

مطالعه تجربی بستگی سیگنال دوشکستی به قطبش پرتوی پمپ در طیف سنجی لیزری قطبشی اتم روبیدیوم

محمد جعفری، ناهید فرخاری، هادی روحبخش

مرکز ملی علوم و فنون لیزر ایران

چکیده - در این مقاله اثر قطبش لیزر بر روی گذار اتمی $5^2S_{1/2} (F=2 \rightarrow F=3) 5^2P_{3/2}$ اتم های روبیدیوم ۸۷ بررسی شده است. پرتوی قطبیده دایروی پمپ تحت زوایای مختلف وارد سلول روبیدیوم می شود و شدت و پروفایل جذب پرتو کاوش در عبور از محیط دوشکستی ثبت می شود.

کلید واژه- سیگنال دوشکستی، طیف سنجی قطبشی، روبیدیوم

An experimental study on birefringence signal dependence to pump polarization in laser polarization spectroscopy of rubidium

Mohammad Jafari, Nahid Farkhari, Hadi Roohbakhsh

Iran National Laser Center

Abstract- In this paper, the effect of laser polarization on the $5^2S_{1/2} (F=2 \rightarrow F=3) 5^2P_{3/2}$ atomic transition of rubidium-87 has been investigated. Circularly polarized pump beam enters the rubidium cell under different angles and in passing the birefringence medium, light absorption intensity and profile has been recorded.

Keywords: birefringence signal, polarization spectroscopy, rubidium

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

۱- مقدمه

توصیف تئوری

پایدارسازی فرکانس لیزر برای کاربردهای مختلفی نظیر سردسازی لیزری و به دام اندازی اتم ها ضروری است. روش معمول مورد استفاده برای تولید فرکانس مرجع برای قفل کردن فرکانس لیزر، استفاده از طیف سنجی جذبی اشباعی است. بهترین حالت برای پایدارسازی فرکانس لیزر قفل کردن به قله جذب است که به طور معمول برای این منظور، از سیگنال جذب مشتق گرفته می شود. یکی از مشکلات روش مشتق گیری، مدولاسیون فرکانس پرتو لیزر است. طیف سنجی قطبشی روشی جذاب و ساده است که می توان برای پایدار سازی فرکانس لیزر بدون مدولاسیون فرکانس، از آن بهره برد. توسعه لیزرهای کوک پذیر دیودی، که هر دو مزیت کوک پذیری مناسب و پهنای طیفی کم را دارا هستند، امکان بررسی دقیق تر و بهتر طیف سنجی لیزری قطبشی را فراهم کرده است. یک چیدمان رایج برای طیف سنجی قطبشی، مشابه با طیف سنجی اشباعی استفاده همزمان از دو پرتوی پمپ و کاوش است، با این تفاوت که در اینجا هر دو پرتو به صورت قطبیده وارد سلول روبیدیوم می شوند. پرتوی پمپ قطبیده دایروی و پرتوی کاوش قطبیده خطی است. هنگامی که فرکانس لیزر بر روی یک گذار اتمی $(j'', M'' \rightarrow j', M')$ تنظیم شده باشد و پرتوی پمپ قطبیده دایروی و پرتوی کاوش قطبیده خطی باشد، توزیع جمعیت حالت های M (تصویر بردار J در راستای انتشار نور) به صورت غیر یکنواخت خواهد بود که معادل با یک توزیع غیر یکنواخت برای جهت گیری تکانه زاویه ای J است. برای پرتوی پمپ قطبیده دایروی راستگرد، $\Delta M = +1$ و برای قطبیده چپگرد $\Delta M = -1$ است که سبب می شود زیر ترازهای تبهگن M'' به طور کامل یا نسبی خالی از جمعیت شوند. میزان خالی شدن جمعیت، وابسته به شدت پرتوی پمپ و سطح مقطع جذب $\sigma(j'', M'' \rightarrow j', M')$ است. بنابراین قطبش خاص پرتو پمپ سبب می شود زیر ترازهای M'' به طور یکنواخت خالی از جمعیت نشوند که معادل با توزیع غیرهمگن جهت گیری تکانه زاویه ای J است. در نتیجه، پرتوی کاوش در عبور از سلول روبیدیوم، با یک محیط دو شکستی مواجه خواهد شد [۱]، [۲].

پرتوی قطبیده خطی کاوش به دو مؤلفه دایروی راستگرد و چپگرد تجزیه می شود [۳]، [۴]:

$$E = E^+ + E^- \quad (1)$$

پرتو قطبیده دایروی راستگرد پمپ از سلول روبیدیوم عبور می کند و سبب اشباع محیط سلول روبیدیوم به صورت غیر یکنواخت می شود. در نتیجه میزان جذب هر کدام از مؤلفه های دایروی راستگرد و چپگرد پرتوی کاوش در هنگام عبور از سلول روبیدیوم، متفاوت است. مؤلفه های میدان خروجی پرتو کاوش به شکل زیر در می آید:

$$\begin{cases} E^+ = E_0^+ e^{i(-k^+L + i(\alpha^+/2)L)} \\ E^- = E_0^- e^{i(-k^-L + i(\alpha^-/2)L)} \end{cases} \quad (2)$$

تفاوت در ضریب شکست و ضریب جذب منجر به تفاوت فازی $\Delta\phi$ و تفاوت در دامنه ΔE بین دو مؤلفه میدان به صورت زیر خواهد شد:

$$\Delta\phi = (k^+ - k^-)L = \left(\frac{wl}{c}\right)\Delta n \quad (3)$$

$$\Delta E = \frac{E_0}{2} \left(e^{-\frac{\alpha^+L}{2}} - e^{-\frac{\alpha^-L}{2}} \right) \quad (4)$$

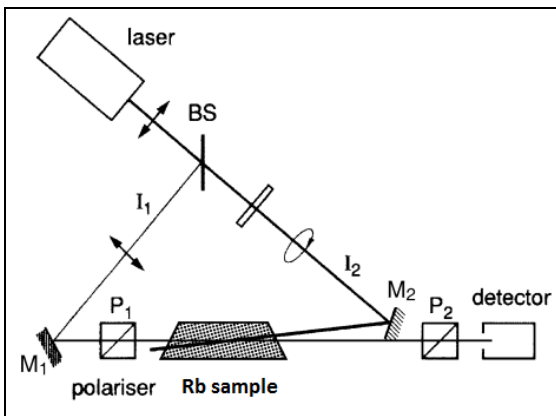
$$E(z=L) = E^+ + E^- \quad (5)$$

$$\begin{cases} \Delta n = n^+ - n^- \\ \Delta\alpha = \alpha^+ - \alpha^- \\ \alpha = \frac{1}{2}(\alpha^+ + \alpha^-) \\ n = \frac{1}{2}(n^+ + n^-) \end{cases} \quad (6)$$

تغییرات ضریب جذب، شکل لورنتزی دارد که با رابطه زیر بیان می شود:

$$\Delta\alpha = \frac{\Delta\alpha_0}{1+x^2} \quad (7)$$

چپگرد پرتو قطبیده خطی کاوش با هم برابر است. با تغییر زاویه تیغه ربع موج، پرتو پمپ به صورت راستگرد قطبیده می شود و ترازها به صورت غیر یکنواخت خالی از جمعیت می شوند. در گذر پرتو قطبیده خطی کاوش، جذب مولفه های راستگرد و چپگرد (α^+ و α^-) با هم متفاوت است که سبب مشاهده سیگنال پاشندگی می شود. با افزایش زاویه قطبش دایروی، تفاوت جذب دو مولفه بیشتر شده و سیگنال پاشندگی قوی تر می شود.



شکل ۱- نمایی شماتیک از چیدمان آزمایشگاهی طیف سنجی لیزری قطبشی [1]

بحث و نتایج

در این آزمایش با استفاده از چیدمان آزمایشگاهی شکل ۱، سیگنال جذب پرتو کاوش قطبیده را مشاهده خواهیم کرد. شکل ۲ تفاوت سیگنال جذب اشباعی پرتوی کاوش را هنگامی که اتم های روبیدیوم با قطبش خطی (نسبت مساوی دایروی راستگرد و چپگرد) پمپ می شوند و هنگامی که به صورت قطبیده دایروی خالص پمپ می شوند، نشان می دهد. پرتوی پمپ دارای قطبش دایروی راستگرد، وارد سلول گاز روبیدیوم می شود و سبب می شود در مورد گذارهای P هیچکدام از زیرترازهای M'' پمپ نشود. برای مثال، برای ترازهای $M''=+J$ هیچ گذار P با $\Delta M=+1$ ممکن نیست، در حالی که برای گذارهای R ترازهای $M''=-J$ در تراز بالایی، جمعیت دار نمی شود (اشباع نمی شود). در اثر اشباع غیر یکنواخت، مؤلفه های دایروی راستگرد و چپگرد پرتوی کاوش در عبور از سلول روبیدیوم، ضرایب جذب مختلفی را مشاهده می کنند و سبب می شوند محیط دو شکستی رفتار کند. در شکل ۲

$\Delta\alpha_0$ تفاوت در جذب پرتوی کاوش در فرکانس مرکزی ω_0 و x پهنای فرکانسی اطراف ω_0 با نیم پهنای $\Gamma/2$ است.

$$x = \frac{(\omega_0 - \omega)}{\Gamma/2} \quad (8)$$

ضریب شکست از طریق رابطه پاشندگی کرامرز-کرونیک به ضریب جذب وابسته است:

$$\Delta n = \frac{c}{\omega_0} \Delta\alpha_0 \frac{x}{1+x^2} \quad (9)$$

و در نهایت شدت عبوری از محیط به صورت زیر محاسبه می شود:

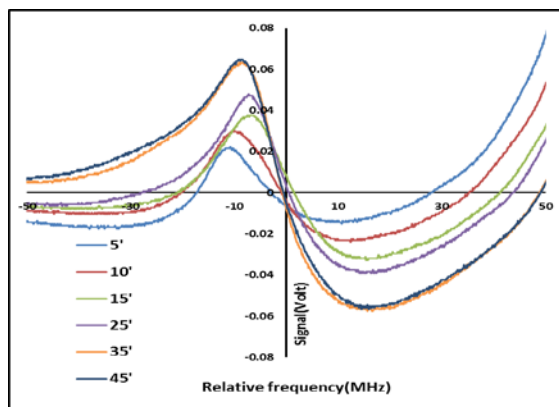
$$I = I_0 \left[\begin{array}{c} \varepsilon + \theta^2 + b^2 - \\ \frac{1}{2} \theta \Delta\alpha_0 l \frac{x}{1+x^2} + \frac{1}{2} b \Delta\alpha_0 l \frac{l}{1+x^2} \\ \frac{(\frac{1}{4} \Delta\alpha_0 l)^2}{(1+x^2)} \end{array} \right] \quad (10)$$

که در آن، I_0 شدت پرتوی کاوش قبل از ورود به سلول روبیدیوم است.

سه جمله اول در رابطه (۱۰) عبارت هایی است که به صورت پیش زمینه وجود داشته و تابع عواملی چون فشار بخار گاز و پنجره های سلول است. از رابطه (۱۰) به وضوح مشخص است که سیگنال ثبت شده به وسیله آشکار ساز دارای پروفایل پاشندگی است.

چیدمان آزمایشگاهی

پرتو لیزر با طول موج ۷۸۰ نانومتر پس از خروج از لیزر دیود کوک پذیر که ساخت مرکز ملی لیزر ایران است، با تیغه شکافنده پرتو برخورد کرده و به پرتوی قوی پمپ و پرتوی ضعیف تر کاوش تقسیم می شود. پرتوی پمپ از تیغه ربع موج عبور کرده و به صورت دایروی قطبیده می شود. پرتوی کاوش پس از عبور از قطبشگر خطی، پلاریزور، سلول روبیدیوم و آنالیزور وارد آشکارساز می شود. پلاریزور و آنالیزور به صورت متقاطع قرار گرفته اند. با چرخاندن تیغه ربع موج، زاویه قطبش پرتوی پمپ تغییر می کند. در زاویه صفر تیغه ربع موج، هنگامی که پرتوی پمپ هنوز به صورت دایروی قطبیده نیست، و به دلیل متقاطع بودن آنالیزور و پلاریزور، آشکارساز شدت صفر را نشان می دهد. زیرا جذب دو مولفه راستگرد و



شکل ۳- تاثیر زوایای مختلف قطبش پرتوی پمپ بر پرتوی کاوش

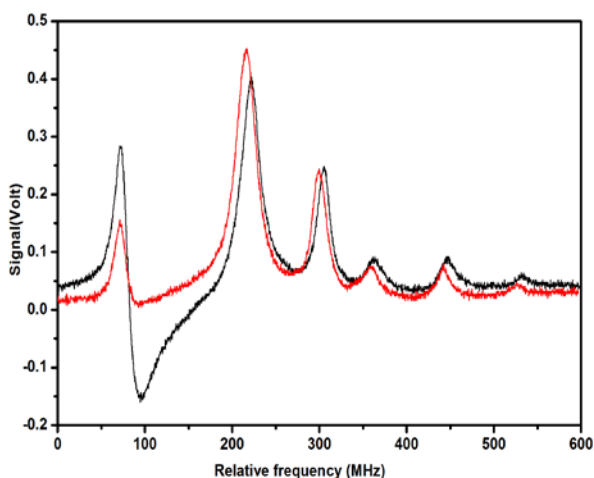
نتیجه گیری

در این آزمایش روشی برای پایدار سازی فرکانس لیزر بررسی شد. با قطبیده کردن پرتو پمپ، محیط سلول روبیدیوم به محیطی دوشکستی تبدیل شد. با افزایش زاویه قطبش پرتو پمپ، در واقع جذب برای یک مولفه α^+ و α^- افزایش می یابد و سبب اختلاف بیشتر بین دو مولفه راستگرد و چپگرد پرتو کاوش می شود. نتیجه به صورت سیگنال پاشندگی در آشکارساز دیده می شود. از سیگنال پاشندگی می توان برای قفل کردن فرکانس لیزر و در نتیجه پایدار سازی فرکانس لیزر بهره برد.

مراجع

- [1] W. Demtröder, *Laser spectroscopy: basic concepts and instrumentation*. Springer Science & Business Media, 2013.
- [2] V. B. Tiwari, S. Singh, S. R. Mishra, H. S. Rawat, and S. C. Mehendale, "Laser frequency stabilization using Doppler-free bi-polarization spectroscopy," *Opt. Commun.*, vol. 263, no. 2, pp. 249–255, 2006.
- [3] R. E. Teets, F. V. Kowalski, W. T. Hill, N. Carlson, and T. W. Hansch, "Laser polarization spectroscopy," in *21st Annual Technical Symposium*, 1977, pp. 80–87.
- [4] S. Jian-Fang, Y. Shi-Qi, X. Zhen, H. Tao, and W. Yu-Zhu, "Optimization of polarization spectroscopy for rubidium D lines," *Chinese Phys. B*, vol. 22, no. 2, p. 24207, 2013.

به وضوح اثر قطبش بر روی گذار $5^2P_{3/2}$ $5^2S_{1/2}$ ($F=2 \rightarrow F=3$) دیده می شود [۱].



شکل ۲- تاثیر قطبش پرتوی پمپ بر پرتوی پمپ- سیگنال طیف سنجی اشباعی در حضور پرتوی قطبیده دایروی پمپ (سیاه) و در حضور پرتوی قطبیده خطی پمپ (قرمز)

شدت سیگنال آشکارساز برای زوایای مختلف قطبش پرتوی پمپ متفاوت است. در زوایای نزدیک به صفر، به دلیل متقاطع بودن راستای قطبشگر و آنالیزگر و همچنین مساوی بودن ضرایب جذب دو مولفه دایروی راستگرد و چپگرد پرتو کاوش، هیچ سیگنالی وارد آشکارساز نمی شود. با افزایش زاویه قطبش پرتو دایروی راستگرد پمپ، نرخ پمپاژ تغییر می کند. چرخش پرتو کاوش در زوایای مختلف پمپاژ متفاوت است و سبب تغییر شدت سیگنال می شود. افزایش شدت سیگنال آشکارساز در زاویه ۴۵ درجه به بیشترین مقدار خود می رسد. نتایج تجربی در شکل ۳ نشان داده شده است. این سیگنال ها نشان دهنده رفتار خوب و کوک پذیری دقیق لیزر دیود است و آزمون خوبی برای تست کارایی و توان بالای این لیزر است.