. Kaiser e Y. Leve J. Fleming e S. Muniz e V.S. Bagnato. Resonances in a single thin dielectric layer: enhancement of the goos-hänchen shift. *Pure and Applied Optics: Journal of the European Optical Society Part A*, 5(6):891, 1996.
9. K.Y. Bliokh e Y.P. Bliokh. Conservation of angular momentum, transverse shift, and spin hall effect in reflection and refraction of an electromagnetic wave packet. *Physical review letters*, 96(7):073903, 2006.
10. M. Merano. Observing angular deviations in the specular reflection of a light beam. *Nat. Photonics*, 3:337, 2009.
11. O. Hostene P. Kwiat. Observation of the spin hall effect of light via weak measurements. *Science*, 319(5864):787–790, 2008.