بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز

بررسی اثر قطبش نوردر ضریب جذب بخار فلز قلیائی در فرآیند دمش اپتیکی

سمانه بیرژندی، محمد حسین خلخالی، سیده مهری حمیدی و محمد مهدی طهرانچی

پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

گروه فیزیک، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

چکیده – حسگرهای اتمی در سال‌های اخیر به عنوان یکی از بهترین ابزارهای اندازه‌گیری میدان‌های مغناطیسی بدن مانند میدان مغناطیسی مغز و قلب شناخته می‌شوند. در این مقاله تکنیک حسگر مغناطیسی تمام اپتیکی بر پایه جذب نور با قطبش دایروی در طول موج جذبی *D1* روبیدیوم شرح داده شده است. همچنین چندین عامل موثر در پاسخ حسگر از جمله دمای سلول ، شدت لیزر پمپ معرفی و بررسی شده است.

کلید واژه- حسگر اتمی، دمش اپتیکی، آشکار سازی اپتیکی تشدید مغناطیسی

Study of effect of Polarization of light on absorption index of alkali metal vapor in optical pumping Phenomenon

Samaneh Birzandi, Mohammad Hosein khalkhali, Seyedeh Mehri Hamidi, Mohammad Mehdi Tehranchi

Laser and Plasma Research Institute, Shahid Beheshti University,Tehran.

Physics Department, Shahid Beheshti University,Tehran.

Abstract- Recently atomic magnetometer are one of the best tools in biomagnetic measurement such as magnetic field of brain and heart. in this paper the technology of optically pumped atomic magnetometer based on circularly polarized light absorption pumping are described.in addition Several magnetometer's response factors such as cell temperature , laser's intensity Are introduced and reviewed.

Keywords:Atomic magnetometer,Optical pumping,Optically detected magnetic resonance.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-06]

۱- مقدمه

گشتاور مغناطیسی اسپین الکترونی اتم‌های پارامغناطیس آشکارساز قوی میدان مغناطیسی محسوب می‌شود. این گشتاورهای مغناطیسی می‌تواند مغناطش ماکروسکوپی تولید کنند که به اثرات مغناطیسی متنوعی می‌انجامد. یک راه موثر جهت ایجاد ماده قطبیده اسپینی روش دمش اپتیکی[1] است. در این روش معمولا از نور (با طول موج در خط جذبی $\mathbf{D_1}$ اتم) با قطبش دایروی جهت برانگیختگی اتم ها استفاده می‌شود که به موجب آن قطبش نور منجر به مغناطش می‌شود. نوری با قطبش خطی (در طول موج خط جذبی $\mathbf{D_2}$) جهت آشکارسازی موثر تغییرات در جهت‌گیری اسپینی اتم ها استفاده می‌شود.علاوه بر آشکارسازی با استفاده از نور خطی می‌توان از جذب نور دمش برای آشکارسازی مغناطش استفاده کرد. این روش، آشکارسازی اپتیکی تشدید مغناطیسی[2] (ODMR) نامیده می‌شود. **[۱]** **شدت** نور عبوری از ماده همواره تابع مقدار جذب در بر هم کنش نور با ماده است. مقدار جذب ماده به عوامل متعددی چون تعداد اتمها، طول موج جذب ماده و نحوه توزیع جمعیت ترازهای انرژی وابسته است. هنگامی که نور در طول موج نزدیک به یا در فرکانس تشدید از بخار فلزات قلیائی می‌گذرد به طور کامل یا بخشی از آن توسط ماده جذب می‌شود. جذب نور با قطبش دایروی توسط بخار فلزات قلیائی موجب برهم‌زدن توزیع جمعیت ترازهای انرژی فوق ریز و ایجاد قطبش در این مواد می‌شود. در نتیجه نور دایروی راستگرد و چپگرد ضریب شکست متفاوتی از یکدیگر می‌بینند. در عبور نور با قطبش خطی در چنین شرایطی زاویه قطبش با زاویه متناسب با مقدار میدان مغناطیسی می‌چرخد. این خاصیت در ساخت حسگرهای مغناطیسی اتمی جهت اندازه‌گیری میدان مغناطیسی استفاده می‌شود. با این وجود قطبش غیریکنواخت در طول سلول می‌تواند حساسیت این حسگرها را کاهش دهد. علاوه بر این پهنای باند حسگر یعنی سرعت حسگر در دنبال کردن تغییرات میدان مغناطیسی تابعی از طول عمر قطبش در سلول است. از طرف دیگر گرادیان بالای قطبش در سلول یکی از عوامل واهلش در سلول و افزایش پهنای باند محسوب می‌شود.**[۲]** شدت نور یا همان ضریب دمش از عوامل تاثیر گذار در ایجاد قطبش یکنواخت سلول است. در این مقاله اثر این عامل به همراه اثر دما بررسی می‌شود.

۲- تئوری

هنگامیکه نور در تشدید یا نزدیک تشدید از سلول بخار فلز قلیائی می‌گذرد به طور کامل یا بخشی از آن جذب می‌شود. تغییرات شدت نور در طول سلول در طول‌موج نزدیک گذار D1 بخار فلز قلیائی بوسیله معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$\frac{d}{dz}I = -n\sigma(\nu)I\,(1-2\mathrm{s}\langle S_z\rangle) \qquad (۱)$$

که n در آن چگالی بخار فلز قلیایی و $\sigma(\nu)$ سطح مقطع جذب در فرکانس ν است. برای نور با قطبش خطی $s=0$ پاسخ یک اتلاف نمائی است:

$$I(z) = I(0)\exp(-n\sigma(\nu)z) \qquad (۲)$$

که z در آن مکان نور در سلول و $I(0)$ شدت ورودی به سلول است. عمق نور یعنی اتلاف کل در سلولی با طول l به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$OD = n\sigma(\nu)l \qquad (۳)$$

در اینجا l به صورت طول مسیری که نور در سلول طی می‌کند تعریف می شود. علاوه بر عمق نوری جذب نور تابشی به قطبش بخار فلز و نور نیز وابسته است. به عنوان مثال در قطبش کامل جذب نور دایروی راستگرد صفر و در نتیجه‌ی آن، بخار نسبت به این نور شفاف است. حل معادله برای نور با قطبش دایروی راستگرد $s=1$ پاسخ به صورت حل یک معادله جبری خواهد بود:

[1] Optical pumping
[2] Optically detected magnetic resonance

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-06]

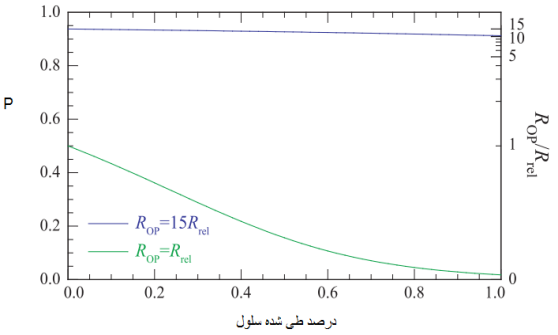
$$I(z)\exp\left(\frac{\sigma(\nu)I(z)}{R_{rel}}\right)= \mathrm{I}(0)\exp\left(\frac{\sigma(\nu)I(0)}{R_{rel}}-\mathrm{n}\,\sigma(\nu)\mathrm{z}\right) \quad (۴)$$

که با تابع لمبرت به شکل زیر، حل می شود.

$$I(z)=\frac{R_{rel}}{\sigma(\nu)}W \left[\frac{\sigma(\nu)\mathrm{I}(0)}{R_{rel}}\exp\left(\frac{\sigma(\nu)I(0)}{R_{rel}}-\mathrm{n}\,\sigma(\nu)\mathrm{z}\right)\right] \quad (۵)$$

$$P=\frac{1}{1+R_{rel}/\mathrm{R}_{OP}(\mathrm{z})}$$

P عاملی بدون واحد تابع z است که در اینجا نمایانگر قطبش در سلول است. قطبش و اتلاف نور در طول سلول در شکل ۱ برای یک سلول با $OD=5$ برای نرخ دمش کم $(R_{op}=R_{rel})$ و زیاد $(R_{OP}=15R_{rel})$ در مقابل سلول نشان داده شده است. در نرخ دمش پائین به علت کافی نبودن دمش نورکاملا جذب می‌شود که به گرادیان بالای قطبش در طول سلول می‌انجامد. با این وجود در نرخ دمش بالا، بخار کاملا قطبیده می‌شود و در نتیجه جذب نور ناچیز خواهد بود.[۳,۲]



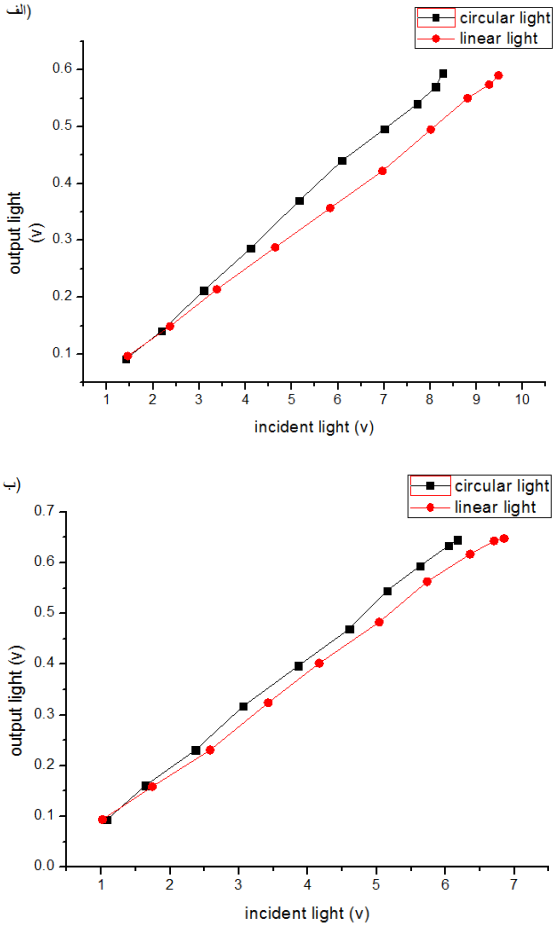
شکل ۱.شدت نور با قطبش دایروی در گذر از سلولی با عمق اپتیکی بالا (OD=5) برای نرخ دمش کم نمودار آبی رنگ $(R_{op}=R_{rel})$ و بالا $(R_{OP}=15R_{rel})$ نمودار قرمز رنگ. نرخ دمش به واهلش به همراه قطبش در طول سلول با استفاده از معادله ۵ محاسبه شده است.[۲]

با این حال در معادله بالا تاثیر پمپاژ در واهلش قطبش در شدت های بالا در نظر گرفته نشده است. در شدت های بالا به علت پمپاژ در خارج از فرکانس تشدید D1 احتمال گذارهای ناخواسته افزایش می‌یابد در نتیجه با خروج اتم‌ها از تراز همدوس خود، واهلش قطبش افزایش می‌یابد. که به کاهش اختلاف بین جذب نور دایروی و خطی می‌انجامد.

۳- چیدمان تجربی

در این بررسی از یک سلول کروی حاوی ایزوتوپ ۸۵ روبیدیم به همراه گاز بافر نئون جهت بررسی دمش اپتیکی استفاده شده است. سلول بخار در یک محفظه عایق به وسیله چهار هیتر گرم می‌شود. از یک لیزر دیود در طول موج ۷۹۵ نانومتر جهت دمش سلول استفاده شد. همچنین نور عبوری از سلول با استفاده یک فوتودتکتور متصل به تقویت کننده قفل مدی اندازه‌گیری می‌شود.

در ابتدا جهت مشاهده تفاوت بین عبور دو نور با قطبش دایروی و خطی از سلول در دماهای مختلف از دو قطبشگر قبل از تیغه چارک موجی جهت تنظیم شدت ورودی به سلول استفاده شد.



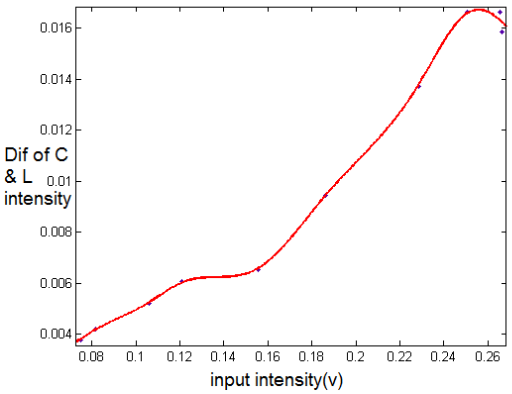
شکل ۲۳: شدت نور خروجی به ورودی برای دو نور دایروی و خطی در دمای الف) $100^{\circ}C$ ب) $92^{\circ}C$ وجود شدت آستانه متفاوت در دو چگالی مختلف و افزایش قطبش با افزایش شدت در تصویر مشخص است.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-06]

.پس از آن با اعمال نور مدوله تغییرات شدت عبوری از سلول با نور دایروی و خطی در جریان های مختلف لیزر دیود مشاهده شد.

۴- نتیجه‌گیری

نرخ عبور برای دو نور با قطبش دایروی و خطی (در خطای ناشی از تغییر شدت چند دهم میلی ولت) در دماهای مختلف در شکل ۲ نشان داده شده است. در شکل ۲ توان آستانه‌ای برای مشاهده‌ی قطبش دیده می‌شود. لازم به توضیح است که فاصله دو نور دایروی و خطی نشان‌دهنده تعداد اتم‌های حاضر در حالت عدم جذب نور دایروی یا ایجاد قطبش در سلول است. علاوه بر این مشاهده می‌شود که با افزایش دما و چگالی، شدت آستانه افزایش می‌یابد. همچنین می‌توان مشاهده کرد که افزایش دما به افزایش مقدار سیگنال یا همان اختلاف در جذب دو نور دایروی و خطی می‌انجامد.



شکل۳: تغییرات اختلاف نور دایروی و خطی با شدت ورودی به سلول که وجود شدتی که در آن نرخ واهلش به نرخ دمش غلبه می‌کند را نشان می‌دهد.

با افزایش شدت به حدی می‌رسیم که در آن نرخ واهلش به دمش غلبه می‌کند و پس از آن با افزایش شدت کاهش اختلاف دو نور دایروی و خطی را شاهد خواهیم بود.(شکل ۳) لازم به ذکر است که کاهش شدت ورودی در شکل ۳ به علت قرار دادن یک فیلتر روبروی آشکارساز جهت جلوگیری از اشباع آن است.

مراجع

[1] Bison G., *Development of an optical cardio magnetometer*, 2004.
[2] Seltzer S., *Developments in Alkali Metal Atomic Magnetometry*, 2008.
[3] Kamada., *Optimization of Bandwidth and Signal Responses of Optically Pumped Atomic Magnetometers for Biomagnetic Applications*, Japanese Journal of Applied Physics. 50 (2011) 056602
[4] Pustelny S., *Magnetometry Based on Nonlinear Magneto-Optical Rotation with Amplitude Modulated Light*, Applied Physics. 103 (2007) 056602

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-06]