بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه خوارزمی،
تهران، ایران.
۱۵-۱۶ بهمن ۱۳۹۸

پیاده سازی قفل لیزر دیود با کاواک خارجی بر روی گذار اتمی سزیم با روش قفل لیزر بر اساس دورنگی در بخار اتمی

علیرضا راشدی[۱]، فرخ سررشته داری[۱]، محمود صابونی[۲]، بهار بابایی[۱]

۱آزمایشگاه تحقیقاتی تشدید مغناطیسی، دانشکده فیزیک دانشگاه تهران، انتهای خیابان کارگر شمالی ، تهران

۲موسسه تحقیقاتی محاسبات کوانتومی، دانشکده فیزیک دانشگاه واترلو، اونتاریو، کانادا

در این کار، قفل لیزر قابل تنظیم دیودی با کاواک خارجی[۱](ECDL) بر روی یکی از گذارهای خط جذب D1 اتم سزیم انجام شده و مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا قفل لیزر بر اساس دورنگی در بخار اتمی[۲] صورت گرفته که نحوهٔ پیاده سازی و نتایج آن بیان شده است. برای قفل لیزر ابتدا لازم است گذار اتمی مورد نظر با تنظیم لیزر یافته شود و سپس با اعمال میدان مغناطیسی خارجی و بهره گیری از تفاوت جذب نور با قطبش راستگرد و چپگرد، سیگنال خطا برای قفل لیزر ساخته شود. در ضمن نتایج دستیابی و مشاهدهٔ گذارهای اتمی سزیم که مبنای اصلی در این کار می باشند با نتایج کارهای دیگران مقایسه شده است.

کلید واژه- لیزر دیود کاواک خارجی، قفل لیزر، خط جذب اتمی.

Implementation of the ECDL locking to Cesium transition line using dichroic atomic vapor laser lock

Alireza Rashedi[1], Farrokh Sarreshtedari[1], and Mahmood Sabooni[2], Bahar Babaei[1]

1 Magnetic Resonance Research Laboratory, Department of Physics, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran.

2 Institute for Quantum Computing, Department of Physics and Astronomy, Waterloo, Ontario, N2L3G1, Canada.

---

[۱] Extended Cavity Diode Laser (ECDL)

[۲] Dichroic Atomic Vapor Laser Lock (DAVLL)

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-18]

Abstract: Here, we have investigated the locking of the extended cavity diode laser (ECDL) to an atomic transition line of the Cesium. The implementation of the Dichroic Atomic Vapor Laser Lock (DAVLL) is explained and the obtained results are discussed. In this regard, at first, the considered atomic transition should be obtained by precise adjustment of the laser system. Then by applying the external magnetic field, and using the difference between the absorption profiles of the right and left circularly polarized light, the error signal of the locking process would be obtained. We have compered the obtained results of the Cesium D1 line absorption spectroscopy with other works and the results of the successful DAVLL locking is presented.

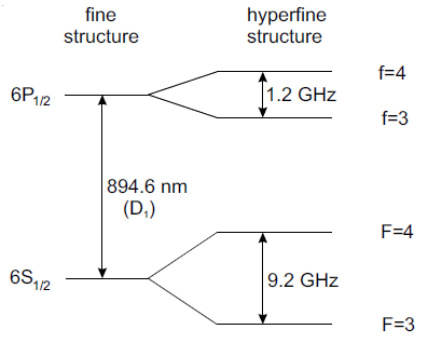
Keywords: Extended Cavity Diode Laser, Laser Locking, Dichroic Atomic Vapor Laser Lock,

مقدمه

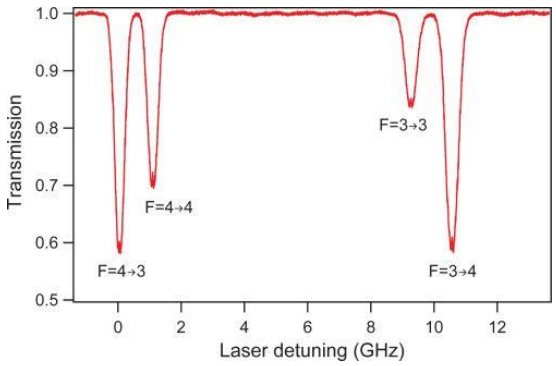
یکی از ابزارهای ضروری در انواع تحقیقات تجربی در حوزهٔ فیزیک اتمی و اپتیک کوانتومی و بسیاری دیگر از کاربردهای مرتبط، منابع نوری با طیف باریک بسامدی و پایداری بالا می باشد. در این بین دیود لیزرهای قابل تنظیم برپایهٔ کاواک نوری خارجی(ECDL) یکی از مناسب ترین گزینه ها می باشند که می‌توان آن ها را به صورت بسیار پایدار بر روی یک بسامد مرجع دلخواه قفل کرد[۱]. امروزه لیزرهای ECDL در کاربردهای مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرند که از جملهٔ آن ها می توان به مخابرات نوری، طیف سنجی لیزری با قدرت تفکیک بسیار بالا، مگنتومترهای اتمی، ساعت اتمی، انواع کاربردهای اپتیک کوانتومی و اپتیک غیرخطی، خنک سازی لیزری و تله‌های مغناطیسی- نوری، اندازه گیری های اپتیکی بسیار دقیق، مطالعات پدیده هایی با همدوسی بالا، ذخیرهٔ اطلاعات کوانتومی، سنسورهای رصدکنندهٔ گاز و لیدار اشاره کرد. روش های متفاوتی برای قفل لیزر بر روی بسامد مرجع وجود دارد[۱]، که یکی از مهمترین آن ها روش قفل لیزر بر اساس دورنگی در بخار اتمی (DAVLL) می باشد[۲]. در این روش از میدان مغناطیسی خارجی برای جداسازی زیرترازهای زیمن استفاده می شود که در نتیجه، جهت قفل لیزر سیگنال خطایی تولید می شود که به اختلاف نمایهٔ جذب دو مؤلفهٔ راستگرد و چپگرد قطبش نور ورودی بستگی دارد. در ادامه ابتدا به لیزر ECDL و پارامترهای کنترلی آن اشاره می گردد و سپس چیدمان قفل لیزر به روش DAVLL و نتایج حاصل از آن اشاره می شود.

گذارهای اتمی سزیم در خط D1

در شکل [۱] ساختار فوق ریز اتم سزیم نشان داده شده است. همانطور که از شکل مشخص است در طول موج خط D1 سزیم ۲ حالت پایه و ۲ حالت برانگیخته وجود دارد ولذا در مجموع ۴ گذار اتمی امکان پذیر است[۳]. در شکل ۲ این گذارها در نتیجه طیف سنجی خط D1 سزیم در تحقیقی مربوط به مرجع [۴] مشاهده می گردد.



شکل ۱- ساختار فوق ریز اتم سزیم برای خط جذب D1



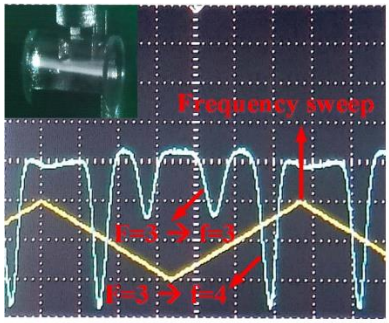
شکل ۲- گذارهای اتم سزیم برای خط جذب D1 [۴]

شکل۳ نمایش دهندهٔ مشاهدهٔ عملی خطوط جذب اتم سزیم در خط جذب D1 می باشد که شامل گذار از حالت

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-18]

پایهٔ ۳ به حالت برانگیختهٔ ۳ و همچنین گذار از حالت پایهٔ ۳ به حالت برانگیختهٔ ۴ می باشد. در این شکل، موج مثلثی جاروب طول موج را نشان می دهد که در هر نصف دورهٔ تناوب آن طول موج لیزر یک بار از گذارهای اشاره شده عبور می کند. همچنین در این شکل تصویر فلورسانس درون سلول ناشی از جذب اتمی نیز آورده شده است. لازم به ذکر است که تطابق نتیجه شکل ۳ و شکل ۲ تایید کننده عملکرد ECDL میباشد.

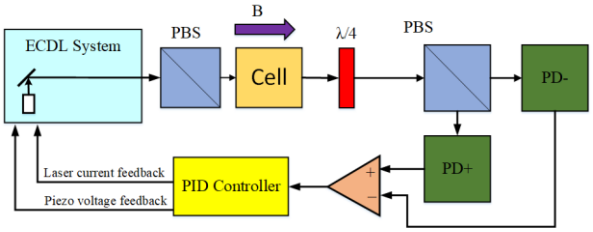


شکل۳- سیگنال خروجی طیف سنجی جذبی سزیم با استفاده از ECDL که بر روی خط جذب D1 تنظیم شده است. موج مثلثی مربوط به موج مدوله کننده پیزو الکتریک می‌باشد که جاروب طول موج است.

لازم به ذکر است که لیزر ECDL مورد استفاده در این کار مبتنی بر ساختار Littrow بوده و شامل اجزای مختلف الکترونیکی و اپتیکی می باشد[۵]. این لیزر برای تنظیم طول موج سه ساز و کار دارد که شامل دما، موقعیت پیزو الکتریک و جریان دیود است. در فرایند قفل لیزر به روش DAVLL از دو ساز و کار آخر، در حلقهٔ فیدبک بهره برده می شود.

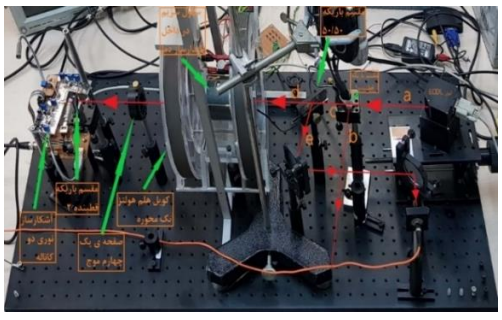
اصول عملکرد و پیاده سازی قفل لیزر به روش DAVLL

این روش قفل لیزر مبتنی بر دورنگی مغناطیسی[۳] می باشد. در اثر این پدیده با اعمال میدان مغناطیسی در جهت انتشار نور، سیگنال‌های جذب زیر تراز های زیمن مربوط به دو نور با قطبش های دایروی راستگرد و چپگرد، از هم جدا می شوند که حاصل تفریق دو سیگنال جا به جا شده، سیگنال خطای مورد نیاز برای قفل را می سازد. در شکل ۴ شماتیک چیدمان اپتیکی مربوط به قفل لیزر به روش DAVLL نشان داده شده است.



شکل ۴- شماتیک چیدمان مربوط به روش قفل DAVLL

در شکل ۵پیاده سازی عملی چیدمان قفل لیزر نشان داده شده است. در این شکل، باریکهٔ a، باریکهٔ خارج شده از ECDL است که قطبشی خطی دارد. این باریکه ابتدا به مقسم باریکهٔ قطبندهٔ شمارهٔ ۱ برخورد می کند و این مقسم، باریکه را به دو قطبش خطی عمودی و افقی تقسیم می کند. قطبش افقی و عمودی به ترتیب باریکه های c و b هستند که باریکهٔ b در چیدمان مورد استفاده قرار نگرفته است. سپس باریکهٔ c به یک مقسم باریکهٔ معمولی ۵۰/۵۰ برخورد می کند و به دو باریکهٔ e و d شکافته می شود. باریکهٔ e به سمت چیدمان مربوط به جفت کردن نور به فیبر نوری می‌رود و نقش خروجی کلی مجموعه پس از قفل شدن طول موج را دارد. باریکهٔ d که قطبش خطی افقی دارد معادل جمع دو قطبش دایروی σ^+ و σ^- است.



شکل ۵- تصویر چیدمان اپتیکی سیستم قفل طول موج به روش DAVLL

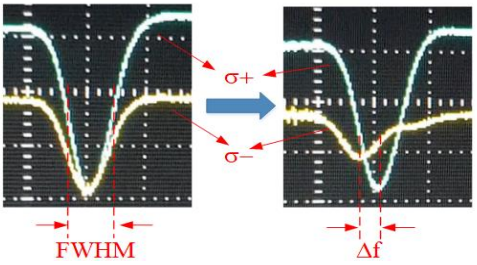
این باریکه به داخل کویل هلم هولتز تک محوره وارد می شود و از داخل سلول سزیم عبور می کند. باریکه پس از

[۳] Magnetic dichroism

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

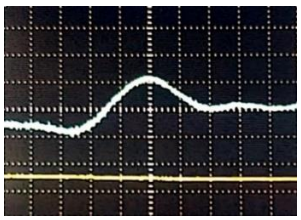
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-18]

خروج از سلول به یک تیغهٔ ربع موج برخورد می کند که در خروجی آن دو قطبش σ^+ و σ^- به دو قطبش خطی عمود بر هم تبدیل می گردد. باریکهٔ خروجی سپس به مقسم باریکهٔ قطبندهٔ شمارهٔ ۲ وارد می شود و هر کدام از این قطبش های خطی که نمایندهٔ نور های σ^+ و σ^- هستند را به یکی از کانال های آشکار ساز اپتیکی می فرستد. همزمان با اعمال جریان الکتریکی مناسب به کویل هلم هولتز تک محوره، یک میدان مغناطیسی ثابت (حدود 80 G) به سلول سزیم اعمال می گردد که موجب دورنگی مغناطیسی می شود. در اثر این پدیده با اعمال میدان مغناطیسی در جهت انتشار نور، سیگنال‌های جذب مربوط به قطبش های دایروی راستگرد و چپگرد، از هم فاصله می-گیرند (شکل ۸).



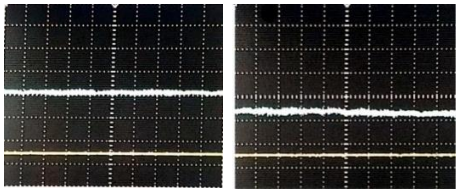
شکل ۸: سیگنال مربوط به قطبش های دایروی راستگرد و چپگرد که پس از اعمال میدان از یکدیگر جدا شده اند.

با تفریق الکترونیکی این دو سیگنال، سیگنال خطای مورد نیاز به دست می آید که نقطهٔ گذر از صفر آن، نقطهٔ مناسبی برای قفل طول موج می‌باشد (شکل ۹).



شکل ۹: سیگنال خطای حاصل از تفریق دو سیگنال (سیگنال آبی رنگ) شکل ۸ (Volt/Div= 2V , Time/Div= 5ms)

سیگنال خطای به دست آمده در مرحله قبل به یک مدار PID وارد می شود و خروجی این مدار ولتاژ قطعهٔ پیزوالکتریک و جریان دیود لیزر را کنترل می نماید. مدار PID ولتاژ مناسب را به پیزوالتریک اعمال می کند تا این سیگنال خطا به سمت صفر میل کند. نتیجهٔ حاصل در شکل های زیر آورده شده است.



شکل ۱۰: سیگنال خطا (سیگنال آبی رنگ) (الف) قبل از انجام قفل، (ب) پس از انجام قفل (Volt/Div= 2V , Time/Div= 5ms)

نتیجه‌گیری

در این مقاله، روش قفل DAVLL برای قفل لیزر ECDL بر روی گذارهای دلخواه اتم سزیم توضیح داده شد. همچنین نتایج عملی از مشاهدهٔ گذارها در ساختار فوق ریز اتم، شکافتگی جذب برای قطبش های راستگرد و چپگرد به دلیل اعمال میدان مغناطیسی، تولید سیگنال خطا و همچنین صفر شدن سیگنال خطا در حلقهٔ بازخورد، مورد بررسی قرار گرفته است. با قفل لیزر ECDL بر روی گذار اتمی، لیزر به صورت حلقهٔ بسته تأثیرات محیطی که موجب جابجایی طول موج می شوند را جبران کرده و لذا لیزری با پایداری بالا و پهنای طیفی بسیار باریک حاصل می شود.

مرجع‌ها

[1] Cunyun, Y, Tunable external cavity diode lasers. World Scientific, 2004.

[2] K.L. Corwin, Z.-T. Lu, C.F. Hand, R.J. Epstein, C.E. Wieman, Appl. Opt. 37, 3295, 1998.

[3] Steck D A, Cesium D Line Data, Theoretical Division (T-8), MS B285 Los Alamos National Laboratory Los Alamos, NM 87545, 2003.

[4] F. Gruet, et al, "Metrological characterization of custom-designed 894.6 nm VCSELs for miniature atomic clocks", OPTICS EXPRESS, Vol. 21, No. 5,5781-5792, 2013.

[5] A. Rashedi A, Ghashghae F, Sarreshtedari F Sabooni M,Babaei B and Golshan Khavas S "A highly stable and tunable extended cavity diode laser", 27th Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE2019), Yazd, Iran, 2019.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-18]