بیست و سومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک و نهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه تربیت مدرس
۱۲-۱۴ بهمن ۱۳۹۵
23rd Iranian Conference on Optics and Photonics and 9th Conference on Photonics Engineering and Technology
Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
January 31- February 2, 2017

مشاهده شفافیت القایی الکترومغناطیسی در خط D_2 اتم روبیدیم و وابستگی آن به توان پرتوی لیزر کوپل

ناهید فرخاری، محمد جعفری و هادی روحبخش

مرکز ملی علوم و فنون لیزر ایران

چکیده - در این مقاله اثر EIT در اتم روبیدیوم به روش تجربی بررسی شده است. شفافیت القایی الکترومغناطیسی(EIT) پدیده ای است که سبب اصلاح خواص اپتیکی محیط، به وسیله ایجاد شفافیت در محدوده جذبی و افزایش پاشندگی محیط، می‌شود. پذیرفتاری الکتریکی این خواص را توضیح می‌دهد. در این آزمایش علاوه بر مشاهده سیگنال EIT ، تاثیر افزایش توان پرتو کوپل بر شدت سیگنال EIT بررسی شده است.

کلید واژه- شفافیت القایی الکترومغناطیسی، پذیرفتاری الکتریکی، روبیدیوم

Observation of electromagnetically induced transparency in D_2 line of rubidium and its dependence on coupling laser power

Nahid Farkhari, Mohammad Jafari and Hadi Roohbakhsh

Iran national center for laser science and technology

Abstract- in this paper, EIT effect in rubidium has been experimentally investigated. EIT is a phenomenon that causes modification of the optical properties of medium by creating transparency in the absorption range and increasing dispersion. Electric susceptibility explains these properties. In this study, EIT signal and its dependence on the power of coupling laser is investigated.

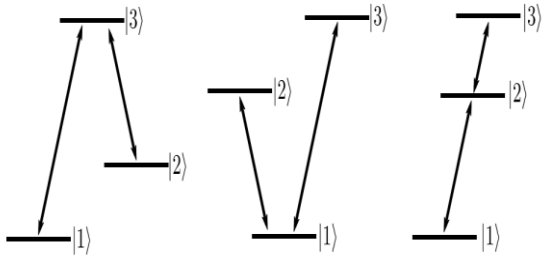
Keywords: Electromagnetically induced transparency, Electric susceptibility, Rubidium

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08]

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

۱- مقدمه

شفافیت القایی الکترومغناطیسی، EIT، پدیده‌ای است که منجر به اصلاح خواص اپتیکی ماده می‌شود. این خواص اپتیکی مربوط به شفافیت ماده در بازه محدودی از فرکانس است که جذب شدید در آنجا وجود دارد و هنگامی رخ می-دهد که یک میدان قوی غیرتشدیدی (کوپل) می‌تواند باعث کاهش جذب پرتوی ضعیف تشدیدی (کاوش) شود. از کاربردهایEIT می‌توان به پدیده لیزرزایی بدون وارونگی جمعیت، کاهش سرعت نور، تبدیل کننده های اپتیکی طول موج و کنترل پاسخ اپتیکی ماده به صورت فعال اشاره کرد که خاصیت اخیر می‌تواند کاربردهای متنوعی در ادوات الکترواپتیکی و اپتیک غیر خطی داشته باشد[1]. EIT فقط در اتم‌هایی با ساختار خاص دست یافتنی است که در شکل ۱ نشان داده شده است. همه‌ی این سیستم‌ها سه ترازی و دارای پیکربندی‌هایی به شکل لامبدا ، V و یا نردبانی هستند. هرکدام از این سیستم‌ها دو گذار دوقطبی مجاز و یک گذار ممنوعه دارد.



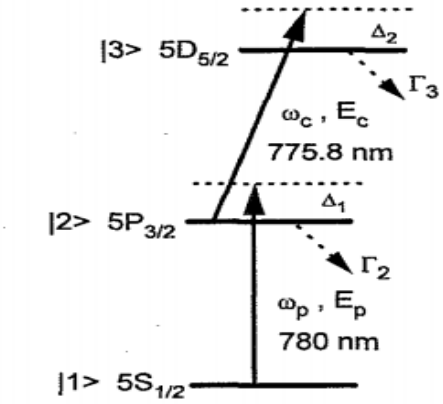
شکل ۱- ساختارهای مختلف EIT [2]

از نکات جالب توجه در EIT علاوه بر شفاف شدن بازه فرکانسی خاص، ظهور اثر پاشندگی بزرگ در رزونانس اتمی است. ما علاقمندیم خواص اپتیکی محیط را از طریق دنبال کردن جذب و پاشندگی پرتوی کاوش لیزر مطالعه کنیم. این خواص با وابستگی فرکانسی پذیرفتاری[1] الکتریکی توصیف می شود. برای مشخص کردن قسمت حقیقی و موهومی پذیرفتاری، باید ماتریس چگالی سیستم سه‌ترازی حل شود. قسمت موهومی متناسب با جذب و قسمت حقیقی متناسب با پاشندگی است.

در این گزارش، ابتدا توضیح مختصری درباره تئوری این پدیده با تکیه بر اجزاء پذیرفتاری الکتریکی آمده است. سپس با استفاده از چیدمان آزمایشگاهی به صورت تجربی سیگنال EIT مشاهده و بررسی شده‌است.

۲- تئوری آزمایش

در ساختار نردبانی اتم روبیدیوم، پرتوی کاوش در رزونانس با گذار |1> و |2> با فرکانس ω_p و پرتوی قوی کوپل در رزونانس با گذار |3> و |2> با فرکانس ω_c است. در این چیدمان، فرکانس کاوش تمامی گذارهای فوق ریز را جاروب می‌کند و فرکانس پرتوی کوپل ثابت است. در دمای اتاق، فاصله ترازهای فوق ریز تراز پایه $5S_{1/2}$ از مرتبه گیگاهرتز است و بزرگتر از پهن شدگی داپلری است اما فاصله ترازهای فوق ریز $5P_{3/2}$ از مرتبه مگاهرتز بوده و داخل عرض باند داپلری قرار می‌گیرد. اتم‌ها که ابتدا در تراز |1> قرار دارند، در حضور پرتوی کاوش با فرکانس ω_p از حالت پایه به حالت برانگیخته |2> می روند. پس از اعمال میدان الکترومغناطیسی قوی کوپل با فرکانس ω_c ، اتم‌ها از تراز |2> به تراز |3> منتقل می‌شوند و به صورت واداشته به تراز |2> فروافت می‌کند. این تغییر جمعیت موجب کاهش چشمگیری در جذب پرتوی کاوش می‌شود. تداخل مخرب این دو مسیر مجاز گذار سبب می‌شود که تحت شرایط مناسب، جذب پرتوی کاوش صفر شود.



شکل۲- ساختار نردبانی برای شفافیت الکترومغناطیسی، E_p و ω_p دامنه و فرکانس پرتو کاوش، E_c و ω_c دامنه و فرکانس پرتو کوپل[۴]

در شکل ۲ دو پرتوی لیزر با میدان و فرکانس مربوطه نشان داده شده اند. فرکانس گذار بین تراز |1> و |2>، ω_{12} و فرکانس گذار بین تراز |2> و |3> ، ω_{23} است. اختلاف بین فرکانس گذار ω_{12} با فرکانس پرتوی کاوش (نامیزانی)[2] را با Δ_1 و اختلاف بین فرکانس گذار ω_{23} با فرکانس پرتوی کوپل را با Δ_2 نمایش می‌دهیم. پس از حل معادلات مربوط به ماتریس چگالی به روابط (۱) و (۲) برای قسمت موهومی و حقیقی ضریب شکست خواهیم رسید [3] .

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08]

$$Im\chi = \frac{4hNg_{21}^2}{\varepsilon_0} \times \frac{16\gamma_{31}^2\gamma_{21} + 4\gamma_{31}\Omega_c^2 + 16(\Delta_1+\Delta_2)^2\gamma_{21}}{[16\gamma_{21}^2\gamma_{31}^2 + 16(\Delta_1^2+\gamma_{21}^2)(\Delta_1+\Delta_2)^2 + \Omega_c^4 + 8\gamma_{31}\gamma_{21}\Omega_c^2 - 8\Omega_c^2\Delta_1(\Delta_1+\Delta_2) + 16\gamma_{31}^2\Delta_1^2]} \quad (۱)$$

$$Re\chi = \frac{4hNg_{21}^2}{\varepsilon_0} \times \frac{(\Delta_1+\Delta_2)(-16\Delta_1(\Delta_1+\Delta_2)+4\Omega_c^2) - 16\gamma_{31}^2\Delta_1}{[16\gamma_{21}^2\gamma_{31}^2 + 16(\Delta_1^2+\gamma_{21}^2)(\Delta_1+\Delta_2)^2 + \Omega_c^4 + 8\gamma_{31}\gamma_{21}\Omega_c^2 - 8\Omega_c^2\Delta_1(\Delta_1+\Delta_2) + 16\gamma_{31}^2\Delta_1^2]} \quad (۲)$$

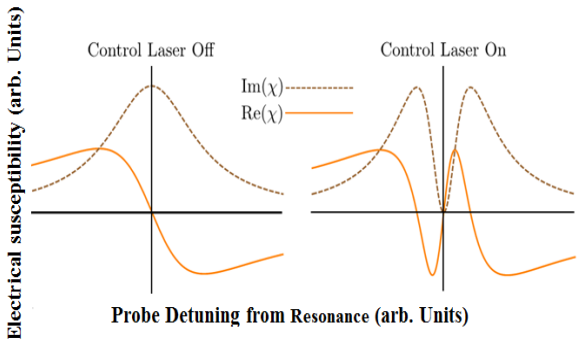
که درآن $\gamma_{ij} = (\frac{\gamma_i+\gamma_j}{2})$ نرخ واپاشی هر تراز، $2hg_{ij}$ المان‌های ماتریس دوقطبی گذار و $\Omega_c = 2g_{32}E_c$ فرکانس رابی میدان لیزر کوپل است.

قسمت موهومی پذیرفتاری متناسب با جذب است و هنگامی که لیزر کوپل خاموش باشد پروفایل جذب لورنتزی دیده می شود. پس از اعمال لیزر کوپل، در محدوده نامیزانی صفر، پروفایل جذب به شکل ناگهانی افت کرده و به صفر نزدیک می‌شود. قسمت حقیقی نیز دارای پروفایل پاشندگی خواهد شد.

اگر $\Omega_c = 0$ خواهیم داشت (شکل۳):

$$Im\chi = \frac{4hNg_{21}^2}{\varepsilon_0}\frac{16\gamma_{21}}{\gamma_{21}^2+\Delta_1^2}$$

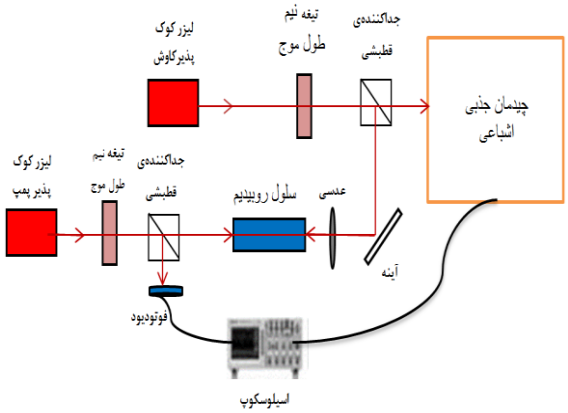
$$Re\chi = \frac{4hNg_{21}^2}{\varepsilon_0}\frac{-16\Delta_1}{\gamma_{21}^2+\Delta_1^2}$$



شکل ۳- قسمت های حقیقی و موهومی پذیرفتاری الکتریکی قبل و بعد از اعمال میدان لیزر کوپل [۲]

۳- چیدمان تجربی

در شکل ۴ چیدمان تجربی به کار رفته در این آزمایش، به طور شماتیک نمایش داده شده است.



شکل ۴- نمایی شماتیک ازچیدمان آزمایشگاهی EIT

لیزر کاوش از نوع دیودی کوک‌پذیر کاواک خارجی با پهنای طیفی کمتر از ۲ MHz و بازه جاروب بدون جهش مدی ۹GHz است که در مرکز ملی لیزر ایران طراحی و ساخته شده است[5]. لیزر دوم با مشخصات مشابه و ساخت شرکت Sacher آلمان است. پرتوی خروجی هر دو لیزر قطبیده خطی است. با استفاده از تیغه نیم طول موج می‌توان راستای صفحه قطبش خطی را چرخانده و تنظیم کرد. اندازه قطر لکه دو باریکه تقریبا دو میلیمتر است.

پرتوی لیزر کاوش به دو باریکه تقسیم می‌شود که یک قسمت از آن به چیدمان جذبی اشباعی[5] برای کنترل در محدوده جذب رفته و قسمت دیگر آن وارد سلول روبیدیم مورد آزمایش، در دمای ۴۰ درجه سلسیوس و با طول ۸ سانتی‌متر می‌شود. پرتوی لیزر کوپل و کاوش در خلاف جهت هم وارد سلول روبیدیم می‌شوند. پرتوی کاوش با فرکانس ω_p ، طول موج ۷۸۰/۲ نانومتر و شدت 2 میلی وات با گذار از |1> به |2> در رزونانس است. پرتوی قوی کوپل با فرکانس ω_c ، طول موج ۷۷۵/۸ نانومتر و شدت متغیر با گذار از |3> به |2> در رزونانس است.

---

[۱] susceptibility

[۲] detuning

دامنه جاروب پرتوی کاوش در محدوده گذارهای

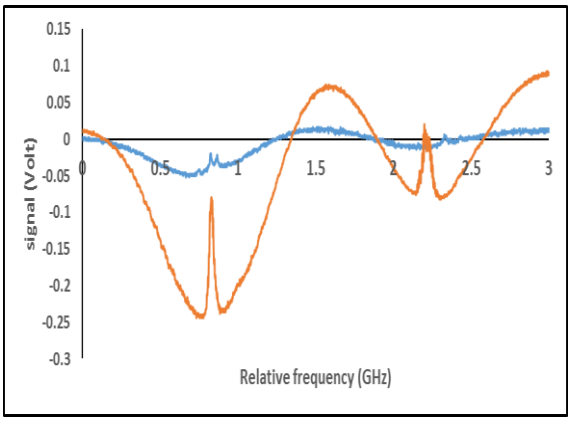
این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08]

$5S_{1/2}(F=2) \rightarrow 5P_{3/2}(F=3)$ برای اتم روبیدیم ۸۷ و $5S_{1/2}(F=3) \rightarrow 5P_{3/2}(F=4)$ برای اتم روبیدیم ۸۵ است.

۴- نتایج

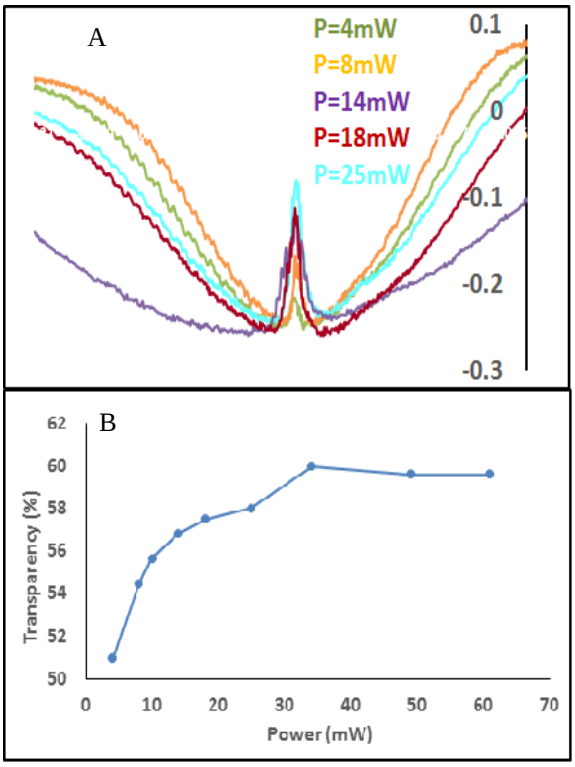
در این کار شفافیت القایی الکترومغناطیسی در سیستم نردبانی $5D_{5/2}$-$5P_{3/2}$-$5S_{1/2}$ در بخار اتم روبیدیم بررسی شده است. در شکل ۵، سیگنال جذبی اشباعی اتم روبیدیوم به همراه سیگنال EIT آمده است.



شکل ۵-سیگنال جذب اشباعی اتم روبیدیوم (نارنجی)، سیگنال EIT (آبی)

پس از روشن شدن لیزر کوپل با طول موج ۷۷۵/۸ نانومتر، پروفایل سیگنال EIT ظاهر شده است که شاهدی بر شفافیت پرتو کاوش در تراز $5P_{3/2}$ است. با بالا بردن توان پرتو کوپل، شدت سیگنال EIT افزایش می‌یابد که نشان دهنده جذب کمتر پرتو کاوش و شفافیت بیشتر آن است (شکل۶).

شدت سیگنال EIT در توان‌های مختلف پرتو کوپل در شکل ۶(A) مشخص شده است. افزایش توان تا حدی قادر به بالا بردن شفافیت است. در شکل ۶(B) شدت سیگنال EIT (به صورت درصدی از سیگنال جذبی) به شکل تابعی از توان پرتو کوپل رسم شده است. مشاهده می شود که در توان ۳۴ میلی وات و در بیشینه شفافیت، شدت سیگنال ۶۰٪ سیگنال جذبی است. افزایش بیشتر توان کوپل، تاثیر چشمگیری در سیگنال EIT مشاهده نمی‌شود.



شکل ۶- شدت سیگنال EIT به صورت تابعی از توان پرتو کوپل

۵-مراجع

[1] J.P. Marangos, ELECTROMAGNETICALLY INDUCED TRANSPARENCY, Handbook of optics, 2009

[2] Wesley W. Erickson, Electromagnetically Induced Transparency, 2012

[3] Abraham J. Olson, Electromagnetically induced transparency in rubidium, Am. J. Phys. **77** 2, February 2009

[4] J. Gea-Banacloche, Electromagnetically induced Transparency In Ladder-type In homogeneously Broadened Media; theory and experiment, Vol .51, pp.576-579, 1995

[۵] هادی روحبخش، فرهاد رحیم زاده، شهرام ترکمندی، جمشید صباغ زاده; طراحی ساخت لیزر دیودی کوک پذیر با پهنای طیفی بسیار کم برای استفاده از آزمایش های طیف سنجی دقیق اتمی؛شانزدهمین کنفرانس اپتیک فوتونیک ایران

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08]