



جمهوری اسلامی ایران  
Islamic Republic of Iran  
سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران  
۲۱۷۶۷  
چاپ اول  
۱۳۹۵

INSO  
21767

1st.Edition

2017

Identical with  
ISO 13142:2015

سامانه‌های الکترواپتیکی – تکنیک کاواک  
تضعیف برای اندازه‌گیری بازتابندگی بالا

Electro-optical systems – Cavity ring-down  
technique for high-reflectance measurment

ICS: 31.260

سازمان ملی استاندارد ایران

تهران، ضلع جنوب غربی میدان ونک، خیابان ولیعصر، پلاک ۲۵۹۲

صندوق پستی: ۶۱۳۹-۱۴۱۵۵ تهران- ایران

تلفن: ۵-۸۸۸۷۹۴۶۱

دورنگار: ۸۸۸۸۷۰۸۰ و ۸۸۸۸۷۱۰۳

کرج، شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۱۶۳-۳۱۵۸۵ کرج- ایران

تلفن: ۸-۳۲۸۰۶۰۳۱ (۰۲۶)

دورنگار: ۳۲۸۰۸۱۱۴ (۰۲۶)

رایانامه: [standard@isiri.org.ir](mailto:standard@isiri.org.ir)

وبگاه: <http://www.isiri.gov.ir>

**Iranian National Standardization Organization (INSO)**

No.1294 Valiasr Ave., South western corner of Vanak Sq., Tehran, Iran

P. O. Box: 14155-6139, Tehran, Iran

Tel: + 98 (21) 88879461-5

Fax: + 98 (21) 88887080, 88887103

Standard Square, Karaj, Iran

P.O. Box: 31585-163, Karaj, Iran

Tel: + 98 (26) 32806031-8

Fax: + 98 (26) 32808114

Email: [standard@isiri.org.ir](mailto:standard@isiri.org.ir)

Website: <http://www.isiri.gov.ir>

## به نام خدا

## آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

سازمان ملی استاندارد ایران به موجب بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب‌نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانه صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیردولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادهای در کمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند در کمیته ملی طرح، بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مقررات استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که در سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌شود به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)<sup>۱</sup>، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)<sup>۲</sup> و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)<sup>۳</sup> است و به عنوان تنها رابط<sup>۴</sup> کمیسیون کدکس غذایی (CAC)<sup>۵</sup> در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری کند. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استانداردهای کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری کند. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز واسنجی (کالیبراسیون) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد این‌گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامه تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها، واسنجی وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

- 
- 1- International Organization for Standardization
  - 2- International Electrotechnical Commission
  - 3- International Organization for Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legals)
  - 4- Contact point
  - 5- Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«سامانه‌های الکترواپتیکی - تکنیک کاواک تضعیف برای اندازه‌گیری بازتابندگی بالا»

**رئیس:**

آقاجانی، امیر  
(کارشناسی ارشد فوتونیک)

**سمت و/یا محل اشتغال:**

سازمان فضایی ایران

**دبیر:**

مسافر قشلاق، مهدی  
(کارشناسی ارشد فیزیک)

اداره کل استاندارد استان قزوین

**اعضا:** (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

بهشتی‌پور، صالحه  
(کارشناسی ارشد اپتیک و لیزر)

عضو مستقل

پیشدست، مسعود  
(دکتری فوتونیک)

پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای - پژوهشکده پلاسما و گداخت  
هسته‌ای

رحمنی، سعید  
(کارشناسی ارشد اپتومتری)

دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید بهشتی

روغنی، امیر  
(کارشناسی فیزیک)

تولید مخازن گاز طبیعی آسیاناما

عبادی، ناهید  
(کارشناسی فیزیک)

کارخانجات لوازم اتومبیل ایران

عجمی، عاطفه  
(کارشناسی ارشد مهندسی سیستم‌های اقتصادی اجتماعی)

آزمایشگاه اپتیک سازمان جهاد دانشگاهی صنعتی شریف

کهریزی، امیر  
(کارشناسی ارشد فوتونیک)

طراح سیستم‌های اپتیکی

مرادی، رحیم  
(دکتری فیزیک)

دانشگاه ساینزای رم

**اعضا:** (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

رئیس اداره اندازه‌شناسی و اوزان و مقیاس‌ها - اداره کل استاندارد  
استان قزوین

مرشدعباسی، مجید  
(کارشناسی فیزیک)

گروه پژوهشی مهندسی پزشکی - پژوهشگاه سازمان ملی  
استاندارد ایران

میرزایی کجانی، مریم  
(دکتری فیزیک)

عضو مستقل

نجفی لیاولی، مهرداد  
(کارشناسی ارشد فیزیک)

تولیدی نشا گستر پردیس

نصیرلو، زلیخا  
(کارشناسی ارشد فیزیک)

اداره کل استاندارد استان قزوین

نهایندی، مریم  
(کارشناسی مهندسی برق)

**ویراستار:**

گروه پژوهشی مهندسی پزشکی - پژوهشگاه سازمان ملی  
استاندارد ایران

فرجی، رحیم  
(کارشناسی ارشد شیمی)

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ح	پیش‌گفتار
ط	مقدمه
۱۰	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱۰	۲ مراجع الزامی
۱۱	۳ اصطلاحات و تعاریف
۱۱	۴ نمادهای استفاده شده و یكاهای اندازه‌گیری
۱۲	۵ اصول آزمون
۱۲	۱-۵ کلیات
۱۲	۲-۵ زمان میرائی كاواك اولیه و بازتابندگی آینه‌های كاواك
۱۴	۳-۵ زمان میرائی كاواك آزمون و بازتابندگی نمونه آزمون
۱۵	۴-۵ اندازه‌گیری بازتابندگی بالا با تکنیک بازخورد اپتیکی CRD
۱۷	۶ آماده سازی نمونه آزمون و چیدمان اندازه‌گیری
۱۷	۱-۶ نمونه آزمون
۱۷	۲-۶ منبع لیزر
۱۷	۳-۶ تضعیف كاواك
۱۸	۴-۶ واحد آشكارسازی
۱۸	۵-۶ اخذ و پردازش داده‌ها
۱۸	۶-۶ محیط
۱۹	۷ روش اجرایی آزمون
۱۹	۱-۷ کلیات
۱۹	۲-۷ اندازه‌گیری زمان میرائی كاواك اولیه
۲۰	۳-۷ محاسبه بازتابندگی آینه‌های كاواك
۲۰	۴-۷ اندازه‌گیری زمان میرائی كاواك آزمون
۲۰	۵-۷ محاسبه بازتابندگی نمونه آزمون
۲۰	۶-۷ ارزیابی‌های اندازه‌گیری
۲۱	۸ عوامل اصلی خطا
۲۱	۱-۸ اثر زمان پاسخ دستگاه بر اندازه‌گیری بازتابندگی
۲۱	۱-۱-۸ کلیات
۲۱	۲-۱-۸ روش انطباق چند پارامتری

صفحه	عنوان
۲۲	۳-۱-۸ روش کوتاه‌سازی داده‌ها
۲۲	۲-۸ خطای اندازه‌گیری بازتابندگی آینه‌های کاواک
۲۳	۳-۸ خطای اندازه‌گیری بازتابندگی نمونه آزمون
۲۳	۹ گزارش آزمون
۲۶	پیوست الف (آگاهی دهنده) آزمون بررسی قابلیت اطمینان بازتابندگی
۲۸	پیوست ب (آگاهی دهنده) گزارش آزمون
۲۹	کتاب‌نامه

## پیش‌گفتار

استاندارد «سامانه‌های الکترواپتیکی - تکنیک کاواک تضعیف برای اندازه‌گیری بازتابندگی بالا» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط بر مبنای پذیرش استانداردهای بین‌المللی/منطقه‌ای به‌عنوان استاندارد ملی ایران به روش اشاره شده در مورد الف، بند ۷، استاندارد ملی ایران شماره ۵ تهیه و تدوین شده، در ششصد و پنجمین اجلاس کمیته ملی استاندارد مهندسی پزشکی مورخ ۱۳۹۵/۱۱/۰۳ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

استانداردهای ملی ایران بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ۵ (استانداردهای ملی ایران - ساختار و شیوه نگارش) تدوین می‌شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در صورت لزوم تجدیدنظر خواهند شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح یا تکمیل این استانداردها ارائه شود، در هنگام تجدیدنظر در کمیسیون فنی مربوط، مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی ایران استفاده کرد.

این استاندارد ملی بر مبنای پذیرش استاندارد بین‌المللی زیر به روش «معادل یکسان» تهیه و تدوین شده و شامل ترجمه تخصصی کامل متن آن به زبان فارسی می‌باشد و معادل یکسان استاندارد بین‌المللی/منطقه‌ای مزبور است:

ISO 13142 : 2015 , Electro-optical systems – Cavity ring-down technique for high-reflectance measurement



## مقدمه

در سال‌های اخیر، با توسعه فناوری نهشت لایه‌نازک<sup>۱</sup>، بهبود چشمگیری در عملکرد لایه‌های نازک اپتیکی به خصوص لایه‌نشانی‌هایی با بازتابندگی بالا صورت گرفته است. این فناوری به طور گسترده در سامانه‌های لیزری توان بالا، آشکارسازهای تداخلی امواج گرانشی، ژيروسکوپ‌های لیزری و کاربردهای طیف‌سنجی کاواک تقویت و کاواک تضعیف استفاده می‌شوند. سامانه‌های اپتیکی بر پایه لیزر، به قطعات اپتیکی با مشخصه بازتابی بسیار بالا نیاز دارند. از این رو باید توانایی اندازه‌گیری دقیق این مشخصه بازتابی، وجود داشته باشد. در این استاندارد، روش‌های اجرایی اندازه‌گیری به گونه‌ای بهینه شده‌اند تا با استفاده از تکنیک کاواک تضعیف، داده‌های بازتابندگی بالای قطعات اپتیکی لیزر (به‌طور نظری بزرگتر از ۹۹ درصد تا ۱۰۰ درصد) با دقت، تکرارپذیری، تجدیدپذیری و قابلیت اطمینان بالا اندازه‌گیری شود.

## سامانه‌های الکترواپتیکی - تکنیک کاواک تضعیف برای اندازه‌گیری بازتابندگی بالا

### ۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین روش اجرایی اندازه‌گیری جهت مشخص نمودن دقیق بازتابندگی بالای قطعات اپتیکی لیزر است.

این استاندارد برای بازتابندگی ۹۹ درصد و بالاتر (از لحاظ نظری تا ۱۰۰ درصد) کاربرد دارد. روش‌های ارائه شده در این استاندارد، جهت آزمون و توصیف مشخصه‌های<sup>۱</sup> بازتابندگی بالای هر دو نوع آینه کاو (مقعر) و تخت که در سامانه‌های لیزری و دستگاه‌های بر پایه لیزر به کار گرفته می‌شوند، در نظر گرفته شده‌اند. بازتابندگی آینه‌های کوژ (محدب) نیز می‌تواند با در نظر گرفتن شعاع انحنای سطح آینه، آزمون شود.

روش‌های آزمونی که تاکنون برای اندازه‌گیری بازتابندگی قطعات اپتیکی لیزر تدوین شده‌اند، دارای حد دقت تقریباً ۰/۰۱ درصد (برای اندازه‌گیری بازتابندگی مطلق) هستند که برای اندازه‌گیری بازتابندگی بالاتر از ۹۹/۹۹ درصد یا در برخی از موارد که دقت اندازه‌گیری بهتر از ۰/۰۱ درصد مورد نیاز است، کاربرد ندارند.

### ۲ مراجع الزامی

در مراجع زیر ضوابطی وجود دارد که در متن این استاندارد به صورت الزامی به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب، آن ضوابط جزئی از این استاندارد محسوب می‌شوند.

در صورتی که به مرجعی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن برای این استاندارد الزام‌آور نیست. در مورد مراجعی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی برای این استاندارد الزام‌آور است.

استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

**2-1** ISO 11145 , Optics and photonics - Lasers and laser-related equipment - Vocabulary and symbols

**2-2** ISO 14644-1, Cleanrooms and associated controlled environments - Part 1: Classification of air cleanliness by particle concentration

### ۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، اصطلاحات و تعاریف زیر به کار می‌رود:

۱-۳

#### بازتابندگی

#### reflectance

(برای تابش فرودی با طول موج، قطبش و زاویه فرود معین) نسبت تابش یا شار نوری بازتابیده به شار فرودی در شرایط معین را گویند.

### ۴ نمادهای استفاده شده و یکاهای اندازه‌گیری

جدول ۱- نمادهای استفاده شده و یکاهای اندازه‌گیری

اصطلاح	یکا	نماد
سرعت نور در محیط اندازه‌گیری	m/s	$c$
سرعت نور در خلاء	m/s	$c_0$
پاسخ ضربه کاواک تضعیف		$h(t)$
تابع پاسخ دستگاه		$h_0(t)$
طول کاواک‌های اولیه و آزمون	m	$L_0, L$
خطاهای اندازه‌گیری طول کاواک اولیه و آزمون	m	$\Delta L_0, \Delta L$
ضریب شکست هوا در محیط اندازه‌گیری		$n$
میانگین بازتابندگی آینه‌های کاواک، برابر با ریشه دوم $R_1 * R_2$		$R$
بازتابندگی نمونه آزمون		$R_s$
بازتابندگی دو آینه کاواک		$R_1, R_2$
بازتابندگی آینه تخت کاواک		$R_3$
زمان پاسخ دستگاه	s	$T_0$
زمان	s	$t$
تابع پله منفی		$u(t)$
ضریب جذب کلی گازهای داخل کاواک در طول موج لیزر	$\text{cm}^{-1}$	$\alpha$
تابع دلتا		$\delta(t)$
زاویه فرود بر نمونه آزمون	rad	$\theta$
شعاع انحنای سطح کاواک	m	$\rho$
زمان میرایی کاواک‌های اولیه و آزمون	s	$\tau_0, \tau$
خطاهای اندازه‌گیری زمان میرایی کاواک‌های اولیه و آزمون	s	$\Delta \tau_0, \Delta \tau$

## ۵ اصول آزمون

### ۱-۵ کلیات

روش‌های مرسوم اندازه‌گیری بازتابندگی (طیف‌سنجی نوری<sup>۱</sup> و تابش‌سنجی لیزری)، مبتنی بر اندازه‌گیری تغییرات نسبی توان نور بازتابیده توسط نمونه آزمون می‌باشند. در این حالت، دقت اندازه‌گیری توسط نوسانات توان منابع نور، محدود می‌گردد. از طرف دیگر، تکنیک کاواک تضعیف (CRD)<sup>۲</sup>، بر مبنای اندازه‌گیری نرخ میرایی توان لیزر به‌دام افتاده در یک کاواک تضعیف متشکل از حداقل دو آینه با بازتابندگی بالا، قرار دارد. بنابراین، این تکنیک به‌طور کامل در مقابل نوسانات توان منابع نوری مصون می‌باشد. تکنیک CRD می‌تواند به دقت اندازه‌گیری فراتر از حد بوجود آمده توسط نوسانات توان منابع نوری، دست پیدا کند.

### ۲-۵ زمان میرایی کاواک اولیه و بازتابندگی آینه‌های کاواک

زمانی که یک باریکه لیزری به درون کاواک وارد می‌شود، مقداری از آن به‌طور تدریجی در هر بازتاب از کاواک به عنوان کسر کوچکی از نور عبور کرده از میان آینه‌ها، به بیرون نشت می‌نماید. رفتار زمانی سیگنال خروجی کاواک بلافاصله بعد از پالس لیزر (در وضعیت پالسی، همان‌طور که در شکل ۱ نمایش داده شده است) یا بلافاصله بعد از اینکه توان لیزر قطع شد (در وضعیت موج پیوسته (CW)<sup>۳</sup>، همان‌طور که در شکل ۲ نمایش داده شده است) یا در لبه پایین‌رونده‌ی توان مدوله شده یک موج مربعی) را می‌توان بر اساس روند میرایی که در فرمول (۱) نمایش داده شده است، به صورت یک تابع میرایی نمایی بر حسب زمان بیان نمود:

$$I(t) \propto I_0 \exp\left(\frac{-t}{\tau_0}\right) \quad (1)$$

به طوری که  $I_0$  شدت اولیه‌ی سیگنال نوری خروجی از کاواک است و  $\tau_0$  نیز می‌تواند به صورت زیر بیان شود:

$$\tau_0 = \frac{L_0}{c(\alpha L_0 - \ln \sqrt{R_1 R_2})} \quad (2)$$

که در آن:

$$c = \frac{c_0}{n} \quad (3)$$

1 - Spectrophotometry

2 - Cavity ring-down

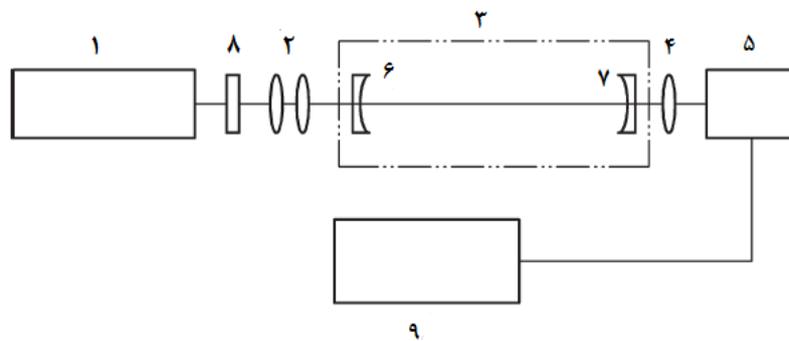
3 - Continuous wave

هنگامی که جذب گازهای داخل کاواک تضعیف در طول موج لیزر آزمون، ناچیز باشد، زمان کاواک تضعیف خالی،  $\tau_0$ ، تنها به طول کاواک و بازتابندگی آینه‌های کاواک وابسته است. در این صورت معادله (۲) به معادله (۴) ساده می‌شود:

$$\tau_0 = \frac{-L_0}{c \ln \sqrt{R_1 R_2}} \quad (۴)$$

با اندازه‌گیری آزمایشگاهی زمان میرائی،  $\tau_0$ ، می‌توان میانگین بازتابندگی آینه‌های کاواک را با استفاده از معادله (۵) محاسبه نمود:

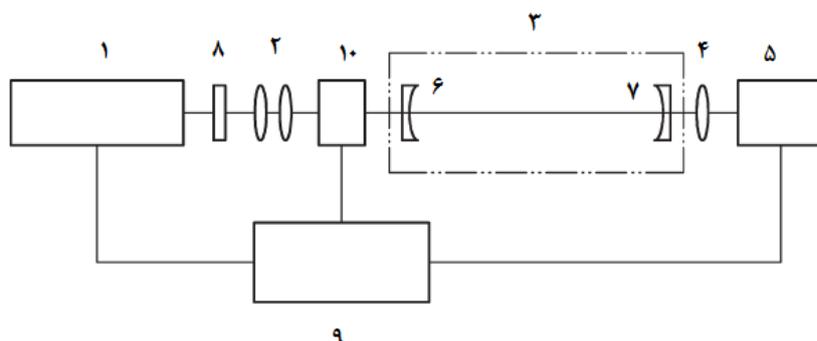
$$R = \sqrt{R_1 R_2} = \exp\left(\frac{-L_0}{c \tau_0}\right) \quad (۵)$$



راهنما:

- ۱ لیزر
- ۲ اجزای اپتیکی انطباق دهنده مد
- ۳ کاواک اولیه
- ۴ عدسی کانونی کننده
- ۵ آشکارساز فوتونی
- ۶ آینه ورودی کاواک، آینه کاو با بازتابندگی بالا
- ۷ آینه خروجی کاواک، آینه کاو با بازتابندگی بالا
- ۸ قطبنده
- ۹ واحد کنترل و پردازش داده‌ها

شکل ۱- چیدمان اپتیکی تکنیک CRD پالسی در اندازه‌گیری بازتابندگی بالا



راهنما:

- ۱ لیزر
- ۲ اجزای اپتیکی انطباق دهنده مد
- ۳ کاواک اولیه
- ۴ عدسی کانونی کننده
- ۵ آشکارساز فوتونی
- ۶ آینه ورودی کاواک، آینه کاو با بازتابندگی بالا
- ۷ آینه خروجی کاواک، آینه کاو با بازتابندگی بالا
- ۸ قطبنده
- ۹ واحد کنترل و پردازش داده‌ها
- ۱۰ کلید اپتیکی

شکل ۲- چیدمان اپتیکی تکنیک cw-CRD در اندازه‌گیری بازتابندگی بالا

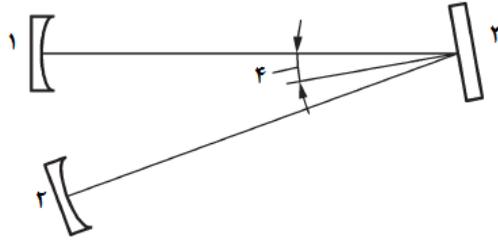
### ۳-۵ زمان میرائی کاواک آزمون و بازتابندگی نمونه آزمون

اگر یک نمونه آزمون تخت مورد اندازه‌گیری قرار گیرد، همان‌طور که در شکل ۳ نمایش داده شده‌است، یک کاواک تضعیف آزمون، با قرار دادن این نمونه آزمون درون کاواک اولیه شکل می‌گیرد. زاویه فرود باریکه لیزر بر نمونه آزمون از زاویه فرود مورد نیاز نمونه آزمون پیروی می‌کند. در این حالت، زمان میرائی کاواک تاخورد<sup>۱</sup> آزمون را می‌توان بر حسب معادله (۶) بیان نمود:

$$\tau = \frac{-L}{c \ln \left( R_s \sqrt{R_1 R_2} \right)} \quad (6)$$

بنابراین با ترکیب معادله‌های (۴) و (۶) می‌توان بازتابندگی نمونه آزمون را با استفاده از معادله (۷) محاسبه نمود:

$$R_s = \exp \left( \frac{L_0}{c \tau_0} - \frac{L}{c \tau} \right) \quad (7)$$



راهنما:

- ۱ آینه ورودی کاواک، آینه کاو با بازتابندگی بالا
- ۲ آینه خروجی کاواک، آینه کاو با بازتابندگی بالا
- ۳ نمونه آزمون
- ۴ زاویه فرود بر نمونه آزمون

شکل ۳- چیدمان اپتیکی کاواک آزمون

#### ۴-۵ اندازه‌گیری بازتابندگی بالا با تکنیک بازخورد اپتیکی CRD

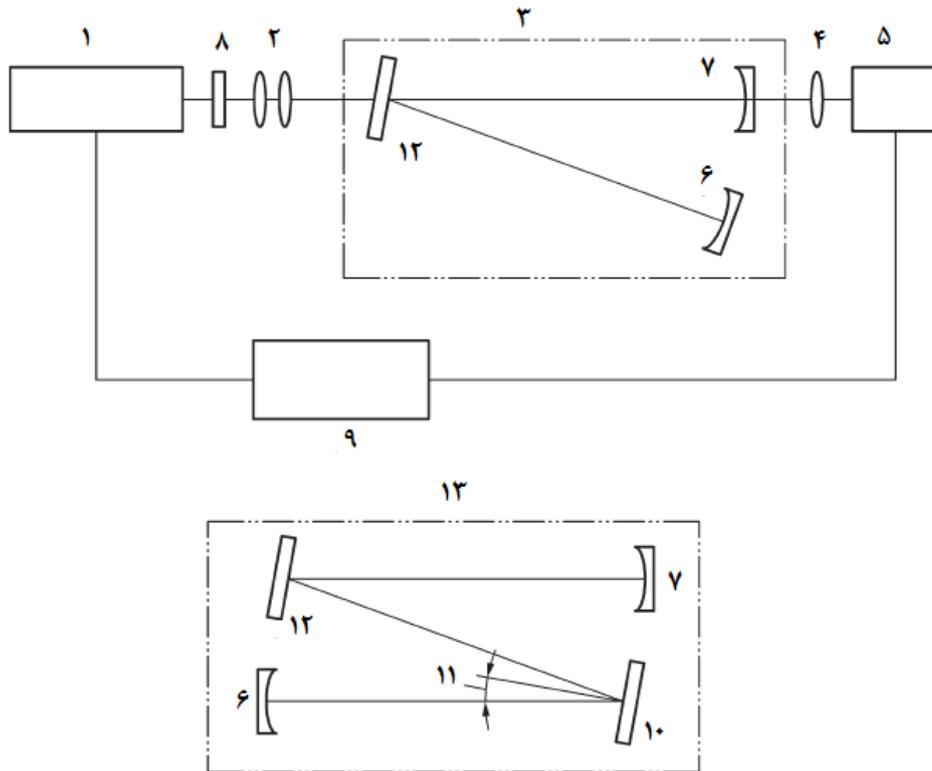
در حالت cw-CRD، تکنیک بازخورد اپتیکی CRD (OF-CRD)<sup>۱</sup> با بهره‌گیری از یک لیزر نیمه‌رسانا به- عنوان منبع نور (به شکل ۴ مراجعه شود) می‌تواند برای اندازه‌گیری بازتابندگی با نسبت سیگنال به نوفه (نویز) بهبود یافته در سیگنال‌های CRD، به کار برده شود. در تکنیک OF-CRD، کاواک اولیه از سه آینه تشکیل شده‌است: دو آینه کاو و یک آینه تخت. باریکه خروجی از لیزر نیمه‌رسانا از طریق آینه تخت کاواک با بازتابندگی بالا، به‌طور هم‌محور به درون کاواک تضعیف وارد می‌شود. بازخورد اپتیکی (بازتاب برگشته از باریکه لیزر) از کاواک تضعیف به درون کاواک نوسانگر (اسیلاتور) لیزر نیمه‌رسانا باز می‌تابد. به دلیل اثر خودترکیبی<sup>۲</sup> لیزر نیمه‌رسانا، پهنای خط طیفی لیزر، به‌طور چشمگیری توسط فرکانس بازخورد اپتیکی انتخاب شده، کاهش می‌یابد که منجر به ارتقای چشمگیر بازدهی جفت‌شدگی توان لیزر به درون کاواک تضعیف و بنابراین افزایش زیادی در دامنه CRD می‌گردد. هنگامی که توان لیزر با یک سیگنال موج مربعی مدوله شده‌است، سیگنال میرائی کاواک را می‌توان در لبه پایین‌رونده سیگنال موج مربعی بدست آورد. در واقع اصول آزمون همانند اصول ارائه شده در زیربندهای ۲-۵ و ۳-۵ می‌باشد. در تکنیک OF-CRD، عبارت  $\sqrt{R_1 R_2}$  در معادله‌های (۲) تا (۶) بهتر است با  $\sqrt{R_1 R_2} \cdot R_3$  جایگزین شود.

دو اندازه‌گیری که در ادامه ذکر می‌شوند برای تعیین بازتابندگی نمونه آزمون، ضروری می‌باشند:

الف-  $\tau_0$  و  $L_0$  با کاواک اولیه اندازه‌گیری می‌شوند.

ب-  $\tau$  و  $L$  با کاواک آزمون اندازه‌گیری می‌شوند.

1- Optical feedback CRD  
2 - self-mixing



**راهنما:**

- ۱ لیزر نیمه رسانا
- ۲ اجزای اپتیکی انطباق دهنده مد
- ۳ کاواک اولیه با سه آینه
- ۴ عدسی کانونی کننده
- ۵ آشکارساز فوتونی
- ۶ آینه کاواک، آینه کاو با بازتابندگی بالا
- ۷ آینه خروجی کاواک، آینه کاو با بازتابندگی بالا
- ۸ قطبنده
- ۹ واحد کنترل و پردازش داده‌ها
- ۱۰ نمونه آزمون
- ۱۱ زاویه فرود با نمونه آزمون
- ۱۲ آینه ورودی کاواک، آینه تخت با بازتابندگی بالا
- ۱۳ کاواک آزمون با چهار آینه

شکل ۴- چیدمان اپتیکی تکنیک OF-CRD در اندازه‌گیری بازتابندگی بالا



## ۶ آماده سازی نمونه آزمون و چیدمان اندازه گیری

### ۱-۶ نمونه آزمون

انبارش، تمیزی و آماده سازی نمونه آزمون برای استفاده معمولی باید مطابق با دستورالعمل های سازنده ی نمونه های آزمون، انجام شود.

### ۲-۶ منبع لیزر

طول موج منبع لیزر، زاویه فرود و نوع قطبش باید مطابق با مقادیر تعیین شده توسط سازنده برای استفاده از نمونه آزمون باشند. نوع قطبش (p یا s) باریکه لیزر باید توسط قطبنده انتخاب شود. اگر گستره ای از مقادیر برای این سه کمیت قابل قبول است، آنگاه هر گونه ترکیبی از طول موج، زاویه فرود و نوع قطبش مجاز است درون این گستره ها مورد انتخاب قرار گیرد.

انطباق مد عرضی بین باریکه لیزر و مد کاواک تضعیف مهم است و در تکنیک های CRD به خصوص سامانه های پالسی CRD کاملاً مورد نیاز می باشد. اجزای اپتیکی انطباق دهنده مد (یعنی عدسی های شکل دهنده باریکه) در بهبود کیفیت باریکه لیزر و علاوه بر آن بر کاهش اثر عدم تطابق در اندازه گیری های CRD، مفید هستند. می توان با تحریک یک تک مد (مد  $TEM_{00}$ ) در کاواک نیز از اثر مد زنش<sup>۱</sup> بر اندازه گیری های CRD، جلوگیری کرد. در این حالت، یک سیگنال دارای میرائی نمایی می تواند بدست آید.

در سامانه CRD پالسی، فاصله بین دو پالس مجاور باید بزرگتر از زمان میرائی کاواک باشد. توصیه می شود که طول مدت پالس لیزر کوتاه تر از زمان رفت و برگشت نور درون کاواک ( $2L/c$ ) باشد.

در سامانه های cw-CRD، توان لیزر می تواند با یک کلید اپتیکی قطع شود. اگر یک لیزر نیمه رسانا که به صورت موج مربعی مدوله شده است مورد استفاده قرار گیرد، لیزر در لبه پایین رونده موج مربعی قطع می شود به طوری که می توان کلید اپتیکی را حذف نمود. فرکانس مدولاسیون باید به صورت آزمایشگاهی بهینه شود تا دامنه CRD در لبه پایین رونده موج مربعی، بیشینه گردد.

### ۳-۶ تضعیف کاواک

کاواک های اولیه و آزمون، هر دو از نظر اپتیکی کاواک های پایدار هستند که به وسیله  $0 < \rho < 2L_0$  و  $0 < \rho < 2L$  تعریف می شوند. بازتابندگی آینه کوژ نیز در صورتی می تواند مورد اندازه گیری قرار گیرد که کاواک آزمون متشکل از آینه های کاواک و آینه آزمون کوژ، از نظر اپتیکی پایدار باشند.

توصیه می‌گردد که از آینه‌های کاواکی با بازتابندگی بالاتر از ۹۹٫۹ درصد استفاده شود. از آن‌جا که با افزایش بازتابندگی آینه‌های کاواک، دقت اندازه‌گیری بازتابندگی نیز بهبود می‌یابد، آینه‌های کاواک با بازتابندگی بالاتر ارجح هستند. بازتابندگی ( $R_1$ ،  $R_2$  و  $R_3$ ) هر آینه کاواک نباید کمتر از ۹۹٫۵ درصد باشد.

#### ۴-۶ واحد آشکارسازی

واحد آشکارسازی از یک عدسی کانونی کننده، یک آشکارساز فوتونی (هر دو برای طول موج لیزری که در آن اندازه‌گیری انجام می‌گیرد، مناسب هستند) و یک نوسان‌نما (اسیلوسکوپ) یا یک کارت سریع اخذ داده‌ها<sup>۱</sup> تشکیل شده‌اند.

به‌منظور اطمینان از جمع‌شدن کامل توان لیزری خروجی توسط آینه خروجی کاواک، روزنه عددی (NA)<sup>۲</sup> عدسی کانونی کننده و ناحیه فعال آشکارساز فوتونی باید به‌دقت بهینه گردند. عدسی کانونی کننده باید با لایه‌نشانی ضد بازتاب در طول موج لیزر لایه‌نشانی شده باشد.

توصیه می‌شود یک آشکارساز با سرعت بالا فوتونی، با زمان خیزشی کوتاه‌تر از زمان میرائی کاواک مورد استفاده قرار گیرد تا اینکه بتوان از زمان پاسخ دستگاه بر اندازه‌گیری بازتابندگی صرف نظر کرد. در حالت آشکارساز فوتونی با زمان خیزشی کوتاه‌تر (اما تا حدی قابل مقایسه) از زمان میرائی کاواک، باید اثر زمان خیزش بر اندازه‌گیری بازتابندگی، از طریق پردازش داده‌ها حذف گردد. زیربند ۸-۱ را ملاحظه فرمایید.

#### ۵-۶ دریافت و پردازش داده‌ها

تعداد مشخصی از سیگنال‌های تضعیف با یک نوسان‌نما یا یک کارت اخذ داده بدست آمده و میانگین‌گیری می‌شوند تا زمان میرائی کاواک اولیه و کاواک آزمون تعیین گردد. تعداد سیگنال‌های تضعیف نیز باید ثبت شوند. به‌عنوان یک قانون کلی، بهتر است تعداد سیگنال‌های تضعیف بدست آمده، حداقل بزرگتر از تعدادی باشد که نسبت سیگنال به نوفه سیگنال تضعیف میانگین‌گیری شده روی آن تعداد، قابل قبول باشد.

#### ۶-۶ محیط

محیط انجام آزمون باید شامل هوای تصفیه شده بدون گرد و غبار به همراه رطوبت نسبی کمتر از ۶۰ درصد باشد. گرد و غبار باقی مانده باید مطابق با اتاق تمیز طبقه ۷ که در استاندارد ملی ۱-۶۲۵۲ مشخص شده است، کاهش یابد. برای کمینه کردن اثر نوسانات محیطی بر نتایج آزمون، توصیه می‌گردد که طول کل کاواک آزمون به همان اندازه کاواک اولیه حفظ شود.

1- Fast data-acquisition card

2 - Numerical aperture

## ۷ روش اجرایی آزمون

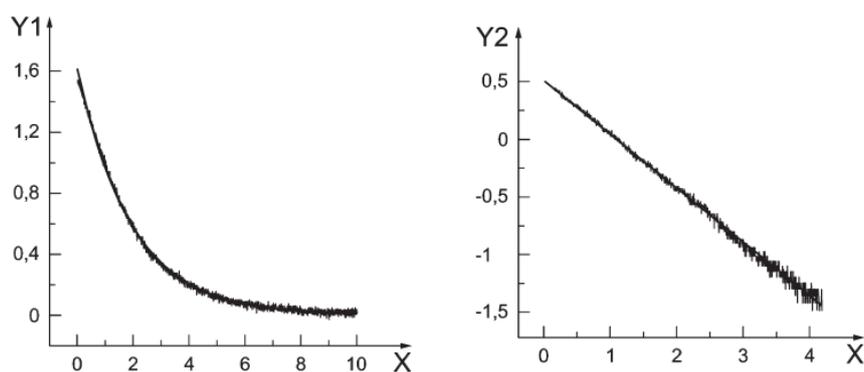
### ۱-۷ کلیات

یکی از روش‌های CRD پالسی و cw-CRD، یا روش cw OF-CRD باید برای اندازه‌گیری بازتابندگی انتخاب شود. زمان میرائی هر دو کاواک اولیه و آزمون باید برای تعیین بازتابندگی نمونه آزمون مورد اندازه‌گیری قرار گیرند.

زاویه فرود نمونه آزمون باید مطابق با دستورالعمل سازنده تنظیم شود. بازتابندگی فرود عمودی معمولاً نمی‌تواند به‌طور مستقیم اندازه‌گیری شود و به جای فرود عمودی، زاویه فرود بین ۳ تا ۸ درجه تنظیم می‌گردد که باید ثبت شود.

### ۲-۷ اندازه‌گیری زمان میرائی کاواک اولیه

آزمایش کاواک تضعیف اولیه را آماده کنید. سیگنال خروجی کاواک اولیه را بلافاصله بعد از پالس لیزر (در CRD پالسی) یا بلافاصله بعد از قطع توان لیزر یا در لبه پایین رونده از مدولاسیون موج مربعی (در CRD-cw) ثبت نمایید. در هنگامی که نور لیزر مسدود یا خاموش است، مقدار dc را از سیگنال خروجی کم نمایید. سپس این سیگنالی که مقدار dc از آن کم شده‌است را همان‌طور که در شکل ۵ به نمایش درآمده است، بر یک تابع میرائی نمایی (یعنی  $a \exp(-t / \tau_0)$  که  $a$  دامنه می‌باشد) با مقیاس خطی یا بر یک تابع خطی با مقیاس لگاریتمی (یعنی  $\log(a) - t / \tau_0$ ) انطباق دهید تا زمان میرائی کاواک اولیه،  $\tau_0$ ، تعیین شود. هنگامی که این سیگنال انطباق داده شد، بخش اول داده‌ها را متناظر با دو برابر دوره تناوب پاسخ دستگاه حذف کنید یا اینکه تعداد مشخصی از نقاط داده‌ها را در ابتدای سیگنال ثبت شده، حذف نمایید تا این انطباق انجام شده نسبت به تعداد نقاط داده‌های حذف شده، غیرحساس شود.



شکل ۵- سیگنال میرائی نوعی کاواک اولیه و انطباق نمایی متناظر در مقیاس خطی یا انطباق خطی در مقیاس لگاریتمی

۳-۷ محاسبه بازتابندگی آینه‌های کاواک

R را طبق زیربند ۲-۵، با استفاده از معادله (۵) محاسبه نمایید.

۴-۷ اندازه‌گیری زمان میرائی کاواک آزمون

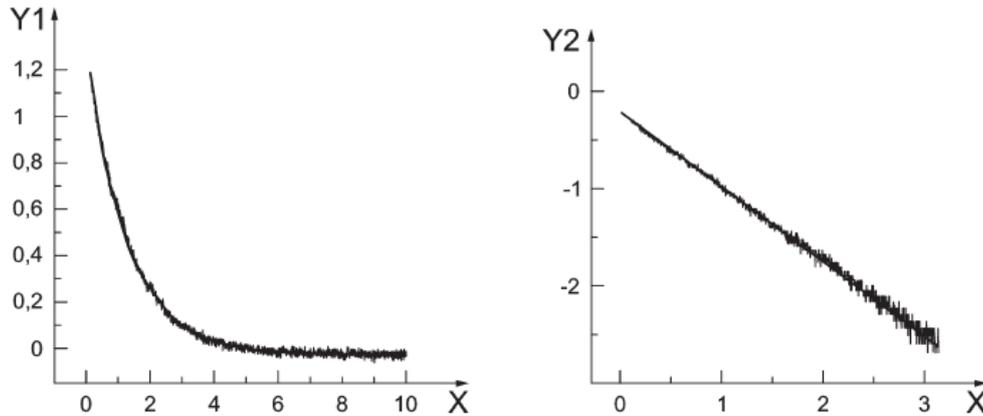
آزمایش کاواک تضعیف آزمون را آماده نمایید. زمان میرائی کاواک آزمون،  $\tau$ ، به همان روش شرح داده شده در زیربند ۲-۷ اندازه‌گیری می‌شود. سیگنال میرائی کاواک آزمون و انطباق نمایی متناظر آن در مقیاس خطی یا انطباق خطی آن در مقیاس لگاریتمی در شکل ۶ نمایش داده شده است.

۵-۷ محاسبه بازتابندگی نمونه آزمون

$R_s$  را همان‌طور که در زیربند ۳-۵ تشریح شد، با استفاده از معادله (۷) محاسبه نمایید.

۶-۷ ارزیابی‌های اندازه‌گیری

خطای اندازه‌گیری همان‌طور که در شکل‌های (۵ و ۶) ارائه شده است، با سنجش میزان انطباق‌ها بر داده‌های اندازه‌گیری بدست می‌آید. انحراف داده‌های اندازه‌گیری از انطباق نمایی در مقیاس خطی یا از انطباق خطی در مقیاس لگاریتمی، خطای اندازه‌گیری را نمایش می‌دهد. به‌طور معمول، خطای اندازه‌گیری بازتابندگی در حدود چند درصد از  $(1 - R)$  یا  $(1 - R_s)$  است.



شکل ۶- سیگنال میرائی نوعی کاواک آزمون و انطباق نمایی متناظر در مقیاس خطی یا انطباق خطی در مقیاس لگاریتمی

## ۸ عوامل اصلی خطا

### ۱-۸ اثر زمان پاسخ دستگاه بر اندازه‌گیری بازتابندگی

#### ۱-۱-۸ کلیات

زمان پاسخ دستگاه،  $T_0$ ، اساساً از زمان پاسخ منبع لیزر، آشکارساز فوتونی و نوسان‌نما یا کارت اخذ داده تشکیل شده است. برای دستیابی به اندازه‌گیری‌های دقیق بازتابندگی باید اثر زمان پاسخ محدود دستگاه آزمایش بر سیگنال CRD در نظر گرفته شود. در حالت  $\tau_0 \square T_0$  (و  $\tau$ )، اثر زمان پاسخ دستگاه بر اندازه‌گیری بازتابندگی ناچیز است و می‌توان از آن صرف‌نظر کرد. اما به هر حال در حالتی که زمان پاسخ دستگاه قابل مقایسه با زمان میرایی باشد، سیگنال CRD به‌طور چشمگیری از تابع میرایی نمایی منحرف می‌شود که منجر به خطای قابل توجهی در تعیین زمان میرایی و همچنین محاسبه بازتابندگی می‌گردد. دو روش انطباق چند پارامتری و روش کوتاه‌سازی داده‌ها<sup>۱</sup> می‌توانند برای حذف یا کمینه کردن اثر زمان پاسخ دستگاه بر اندازه‌گیری بازتابندگی به کار روند. به هر حال، زمان پاسخ دستگاه،  $T_0$ ، باید همیشه کوتاه‌تر از زمان میرایی،  $\tau_0$  (و  $\tau$ )، در آزمون باشد.

#### ۲-۱-۸ روش انطباق چند پارامتری

در اندازه‌گیری‌های CRD، سیگنال CRD با هم‌پیچش (کانولوشن)<sup>۲</sup> سیگنال ورودی پاسخ ضربه کاواک تضعیف،  $h(t)$ ، و تابع پاسخ دستگاه،  $h_0(t)$ ، متناسب می‌باشد (در حالت پالسی، پالس ورودی  $\delta(t)$  - در اینجا یک تابع دلتا در نظر گرفته شده است- یا در حالت CW، تابع پله منفی  $u(t)$  است). تابع پله منفی  $u(t)$ ، پاسخ ضربه کاواک تضعیف،  $h(t)$ ، و تابع پاسخ دستگاه،  $h_0(t)$ ، به ترتیب می‌توانند به‌صورت معادله‌های (۸)، (۹) و (۱۰) بیان شوند:

$$u(t) = \int_{-\infty}^t f(x) dx = \int_0^t f(x) dx \quad (۸)$$

$$h(t) = \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \quad (۹)$$

و

$$h_0(t) \propto \exp\left(-\frac{t}{T_0}\right) \quad (۱۰)$$

1- Data truncation  
2- Convolution

سیگنال‌های CRD در هر دو تکنیک CRD پالسی و cw-CRD به ترتیب به صورت معادله‌های (۱۱) و (۱۲) بیان می‌شوند:

$$I_{pulse}(t) = \delta(t) * \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) * \exp\left(-\frac{t}{T_0}\right) = a \left[ \exp\left(\frac{-t}{\tau}\right) - \exp\left(\frac{-t}{T_0}\right) \right] \quad (11)$$

$$I_{cw}(t) = u(t) * \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) * \exp\left(-\frac{t}{T_0}\right) = a \left[ \exp\left(\frac{-t}{\tau}\right) - \frac{T_0}{\tau} \exp\left(\frac{-t}{T_0}\right) \right] \quad (12)$$

به طوری که  $a$  دامنه می‌باشد.

توصیه می‌شود زمان پاسخ دستگاه،  $T_0$ ، کوچکتر از زمان میرائی کاواک،  $\tau$ ، باشد تا سیگنال CRD برای تعیین زمان میرائی کاواک قابل کاربرد گردد. با به کارگیری یک تکنیک تخمین چند پارامتری برای تعیین زمان میرائی کاواک و زمان پاسخ کلی دستگاه آزمایش به طور همزمان از طریق انطباق سیگنال CRD تجربی بر مدل نظری متناظر (معادله (۱۱) و معادله (۱۲)) می‌توان اثر زمان پاسخ دستگاه بر اندازه‌گیری بازتابندگی را حذف نمود.

### ۳-۱-۸ روش کوتاه‌سازی داده‌ها

به دلیل زمان پاسخ محدود دستگاه، انحراف بین سیگنال CRD تجربی و بهترین انطباق متناظر با آن در بخش آغازین سیگنال‌های میرائی چشمگیرتر است. سیگنال CRD با افزایش زمان به تدریج به میرائی نمایی در مقیاس خطی یا میرائی خطی در مقیاس لگاریتمی نزدیک می‌شود. بنابراین، اثر زمان پاسخ دستگاه بر اندازه‌گیری بازتابندگی می‌تواند با حذف عمدی نقاط داده‌ها از بخش آغازین سیگنال CRD در هنگام انطباق دادن آنها، کاسته شود. هرچند که در طی مدت آغازین باید مراقب حذف نقاط داده‌ها بود تا اثر زمان پاسخ دستگاه کاهش یابد اما دامنه CRD همانند نسبت سیگنال به نوفه سیگنال CRD با افزایش زمان، کاهش می‌یابد. در حالت کلی، بهتر است نقاط داده‌های حذف شده از نقطه شروع، درون زمان میرائی انطباق یافته  $\tau_0$  (و  $\tau$ )، قرار داشته باشند.

### ۲-۸ خطای اندازه‌گیری بازتابندگی آینه‌های کاواک

خطای اندازه‌گیری بازتابندگی آینه‌های کاواک می‌تواند از معادله (۵) به صورت معادله (۱۳) بیان گردد:

$$\left| \frac{\Delta R}{R} \right| = (1 - R) \left( \left| \frac{\Delta L_0}{L_0} \right| + \left| \frac{\Delta \tau_0}{\tau_0} \right| \right) \quad (13)$$

به طوری که  $\Delta L_0 / L_0$  و  $\Delta \tau_0 / \tau_0$  به ترتیب خطاهای اندازه‌گیری طول کاواک اولیه و زمان میرائی می‌باشند.

خطای اندازه‌گیری بازتابندگی با افزایش بازتابندگی، کاهش می‌یابد. توصیه می‌شود که از آینه‌های کاواکی با بازتابندگی بالاتر از ۹۹٫۹ درصد یا حتی بالاتر از ۹۹٫۹۹ درصد استفاده شود. برای مثال فرض کنید که خطای

اندازه‌گیری کل برای طول کاواک و زمان میرائی ۱ درصد باشد (هنگامی که برای یک دستگاه CRD طول کاواک به طور معمول در گستره ۰٫۵ تا ۱ متر باشد، خطای اندازه‌گیری طول کاواک می‌تواند به سادگی به ۰٫۱ درصد یا کمتر برسد)، آنگاه خطای اندازه‌گیری برای بازتابندگی آینه‌های کاواک هنگامی که بازتابندگی ۹۹٫۹ درصد باشد، ۰٫۰۰۱ درصد است و هنگامی که بازتابندگی برابر با ۹۹٫۹۹ درصد و ۹۹٫۹۹۹ درصد باشد به ترتیب به ۰٫۰۰۰۱ و ۰٫۰۰۰۰۱ درصد کاهش می‌یابد. از طرف دیگر، بازتابندگی آینه‌های کاواک باید بهینه شود زیرا راندمان ورود توان لیزر به درون کاواک تضعیف، با افزایش بازتابندگی آینه‌های کاواک، کاهش می‌یابد.

### ۳-۸ خطای اندازه‌گیری بازتابندگی نمونه آزمون

به‌طور مشابه، خطای اندازه‌گیری بازتابندگی نمونه آزمون را می‌توان به صورت معادله (۱۴) بیان نمود:

$$\left| \frac{\Delta R_s}{R_s} \right| = \left| \frac{\Delta R}{R} \right| + (1 - R R_s) \left( \left| \frac{\Delta L}{L} \right| + \left| \frac{\Delta \tau}{\tau} \right| \right) \quad (14)$$

استفاده از آینه‌های کاواک با بازتابندگی بالاتر، دقت اندازه‌گیری بازتابندگی نمونه آزمون را بهبود می‌بخشد. فرض کنید که میانگین بازتابندگی آینه‌های کاواک ۹۹٫۹۹ درصد باشد، آنگاه بر اساس معادله‌های (۱۳) و (۱۴) مقادیر معمول تجدیدپذیری اندازه‌گیری از نمونه آزمون با بازتابندگی بالا، در جدول ۲ نمایش داده شده‌است.

جدول ۲- تجدیدپذیری معمول اندازه‌گیری بازتابندگی نمونه آزمون

بازتابندگی %	تجدیدپذیری %
$99.0 < R_s < 99.5$	$< \pm 0.02$
$99.5 < R_s < 99.9$	$< \pm 0.01$
$99.9 < R_s < 99.99$	$\pm 0.002$
$R_s > 99.99$	$\pm 0.0002$

دقت اندازه‌گیری برای بازتابندگی را می‌توان با کاهش خطای اندازه‌گیری زمان میرائی، بیشتر بهبود داد که این امر می‌تواند با انطباق مدی بهتر بین مدهای لیزر و مدهای کاواک تضعیف، طول کاواک بلندتر و روش آشکارسازی حساس‌تر با نوفه پایین‌تر، انجام شود.

### ۹ گزارش آزمون

موارد زیر باید در گزارش آزمون ثبت شوند:

الف- اطلاعات مربوط به سازمان انجام دهنده آزمون

۱- سازمان انجام دهنده آزمون

۲- تاریخ و زمان انجام آزمون

۳- آزمونگر

ب- اطلاعات مربوط به نمونه آزمون

۱- سازنده نمونه آزمون

۲- نوع نمونه آزمون

۳- شناسه قطعه، تاریخ تولید

۴- ویژگی‌های ذکر شده توسط سازنده برای تمیزی و انبارش

۵- ویژگی‌های ذکر شده توسط سازنده برای استفاده رایج (طول موج، قطبش، زاویه فرود، هدف از استفاده و غیره)

پ- اطلاعات مربوط به وسایل آزمون

۱- منبع لیزر (طول موج، مد عملکردی CW یا پالسی، طول پالس و نرخ تکرار، فرکانس مدولاسیون برای منبع CW، نوع قطبش، پهنای خط طیفی)

۲- پارامترهای سامانه آشکارسازی و اخذ داده‌ها (زمان پاسخ دستگاه، زمان نمونه‌برداری، تعداد سیگنال‌های ثبت شده برای میانگین‌گیری)

۳- توصیف سایر تجهیزات مرتبط آزمون

۴- شرایط محیطی (دما، درجه تمیزی هنگامی که اتاق تمیز مورد استفاده قرار می‌گیرد، رطوبت، کنترل ارتعاش و غیره)

ت- اطلاعات مربوط به سنجش و آزمون

۱- طول کاواک‌های اولیه و آزمون

۲- بازتابندگی آینه‌های کاواک

۳- اندازه مکان باریکه بر روی نمونه

۴- زمان تضعیف کاواک‌های اولیه و آزمون



ث- تخصیص میزان خطا<sup>۱</sup>

۱- خطاهای زمان میرائی و طول کاواک‌ها

۲- عدم قطعیت بازتابندگی آینه‌های کاواک

ج- نتایج آزمون

۱- نمودارهای سیگنال‌های میرائی کاواک برای کاواک‌های اولیه و آزمون و منحنی‌های بهترین انطباق متناظر

۲- بازتابندگی نمونه آزمون

۳- عدم قطعیت بازتابندگی نمونه آزمون

چ- ارجاع به این استاندارد

پیوست الف  
(آگاهی دهنده)

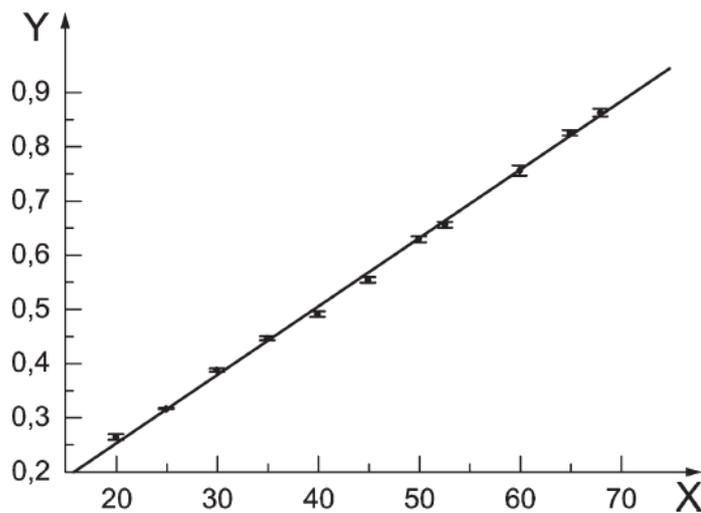
آزمون بررسی قابلیت اطمینان بازتابندگی

الف-۱ کلیات

این پیوست، تصدیق آزمایشگاهی قابلیت اطمینان نتایج اندازه‌گیری بازتابندگی را توصیف می‌کند.

الف-۲ روش

در اصل، بازتابندگی مستقل از طول کاواک است، در حالی که ممکن است عوامل دیگری نظیر اتلاف پراشی، اثر زمان پاسخ محدود دستگاه و غیره که می‌توانند اندازه‌گیری بازتابندگی را تحت تأثیر قرار دهند به طول کاواک وابسته باشند. بنابراین، برای بررسی قابلیت اطمینان نتایج بازتابندگی اندازه‌گیری شده، اندازه‌گیری بازتابندگی می‌تواند در مقابل تغییر طول کاواک (تا زمانی که شرایط کاواک پایدار حفظ گردد) تکرار شود. اگر مقدار بازتابندگی اندازه‌گیری شده، مستقل از طول کاواک (در تخصیص میزان خطای اندازه‌گیری) باشد، قابل اطمینان است. در ضمن از معادله‌های (۴) و (۶) مشخص است که زمان میرائی کاواک به طور خطی از طریق  $\tau = k \cdot L$  با طول کاواک متناسب است که  $k$  شیب وابستگی خطی می‌باشد. همچنین بازتابندگی را می‌توان از شیب وابستگی خطی زمان میرائی به طول کاواک، محاسبه نمود. بازتابندگی محاسبه شده از طریق  $R = \exp(-1/ck)$  باید سازگار با مقدار محاسبه شده از طریق معادله (۴) در طول‌های مختلف کاواک باشد. به‌عنوان یک مثال، شکل الف-۱، زمان میرائی اندازه‌گیری شده کاواک را نسبت به طول کاواک و انطباق خطی متناظر، نمایش می‌دهد. یک وابستگی خطی خوب به همراه سازگاری مناسب میان مقادیر بازتابندگی که در طول‌های مختلف کاواک و از طریق شیب وابستگی خطی تعیین شده‌اند، اشاره بر قابلیت اطمینان اندازه‌گیری بازتابندگی دارد. در این مثال، میانگین و انحراف از معیار بازتابندگی اندازه‌گیری شده در طول‌های مختلف کاواک به ترتیب ۹۹٫۷۳۶ و ۰٫۰۰۶ درصد هستند و بازتابندگی تعیین شده از طریق شیب وابستگی خطی برابر با ۹۹٫۷۳۳ درصد می‌باشد.



یادآوری- قطر و شعاع انحنای آینه‌های کاواک به ترتیب برابر با  $25/4$  میلیمتر و  $1$  متر هستند. لیزر نیز در مد  $TEM_{00}$  کار می‌کند.

شکل الف-۱- زمان‌های میرائی کاواک در طول‌های مختلف کاواک و بهترین انطباق خطی

پیوست ب  
(آگاهی دهنده)

گزارش آزمون

			سازمان انجام دهنده آزمون
آزمونگر		تاریخ انجام آزمون	
سازنده نمونه آزمون			
شناسه قطعه		نوع نمونه آزمون	
قطبش		طول موج	
صفر درجه		زاویه فرود	
طول موج		<input type="checkbox"/> CW <input type="checkbox"/> پالسی	نوع لیزر
توان میانگین		قطبش	
زمان میرائی کاواک اولیه		طول کاواک اولیه	
زمان میرائی کاواک آزمون		طول کاواک آزمون	
ناحیه مرکزی		مکان و اندازه باریکه لیزر بر نمونه	
نمودار سیگنال میرائی کاواک برای کاواک آزمون و بهترین انطباق متناظر در مقیاس لگاریتمی (یا در مقیاس خطی)		نمودار سیگنال میرائی کاواک برای کاواک اولیه و بهترین انطباق متناظر در مقیاس لگاریتمی (یا در مقیاس خطی)	
عدم قطعیت بازتابندگی		بازتابندگی نمونه آزمون	

### کتابنامه

- [۱] استاندارد ملی ایران شماره ۷-۹۸۱۹، کمیتها و یکاها - قسمت ۷: نور  
یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۷-۹۸۱۹، کمیتها و یکاها - قسمت ۷: نور با استفاده از استاندارد بین‌المللی  
ISO 80000-7, Quantities and units – part 7 : Light تدوین شده است.
- [2] Anderson D.Z., Frisch J.C., Masser C.S. Mirror reflectometer based on optical decay time [J]. Appl. Opt. 1984, 23 (8) pp. 1238–1245
- [3] Duparre A., & Ristau D. Optical interference coatings 2010 measurement problem [J]. Appl. Opt. 2011, 50 pp. C172–C177
- [4] Gong Y., & Li B. Effect of instrumental response time in exponential-decay based cavity ring-down techniques for high reflectivity measurement [C]. Proc. SPIE, 2007, 6720:67201E-1 – 67201E-8
- [5] Gong Y., Li B., Han Y. Optical feedback cavity ring-down technique for accurate measurement of ultra-high reflectivity [J]. Appl. Phys. B. 2008, 93 pp. 355–360
- [6] O’Keefe A., & Deacon D.A.G. Cavity ring-down optical spectrometer for absorption measurements using pulsed laser sources [J]. Rev. Sci. Instrum. 1988, 59 (12) pp. 2544–2551
- [7] Romanini D., Kachanov A.A., Sadeghi N., Stoeckel F. CW cavity ring down spectroscopy [J]. Chem. Phys. Lett. 1997, 264 pp. 316–322