

الله الرحمن الرحيم

دانشگاه یزد
دانشکده فیزیک

پایان نامه
برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
فیزیک اتمی و مولکولی

عنوان:

تعیین مقادیر ناچیز استرانسیوم با استفاده از روش عدسی گرمایی لیزری

استاد راهنما: دکتر عباس بهجت

استاد مشاور: دکتر شایسته دادفرنیا

پژوهش و نگارش: الهام فانی

تقدیم به

پدر عزیزم و مادر مهربانم

که سایه های لطفشان لحظه لحظه های زندگیم را پوشانده و دستان مهربانشان پشت و پناه

روزهای سخت و آسانم بوده

قدردانی

سایش خدایی که لباس عزت و ردای کبریایی را تنه‌به‌قامت رسای خود استوار و زیبا ساخت و شنا خدایی را سزد که جلاب عبودیت و پوشش فقر و مسکنت را بر اندام جهانیان موزون و بگلنان نمود تا در تلاقی فقر و غنا، و عزت و نیاز، کاسه‌ی سوال لبریز از جواب، و قح فقر سرریز از غنا گردد.

مؤمنان الهی مظاهر فضل خداوند، بنابراین سپاس از آنان همان حمد ولی نعمتی است که در مقام فعل در کسوت آنان ظهور کرده است، لذا وظیفه‌ی خویش می‌دانم از راهنمایی‌ها و پیکسیری‌های مداوم و صبورانه‌ی استاد گرانقدرم جناب آقای دکتر عباس بخت و از ارشادهای سودمند استاد مشاورم سرکار خانم دکتر شایسته دادفرنیاز، از اساتید محترم جناب آقای دکتر علی محمد حاجی شعبانی و راهنمایی‌های بی‌دیغ ایشان و جناب آقای دکتر محمود برهانی که داوری پایان نامه را به عهده داشتند، و کمک‌های بی‌شائبه‌ی دوست عزیزم سرکار خانم دکتر طاهره اسداللهی شکر و سپاسگزاری نمایم.

بچنین از خانواده‌ی عزیزم به خصوص پدر و مادرم که در تمام مراحل زندگی مشوق و پشتیبان من بوده‌اند کمال قدردانی اتنان را دارم. در پایان از تمام دوستان و بزرگوارانی که مراد انجام این پژوهش همیاری و ارشاد نموده‌اند صمیمانه شکر می‌کنم و از خداوند سبحان برای آن عزیزان فرید علم و هر آنچه خیر و نیکی است، خواستارم.

چکیده

در این پژوهش، ابتدا یک بررسی فراگیر از روش اسپکترومتری عدسی گرمایی (TLS) و مراحل تکامل پدیده‌ی عدسی گرمایی و نیز دستگاه‌ها و مدل‌های به‌کار رفته انجام شده است. سرانجام یک چیدمان عدسی گرمایی تک پرتویی طراحی گردیده است. در این چیدمان، عدسی گرمایی با استفاده از یک لیزر هلیوم-نئون تک مد ۵ میلی وات (به عنوان پمپ) متمرکز شده درون نمونه، ایجاد شد. سیگنال عدسی گرمایی نیز با استفاده از همان لیزر (به عنوان پروب) و یک آشکارساز مورد بررسی قرار گرفت. همچنین از میکروکنترلر AVR برای جمع‌آوری داده‌ها و پردازش سیگنال‌های گذرای TLS استفاده شد. چیدمان بهینه، با استفاده از طراحی مناسب آزمایشگاهی و با اطمینان از بیشترین حساسیت به‌دست آمد. سپس پس از بررسی کمپلکس‌های مختلف به منظور همخوانی با طول موج لیزر هلیوم-نئون، کمپلکس استرانسیوم و آرسنازو(III) که در طول موج لیزر به‌کار رفته دارای جذب بود، انتخاب شده و عملکرد چیدمان برای این کمپلکس به صورت محلول در آب و حلال‌های دیگر مورد آزمایش قرار گرفت. با بررسی نتایج به‌دست آمده از نمودارهای کالیبراسیون حاصل از محلول کمپلکس استرانسیوم و آرسنازو(III) با حلال‌های مختلف و مقایسه نتایج، نشان داده شد که این روش برای تعیین استرانسیوم در حلال‌های آلی مناسب‌تر است و سیگنال عدسی گرمایی قوی‌تری حاصل می‌شود. با این روش و تحت شرایط بهینه، حد تشخیص 3×10^{-9} مولار برای استرانسیوم انحلال یافته در مخلوط ۱:۱ استون و آب، به صورت کمپلکس با آرسنازو(III) به‌دست آمد.

فصل اول: طیف بینی و انواع آن

مقدمه.....	۳
۱-۱ طیف بینی جذبی	۴
۱-۱-۱ قانون بیر- لمبرت	۴
۲-۱-۱ روش های آشکارسازی جذب.....	۵
۲-۱ طیف بینی نور گرمایی.....	۶
۱-۲-۱ پیشرفت و توسعه روش های اندازه گیری نور گرمایی.....	۶
۳-۲-۱ تاریخچه ی طیف بینی نور گرمایی.....	۱۰
۴-۲-۱ فرآیندهای اصلی در طیف بینی نور گرمایی.....	۱۱
۵-۲-۱ روش های طیف بینی نور گرمایی.....	۱۴
۱-۵-۲-۱ روش طیف بینی انحراف نور گرمایی (PDS).....	۱۷
۲-۵-۲-۱ روش طیف بینی شکست نور گرمایی.....	۱۹
۳-۵-۲-۱ طیف بینی پراش نور گرمایی.....	۲۰
۴-۵-۲-۱ تداخل سنجی نور گرمایی.....	۲۱

فصل دوم: طیف بینی عدسی گرمایی

مقدمه.....	۲۵
۱-۲ تاریخچه ی تشکیل عدسی گرمایی.....	۲۵
۲-۲ اصول تشکیل عدسی گرمایی.....	۲۶
۳-۲ روش تک پرتویی.....	۲۹
۱-۳-۲ مدل سهموی.....	۲۹
۱-۱-۳-۲ انتشار باریکه های لیزر گاوسی.....	۳۲
۲-۱-۳-۲ انتقال یک باریکه ی لیزر توسط عدسی گرمایی.....	۳۵

- ۲-۳-۲ مدل عدسی گرمایی با ابراهی..... ۳۹
- ۴-۲ پارامترهای مؤثر در ایجاد عدسی گرمایی..... ۴۰
- ۱-۴-۲ پارامترهای دستگاهی..... ۴۰
- ۲-۴-۲ پارامترهای مربوط به نمونه..... ۴۱
- ۳-۴-۲ آرایش دستگاه‌های تک‌پرتویی..... ۴۳
- ۱-۳-۴-۲ تمرکز..... ۴۴
- ۲-۳-۴-۲ مدولاسیون..... ۴۵
- ۳-۳-۴-۲ مکان نمونه..... ۴۶
- ۴-۳-۴-۲ ظرف نمونه..... ۴۷
- ۵-۳-۴-۲ آشکارسازی سیگنال..... ۴۸
- ۶-۳-۴-۲ جمع‌آوری داده‌ها..... ۴۸
- ۵-۲ دستگاه‌های دوپرتویی..... ۴۸
- ۱-۵-۲ چیدمان‌های هم‌خط..... ۴۸
- ۲-۵-۲ چیدمان عرضی..... ۵۰
- ۳-۵-۲ چیدمان‌های دیگر..... ۵۰
- ۴-۵-۲ لیزر پمپ..... ۵۱
- ۵-۵-۲ لیزرهای پروب..... ۵۱
- ۶-۲ دستگاه‌های عدسی گرمایی دیفرانسیلی..... ۵۱
- ۷-۲ دستگاه عدسی گرمایی با طول موج‌های قابل تنظیم..... ۵۲
- ۸-۲ کاربردها..... ۵۳
- ۱-۸-۲ کاربردهای تجزیه‌ای..... ۵۳

فصل سوم: به کارگیری روش LI-TLS جهت اندازه‌گیری استرانسیوم

- مقدمه..... ۵۹
- ۱-۳ قطعات اپتیکی به کار رفته در چیدمان..... ۵۹

- ۶۰ لیزر ۱-۱-۳
- ۶۱ پایدارکننده‌ی جریان ۲-۱-۳
- ۶۱ پهن‌کننده‌ی پرتو ۳-۱-۳
- ۶۲ عدسی همگرا ۴-۱-۳
- ۶۲ چاپر ۵-۱-۳
- ۶۳ ظرف نمونه ۶-۱-۳
- ۶۴ آینه‌های منحرف کننده‌ی باریکه ۷-۱-۳
- ۶۴ روزنه و آشکارساز ۸-۱-۳
- ۶۵ میز اپتیکی ۹-۱-۳
- ۶۵ ۲-۳ انتخاب نمونه
- ۶۶ ۲-۴ استرانسیوم
- ۶۷ کاربردها ۱-۱-۲-۳
- ۶۷ اثرات استرانسیوم بر سلامت ۲-۱-۲-۳
- ۶۸ اثرات استرانسیوم بر محیط ۳-۱-۲-۳
- ۶۸ ۲-۲-۳ آرسنازو(III)
- ۶۹ ویژگی‌های آرسنازو(III) ۱-۲-۲-۳
- ۶۹ ۳-۳ آماده‌سازی محلول‌ها و استانداردها
- ۶۹ ۴-۳ دستگاه‌ها
- ۷۰ ۵-۳ روش انجام آزمایش
- ۷۰ ۶-۳ روابط مورد استفاده
- ۷۲ ۷-۳ شکل سیگنال عدسی گرمایی
- ۷۳ ۸-۳ تعیین پارامترهای تجربی
- ۷۴ ۹-۳ بهینه‌سازی شرایط
- ۷۴ ۱-۹-۳ بهینه‌سازی دستگاهی

- ۷۴ ۱-۱-۹-۳ فاصله کمر باریکه- سل
- ۷۵ ۲-۱-۹-۳ نوع صفحه‌ی چاپر
- ۷۹ ۲-۹-۳ بهینه‌سازی شرایط تشکیل کمپلکس
- ۷۹ ۱-۲-۹-۳ بهینه‌سازی pH
- ۸۰ ۲-۲-۹-۳ بهینه‌سازی لیگاند آرسنازو(III)
- ۸۱ ۳-۲-۹-۳ اثر غلظت و رسم منحنی کالبراسیون
- ۸۲ ۴-۲-۹-۳ اثر حلال بر سیگنال عدسی گرمایی
- ۸۶ ۱۰-۳ مشخصات تجزیه‌ای به‌دست آمده
- ۸۸ نتیجه‌گیری
- ۸۹ پیشنهادات
- ۹۰ کتاب‌نامه

فهرست شکل

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱- یک وسیله‌ی اولیه‌ی انحراف نورگرمایی برای اندازه‌گیری جذب سطح زمین. به‌دلیل بستگی سیگنال به شرایط خورشیدی و جوی در این اندازه‌گیری، به‌دست آوردن اعداد دقیق با استفاده از آشکارسازی انسان دشوار است [۲].....	۱۱
شکل ۱-۲- فرآیندهایی که در طیف بینی نورگرمایی نقش دارند.....	۱۲
شکل ۱-۳- طرح کلی از یک اسپکترومتر نورگرمایی که ویژگی‌های مهم آن را نشان می‌دهد [۲].	۱۳
شکل ۱-۵- PDS هم‌خط [۲].....	۱۸
شکل ۱-۶- PDS عرضی [۲].....	۱۹
شکل ۱-۷- طیف بینی شکست نورگرمایی [۲].....	۱۹
شکل ۱-۹- طیف بینی تداخل‌سنجی نورگرمایی [۲].....	۲۱
شکل ۱-۲- چیدمان و اجزاء آزمایش عدسی گرمایی [۵].....	۲۶
شکل ۲-۴. وابستگی مکانی عدسی گرمایی [۹].....	۳۸
شکل ۲-۵- طرحی از یک دستگاه عدسی گرمایی تک‌پرتویی: L، عدسی؛ C، چاپر؛ S، ظرف نمونه؛ M_1 ، M_2 ، آینه؛ P، روزنه؛ Pd، فوتودیود؛ Sc، اسپیسکوپ [۶].....	۴۳
شکل ۲-۶- طرحی از یک چاپر مکانیکی.....	۴۵
شکل ۲-۷- مکان نمونه (سمت چپ) و اثر عدسی گرمایی روی شدت مرکز باریکه (سمت راست) در یک آزمایش عدسی گرمایی تک‌پرتویی [۶].....	۴۶
شکل ۲-۸. طرحی از یک دستگاه عدسی گرمایی دوپرتویی با قابلیت انتشار هم خط (---) یا عرضی (....) باریکه‌ی تحریک نسبت به باریکه‌ی پروب (—): ex، لیزر تحریک؛ p، لیزر پروب؛ L_1 و L_2 ، عدسی؛ BS، تقسیم‌کننده‌ی باریکه؛ S، ظرف نمونه؛ M_1 و M_2 ، آینه؛ F، فیلتر؛ P، روزنه؛ Pd، فوتودیود [۶].....	۴۹

- شکل ۲-۹- تمرکز باریکه‌های پمپ (---) و پروب (—) (سمت چپ)، و اثر عدسی گرمایی روی توزیع شدت باریکه‌ی پروب (سمت راست) در یک آزمایش دوپرتویی [۶]..... ۵۰
- شکل ۲-۱۰- روش عدسی گرمایی تک پرتویی دیفرانسیلی [۶]..... ۵۲
- شکل ۲-۱۱- Tunable laser-TLS [۶]..... ۵۳
- شکل ۳-۱- طرحی از چیدمان عدسی گرمایی که در آزمایشگاه برپا گردید: L_1 ، L_2 و L_3 عدسی همگرا؛ C، چاپر؛ S، محل قرارگیری ظرف نمونه؛ M_1 و M_2 ، آینه‌ی تخت؛ P، روزنه؛ PD، آشکارساز؛ ADC، مبدل آنالوگ به دیجیتال؛ PC، کامپیوتر..... ۶۰
- شکل ۳-۲- پروفایل لیزری He-Ne [۴۳]..... ۶۱
- شکل ۳-۳- صفحات مختلف چاپر؛ (الف) نامتقارن تک شکافی با شکاف ۲۲ درجه، (ب) متقارن دوشکافی، (ج) متقارن تک شکافی ۱۸۰ درجه، (د) متقارن چهار شکافی..... ۶۳
- شکل ۳-۴- تصویری از سل کوارتز مورد استفاده..... ۶۴
- شکل ۳-۵- منحنی جذب بر حسب طول موج برای: آرسنازو(III) (خط چین)؛ کمپلکس استرانسیوم با آرسنازو(III) (خط ممتد)..... ۶۶
- شکل ۳-۶- استرانسیوم..... ۶۶
- شکل ۳-۷- ساختار آرسنازو (III) [۴۴]..... ۶۸
- شکل ۳-۸- تغییر شدت باریکه با زمان برای کمپلکس استرانسیوم و آرسنازو(III) محلول در آب مقطر ($C_{\text{Arsenazo}}=3 \times 10^{-7} \text{ M}$, $C_{\text{Si}}=5 \times 10^{-8} \text{ M}$)..... ۷۳
- شکل ۳-۹- طرحی از یک صفحه‌ی چاپر برای مشاهده‌ی تشکیل عدسی گرمایی [۴۶]..... ۷۳
- شکل ۳-۱۰- وابستگی مکانی سیگنال عدسی گرمایی..... ۷۵
- شکل ۳-۱۱- نمودار شدت بر حسب زمان برای چاپر متقارن با چهار شکاف..... ۷۶
- شکل ۳-۱۳- نمودار شدت بر حسب زمان برای چاپر متقارن با دو شکاف..... ۷۶
- شکل ۳-۱۱- نمودار شدت بر حسب زمان برای چاپر نامتقارن با یک شکاف..... ۷۷
- شکل ۳-۱۴- نمودار شدت بر حسب زمان برای چاپر متقارن با شکاف ۱۸۰ درجه..... ۷۷

شکل ۳-۱۵- مقایسه‌ی منحنی‌های کالیبراسیون برای کمپلکس استرانسیوم و آرسنازو(III) محلول در آب مقطر؛ (●) برای چاپر نامتقارن تک شکافی و (◆) برای چاپر متقارن با شکاف ۱۸۰ درجه. ۷۸

شکل ۳-۱۶- منحنی سیگنال عدسی گرمایی بر حسب pH..... ۸۰

شکل ۳-۱۷- منحنی سیگنال عدسی گرمایی بر حسب غلظت لیگاند..... ۸۱

شکل ۳-۱۸- منحنی کالیبراسیون استرانسیوم در آب..... ۸۲

شکل ۳-۱۹- سیگنال عدسی گرمایی برای محلول استرانسیوم و آرسنازو(III) بر حسب نوع حلال به کار رفته..... ۸۳

شکل ۳-۲۰- وابستگی شدت در مرکز باریکه ی پروب در سطح آشکارساز به زمان تشکیل عدسی گرمایی در حلال‌های مختلف. (۱) آب، (۲) متانول، (۳) اتانول، (۴) استون..... ۸۵

شکل ۳-۲۱- منحنی کالیبراسیون استرانسیوم در مخلوط ۱:۱ حلال استون و آب..... ۸۵

شکل ۳-۲۲- مقایسه‌ی منحنی‌های کالیبراسیون استرانسیوم در استون و آب..... ۸۶

فهرست جدول

- جدول ۱-۱- روش‌های معمول آشکارسازی در طیف‌بینی نور گرمایی [۲]..... ۱۵
- جدول ۱-۲- آرایه‌های ماتریس انتقال برای عناصر ساده [۸]..... ۳۴
- جدول ۲-۲- مشخصه‌های مهم ترمودینامیکی در TLS برای برخی از ترکیبات [۱۶]..... ۴۲
- جدول ۳-۲- ثابت زمانی و برخی مشخصات TLS تعدادی از حلال‌ها [۱۵]..... ۴۲
- جدول ۴-۲- کاربردهای تجزیه‌ای اسپکتروسکوپی عدسی گرمایی برای مایعات [۳۷]..... ۵۴
- جدول ۵-۲- کاربردهای تجزیه‌ای اسپکتروسکوپی عدسی گرمایی در FIA [۳۷]..... ۵۵
- جدول ۶-۲- کاربردهای تجزیه‌ای اسپکتروسکوپی عدسی گرمایی در HPLC [۳۷]..... ۵۶
- جدول ۱-۳- پارامترهای تجربی به‌دست آمده برای چیدمان مورد بررسی..... ۷۴
- جدول ۲-۳- فاکتور افزایشی حلال‌های مختلف تحت شرایط دستگاهی به‌کار رفته..... ۸۳
- جدول ۳-۳- خواص دی‌الکتریک حلال‌های به‌کار رفته در این آزمایش..... ۸۴
- جدول ۴-۳- مشخصات تجزیه‌ای اندازه‌گیری استرانسیوم با روش LI-TLS..... ۸۷

فصل اول
طيف بينى و انواع آن

مقدمه

طیف‌بینی، کاربرد جذب، گسیل، یا پراکندگی تابش الکترومغناطیسی توسط اتم‌ها یا مولکول‌ها (یا یون‌های اتمی یا مولکولی) به منظور مطالعه‌ی کمی یا کیفی آن‌ها، یا مطالعه‌ی فرآیندهای فیزیکی می‌باشد. این برهم‌کنش تابش با ماده می‌تواند منجر به تعیین جهت تابش و یا گذارهای بین ترازهای انرژی اتم‌ها یا مولکول‌ها گردد. یک گذار از یک تراز پایین‌تر به یک تراز بالاتر، همراه با انتقال انرژی از میدان تابش به اتم یا مولکول، جذب نامیده می‌شود. یک گذار از یک تراز بالاتر به یک تراز پایین‌تر، اگر انرژی به میدان تابش انتقال یابد، گسیل، و یا اگر هیچ تابشی گسیل نشود، واپاشی غیرتابشی نامیده می‌شود. تغییر جهت نور به واسطه‌ی برهم‌کنش آن با ماده، پراکندگی نامیده می‌شود، و می‌تواند با و یا بدون انتقال انرژی همراه باشد، یعنی تابش پراکنده شده همان طول موج را خواهد داشت یا اندکی متفاوت خواهد بود.

به بیان دیگر، طیف‌بینی عبارت است از مطالعه‌ی وابستگی طول موجی یا فرکانسی هر فرآیند نوری که در آن ماده‌ای، در اثر برهم‌کنش با تابش، انرژی به‌دست می‌آورد یا از دست می‌دهد. مزیت مطالعه‌ی وابستگی به طول موج آن است که از این طریق می‌توان، اطلاعات بسیار بیشتری را به‌دست آورد. چون پاسخ دقیق طیفی منحصراً با ترکیب شیمیایی نمونه تعیین می‌شود، دو زمینه‌ی کاربردی مجزا به وجود می‌آید؛ اول، از طیف‌بینی می‌توان برای تهیه‌ی اطلاعات بیشتری درباره‌ی ساختار مولکولی و دیگر خواص فیزیکی و شیمیایی مواد خالص استفاده کرد؛ چنین کاربردهایی پژوهشی‌اند. دوم، از ماهیت مشخص‌کننده‌ی پاسخ طیف‌بینی می‌توان برای آشکارسازی گونه‌های شیمیایی ویژه در نمونه‌هایی حاوی چند ترکیب شیمیایی استفاده کرد؛ چنین کاربردهایی تجزیه‌ای‌اند. در سالیان اخیر لیزرها تأثیر چشمگیری در هر دو زمینه داشته‌اند [۱].

در اصل می‌توان از تک‌فامی لیزر به طرز بسیار مؤثری استفاده کرد، زیرا طبیعتاً پهنای خط بسیار باریکی که به طور کلی قابل حصول است، برای تکنیک‌های طیف‌بینی با تفکیک زیاد مناسب است. به علاوه واگرایی اندک باریکه، استفاده از طول مسیرهای عبور بلند از درون نمونه را آسان

می‌کند و بدین ترتیب در نمونه‌هایی با پاسخ طیف‌بینی خیلی ضعیف، حساسیت بهبود می‌یابد. به طور کلی تفکیک در هر نوع روش طیف‌بینی، به هر دو عامل پهنای خط تابش و نمونه بستگی دارد.

۱-۱ طیف بینی جذبی

طیف‌بینی دارای انواع مختلفی می‌باشد که یکی از آن‌ها طیف‌بینی جذبی نام دارد. طیف-بینی جذبی بر اساس گزینش‌پذیری طول موج‌های نور جذب شده توسط ترکیبات شیمیایی مختلف بنا نهاده شده است و شامل بررسی تغییر شدت جذب باریکه‌ای از نور به صورت تابعی از طول موج آن است. گزینش‌پذیری جذب ناشی از آن است که فوتون‌های جذب شده برای ایجاد گذار به حالت‌های پر انرژی‌تر در اتم‌ها یا مولکول‌هایی که نمونه از آن‌ها ساخته شده است، انرژی کافی دارند. هر یک از چنین گذارهایی به جذب یک فوتون نیاز دارد و تحت تأثیر قواعد گزینشی طیف‌بینی است. تحت عبور باریکه از درون نمونه افت شدتی در باریکه‌ی خروجی مشاهده می‌شود که این افت که متناسب با غلظت گونه‌های جاذب می‌باشد را با قانون بیر-لمبرت^۱ می‌توان توضیح داد [۱].

۱-۱-۱ قانون بیر - لمبرت

در ابتدا واضح است که سرعت افت شدت باریکه‌ای که از درون محیطی جاذب می‌گذرد، هم با شدت لحظه‌ای و هم با غلظت گونه‌های جاذب متناسب است، بدین ترتیب [۱]

$$-\frac{dI}{dl} = \alpha I C \quad (1-1)$$

که α ثابت تناسب معروف به ضریب جذب، l نمایان‌گر طول مسیر درون نمونه و C غلظت گونه‌ی جاذب است. جواب این معادله دیفرانسیل ساده، تابع نمایی واپاشی می‌باشد

$$I = I_0 e^{-\alpha l C} \quad (2-1)$$

^۱ Beer-Lambert

این نتیجه معمولاً به نام قانون بیر- لمبرت شناخته می‌شود و شدت نور عبوری از درون نمونه را بر حسب شدت فرودی I_0 بیان می‌کند. براساس لگاریتم در مبنای ۱۰ برای راحت‌تر کردن روابط، معادله ی (۲-۱) را می‌توان به صورت زیر نوشت

$$I = I_0 10^{-\epsilon l C} \quad (۳-۱)$$

که در آن $\epsilon = \alpha / 2.303$ ، معمولاً به عنوان ضریب خاموشی یا ضریب جذب مولی شناخته می‌شود. اغلب حاصل ضرب $\epsilon l C$ ، با نماد A نشان داده شده و به عنوان جذب نمونه شناخته می‌شود؛ این مقدار به وضوح از طریق رابطه‌ی زیر با عبور $T=I/I_0$ ارتباط دارد [۱]

$$A = -\log_{10} T \quad (۴-۱)$$

یک رابطه‌ی نهایی که از عبارت (۳-۱) حاصل می‌شود، عبارت است از

$$\Delta I / I_0 = 1 - 10^{-A} \quad (۵-۱)$$

که در آن $\Delta I = I_0 - I$ است؛ بدین ترتیب سمت چپ معادله‌ی (۵-۱) نشان‌دهنده‌ی افت، در شدت طول موج معینی است که از نمونه می‌گذرد.

۲-۱-۱ روش‌های آشکارسازی جذب

جذبی که در ماده اتفاق می‌افتد را به دو روش می‌توان آشکار کرد؛ یکی روش مستقیم که در آن شدت تابش عبوری از درون نمونه مستقیماً اندازه‌گیری شده و با شدت اولیه مقایسه می‌شود و دیگری روش‌های غیرمستقیم که در آن فرآیندهای فیزیکی که به دنبال جذب تابش به وقوع می‌پیوندند اندازه‌گیری می‌شوند.

روش‌های فوتوآکوستیک و فوتوترمال (نورگرمایی) نمونه‌هایی از روش‌های غیرمستقیم آشکارسازی جذب می‌باشند. در این فصل به بررسی اجمالی روش‌های فوتوترمال یا نورگرمایی می‌پردازیم.

۲-۱ طیف‌بینی نور گرمایی

طیف‌بینی نور گرمایی دسته‌ای از روش‌های طیف‌بینی با حساسیت بالا می‌باشد که برای اندازه‌گیری جذب نور و خصوصیات گرمایی یک نمونه به کار می‌رود. اساس طیف‌بینی نور گرمایی، تغییر در حالت گرمایی نمونه به خاطر جذب تابش است. اندازه‌گیری تغییرات دما، فشار و یا چگالی که به خاطر جذب نوری اتفاق می‌افتد سرانجام اساس اندازه‌گیری‌های طیف‌بینی نور گرمایی هستند. گرم شدن نمونه نتیجه‌ی مستقیمی از جذب نور است و از این رو سیگنال‌های طیف‌بینی نور-گرمایی مستقیماً به جذب نور وابسته‌اند. اتلاف‌های پراکندگی و بازتاب، سیگنال‌های نور گرمایی تولید نمی‌کنند، در نتیجه اندازه‌گیری جذب نور در حلال‌های پراکننده و جامدات با روش‌های طیف‌بینی نور گرمایی با دقت بیشتری همراه است.

حساسیت بالای روش‌های طیف‌بینی نور گرمایی به کاربردهایی برای تعیین گونه‌های با جذب پایین منجر شده است. بزرگی سیگنال اسپکتروسکوپی نور گرمایی به روش خاص به کار برده شده برای آشکارسازی اثر نور گرمایی و نوع نمونه‌ی مورد تجزیه بستگی دارد. تاکنون حدود آشکارسازی زیادی گزارش شده است و مشخص کردن پایین‌ترین حد آشکارسازی مطلق دشوار است. اما با اطمینان می‌توان گفت که جذب‌های اپتیکی پایین‌تر از 10^{-6} با طرح‌های عملی بهینه شده می‌تواند آشکار شود. در نتیجه طیف‌بینی نور گرمایی اغلب به عنوان روش تجزیه‌ی مقادیر ناچیز مشخص می‌شود.

۱-۲-۱ پیشرفت و توسعه روش‌های اندازه‌گیری نور گرمایی

عوامل زیادی باعث مساعد شدن زمینه جهت پیشرفت و توسعه روش‌های نور گرمایی گردیده است. مهم‌ترین عامل توسعه، گسترش استفاده از پرتو لیزر بوده است. پژوهشگران دریافته‌اند که پدیده‌های مختلفی می‌تواند در رابطه با اندازه‌گیری‌های آزمایشی با لیزر به وجود آید. توجه به این موضوع پژوهش‌های بسیاری را با استفاده از روش‌های نور گرمایی برای اندازه‌گیری مقادیر بسیار