مطالعه تجربی جابجایی گوس- هانچن در مرز مشترک دی الکتریک-فلز

ابراهیم صفری، سیما آقائی و صمد روشن انتظار

گروه اتمی و مولکولی، دانشکده فیزیک، دانشگاه تبریز

چکیده – جابجایی گوس – هانچن به مقدار فاصله‌ای اطلاق می‌شود که از عدم انطباق مراکز پرتوهای تابشی و بازتابی نشات یافته از جابجایی پرتو فرودی توسط امواج سطحی در فصل مشترک دو محیط حاصل می‌شود. با توجه به کوچکی این جابجایی نیاز به ادوات اپتیکی و الکترونیکی نسبتا دقیق و پایداری می‌باشد. در این تحقیق مطالعه نظری و مشاهده تجربی جابجایی گوس- هانچن در مرز مشترک دی‌الکتریک و لایه نازک فلزی، مورد بررسی قرار گرفته است. لایه نقره بر روی یک منشور شیشه ای با ضخامت مناسب با استفاده از روش تبخیر حرارتی نشانیده شده و نور لیزر قطبیده خطی در زاویه‌های مختلف به مرز مشترک دی‌الکتریک شیشه و لایه نازک فلزی، تابانده می‌شود. بدلیل وجود جابجایی گوس- هانچن، برخورد متقارن پرتو بازتابی مابین دو دیود نوری آشکارساز دو قطبی میسر نخواهد بود. زاویه‌های مختلف برای تابش فرودی در نظر گرفته شده و با مقایسه قطبش‌های مختلف جابجایی گوس- هانچن مشاهده شده است.

کلید واژه- آشکارساز دوقطبی، امواج سطحی، پلاسمون های سطحی، جابجایی گوس- هانچن

Experimental study of Goos - Hanchen shift from dielectric - metal interface

Ebrahim Safari, Sima Aghaei, and Samad Roshan Entezar

Department of Physics, University of Tabriz, Tabriz

Abstract- Goos – Hanchen shift is referred to a distance caused by an incompatibility in the coincidence of the centers of incident and reflected waves due to the displacement of the ray on the interface of two environments by surface plasmons. Considering its small magnitude, precise and stable electronic and optical instruments are demanded. In this project, a theoretical study as well as an empirical observation of this shift in the dielectric and thin metal layer interface have been carried out. A layer of silver has been coated on a prism with an adequate depth through an act of physical vapor deposition, then the laser, polarized through a polarizer at different angles, is made incident on the interface. Due to the presence of GH shift a symmetric collision of the reflected ray amongst dipole detector photo diodes would not be the case. Different angles have been considered, and by comparing disparate polarizations GH shift has been observed.

Keywords: Dipole detector, Surface waves, Surface plasmons, Goos – Hanchen shift

[Downloaded from opsi.ir on 2026-10-31]

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

۱- مقدمه

در بازتاب نور از محیط های معمولی که در طبیعت وجود دارند، پرتو فرودی دقیقا از همان نقطه برخورد با فصل مشترک دو محیط بازتاب می‌یابد. اما در مواقعی، پرتو تابیده شده به مرز بین دو محیط، مقداری در محیط دوم نفوذ کرده و از آنجا بازتاب می‌کند، به همین دلیل مرکز پرتو تابشی و مرکز پرتو بازتابی بر هم منطبق نخواهند بود، بلکه مقداری جابجایی خواهیم داشت. این فاصله، جابجایی گوس- هانچن[۱] نام دارد. این پدیده اولین بار توسط نیوتن[۲] پیش گویی شد و گوس و هانچن[۳] در سال ۱۹۴۷ در آزمایشگاه این اثر را مشاهده کردند. در سال ۱۹۴۸ با اثبات نظری آرتمن این جابجایی، به عنوان یک پدیده اپتیکی مورد تأیید قرار گرفت. آرتمن توانست فرمول هایی را برای این جابجایی با استدلال فاز ثابت بدست آورد[۲و۱]. در سال ۱۹۵۰ولتر[۴] [۳و۴] اولین کسی بود که جابجایی گوس- هانچن را در مرز مشترک فلز-هوا به صورت نظری مطرح کرد. در سال ۱۹۵۵ فدروف[۵] جابجایی منفی را بیان کرد و ایمبرت[۶] این جابجایی را با استفاده از بحث شار انرژی محاسبه کرد[۵]. تحقیقات در مورد جابجایی گوس- هانچن به بازتاب و عبور جزئی در ساختارهای لایه‌ای گسترش یافت، همچنین به حوزه های دیگر فیزیک نیز راه یافت، از جمله: آکوستیک، اپتیک غیر خطی، فیزیک پلاسما و مکانیک کوانتمی. در سال ۱۹۹۲ آلبرت– لی- فلوچ[۷] و همکارانش توانستند در آزمایشگاه، جابجایی طولی گوس- هانچن را برای پرتو گوسی لیزر اندازه‌گیری کنند [۶]. جابجایی پرتو نوری نه تنها به دلیل بنیادی بودن آن بلکه به دلیل کاربردش مورد توجه است. جابجایی گوس- هانچن در زمینه هایی مانند میکروسکوپ نوری[۷]، سنسورهای دما با حساسیت بالا[۸] و آشکارسازی بخارهای شیمیایی با حساسیت بالا[۹] کاربرد دارند. در این مقاله بر آن شده‌ایم که طی یک آزمایش تجربی با استفاده از تحریک پلاسمون های سطحی در مرز مشترک دی الکتریک و لایه نازک نقره، این جابجایی را مشاهده کنیم.

۲- مواد و روش ها

امواج سطحی می توانند پرتو نور را در طول سطح انتقال دهند و باعث یک جابجایی معروف به جابجایی گوس- هانچن شوند، که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\Delta = -\frac{d\varphi}{dk_x} \qquad (۱)$$

که در آن φ (فاز ضریب بازتاب)، تابع خطی از مولفه مماسی بردارموج k_x می‌باشد. $n_1 = 1.52$ ضریب شکست مربوط به منشور، n_2 ضریب شکست مربوط به نقره[۱۰] و $n_3 = 1$ ضریب شکست محیط پس زمینه (هوا) می‌باشند .در اینجا روابط برای امواج الکتریکی عرضی محاسبه شده، و تمام روابط را می‌توان برای امواج مغناطیسی عرضی نیز بازنویسی کرد. پرتو فرودی ما یک پرتو گاوسی بصورت زیر می‌باشد:

$$E_i(x) = \exp(-x^2/a^2 - ik_{x\circ}x) \qquad (۲)$$

که در آن a شعاع پرتو و $k_{x\circ} = k_1 \sin\theta$ ، θ زاویه برخورد و $k_1 = \omega/c\sqrt{\varepsilon_1\mu_1}$ ثابت انتشار در محیط اول است. میدان الکتریکی پرتو بازتابی بصورت زیرخواهد بود:

$$E_r(x) = 1/2\pi \int R(k_x)\bar{E}_i(k_x)e^{ixk_x}dk_x \qquad (۳)$$

که درآن $\bar{E}i$ تبدیل فوریه پرتو فرودی و R ضریب بازتاب برای قطبش الکتریکی عرضی، برای موج تخت تکفام، با استفاده از روش ماتریس انتقال، برای ساختار مورد نظرمان می‌باشد و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$R = -\frac{M_{12}}{M_{11}} \qquad (۴)$$

که M_{11}, M_{12} عناصر ماتریس انتقال M ساختار فوق هستند. در این تحقیق چیدمان آزمایشگاهی متشکل از

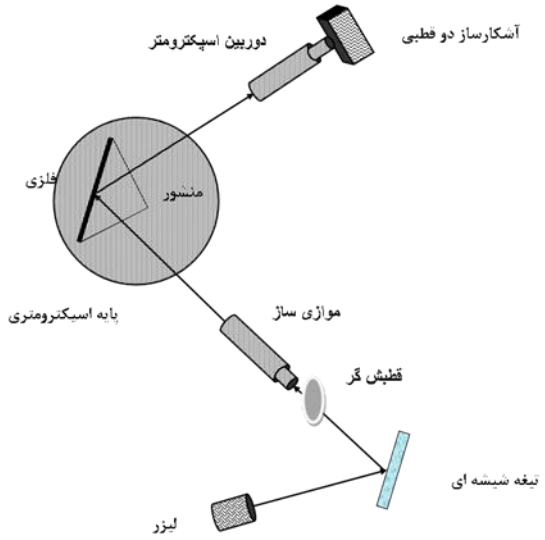
---

۱ Goos - Hamchen shift
۲ Newton
۳ Goos - Hamchen
۵ Wolter
۶ Federove
۷ Imbert
۸ A.Le Floch

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

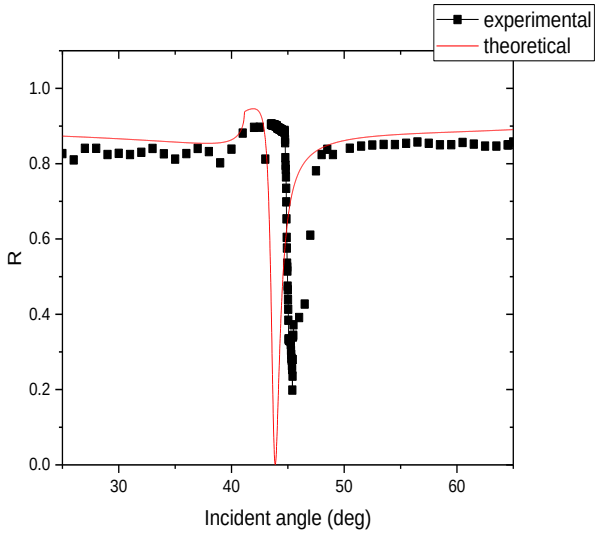
[Downloaded from opsi.ir on 2026-10-31]

یک لیزر در منطقه مرئی با طول موج ۵۳۲ nm، یک آشکارساز دوقطبی که متشکل از دو دیود نوری متمایز است که توسط یک شکاف باریک از یکدیگر جدا شده‌اند که این فاصله بسیار کوچکتر از قطر پرتو تابشی می‌باشد، یک زاویه سنج با دقت ۱ دقیقه و یک قطبنده برای مقایسه دو حالت میدان مغناطیسی عمود بر صفحه تابش (قطبش S) و میدان الکتریکی عمود بر صفحه تابش (قطبش P) بکار گرفته شده است. لایه فلزی با ضخامت d بر روی یک منشور شیشه‌ای با استفاده از روش تبخیر حرارتی نشانیده شده است.



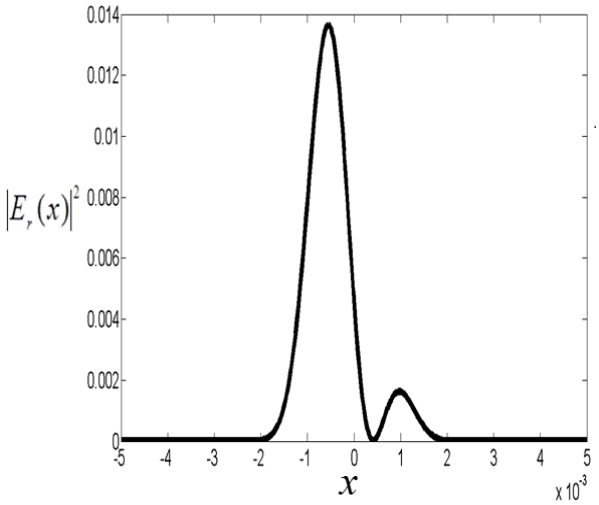
شکل ۱: چیدمان آزمایشگاهی جابجایی گوس- هانچن

نور لیزر پس از عبور از قطبش‌گر تحت زاویه فرودی θ به مرز مشترک منشور و لایه نازک نقره ، تابانده می‌شود. پرتوهای فرودی به منشور تابانده شده، فوتون های فرودی بوسیله میدان میرای ناشی از بازتاب داخلی کلی ایجاد شده بوسیله منشور بر مرز فلز- دی‌الکتریک جفت می-شوند. در این حالت با انتخاب زاویه تابش مناسب، بهترین جفت‌شدگی تشدیدی بین فوتون های میدان میرا و مد-های سطحی بوجود می‌آید، بطور تجربی این جفت‌شدگی تشدیدی در طیف بازتابندگی اندازه‌گیری شده از منشور خود را بصورت یک کمینه تیز نشان می‌دهد. بر اساس محاسبات انجام گرفته ضخامت مناسب جهت بهترین جفت‌شدگی تشدید در حدود $d = 47nm$ پیش بینی شد. در نمودار زیر طیف بازتابندگی ساختار شیشه - فلز - هوا نسبت به زاویه تابشی جاروب شده برای طول موج تابشی نمایش داده شده است.



شکل ۲: نمودار بازتابندگی بر حسب زاویه تابش بصورت تئوری (منحنی پر) و تجربی (منحنی مربع).

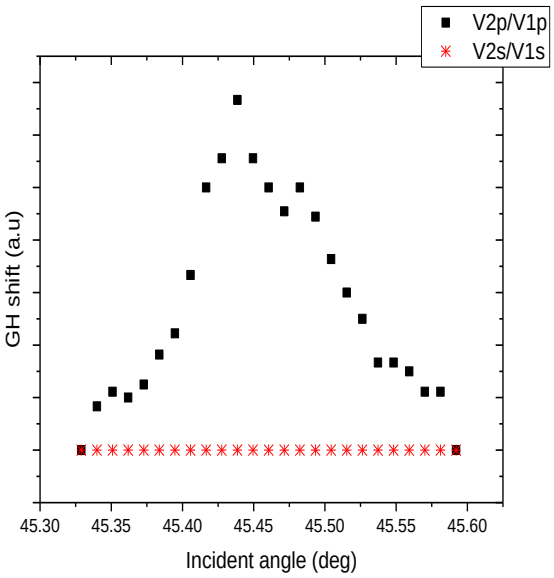
ملاحظه می شود که در هر دو منحنی یک بیشینه شدت در زاویه تابشی قبل از زاویه حد و یک کمینه در بهترین حالت جفت‌شدگی و بعد از زاویه حد وجود دارد. کمینه بازتابندگی نظری تحت زاویه ۴۳/۸۸ درجه و بازتابندگی تجربی تحت زاویه۴۵/۴۰ درجه مشاهده می‌شود. علت عدم تطابق دو منحنی نظری و تجربی به دلیل وجود خطا در لایه نشانی و ضریب شکست پیش‌بینی شده برای نقره و وجود جذب و پراکندگی در منشور می‌باشد.



شکل ۳: نمودار شدت میدان موج بازتابی برای نقاط متناظر

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

[Downloaded from opsi.ir on 2026-10-31]



شکل ۴: نمودار تجربی جابجاییگوس – هانچن برحسب زاویه برخورد

از نقطه نظر محاسبات نظری، شکل ۳ حاکی از قابلیت مشاهده شدن جابجایی گوس- هانچن می‌باشد. در این نمودار دو پیک مجزا برای پرتو بازتابی مشاهده می شود. پیک اول که حول صفر است مربوط به بازتاب آینه ای است، در صورتیکه پیک دوم به علت تحریک امواج سطحی ایجاد شده است. در شکل ۴ از قطبش S بعنوان مرجع برای جابجایی استفاده شده است. این نمودار گویای این حقیقت است که وقتی پرتو نور با قطبش S به مرز مشترک دی‌الکتریک و لایه نازک فلزی، تابانده می‌شود، بدلیل عدم حضور جابجایی گوس- هانچن، نور فرودی تحت زاویه تابانده شده با همان زاویه نسبت به خط قائم منعکس شده و بطور متقارن مابین دو دیود نوری آشکارساز دو قطبی می‌رسد، اما اگر پرتو نور با قطبش P تحت همان زاویه قبلی به مرز مشترک دی‌الکتریک و لایه نازک فلزی، تابانده شود، به دلیل تحریک پلاسمون‌های سطحی، این پرتو بازتابی بصورت متقارن مابین دو دیود نوری آشکارساز دو قطبی نمی‌رسد. زاویه های مختلف برای تابش فرودی در نظر گرفته شده و با مقایسه قطبش های S و P جابجایی گوس- هانچن مشاهده شده است.

۳- نتیجه‌گیری

ما با استفاده از مطالعه نظری دریافتیم که جابجایی گوس - هانچن به طول موج و زاویه نور فرودی، پارامترهای اپتیکی محیط نظیر گذردهی الکتریکی و تراوایی مغناطیسی و ضخامت لایه بستگی دارد و برای انجام این پروژه از ضخامت بهینه استفاده شده است. از قطبش S بعنوان مرجع برای جابجایی استفاده شده و با مقایسه قطبش‌های S و P به ازای زاویه های مختلف برای تابش فرودی جابجایی گوس- هانچن مشاهده شده است. این جابجایی در پهنای زاویه‌ای در حدود ۲۶/. درجه مشاهده و بیشینه آن به صورت تقریبی به مقدار نصف شعاع پرتو نتیجه می‌شود.

سپاسگزاری

از آقای دکتر نقش آرا و خانم پورحسن مراتب تشکر را داشته و همچنین از همراهی و مساعدت آقای حضرتی مسئول آزمایشگاه اپتیک بی‌نهایت سپاسگزارم.

مراجع

[1] F. Goos and H. H¨anchen, “Ein neuer und fundamentaler Versuch zur Totalreflexion,” Ann. Phys. 436, 333–346, 1947.

[2] K. Artmann, “Berechnung der Seitenversetzung des totalreflektierten Strahles,” Ann. Phys. 437, 87–102 ,1948.

[3] H.Wolter, “Untersuchungen zur Strahlversetzung bei Totalreflexion des Lichtes mit der Methode der Minimumstrahlkennzeichnung,” Z. Naturforsch. 5a, 143–153 ,1950.

[4] H. K. V. Lotsch, “Beam displacement at total reflection: the Goos-H¨anchen effect,” Optik 32, 116–137, 189–204,299–319, 553–569 ,1970.

[5] Chun-Fang Li , " Unified theory for Goos-Hanchen and Imbert-Fedorov effects" Phy. Rev. Lett. A 76, 013811, 2007.

[6] F. Brenterkar, A. Le Floch , "Direct measurment of the optical Goos-Hanchen efect in lasers", Phy. Rev. Lett., 68, 931, 1992.

[7] A. Madrazo and M. Nieto-Vesperinas, Opt. Lett. 20, 2445 ,1995.

[8] X. Wang, C. Yin, J. Sun, H. Li, Y. Wang, M. Ran, and Z. Cao, Opt.Express 21, 13380 ,2013.

[9] Y. Nie, Y. Li, Z. Wu, X. Wang, W. Yuan, and M. Sang, Opt. Express 22,8943 ,2014.

[10] E. D. Palik, Handbook of optical constants of solids ,Academic Press, London, 1985, 1st ed.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

[Downloaded from opsi.ir on 2026-10-31]